

# LIMNOLOGIA QUÍMICA DO LAGO DO ARROZ (ILHA DO CAREIRO), SUAS FLUTUAÇÕES EM FUNÇÃO DO MEIO HÍDRICO DO RIO AMAZONAS<sup>(1)</sup>.

Ubirajara Boechat Lopes <sup>(2)</sup>  
Umberto de Menezes Santos <sup>(3)</sup>  
Maria de Nazaré Góes Ribeiro <sup>(3)</sup>

## Resumo:

As condições limnológicas do Lago do Arroz, Ilha do Careiro, Amazônia Central, são determinadas pelo Rio Solimões (Amazonas), pois encontra-se conectado com o mesmo, praticamente o ano todo. A variação do nível da água oscila em torno de 7 a 9 metros, anualmente. Em janeiro, inicia-se o período de elevação do nível da água que vai até fins de junho; de julho até novembro ou dezembro, tem-se o período de rebaixamento. A evolução deste ciclo é o principal responsável pelas grandes variações químicas e biológicas, ali ocorridas. As análises químicas revelam, claramente, as variações sazonais no Lago do Arroz: estagnação, com nítida separação entre o epilímnio e o hipolímnio, estratificação de temperatura, conteúdo de sais totais e a presença de agentes complexantes notáveis durante a cheia e uma mistura total durante o rebaixamento do nível da água (seca).

A partir de fins de setembro (seca), o lago recebe uma intensa migração de peixes da família Loricariidae (Pterygoplichthys), que tem o nome vulgar de "Acarri-Bodó", (65.000 peixes dessa espécie foram capturados de setembro a dezembro por seis pescadores). Estes peixes provocam uma intensa ressuspensão no sedi-

mento verde do Lago, pois, para desovar cavam buracos de até 20 cm de profundidade na lama. Essa recirculação somada ao efeito do vento, provoca ressuspensão de sedimentos aumentando a quantidade de sais minerais dissolvidos. Este fenômeno gera algumas anomalias que permitem um elevado grau de reciclagem entre nutrientes e a produção primária, que, praticamente, determinam a ausência de estratificação de sedimentos. Em virtude desse fenômeno, o Lago possui uma farta produção primária, absorvendo os nutrientes e transformando-os em matéria orgânica.

## INTRODUÇÃO:

O estudo da composição química de águas e sedimentos de lagos é de fundamental importância para a compreensão dos processos físicos, químicos e biológicos que neles ocorrem, como também refletem a maior importância geoquímica das áreas de influência, direta ou indiretamente.

O Lago do Arroz situado à margem esquerda do Paraná do Careiro, Lat. 3° 10' S e Long. 59° 40'

(1) Este trabalho é parte da Dissertação do 1o. autor apresentada ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal da Bahia para obtenção do grau de Mestre em Geoquímica em julho de 1979.

(2) Universidade do Amazonas, Manaus (UA).

(3) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus (INPA).

10" W (fig. 1) é um lago de várzea da planície inundável do Rio Amazonas. Pertence a um grupo de lagos da Ilha do Careiro e normalmente está em conexão direta com o Rio Amazonas, através de um comprido canal, denominado de Igarapé Grande, e vários outros lagos grandes, entre eles o Lago do Rei, que é o principal lago da Ilha. Somente durante uma extrema estiagem, esta conexão é interrompida. Durante o período de elevação do nível de água, torna-se difícil o acesso ao lago, face ao capim flutuante.

A dimensão relativa do lago muda consideravelmente dependendo do nível da água. Através de fotografias de radar, podemos estimar um valor médio para a área do lago, em aproximadamente 4,5 km<sup>2</sup>.

Com o nível de água baixo, o Lago do Arroz chega a ficar com um metro de profundidade (novembro-dezembro), enquanto que no período de estudo o mais alto nível de água foi de sete metros (julho). Segundo Schmidt, 1973 e Santos, 1977, a amplitude de nível de água ao redor de Manaus alcança 10 a 11 metros. Em anos normais, o rio seca até começo de dezembro e, após uma pausa de 3 a 4 dias, começa a subir até fins de junho, quando retorna o período da vazante.

Durante o período estudado, o nível do Lago do Arroz flutuou consideravelmente. Após receber água do rio Amazonas (Solimões) e de chuva, entra na fase de rebaixa-

mento (julho a dezembro), tornando a elevar o nível em janeiro. No mês de março, houve um rebaixamento de um metro no local, em consequência de idêntico fenômeno ocorrido com o rio Negro e Amazonas, fato considerado anormal.

As condições climáticas são idênticas às de Manaus.

Clima quente, úmido, com chuvas abundantes, admitindo um período seco, que normalmente ocorre nos meses de agosto a outubro. A duração do período seco pode variar, porém é comum a ocorrência de chuvas ocasionais.

Os ventos da Região, com predominância Norte-Este, às vezes, sopram na direção Sul, como nos meses de fevereiro e começo de agosto. Em geral, a velocidade do vento é baixa (4 m/s), porém, pode, em ocasiões, aumentar repentinamente (setembro, outubro, novembro) alcançando uma média de 35 m/s com alguns instantes de solitárias borrascas, antecipadas por um vento singular que na região, recebe o nome vulgar de "Vento Geral".

As terras são solos aluviais com pastagens para gado ao Sul do Lago. Ao Norte, elas estão cobertas com extensos igapós e várias espécies de capim flutuante, predominando o *Paspalum repens* e *Oryza perennis*. A Leste, extenso igapó e campos de pastagens. Próximo ao igapó é abundante a Vitória Amazônica.

O objetivo fundamental dos estudos da Limnologia Química do

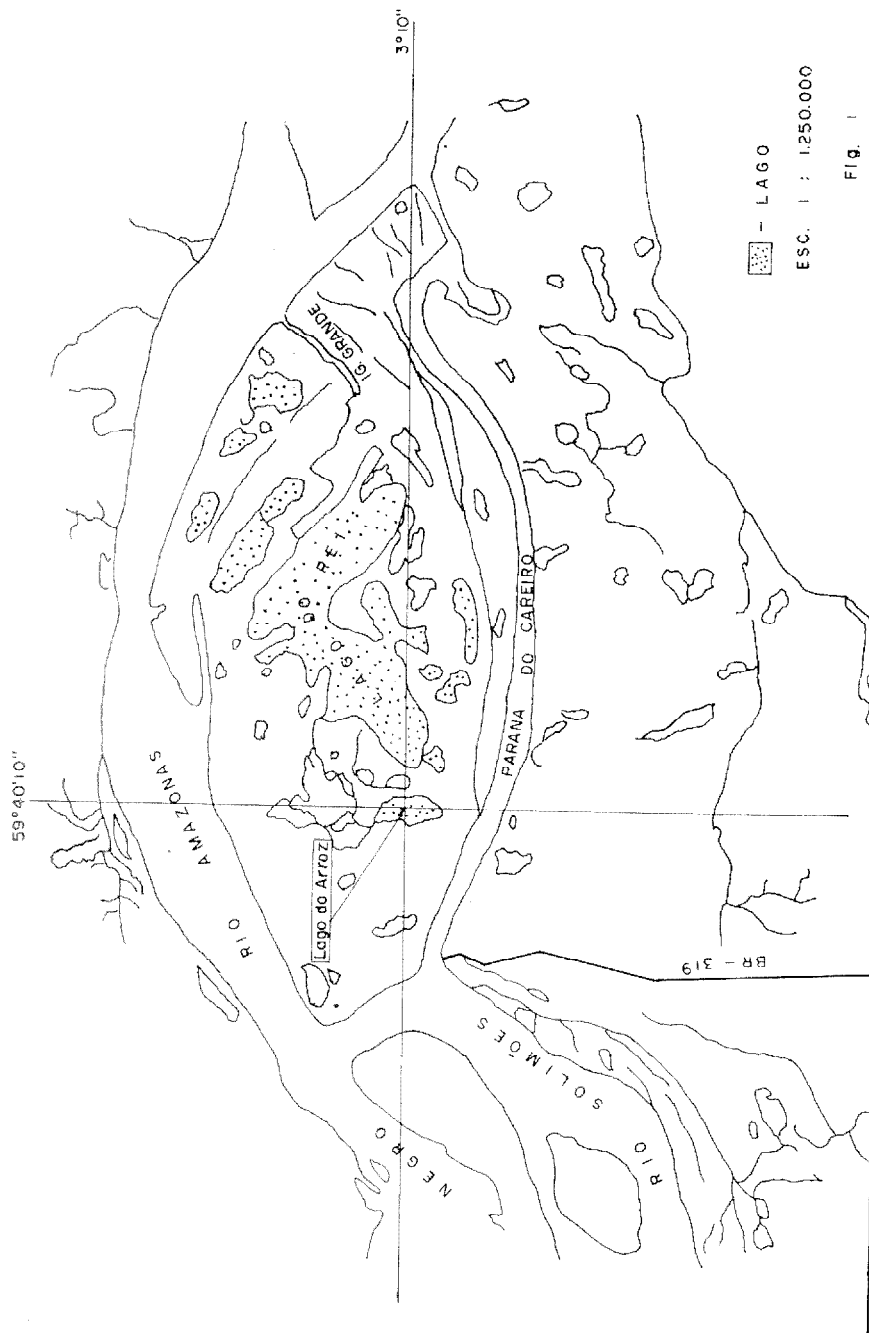


Fig. 1 — Mapa demonstrativo da localização do lago do Arroz.

Lago do Arroz é ampliar os conhecimentos sobre os lagos de várzea amazônicos para possibilitar uma melhor interpretação dos muitos fenômenos limnológicos observados na Região.

#### MATERIAL E MÉTODOS:

As amostras de água foram coletadas no período junho de 1978 a março de 1979, no centro do Lago do Arroz, em perfís de metro em metro. Foram obtidas com garrafa tipo RUTTNER e, em seguida acondicionadas em garrafas de plástico de 1.000 ml para análises de nitrogênio total, fósforo total, manganês, ferro, cálcio, magnésio e consumo orgânico. Para determinação de pH, de nitrito, nitrato, fósforo livre, sílica, cloro foram coletadas amostras suplementares de 500 ml, para cada metro de profundidade com adição de 2 ml de clorofórmio. Para determinação de amônia, também foram coletadas amostras suplementares de 500 ml para cada metro de profundidade com adição de 5 ml de H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> 0,01 N. As amostras para oxigênio e gás sulfídrico foram feitas em frascos de vidros especiais, com fixação "in loco". O intervalo entre as coletas e as análises realizadas no laboratório foi de aproximadamente 48 horas.

As determinações foram realizadas pelos seguintes métodos e aparelhagem:

1o.) Temperatura: medição direta por meio de termômetro aco-

plado dentro do coletor e calibrado para 0,1°C;

2o.) pH: potenciômetro (aparelho tipo W T W pH 390, eletrodo de vidro) calibrado com soluções padrões de pH 4,00 e 6,90;

3o.) Condutibilidade Elétrica: determinada com aparelho W T W LF 54 com eletrodo de platina. Os resultados são expressos em condutibilidade específica K<sub>20</sub> = uS. cm<sup>-1</sup> e ajustado para 20°C;

4o.) Cálcio: titimétrico com Complexon III e Calcon como indicador;

5o.) Magnésio: titimétrico com Complexon III e ERIO T, como indicador;

6o.) S B V: (alcalinidade): titimétrico com HCl 0,01 N, usando como indicador uma mistura de Vermelho de Metila e Bromo Cresol Verde; para cálculo de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, multiplica-se a alcalinidade pelo fator 61;

7o.) Oxigênio Dissolvido: segundo WINKLER;

8o.) Gás Sulfídrico: método iodométrico, segundo I B P HANDBOOK, 1971 nº 8 e fotométrico segundo TREIER, 1964;

9o.) Demanda Química do Oxigênio: titimétrico, usando-se KMnO<sub>4</sub>, como oxidante;

10o.) Nitrito e Nitratos: fotométrico segundo GRASSHOFF, 1964;

11o.) Amônia (NH<sub>4</sub>): fotométrico para destilação e neslerização I B P HANDBOOK, 1971 nº 8;

12o.) Nitrogênio de Kjeldahl: usou-se como catalizador H<sub>2</sub> O<sub>2</sub> e Se, para acelerar a digestão;

13o.) Nitrogênio Orgânico: calculado como as diferenças entre  $(N - Kj) - (N - NH_4^+)$ ;

14o.) Nitrogênio Total: calculado como a soma das frações  $(N - Kj) + (N - NO_3^-) + (N - NO_2^-)$ ;

15o.) Fósforo Livre ( $P - PO_4^{3-}$ ): fotométrico pelo Azul de Molibdênio, segundo método de Ambuehl e Schmidt, 1965;

16o.) Fósforo Total: fotométrico segundo método de EAWAG;

17o.) Ferro Total: oxidação do Ferro divalente para trivalente com Ácido Nítrico concentrado a quente e determinado fotometricamente com KSCN;

18o.) Manganês: fotométrico segundo o método de KURMIES, 1953;

19o.) Cloretos: segundo I B P HANDBOOK, 1971 nº 8;

20o.) Sílica como Silicatos: fotométrico segundo ZIMMERMAN, 1961.

## RESULTADOS:

### TEMPERATURA

A maior diferença diurna encontrada foi de 3.8°C na amostragem de 19.07.78 (31.0°C na superfície do lago e 27.2°C, no fundo do lago).

A menor diferença diurna foi de 0°C na amostragem do dia 09.10.78.

A maior temperatura encontrada foi de 31.4°C no dia 06.10.78

e a menor foi de 26.4°C no dia 02.08.78, no fundo do lago.

Quando o lago está com o maior volume de água e soprando ventos do sul, pode ocorrer uma isoterмия. Quando, no volume menor, é normal a isoterмия, observa-se, às vezes, uma inversão de temperatura, como, por exemplo, no dia 08.03.78 (fig. 2), o que é normal na Amazônia Central, face às chuvas.

### pH

Os valores de pH no Lago do Arroz, em média, estão situados entre 4.6 a 6.4, correspondendo a um ácido fraco.

O menor pH 4.5 foi encontrado na profundidade de 1 metro, no dia 14.12.78, correspondendo ao período em que o lago está com o menor nível de água. Os maiores pH (6.5) foram encontrados nas profundidades de 2 e 3 metros, no dia 08.03.79, correspondendo à subida do nível da água no lago.

### uS<sub>20</sub>

Os menores valores de condutibilidade elétrica foram encontrados com a elevação do nível das águas, motivadas pelas chuvas que caem diretamente sobre a superfície do lago. Os valores encontrados foram de 35 us. cm<sup>-1</sup>, a três metros de profundidade, no mês de março.

As diferenças verticais para a condutibilidade elétrica são geral-

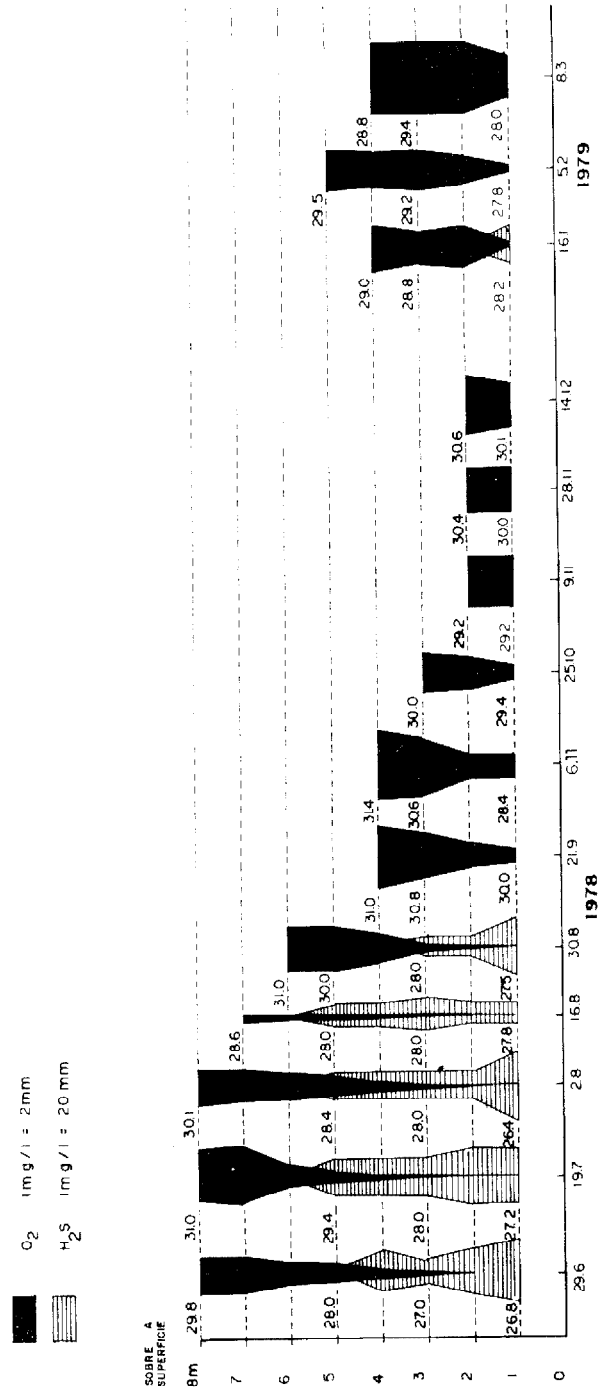


Fig. 2 — Perfis de temperatura, oxigênio e gás sulfídrico no lago do Arroz.

mente pequenas. Os maiores valores encontrados foram de 89,15 uS.  $\text{cm}^{-1}$ , mês de novembro, dada a ressuspensão dos sedimentos.

### SAIS TOTAIS

O total de sais encontrados, no lago do Arroz, não é elevado, com exceção do cálcio e do bicarbonato.

Na fig. 3, mostramos a média em perfil dos três maiores cátions e os três maiores ânions, encontrados neste lago, durante o maior nível de água (junho) e no menor nível de água (dezembro).

O teste alcalino (SBV) forneceu um valor máximo de 0,75 mval/l, correspondendo a uma concentração de aproximadamente 46,00 mg/l de  $\text{HCO}_3^-$ , no mês de setembro. O valor mínimo encontrado foi de 0,23 mval/l, no mês de novembro, correspondendo a uma concentração de 14/1 de  $\text{HCO}_3^-$ , promovendo uma baixa capacidade de tamponação.

A maior quantidade de sais totais no Lago do Arroz, provém de três fontes: do Rio Solimões (Amazonas) quando transborda sobre as terras de várzeas, da mineralização do capim flutuante, e dos dejetos do gado.

### CÁLCIO E MAGNÉSIO

Os menores valores de cálcio, no Lago do Arroz, foram encontrados com a água em seu menor nível, nos meses de novembro – dezembro, com uma média de 5,60 a 5,80

mg/l, respectivamente, possivelmente, face ao ambiente fortemente oxidante (60,00 mg/l em média de C O D, para os dois meses), provocando a oxidação dos sulfetos de ferro a sulfato. Este sulfato precipita o cálcio, originando as baixas concentrações desses íons observados nesses dois meses.

As maiores concentrações de cálcio em média foram encontradas nos meses de junho – julho (9,22 a 9,57 mg/l, respectivamente).

Nesta ocasião, o lago está com o seu maior nível de água, havendo o transbordo da água do rio sobre as terras de várzeas, ocasionando a entrada de material em suspensão (silte fino e argilas).

Para o magnésio, as menores concentrações encontradas foram no período de menor nível de água, numa média de 1,00 mg/l, no mês de novembro. Isto, possivelmente, deve-se à formação de sulfatos que reflete muito bem a causa da mudança da condutibilidade elétrica.

As maiores concentrações de magnésio ocorreram no período de nível de água mais alto do lago, atingindo uma média de 3,63 mg/l, no mês de junho.

### CLORETO

O cloreto não mostra expressões de grandes variações, no período da elevação do nível de água, como no de rebaixamento. Encontramos valores entre 1,45 a 3,52 mg/l. Semelhantes resultados fo-

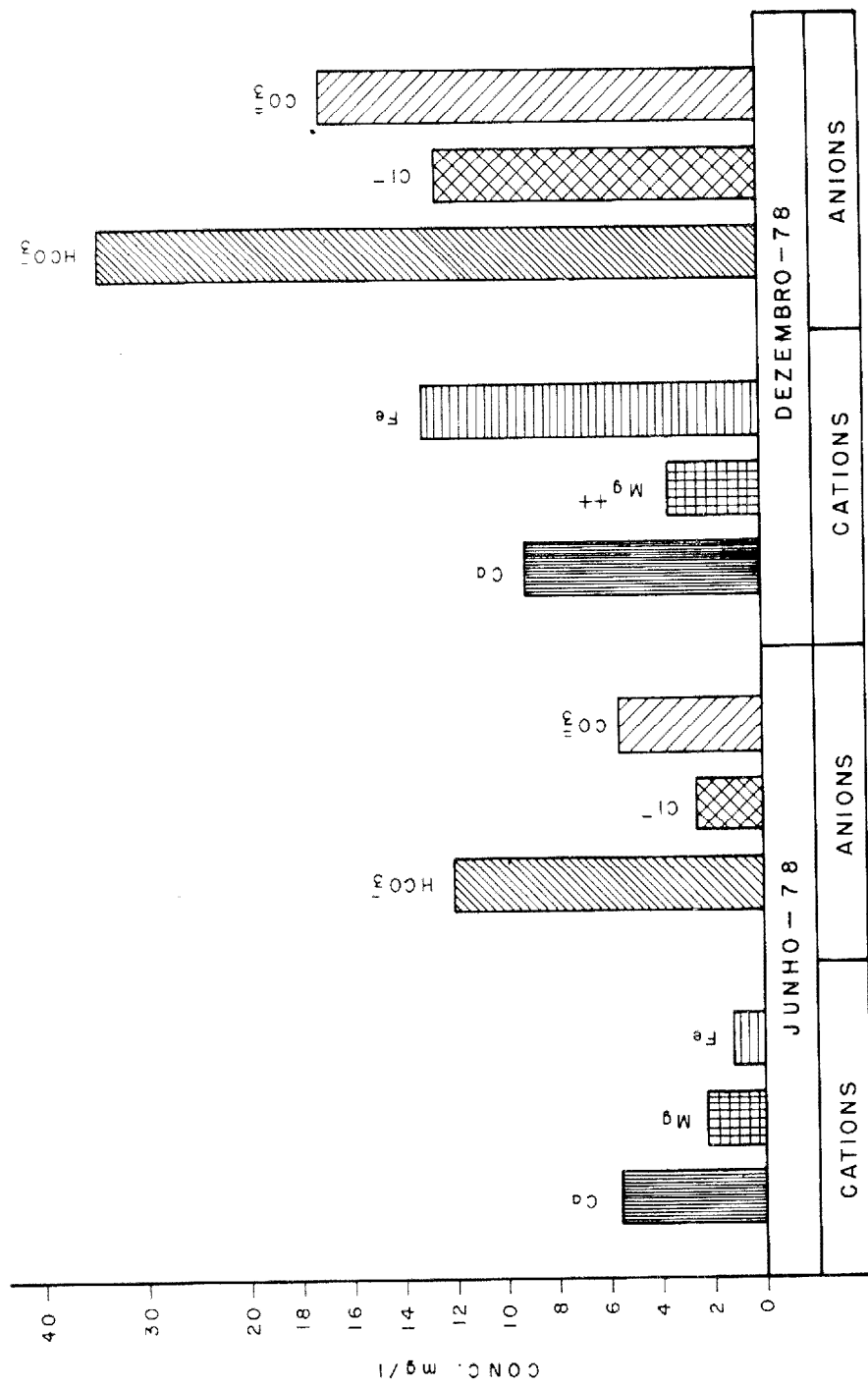


Fig. 3 -- Média em perfil dos três maiores cátions e dos três maiores ânions no lago do Arroz.



ram encontrados por **Schmidt, 1973** e **Santos, U. 1973** em outros lagos da Amazônia Central.

### OXIGÊNIO E GÁS SULFÍDRICO

As condições de oxigênio do Lago do Arroz estão relacionadas com sua circulação, como também, as ocorrências da variação no nível de água e condições sazonais. Às vezes, observa-se no Lago do Arroz, principalmente quando está se elevando o nível uma supersaturação de oxigênio na superfície da água, causada por intensa atividade fotossintética.

Uma isoterмия pode ocorrer tanto quando o lago está cheio (face a ventos do sul) como quando está com nível baixo face, como já foi dito, à turbulência provocada pelos peixes e pelo vento.

Durante a isoterмия, quando o lago está com o seu nível mais alto, temos os menores valores de oxigênio e no hipolímio o gás sulfídrico, e quando o lago está com o seu nível mais baixo temos as mais altas concentrações de oxigênio.

Como foi citado por **Santos, (1973)**, também os autores tiveram a oportunidade de observar a asfíxia de peixes no Lago do Arroz no dia 16.08.78, durante o fenômeno de isoterмия (Ver Fig. 2).

### FÓSFORO

As principais fontes de fósforo no Lago do Arroz são: o transporte

de compostos orgânicos e inorgânicos pela água da precipitação e pela invasão das águas do Rio Solimões (Amazonas), decomposição de vegetais (principalmente capim flutuante), animais e microrganismos.

Os valores de fósforo encontrados são semelhantes aos de **Gibbs (1967)**; **Schmidt, (1972)**; **Santos; (1977)**; **Ribeiro, (1978)**, para as águas da Amazônia Central.

A tab. 1 mistra os valores da concentração de fósforo total, durante o curso das investigações.

Os maiores valores encontrados no Lago do Arroz foram observados quando este está com o seu menor nível de água, nos meses de novembro e dezembro e parece estar ligado a uma reciclagem entre os diferentes compostos de fósforo, formas de atividade biológica do lago, como também, ao problema da ressuspensão dos sedimentos provocado pela ação dos ventos e peixes, o que vem permitir a estocagem do fósforo nos sedimentos.

Nos meses de janeiro e fevereiro, correspondendo ao início do período chuvoso, os valores de fósforo total ainda permanecem elevados, apesar do aumento do nível de água no lago, com uma média de 77 ug/l. O fenômeno é provavelmente devido ao abastecimento de fósforo proveniente da lixiviação do material mineralizado nas margens e nas áreas circunvizinhas do lago.

Os menores valores de fósforo total ocorrem quando o lago está com o seu nível mais alto, em de-

TABELA 1 – Valores de Fósforo total, em perfil de 0 a 7 metros de profundidade do lago do Arroz

## FÓSFORO TOTAL (ug/l)

Prof. m	1978														1979		
	29.06	19.07	02.08	16.08	30.08	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03		
0	57	23	23	32	50	35	20	23	80	74	193	143	78	78	58		
1	51	67	32	27	46	37	18	80	104	74	193	132	90	40	36		
2	29	32	23	32	47	52	24	80					75	70	65		
3	46	27	25	62	29	40	17						59	93	51		
4	45	41	10	44	42										113		
5	41	33	12	53	13												
6	57	51	10	53													
7	53	39	5														

corrência do fator de diluição, e da maior captação pelo plâncton, ca-pim flutuante, etc.

As maiores concentrações de fósforo solúvel, ocorrem no período em que o lago está com o seu nível de água 0,065 mg/l no mês de novembro e 0,074 mg/l no mês de dezembro, os menores valores, quando o nível do lago está subindo no mês de março 0,004 mg/l, de maneira semelhante ao fósforo total.

Durante a fase de água alta, a acumulação de fósforo solúvel, próxima ao fundo do lago, é sempre elevada, em comparação a outros perfís.

A fig 4 mostra a variação deste parâmetro, no qual se observa que o Ferro apresenta um comportamento similar ao do fósforo.

## FERRO

Para as concentrações do ciclo do ferro, no Lago do Arroz, incluímos as frações de ferro: ferro total, ferro solúvel e ferro complexado (Ver tab. 2a, d, c).

Consideramos como ferro total o valor encontrado através do ataque da amostra sem filtrar, com ácidos fortes como ferro solúvel o teor encontrado na amostra previamente filtrada com filtro WHAT-MAN 1, e como ferro complexado, a diferença entre os valores de ferro total e solúvel.

Os valores de ferro encontrados no Lago do Arroz variam com as precipitações e as mudanças de nível de água. Sendo o ferro um ele-

mento que está presente nas águas do Rio Solimões (Amazonas) em concentrações variando de 1,10 a 4,10 mg/l (Schmidt, 1972), logo estará presente no Lago do Arroz em concentrações relativamente altas. Schmidt (1973); Santos, (1977) encontraram valores de ferro elevados nos lagos dessa região.

As menores concentrações de ferro total, observadas foram no período de maior nível de água nos meses de junho-julho, oscilando entre 0,69 mg/l à superfície e 2,19 mg/l no fundo do lago correspondendo ao período de estagnação do lago.

As maiores concentrações de ferro total aparecem no período de menor nível da água (dezembro), com uma média de 13,11 mg/l.

Os menores valores de ferro solúvel em média para o perfil aparecem quando o lago está rebaixando o nível, com 0,48 mg/l no mês de outubro. Os maiores valores encontrados foram de 2,78 mg/l no mês de dezembro, o lago está com o menor nível de água.

As menores concentrações de ferro complexado ocorrem quando o lago está subindo de nível, com uma média em perfil de 0,51 mg/l no mês de janeiro. As maiores concentrações ocorreram no mês de dezembro, com 10,33 mg/l.

## MANGANÊS

Os resultados de manganês mostram uma nítida relação com o ferro. As menores concentrações

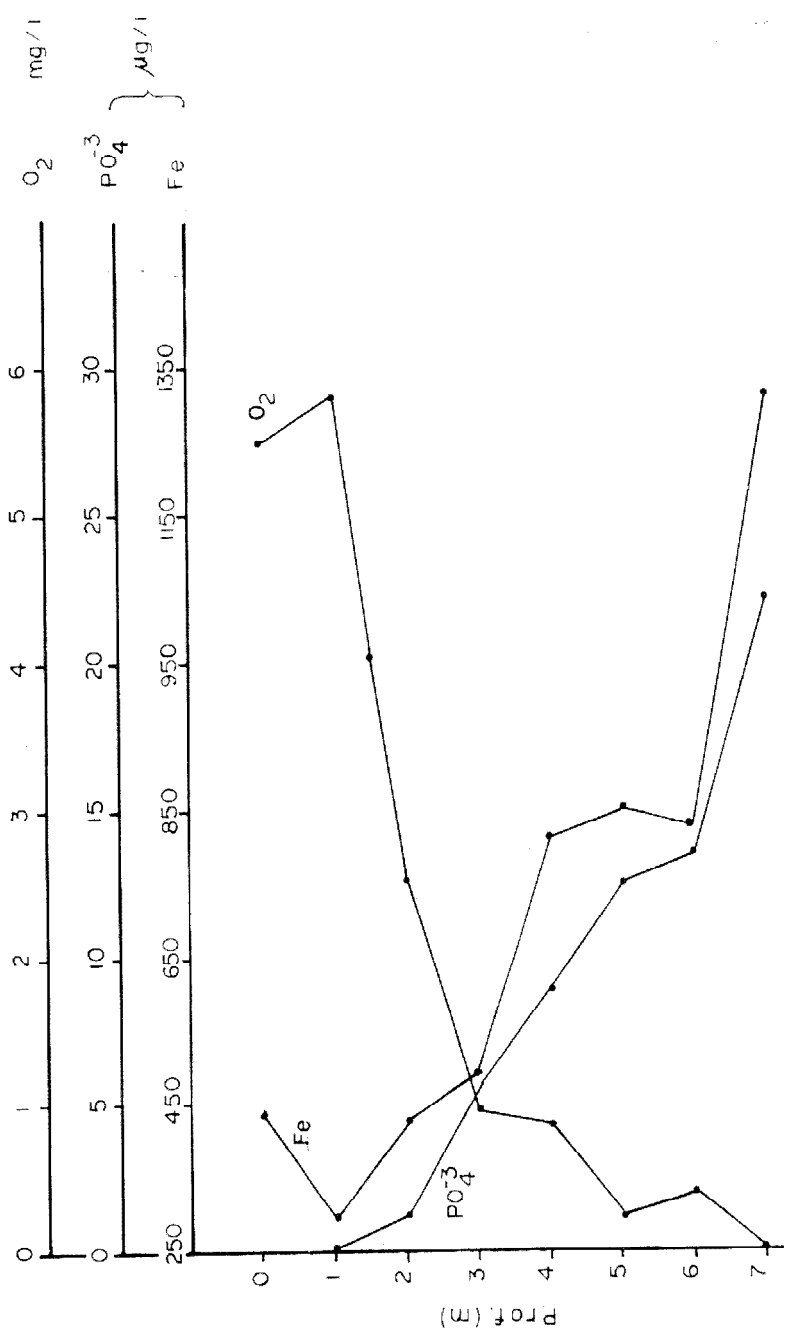


Fig. 4 — Valores de O<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> e Fe, durante a amostragem de 19.07.1978. Observase significantes concentrações de fósforo e ferro, entre 4 e 7 metros de profundidade.

TABELA 2a – Variação dos valores de ferro total (mg/l), em perfil de 0 a 7 metros de profundidade do lago do Arroz.

FERRO TOTAL (mg/l)

Prof. m	1978														1979		
	29.06	19.07	02.08	16.08	30.08	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03		
0	0.69	0.94	0.99	1.04	1.35	1.56	1.50	1.54	3.13	8.20	9.83	15.79	3.05	2.63	2.89		
1	0.79	0.70	0.64	1.82	1.18	1.56	1.40	1.73	3.37	8.20	11.62	15.20	7.02	2.86	2.70		
2	1.38	0.76	1.37	1.76	1.07	1.67	1.40	1.55					3.23	2.68	2.44		
3	1.16	1.28	1.88	1.98	2.35	3.33	1.73						3.13	2.62	2.95		
4	1.31	1.45	2.80	1.79	3.09										3.37		
5	1.21	1.17	2.72	1.70	6.03												
6	1.78	1.79	4.81	1.78													
7	1.75	2.19	4.85														

TABELA 2b — Variação dos valores de ferro solúvel, em perfil de 0 a 7 metros de profundidade do lago do Arroz.

## FERRO SOLÚVEL (mg/l)

Prof. m	1978														1979	
	29.06	19.07.	02.08	16.08	30.08	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03	
0	0,15	0,44	0,39	0,27	0,31	0,75	0,43	0,61	1,33	1,49	3,35	3,35	2,83	1,92	1,91	
1	0,13	0,30	0,14	0,30	0,30	0,73	0,42	0,54	1,40	2,38	1,78	2,62	2,61	1,93	1,74	
2	0,15	0,43	0,25	0,29	0,25	0,73	0,39	0,54					2,64	1,93	1,70	
3	0,32	0,49	0,60	0,25	0,55	0,53	0,42						2,31	1,93	1,79	
4	0,85	0,82	1,79	0,35	1,01											
5	0,93	0,85	1,55	0,35	3,32											
6	1,33	0,83	2,99	0,42												
7	1,39	1,31	2,98													

TABELA 2c – Valores de ferro complexado, em perfil de 0 a 7 metros de profundidade do lago do Arroz.

FERRO COMPLEXADO (mg/l)

Prof. m	1978												1979		
	29.06	19.07	02.08	16.08	30.08	21.09	06.10	25.10	09.11	28.11	14.12	27.12	16.01	05.02	08.03
0	0,54	0,50	0,60	0,77	1,04	0,81	1,17	0,93	1,80	6,71	6,48	12,44	0,22	0,71	0,98
1	0,66	0,40	0,50	1,52	0,88	0,83	0,98	1,19	1,97	5,82	9,84	12,58	0,41	0,93,	0,96
2	1,23	0,33	1,12	1,47	0,82	0,94	1,01	1,01					0,59	0,75	0,74
3	0,84	0,79	1,28	1,73	1,80	2,80	1,31						0,82	0,69	1,16
4	0,46	0,63	1,01	1,44	2,08										
5	0,28	0,32	1,17	1,35	2,71										
6	0,45	0,96	1,82	1,36											
7	0,36	0,88	1,87												

ocorrem quando o lago está com o seu maior nível de água (julho), oscilando entre 0,09 mg/l na superfície e 0,11 mg/l no fundo do lago. As maiores concentrações de manganês ocorrem quando o lago está com o seu nível mais baixo (dezembro) com uma média de 0,56 mg/l o perfil.

## COMPOSTOS DE NITROGÊNIO

### ORÍGEN DO NITROGÊNIO

Teoricamente, as três possíveis fontes de compostos de nitrogênio, no Lago do Arroz são:

- . Precipitação sobre a sua superfície e fixação;
- . Material orgânico alóctone, incluindo águas de infiltração;
- . Material orgânico autóctone, proveniente de decomposição de vegetais e animais.

Também podem ocorrer perdas de compostos de nitrogênio no lago, tais como:

- . Pelos afluentes;
- . Pela formação de sedimentos permanentes;
- . Pela difusão dos Compostos voláteis na superfície do lago;
- . Por desnitrificação.

Na fig. 5, são mostrados os valores médios para cada mês, dos compostos de nitrogênio analisados durante o período de estudos.

Nitritos mesmo que em pequenas quantidades, podem ser detectados nos diferentes perfis, durante todo o ano. As concentrações alcançam 0,006 mg/l, no fundo do lago, quando este apresenta sete metros de profundidade, no período de estagnação (junho-julho) e 0,009 mg/l a um metro, no mês de janeiro, no período de elevação do nível de água. Nos outros perfis, as concentrações são desprezíveis, com valores menores que 0,001 mg/l.

As concentrações de Nitrato encontradas são mais elevadas. As maiores ocorrem no mês de janeiro, na superfície do lago (0,120 mg/l), no período da elevação do nível de água. Estas concentrações são, possivelmente, devidas à oxidação biológica demanda biológica e material alóctone (início do período chuvoso).

Em média, as menores concentrações de nitrato são encontradas no período de maior nível de água.

Os valores encontrados para amônia, no período em que o lago está com o seu nível de água mais alto, são considerados normais, atingindo 0,07 mg/l. Entretanto, quando o Lago do Arroz está com o seu nível mais baixo, ocorre um fenômeno até gora não observado em lagos de várzea, conforme mostra a fig. 5.

As concentrações de amônia, no mês de outubro até meados de novembro variam entre 0,09 mg/l a 0,17 mg/l. No período da segunda quinzena de novembro, até a última



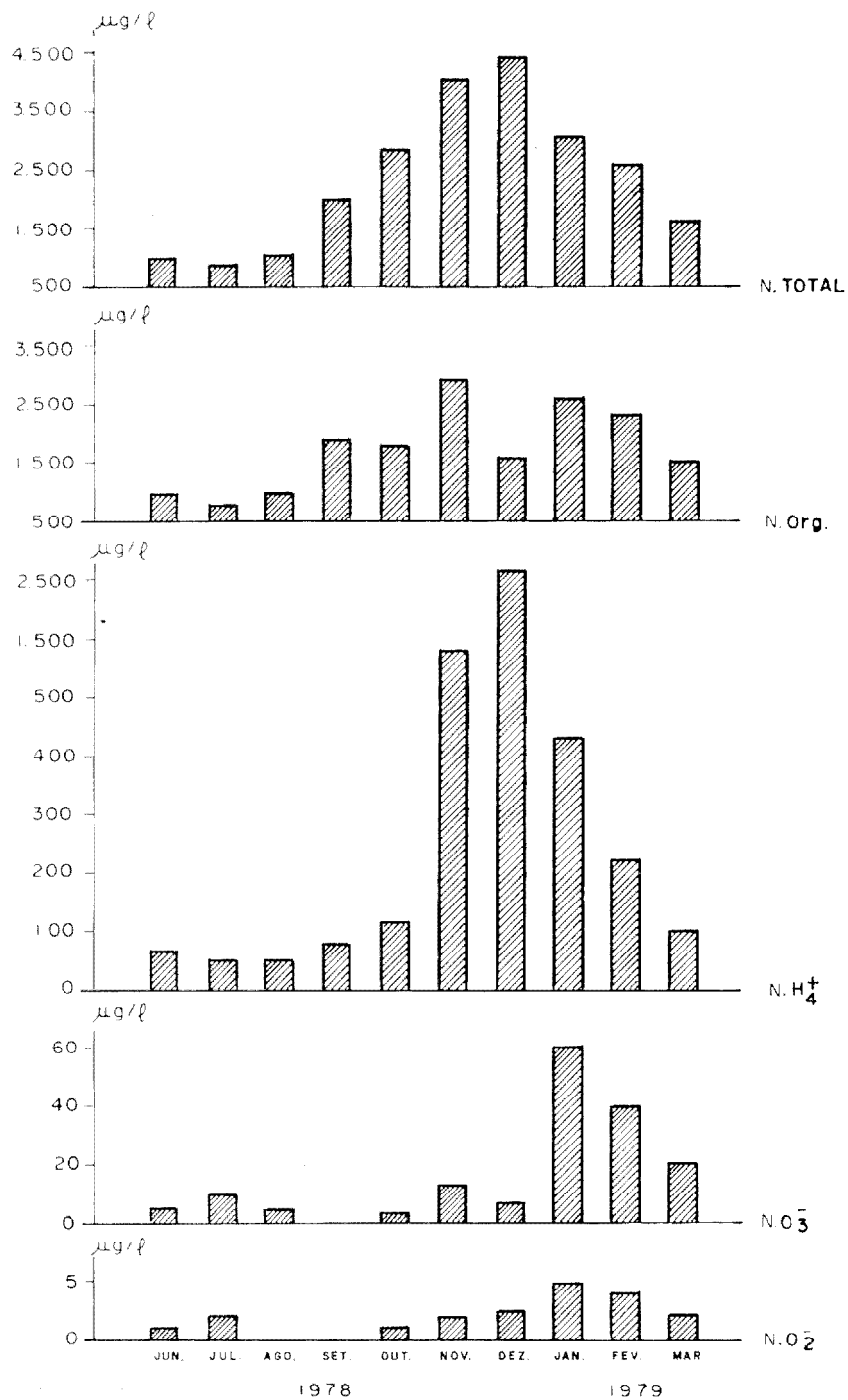


Fig. 5 — Valores médios mensais dos compostos de nitrogênio.

coleta de dezembro, os valores cresceram consideravelmente, variando entre 2,37 mg/l a 2,92 mg/l.

Os Compostos de nitrogênio orgânico incluem uma grande variedade de produtos de decomposição tais como: proteínas, aminoácidos, uréia e ácidos metilamínicos.

As principais fontes de nitrogênio orgânico no Lago do Arroz são materiais provenientes da decomposição do capim flutuante.

As menores concentrações foram encontradas no período de maior nível de água (julho) com uma média, no perfil de 0,79 mg/l. As maiores no mês de novembro, com uma média, em perfil de 2,87 mg/l.

As concentrações de nitrogênio total diferem muito pouco dos resultados do nitrogênio de Kjeldahl, em virtude de baixas concentrações de nitrito e nitrato.

As menores concentrações foram encontradas no período de maior nível de água (julho) com uma média no perfil de 0,59 mg/l. As maiores foram encontradas no mês de dezembro com uma média, no perfil de 4,47 mg/l.

#### KMNO<sub>4</sub>

O consumo de permanganato de potássio e, por conseguinte a demanda química de oxigênio (COD) do Lago do Arroz são bastante variáveis, evidenciando a significativa quantidade de material oxidável.

As menores concentrações de permanganato de potássio, foram en-

contradas nos meses de setembro – outubro, variando em média de 19,00 mg/l.

As maiores ocorreram nos meses de novembro e dezembro, numa média de 120,00 mg/l para os dois meses, em consequência da ressuspensão dos sedimentos. Semelhantes valores foram encontrados por Schmidt (1973) e Santos, (1977), em lagos da região do Janauacá.

#### SÍLICA

As menores médias das concentrações de sílica ocorreram no mês de julho (1,80 mg/l). No mês de agosto, a média encontrada foi de 3,240 mg/l, correspondendo a uma maior turbulência no lago devida aos ventos provenientes do Sul. Nos meses de setembro e outubro, os valores médios oscilaram em torno de 4,61 a 4,66 mg/l, face à baixa do nível de água do lago, havendo com isto, maior turbulência provocada pelos peixes e ventos. Nos meses de novembro e dezembro, os valores encontrados oscilaram em torno de 3,12 a 3,48 mg/l, possivelmente, em virtude dos teores de substâncias orgânicas bastante altos.

No mês de janeiro, encontramos as maiores concentrações de sílica, uma média de 6,15 mg/l, correspondendo ao início do período chuvoso, que provoca o arraste do material mineralizado, proveniente do capim flutuante existente na periferia do lago, como também, uma resolubilização devida ao aumento do pH. Nos meses de fevereiro a

março, os valores baixam de 5,24 mg/l para 3,86 mg/l, o que parece poder ser explicado pelo efeito de diluição da água pela chuva. Possivelmente, estes valores oscilaram em torno de 4,00 mg/l até o mês de junho.

## DISCUSSÃO

Este trabalho, realizado em um lago de várzea pertencente à Ilha do Careiro, mostra interessantes fenômenos ecológicos. O primeiro é o da ressuspensão dos sedimentos, devido, principalmente, ao peixe acari-bodó (*Pterygoplichthys*) no período em que o lago está com o seu menor nível de água. Nos meses de novembro e dezembro, no Lago do Arroz foram pescados 65.000 espécimes por seis pescadores.

Quanto às partículas em suspensão na água, o Lago do Arroz, recebe maior quantidade, quando está com o seu nível de água mais alto ou quando está com o seu nível de água mais baixo, ao receber material alóctone carregado pelas precipitações.

As diferenças químicas observadas são resultantes da localização do lago, como também, de sua característica periférica, circundado pelo solo aluvial recente, coberto de pastagem para o gado. O lago recebe água de drenagem de diferentes composições, além de maior ou menor quantidade de material alóctone proveniente de igapó. Sua distância e altura, em relação ao rio e

canal de entrada, representam, também, um papel de primordial importância sobre as diferenças químicas que observamos.

As variações de temperatura, entre a superfície e o fundo do lago estão relacionadas com o nível da água e com as condições climáticas. A maior diferença diurna aparece no mês de julho com 3.8°C, já Marlier (1965), encontrou uma diferença de 1.8°C no Lago Redondo, lago com pouca profundidade. Schmidt (1973) encontrou no Lago do Castanho (Janauacá) diferenças de 4.0°C.

Os valores de pH, no período estudado, estão numa faixa de 4.6 e 6.4, em média. Quando o Lago do Arroz está subindo de nível (janeiro) até quando está decrescendo (agosto), os valores de pH oscilam entre 5.6 e 6.5, sendo considerados normais em comparação aos trabalhos de outros autores que pesquisaram na Amazônia Central, mas, quando o lago está com o seu nível mais baixo, o pH oscilou entre 4.5 a 6.0, possivelmente, em virtude das altas concentrações de nitrogênio e ferro.

Os valores encontrados para a condutibilidade elétrica medidos em  $\mu\text{S. cm}^{-1}$  mostram resultados semelhantes aos encontrados por Marlier (1965), Schmidt (1973); seus valores oscilam entre 35.00 e 89.15  $\mu\text{S. cm}^{-1}$ .

Na comparação entre os três maiores cátions e ânions, no período de maior nível de água (junho)

e no menor nível de água (dezembro), os valores não são tão baixos, podendo os mesmos ser comparados com algumas águas de regiões tropicais.

As concentrações do oxigênio mostram uma correlação com a dimensão do lago e profundidade.

Quando o mesmo está com o nível mais elevado, no epilímnio, aparecem pequenas concentrações de oxigênio que são consideradas críticas para os peixes, dada a ocorrência do  $H_2S$ . Santos, (1973) demonstrou que este gás é o possível causador da asfixia de algumas espécies de peixes em lagos de várzea. No mês de agosto, houve a oportunidade de observar-se este fenômeno, o qual causou a morte de milhares de peixes no Lago do Arroz, com um peso estimado em aproximadamente dez toneladas.

O elemento mais deficitário encontrado foi o fósforo, variando sua concentração média para cada mês em torno de 17 a 193  $\mu g/l$ .

No período da estagnação do lago, as concentrações de ferro total crescem gradualmente da superfície até a zona anóxica.

Supõe-se a formação de  $FeS$ ,  $Fe_3(PO_4)_2$ . Santos, (1973) observou na região anóxica dos Lagos do Castanho e Jutai, altas concentrações de  $H_2S$ , concluindo que parte do ferro é precipitado como  $FeS$ .

No período em que o lago está com níveis baixos de água, as concentrações de ferro total são extremamente elevadas. Observa-se

ao redor do lago, principalmente na margem frontal à direção dos ventos (Norte-Este), a formação de uma espuma cor de ferrugem, de até oito centímetros de altura.

Estas condições, foram observadas no Lago do Arroz e, segundo comunicação verbal de alguns pescadores da região o fenômeno ocorre no Lago do Rei, também na Ilha do Careiro, o que nos leva à suposição de que o ferro solubilizado constitui-se de íons hidroxilados, supondo-se haver neste período uma forte oxidação e uma grande atividade de bactérias ferruginosas.

Quanto ao ferro solúvel, os menores valores aparecem quando o lago está no seu maior nível de água, havendo uma maior concentração de ferro na região profunda. Este fenômeno pode ser atribuído à precipitação de ferro solúvel e/ou à sua absorção nos processos da produção primária.

Com o rebaixamento do nível do Lago, estes teores vão aumentando, o que supõe-se ser uma seqüência de retenção de partículas de ferro solúvel pelo capim flutuante, com sua posterior liberação, mineralização desse capim flutuante, maior circulação do lago, ressuspensão dos sedimentos e uma maior atividade de bactérias ferruginosas.

Nota-se nas tabelas 2b, c, que no período de janeiro-março, quando o lago começa a aumentar de nível, os valores de ferro solúvel, são aproximadamente três vezes maiores que os de ferro complexado,

fato que pode ser explicado pelas fortes chuvas que caem sobre o lago e maior contribuição dos lençóis freáticos.

Segundo Willians (1968), o pH baixo e os valores elevados de matéria orgânica são fatores que contribuem para o aumento do teor de ferro, no caso para o Lago do Arroz, ferro complexo.

A notável diferença entre os teores de ferro solúvel e total, que vai se acentuando na medida do rebaixamento do Lago, juntamente com a acidez e com os teores de material húmico, leva a acreditar que grande parte de ferro esteja ligado a complexos.

Santos, (1978) encontrou 8,100 mg/l de ácido fúlvico nos sedimentos de um lago da região, o que está de acordo com a suposição de que ocorre uma ação complexante mais intensa por ocasião da ressuspensão dos sedimentos em decorrência de uma maior circulação e da pequena profundidade do lago.

A dinâmica do manganês é idêntica à do ferro, pois varia com as condições oxi-redutoras do lago e com a sua capacidade complexante.

Segundo Levinson (1974) e Wetzel (1975), o manganês forma complexos hidroxilados com a matéria orgânica, mantendo-se em solução em função da estabilidade do complexo.

As maiores concentrações de manganês ocorrem quando o lago está com o seu nível mais baixo em decorrência da ressuspensão dos se-

dimentos, o que impede que ocorra a sua estratificação.

As menores concentrações ocorrem quando o lago está com o seu maior nível de água, dadas as condições ecológicas bastante peculiares em lagos de várzeas da Amazônia Central. O lago, quando está com quatro metros de profundidade, inicia uma fase de deposição dos sedimentos, e, com isto, a diminuição gradativa da concentração de manganês em solução.

No Lago do Arroz, ocorrem certos fatores que operam, dinamicamente, no período em que o lago está com o seu mais alto nível. Encontramos, na profundidade de três metros, concentrações de nitrato da ordem de 0,053 mg/l, mostrando uma nitrificação, fenômeno que não foi observado por outros autores que trabalharam em lagos de várzea (fig. 6).

Possivelmente, as médias de 0,6 mg/l no mês de janeiro e 0,4 mg/l no mês de fevereiro, as mais altas durante o período estudado são devidas ao arraste destes compostos provenientes do estrume do gado.

Alguns fatores ecológicos contribuem para os altos valores de amônia, partindo da segunda quinzena de novembro, até a última coleta de dezembro, os quais enumeramos a seguir:

1. O redor do lago, (quando é local de pastagem e engorda do gado o mesmo está com menor nível de água), e com o início do período

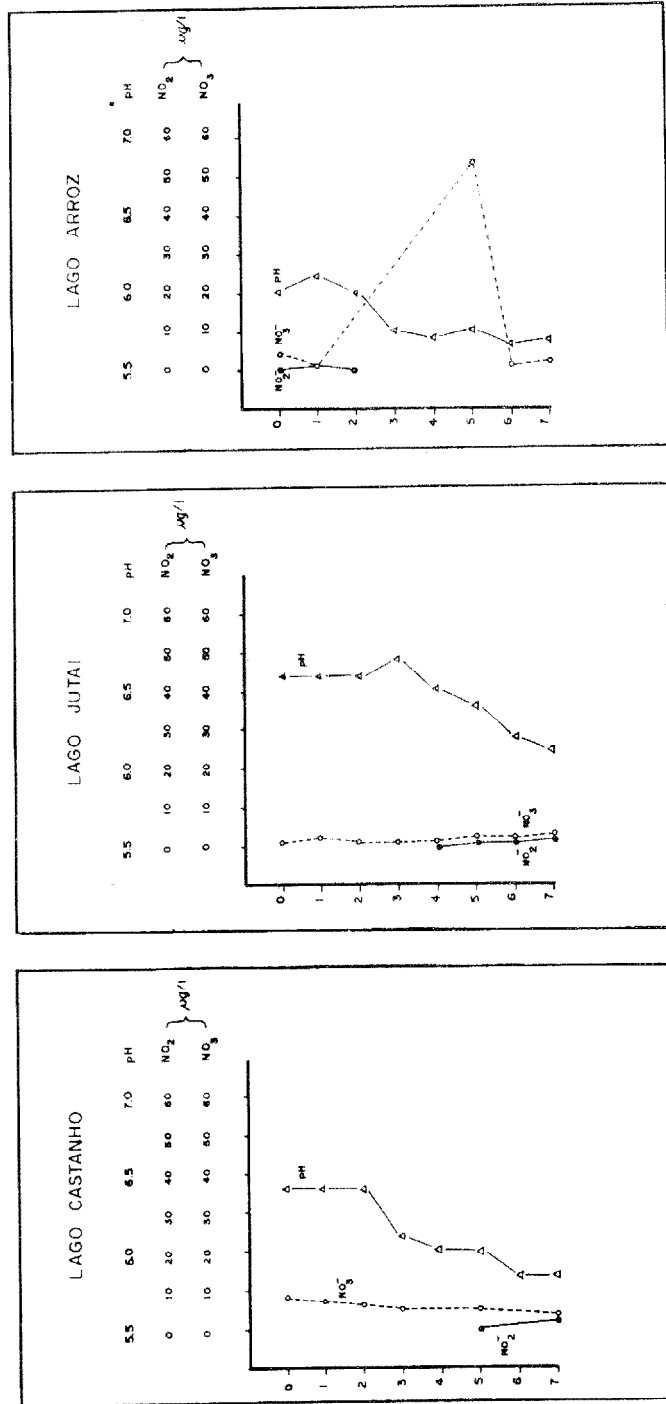


Fig. 6 — Valores comparativos de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e pH, de três lagos de várzea da Amazônia Central. Observa-se o fenômeno da nitrificação, no lago do Arroz, à profundidade de 5 m. 1978.

chuvoso ocorre o arraste do estrume para a bacia do lago;

2. Na segunda quinzena de outubro, o Lago do Arroz recebe uma migração em grande escala de peixes *Pterygoplichthys* (acari-bodó) para desova, provenientes de outros pequenos lagos. Esta espécie de peixe cava pequenos buracos na lama do lago para desovar, provocando uma ressuspensão de sedimentos. Além disso, o acari-bodó é uma espécie de peixe que excreta bastante, fazendo com que aumente a atividade bacteriológica e, em consequência, a produção de amônia;

3. O baixo pH (4.5 – 5.0) não permite que a amônia se volatilize.

Os resultados encontrados para o nitrogênio orgânico são bastante elevados, comparados com os outros trabalhos, resultados provavelmente devidos à grande quantidade de capim flutuante existente ao redor do lago, material alóctone vindo das regiões circunvizinhas e, principalmente, quando o lago está com o seu nível mais baixo, a ressuspensão dos sedimentos provocadas pelos peixes e ventos.

Também observou-se um interessante fenômeno na amostragem da segunda quinzena de dezembro, dia 27.12.78. Neste dia, as concentrações de nitrogênio orgânico variaram de 0,42 mg/l na superfície a 0,52 mg/l a um metro de profundidade, enquanto que a concentração de amônia foi de 2,92 mg/l à superfície e 3,81 mg/l a um metro de profundidade. Possivelmente, es-

te aumento deve-se a uma amonificação.

A alta concentração de nitrogênio total no período do rebaixamento do lago, em grande parte, é devida à mineralização do capim flutuante e à ressuspensão dos sedimentos.

No período em que o lago está subindo de nível, encontramos as maiores concentrações de sílica, 6,16 mg/l, compatíveis com os resultados obtidos por Schmidt (1973) nas águas do Rio Solimões. Estes resultados indicam muito bem o suprimento do lago em sílica, pelo transbordo do rio nas terras de várzea, da região circunvizinha ao lago. Esta concentração vai, porém, diminuir quando estiver sendo utilizada pelo metabolismo das diatomeas, espongiários, etc.

O consumo de permanganato de potássio são considerados normais, quando no período em que o lago está subindo de nível até o início da vazante, e são anormais quando o lago está com a sua menor cota de água. Segundo Santos, (1978), os ácidos húmicos e fúlvicos possuem efeitos importantes no enriquecimento mineralógico dos sedimentos. A sua presença neste material vem justificar as anormalidades encontradas.

## CONCLUSÕES

1. O Lago do Arroz, como lago de várzea, é dependente do Rio Amazonas (Solimões) e das precipitações;

## 2. TEMPERATURA

a) A maior diferença diurna aparece no mês de julho com 3,8°C período em que o lago está com o maior nível de água;

b) Quando o vento sopra da direção do Sul, encontramos uma isotermia ou quando o lago está com o nível de água abaixo, em decorrência do fenômeno de circulação total.

## 3. pH

Os valores do pH, no período estudado, estão entre uma faixa de 4,59 a 5,41, o que permite considerar as águas do Lago do Arroz, como uma solução de ácido fraco.

a) Com o nível de água baixo, o pH variou entre 4,50 a 6,00 dadas as altas concentrações de compostos de nitrogênio e ferro.

## 4. CONDUTIBILIDADE ELÉTRICA

As maiores ocorreram quando o lago apresentava o mais baixo nível de água.

## 5. SAIS TOTAIS

As concentrações são bastante significativas:

a) No período de maior nível de água, as concentrações de ânions são superiores aos dos cátions em 3,6 vezes;

b) Com nível mais baixo de água, as concentrações de ânions e cátions são quase semelhantes.

## 6. OXIGÊNIO E GÁS SULFÍDRICO

a) No período de estagnação, temos valores de zero para oxigênio na região anóxica (hipolímnio);

b) Ação fitoplanctônica influencia os teores de oxigênio;

c) A taxa de oxigênio está intimamente relacionada com as concentrações de H<sub>2</sub>S, no período de estagnação do lago. Nesses meses, as concentrações de oxigênio são críticas para os peixes;

## 7. FÓSFORO

De um modo geral, as concentrações de fósforo total e solúvel apresentam valores baixos. No Lago do Arroz, as maiores concentrações ocorrem no período de estagnação do lago ou quando o mesmo está com o seu nível de água mais baixo.

## 8. FERRO

a) As menores concentrações de ferro total ocorrem no período de maior nível de água no lago;

b) As concentrações de ferro total crescem gradualmente de superfície até o fundo do lago;

c) No período de elevação do nível do lago, as concentrações de ferro solúvel, em média, são três vezes maiores que as concentrações do ferro complexado;

d) Quando o lago está com o seu maior nível de água (junho—



julho), as concentrações de ferro solúvel e complexados são semelhantes;

e) As maiores concentrações de ferro total aparecem no mês de dezembro;

f) Quando o lago está baixando de nível, as concentrações de ferro complexado são superiores às de ferro solúvel, em virtude da ressuspensão dos sedimentos ou, possivelmente, de uma retenção pelo lago de material coloidal do ferro.

## 9. MANGANÊS

Os valores de manganês mantém relação com os de ferro. As maiores concentrações ocorrem quando o lago está com o menor nível de água e as menores quando está com o maior nível de água.

## 10. COMPOSTOS DE NITROGÊNIO

a) Os valores de nitrito e nitrato são muito baixos;

b) As altas concentrações de nitrogênio total e nitrogênio orgânico, no período de rebaixamento do lago são devidas à mineralização do capim flutuante e ressuspensão dos sedimentos provocada pelos peixes e ventos;

c) No mês de dezembro, encontramos uma grande amonificação, possivelmente, provocada por uma deaminação bacteriológica de aminoácidos;

d) As altas concentrações de amônia provêm dos dejetos do gado e excreção do acari-bodó;

e) O baixo pH (4,50 a 5,00) não permite que a amônia se volatilize, quando o lago está com o menor nível de água.

## 11. CONSUMO DE PERMANGANATO (COD)

a) A demanda química de oxigênio COD foi muito variável durante o período em que o lago estava com o alto nível de água. Os maiores consumos apareceram quando o lago estava com o menor nível de água, evidenciando a riqueza do material orgânico oxidável.

## 12. SÍLICA

a) Os menores valores de sílica foram observados durante o período de maior nível de água, crescendo gradativamente à medida que se observa a vazante;

b) Durante a elevação do nível de água, no lago, aparecem as maiores concentrações de sílica, dada a decomposição do fitoplâncton e da flora aquática;

13. O peixe acari-bodó, principalmente, que migra no mês de outubro para desovar, causa no lago uma completa turbulência e com isto provoca parte das variações físico-químicas e biológicas observadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GIBBS, R. J.  
1967 — The geochemistry of the Amazon River System. Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. *Geological Society of American Bulletin*, 78 : 1203 — 1232.
- LEVINSON, A. A.  
1974 — *Introduction to Exploration Geochemistry*. Applied Publishing LTDA, Alberta — Canada, 612 p.
- MARLIER, G.  
1965 — Etudes sur les lacs de L' Amazonie Centrale. *Cadernos da Amazônia*, Manaus, 5 : 1 — 49.
- RIBEIRO, J. S. B.  
1978 — *Fatores Ecológicos, Produção Primária e Fitoplâncton em cinco lagos da Amazônia Central. Estudo Preliminar*. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do Grau de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. 143 p.
- SANTOS, A. DOS  
1978 — *Ácido Húmico e Ácido Fúlvico no sedimento de dois lagos na Amazônia Central (Lago Caiuê e Lago Jacaretinga)*. Dissertação apresentada ao Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Federal de São Carlos, para a obtenção do grau de mestre em Ecologia e Recursos Naturais. 138 p.
- SANTOS, U. DE M.  
1973 — Beobachtungen über Wasserbewegungen, chemische Schichtungen und Fischwanderungen in Varzea — Senn in mittleren Solimões (Amazonas). *Oecologia*, Berl. 13, 239 — 246.
- 1977 — *Aspecto Limnológico do Grande lago do Jutai (Amazônia Central), face as alterações químicas do meio hídrico da Região*. Dissertação apresentada a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", para obtenção do grau de Mestre em Energia Nuclear na Agricultura. 73 p.
- SCHMIDT, G. W.  
1972 — Chemical properties of some water in the tropical rain forest region of Central Amazonia along the new road Manaus-Caracarái. *Amazoniana*, Kiel 3 : 199 — 207.
- SCHMIDT, G. W.  
1973 — Primary production of phytoplankton in the three types of Amazonian waters. II. The Limnology of a tropical floodplain lake in Central Amazonia (Lago do Castanho) *Amazoniana*, Kiel, 4(2): 139 — 203.
- WETZEL, R. G.  
1975 — *Limnology* Philadelphia, N. B. Saunders. 743 p.
- WILLIAMS, P. M.  
1968 — Organic and Inorganic Constituents of the Amazon River, *Nature*, 28 : 937 — 938.

(aceito para publicação em 17/01/83)

Lopes et al.