

Estudo da Limnologia e Poluição da Reprêsa Rio das Pedras para Posterior Avaliação da sua Produção Piscícola

PEDRO DE AZEVEDO
HIDEO KAWAI
JOSÉ DE OLIVEIRA VAZ

Departamento de Produção Animal da
Secretaria da Agricultura de S. Paulo

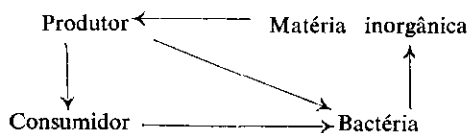
INTRODUÇÃO

Os estudos que tentamos esboçar, nesta nota prévia, são importantíssimos por constituírem o assunto principal do campo da Limnologia. Dêsses estudos, o ciclo de transformação da matéria orgânica e inorgânica, especialmente sua produção, é o tema central, donde a necessidade de esclarecer o conceito da produtividade de um lago, antes de apresentarmos os resultados das nossas pesquisas.

Assim sendo, cumpre-nos destacar que a existência dos organismos vivos em um lago está diretamente relacionado ao ciclo alimentar da água, no qual desempenham especial função os vegetais capazes de transformar a matéria inorgânica em orgânica, utilizando a energia solar.

O ser que não pode produzir matéria orgânica, por não dispor da ação fotossintética, continua a sua vida à custa da matéria orgânica sintetizada fora dêle. Além disso, existem bactérias que transformam a matéria orgânica em inorgânica.

HOGETSU (1953), denominou produtor o primeiro e consumidor o último. A relação mútua entre ambos é a seguinte:



Êste ciclo vital varia qualitativa e quantitativamente com a estação do ano, sendo afetado pela modificação do meio ambiente. Por conseguinte, pode-se dizer que as quantidades de produtores e consumidores variam de acôrdo com o meio ambiente, influenciando, por sua vez, nas condições do ambiente. Por exemplo: o vegetal modifica o equilíbrio do gás carbônico e oxigênio dissolvidos na água e a bactéria age na decomposição da matéria orgânica aumentando a quantidade de sais minerais. Por isso, não podemos considerar, isoladamente, cada elemento, pois existe relação mútua entre o ambiente e o ciclo alimentar, podendo-se qualificar a produtividade como resultado dessas reações.

THIENEMANN (1931) denominou "PRODUÇÃO TOTAL" do lago a quantidade total de matéria orgânica produzida numa determinada área, resultante de assimilação dos vegetais aquáticos e "PRODUÇÃO PURA", que é a quantidade resultante da produção total menos a consumida pela respiração dos vegetais.

No caso de basearmos-nos neste conceito de produção, isto é, considerando-se a produção em cada estágio, podemos avaliar qual a total e qual a pura, porém, como a matéria orgânica produzida pelo produtor pode ser modificada pelos organismos vivos, pode-se dizer que a produção total do lago é devida à ação da fotossíntese porque os organismos vivos não fotossintéticos apenas utilizam parte dessa produção.

Os assuntos, acima tratados, são importantes no campo da ecologia e, assim, com suficiente conhecimento da relação entre os organismos vivos e o meio ambiente, será possível controlar o lago para se avaliar a máxima produção de peixes.

Nesta nota prévia vamos relatar os resultados das pesquisas feitas durante doze meses (de novembro de 1962 a outubro de 1963), frisando-se que as mesmas são, ainda, parciais, porquanto serão necessários vários anos de estudos para se obter um conhecimento completo do ciclo alimentar da represa Rio das Pedras.

CONDIÇÕES GERAIS DA REPRÊSA RIO DAS PEDRAS

A represa Rio das Pedras está localizada a 23° 49' de latitude sul e 46° 31' de longitude oeste, a uma altura de 728,5 m, no Estado de São Paulo, Brasil.

Esta represa com uma profundidade máxima de 11,4 m, área de 7.646 km² e volume de 34.730.000 m³, foi construída em 1926 com a finalidade de armazenar as águas destinadas a acionar os geradores instalados na usina de Cubatão. Sua conformação é irregular, apresentando muitos braços e, em sua zona central, há, constantemente, uma lenta

T A B E L A I

Mês	Nome da Represa	
	REPRÊSA BILLINGS Volume recebido do Rio Pinheiros, mensalmente em m ³	REPRÊSA RIO DAS PEDRAS Volume recebido da Represa Billings mensal- mente em m ³
1962		
Novembro	240.232.686	245.955.938
Dezembro	385.951.726	262.261.405
1963		
Janeiro	522.177.455	277.818.656
Fevereiro	445.739.172	238.178.129
Março	326.140.908	269.285.553
Abril	155.122.888	255.287.975
Maio	129.925.262	257.577.446
Junho	120.838.222	240.511.608
Julho	122.720.302	256.138.193
Agosto	137.563.512	247.757.872
Setembro	115.791.142	187.602.428
Outubro	129.891.255	129.459.374
Total	2.832.094.520	2.867.834.577
Média por dia	7.759.163	7.857.081

Assim, o Rio Pinheiros forneceu, diariamente, à Billings, mais ou menos 7.760.000 m³ e a Billings descarregou no reservatório Rio das Pedras, também diariamente, mais ou menos 7.860.000 m³.

Este fato demonstra que a água da represa Rio das Pedras é grandemente influenciada pela Billings e, conseqüentemente pela do Rio Pinheiros.

O volume d'água do Rio Pinheiros varia de acôrdo com as estações do ano, acusando a quantidade máxima no mês de janeiro e começando a reduzir-se no mês de abril. Conseqüentemente, o nível da represa Billings varia de acôrdo com o volume d'água do Rio Pinheiros, isto é, começa a elevar-se no mês de janeiro (no qual atingiu o Rio Pinheiros o maior volume) e apresenta o seu nível máximo durante os meses de março a abril, começando a reduzir-se no mês de maio para atingir o mínimo em outubro de 1963 (gráf. 2).

A diferença entre o nível máximo e mínimo da Billings, durante o ano, foi de 12 m. Por outro lado, a oscilação do nível do Rio das Pedras não acompanhou êsse desnível, variando apenas 1 m durante o ano, devido, evidentemente, às suas características de reservatório abastecedor da usina de Cubatão (gráf. 1).

As chuvas foram maiores na represa Rio das Pedras do que na Billings, havendo, mesmo, grande diferença como se pode ver no gráfico 3. Este fenômeno deve-se ao fato da represa Rio das Pedras situar-se na crista da Serra do Mar, sôbre a qual, constantemente, pairam nuvens carregadas de umidade provenientes do Oceano Atlântico, situado a menos de 30 km de distância.

De um modo geral, as maiores precipitações pluviométricas nos reservatórios ocorreram nos meses de novembro a março de 1963.

A forma e a localização da represa estão representados na planta anexa.

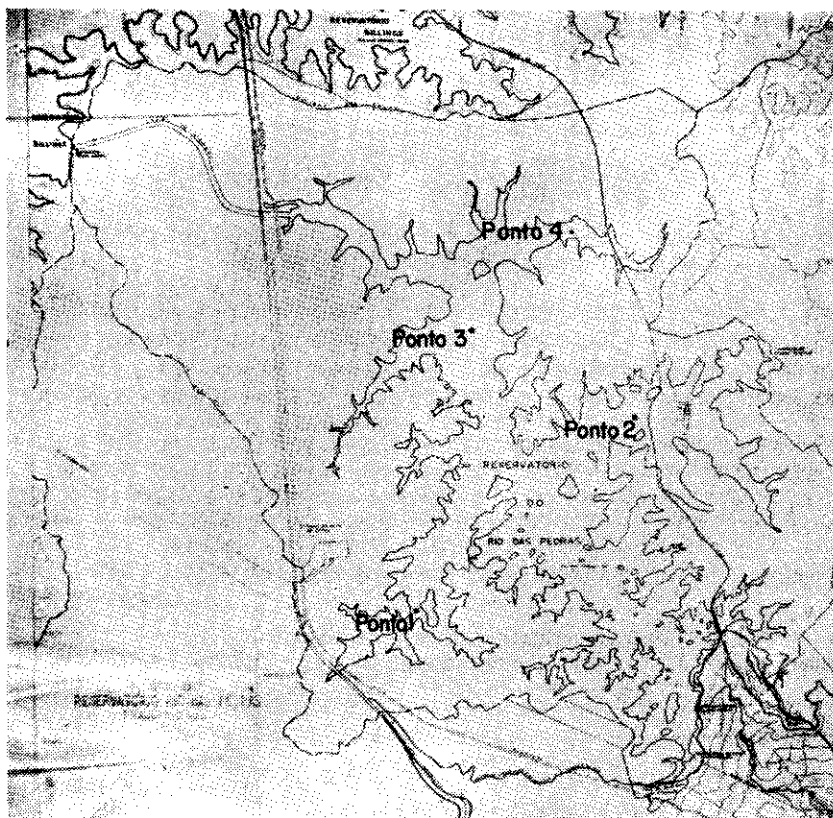
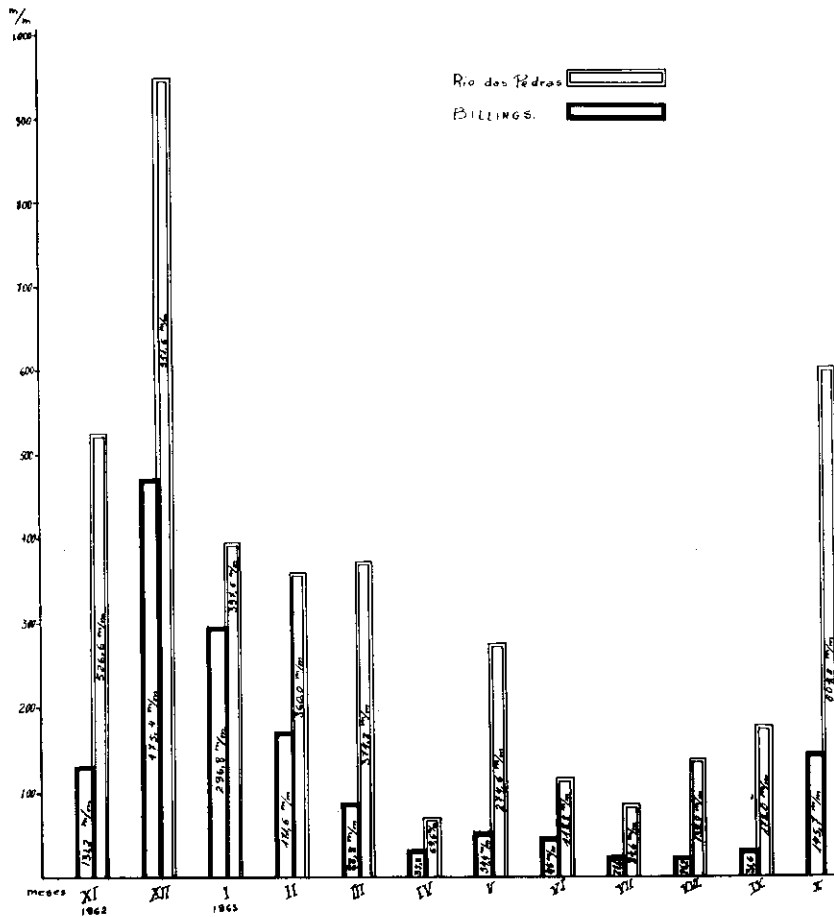


GRÁFICO 3

PRECIPITAÇÕES PLUVIÔMETRICAS MENSAIS NAS REPRESAS
DO RIO DAS PEDRAS E BILLINGS



MÉTODOS EMPREGADOS NA PESQUISA LIMNOLÓGICA

As amostras para análise foram coletadas em 4 pontos distintos da represa Rio das Pedras, em diferentes profundidades.

Para a escolha dos pontos de coleta das amostras levou-se em consideração não só o formato irregular do represamento, como também a sua modalidade de abastecimento, desde que o mesmo é feito pela represa Billings, através do canal, cuja correnteza percorre, pelo menos em parte, aquele reservatório, como esclarece a planta anexa.

As coletas das amostras foram realizadas cada mês, desde novembro de 1962 a outubro de 1963.

O coletor de águas empregado é do tipo Renz. Às amostras, após a coleta, foram acrescidas de 1 gota de xilol para conservá-las até que se realizassem as análises finais no laboratório. O oxigênio foi fixado no próprio local das coletas.

Os aparelhos e métodos empregados nas pesquisas foram:

- | | |
|----------------------------------|---|
| Para a temperatura da água | termômetro reversível |
| " " transparência | disco de Secchi, com diâmetro de 25 cm. |
| " o oxigênio dissolvido | método de Winkler. |
| " " pH | disco colorimétrico. |

" a alcalinidade	titulação pelo ácido sulfúrico de 0,02 N com o indicador de M. O.
" " matéria orgânica solúvel	método volumétrico pela titulação com $KMnO_4$, em meio ácido.
" " matéria orgânica sestônica em volume	decantação da água e centrifugação posterior do precipitado a 2.000 r.p.m., durante 10 minutos.
" " matéria orgânica sestônica em peso seco	emprego da filtração e secagem. Esta determinação foi realizada somente durante os últimos 6 meses, por dificuldades iniciais.
" o fosfato solúvel	método de Denigès Atkins.
" " nitrato	método da difenilamina.
" " nitrito	método de Griess — Romijn
" a amônia	método de Nessler em meio destilado.
" o ferro	método colorimétrico.
" " plâncton	emprego de rês com contagem de indivíduos pela célula de Rafter, exceção feita para <i>Microcystis</i> que foi contado por colônias.

T E M P E R A T U R A

As condições de estratificação e circulação das águas foram variáveis de acordo com o ponto de coleta das amostras (gráficos: 4, 5, 6 e 7). Os pontos 2 e 3 quase não apresentaram estratificação durante a pesquisa. No ponto 2, pela variação vertical dos elementos físico-químicos e pela quantidade de seston (gráficos 5 e 21), positivou-se sempre uma circulação da água nas profundidades de 5 e 6 metros. Essa circulação deve ser oriunda do canal formado pela ponte de 20 m de comprimento, que efetua a ligação de 2 braços da represa (planta anexa). O ponto 3 situa-se nas proximidades da entrada da água proveniente do reservatório Billings e, portanto, está sempre agitado pela correnteza. Nos pontos 1 e 4 encontrou-se uma estratificação, durante os 12 meses de pesquisa, que foi mais acentuada de novembro a abril. Nos meses de maio, junho e agosto, essa estratificação diminuiu muito porque, além da circulação motivada pelos ventos, a baixa de temperatura (18° : 22°) reduziu a diferença da densidade das águas nas diversas profundidades. Além disso, a circulação foi ainda facilitada pela pequena variação da temperatura (1 a 2°) entre a superfície e o fundo. A camada de descontinuidade acentuou-se especialmente no mês de abril e no de novembro, no ponto I (gráfico 4).

RUTTNER cita que a posição da camada de descontinuidade é tanto mais profunda quanto maiores forem as dimensões do lago. Não comprovamos tal fato nas nossas pesquisas, no Rio das Pedras.

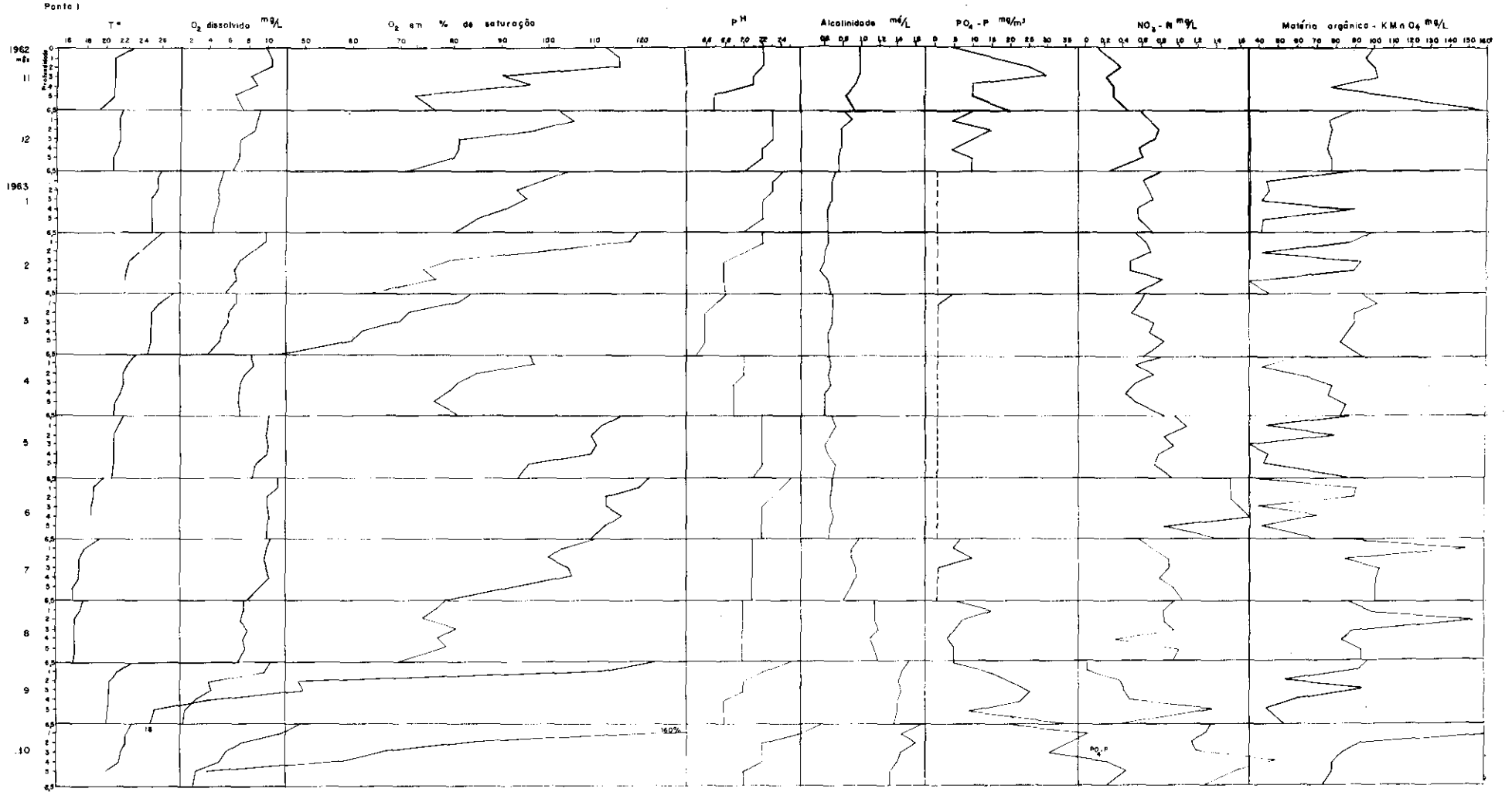
A temperatura máxima, na superfície da água, acusou $27,2^{\circ}C$ (ponto 1) em março e, a mínima, $17,8^{\circ}C$ (ponto 2) em agosto, donde a diferença de $2,4^{\circ}C$. No fundo da represa, a temperatura máxima foi de $25,2^{\circ}C$ (ponto 3), em março e, a mínima, $16,5^{\circ}C$ (ponto 2), em agosto, donde a diferença de $8,7^{\circ}C$.

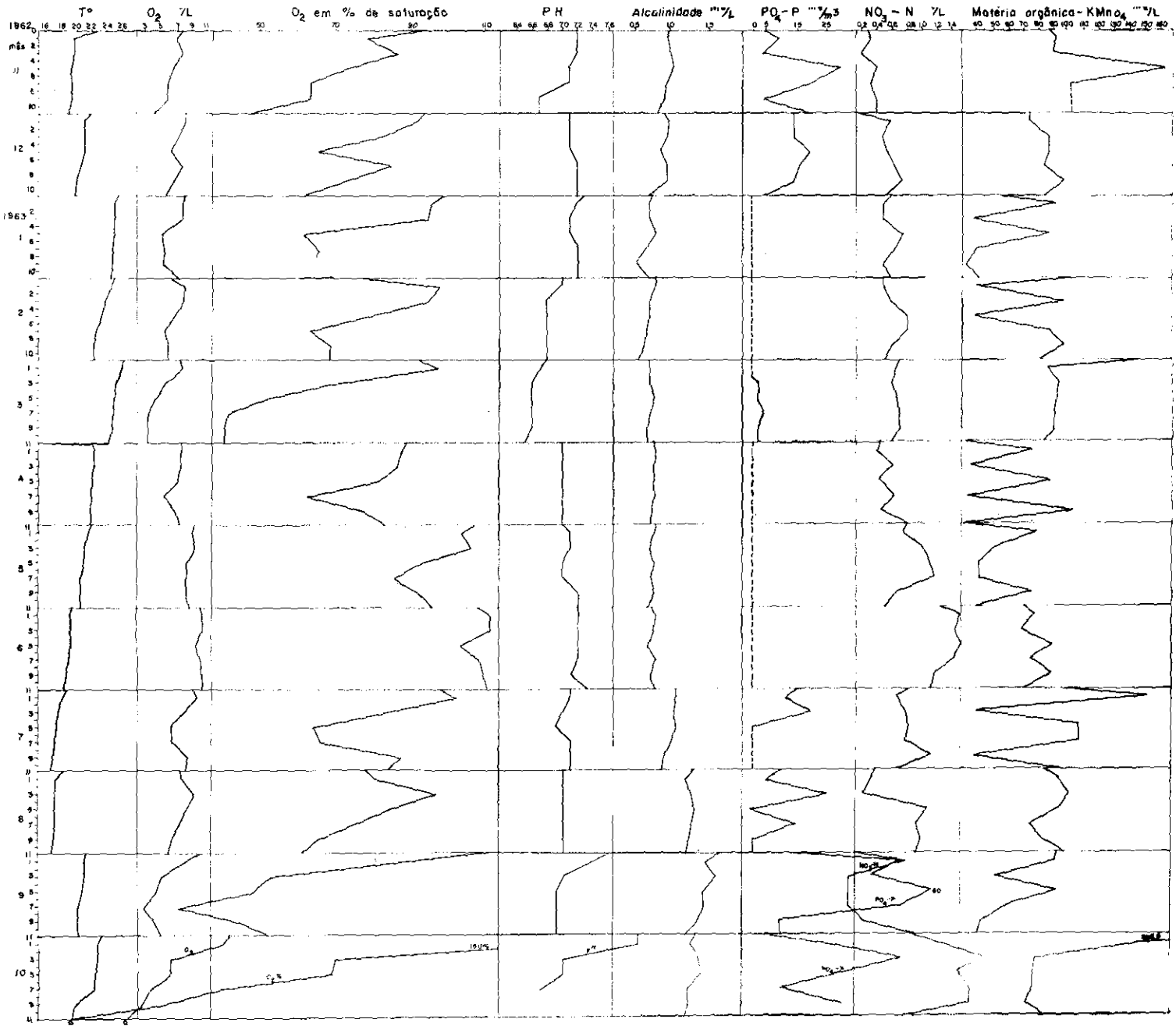
A variação anual da temperatura da água nas diferentes estações de coleta está contida no gráfico 8, o qual acusa temperatura da água mais elevada nos meses de janeiro a março e, menor, no mês de agosto, elevando-se, daí por diante, novamente.

HUTCHINSON (1957) classificou os lagos nos seguintes tipos, de acordo com a temperatura da água.

- a) lago monomítico frio, no qual a temperatura não ultrapassa de $4^{\circ}C$ em qualquer profundidade, durante todo o ano.
- b) lago monomítico quente, em que a temperatura permanece acima de $4^{\circ}C$ em qualquer profundidade, durante todo o ano.
- c) lago dimítico, onde há dois períodos de circulação da água e dois de estratificação.

GRÁFICO 4





Ponto 3

GRÁFICO 6

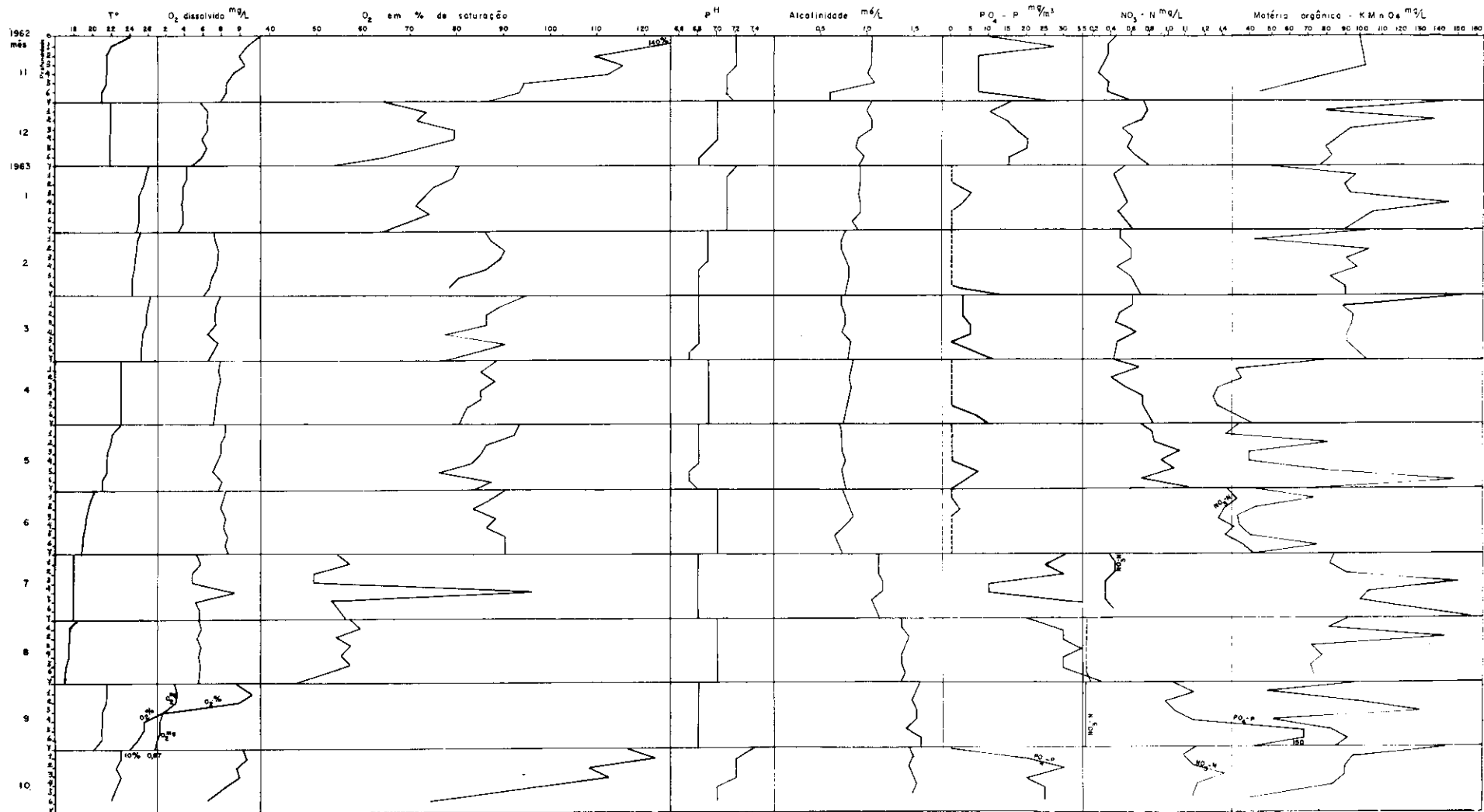


GRÁFICO 7

Ponto 4

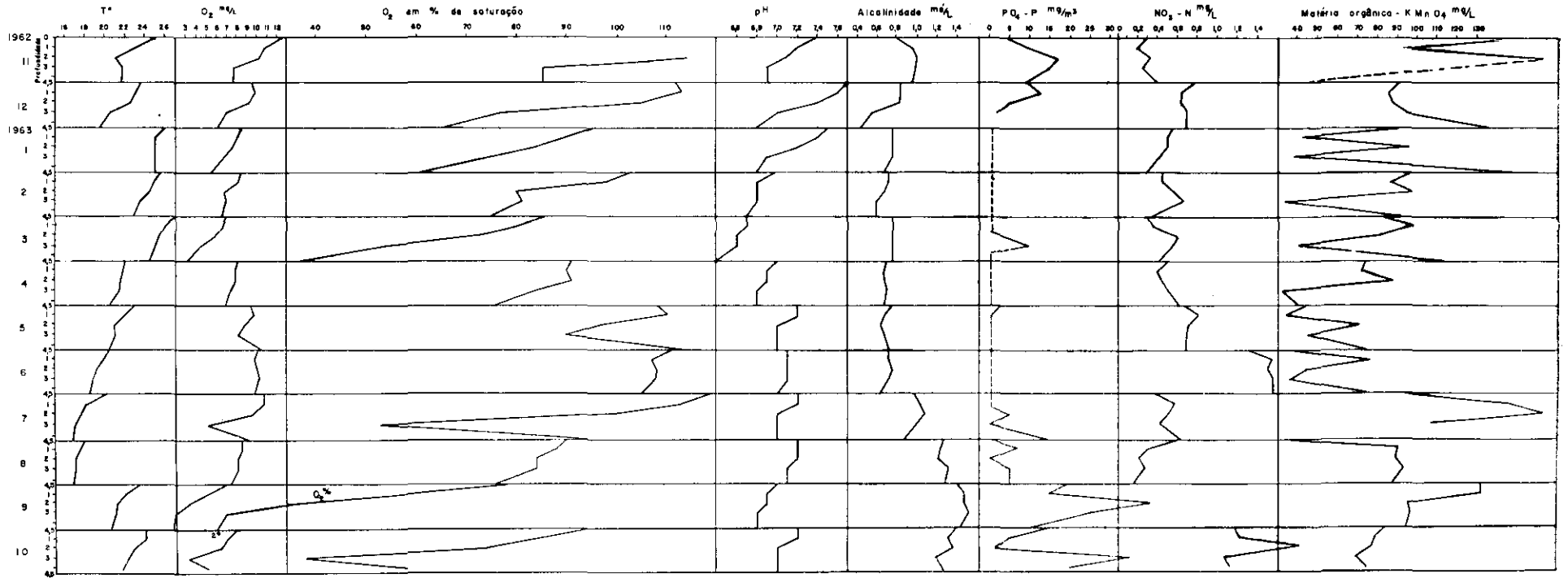
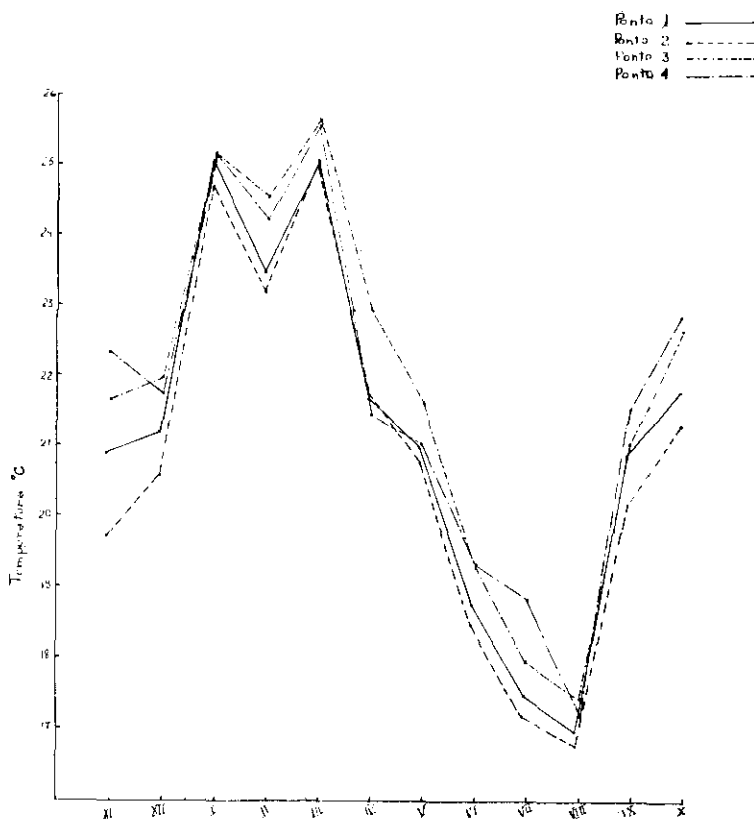


GRÁFICO 8
 VARIAÇÃO ANUAL MÉDIA DA TEMPERATURA NOS PONTOS DE COLETA



Segundo tal classificação, a represa Rio das Pedras pode ser considerada como sendo do tipo monomítico quente.

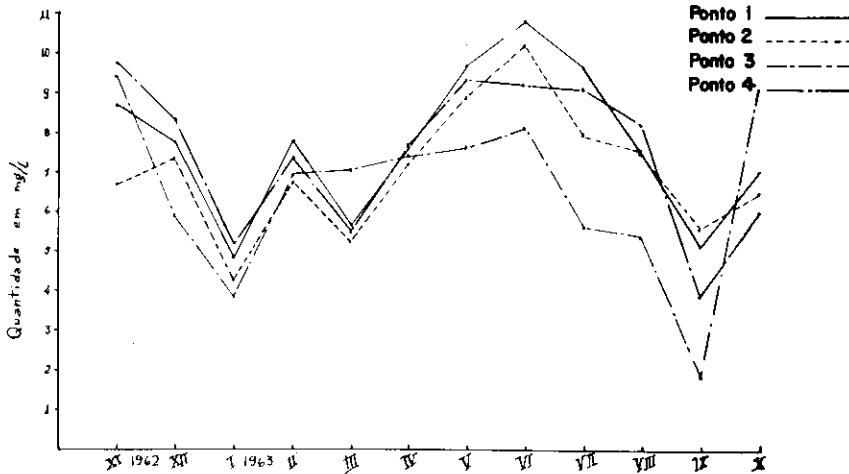
A temperatura tem grande influência na produtividade aquática. A matéria orgânica sofre decomposição, iniciando-se na camada média e terminando no fundo do lago (HOGGETSU, 1961), fenômeno esse encontrado também no reservatório do Rio das Pedras e que pode ser explicado pelas precárias condições do oxigênio dissolvido, nas épocas de estratificação (gráficos: 4, 5, 6 e 7). Nesse processo de decomposição, uma parcela da matéria orgânica, transformada em inorgânica, dissolve-se na água, sendo utilizada na produção fitoplanctônica que, por sua vez, alimentará o zooplâncton e os outros animais aquáticos, inclusive o peixe. Este ciclo de produção é influenciado, grandemente, pela temperatura, cuja elevação acelera a sua rapidez. Os fatores acima mencionados são os responsáveis pelo enquadramento deste reservatório entre os lagos denominados eutróficos, isto é, lagos de grande produtividade. Todavia, nem sempre os lagos monomíticos quentes possuem produtividade maior do que os dimíticos. De acordo com os trabalhos realizados por KLEEREKOPER na represa Guarapiranga, em São Paulo, verifica-se que não há grande diferença entre a produção desta represa e a dos lagos dimíticos durante todo o ano. Isso se deve ao fato de que no inverno ainda há altas temperaturas favorecendo certa reprodução planctônica, traduzida pelo consumo dos sais minerais.

O X I G Ê N I O

A variação vertical do oxigênio dissolvido, em cada ponto do Rio das Pedras, está representada nos gráficos, 4, 5, 6 e 7. Verifica-se que nos pontos 1 e 4 há as curvas de clinograde durante quase todo o ano, curvas essas que se acentuam, principalmente, na época de estratificação. Assim, podemos assinalar que, no ponto 4, a percentagem

de oxigênio em saturação, no mês de setembro, acusou 81%, na superfície, e 20%, no fundo (4,5 m) e, no mês de outubro, no ponto 1, 160% na superfície e 25% no fundo. Somente nos meses de maio a julho houve tendência de redução da curva, aumentando, destarte, a quantidade de oxigênio dissolvido em tôdas profundidas (gráfico 9), fato êsse motivado pela circulação da água devido à baixa da temperatura.

GRÁFICO 9
VARIAÇÃO ANUAL MÉDIA DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO NOS PONTOS
DE COLETA



Nos pontos 2 e 3, não se encontraram acentuadas as curvas de clinograde em decorrência das particularidades mencionadas no ítem relativo à temperatura.

Comprova-se que as acentuações da curva clinograde são, evidentemente, causadas pela ação fotossintética e pela oxidação da abundante matéria orgânica (gráficos 15 e 21). YOSHIMURA (1937) afirma que se pode conhecer, até certo ponto, a riqueza de um lago, observando-se, simplesmente, a condição da curva do oxigênio dissolvido. Isto quer dizer que quanto mais rico fôr um lago mais acentuada será a curva de clinograde, e vice-versa. Do que foi dito, conclui-se, mais uma vez, que a repêsa Rio das Pedras pertence ao grupo dos lagos eutróficos.

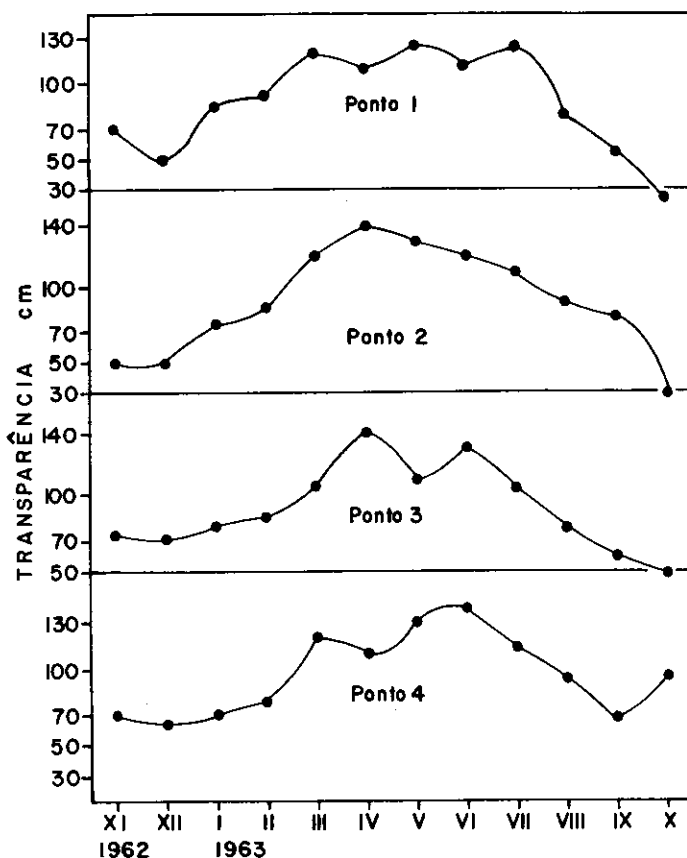
TRANSPARENCIA DA ÁGUA

A intensidade de luz na água varia com a profundidade e com o coeficiente de absorção que é determinado, principalmente, pela quantidade de seston contido na água. Por conseguinte, o coeficiente de absorção da luz é menor nos lagos oligotróficos do que nos eutróficos, sendo maior no verão e menor no inverno. YOSHIMURA (1936) diz que, no limite do desaparecimento do disco de Secchi, seu valor varia de 12 a 20% da intensidade na superfície, e CLARK (1946) calcula êste valor em cêrca de 16%. Assim, a transparência da água oscila de acôrdo com o coeficiente de absorção da luz, ou seja, com a quantidade de seston.

A variação anual da transparência da água no Rio das Pedras, está representada no gráfico 10. A tendência geral, nos 4 pontos de coleta, foi acentuada de janeiro em diante, até alcançar o máximo nos meses de março a julho, decrescendo, a seguir, até o fim da pesquisa. A transparência mínima foi de 25 cm, em novembro, no ponto 1 e a máxima, de 140 cm, em março, nos pontos 2 e 3. Nota-se que êstes valores são relativamente pequenos em relação aos dos lagos dimíticos, especialmente o valor mínimo de verão, que é semelhante ao das águas adubadas dos tanques de criação, onde se encontra um plâncton extremamente denso. Dessas observações, conclui-se que esta repêsa possui grande quantidade de seston.

GRÁFICO 10

VARIAÇÃO ANUAL DE TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA NOS PONTOS DE COLETA



As pesquisas de HOGETSU (1961) sôbre a relação da transparência da água e a quantidade de seston do lago "Suwa", no Japão, demonstram que a transparência acusou 10 mg/L de seston a 1 metro, e 3 mg/L a 2 metros. Essas quantidades são relativamente maiores do que as dos lagos europeus. Na represa Rio das Pedras, a transparência da água apresentou-se um pouco maior do que a mencionada por HOGETSU (Tabela II). Esta diferença deve ser devida à intensidade luminosa comum à região tropical.

TABELA II

Comparação entre os valores médios da transparência e quantidade de seston nos quatro pontos da represa Rio das Pedras.

Ítem	Mês	V	VI	VII	VIII	IX	X
	transparência — cm		124,0	126,0	116,0	86,0	70,0
Seston em pêso sêco mg/l		10,60	9,24	12,61	13,41	11,39	15,72

PROFUNDIDADE DE COMPENSAÇÃO

Profundidade de compensação é o ponto em que os valores de produção de oxigênio pelos organismos vivos anulam os da sua respiração. Acima deste ponto, a ação fotossintética é maior do que a respiração, verificando-se o contrário abaixo do mesmo.

A profundidade de compensação foi determinada no mês de setembro, no ponto 4. Para tanto, foram colocados vidros contendo a água coletada anteriormente nas mesmas profundidades. Comparando-se, depois, a quantidade do oxigênio dissolvido da água dos vidros, decorridas 24 horas, com a quantidade encontrada no início, obteve-se a "Net assimilação".

Os resultados dessas provas estão representados na Tabela III e gráfico 11. Na superfície da água houve um aumento considerável da quantidade de oxigênio dissolvido, após 24 horas, pela acentuada ação fotossintética decorrente da abundância do fitoplâncton, porém, a 1 metro de profundidade, a quantidade de oxigênio dissolvido mostrou-se menor do que a inicial. Isto significa que, sendo a luz absorvida rapidamente pela abundância do seston, na camada superior, a menor intensidade de luz, a 1 metro de profundidade, reduziu a fotossíntese.

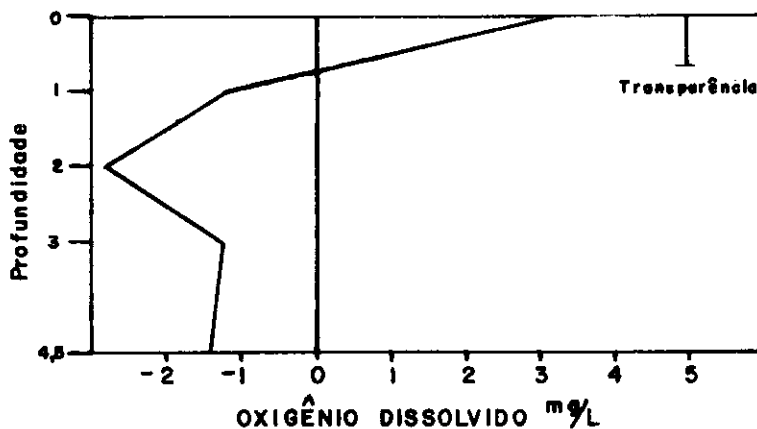
TABELA III

Resultado da verificação da profundidade de compensação no ponto 4 da represa
Rio das Pedras

Data: 9-9-1963.

Item: Profundidade	O ₂ mg/l no início	O ₂ mg/l após 24 hs	O ₂ mg/l "Net assimilação"
0 ^m	6,98	10,19	+ 3,21
1	5,32	4,12	- 1,20
2	3,14	0,27	- 2,87
3	1,91	0,66	- 1,25
4,5	1,83	0,42	- 1,41

GRAFICO II



Dêsses estudos, concluiu-se que a profundidade de compensação, situa-se a 80 cm, e que equivale a dizer que a camada de água superficial, considerada produtora do plâncton, mede aproximadamente 80 cm de profundidade.

Sòmente 15 a 16% da intensidade luminosa da superfície da água atingem a profundidade de transparência (KIKUCHI, 1953, CLARK, 1946), e 3 - 5% a de compensação (PERSALL, 1920 e HOGETSU, 1953), devendo existir alguma relação entre ambas.

YOSHIMURA (1937) calculou que a profundidade de compensação corresponde 1,25 vèzes a de transparência, e HOGETSU (1954) assinalou 2,1 vèzes, nas suas pesquisas nos lagos "Suwa" e "Kizaki".

No Rio das Pedras, sendo a transparência de 70 cm, a profundidade de compensação correspondeu a 1,14 vèzes da profundidade de transparência, valor inferior aos de YOSHIMURA e HOGETSU, devendo ter havido a influência da atividade bacteriana, como consequência da abundância de matéria orgânica e da elevada temperatura.

MATÉRIA ORGÂNICA

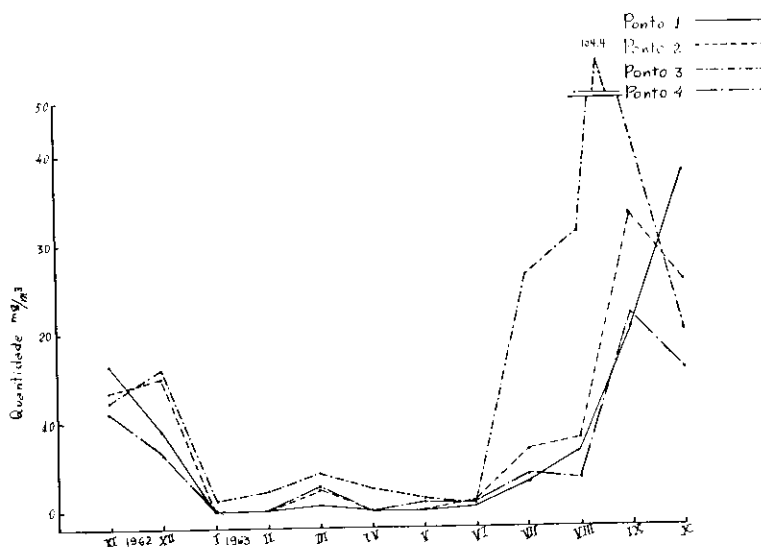
Se os lagos ricos em sais minerais são produtivos e os lagos pobres dêstes elementos, improdutivos, isto se deve ao fato dos sais minerais serem essenciais à formação das algas, contribuindo, portanto, para a fotossíntese, sem a qual não haverá produção da matéria orgânica. A quantidade de sais minerais constitui cêrca de 20 a 30% do pêso sêco dos organismos vivos nos lagos (JUDAY, BIRGE, 1922), donde a sua importância para a vida dos mesmos e na ausência de apenas um dêstes sais a formação da matéria orgânica ficaria prejudicada. Em geral, não há falta dêstes elementos em condições naturais, exceto de nitrogênio, fósforo e ferro (ATKINS, 1926, YOSHIMURA, 1937).

Na reprêsa Rio das Pedras determinamos especialmente o fosfato solúvel e o nitrato.

a) Fosfato solúvel:

A variação média anual do fosfato solúvel está representada no gráfico 12.

GRÁFICO 12
VARIAÇÃO ANUAL MÉDIA DO FOSFATO DISSOLVIDO NOS PONTOS DE COLETA



Os valores mínimos e máximos foram de 0 a 150 mg/m³ e sua variação foi muito ampla durante algumas épocas do ano. Reduziu-se rapidamente, quase desaparecendo no mês de janeiro. Essa situação perdurou até junho e, a partir deste mês, aumentou consideravelmente, até alcançar seu valor máximo no mês de setembro, quando apresentou o valor médio de 104,4 mg/m³, no ponto 3.

No mês de janeiro, a quantidade de seston (gráficos 15 e 21) reduziu-se e a transparência aumentou (gráfico 10). Isso coincidiu com o desaparecimento do fosfato no mesmo mês, indicando, claramente, que a produção do plâncton se reduziu devido à ausência desse elemento que, neste caso, comportou-se como o fator limitante da produção planc-tônica da reprêsa.

Qual seria a razão do desaparecimento do fosfato, durante 5 meses, e do seu aumento tão intenso, no decorrer do mês de setembro? Já vimos que o abastecimento da reprêsa Billings é feito, em grande parte, pelas águas do rio Pinheiros, através de bombeamento e, de acôrdo com as estações do ano, essas águas estacionam, por algum tempo, nessa reprêsa, antes de alcançarem o reservatório Rio das Pedras. Ora, como as águas do Rio Pinheiros são altamente poluídas, contendo grande quantidade de matéria orgânica e inorgânica (Tabela IV), conclui-se que esse material, depois de sofrer modificações, concorre para a adubação das águas da reprêsa Billings e, ipso fato, das do Rio das Pedras. Iniciada a estação chuvosa, a quantidade de água do Rio Pinheiros começa a aumentar a partir do mês de dezembro (Tabela 1), alcançando o máximo no mês de janeiro. Nesse período, a quantidade de fosfato solúvel desapareceu completamente em todos os pontos da reprêsa Rio das Pedras porque não só houve grande diluição dos fosfatos no rio Pinheiros, como também absorção do mesmo pelo fitoplâncton produzido no reservatório Billings. À medida que a quantidade de água do Rio Pinheiros foi se reduzindo, a partir do mês de abril, os elementos provenientes das águas poluídas concentraram-se, porém, em contraposição, o aumento do volume da Billings, que alcançou o máximo nos meses de março a abril, ocasionou, conseqüentemente, a diluição dos elementos orgânicos e minerais, especialmente o fosfato. Esse fato, somando ao consumo desse elemento pelo fitoplâncton da mesma reprêsa, provocou o quase desaparecimento do fosfato no reservatório Rio das Pedras, durante aquele período que se estendeu até julho.

TABELA IV

Resultado das análises d'água do rio Pinheiros

Elemento \ Data	13/5/63	11/6/63
Oxigênio O ₂ mg/l	0,0	0,0
NO ₂ -N mg/l	0,0	0,0
NO ₃ -N mg/l	0,0	0,0
NH ₄ -N mg/l	4,2	3,3
Alcalinidade mé/l	—	1,76
PO ₄ -P mg/m ³	70	60
Mat. orgânica p/KMnO ₄ mg/l	175,36	165,12
pH	6,4	6,4

A explicação, acima apresentada, se comprova pela diminuição do volume d'água da Billings no mês de julho (gráfico 2).

Embora não houvesse fosfato durante quase cinco meses, como foi constatado, isso não impediu certa reprodução do fitoplâncton. Como explicar semelhante fato? Da seguinte maneira: geralmente, no lago que apresenta uma curva de "clinograde", a quantidade de fosfato aumenta com a profundidade (Einsele), verificando-se considerável concentração no hipolimnio durante a estratificação, porque o leito do lago liberta fosfato em consequência da decomposição anaeróbica da matéria orgânica. À medida que o seston afunda, decompõe-se libertando fosfato (HUTCHINSON, 1961) e quanto mais elevada for a temperatura mais rapidamente se processa a decomposição. Como há no Rio das Pedras muita matéria orgânica em qualquer das camadas e é a sua temperatura sempre superior a 16°C, somos levados a admitir que o fosfato liberado pela decomposição dessa matéria orgânica é utilizado imediatamente pelo fitoplâncton e, como é muito pequeno o espaço de tempo em que o fosfato livre na água, não pode ser ele determinado.

Além da importância do fosfato solúvel na economia desta represa, faltam-nos maiores estudos sobre alguns pontos, como, por exemplo, a demanda biológica de fosfato para as diversas espécies de fitoplâncton e um estudo mais exato do movimento alóctone e autóctone dos fosfatos.

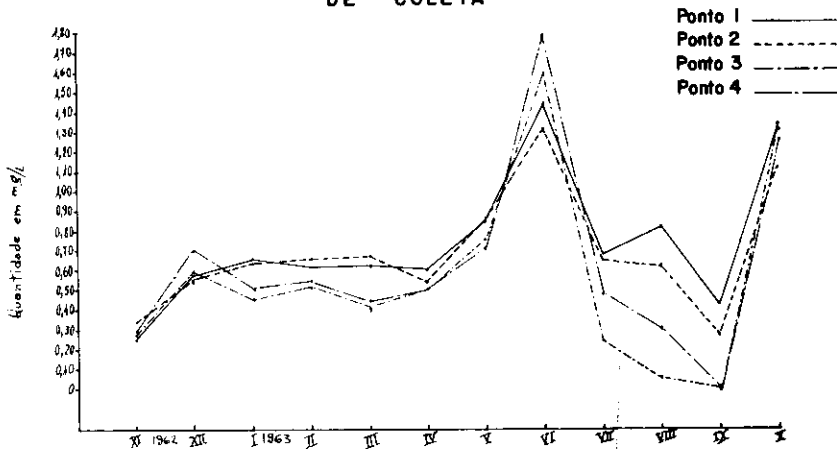
b) Nitrogênio:

A ação do nitrogênio, essencial para a produção do fitoplâncton, é indiscutível porque concorre para a formação da proteína necessária à vida dos organismos. A transformação do nitrogênio inorgânico em orgânico é executada pela fotossíntese, toda vez que o nitrogênio é absorvido pelo fitoplâncton sob as formas de amônia e nitrato, de acordo com a preferência de cada espécie (HUTCHINSON, 1957).

A variação anual do nitrato nos diferentes pontos de coleta, no Rio das Pedras, consta do gráfico 13.

GRÁFICO 13

VARIAÇÃO ANUAL MÉDIA DE NITRATO NOS PONTOS DE COLETA



Não se encontrou uma acentuada variação em todos os pontos, durante o período de novembro de 1962 a abril de 1963, porém sua quantidade começou a aumentar no mês de maio. Em junho, encontraram-se os maiores valores em todos os pontos de coleta, especialmente no 3 (1,8 mg/L). Este fato decorreu na época da circulação da água e, daí, o fornecimento suficiente de oxigênio dissolvido que acelerou a nitração, aumentando, conseqüentemente, a quantidade de nitrato.

No mês de julho, a quantidade de nitrato reduziu-se, tendo chegado a 0 mg/L, nos pontos 3 e 4, devido a falta de oxigênio dissolvido (gráfico 9). No mês de setembro,

também acusou um valor menor, porém, no mês de outubro, verificou-se um aumento em todos os pontos de coleta, com a elevação da quantidade de oxigênio dissolvido.

Estes resultados demonstram que a variação anual da quantidade de nitrato, do ponto de vista da produtividade, é considerado suficiente para a reprodução do fitoplâncton durante todo o ano, exceto no mês de setembro, e a redução da quantidade de nitrato, nesse mês, condicionou uma reduzida produção do fitoplâncton, comportando-se o nitrato como fator limitante (gráficos 15, 17, 18, 19 e 20). Contudo, podemos admitir que u'a maior queda da produção do fitoplâncton não se operou, não obstante a ausência do nitrato, porque a maior quantidade de amônia encontrada na superfície da água (1,4 mg/L no ponto 1; 1,2 mg/L no ponto 4; 1,3 mg/L no ponto 3 e 0,9 mg/L no ponto 2) foi melhor aproveitada por algumas espécies.

c) Alcalinidade e pH:

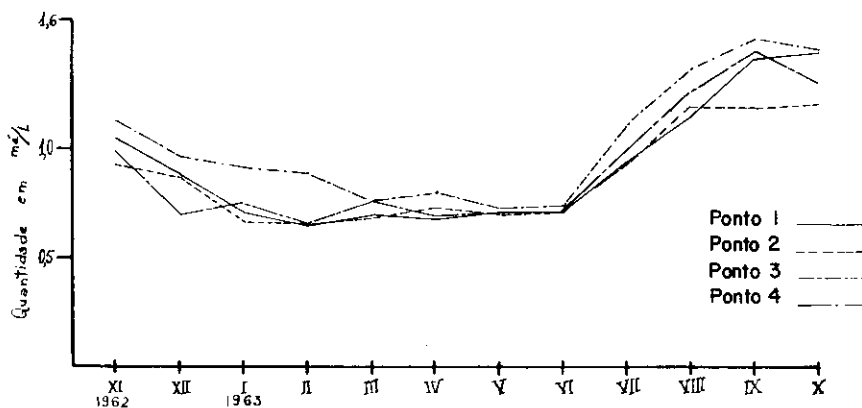
Como se sabe, a alcalinidade desempenha papel importante na produção lacustre, pois o gás carbônico participa diretamente da ação fotossintética. Nos lagos e tanques do continente norte americano, o índice de alcalinidade costuma oscilar entre 0,006 a 4 mé/1, havendo uma relação proporcional entre a alcalinidade e a produção de peixe. De acôrdo com SATOMI (1962), a alcalinidade é baixa nos lagos nipônicos, geralmente em tórno de 0,2 a 0,6 mé/1, confirmando-se a íntima relação acima mencionada.

Assim sendo, pode-se afirmar que quanto maior fôr a alcalinidade, dentro de determinado limite, tanto maior será a produção piscícola.

A variação da alcalinidade está representada no gráfico 14 e apresentou-se com tendência a diminuir de janeiro até junho, e a aumentar em julho. Sua quantidade mínima foi de 0,56 mé/L no ponto 2, em fevereiro, e a máxima 1,64 mé/L no ponto 1, em outubro.

GRÁFICO 14

VARIAÇÃO ANUAL MÉDIA DE ALCALINIDADE NOS PONTOS DE COLETA



Admite-se que essa acentuada variação, especialmente a redução observada durante seis meses, tenha sido causada, à semelhança do que aconteceu com o fosfato, pela diluição das substâncias que exercem influência sobre a alcalinidade, decorrente do aumento do volume da água do Rio Pinheiros.

Das determinações feitas no Rio das Pedras, pode-se afirmar que a alcalinidade, especialmente de janeiro a julho, não pode ser considerada muito favorável a uma intensa produtividade.

Houve diferença no índice de alcalinidade entre os pontos de coleta, tendo sido maior no ponto 3, durante todo o período da pesquisa (gráfico 14). Esse fato pode ser explicado da seguinte maneira: o ponto 3 localiza-se na área de recepção direta da água proveniente da Billings, água essa que, ao alcançar os demais pontos do reservatório Rio

das Pedras, sofre redução da alcalinidade, como decorrência da diminuição do gás carbônico na água, pela ação da fotossíntese.

O valor do pH oscilou consideravelmente, de acordo com a profundidade, principalmente na época de estratificação, nos pontos 1 e 4, acusando maior índice na superfície da água, devido à ação da fotossíntese, e menor no fundo, pela decomposição da matéria orgânica. O seu valor máximo durante a pesquisa foi de 8,0 e, o mínimo, de 6,4 (gráficos 4, 5, 6, 7).

d) Matéria orgânica:

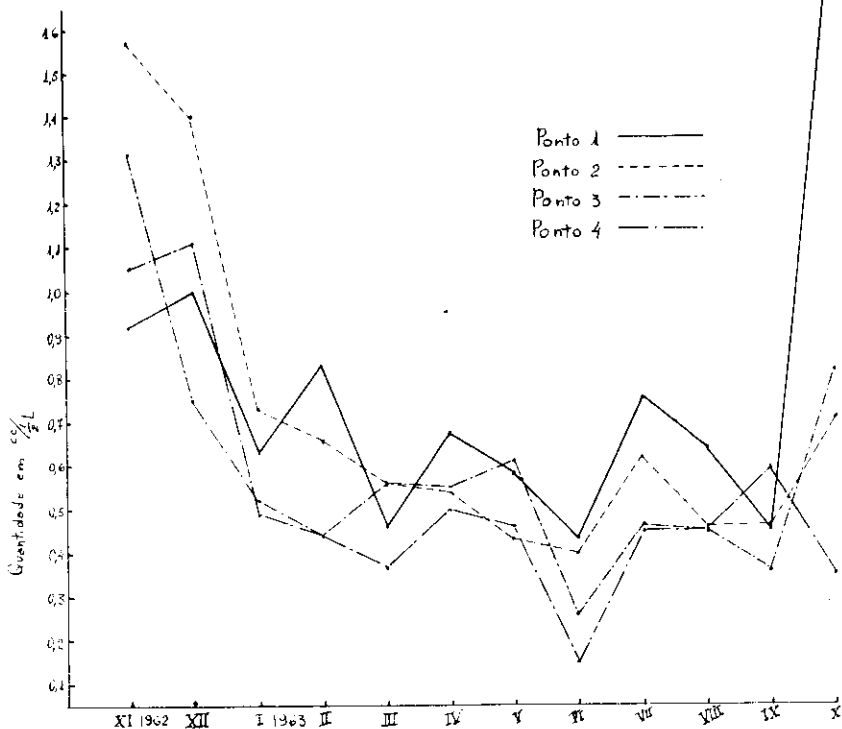
Num lago sempre se encontra matéria orgânica, autóctone ou alóctone em maior ou menor quantidade. No ciclo de trocas, certas matérias orgânicas são utilizadas por organismos vivos e outras se decompõem pela ação das bactérias, transformando-se em substâncias inorgânicas que favorecem o aumento da produtividade lacustre. Conseqüentemente, pode-se dizer que a quantidade de matéria orgânica das águas retrata, até certo ponto, a produção do lago.

Nesta pesquisa, foram determinadas as quantidades dos dois tipos de matéria orgânica, a sestônica e a solúvel.

1.º) **Matéria orgânica sestônica:** — Compreende não só o fito e zooplâncton, como também restos de vegetais e outros materiais de pequeno porte que flutuam na água, tendo sido avaliada por dois métodos:

a) Pelo de centrifugação, a quantidade variou de acordo com as estações do ano e com a profundidade da água, reduzindo-se sensivelmente do mês de janeiro em diante e chegando ao mínimo no mês de junho. Entretanto, no mês de julho houve um pequeno aumento, especialmente nos pontos 1 e 2. No mês de outubro, ele foi maior no ponto 1 (gráfico 15).

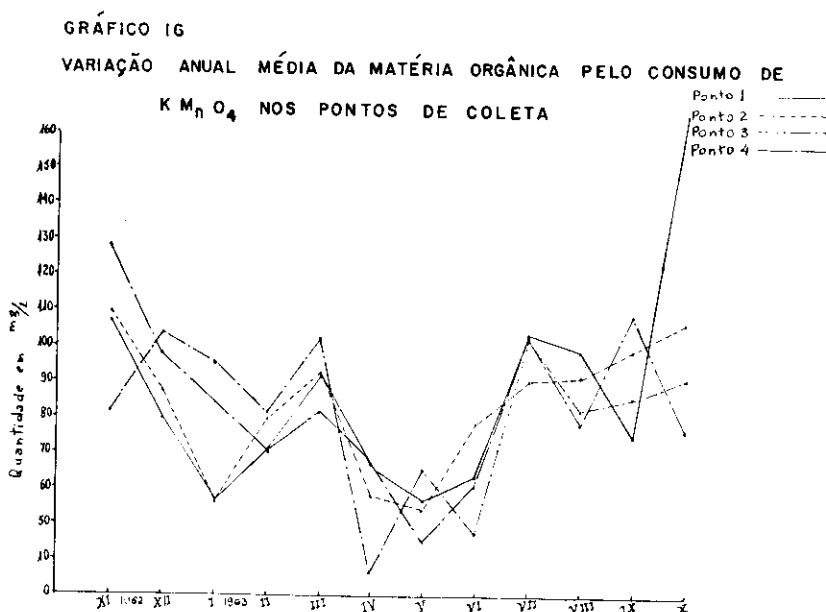
GRÁFICO 15
VARIAÇÃO ANUAL MÉDIA DO SESTON NOS PONTOS DE COLETA



Quanto à variação vertical, notou-se uma concentração relativamente grande nas camadas superiores, decrescendo à medida que aumentava a profundidade (gráfico 21).

b) Pelo do peso seco do seston, que começou a ser empregado no mês de maio, a quantidade de matéria orgânica aumentou gradativamente, até alcançar o máximo no mês de agosto e, após uma pequena diminuição no mês de setembro, aumentou novamente durante o mês de outubro (Tabela V).

2.º) **Matéria orgânica solúvel:** — Pelo método do permanganato de potássio, os resultados variaram com as estações do ano e com a profundidade. Houve diminuição no mês de dezembro até janeiro de 1963, acusando valores mínimos entre os meses de abril a julho e apresentando uma tendência para aumento, nos três pontos, no mês de outubro (gráfico 16).



As variações da matéria orgânica, no Rio das Pedras, calculadas pelos três métodos, acusaram menores valores do mês de janeiro a julho (gráficos: 15, 16 e Tabela V), quadra que coincide com a do aumento do volume da água no reservatório Billings.

Um fenômeno que nos chamou a atenção foi o aumento muito acentuado da matéria orgânica sestônica, na camada superior da água no ponto 1 (gráfico 21) no mês de outubro, acusando 16 cc/L, aumento êsse considerado elevadíssimo. Êsse extraordinário aumento decorreu da excepcional reprodução do fitoplâncton (**Microcystis** e **Navicula** — gráfico 17). Nesse caso, não surgiu nenhum fator limitante, existindo todos os elementos necessários à reprodução dessas espécies. Assim sendo, poderíamos considerar essa produção como a máxima daquela área.

Comparando-se os índices da matéria sestônica seca do Rio das Pedras com os do lago eutrófico temperado de "Suwa", no Japão (Tabela VI), verifica-se que a quantidade de matéria sestônica no período de menor produção, no Rio das Pedras, é maior do que a do lago "Suwa", na sua época de máxima produção. Levando-se ainda em conta que a transparência do Rio das Pedras é menor do que a do lago "Suwa", pode-se concluir que as águas do Rio das Pedras são riquíssimas em matéria orgânica sestônica.

Do ponto de vista da produtividade dos lagos em geral, devemos considerar não só a quantidade como também a qualidade de matéria sestônica, pela sua influência no metabolismo dos organismos vivos. Para esclarecermos êste importante ponto, elaboramos um plano para futuros estudos.

TABELA V

Quantidade de matéria orgânica sestônica em pêso sêco nos 4 pontos do "RIO DAS PEDRAS".

		mg/l					
Ponto \ Mês		V	VI	VII	VIII	IX	X
1		10,28	9,31	13,93	13,41	10,30	21,32
2		9,12	9,78	13,08	12,88	10,12	16,56
3		11,79	9,22	11,72	14,22	11,58	13,78
4		11,21	8,65	11,70	13,13	13,56	11,21
Média	10,60	9,24	12,61	13,41	11,39	15,72

TABELA VI

Comparação da quantidade medida de seston nos lagos: Suwa, Japão e Rio das Pedras, Brasil.

		Pêso sêco mg/l					
Nome do lago \ Mês		V	VI	VII	VIII	IX	X
Suwa	3,5	5,3	3,0	6,3	7,2	8,2
Rio das Pedras	..	10,6	9,3	12,6	13,4	11,4	15,7

e) Plâncton:

A variação anual do plâncton na reprêsa Rio das Pedras está representada nos gráficos 17, 18, 19 e 20.

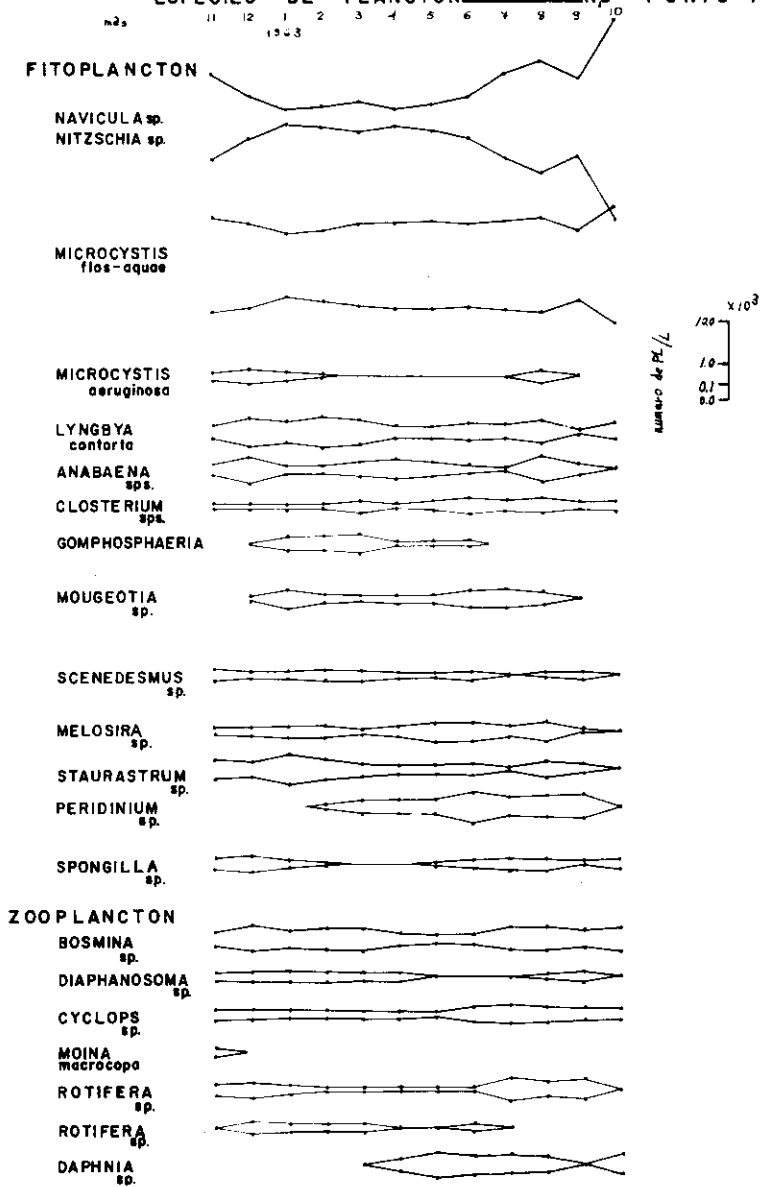
Durante os 12 meses da pesquisa, o fitoplâncton apresentou-se quantitativa e qualitativamente mais numeroso do que o zooplâncton e a espécie predominante foi o *Microcystis flos aquae*. Esta espécie forma, no referido reservatório, colônias que variam de 70 a 120 μ , até 620 μ . Notou-se ainda, que essa alga cobria, às vêzes, extensa superfície, como se fôsse um tapete verde estendido à flor da água.

Segundo ITO e IWAI (1960), o *Microcystis* não constitui alimento para o zooplâncton, devido ao seu tamanho, não havendo rápida redução da taxa de *Microcystis* pela ação predadora do zooplâncton, ao contrário do que acontece com outras algas.

Face a isso, o *Microcystis* funciona como fator principal da manutenção das características químicas da água, absorvendo gás carbônico e ions excedentes e eliminando oxigênio, conservando, desta forma, um pH neutro. No reservatório Rio das Pedras, considera-se que esta função do *Microcystis* foi utilizada, efetivamente, no contrôle do ambiente favorável, sobretudo na época do aumento da concentração da água poluída, quando também houve um proporcional aumento de sua quantidade.

Dentre os outros gêneros do fitoplâncton, foi digna de nota a variação quantitativa da *Nitzschia* sp e *Navicula* sp. No ponto 3, por exemplo, havia no mês de novembro

GRÁFICO 17
MODIFICAÇÃO MENSAL QUANTITATIVA DAS PRINCIPAIS
ESPECIES DE PLANCTON NO PONTO 1



de 1962, 1.400 indivíduos por litro; no mês de janeiro de 1963 essa quantidade ficou reduzida a 80 indivíduos e, no mês de março, a 50, aumentando rapidamente no mês de julho, quando chegou a 68.736 indivíduos por litro. Nos outros pontos de coleta, ocorreu fenômeno semelhante. No mês de setembro a quantidade de *Nitzschia* e *Navicula* sp. diminuiu nos três pontos, exceto no ponto 4, porém, no mês de outubro, comprovou-se forte aumento nos pontos 1 e 2. No ponto 1, por exemplo, foram contados 159.500 indivíduos por litro.

Encontrou-se uma quantidade relativa de *Lyngbya* sp. durante todo o ano, mas no ponto 4 houve uma considerável produção dessa espécie no mês de outubro e dezembro de 1962.

Gomphosphaeria sp. apareceu regularmente nos pontos 1, 2, 3, 4 nos meses de junho e julho. *Peridinium* sp. começou a se fazer notar próximo ao mês de março. Outros gê-

neros, como *Mougeotia* sp., *Melosira* sp., não apresentaram variações notáveis, porém houve uma tendência para diminuir, a partir do mês de janeiro e para aumentarem, no mês de julho. Acreditamos que isto ocorreu devido à mencionada diminuição do fosfato solúvel.

Os constituintes do fitoplâncton, acima descritos, compreendem apenas algumas espécies das coletadas pela rede de plâncton, não havendo sido possível uma coleta precisa de nanoplâncton, o qual deve exercer influência considerável sobre a produtividade dessa represa.

No zooplâncton, *Bosmina* sp. é a dominante, apresentando uma tendência para diminuição, de fevereiro até junho, em todos os pontos de coleta. *Cyclops* sp. foi encontrado durante os doze meses, tendo diminuído no mês de fevereiro até junho. A existência de *Daphnia* sp. também foi notada, embora em pequena quantidade.

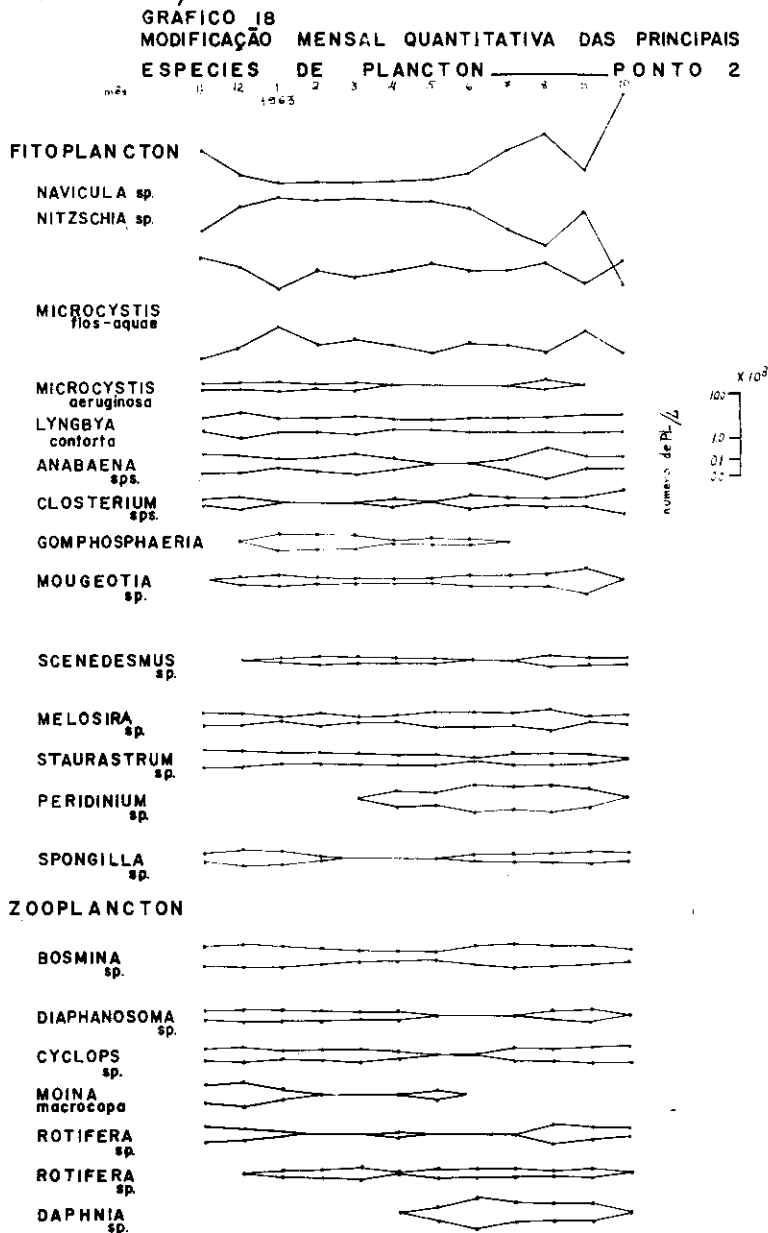
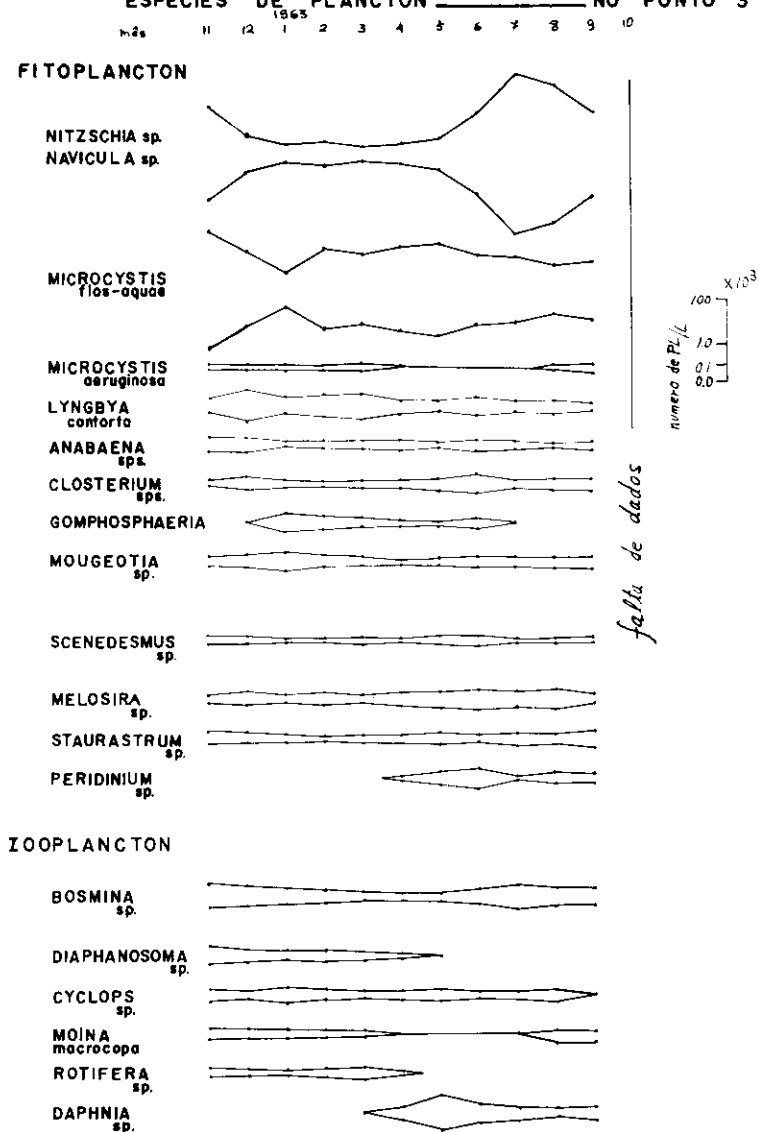


GRÁFICO 19
MODIFICAÇÃO MENSAL QUANTITATIVA DAS PRINCIPAIS
ESPECIES DE PLANCTON _____ NO PONTO 3



Damos, abaixo, uma relação das espécies componentes do plâncton encontradas na repêsa Rio das Pedras, frizando-se que esta relação ainda não está completa:

FITOPLANCTON

CHLOROPHYCEAE

Closterium rostratum
" pronum
Scenedesmus quadricauda
Pediastrum tetras
" duplex
Mougeotia sp.
Cosmarium bioculatum
Zygnema sp.

MYXOPHYCEAE

Microcystis flos aquae
" aeruginosa
Oscillatoria sp.
Anabaena spiroides
" catenula
Lyngbya contorta
Gomphosphaeria sp.

Chlorophyceae (cont.)

Eudorina sp.
Chlamydomonas sp.
Chlorobotrys sp.
Coelastrum sp.
Kirchneriella lunaris
Penium sp.
Staurastrum protectum

XANTHOPHYCEAE

Botryococcus sp.

CHRYSOPHYCEAE

Dynobryon divergens

DYNOPHYCEAE

Peridinium sp.

BACILLARIOPHYCEAE

Navicula sp.
Nitzschia sp.
Pinnularia sp.
Cyclotella sp.
Melosira sp.

ZOOPLÂNCTON**ROTIFERA**

Branchionus calyciflorus
Conochiloides sp.
Keratella lorica

CLADOCERA

Bosmina sp.
Diaphanosoma sp.
Daphnia sp.
Moina macrocopa

COPEPODA

Cyclops sp.

Dêsses estudos limnológicos resultam as seguintes conclusões:

a) As pesquisas físico-químicas e biológicas realizadas com a finalidade de determinar a produtividade da repêsa Rio das Pedras demonstraram que, entre os diversos fatores importantes que a afetam, o fosfato solúvel é o fator limitante da produção planctônica, porém a quantidade de matéria orgânica que indica normalmente a riqueza da água, mesmo no período em que houve a limitação da produtividade planctônica pelo fosfato solúvel, foi muito maior do que a dos lagos eutróficos de clima temperado. Deve-se, todavia, não esquecer que esta alta produtividade decorre, também, das características da água poluída do rio Pinheiros, receptor dos esgotos do município de São Paulo. Assim sendo, após um estacionamento mais ou menos prolongado da água na Billings, onde se processam modificações dos seus caracteres químicos, (BRANCO, 1966) os elementos nutrientes passam para a repêsa Rio das Pedras em condições altamente favoráveis para o desenvolvimento do fitoplâncton, do zooplâncton e, conseqüentemente, dos peixes.

b) A temperatura sempre se mostrou superior a 16°C em qualquer profundidade, tendo-se encontrado estratificação térmica na maioria dos meses, exceto nos de abril, maio e junho. Essa repêsa pertence, portanto, ao grupo dos lagos monomíticos quentes.

c) A transparência acusou durante todo o estudo uma curva máxima inversa à da quantidade de seston. Além disso, variou de 25 a 140 cm, valores considerados muito baixos, em relação aos habitualmente encontrados nos lagos eutróficos, em geral.

d) O oxigênio dissolvido apresentou uma típica curva "clinograde", sendo que a inclinação da curva foi muito intensa na época da estratificação.

e) A alcalinidade variou de 0,56 mé/L a 1,64 mé/L, apresentando-se maior no verão e menor no inverno. O valor de pH oscilou de 6,4 a 8,0, tendo sido encontrados os maiores valores na superfície e, os menores, no fundo.

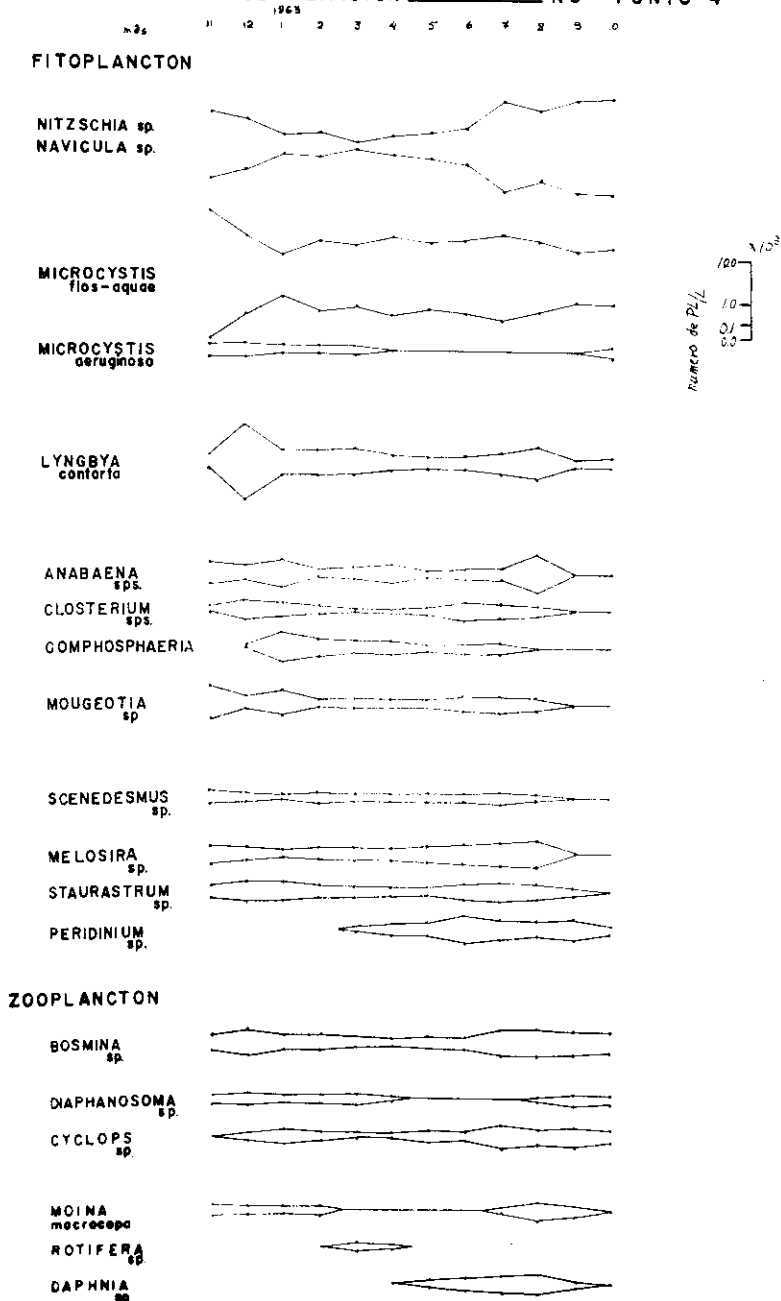
f) O desaparecimento quase completo do fosfato solúvel, no mês de janeiro, acompanhou a diminuição da quantidade de plâncton e seston. Houve uma recuperação dos organismos vivos com o reaparecimento do fosfato no mês de junho. As variações do fosfato modificaram intensamente a quantidade de diversos elementos, donde consideramos o fosfato como fator limitante da produtividade planctônica dessa repêsa.

g) As análises demonstraram que a quantidade de nitrato é suficiente para a produção do fitoplâncton, exceto durante o mês de setembro. A sua notável diminuição, nesse mês, talvez tenha decorrido da escassez do oxigênio determinada pela ação da água poluída do rio Pinheiros.

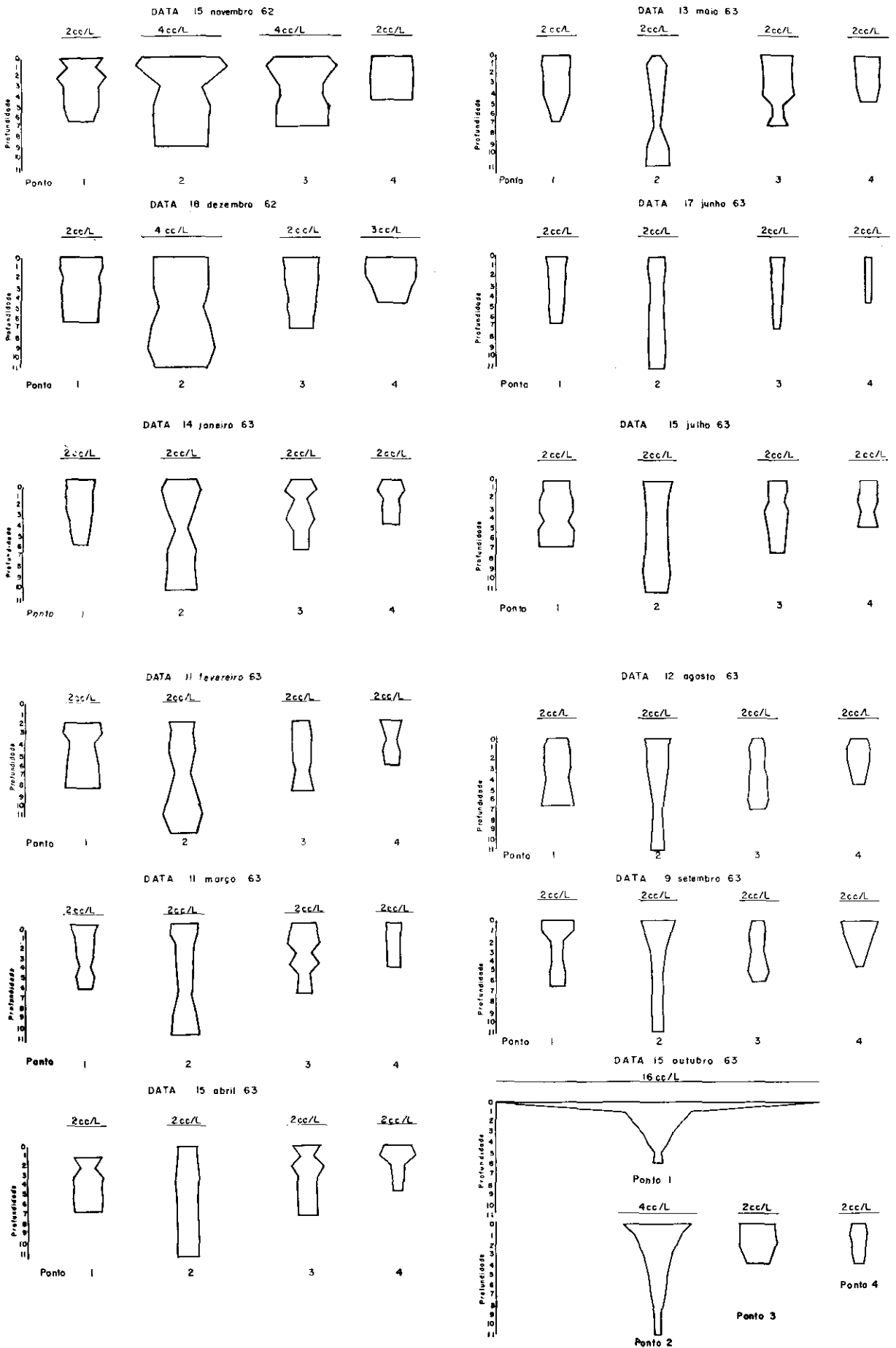
h) Os resultados comprovaram uma quantidade maior de matéria orgânica sestônica e solúvel em comparação com a dos lagos eutróficos.

i) O fitoplâncton, especialmente o *Microcystis flos aquae*, dominou quantitativamente durante os doze meses, permanecendo, freqüentemente, à flor d'água. A oscilação, em geral, durante os doze meses, mostrou uma tendência para a redução, de sua quanti-

GRÁFICO 20
MODIFICAÇÃO MENSAL QUANTITATIVA DAS PRINCIPAIS
ESPECIES DE PLANCTON _____ NO PONTO 4



PERIODICIDADE E DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO SESTON



dade em função da diminuição do fosfato solúvel. Com referência ao zooplâncton, predominaram os **Clarocera** e os **Copepoda**.

Dos resultados gerais do nosso estudo, conclui-se, por conseguinte, que a repêsa Rio das Pedras é, potencialmente, muito produtiva.

Para a execução dêste trabalho, contamos com a colaboração dos Drs. Emilio Varoli e Alvaro da Silva Braga, antigo e atual Diretor da Divisão, e dos nossos colegas, Airton Luiz Vieira, Joana de Paula Arruda, desenhista, Krikunov Mark, piscicultor, aos quais externamos aqui os nossos agradecimentos.

Devemos, ainda, estender os nossos agradecimentos ao Conselho Nacional de Pesquisas que concedeu bôlsa de estudos a um dos autores, o limnologista Hidzo Kawai e à Fundação de Amparo à Pesquisa que contribui com pequeno auxílio para prosseguimento dos trabalhos.

BIBLIOGRAFIA

- BRANCO, S. M. — Estudo das condições sanitárias da Repêsa Billings. Arq. Fac. Hig. S. Paulo 20(1): 57-86.
- BROWN, E. S. — 1955 — Life in fresh water. Oxf. Univ. Press; London.
- CLARKE, G. L. — 1958 — Element of ecology. J. Wiley & Sons Inc. New York.
- EDMONDSON, W. T. — 1959 — Fresh water biology. J. Wiley & Sons Inc. 2.^a edition, N. York.
- GARNETT, W. J. — 1953 — Fresh water microscopy. Constable & Co. Ltd. London.
- HARVEY, H. W. — 1955 — The chemistry and fertility of sea water. Cambridge Univ. Press. London.
- HOGETSU, Kinji, Y. KITAZAWA — 1950 — The relation between the production of inland water, the production of inland water, the circumstances condition and the material cycle. J. Fish. Resear. Inst. 3:58-82.
- HOGETSU, Kinji — 1960 — Fundamental studies on the biological production and metabolism of inland water, mainly of lake "Suwa". J. Fish; Resear. Inst. 4.
- HUTCHINSON, G. E. — 1957 — A treatise on Limnology. Vol. 1. Geography Physics and Chemistry. J. Wiley & Sons Inc. New York.
- ITO, Takashi & T. IWAI — Studies on the Mizukawari in Eel Culture Ponds. Publ. Limnological Lab. Press. Mie Univ. Vols: 2 (1), (1955): 162-177; (2) (1956): 325-345; (3) (1957): 502-707; 3 (1) (1958): 122-222; (2) (1959): 451-459.
- JOLY, A. B. — 1963 — Gêneros de algas da água doce da cidade de São Paulo e arredores. Publ. Inst. Biol. S. Paulo.
- KLEEREKOPER, H. — 1939 — Estudo limnológico da repêsa de Santo Amaro, em São Paulo. Bols. Fac. Filos. Cienc. Letr. USP.
- 1941 — Estudo limnológico da bacia do rio Mogi-Guaçu. Ser. Inf. Agric. Minist. Agricultura. Rio de Janeiro.
- 1944 — Limnologia. Serv. Inf. Agric. Minist. Agric. Rio de Janeiro.
- KODAMA, K. T. USADA & K. SABASHI — 1953 — Chemical and biological science. Kihôdo Ltd. Tokyo.
- KOKUBO, S. — 1960 — Plancton — Kosheishya Pub. Co. Tokyo.
- MAGAZINE of Natural Science of Western Part of Japan. — 1952 — 3.
- MEEDHAM & LLOYD — 1916 — The life of inland waters. The Comstock Pub. Co. N. York.
- MIYAKE, Y. & KITANO, Y. — 1960 — The methods for the examination of water. Chijin Ltd. Tokyo.
- OKADA, Y. — 1948 — Studies for the determination of the production on the lake. The quarterly journal of "Suisan". Japão. 36-52.
- PENNANK, W. R. — 1953 — Fresh water invertebrates. The Ronald Press. Co. N. York.
- SAIJO, Y. — 1960 — Limnological Methods. Kokinsha Ltd. Tokyo.
- SANTIAGO, R. O. — 1961 — Estudios limnológicos en la laguna Vital. Agro. B. Aires.
- SOLSKY, A. — 1964 — Limnological characteristic of charzykowo Lakes and of Wdzyze Lake. Pls. Arch. Hydrobiol. Ins. Biol. 190-231 pp.
- STANDARD Methods for the examination of water and wastewater — 1960 — American Public. Health Association Inc.

- STEEMANN, E. N. — 1958 — The balance between phytoplankton and zooplankton in the sea. Extr. J. Cons. International pour l'exploration de la Mer. XXII (2).
- — 1959 — Primary production in tropical marine areas. J. Mar. Biol. Ass. Inda. 1: 7-14.
- — 1959 — Light adaptation in marine phytoplankton population and it's interrelation with temperature. Physiologia Plantarum. 12: 353-370.
- — 1960 — Productivity of the oceans. Anual Review of plant physiology. 11: 342-362.
- — 1962 — The adaptation to different light intensities in "Chlorella vulgaris" and the time dependence on transfer to a new light intensity. Physiologia Plantarum: 15: 353-370.
- SUGAWARA, K. & S. KOANA — 1959 — Studies of the production on bay "Tokyo" and lake "Suwa". The Journal of Fisheries Research 2.
- TAMURA, H. — 1956 — Science of fisheries production. Kigen Ltd. Tokyo.
- WELCH, P. S. — 1952 — Limnology. McGraw — Hill Book. Co. Inc. London.
- WRIGHT, S. — 1934 — Da physica e da chimica das águas do Nordeste do Brasil. Serv. Piscicultura Publ. n.º 24: 15-27.
- — 1937 — Chemical conditions in some waters of Northeast Brazil. IV. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio, 9 (4): 277-306.