

ESTUDO LIMNOLÓGICO DE UM TRECHO DO RIO MOJI-GUAÇU.
III. AÇÃO DE EFLUENTES DE USINA AÇUCAREIRA
(ÁGUA DE LAVAGEM DE CANA)

(Limnological research in a stretch of the Moji-Guaçu River. III. The influence of sugar factory effluents (washing sugar cane))

Maria Helena MAIER *
Ercius Gerbi DE CHIARA **

RESUMO

Durante os períodos de safra de cana, em 1974 e 1975, foram estudadas características físicas e químicas de um trecho do Rio Moji-Guaçu, a fim de verificar a influência da introdução de água de lavagem de cana sobre a qualidade da água.

As variáveis estudadas em sete pontos foram: temperatura, turbidez, cor, transparência ao disco de Secchi, condutividade elétrica, pH, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, sílica solúvel, ferro total, oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Os resultados mostram que há alteração na qualidade da água e que os efeitos dos poluentes introduzidos são rapidamente eliminados, possivelmente pela alta capacidade de depuração e/ou alta velocidade e vazão do rio.

Esta pesquisa faz parte de um estudo limnológico do Rio Moji-Guaçu, que envolve condições físicas, químicas e biológicas.

ABSTRACT

This paper is part of a limnological study of Moji-Guaçu River, which is located between 22°16'S 46°42'W and 20°47'S 48°11'W. The entire length of the river is approximately 473 km.

The research was carried out from June 1974 to September 1975, and was based on the investigation of some physical and chemical characteristics in a stretch of the river, to study the influence of washing sugar cane, (sugar factory effluents) on the water quality.

The pollutants come from a factory of sugar and alcohol, which delivers its residuals in Bagaçu Stream, a tributary of Moji-Guaçu River.

The parameters studied in seven stations were: temperature, color, turbidity, Secchi disc visibility, alkalinity, pH, electrical conductivity, ammonia, nitrite, phosphate, iron, soluble silica, dissolved oxygen and biochemical oxygen demand (BOD).

In the studied stretch, the effects of the pollutants introduced are readily eliminated, probably because of the high recovery capacity and/or the rapid flow of the river. The effects would be, thus, rather local than extending downstream.

1. INTRODUÇÃO

A caracterização da área estudada consta de publicação anterior em que são consideradas as características físicas da água do Rio Moji-Guaçu (MAIER et alii, 1978).

Aproximadamente 3 km a montante da Cachoeira de Emas, deságua o Córrego Bagaçu que, durante os períodos de

safra da cana, era utilizado por uma usina de açúcar e álcool para os despejos dos efluentes da água de lavagem da cana.

A quantidade de cana moída pela usina, na safra de 1974, foi de 508.000 t em 140 dias (13 de junho a 30 de outubro) e no ano de 1975, 388.000 t em 97 dias (26 de junho a 30 de setembro).

(*) Pesquisador Científico — Seção de Limnologia da Divisão de Pesca Interior do Instituto de Pesca.

(**) Técnico de Laboratório — Seção de Limnologia da Divisão de Pesca Interior do Instituto de Pesca. Atualmente Químico da PLASCAR Indústria de Plástico Reforçado — São Paulo — SP.

Durante esses períodos cerca de 700.000 a 800.000l/h de efluente da água de lavagem da cana, foram lançados no Córrego Baguaçu, aproximadamente 6 km a montante de sua foz.

A partir do início da safra formava-se na foz do Córrego Baguaçu, um depósito de material que aumentava gradativamente, de tal forma que a profundidade naquele local passava de 150 para

10 cm, apesar do aumento do volume de água.

Devido ao fato da safra corresponder ao período em que a pluviosidade é menor, o arrasto do material depositado é mais lento. Terminado o período de safra, os resíduos não eram mais adicionados ao rio e a ocorrência de chuvas torrenciais contribuía para o desaparecimento do material antes acumulado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido durante os períodos de 19 de junho a 22 de outubro de 1974 e 1.º de julho a 23 de setembro de 1975, que corresponderam ao de safra de cana.

Na locação dos pontos de coleta, levou-se em conta a proximidade ou não da fonte poluidora. Cinco pontos foram localizados a montante e dois a jusante da Cachoeira de Emas, sendo o ponto 5 na foz do Córrego Baguaçu e o 5a (locado seis meses após o início do estudo), 200 m a jusante (Figuras 1 e 2).

Os padrões convencionais descritos em AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1960) e em GOLTERMAN (1969), foram obedecidos tanto nas coletas de água como nos métodos analíticos empregados.

As amostras, para análises em laboratórios, foram coletadas quinzenalmente, de bordo de um barco, constituindo-se de água de superfície.

Em cada local de estudo foi registrada a temperatura, utilizando-se termômetro comum de mercúrio e a transparência, disco de Secchi de 20 cm de diâmetro.

Para as medidas de turbidez, cor e condutividade elétrica utilizaram-se turbidímetro, colorímetro e condutivímetro da marca "Hach".

Para a determinação de alcalinidade utilizou-se o método titulométrico, empregando-se como solução indicadora a mis-

tura verde bromocresol e vermelho de metila; o pH da água foi medido no local de coleta com colorímetro de disco "Hach".

Por métodos colorimétricos foram determinadas as concentrações de amônia (Nessler), de nitrito (Griess) e de nitrato (ácido fenol dissulfônico), sendo as leituras feitas em espectrofotômetro, nos comprimentos de ondas de 410, 520 e 410 nm respectivamente.

Ainda por métodos colorimétricos foram determinados o fosfato-orto-fosfato (Denigés), a sílica solúvel (molibdato de amônia) e o ferro total (fenantrolina), sendo as leituras feitas em espectrofotômetro, nos comprimentos de onda de 590, 850 e 510 nm, respectivamente.

O oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅20°) foram determinados pelo método titulométrico de Winkler (modificado) e a saturação de oxigênio foi calculada pelo método nomográfico, utilizando-se a tabela de Truesdale, Downing e Lowden (SCHWOERBEL, 1975).

As leituras espectrofotométricas foram realizadas em espectrofotômetro e computador de concentrações da marca "Bausch & Lomb".

Para o estudo de possíveis alterações na qualidade da água do rio durante os dois períodos de safra de cana, cada variável foi estudada comparando-se a mediana de cada um dos pontos 6, 5 e 5a com aquela calculada para os demais pontos (4, 3, 2 e 1) (Tabelas 1 e 2 e Figura 3).

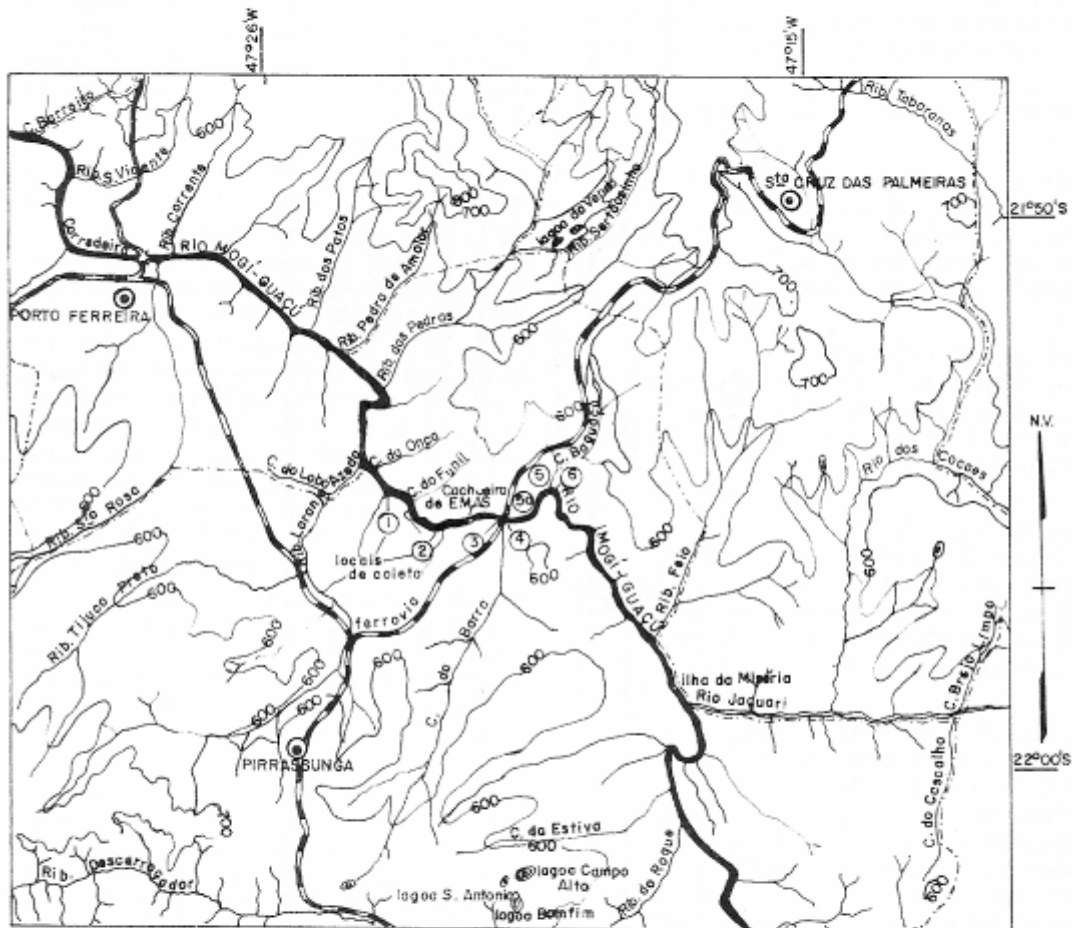


FIGURA 1 — Rio Moji-Guaçu — Localização dos pontos de coleta 1, 2, 3, 4, 5 e 5a e 6. Mapa hidrográfico compreendendo os Municípios de Sta. Cruz das Palmeiras, Pirassununga e Porto Ferreira. Escala 1:235.840.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas grandes alterações na qualidade da água do Rio Moji-Guaçu, na foz do Córrego Bagaçu (ponto 5) e pequenas no ponto 5a, localizado 200 m a jusante da foz do córrego.

3.1 Características físicas

3.1.1 Temperatura, turbidez, cor e transparência

A temperatura da água mostrou diferentes comportamentos nos dois períodos

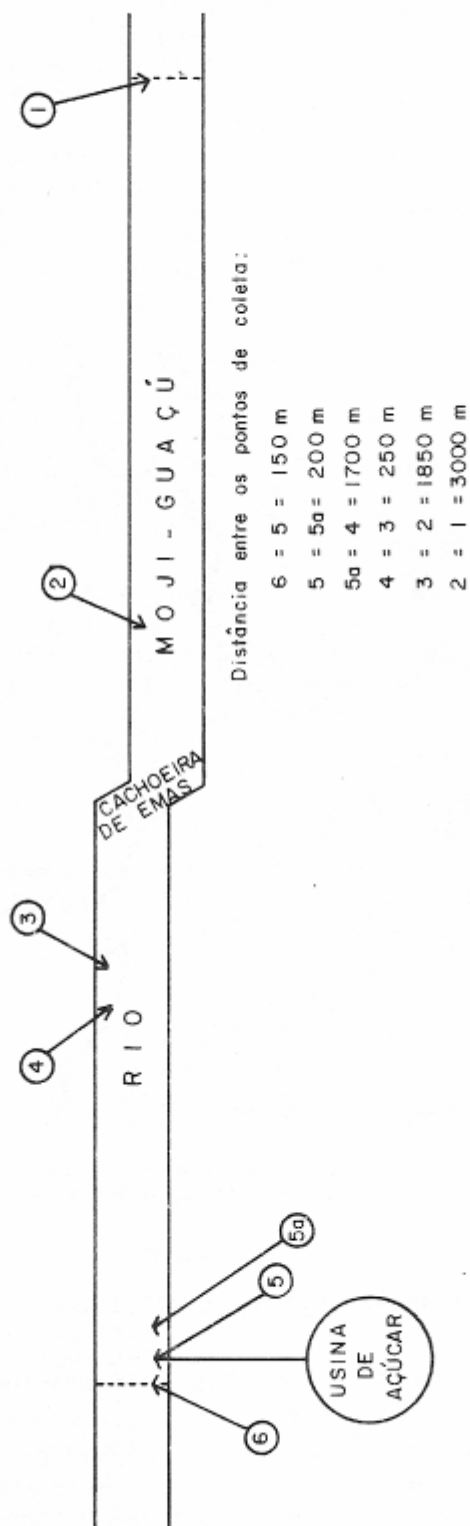


FIGURA 2 — Rio Moji-Guaçu — Esquema indicando os locais de entrada de poluentes orgânicos, os pontos de coleta e a Cachoeira de Emas.

de safra. Em 1974, a mediana no ponto 5 (20,5°C) foi inferior e no 5a (22,0°C), superior àquela observada nos demais pontos de estudo (21,5°C). Em 1975, a mediana do ponto 5 atingiu 2,5°C acima da mediana dos demais pontos (Tabela 1 e Figura 3).

Nos períodos de safra, observou-se que a água do Rio Moji-Guaçu, no ponto 5, apresentava valores de turbidez e cor superiores e de transparência inferiores aos encontrados por MAIER (1977), no mesmo trecho do rio, durante os períodos de chuva que correspondem à intersafra.

Desde o início até o término dos períodos de safra da cana, o ponto 5 apresentou altos valores de turbidez, sendo as medianas 55,2 FTU em 1974 e 42,0 FTU em 1975 respectivamente três e cinco vezes superiores às do restante do trecho estudado (Tabela 1 e Figura 2), enquanto que o ponto 5a, localizado 200 m a jusante, apresentou recuperação da qualidade da água, provavelmente causada pela diminuição de sólidos em suspensão, que, como menciona HYNES (1971), são diluídos e sedimentados ao longo do rio.

Logo após o início dos períodos de safra da cana, a cor das águas do Rio Moji-Guaçu, no ponto 5, apresentou acentuado aumento nos seus valores, provavelmente devido à introdução de pigmentos orgânicos presentes no efluente da usina açucareira.

Em 1974, a mediana no ponto 5 (800 mg/l Pt) foi aproximadamente cinco vezes superior à dos demais pontos, e no 5a, observou-se recuperação na qualidade da água. Em 1975, em relação aos demais pontos, cujas medianas foram de 80 e 100 mg/l Pt, essa diferença foi ainda maior pois a mediana no ponto 5 atingiu 600 mg/l Pt, enquanto que no 5a, 130 mg/l Pt (Tabela 1 e Figura 3).

Os valores da transparência da água a partir do início das atividades da usina, apresentaram diminuição gradativa. A mediana no ponto 5 (15,0 cm), foi em 1974 cerca de três vezes e em 1975 (10,0 cm) seis vezes inferior às do restante do rio; no ponto 5a já era observado de início de recuperação da qualidade da água, 37,0 cm em 1974 e 35,0 cm em 1975 (Tabela 1 e Figura 3).

3.2 Características químicas

As variáveis estudadas revelaram elevada concentração de íons no ponto 5, provavelmente aí introduzidos através das águas do córrego. Sua diluição, ao longo do rio, ocorria rapidamente pois no ponto 5a as medianas eram próximas às observadas no restante dos pontos de estudo.

3.2.1 Condutividade elétrica, alcalinidade e pH

As medianas de condutividade elétrica, no ponto 5 (124,5 μ S/cm em 1974 e 198,0 μ S/cm em 1975) estiveram aumentadas cerca de duas vezes em relação às do restante dos pontos de estudo (Tabela 1 e Figura 3).

Verificaram-se alterações nos valores de alcalinidade total da água, sendo que estas foram, em 1974, menos elevadas que em 1975; observou-se nitidamente que no ponto 5a já havia recuperação da qualidade da água.

Em 1974, a mediana da alcalinidade no ponto 5 atingiu 50,0 mg/l CaCO₃, acusando nos pontos restantes aproximadamente a metade desse valor e, em 1975, 91,0 mg/l CaCO₃, cerca de três vezes a do ponto 5a e quatro a dos demais (Tabela 1 e Figura 3).

O lançamento do efluente da lavagem da cana poderia provocar grandes diminuições dos valores do pH da água do Rio Moji-Guaçu, pois, a água a ser utilizada na lavagem da cana, era mantida com pH entre 9 e 10, ocasionalmente 8, e em caso de acidentes, menor que 6, e segundo MONTEIRO (1975), esse efluente em geral tem o pH variando entre 4,7 e 5,7. Entretanto, as diminuições do pH da água do Rio Moji-Guaçu não foram acentuadas, provavelmente devido ao fato de o lançamento ser realizado no córrego, 6 km a montante de sua foz. Em 1974, no ponto 5, variou de 5,3 a 6,7 e, em 1975, de 5,2 a 6,5, sendo esses resultados pouco inferiores aos dos demais pontos (Tabela 2).

3.2.2 Amônia, nitrito, nitrato, fosfato, sílica e ferro

Estudos realizados por MAIER (1977) mostraram que durante dois anos, outo-

TABELA 1

Rio Moji-Guaçu — Medianas, valores mínimos e máximos calculados para os períodos de safra de cana de 1974 e 1975, para as variáveis físicas e químicas estudadas, nos pontos 6, 5, 5a e em conjunto, 1, 2, 3 e 4.

Pontos de Estudo	1974			
	medianos			
	Valores:			
	mínimos-máximos			
	6	5	5a	1, 2, 3 e 4
Temperatura do Ar (°C)	25,0 19-32	24,0 18-30	23,0 18,5-29,5	25,0 19-32
Temperatura da Água (°C)	21,5 16-25,5	20,5 16-26	22,0 16-26	21,5 16-26
Transparência Secchi (cm)	50,0 30-70	15,0 5-45	37,0 20-50	55,0 28-75
Cor (mg/l Pt)	160,0 100-320	800,0 395-1200	227,0 190-400	150,0 105-325
Turbidez (FTU)	17,5 17-37,5	55,2 11-97,5	26,5 16-45	17,2 12,5-42
Condutividade Elétrica (µS/cm)	60,5 22-80	124,5 60-162,5	64,5 57,5-85	62,5 50-80
Alcalinidade (mg/l CaCO ₃)	23,5 19-30	50,0 29-84	27,5 22-46	23,0 17-31
Amônia (mg/l)	0,125 0,090-0,370	0,420 0,270-0,650	0,180 0,110-0,260	0,152 0,100-0,270
Nitrito (mg/l)	0,009 0,006-0,020	0 0-0,017	0,010 0,008-0,014	0,008 0,003-0,020
Nitrato (mg/l)	0,205 0,080-0,265	0 0-0,240	0,125 0,100-0,430	0,187 0,110-0,560
Fosfato (mg/l)	0,0017 tr-0,0020	0,0044 0,0010-0,0072	0,0022 0-0,0062	0,0019 0-0,0060
Sílica Solúvel (mg/l)	11,1 4,3-17,2	10,5 6,4-16,6	10,7 6,2-14,4	11,7 6,4-16,0
Ferro Total (mg/l)	0,8 0,6-6,7	5,2 0,5-6,5	3,3 0,7-5,8	0,6 0,3-3,5
Oxigênio Dissolvido (mg/l)	7,4 6,2-7,7	3,9 3,0-7,2	6,8 5,8-7,8	7,0 5,5-8,0
Saturação de Oxigênio (%)	86,08 80,62-99,96	47,85 30,64-96,52	80,37 72,25-89,43	82,82 64,86-97,34
DBO ₅ (20°C) (mg/lO ₂)	9,6 3,2-34,2	116,0 8,0-131,2	11,2 3,2-43,2	7,5 3,2-22,4

MAIER, M. H. & DE CHIARA, E. G. 1980 Estudo limnológico de um trecho do Rio Moji-Guaçu. III. Ação de efluentes de usina açucareira (água de lavagem de cana). *B. Inst. Pesca*, São Paulo, 7(único): 93-102, dez.

Pontos de Estudo	1975			
	Valores: medianos mínimos-máximos			
	6	5	5a	1, 2, 3 e 4
Temperatura do Ar (°C)	26,0 19,5-33,5	26,0 23-31,5	26,2 23,5-31,5	26,7 24-32,5
Temperatura da Água (°C)	21,0 17-23	23,5 21-26	21,0 18-23,2	20,0 19-23,5
Transparência Secchi (cm)	60,0 55-75	10,0 5-25	35,0 30-55	60,0 30-75
Cor (mg/l Pt)	100,0 65-115	600,0 500-2000	130,0 85-250	80,0 55-190
Turbidez (FTU)	7,5 1,1-20	42,0 25-110	9,3 1,2-24	8,0 5,5-15
Condutividade Elétrica (µS/cm)	77,5 66-122	198,0 125-350	80,0 68-98	78,0 62,5-102,5
Alcalinidade (mg/l CaCO ₃)	25,5 23-31	91,0 57-111	30,5 22-37	24,0 22-33
Amônia (mg/l)	0,196 0,190-0,330	0,842 0,460-2,400	0,206 0,145-0,230	0,220 0,140-0,320
Nitrito (mg/l)	0,011 0,007-0,017	0 0-0	0,013 0,003-0,035	0,075 tr-0,012
Nitrato (mg/l)	0,211 0,090-0,510	0,543 0,240-0,750	0,157 0,107-0,640	0,215 0,070-0,550
Fosfato (mg/l)	0,0030 tr-0,0050	0,0090 0,0031-0,0012	0,0027 tr-0,0045	0,0014 tr-0,0047
Sílica Solúvel (mg/l)	11,2 10,9-12,6	11,4 11,1-13,8	11,3 10,7-12,9	11,9 10,9-12,6
Ferro Total (mg/l)	0,8 0,4-3,5	2,5 1,2-5,3	1,0 0,7-5,0	0,7 0,4-4,9
Oxigênio Dissolvido (mg/l)	6,4 5,9-8,0	1,8 0,5-7,2	5,2 1,1-6,7	6,2 3,6-8,0
Saturação de Oxigênio (%)	80,97 73,16-93,25	23,16 6,02-88,62	62,27 13,75-79,80	76,89 46,16-94,06
DBO ₅ (20°C) (mg/lO ₂)	— —	— —	— —	10,6 4,3-25,0

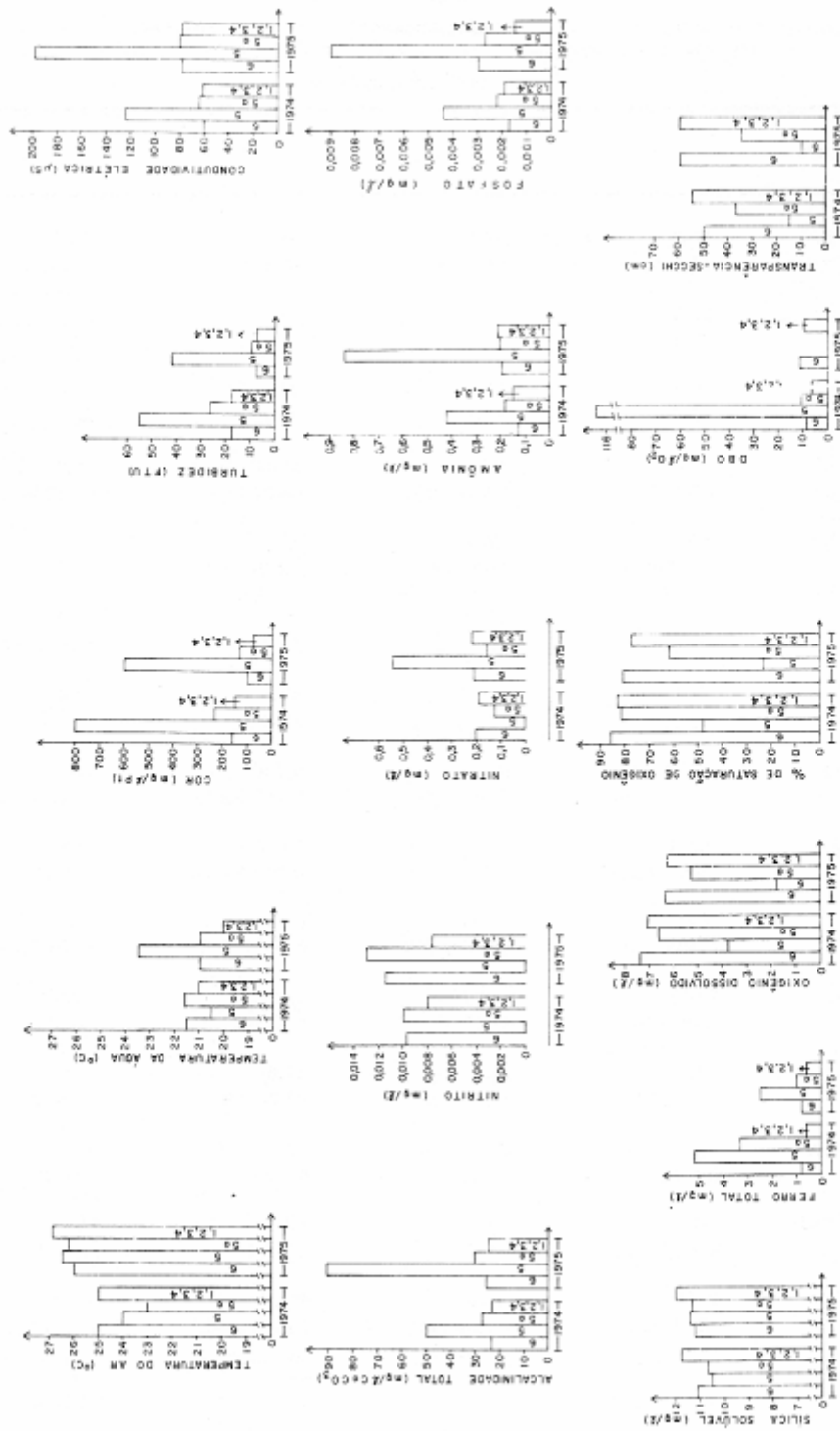


FIGURA 3 — Rio Moji-Guaçu — Comparação das medianas obtidas nos pontos 1, 2, 3 e 4 durante cada período de safra da cana, para cada variável física e química estudada.

TABELA 2

Rio Moji-Guaçu — Valores mínimos e máximos de pH para os períodos de safra da cana de 1974 e 1975 nos pontos 6, 5, 5a e em conjunto 1, 2, 3 e 4.

Pontos de estudo	Mínimo-máximo	Mínimo-máximo
	1974	1975
6	6,8-7,4	6,5-6,7
5	5,3-6,7	5,2-6,5
5a	6,4-6,9	6,2-6,5
1, 2, 3 e 4	6,5-7,4	6,3-6,7

bro de 1973 a setembro de 1975, a água do Rio Moji-Guaçu, na foz do Córrego Bagaçu, apresentou valores de concentração de amônia elevados, indicando que provavelmente esse córrego apresentasse, durante todo o ano, detritos orgânicos em decomposição.

Entre os compostos nitrogenados estudados, os resultados das análises de nitrito revelaram valores mínimos, aquém do limite de sensibilidade do método (Tabela 1 e Figura 3).

Em 1974, a mediana das concentrações de amônia no ponto 5 (0,420 mg/l), duas vezes superior à do 5a, foi três vezes mais elevada que à dos demais pontos; em 1975, a variação foi mais acentuada: 0,842 mg/l no ponto 5, 0,220 mg/l no 5a, 0,196 mg/l no 6 e 0,220 mg/l nos demais (Tabela 1 e Figura 3). As elevadas concentrações registradas no ponto 5 poderiam ocorrer devido à ação inibidora que o excesso de material orgânico tem sobre bactérias nitrificantes.

Enquanto em 1974, no ponto 5, houve apenas um resultado diferente de zero, o mesmo não aconteceu em 1975, quando então a mediana 0,543 mg/l, foi muito superior às do restante do trecho estudado. Em ambos os casos, no ponto 5a as medianas apresentaram valores mais próximos aos dos outros pontos de estudo, 0,125 mg/l em 1974 e 0,157 mg/l em 1975 (Tabela 1 e Figura 3).

No ponto 5, ocorreram elevadas concentrações de fosfato, sendo as medianas superiores às observadas para o Rio Moji-Guaçu, durante o período de chuva por

MAIER et alii (1978) e cujos valores, 0,0044 mg/l em 1974 e 0,0090 mg/l em 1975, foram aproximadamente duas e três vezes superiores aos do ponto 6 e dos pontos 1, 2, 3 e 4; no ponto 5a as medianas 0,0022 e 0,0027 mg/l se aproximaram àquelas observadas no restante do rio (Tabela 1 e Figura 3).

Quanto à sílica solúvel, as alterações ocorridas na água do Rio Moji-Guaçu foram mínimas pois as medianas no ponto 5, 10,5 mg/l em 1974 e 11,4 mg/l em 1975, foram similares às de todos os pontos restantes (Tabela 1 e Figura 3).

No ponto 5, onde uma quantidade relativamente grande de matéria orgânica era acumulada e decomposta, observou-se acentuado aumento nas concentrações de ferro total, sendo que em 1974 o mesmo era observado no ponto 5a, 200 m a jusante desse local.

A mediana das concentrações de ferro total, em 1974, foi no ponto 5 (5,2 mg/l) mais de seis vezes e no 5a (3,3 mg/l) mais de quatro vezes superiores às dos demais pontos de estudo. Entretanto, em 1975, as alterações das concentrações não se mostraram tão acentuadas, pois a mediana no ponto 5 (2,5 mg/l) era três vezes superior e no ponto 5a (1,0 mg/l) próxima à dos demais pontos (Tabela 1 e Figura 3).

3.2.3 Oxigênio dissolvido e DBO

No Rio Moji-Guaçu, durante os períodos de safra da cana, a concentração de oxigênio dissolvido sofreu acentuada

diminuição no ponto 5, o que provavelmente era devido ao desaguamento do Córrego Bagaçu acrescido de poluentes orgânicos, pois o efluente da água utilizada na lavagem da cana representava uma grande fração da água do córrego e segundo MONTEIRO (1975), esses efluentes têm, na sua maioria, teores de oxigênio dissolvido oscilando entre zero e 3,0 mg/l.

Em 1974 foi registrado no ponto 5, um valor mínimo de 2,4 mg/l e em 1975 de 0,5 mg/l, sendo que este último valor correspondeu a uma porcentagem de saturação de oxigênio de 6,02%. Os valores das medianas nos dois períodos, 47,85% em 1974 e 23,16% em 1975, foram muito inferiores àqueles registrados nos demais

pontos, o mesmo acontecendo no ponto 5a (Tabela 1 e Figura 3).

Segundo MONTEIRO (1975), efluentes de usina de açúcar correspondentes à água de lavagem de cana, tem valores de DBO variando entre 180 mg/l e 500 mg/l.

Em 1974, no ponto 5, a mediana de DBO (116,0 mg/l O₂), atingiu valor aproximadamente treze vezes e no ponto 5a (11,2 mg/l O₂) vez e meia superiores às do restante do rio (Tabela 1 e Figura 3).

Apesar do valor da mediana no ponto 5a não ter sido muito elevado, ocorreram alguns valores altos tendo, em 1974, oscilado entre 4,8 e 43,2 mg/l O₂, enquanto que no ponto 5a oscilou entre 8,0 e 131,2 mg/l O₂.

4. CONCLUSÕES

O lançamento dos efluentes, da água de lavagem de cana de açúcar, no Córrego Bagaçu (6 km a montante de sua foz) provoca grande alteração na qualidade da água do Rio Moji-Guaçu, no local do desaguamento do córrego. Os efeitos da introdução desse material no rio são rapidamente eliminados pois 200 m a jusante da foz do córrego essas alterações são pequenas.

A temperatura não apresenta comportamento uniforme, a turbidez e a cor têm seus valores aumentados e a transparência da água é diminuída.

Os valores de condutividade elétrica e alcalinidade, sofrem elevação enquanto que os de pH não apresentam alterações significativas.

A amônia, o fosfato e o ferro têm suas concentrações aumentadas, o nitrato não apresenta comportamento uniforme e o teor de sílica solúvel não se altera.

A concentração de oxigênio dissolvido sofre diminuição e a demanda bioquímica de oxigênio tem seus valores aumentados o que persiste 200 m a jusante da foz do Córrego Bagaçu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1960 *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 11.ed., New York. 626p.
- GOLTERMAN, H. L. 1969 *Methods for chemical analysis of fresh waters*. London, International Biological Programme. 172p. (IBP Handbook, 8).
- HYNES, H. B. N. 1971 Biological effects of organic matter. In:———. *The biology of polluted waters*. Liverpool, Liverpool University Press. cap. 9, p. 92-121.
- MAIER, M. H. 1977 *Estudo da variação sazonal das condições físicas e químicas ao longo de um trecho do Rio Moji-Guaçu — Cachoeira de Emas, Estado de São Paulo*. São Paulo. 102p. (Tese de Mestrado. Instituto de Biociências, USP).
- MAIER, M. H. et alii 1978 Estudo limnológico de um trecho do Rio Moji Guaçu. I. Características físicas. *B. Inst. Pesca*, São Paulo, 5(2):91-107, dez.
- MONTEIRO, C. E. 1975 Brazilian experience with the disposal of waste water from the cane sugar and alcohol industry. *Process Biochemistry*, Denver, 10(9):33-41, nov.
- SCHWOERBEL, J. 1975 *Metodos de hidrobiologia: biologia del agua dulce*. Trad. Francisco Javier Haering Perez. Madrid, Hermann Blume Ed. 262p. Original alemão.