

Acta Limnol. Brasil.	Vol. IV	67-79	1992
----------------------	---------	-------	------

A EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES E MATERIAL EM SUSPENSÃO EM ALGUNS CURSOS DE ÁGUA NA BACIA DO ALTO PARANAPANEMA (ESTADO DE SÃO PAULO).

HENRY, R.*

Resumo

Os fluxos de nutrientes (nitrato, nitrogênio inorgânico dissolvido, fosfato total dissolvido, fosfato inorgânico e sílica) e de material em suspensão foram determinados para o período de um ano (1º de abril de 1988 a 31 de março de 1989) em quatro pontos do Alto Paranapanema (Rio Paranapanema, jusante da Represa de Jurumirim; Rio Taquari, Fazenda Agrolim; Rio Apiaí-Guaçu, Buri e Paranapanema, Campina do Monte Alegre). Uma avaliação do escoamento (razão vazão entre total anual do curso de água e área total de sua bacia) foi também efetuada para cada ponto. Os mais baixos fluxos foram identificados na bacia do Rio Paranapanema, jusante da barragem, e os mais altos na bacia do Paranapanema, em Campina do Monte Alegre, para três dos nutrientes examinados (NO_3^- , NID e PO_4^{3-} total). Os fluxos de PO_4^{3-} inorgânico e sílica na bacia do Rio Paranapanema, em Campina do Monte Alegre, foram menores que aqueles da bacia do Rio Apiaí-Guaçu. O fluxo de material em suspensão por unidade de área da bacia do Rio Paranapanema, a jusante da barragem, não ultrapassou $1000 \text{ mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. Nas outras três bacias, foram aproximadamente 30 a 40 vezes mais elevados. Não houve variação no escoamento quando os valores dos Rios Apiaí-Guaçu (470 mm.ano^{-1}) e Paranapanema, jusante da barragem (480 mm.ano^{-1}) foram confrontados. Nas bacias dos Rios Taquari e Paranapanema, Campina do Monte Alegre, os valores foram, respectivamente de 380 e 590 mm.ano^{-1} . Uma correlação significativa entre fluxo de NO_3^- ($r=0,92^*$) e PO_4^{3-} total ($r=0,80^*$) das 4 bacias, todos com escoamento respectivos, foi encontrada. O mesmo não ocorreu entre escoamento e fluxos de PO_4^{3-} inorgânico, sílica e de material em suspensão. Os valores encontrados são retratos do uso do solo e das características geológicas de cada bacia. O poder de mobilização dos nutrientes dos solos e a proteção à erosão oferecida pela cobertura vegetal constituem hipóteses explicativas para as variações encontradas.

* Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, UNESP, Botucatu, SP.

Abstract - NUTRIENTS AND SUSPENDED MATTER EXPORTS IN SOME STREAMS OF ALTO PARANAPANEMA WATERSHED (SÃO PAULO STATE).

The nitrate, inorganic dissolved nitrogen, total dissolved phosphate, inorganic phosphate, "reactive" silicate and suspended matter fluxes were determined for year (from April 1, 1988 to March 31, 1989) at four stations (Paranapanema River, downstream, from the Jurumirim Reservoir; Taquari River, Fazenda Agrolim; Apiai-Guaçu River, Buri and Paranapanema River, Campina do Monte Alegre). Runoff (total annual discharge of water/area of drainage basin) was also calculated for all the stations. Low fluxes of NO_3^- , inorganic dissolved nitrogen and total PO_4^{3-} were found in Paranapanema River (downstream from the Jurumirim Reservoir). At Campina do Monte Alegre, the fluxes were more elevated than in the other stations. The inorganic phosphate and "reactive" silicate fluxes of Paranapanema River, at Campina do Monte Alegre, were lower than in Apiai-Guaçu River. Suspended matter fluxes of Paranapanema River (Campina do Monte Alegre), Apiai-Guaçu River and Taquari River were around 30 to 40 times more elevated than in Paranapanema River, downstream from Jurumirim Reservoir ($1000 \text{ mg.m}^{-2}.\text{year}^{-2}$). The difference between runoff in Apiai-Guaçu ($470 \text{ mm}.\text{year}^{-1}$) and Paranapanema River (downstream from Jurumirim Reservoir) ($480 \text{ mm}.\text{year}^{-1}$) was small. A significant relationship between NO_3^- ($r = 0,92$), inorganic dissolved nitrogen ($r = 0,88$) and total PO_4^{3-} ($r = 0,80$) fluxes with runoff was found for the four drainage basins. The same was not observed for runoff and inorganic phosphate, "reactive" silicate and suspended matter fluxes. The results are related to land uses and geological characteristics of each drainage basin. The mobilization power of nutrients from soils and the protection from erosion by the vegetation are probably the causes of the different fluxes that were found in each drainage basin.

Introdução

A despeito de que, há muito tempo, sabe-se que a ecologia de lagos e reservatórios é afetada não somente por processos internos, mas também por fatores externos, como por exemplo a geologia da bacia influenciando na química da água e na sua morfometria, as investigações limnológicas tem sido restritas aos limites dos ecossistemas aquáticos. Recentemente, DUARTE & KALFF (1989) mostraram a forte dependência existente entre a biomassa fitoplanctônica e a geologia da bacia e profundidade média dos lagos. Esta associação mútua encontrada era tão forte quanto aquela existente entre clorofila-a e fósforo total e, em consequência ambos os fatores não poderiam ser ignorados na elaboração de equações de prognose sobre a possível eutrofização dos ecossistemas e no diagnóstico de seu status trófico. Outro estudo (SHAFFER & CHURCH, 1989), no mesmo sentido, relatou sobre a importância da contribuição das áreas terrestres nos balanços de alcalinidade nas bacias de drenagem de lagos.

Visto a estreita ligação entre material externo e, estruturação e funcionamento de lagos e reservatórios, o seu transporte pelas águas dos rios é uma grande via de introdução a considerar. Estudos anteriores indicaram a existência de uma relação entre a exportação de fósforo total por cursos de água com a geologia da bacia (DILLON & KIRCHNER, 1975; GROBER &

SILBERBAUER, 1985), com a morfometria total da bacia de drenagem (KIRCHNER, 1975; PRAIRIE & KALFF, 1986) e uso da terra (LOEHR, 1974; DILLON & KIRCHNER, 1975; BEAULAC & RECKHOW, 1982; PRAIRIE & KALFF, 1986). O uso do solo da bacia e sua influência sobre as exportações de compostos nitrogenados também já foram examinados em zonas temperadas (LOEHR, 1974; HILL, 1978).

Os estudos sobre material dissolvido transportado em rios tropicais africanos são, de nosso conhecimento, restritos aos dados de LESAK et al. (1984) e GROBLER & SILBERBAUER (1985). Na América do Sul, as informações não são abundantes. Os trabalhos são limitados à Região Amazônica (MARTINELLI et al., 1988; RICHEY et al., 1990), à bacia do Rio Paraguay (PEDROSO & BONETTO, 1987) e as bacias de alguns cursos de água da Venezuela (LEWIS et al., 1986; SAUDERS & LEWIS, 1988; LEWIS & SAUNDERS, 1989).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma primeira avaliação das cargas e fluxos anuais de nutrientes (nitrato e nitrogênio inorgânico dissolvido; fosfato total e inorgânico dissolvido; sílica) e seston em alguns cursos de água do Alto Paranapanema e tecer comentários sobre os possíveis fatores controladores.

Material e métodos

Em quatro pontos do Alto Paranapanema (Fig. 1, respectivamente Rio Paranapanema a jusante da barragem da Represa de Jurumirim a 23°12'17" S e 49°13'19" W; Rio Taquari, Fazenda Agrolim a 23°46'44" S e 49°03'14" W; Rio Apiaí-Guaçu, Buri a 23°47'56" S e 48°35'07" W; Rio Paranapanema, Campina do Monte Alegre a 23°35'30" S e 48°29'37" W), foram coletadas amostras na superfície dos cursos de água para análise de nutrientes em seis oportunidades (7 e 8 de maio de 1988; 3 e 4 de julho de 1988; 5 e 7 de setembro de 1988; 3 e 4 de novembro de 1988; 9 e 10 de janeiro de 1989 e 6 e 7 de março de 1989).

A morfometria das quatro bacias estudadas foi estabelecida de acordo com a descrição de CHRISTOFOLETTI (1969), usando um mapa IBGE 1:250.000. O seu estudo, além de perímetro, diâmetro e área, envolve os seguintes parâmetros: índice de forma (K); relação de alongação (R_p); densidade hidrográfica (D_h); relação de relevo (R_r) e densidade de drenagem (D_d). Os nutrientes inorgânicos dissolvidos foram determinados segundo MACKERETH et al., 1978 (nitrato e nitrito); KOROLEFF, 1976 (amoníaco) e STRICKLAND & PARSONS, 1960 (fosfato total e inorgânico). O conteúdo de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) foi calculado e refere-se à somatória das concentrações de NO_3^- , NO_2^- e NH_4^+ . A sílica foi determinada em amostra não filtrada, segundo GOLTERMAN & CLYMO (1969). A quantidade de seston foi obtida através da diferença de peso de filtro de Millipore AP20 04700, seco em estufa a 60°C, antes e após a filtração de amostra de água de volume conhecido.

A carga de nutrientes transportados pelos rios foi calculada multiplicando-se a concentração do nutriente pela vazão respectiva medida no dia da coleta. Os dados de vazão (m^3/s) são provenientes de estações fluviométricas da CESP localizadas nos pontos de amostragem e foram fornecidos pela Divisão de Operação Hidráulica. O fluxo de nutrientes por unidade de área da bacia ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$) é a razão entre a média aritmética das cargas dos nutrientes das 6 amostras corrigida para um período de um ano (365 dias \times 86400 segundos diários) e a área da bacia hidrográfica. O escoamento ("runoff") refere-se à razão entre a vazão total anual do curso de água e a área total de sua bacia hidrográfica. A vazão total anual é a somatória dos valores obtidos

através da multiplicação das médias mensais dos valores diários de vazão (m^3/s) pelo período de tempo (dias) correspondente em cada um dos meses do ano de estudo (1º de abril de 1988 a 31 de março de 1989).

Resultados

A Tabela 1 apresenta os dados morfométricos das bacias estudadas.

As concentrações dos compostos nitrogenados e fosfatados correspondentes a cada período do ano e curso de água, são apresentadas na Tabela 2. A maior parte do conteúdo de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) é constituída por nitrato. Dependendo da época do ano, o nitrato corresponde a cerca de 57 a 99% do total de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) no Rio Paranapanema (a jusante da barragem); de 60 a 88% do N do Rio Taquari; de 67 a 88% do N no Rio Taquari; de 67 a 90% do N do Rio Paranapanema (Campina do Monte Alegre). Os teores médios de NO_3^- durante o ano são praticamente equivalentes no Rio Paranapanema, a jusante da barragem ($x=74,6 \text{ ug. l}^{-1}$), no Rio Taquari ($x=77,7 \text{ ug. l}^{-1}$) e no Rio Apiaí-Guaçu ($x=75,7 \text{ ug. l}^{-1}$). No Rio Paranapanema, em Campina do Monte Alegre o valor médio durante o ano é mais elevado ($x=101,8 \text{ ug. l}^{-1}$). Os coeficientes de variação de nitrato foram de, respectivamente, 30,3% para o Rio Paranapanema, a jusante da barragem; 29,1% para o Rio Taquari; 42,9% para o Rio Apiaí-Guaçu e 22,1% para o Rio Paranapanema, em Campina do Monte Alegre. A participação percentual do fosfato inorgânico em relação ao fosfato total dissolvido tem grande flutuação entre os cursos de água e o período do ano. No Rio Paranapanema, a jusante da barragem, o intervalo situa-se de 0 a 81%; no Rio Taquari, de 21 a 74%; no Rio Apiaí-Guaçu de 33 a 100% e no Rio Paranapanema, em Campina do Monte Alegre, de 19 a 46%. Os coeficientes de variação de fosfato inorgânico dissolvido comprovam a enorme variabilidade existente nos dados durante o ano, conforme os cálculos efetuados para os Rios Paranapanema, a jusante da barragem (C.V. =143,8%), Taquari (C.V. =55,8%), Apiaí-Guaçu (C.V. =122,9%) e Paranapanema, em Campina do Monte Alegre (C.V. =71,0%).

As quantidades de material em suspensão e sílica entre cursos de água e períodos do ano

Tabela I. Morfometria das bacias estudadas

BACIA	PERÍMETRO (km)	DIÂMETRO (km)	ÁREA (km ²)	K (km ⁻¹)	Re (km ⁻²)	Dh (km ⁻¹)	Rr (m.km ⁻¹)	Dd (km ⁻¹)
RIO PARANAPANEMA (Jusante da Barragem)	737,5	203,25	18.130	1,44	2,39	0,066	2,46	0,47
RIO TAQUARI (Fazenda Agrolim)	224,5	75,25	2.120	1,37	2,19	0,068	5,32	0,50
RIO APIAÍ-GUAÇU	251,0	82,85	1.990	1,57	1,95	0,063	4,86	0,52
RIO PARANAPANEMA (Campina do Monte Alegre)	405,0	117,25	6.000	1,50	2,30	0,071	4,26	0,52

Tabela II. Concentrações ($\mu\text{g.l}^{-1}$) de nitrato (NO_3^-) e nitrogênio dissolvido ($\text{NID} = \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) e fosfato total (PO_4^{3-} tot.) e inorgânico (SRP) dissolvido na água de superfície em alguns cursos de água da bacia do Alto Paranapanema.

LOCAL	PARANAPANEMA (jusante da barragem)				TAQUARI (Fazenda Agrolim)				APIAÍ-GUAÇU				PARANAPANEMA (Campina do Monte Alegre)			
	NO_3^-	NID	PO_4^{3-}	SRP	NO_3^-	NID	PO_4^{3-}	SRP	NO_3^-	NID	PO_4^{3-}	SRP	NO_3^-	NID	PO_4^{3-}	SRP
Maio de 1988	91.13	96.80	43.29	34.86	91.13	112.80	32.57	24.14	86.13	95.21	57.57	59.86	74.17	89.34	34.86	8.29
Julho de 1988	53.33	93.95	18.43	9.00	83.65	29.14	6.14	65.83	83.23	16.29	5.43	91.67	103.65	13.43	2.57	
Setembro de 1988	41.07	47.06	11.57	7.71	56.07	94.06	30.86	10.57	14.40	18.77	10.86	4.14	119.07	136.63	21.57	4.86
Novembro de 1988	79.27	82.89	4.00	0.00	109.17	139.10	28.29	12.25	102.45	117.81	30.43	13.00	137.00	195.15	59.00	8.00
Janeiro de 1989	99.13	99.40	0.00	0.00	.	.	.	.	89.75	134.34	33.17	11.14	98.50	133.17	43.17	19.71
Março de 1989	83.43	87.97	6.29	3.29	64.14	84.19	15.57	9.00	95.57	111.87	18.43	9.71	90.57	122.95	31.29	6.86

podem ser confrontadas, através do exame da Tabela 3. A concentração média do material em suspensão durante o ano varia amplamente, de acordo com o local de amostragem. Os dados indicam um teor médio anual de 2,18 mg.l⁻¹ no Rio Paranapanema, a jusante da barragem; 97,07 mg.l⁻¹ no Rio Taquari; 72,91 mg.l⁻¹ no Rio Apiai-Guaçu e 38,70 mg.l⁻¹ no Rio Paranapanema, em Campina do Monte Alegre. Além disso, os coeficientes de variação do material em suspensão apontam as diferenças quantitativas existentes entre os cursos de água pois, os C.V. foram, respectivamente, de 49,7% (Rio Paranapanema, a jusante da barragem); 170,5% (Rio Taquari); 148,4% (Rio Apiai-Guaçu) e 62,6% (Rio Paranapanema, em Campina do Monte Alegre). Em relação à sílica, a variabilidade dos dados durante o ano é baixa, qualquer que seja a estação de coleta. Como demonstraram os cálculos, os C.V. foram iguais a 7,6% no Rio Paranapanema a jusante da barragem; a 6,3% no Rio Taquari; a 17,9% no Rio Apiai-Guaçu e a 18,2% no Rio Paranapanema, em Campina do Monte Alegre. Entretanto, as médias anuais diferem, dependendo do curso de água (Rio Paranapanema, a jusante da barragem, $\bar{x}=4,50$ mg.l⁻¹ e Rio Paranapanema, em Campina do Monte Alegre, $\bar{x}=4,37$ mg.l⁻¹; Rio Taquari, $\bar{x}=6,03$ mg.l⁻¹; Rio Apiai-Guaçu, $\bar{x}=5,84$ mg.l⁻¹).

Os fluxos de nutrientes inorgânicos e de material em suspensão e os valores de escoamento, calculados para as quatro bacias, estão incluídos na Tabela 4. Não há variação no escoamento quando os dados das bacias dos Rios Apiai-Guaçu e Paranapanema, jusante da barragem, são confrontados. Nas duas outras bacias, os valores diferem amplamente. O escoamento na bacia do Rio Taquari é o mais baixo das quatro bacias, enquanto que na bacia do Rio Paranapanema em Campina do Monte Alegre é o mais alto. Os fluxos de nutrientes apresentam variações, conforme as bacias analisadas. Os mais baixos fluxos foram identificados na bacia do Rio Paranapanema, jusante da barragem e os mais altos na bacia do Rio Paranapanema, em Campina do Monte Alegre para três dos nutrientes examinados (NO₃⁻; NID; PO₄³⁻ tot.). Os fluxos de SRP e sílica na bacia do Rio Paranapanema, em Campina do Monte Alegre, são menores que aqueles da bacia do Rio Apiai-Guaçu. O fluxo de material em suspensão por unidade de área na bacia

Tabela III. Quantidades (mg.l⁻¹) de material em suspensão (M.S.) e sílica "reativa" na água de superfície em alguns cursos de água da bacia do Alto Paranapanema.

LOCAL	RIO PARANAPANEMA (jusante da barragem)		RIO TAQUARI (Fazenda Agrolim)		RIO APIAI-GUAÇU		RIO PARANAPANEMA (Campina do Monte Alegre)	
	M.S.	SÍLICA	M.S.	SÍLICA	M.S.	SÍLICA	M.S.	SÍLICA
Maio de 1988	4.04	4.79	23.43	6.42	42.93	7.22	30.98	4.10
Julho de 1988	2.66	4.96	20.74	6.25	10.09	6.06	14.45	5.74
Setembro de 1988	1.94	4.64	13.82	6.11	4.50	5.44	10.68	4.27
Novembro de 1988	2.00	4.22	392.80	5.96	290.60	6.32	67.30	4.48
Janeiro de 1989	1.49	4.28	-	-	44.43	4.10	64.05	3.28
Março de 1989	0.92	4.12	34.54	5.42	44.90	5.93	44.73	4.33

do Rio Paranapanema, a jusante da barragem, não ultrapassa $1000 \text{ mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. No entanto, nas três outras bacias, são aproximadamente 30 a 40 vezes mais elevados.

Discussão

Tabela IV. Fluxos ($\text{mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$) de nitrato (NO_3^-) e nitrogênio inorgânico dissolvido ($\text{N} = \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$), fosfato total ($\text{PO}_4^{3-} \text{ tot.}$) e inorgânico (SRP) dissolvidos, sílica e seston e escoamento em alguns cursos de água do Alto Paranapanema no ano -1º de abril de 1988 a 31 de março de 1989.

RIO	NO_3^-	NID	$\text{PO}_4^{3-} \text{ tot.}$	SRP	SESTON	SiLICA	ESCOAMENTO (mm.ANO ⁻¹)
PARANAPANEMA (jusante da barragem)	32.2	35.6	5.9	4.0	914.7	1.8	480
TAQUARI (Fazenda Agrolim)	25.1	32.2	8.2	3.9	31543.8	1.9	380
APIAI-GUAÇÚ	47.2	60.6	16.9	9.6	38782/1	3/1	470
PARANAPANEMA (Campina do Monte Alegre)	72.2	95.2	27.2	7.9	34519.7	3.0	590

Uma avaliação, a mais real possível, das cargas anuais e fluxos de nutrientes está condicionada à frequência com que as amostragens para análise dos compostos nitrogenados e fosfatados são efetuados. Medidas frequentes (por exemplo semanais) proporcionarão uma imagem fidedigna do transporte do material dissolvido e de sua variação ao longo do ano. Os dados obtidos e calculados neste trabalho referem-se a exames bimensais que, apesar de serem distribuídos ao longo de um ciclo anual, podem não refletir as verdadeiras condições da exportação de nutrientes. CULLEN et al. (1988) salientam que o estudo das cargas de nutrientes deveria ser associado mais aos eventos hidrológicos do que ao fator tempo. Assim, informações limitadas às estações chuvosas e aos períodos secos teriam um valor maior que os dados de coletas rotineiras e fixas, programadas num intervalo de tempo previamente determinado (por exemplo um ano). Por outro lado, STEVENS & SMITH (1978) ressaltaram que medidas precisas de vazão são mais importantes que os resultados de concentração na determinação de cargas. Apesar de que as medidas de vazão utilizadas neste trabalho são provenientes de leituras diárias, a coleta de água para análise de nutrientes foi restringida a amostragens esporádicas - se bem que distribuídas durante um ano - e, nem foi repetida em número maior de vezes nas estações seca ou chuvosa.

O material dissolvido nas águas dos rios é originado de duas fontes possíveis: pontuais e não-pontuais. As primeiras resultantes da introdução de material em grande quantidade em locais isolados e detectáveis no rio. É decorrente do despejo de resíduos como por exemplo de águas domésticas de cidades e de efluentes de indústrias. As fontes pontuais tem grande impacto sobre

as concentrações de nutrientes quando os locais de amostragem de água estão próximos das áreas de despejos. Quando estão distanciadas da zona de coleta, o material dissolvido tem efeito pequeno sobre as variações dos teores de nutrientes, pois precipita-se, adsorvendo-se às partículas de sedimento ou dilui-se durante o trajeto. As fontes não pontuais de nutrientes são mais difíceis de serem quantificadas. Estão intimamente associadas à geologia, uso do solo (práticas agrícolas, pastagem e, presença e tipo de floresta) e à morfologia da bacia de drenagem (DILLON & KIRCHNER, 1975; KIRCHNER, 1975; BEAULAC & RECKHOW, 1982; GROBLER & SILBERBAUER, 1985). No entanto, o conhecimento do escoamento (total anual) e o fluxo de nutrientes na água dos rios permite fazer uma avaliação comparativa da ação das fontes não pontuais entre bacias. GROBLER & SILBERBAUER (1985) encontraram correlações altamente significativas entre fluxos de fósforo total e fosfato solúvel reativo e escoamento, em bacias com geologia similar e de acordo com as fontes dominantes de fosfato nas bacias.

A análise das concentrações de NO_3^- e nitrogênio inorgânico dissolvido (Tabela 2) indica uma variação anual de seus valores ligada ao regime de precipitação em três dos locais (Rio Taquari, Rio Apiaí-Guaçu e Rio Paranapanema, em Campina do Monte Alegre). No Rio Paranapanema (jusante da barragem), a despeito da redução dos teores dos compostos nitrogenados em julho e setembro de 1988, a sua relação com a estação chuvosa não é facilmente reconhecida. Isto é decorrente do fato de que a água recolhida para exame é proveniente da Represa de Jurumirim, na qual os processos internos (por ex. assimilação, excreção e reciclagem) tem um papel preponderante sobre os externos. O relacionamento dos teores de fosfato com os eventos hidrológicos é difícil de ser identificado nas quatro estações de coleta. A provável explicação pela sua variação acíclica ao longo do ano é a possível ação de fontes pontuais de fosfato nos rios, - cuja introdução pode ser de caráter intermitente - alterando as concentrações de PO_4^{3-} . O fato de que no Rio Paranapanema - a jusante da barragem -, os teores de fosfato inorgânico em novembro de 1988 e janeiro de 1989 foram iguais a zero é explicado pela extrema necessidade de fósforo para o crescimento do fitoplâncton lacustre, a montante da barragem (HENRY, 1990) exaurindo completamente este elemento químico da água.

A baixa variabilidade das quantidades de sílica durante o ano, em cada bacia, é uma comprovação de que os teores destes nutrientes não apresentam nenhuma relação com o regime de precipitação (Tabela 3). As concentrações são distintas entre os pontos de coleta e são decorrentes da natureza geológica de suas bacias de drenagem. A variação da concentração de seston, ao longo do ano, parece estar intimamente associada em três dos pontos de amostragens, ao regime de precipitação (Tabela 3). No Rio Paranapanema (a jusante da barragem), além de mostrar uma independência em relação ao regime de precipitação, as quantidades de material em suspensão são extremamente baixas, comparativamente aos valores revelados nos dois principais tributários da Represa de Jurumirim (Rios Paranapanema, em Campina do Monte Alegre e Taquari). O material em suspensão, a jusante da barragem, é fundamentalmente de origem orgânica, gerado por processos autóctones na represa. A introdução de material em suspensão pelos tributários não afeta as concentrações a jusante, devido à sedimentação de todo o material transportado pelos rios quando do encontro das águas correntes com aquelas do ecossistema lântico. As grandes dimensões e o tempo de residência do reservatório (ver HENRY, 1990) são agentes que apoiam esta explicação.

Os fluxos de nutrientes por unidade de bacia e ano são retratos de uso e das características geológicas dos solos que a compõem. Os baixos fluxos dos nutrientes medidos no Rio

Paranapanema, a jusante da barragem (Tabela 4), quando comparados com os demais valores, devem ser examinados com cuidado pois, a química da água é resultante mais dos processos intrínsecos ao reservatório do que de agentes externos. Ressaltando o fato que o Rio Apiaí-Guaçu é um afluente do Rio Paranapanema, uma distinção dos fluxos de NO_3^- , NID e PO_4^{3-} total dissolvidos, entre as bacias é facilmente detectada. Um aumento dos valores encontrados no sentido dos Rios Rios Taquari, Apiaí-Guaçu e Paranapanema (Campina do Monte Alegre) parece estar correlacionada com a elevação do escoamento anual (Tabela 4). O estudo de correlações lineares entre os fluxos de nutrientes e seston com o escoamento (Tabela 5) comprova esta afirmativa. Considerando que os coeficientes de determinação (R^2) nas relações dos fluxos de SRP, sílica e seston com escoamento foram (40%, outras causas estão envolvidas na explicação destes fluxos. No caso do fosfato, a hipótese da ação de fontes pontuais pode ser aventada. Além disso, a remobilização do fosfato preso às partículas do sedimento ou a introdução deste nutriente, quando do extravazamento da água do leito do rio nas áreas marginais alagáveis nos períodos críticos de cheias, são outros possíveis agentes que podem aumentar a sua carga. Em relação ao material em suspensão, onde o coeficiente de determinação é praticamente zero e, em consequência não há relação entre seu fluxo e escoamento, as hipóteses explicativas sugeridas podem englobar cinco aspectos: 1) a injeção de material em suspensão (orgânico e inorgânico), quando da inundação de áreas marginais ao leito do rio; 2) a introdução de material particulado por dejetos de fontes pontuais; 3) a precipitação de material vegetal particulado, devido à queda de folhas mortas das matas ciliares e/ou de galerias existentes ao longo dos cursos de águas examinados; 4) a morte e decomposição da vegetação aquática e semi-aquática nas regiões marginais dos rios e 5) a ação contínua do fluxo de água do rio que, durante o seu trajeto, escava e remove sedimento do fundo do leito e das paredes laterais dos cursos de água. Os fluxos de NID nas bacias do Alto Paranapanema são de magnitude similar aqueles do Rio Bermejo, Argentina - afluente do Rio Paraguai (PEDROSO & BONETTO, 1987). No entanto, os fluxos de fosfato e material em suspensão no Rio Bermejo são, respectivamente, mais baixos e mais elevados que os valores encontrados neste estudo. As peculiaridades de cada bacia (geologia, área da bacia e uso do solo) são as determinantes das condições identificadas.

A despeito das correlações positivas entre fluxos de nitrato e fosfato total, ambos com escoamento (Tabela 5), uma distinção entre as bacias pode ser efetuada, se fizermos uma análise comparativa dos fluxos dos nutrientes por unidade de escoamento (Tabela 6). No caso do nitrato, os valores são praticamente equivalentes nos Rios Paranapanema (jusante da barragem) e Taquari e, correspondem a cerca de metade do valor encontrado para o Rio Paranapanema, em Campina do Monte Alegre. Em relação ao fosfato total, os fluxos/escoamento são similares em ambos os pontos de estudo do Rio Paranapanema e, equivalem a cerca de metade e um terço dos valores dos Rios Taquari e Apiaí-Guaçu, respectivamente. A interpretação resultante é que quanto maior forem os fluxos/escoamento, maior será a introdução dos nutrientes de fontes não pontuais para o transporte pelos cursos de água. Em consequência, se a ação de fontes não pontuais assume uma grande importância, a hipótese aventada é que, nas bacias onde os fluxos/escoamento são mais altos, o poder de mobilização dos nutrientes das terras é mais elevado. Neste caso, a cobertura vegetal da área da bacia de drenagem não é suficientemente adequada para reduzir a exportação dos nutrientes das áreas terrestres para os cursos de água.

Uma avaliação mais segura do efeito da cobertura e uso dos solos permitirá eventualmente ratificar as conclusões preliminares apresentadas anteriormente. Um estudo desta natureza está sendo desenvolvido (GOUVEIA, em andamento) e confirmará ou rejeitará as hipóteses emitidas.

Investigações sobre o tema abordado neste trabalho são de fundamental importância na estimativa de impacto ambiental e constituem ferramentas necessárias para qualquer prognóstico e recuperação de ambientes degradados.

Tabela V. Correlações entre fluxos de nutrientes e seston ($\text{mg.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$) e escoamento (mm.ano^{-1}) envolvendo as quatro estações de coleta do Alto Paranapanema.

ESPÉCIES QUÍMICAS X ESCOAMENTO	r	R ²
NO_3^- x escoamento	*0.92	0.85
N x escoamento	*0.88	0.77
PO_4^{3-} tot. x escoamento	*0.80	0.64
SRP x escoamento	0.52	0.27
Silica x escoamento	0.61	0.37
Seston x escoamento	0.06	0.004

*r (0.05; 4) = 0.81

Tabela VI. Fluxos de nutrientes por unidade de escoamento ($\text{mg.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$) das quatro estações de coleta do Alto Paranapanema.

RIOS	NO_3^-	PO_4^{3-} tot.
PARANAPANEMA (jusante da barragem)	0.067	0.0123
TAQUARI (Fazenda Agrolim)	0.066	0.0216
APIAÍ-GUAÇU	0.100	0.0360
PARANAPANEMA (Campina do Monte Alegre)	0.122	0.0134

Referências bibliográficas

- BEAULAC, M.N. & RECKHOW, K.H. (1982). An examination of land-use nutrient export relationships. *Wat. Rsour. Bull.* 18:1013-1024.
- CRISTOFOLETTI, A. (1969). Análise morfométrica das bacias hidrográficas. *Not. Geomorfol.* 9:35-64.
- CULLEN, P.; FARMER, N.; O'LOUGHLIN, E. (1988). Estimating nonpoint sources of phosphorus to lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 23:588-593.
- DILLON, P.J. & KIRCHNER, W.B. (1975). The effects of geology and land use on the export of phosphorus from watersheds. *Water Res.* 9:135-148.
- DUARTE, C.M. & KALFF, J. (1989). The influence of catchment geology and lake depth on phytoplankton biomass. *Arch. Hydrobiol.* 115:27-40.
- GOLTERMAN, H.L. & CLYMO, R.S. (1969). *Methods for chemical analysis of freshwaters.* Oxford, Blackwell. 166p.
- HENRY, R. (1990). Estrutura espacial e temporal do ambiente físico e químico e análise de alguns processos ecológicos na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP) e na sua bacia hidrográfica. Botucatu, UNESP, 242p. (Tese - Livre-Docência).
- GOUVEIA, L. Efeitos da geologia, uso do solo e morfologia da bacia de drenagem sobre a exportação de nutrientes em cursos de água do Alto Paranapanema. Dissertação de Mestrado - USP, São Carlos, em andamento.
- GROBLER, D.C. & SILBERBAUER, M.J. (1985). The combined effect of geology, phosphate sources and runoff on phosphate export from drainage basins. *Water Res.* 19:975-981.
- HILL, A.R. (1978). Factors affecting the export of nitrate-nitrogen from drainage basins in Southern Ontario. *Water Res.* 12:1045-1057.
- KIRCHNER, W.B. (1975). An examination of the relationships between basin morphology and the export of phosphorus. *Limnol. Oceanogr.* 20:267-270.
- KOROLEFF, F. (1976). Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. ed. *Methods of seawater analysis.* Verlag Chemie Weheim, p. 117-181.
- LESACK, L.F.W.; HECKY, R.E.; MELACK, J.M. (1984). Transport of carbon, nitrogen, phosphorus and major solutes in the Gambia River, West Africa. *Limnol. Oceanogr.* 29:816-830.
- LEWIS Jr., W.N.; SAUNDERS III, J.F.; LEVINE, S.N.; WEIBEZAHN, F.H. (1986). Organic carbon in the Caura River, Venezuela. *Limnol. Oceanogr.* 31:653-656.
- _____. & SAUNDERS III, J.G. (1989). Concentration and transport of dissolved and suspended substances in the Orinoco River. *Biogeochemistry* 7:203-240.
- LOEHR, R.C. (1974). Characteristics and comparative magnitude of non-point sources. *Journal WPCF.* 46:1849-1872.

- MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. (1978). Water analysis and some revised methods for limnologists. 117p. (Freshwater Biological Association Scientific Publication, 36).
- MARTINELLI, L.A.; FERREIRA, J.R.; VICTORIA, R.L.; MORTATTI, J.; FORSBERG, B.R.; BONASSI, J.A.; OLIVEIRA, E.; TANCREDI, A.C. (1988). Fluxo de nutrientes em alguns rios do Estado de Rondonia, Bacia do Rio Madeira. *Acta Limnol. Brasil.* 2:911-930.
- PEDROSO, F. & BONETTO, C. (1987). Nitrogen and phosphorus transport in the Bermejo River (South America). *Rev. Hydrobiol. trop.* 20:91-99.
- PRAIRIE, Y.T. & KALFF, J. (1986). Effect of catchment size on phosphorus export. *Water Research Bull.* 22:465-470.
- RICHEY, J.E.; HEDGES, J.I.; DEVOL, A.H.; QVAY, P.D.; VICTORIA, R.; MARTINELLI, L.; FORSBERG, B.R. (1990). Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. *Limnol. Oceanogr.* 35:352-371.
- SAUDERS III, J.F. & LEWIS JR., W.M. (1989). Transport of phosphorus, nitrogen and carbon by the Apure River, Venezuela. *Biogeochemistry* 5:323-342.
- SHAFFER, P.W. & CHURCH, M.R. (1989). Terrestrial and in-lake contributions to alkalinity budgets of drainage lakes: an assessment of regional differences. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46:509-515.
- STEVENS, R.J. & SMITH, R.V. (1978). A comparison of discrete and intensive sampling for measuring the loads of nitrogen and phosphorus in the River Main, County Antrim. *Water Res.* 12:823-830.
- TKLAND, J.D.H. & PARSONS, T.R. (1960). A manual of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 125:1-185.

Endereço do autor

HENRY, R.
INSTITUTO BIOLOGIA-DEPT ZOOLOGIA
CX.POSTAL 502 DISTRITO RUBIÃO JR
18610-BOTUCATU