

Fatores ambientais e formação de gases dos sedimentos da Lagoa do Infernã

Antonio, R. M.¹ & Bianchini Jr., I.²

Abstract – Environmental factors and the gases production of the Infernã Lagoon sediments – Aiming to describe the relationships between some environmental variables of the Infernã Lagoon and the heterotrophic processes of its sediment, sediment samples were monthly incubated under controlled conditions. It was also made an assessment in the lagoon to follow the changes of some limnological variables. Both, the production and uptake of gases were registered (with manometer) during the incubations and their rates were estimated. The rates were related to the limnological variables changes. Before the production of gases, it was observed that the incubations pointed out an uptake time, that varied each month (from 7 to 43 days). The daily average of the uptake rates did not present relationship to the most of the variables, but it did with the total nitrate concentration, the electric conductivity of the water and to the temperature. The daily average of production rates and the amounts of produced gases (in 37 days) pointed out that this process was related to the most of variables, mainly, with the concentrations of organic nitrogen (total and dissolved), phosphorous (total and dissolved) and with the electric conductivity of the water. The sediment samples from September to January were the ones, which presented the highest production rates (from 0.66 to 1.51 ml · day⁻¹), and they produced the largest amounts of gases (from 36.5 to 122 ml, in 37 days), these samples were collected when the lagoon presented higher depths (usually rain season).

Key words: *sediment, anaerobic mineralization, gas uptake and production.*

Resumo – Visando descrever as relações entre alguns fatores ambientais da Lagoa do Infernã e os processos heterotróficos que ocorrem em seu sedimento, foram incubadas, mensalmente, amostras de sedimento sob condições controladas. Foi também efetuado na lagoa um inventário mensal para verificar as alterações de algumas variáveis limnológicas. Durante as incubações foram registrados com manômetros os processos de formação e de assimilação de gases e estimadas suas taxas, que foram relacionadas com as variáveis limnológicas. Observou-se que as incubações apresentaram, antes da formação de gases, uma fase de assimilação, que variou mensalmente (de 7 a 43 dias). As taxas médias diárias

1. Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, C.P. 676, CEP 13565-905, São Carlos, SP, e-mail: pantonio@iris.ufscar.br e rma@montealto.net.

2. Departamento de Hidrobiologia e Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, C.P. 676, CEP 13565-905, São Carlos, SP, e-mail: irineu@power.ufscar.br.

de assimilação não apresentaram relação com a maioria das variáveis, apenas com a concentração de nitrato total, a condutividade elétrica da água e a temperatura. As taxas médias diárias de formação e as quantidades de gases formados (em 37 dias) mostraram que esse processo relacionou-se com a maioria das variáveis, principalmente com as concentrações de nitrogênio orgânico (total e dissolvido), fósforo (total e dissolvido) e com a condutividade elétrica da água. As amostras de sedimento coletadas nos meses de setembro a janeiro foram as que apresentaram as maiores taxas de formação (de 0,66 a 1,51 ml · dia⁻¹) e geraram as maiores quantidades de gases (de 36,5 a 122 ml, em 37 dias), estas amostras foram obtidas na época em que a lagoa se manteve mais profunda (normalmente no período de chuvas).

Palavras-chave: *sedimento, mineralização anaeróbia, formação e assimilação de gases.*

Introdução

Em 1974, Pomeroy argumentou sobre a importância dos microrganismos heterótrofos no funcionamento de ecossistemas oceânicos. A partir de então, essa idéia vem revolucionando os conceitos de rede alimentar e atualmente admite-se que os microrganismos medeiam a transferência de grande parte da energia dos ecossistemas marinhos pelágicos (Azam *et al.*, 1993).

Estudos quantitativos posteriores confirmaram a hipótese de Pomeroy, mostrando que grande parte dos fluxos de carbono nas zonas oceânicas eufóticas ocorre a partir da seguinte cadeia trófica: matéria orgânica dissolvida (MOD) → bactéria → protozoa → metazoa (Azam *et al.*, 1993). Estes mesmos autores relataram que o fluxo de carbono que passa pelas bactérias pode variar de 0% a 100% da produção primária local. Essa discussão deu origem ao conceito de *microbial loop*. Esse conceito refere-se à transferência de matéria orgânica dos detritos diretamente para os níveis tróficos superiores, por meio dos microrganismos heterótrofos. Essa transferência ocorre no início da cadeia alimentar, pela mineralização e assimilação da matéria orgânica da fase (estado) dissolvida para a fase particulada (tecidos), havendo, assim, disponibilidade de carbono para os demais níveis tróficos (Azam *et al.*, 1993). O novo desafio na evolução desse conceito está em elucidar as causas e os mecanismos dessa variação de cadeia trófica.

Os recursos primários e secundários, provenientes dos estratos superiores da coluna d'água, são depositados nos sedimentos de sistemas aquáticos que se constituem em fonte de energia (matéria orgânica) para organismos heterótrofos. A matéria orgânica representa uma pequena, mas importante, fração dos sedimentos de lagos. É constituída por uma complexa mistura que contém lipídios, carboidratos, proteínas e outras substâncias que se originam dos tecidos vivos de microrganismos bentônicos e dos restos de organismos que habitam os ambientes aquáticos (Meyers & Ishwatari, 1995). O conteúdo de matéria orgânica nos sedimentos, segundo Meyers & Ishwatari (1995), fornece importantes informações aos estudos paleontológicos de ambientes lacustres, como, por exemplo, o histórico da variação climática e os efeitos antrópicos sobre ecossistemas locais e regionais.

A composição química dos recursos orgânicos e os fatores abióticos condicionam a presença e a manutenção dos organismos decompositores dos ambientes aquáticos e, conseqüentemente, as rotas pelas quais os detritos serão mineralizados. No caso dos processos de ciclagem anaeróbios, dependendo das condições, ocorre a formação de vários

gases, dentre os quais: o sulfídrico, o nitrogênio, o dióxido de carbono, o hidrogênio, os mercaptans e o metano (Ballester, 1994; Antonio, 1996).

A formação de gases é um processo constituinte tanto da degradação anaeróbia quanto da aeróbia. Deste modo, a observação das taxas de formação de gases passa a ser também uma observação indireta do catabolismo dos recursos orgânicos presentes nos sedimentos. Experimentos têm evidenciado que essas taxas catabólicas variam de acordo com fatores abióticos, como: temperatura, quantidade de nutrientes, presença de oxigênio, pH etc. (Antonio, 1996).

Os carboidratos são degradados tanto por processos anaeróbios (fermentações) quanto aeróbios, via oxidações. De maneira similar aos polissacarídeos, os dissacarídeos, assim como a sacarose e a lactose, são hidrolizados a monossacarídeos por hidrólise enzimática das ligações glicosídicas (Finch *et al.*, 1971). Os monossacarídeos são convertidos em glicose ou frutose, ou seus respectivos ésteres, e a partir desses compostos são convertidos em ácido pirúvico, por meio da via glicolítica (Embden-Meyerhof-Parnas). O ácido pirúvico ocupa um papel central no metabolismo do carbono, sendo que pode ser convertido, pelo processo anaeróbio, em ácido láctico, ácido acético, aminoácido (alanina), ácido oxalacético, acetaldeído e, a partir de então, em etanol, ou pode ser oxidado em dióxido de carbono e água, por meio de processo aeróbio, via ciclo do ácido tricarboxílico (Lehninger, 1984).

O catabolismo do detrito pode ser incompleto. Nesse caso, os produtos formados podem ingressar no metabolismo dos decompositores e, conseqüentemente, ser ressinetizados e incorporados às estruturas desses organismos. Outros podem ser incorporados e/ou convertidos em classe de compostos orgânicos não celulares, como as substâncias húmicas (Toledo, 1973; Thurman, 1985).

Experimentos sob condições controladas, que evidenciam a formação de gases a partir da degradação de recursos específicos, podem esclarecer os efeitos de funções de força dos sistemas aquáticos sobre as taxas dos processos metabólicos de interesse. Nesse contexto, tendo em vista a descrição de aspectos relacionados com os processos heterotróficos do sedimento da Lagoa do Infernã, foram montadas incubações com sedimento sob condições controladas. Em geral, as atividades buscaram relacionar as alterações das taxas de formação e de assimilação de gases com as alterações temporais de variáveis físicas e químicas da lagoa.

Material e Métodos

Local de amostragem

A Lagoa do Infernã encontra-se à margem direita do trecho médio do Rio Mogi-Guaçu. Esse local se constitui em uma planície de inundação na qual são comuns as lagoas marginais (Nogueira, 1989). O trecho da planície em que essa lagoa se encontra faz parte da Estação Ecológica de Jataí, que está localizada no município de Luiz Antônio, São Paulo (21°33' a 21°37'S e 47°45' a 47°51'W).

Essa lagoa pode ser caracterizada como uma lagoa de infiltração (Mozeto *et al.*, 1991, *apud* Feresin, 1994) e apresenta formato de ferradura (*oxbow lake*). Atualmente possui toda a sua superfície colonizada pela macrófita aquática *Scirpus cubensis*; segundo Feresin (1994), nesse ambiente ocorrem ainda: *Panicum pernambucensis*, *Eichhornia azurea* e *Cabomba piatuihyensis*.

O clima da região, segundo Koppen, *apud* Nogueira (1989), é do tipo Cwa-Mesotérmico, com inverno seco, verões quentes e estação chuvosa no verão. Segundo Toledo Filho (1984), *apud* Nogueira (1989), a área da Estação Ecológica de Jataí apresenta clima mais ameno que o Planalto Central por estar localizada na região marginal do cerrado brasileiro, enquadrando-se na sub-região do clima de cerrado com influência austral continental.

Período de amostragem e montagem do experimento

As coletas das amostras de água e de sedimento da Lagoa do Infernãõ foram realizadas mensalmente, entre setembro de 1993 e agosto de 1994. Durante esse período, nos dias de coleta, foram realizados, também, inventários limnológicos visando acompanhar as alterações das seguintes variáveis: temperatura da água, pH, condutividade elétrica da água, profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, profundidade média e concentrações de oxigênio dissolvido, carboidratos totais, substâncias húmicas totais, nitrato total, nitrogênio orgânico total, nitrogênio orgânico dissolvido, fósforo total, fósforo total dissolvido e matéria orgânica do sedimento.

A temperatura da água foi determinada por meio de leitura direta com termômetro de mercúrio. A condutividade elétrica da água e o pH foram obtidos por potenciometria (condutímetro e pH-metro). A transparência da coluna d'água foi estimada por intermédio do disco de Secchi e a profundidade da lagoa foi determinada com uma poita presa a uma corda graduada. As concentrações de carboidratos totais, substâncias húmicas totais, nitrato e fósforo (total e dissolvido total) foram determinadas por métodos colorimétricos, segundo os procedimentos propostos por Dubois *et al.* (1956), Toledo (1973) e Mackereth *et al.* (1978), respectivamente. As concentrações de oxigênio dissolvido e de nitrogênio orgânico (dissolvido e total) foram determinadas por titulometria, segundo os métodos de Winkler (Golterman & Clymo, 1971) e de Kjeldhal (Allen *et al.*, 1974), respectivamente. Os teores de matéria orgânica dos sedimentos foram quantificados a partir da calcinação das amostras (Allen *et al.*, 1974).

Os registros das formações de gases, decorrentes da degradação da matéria orgânica do sedimento, foram realizados por meio de câmaras de mineralização; de acordo com a metodologia descrita por Sorokin & Kadota (1972). Esse procedimento constitui-se, basicamente, na incubação de amostras de sedimento e água. Após a adição das amostras, cada frasco (vol. \approx 4 L) é fechado com uma tampa contendo válvula de controle de pressão e bureta graduada (vol. 100 ml). Depois de fechados, alíquotas de água são adicionadas às buretas (manômetros de baixa pressão) e os volumes iniciais são registrados.

Para as incubações, as amostras de sedimento foram coletadas (durante 12 meses) com draga de Eckman. A cada coleta, a amostra de sedimento foi levada ao laboratório, em que uma quantidade aproximada de 3 kg foi colocada na câmara de mineralização. Na seqüência, o volume do frasco foi completado com amostra de água (\approx 1 L) do mesmo ponto de coleta do sedimento; as amostras de água foram coletadas com garrafa de Van Dorn. A proporção entre as amostras de sedimento e de água foi adotada de acordo com o sugerido por Antonio & Bianchini Jr. (1999). Após as montagens, as câmaras foram submetidas a vácuo (30 minutos) para remoção das bolhas formadas durante a preparação. A formação de gases foi verificada por meio de registros diários das variações dos volumes dos manômetros. A formação e a assimilação dos gases provenientes dos processos de decomposição foram atribuídas às variações das pressões internas das câmaras, que foram mantidas em ambiente com temperatura controlada (média: 22,9°C, desvio-padrão: 1,76°C) e cobertas com papel alumínio. As incubações duraram de 60 a 150 dias.

Resultados e Discussão

A partir da Tabela 1, apresentam-se os registros das alterações temporais das variáveis limnológicas. Estes resultados indicam que, na Lagoa do Infernã, a temperatura da água foi máxima em fevereiro (29,2°C) e as mínimas ocorreram em junho e julho (17,9 e 17,1°C, respectivamente). Em geral, as temperaturas mais elevadas foram registradas entre os meses de outubro de 1994 e abril de 1995 e as mais baixas, no período compreendido entre os meses de maio e setembro. O pH variou entre 4,81 e 5,82, indicando que a lagoa manteve-se ácida durante todo o ano e com pouca alteração. Os valores de condutividade elétrica da água apresentaram dois picos: em outubro (23,5 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) e em dezembro (26,6 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$), época dos meses mais quentes (outubro-abril); a partir de dezembro os valores decresceram até o inverno (9,5-9,8 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$). As profundidades de desaparecimento do disco de Secchi apresentaram maiores valores nos meses frios, de junho a agosto. A profundidade da Lagoa do Infernã decresceu a partir do período compreendido pela primavera-verão até o outono-inverno (chuvas/seca); o valor máximo observado ocorreu em setembro de 1993 (4,5 m) e o mínimo em maio de 1994 (3,32 m).

Tabela 1 Alterações temporais de variáveis limnológicas da Lagoa do Infernã.

Datas	T (°C)	pH	CE ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	Z _{ds} (m)	Z (m)	CHO (mg·L ⁻¹)	SH (mg·L ⁻¹)	NO _T (mg·L ⁻¹)	NOD (mg·L ⁻¹)	NO ₃ (mg·L ⁻¹)	P _T (μg·L ⁻¹)	PD _T (μg·L ⁻¹)	OD (mg·L ⁻¹)	MOS (%)
29/09/93	22,7	5,2	17,3	2,00	4,50	9,30	1,59	1,41	0,71	0,00	12,34	7,23	0,70	28,2
26/10/93	25,9	5,7	23,5	1,62	3,84	3,71	2,10	1,14	0,65	—	14,53	6,50	1,10	27,9
29/11/93	27,5	5,8	17,0	1,35	4,40	3,27	0,93	0,93	0,56	0,00	5,77	5,03	0,90	30,3
17/12/93	21,0	5,5	26,6	1,37	3,32	1,65	1,10	0,91	0,71	3,61	12,34	6,50	1,20	29,2
24/01/94	27,3	5,5	21,1	1,90	3,55	2,66	1,55	1,00	0,58	5,57	13,80	9,42	1,20	28,8
23/02/94	29,2	5,3	15,6	1,91	3,65	3,10	1,68	1,58	1,10	—	102,89	43,74	1,10	28,7
24/03/94	26,5	5,2	16,3	1,61	3,55	1,96	1,07	0,96	0,69	6,55	7,96	5,03	2,15	28,3
28/04/94	26,7	5,1	13,6	1,60	3,44	8,67	1,14	0,91	0,54	1,29	7,96	4,30	0,85	28,6
19/05/94	22,0	5,6	13,4	1,13	3,40	8,32	0,67	0,87	0,52	2,63	7,96	7,23	0,85	29,6
27/06/94	17,9	5,4	9,5	3,26	3,58	5,71	1,14	0,98	0,69	8,51	8,69	3,57	1,10	29,6
26/07/94	17,1	5,3	9,6	3,05	3,50	3,78	0,44	0,93	0,58	24,41	7,96	6,50	0,88	28,5
29/08/94	21,7	4,8	9,8	2,40	3,40	6,28	0,72	1,06	0,61	3,61	10,15	5,03	1,30	27,7

T – temperatura da água; CE – condutividade elétrica da água; Z_{ds} – profundidade de desaparecimento do disco de Secchi; Z – profundidade média; CHO – carboidratos totais; SH – substâncias húmicas totais; NO_T – nitrogênio orgânico total; NOD – nitrogênio orgânico dissolvido; NO₃ – nitrato total; P_T – fósforo total; PD_T – fósforo dissolvido total; OD – oxigênio dissolvido; e MOS – matéria orgânica do sedimento.

Os carboidratos totais apresentaram maior concentração na primavera (final da época de seca), em setembro (9,3 mg · L⁻¹), e a partir desse mês as concentrações decresceram até março (durante o verão). Em abril, a concentração voltou a elevar-se e a partir de então decresceu até o final do outono, tendendo a um novo incremento no final do inverno. Em relação às substâncias húmicas dissolvidas, a concentração mais elevada foi 2,1 mg · L⁻¹ e ocorreu no mês de outubro de 1993. Em novembro verificou-se um decréscimo (0,9 mg · L⁻¹). Após esse mês, as concentrações voltaram a se elevar até fevereiro de 1994 (1,7 mg · L⁻¹) e a partir de então tenderam a decrescer até agosto.

As variações temporais de fósforo total e fósforo total dissolvido indicaram, da mesma forma que o nitrogênio orgânico total e o nitrogênio orgânico dissolvido, a ocorrência de pico característico no mês de fevereiro de 1994 (102,89, 43,74 mg · L⁻¹ e 1,58, 1,1 mg · L⁻¹, respectivamente). Diferente das demais formas analisadas de nitrogênio, o nitrato apresentou pico característico no mês de julho (27,41 mg · L⁻¹), no período restante suas concentrações mantiveram-se variando entre zero e 8,51 mg · L⁻¹.

As concentrações de oxigênio dissolvido apresentaram valores baixos, quase sempre inferiores a $1,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, o valor mais alto ocorreu em março ($2,15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). No que se refere à matéria orgânica do sedimento, os resultados não indicaram a ocorrência de variações acentuadas; o valor mais elevado (30,3%) foi registrado em novembro (1993) e o menor (27,7%) em agosto 1994. Considerando que as maiores precipitações na região têm sido registradas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (Santos & Mozeto, 1992), supõe-se que esses resultados indiquem a influência do pulso hidrológico nas concentrações dos elementos químicos em questão.

A Figura 1 apresenta as variações temporais dos volumes de gases das incubações. Verifica-se que, em todos os meses, os processos se iniciaram com a ocorrência de uma fase caracterizada pelos decréscimos das pressões internas das câmaras, diminuindo, assim, os valores acumulados, ou seja, predominaram as assimilações (consumos) de gases. A duração desse evento variou a cada mês. A exemplo de experimentos de mineralização envolvendo o método manométrico e as incubações com macrófitas aquáticas (Campos Jr., 1998; Campos Jr. & Bianchini Jr., 1998; Cunha & Bianchini Jr., submetido) supõe-se que a predominância dos processos de assimilação tenha refletido: 1) adaptação da comunidade microbiana da amostra de sedimento às condições experimentais adotadas; 2) as características físicas, químicas e biológicas (densidade e tipos de microorganismos) das amostras; e 3) o condicionamento das taxas metabólicas em função das variáveis físicas e químicas predominantes nos dias das coletas. Após essa fase, foi possível verificar que os volumes aumentaram, indicando aumento das pressões internas das câmaras, decorrente do predomínio da formação anaeróbia de gases sobre os processos de assimilação.

Os resultados obtidos descreveram, portanto, os processos de assimilação e formação de gases nas câmaras (Figura 1). Conforme pôde ser observado, nem sempre foi possível verificar a fase final de estabilização. É provável que esse fato esteja relacionado com a ocorrência de uma maior quantidade de matéria orgânica refratária no sedimento, sugerindo que os futuros estudos devam comportar períodos de incubação mais prolongados.

Definindo os períodos nos quais os volumes decresceram em relação aos valores iniciais (referências) como ΔT_1 e as quantidades de gases consumidos nesses intervalos como ΔG_1 , pôde-se estimar, para cada incubação, as taxas diárias médias de consumo de gases ($\Delta G_1/\Delta T_1$). Os resultados das variações sazonais de ΔG_1 , ΔT_1 e das taxas diárias médias de assimilação são apresentadas na Figura 2A.

Do mesmo modo, ao considerar os períodos nos quais ocorreram incrementos dos volumes (a partir dos dias em que ocorreram os valores mínimos até os dias finais das incubações) como ΔT_2 e as diferenças entre os valores finais e iniciais dos volumes de gases como ΔG_2 , foram determinadas as taxas diárias médias de formação de gases ($\Delta G_2/\Delta T_2$). Tendo em vista que as estabilizações dos processos de formação não foram registradas em todas as incubações (conforme mencionado), para comparação, utilizou-se o intervalo de 37 dias após o início do predomínio dos processos de formação como parâmetro indicativo da quantidade potencial de gases formados (ΔG_{37}). O intervalo de 37 dias foi adotado com referência ao menor período de formação registrado (outubro de 1993). Os resultados das variações sazonais de ΔG_{37} e das taxas diárias médias de formação são apresentados na Figura 2B.

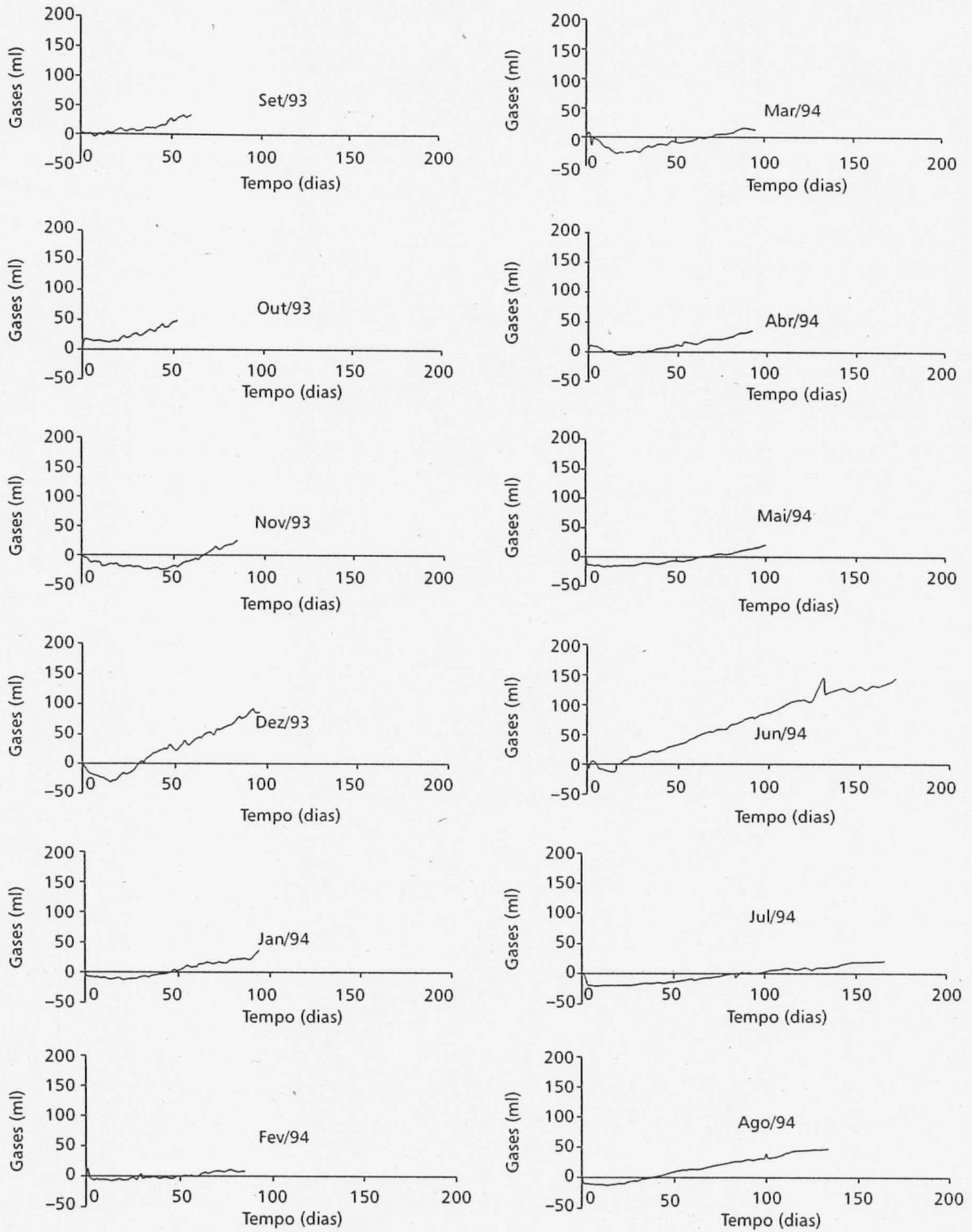


Figura 1 Cinéticas de produção/assimilação de gases durante as incubações das amostras de sedimento coletadas entre setembro de 1993 e agosto de 1994.

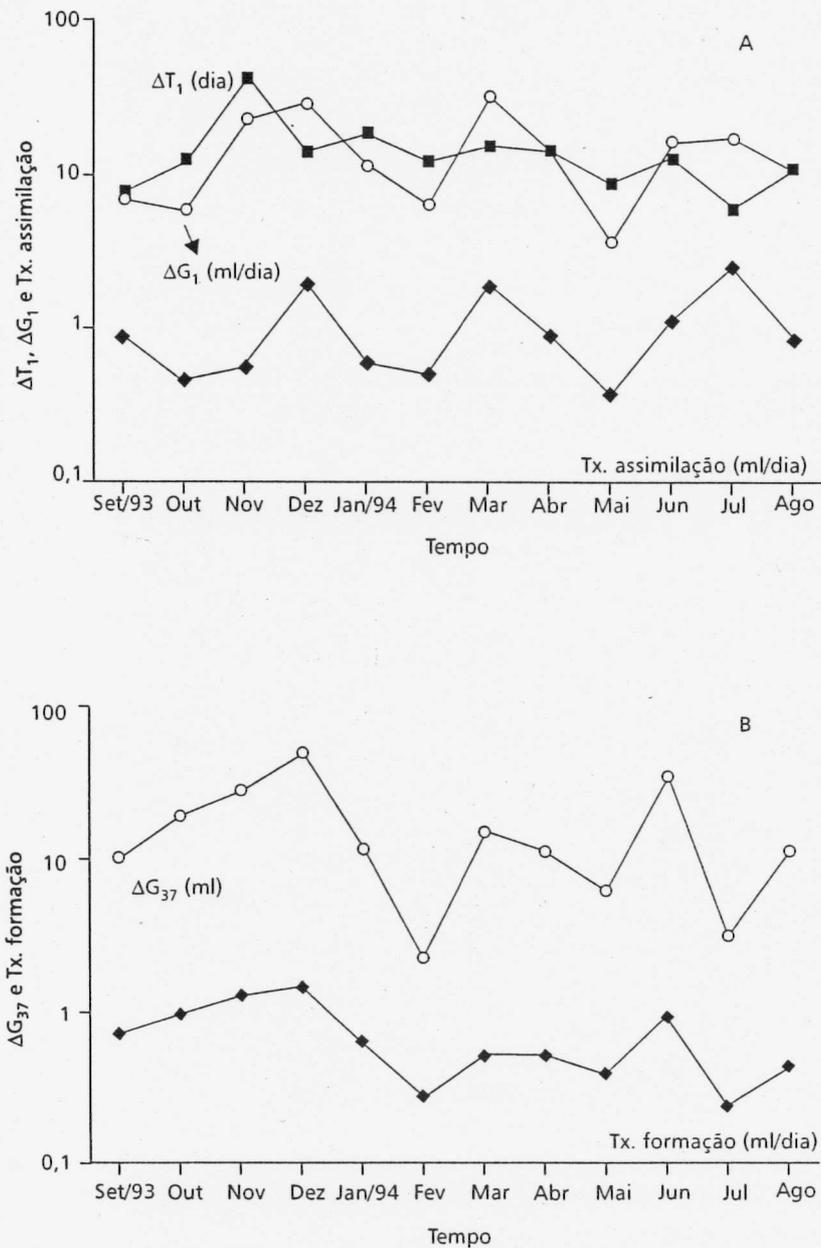


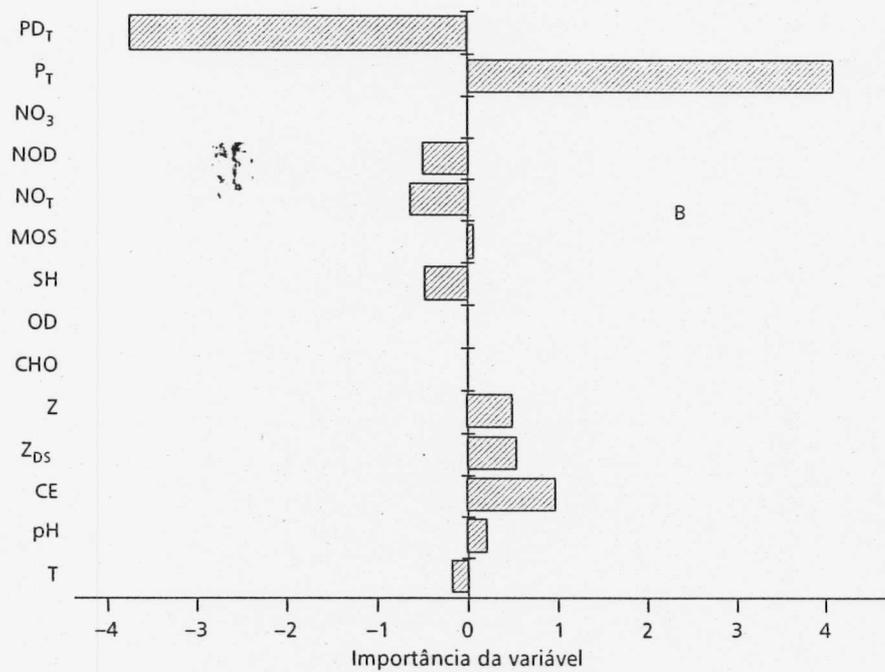
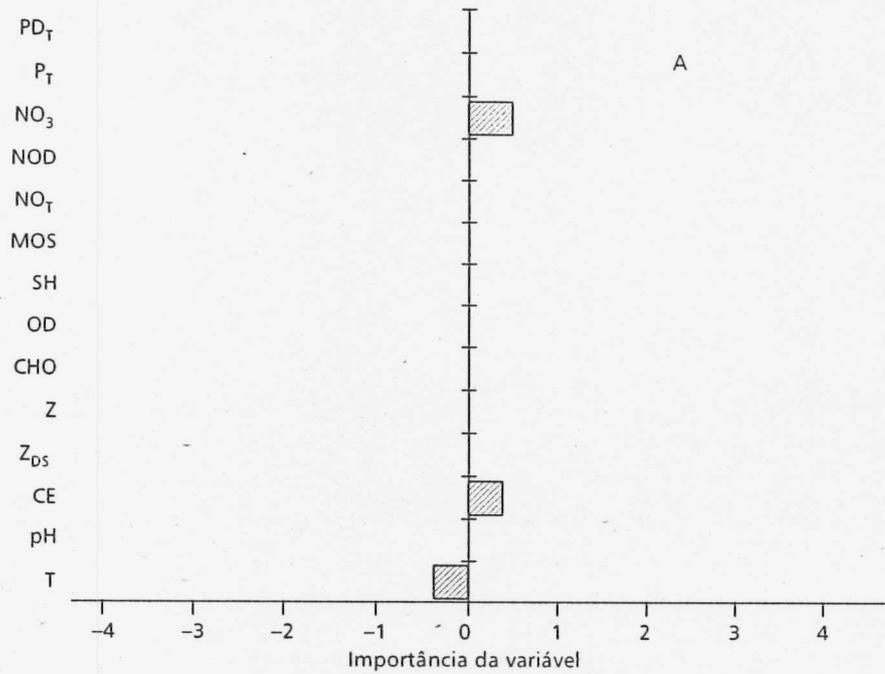
Figura 2 Variações temporais do tempo de assimilação, da quantidade de gases assimilados, das taxas de assimilação de gases (A), das taxas de formação de gases e das quantidades de gases formados em 37 dias (B).

Por meio dos resultados apresentados na Figura 2, foi possível verificar que:

- as quantidades de gases assimilados e os tempos de ocorrência desse processo alteraram-se ao longo das incubações. O maior tempo de consumo (ΔT_1) ocorreu na incubação iniciada no mês de novembro (43 dias). Nas demais, esse parâmetro variou entre 7 e 20 dias, sendo que após o mês de novembro houve tendência progressiva de decréscimo dos valores. As quantidades de gases assimilados (ΔG_1) apresentaram três picos, nos meses de dezembro (30,9 ml), março (35,2 ml) e julho (20,3 ml). Supõe-se que o maior tempo de consumo verificado indique que

- no mês de novembro as condições (químicas e físicas) do sedimento não favoreceram os processos metabólicos de assimilação de gases e/ou a presença de microorganismos que privilegiassem esses processos;
- b) as taxas de consumo variaram entre 0,41 e 2,90 ml · dia⁻¹ e alteraram-se, temporalmente, conforme ΔG_1 , indicando proporcionalidade direta entre as taxas e as quantidades de gases assimilados. Em princípio, as variações temporais das taxas de consumo e de ΔG_1 sugerem que na Lagoa do Infernã os processos vinculados à assimilação de gases não possuem uma variação sazonal acentuada, ocorrendo sem interrupção;
 - c) as taxas de consumo e as de formação de gases variaram, basicamente, dentro da mesma ordem de grandeza (entre 0,26 e 2,06 ml · dia⁻¹). No entanto, as taxas de assimilação tenderam a ser acentuadamente mais elevadas nas incubações iniciadas a partir do mês de fevereiro, enquanto as taxas de formação tenderam a ser mais elevadas entre os meses de setembro e janeiro. De acordo com o inventário limnológico, o mês de setembro representou o início do período de chuvas, quando se registrou a profundidade máxima da coluna d'água (4,5 m), enquanto os meses de fevereiro e março foram considerados, naquele ano, o início de um período mais seco;
 - d) a exemplo das taxas de assimilação, que variaram de acordo com ΔG_1 , as taxas de formação alteraram-se, no tempo, conforme ΔG_{37} . Sugerindo que há proporcionalidade direta entre as taxas e as quantidades de gases formados, ou seja, quando há condições favoráveis para a ocorrência de mineralização, esse processo tende a ser rápido e gerar grandes quantidades de gases, inclusive suplantando os processos de assimilação. As variações temporais das taxas de formação e de ΔG_{37} sugerem que o predomínio dos processos de formação de gases ocorra no período compreendido entre a primavera e o verão, época dos meses mais quentes e chuvosos, propondo uma maior eficiência de mineralização das comunidades presentes. Provavelmente, as variações mensais nas taxas refletiram: 1) o efeito (quantitativo e qualitativo) da temperatura sobre o metabolismo e a composição específica dos microorganismos; 2) a presença e a ausência de substâncias controladoras dos processos metabólicos; e 3) o condicionamento aos fatores físicos e químicos do meio. Nesse contexto, de acordo com estudo de simulação realizado por Bianchini Jr. & Rocha (em prep.), supõe-se que a época em que ocorre o acúmulo de detritos de *Scirpus cubensis* no sedimento da Lagoa do Infernã seja entre agosto e outubro.

A partir das alterações temporais das variáveis limnológicas, os valores foram normalizados (cada valor foi subtraído da média e dividido pelo desvio-padrão correspondente). A partir de regressão múltipla parcial 'Stepwise' (Zar, 1996), as taxas mensais de assimilação e de formação de gases foram relacionadas com os valores normalizados das variáveis limnológicas. Com base nesse procedimento, estimou-se a importância de cada variável sobre as taxas. Esses resultados são apresentados na Figura 3.



T – temperatura da água; CE – condutividade elétrica da água; Z_{DS} – profundidade de desaparecimento do disco de Secchi; Z – profundidade média; CHO – carboidratos totais; SH – substâncias húmicas totais; NO_T – nitrogênio orgânico total; NOD – nitrogênio orgânico dissolvido; NO₃ – nitrato total; P_T – fósforo total; PD_T – fósforo dissolvido total; OD – oxigênio dissolvido; e MOS – matéria orgânica do sedimento.

Figura 3 Importância das variáveis nos processos de assimilação (A) e de formação (B) de gases.

De acordo com a Figura 3A, as variáveis limnológicas condicionantes das taxas de assimilação de gases foram: a temperatura da água, a condutividade elétrica e as concentrações de nitrato total, sendo que foi registrada correlação direta entre a concentração de nitrato total e a condutividade elétrica. Esses resultados sugerem que, na Lagoa do Infernã, a taxa de assimilação de gases está basicamente condicionada a fatores nutricionais ligados, possivelmente, ao ciclo do nitrogênio.

Ainda com base nos resultados apresentados na Figura 3B, verificou-se que as principais variáveis que condicionaram as taxas de formação de gases foram as concentrações de nitrogênio orgânico (total e dissolvido) e fósforo (total e dissolvido total) e a condutividade elétrica. O pH, a profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, a profundidade da coluna d'água, a matéria orgânica do sedimento e a temperatura da água apareceram como variáveis secundárias. Esses resultados sugerem que, na Lagoa do Infernã, além da qualidade do detrito, as taxas dos processos de formação de gases são limitadas por elementos nutrientes que, por sua vez, afluem normalmente por enxurradas, infiltrações subterrâneas e/ou transbordamentos da calha do Rio Mogi-Guaçu.

Conclusões

A partir dos procedimentos experimentais adotados, concluiu-se que: 1) os processos de formação de gases apresentaram, inicialmente, uma fase na qual predominam as taxas de assimilação; 2) as maiores taxas de formação de gases foram verificadas nas amostras coletadas nos meses em que a lagoa apresentou profundidades mais elevadas, enquanto as taxas de assimilação predominaram nas incubações nas quais foram utilizados os sedimentos coletados nos meses em que a lagoa apresentou profundidades menos elevadas; 3) as taxas dos processos de assimilação e formação de gases foram proporcionais às quantidades de gases assimilados e produzidos; e 4) os elementos nutrientes mostraram-se importantes tanto para as taxas de formação quanto para as de assimilação de gases.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão de bolsa de estudo e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) pelo financiamento deste trabalho (Proc. nº 91/1303-3). Agradecem também ao Dr. Alberto C. Peret (Departamento de Hidrobiologia, Universidade Federal de São Carlos) pelo auxílio concedido durante a aplicação da regressão múltipla parcial.

Referências Bibliográficas

- ALLEN, S. E., GRIMSHAW, H. M., PARKINSON, J. A. & QUARBY, C., 1974, *Chemical analysis of ecological materials*. Blackwell, Oxford, 565p.
- ANTONIO, R. M., 1996, *Estimativa da Capacidade Heterotrófica do Lago Infernã (Estação Ecológica de Jataí, SP)*. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 79p.
- ANTONIO, R. M. & BIANCHINI Jr., I., 1999, Utilização de manométrico para a estimativa da mineralização anaeróbia em ecossistemas aquáticos: III Teste da quantidade inicial de sedimentos. *Acta Limnol. Brasil.*, 11(1).
- AZAM, F., SMITH, D. C., STEWART, G. F. & HAGSTRÖN, A., 1993, Bacteria-organic matter coupling and its significance for oceanic carbon cycling. *Microb. Ecol.*, 28: 167-179.
- BALLESTER, M. V. R., 1994, *Emissões de metano na planície de inundação do Rio Mogi-Guaçu (Estação Ecológica de Jataí, São Paulo)*. Tese de Doutorado, UFSCar, São Carlos, 169p.

- BIANCHINI Jr., I. & ROCHA, M. G. B. (em prep.), *Simulation of Scirpus cubensis detritus cycling in the Lagoa do Infernãõ (SP, Brazil)*.
- CAMPOS Jr., J. J. F. & BIANCHINI Jr., I., 1998, *Liberacão de gases durante a decomposicão anaeróbia de três espécies de macrófitas aquáticas*. Anais, VIII Sem. Reg. Ecol., UFSCar, São Carlos, 3: 1.289-1.300p.
- CAMPOS Jr., J. J. F., 1998, *Contribuição ao estudo da decomposicão de macrófitas aquáticas da Lagoa do Infernãõ: processo anaeróbio*. Dissertacão de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 130p.
- CUNHA, M. B. & BIANCHINI Jr., I., *Degradação anaeróbia de Cabomba piauhyensis e Scirpus cubensis: cinéticas de formacão de gases*. Enviado para publicacão na *Acta Limnol. Brasil*.
- DUBOIS, M., GILLES, K., HAMILTON, J. K., REBERS, P. A. & SMITH, F., 1956, Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Anal. Chem.*, 28: 350-356.
- FERESIN, E. G., 1994, *Produção de carbono via fitoplâncton e bacterioplâncton em duas lagoas da planície de inundacão do Rio Mogi-Guaçu (Estacão Ecológica de Jataí, SP)*. Tese de Doutorado, UFSCar, São Carlos, 108p.
- FINCH, P., HAYES, M. H. B. & STACEY, M., 1971, The biochemistry of soil polysaccharides. In: A. D. McLaren & J. Skujins (eds.), *Soil biochemistry*, Marcel Dekker, New York, 2: 257-319.
- GOLTERMAN, H. L. & CLYMO, R. S., 1971, *Methods for chemical analysis of fresh waters*. IBP Handbook, nº 8. Blackwell, Oxford, 166p.
- LEHNINGER, A. L., 1984, *Princípios de Bioquímica*. Sarvier, São Paulo, 737p.
- MACKERETH, F. J. H., HERON, J. & TALLING, J. F., 1978, Water analysis: some revised methods for limnologists. *Sci. Publ. Freshw. Biol. Assoc. U. K.*, 36: 121p.
- MEYERS, P. A. & ISHWATARI, R., 1995, Organic matter accumulation records in lake sediments. pp. 279-328. In: A. Lerman, D. Imboden & J. Gat (eds.), *Physics and Chemistry of Lakes*. 2nd Heidelberg, Springer-Verlag, 334p.
- NOGUEIRA, F. M. B., 1989, *Importância das macrófitas aquáticas Eichhornia azurea Kunth e Scirpus cubensis Poepp & Kunth na ciclagem de nutrientes nas principais características limnológicas da lagoa Infernãõ, SP*. Dissertacão de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 147p.
- SANTOS, J. E. & MOZETO, A. A., 1992, *Ecologia de áreas alagáveis da planície de inundacão do Rio Mogi-Guaçu*. Projeto Jataí. Programa de Pós-graduacão em Ecologia e Recursos Naturais, UFSCar, São Carlos, 59p.
- SOROKIN, Y. I. & KADOTA, H., 1972, *Techniques for the assessment of microbial production and decomposition in fresh waters*. IBP nº 23. Blackwell, Oxford, 112p.
- TOLEDO, A. P. P., 1973, *Contribuição ao estudo físico-químico de ácido húmico extraído de sedimento*. Dissertacão de Mestrado, IQ-USP, São Paulo, 137p.
- THURMAN, E. M., 1985, *Organic geochemistry of natural waters*. Nijhoff/Junk Po., Dordrecht, 497p.
- ZAR, J. H., 1996, *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, Rio de Janeiro, 662p.

Estudos Integrados em Ecossistemas. Estação Ecológica de Jataí (2000). Volume 2.

Santos, J. E. & Pires, J. S. R. (Eds.). São Carlos: Rima (ISBN 85-86522-11-9)