

Acta Limnol. Brasil.	Vol. 11	845-857	1988
----------------------	---------	---------	------

**A BIOGEOQUÍMICA COMO FERRAMENTA PARA ESTUDAR A REGULAÇÃO  
METABÓLICA DOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS: CONSIDERAÇÕES GERAIS**

**CARMOUZE, J-P\***

**RESUMO**

Este trabalho apresenta alguns aspectos das possibilidades oferecidas pela biogeoquímica para estudar o metabolismo de um ecossistema, enfocando os métodos químicos que permitem apreender o ecossistema na sua complexidade e na sua integralidade. Em casos onde a avaliação de processos não detectáveis pelos métodos químicos não é possível, sugere-se a utilização de técnicas bioquímicas e isotópicas para que sejam eliminadas indeterminações entre processos antagônicos. Assim, pode-se obter um conhecimento básico para avaliação do estado trófico do ecossistema e pode-se seguir sua evolução considerando inclusive as atividades antropogênicas.

**ABSTRACT - BIOGEOCHEMISTRY AS AN INSTRUMENT FOR STUDY OF THE METABOLIC  
REGULATION OF AQUATIC ECOSYSTEMS: GENERAL CONSIDERATIONS**

This work presents some aspects of the possibilities

---

\* Departamento de Geoquímica, UFF

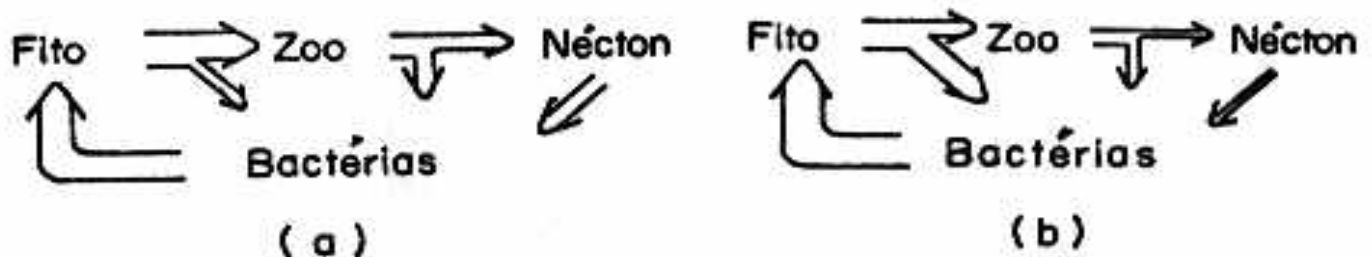
offered by biogeochemistry for study of the metabolism of an ecosystem, focusing upon the chemical methods that permit comprehension of the ecosystem in its complexity and entirety. In cases where the evaluation of processes which are undetectable by chemical methods is not possible, the utilization of biochemical and isotopic techniques to eliminate irresolutions between antagonistic processes is suggested. Thus one can obtain a basic understanding for evaluation of the trophic state of the ecosystem as well as accompany its evolution, including consideration of anthropogenic activities.

Em estudos ecológicos sobre os ecossistemas aquáticos, o primeiro objeto de pesquisa foi a produtividade das águas, que recebeu especial atenção do Programa Internacional de Biologia entre os anos de 1965 e 1975. O objetivo central nesta época era a otimização dos recursos pesqueiros a partir do melhor conhecimento da cadeia alimentar dos ecossistemas. Neste sentido foram desenvolvidos estudos sobre produção primária, produção secundária e produção total, acompanhados por estudos complementares sobre a caracterização do meio abiótico. Na realidade esse conceito é simples demais quando considera a complexidade do ecossistema aquático. Além disso, raramente foi encontrada uma relação nítida entre a produção primária e a produção total. Mais recentemente, os estudos sobre a exploração dos recursos pesqueiros são mais orientados para os aspectos sócio-econômicos.

Nos últimos anos tem aumentado a preocupação no que se refere ao manejo do ecossistema, considerado do ponto de vista ambiental. Isso se explica pelo número crescente de ambientes aquáticos atingidos pela poluição e também pelas transformações drásticas associadas à construção de represas e redes de irrigação. Assim, é preciso em primeiro lugar proteger o ambiente, seguir sua evolução se houver al

gum tipo de alteração, e planejar sua recuperação. As perguntas devem ser de outro tipo e.g.: Qual é o potencial de auto-recuperação do meio? Quais são os perigos da anoxia? Como recuperar um ambiente anóxico? Em todos os casos, o objetivo principal dos estudos é avaliar as transformações predominantes da matéria mediante a atividade biológica, ou seja, avaliar o metabolismo do ecossistema. Sob este enfoque, os níveis tróficos mais elevados (que eram o objetivo final dos estudos de produtividade), podem até ser desprezados.

Estudos recentes mostram que em um grande número de ecossistemas aquáticos, de 70 a 80% das transformações de matéria são controladas pelas comunidades de fitoplâncton e de bactérias. Na ciclagem da matéria orgânica sintetizada pelos produtores primários, o desempenho das bactérias é bem maior do que se pensava (MANN, 1973; POMEROY, 1974). Abaixo, ilustra-se a visão antiga (a) e a visão moderna (b) da importância dos fluxos através dos principais compartimentos do ecossistema.



Para estudar o metabolismo de um ecossistema assim definido, a abordagem da biogeoquímica é muito mais apropriada do que a abordagem biológica. Todavia, a biogeoquímica tradicional não é perfeitamente adequada, porque se limita a estudar os ecossistemas através dos ciclos do carbono, da sílica, do nitrogênio, do fósforo, do enxofre, etc., controlados pelos principais processos geoquímicos e biológicos. Esse passo não é recomendável porque não é fácil re-

constituir o funcionamento de um ecossistema, fazendo a soma desses ciclos biogeoquímicos. Por isso, um melhor encaminhamento consiste em: (1) conceituar o ecossistema em termos de processos; e (2) identificar e quantificar os principais processos transformadores de matéria.

Os processos podem ser basicamente avaliados por três técnicas: isotópicas, bioquímicas e químicas.

Os métodos isotópicos e bioquímicos são do mesmo tipo, no sentido que usam parâmetros indiretos. Baseiam-se na introdução de um elemento marcado precursor de um processo (método isotópico), ou de um substrato específico de uma reação enzimática (método enzimático). As vantagens são: (1) a alta sensibilidade e (2) a especialidade dos parâmetros, facilitando a determinação da natureza de novos processos. Mas as desvantagens consistem em: (1) a interpretação dos dados é delicada por causa da alteração inicial. Por exemplo: a medição da atividade heterotrófica de um meio, avaliada mediante glucose<sup>14</sup>, representa na realidade, a atividade com respeito a esse substrato introduzido, cuja atividade representa apenas de 10 a 20% da atividade heterotrófica total; (2) os parâmetros utilizados são inadequados para descrever diretamente o meio, pois só podem ser usados "in vitro" em incubadores de pequeno tamanho e (3) em cada experimento se pode utilizar um elemento marcado ou um substrato para uma reação enzimática única.

Os métodos químicos usam parâmetros descritivos diretos, ou seja, entidades químicas já presentes no meio. As vantagens são: (1) uma fácil interpretação dos dados, pois o meio não é alterado; (2) os parâmetros permitem uma descrição direta do meio na sua totalidade e com o uso de incubadores de grande tamanho e (3) é possível seguir vários componentes, isto é, vários processos ao mesmo tempo. As desvantagens são: (1) sensibilidade insuficiente em alguns casos e (2) poucos parâmetros são específicos em um dado processo. Apesar dessas limitações, os métodos químicos são mais adequados para apreender o metabolismo global de um ecossis

tema do que os dois outros. Poderiam não só ser explorados de uma maneira mais proveitosa, como também utilizados com maior freqüência. Por isso será dada ênfase a esse assunto neste trabalho.

A metodologia no caso das técnicas químicas, consiste em avaliar os principais processos responsáveis pelas transformações de matéria mediante a evolução dos teores tanto dos precursores quanto dos produtos desses processos. A Tab. 1 agrupa os precursores e produtos dos principais processos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos.

Tabela 1 - Precursores e produtos dos principais processos dos ecossistemas aquáticos.

---

**Fotossíntese**

precursores:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SH}_2$   
 produtos :  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_4$

**Quimiossíntese**

precursores:  $\text{NH}_4$ ,  $\text{SH}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$   
 produtos :  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_2$

**Fermentação**

precursores: moléculas orgânicas complexas  
 produtos : ácidos graxos, álcool,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$

**Respiração**

precursores: matéria orgânica,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  
 $\text{Fe}_{\text{III}}$ ,  $\text{CO}_2$   
 produtos :  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{SO}$ ,  $\text{SH}_2$ ,  $\text{CH}_4$

**Biossíntese**

elementos plásticos:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{SiO}_4\text{H}_4$ ,  
 $\text{PO}_4$ , moléculas orgânicas  
 simples

---

Em primeira análise se nota, segundo a Tab. 1, que a maioria dos componentes não são específicos de um dado processo. Podem ser precursores e produtos de processos que acontecem ao mesmo tempo. Entretanto, a elaboração e a utilização de um modelo estequiométrico facilita a eliminação das indeterminações, e assim, otimiza as possibilidades dessa metodologia química para definir o metabolismo do ecossistema.

A elaboração do modelo estequiométrico depende de várias etapas: (1) seleção inicial dos processos em função dos primeiros dados, caracterizando-se o meio abiótico. Por exemplo: em um meio sem oxigênio, eliminam-se todos os processos que se desenvolvem em condições aeróbias; num meio com oxigênio, ao contrário, são eliminados todos processos anaeróbios. É possível também eliminar qualquer processo associado a um precursor não presente no meio, ou que apareça com teores muito baixos; (2) expressão das transformações de matéria relativas aos processos por meio de equações estequiométricas. A fórmula da matéria orgânica que entra nesse tipo de equação é estabelecida a partir da composição elementar do seston. O carbono é expresso em:  $1/2$  carboidrato +  $1/2$  lipídeo ( $\text{CH}_2\text{O}_{0,55}$ ), Nitrogênio é expresso em amônia ( $\text{NH}_3$ ), Fósforo em ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) e Enxofre em sulfeto ( $\text{SH}_2$ ). Por exemplo: em  $(\text{CH}_2\text{O})_c (\text{NH}_3)_n (\text{H}_3\text{PO}_4)_p (\text{SH}_2)_s$ ,  $c, n, p$  e  $s$  são os coeficientes estequiométricos; (3) nova escolha de parâmetros descritivos, em função dos processos escolhidos; (4) análise dos dados obtidos em função dos coeficientes estequiométricos; e (5) se os dados não corresponderem às previsões do modelo, outros processos e outros parâmetros devem ser procurados. Assim refina-se a seleção dos processos e dos parâmetros descritivos até que se consiga uma boa concordância entre os dados e as previsões do modelo. Essa interação pode ser muito frutífera como demonstra um trabalho realizado por um grupo de pesquisadores do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, na Laguna de Cananéia (GIANESSELA-GALVÃO et al., 1985).

Este exemplo se refere às transformações de matéria em condições anaeróbias na extremidade de um estuário da Laguna no interior do manguezal. Esse meio tem uma salinidade bastante elevada (24‰) e é enriquecido por matéria orgânica provinda do manguezal.

Considerando-se a queda de sulfetos na água  $\Delta\text{SO}_4 = -14,5\text{mM}$ , pode-se pensar que a sulfato-redução seja o processo predominante:

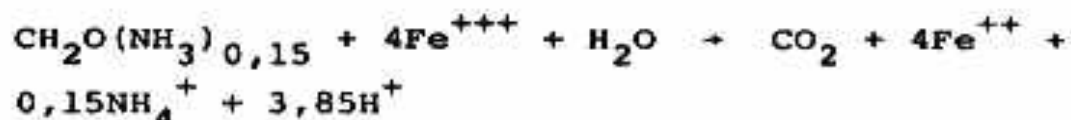
$$(\text{CH}_2\text{O})(\text{NH}_3)_{0,15} + 1/2\text{SO}_4^{--} + 1,15\text{H}^+ + \text{CO}_2 + 1/2\text{SH}_2 + 0,15\text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O}$$

(0,15 representa a razão estequiométrica r/c. Segundo esse processo,  $\Delta\text{Alc.} = 1,52\text{mM}$  e  $\Delta\text{SH}_2 = 0,1\text{mM}$ . Outros processos evidentemente controlam  $\Delta\text{Alc.}$  e  $\Delta\text{SH}_2$ ).

Nessas águas registra-se também uma queda de magnésio bem marcada:  $\Delta\text{Mg} = -16,2\text{mM}$ . Em função do contexto dado, o processo mais provável para explicar essa queda é uma saponitização das argilas ferríferas (DREVER, 1971).



Segundo esse processo,  $\Delta\text{Fe} = 10,8\text{mM}$ . Na realidade,  $\Delta(\text{Fe}^{+++} + \text{Fe}^{++}) = 0,02\text{mM}$ . Nesse caso pode-se pensar numa precipitação do ferro com sulfeto para formar monossulfeto de ferro (pirrotita) e/ou dissulfeto de ferro (pirita). Mas previamente o ferro, em forma (III) liberado pela saponitização, tem que se transformar em ferro (II). Para isso pode-se sugerir um processo de redução por meio de bactérias do ferro (MUNCH & OTTOW, 1983).



Concomitantemente,  $\text{Fe}_{\text{II}}$  precipita-se em presença de sulfeto através da pirrotitização:  $\text{Fe}^{++} + \text{S}^{--} + \text{FeS}$  e há piritização:  $\text{FeS} + \text{S}^{--} + 2\text{H}^+ + \text{FeS}_2 + \text{H}_2$  (BERNER, 1970).

Duas combinações podem ser conceituadas: a combinação das reações de sulfato-redução, saponitização ferrife

dução e pirrotização, e a combinação das reações de sulfato-redução saponitização, ferrirredução e piritização. Tomando em conta a queda de magnésio ( $\Delta\text{Mg} = -16\text{mM}$ ), a primeira combinação prevê  $\Delta\text{SO}_4 = -10,81\text{mM}$ ,  $\Delta\text{Alc.} = -7,16\text{mM}$  e  $\Delta\text{CO}_2$  total =  $24,3\text{mM}$  e a segunda  $\Delta\text{SO}_4 = -24,3\text{mM}$ ,  $\Delta\text{Alc.} = +23,11\text{mM}$  e  $\Delta\text{CO}_2$  total =  $45,9\text{mM}$ .

Para obter a  $\Delta\text{Alc.} = 1,51\text{mM}$ , que foi o valor registrado, a primeira e a segunda combinações tem que representar, respectivamente, 70% e 30%. Existe um meio para verificar a validade desse modelo: a queda de  $\text{SO}_4$  que é  $\Delta\text{SO}_4 = -14,5\text{mM}$ . Calculando  $\Delta\text{SO}_4$  através das porcentagens de finidas,  $\Delta\text{SO}_4 = -14,9\text{mM}$ . A concordância é muito boa, mas não é uma confirmação definitiva da veracidade do modelo. Os processos de saponitização e de ferrirredução tem sido muito raramente descritos na literatura e nunca são associados um ao outro. Para sair do estado de hipótese, deveriam ser feitos estudos complementares mineralógicos para o primeiro, e microbiológicos para o segundo.

Duas conseqüências podem derivar desse modelo: (1) a variação do  $\text{CO}_2$  total registrada foi =  $1,9\text{mM}$ . O modelo prevê  $\Delta\text{CO}_2$  total =  $30,9\text{mM}$ , ou seja 95% do  $\text{CO}_2$  produzido escaparia para a atmosfera. Isto é possível porque há uma supersaturação muito elevada das águas: 3500% ( $(\text{CO}_2)$  medido =  $415\mu\text{M}$ ;  $(\text{CO}_2)$  saturado =  $11,5\mu\text{M}$ ), e (2) 8,5% da matéria orgânica seria mineralizada pela ferrirredução e 91,5% pela sulfatoredução.

Esse exemplo ilustra bem as possibilidades oferecidas pela abordagem das técnicas químicas para apreender a complexidade de um ecossistema com a possibilidade de multiplicar os parâmetros descritivos e refinar, passo a passo, um modelo estequiométrico de transformação da matéria.

A abordagem química não só permite analisar e avaliar as contribuições relativas dos processos biogeoquímicos no metabolismo global, mas também facilita a quantificação dos processos. Aproveita-se a vantagem da possibilidade de medidas diretas de parâmetros presentes no meio para conse-



guir um balanço de matéria mais satisfatório, combinando medidas obtidas em condições "in situ" e "in vitro". Para isso, pode-se escolher um exemplo clássico: o metabolismo de um ecossistema em condição aeróbica controlado pela fotossíntese e respiração.

Geralmente determina-se o metabolismo básico de um ecossistema usando  $O_2$  como parâmetro descritivo. A produção líquida de matéria orgânica é medida durante o dia por meio de incubadores colocados a várias profundidades na coluna d'água. O uso simultâneo de incubadores transparentes e escuros permite fazer a distinção entre fotossíntese e respiração. Esse método tem duas limitações sérias: (1) para transformar os dados de  $O_2$  em termos de carbono usa-se um fator de conversão que pode ser bastante variável (de 0,8 até 1,6) de acordo com o tipo de matéria orgânica elaborada ou respirada, e (2) os valores de atividades biológicas medidas em incubadores podem ser bem diferentes dos valores reais.

Essas limitações podem ser eliminadas utilizando outra metodologia baseada em: (1) medida simultânea de oxigênio e de carbono inorgânico total, também chamado  $CO_2$  total, cujas variações provêm da produção e do consumo de  $CO_2$  (o  $O_2$  é produto da fotossíntese e é o oxidante da respiração; o  $CO_2$  é o precursor da fotossíntese e o produto da respiração), e (2) a combinação de medidas "in situ" e medidas através de incubadores colocados em condições "in situ".

Os fluxos que controlam as variações de  $O_2$  e  $CO_2$  total ( $CO_2t$ -carbono inorgânico total) são: transformações biológicas  $(\Delta O_2)_b$  e  $(\Delta CO_2t)_b$  (fotossíntese e respiração), trocas na interface água-atmosfera  $(\Delta O_2)_a$  e  $(\Delta CO_2)_a$  (processo físico), trocas na interface água-sedimento  $(\Delta O_2)_s$  e  $(\Delta CO_2t)_s$  (processos químicos e biológicos):

$$\Delta O_2 = (\Delta O_2)_b + (\Delta O_2)_a + (\Delta O_2)_s$$

$$\Delta CO_2 = (\Delta CO_2t)_b + (\Delta CO_2t)_a + (\Delta CO_2t)_s$$

- (1)  $\Delta O_2$  e  $\Delta CO_2 t$  são avaliados a partir de perfis verticais dos teores de  $O_2$  e  $CO_2 t$  na coluna d'água.
- (2) a razão  $(\Delta O_2)_a / (\Delta CO_2)_a$  é avaliada através da expressão:

$$\frac{(\Delta O_2)_a}{(\Delta CO_2)_a} = 1,26 \times \frac{((O_2)_{eq} - (O_2)_{t1}) + ((O_2)_{eq} - (O_2)_{t2})}{((CO_2)_{eq} - (CO_2)_{t1}) + ((CO_2)_{eq} - (CO_2)_{t2})}$$

1,26 = coef. de difusão do  $O_2$  / coef. de difusão do  $CO_2$ . Precisa-se medidas dos teores de  $O_2$  e  $CO_2$  na camada superficial da coluna d'água e os teores de equilíbrio de  $O_2$  e  $CO_2$  com respeito à atmosfera.

- (3) a razão  $(\Delta O_2)_b / (\Delta CO_2 t)_b$  é avaliada por medidas em incubadores colocados em várias profundidades.

Com esses três tipos de determinações, pode-se avaliar  $(\Delta O_2)_b$ ,  $(\Delta CO_2 t)_b$ ,  $(\Delta O_2)_a$  e  $(\Delta CO_2)_a$ , quando os fluxos na interface água-sedimento são desprezíveis.

O principal interesse dessa metodologia é que os incubadores não avaliam diretamente  $(\Delta O_2)_b$  e  $(\Delta CO_2 t)_b$  como faz o método clássico, cujas intensidades são alteradas e bem distintas dos valores reais, mas servem para avaliar a razão  $(\Delta O_2)_a / (\Delta CO_2 t)_b$ . Essa razão depende do tipo de matéria orgânica elaborada e respirada, que não deve ser muito diferente da matéria realmente presente no meio. Por isso esse método é muito mais confiável do que o primeiro.

Quando não se pode desprezar os fluxos na interface água-sedimento, faz-se medidas diretas a esse nível para avaliar  $(\Delta O_2)_s$  e  $(\Delta CO_2 t)_s$ .

Durante o dia  $(\Delta O_2)_b$  e  $(\Delta CO_2 t)_b$  representam variações líquidas resultantes dos dois processos antagônicos, fotossíntese e respiração (com símbolos respectivamente  $f$  e  $r$ ):

$$(\Delta O_2)_b = (\Delta O_2)_{bf} - (\Delta O_2)_{br} \quad \text{e} \quad (\Delta CO_2 t)_b = (\Delta CO_2 t)_{br} - (\Delta CO_2 t)_{bf}$$

Para avaliar  $(\Delta O_2)_{bf}$ ,  $(\Delta CO_2 t)_{bf}$ ,  $(\Delta O_2)_{br}$  e  $(\Delta CO_2 t)_{br}$  já tem-se  $(\Delta O_2)_b$  e  $(\Delta CO_2 t)_b$ . Precisa-se determinar só  $(\Delta O_2)_{bf}/(\Delta O_2)_{br}$  e  $(\Delta CO_2 t)_{br}/(\Delta CO_2 t)_{bf}$ . Essas razões são avaliadas a partir de medidas em incubadores, comparando uma incubação com inibição da fotossíntese e outra sem inibição. Como no caso anterior, os incubadores não são utilizados para medir diretamente os fluxos, mas para avaliar as razões  $(\Delta O_2)_{bf}/(\Delta O_2)_{br}$  e  $(\Delta CO_2 t)_{br}/(\Delta CO_2 t)_{bf}$ , que não devem ser muito diferentes nos incubadores e no meio. Finalmente, distingue-se o consumo biológico e químico na interface água-sedimento por meio de medidas em incubadores no sedimento superficial, comparando uma incubação com inibição de atividade biológica e outra sem inibição.

Em suma, embora o aprimoramento dessa metodologia exija o uso simultâneo dos dois parâmetros ( $O_2$  e  $CO_2$ ), apresenta a vantagem de reconhecer melhor os balanços de  $O_2$  e do  $CO_2 t$ , que são indispensáveis para tratar dos problemas fundamentais relacionados ao manejo dos ecossistemas aquáticos. O primeiro define a aparição e o desenvolvimento de uma fase anaeróbia, e o segundo, o trabalho de auto-depuração do meio.

A abordagem química não é só limitada à avaliação de fluxos, mas permite também a avaliação da abundância do fitoplâncton e das bactérias que são as duas principais comunidades responsáveis pelas transformações de matéria. Por isso, são feitas análises químicas do seston (composição elementar C, N, P, S, clorofila, ATP, ADN, ácidos graxos da membrana bacteriana), mas a essas técnicas falta geralmente precisão, pois os fatores de conversão de entidades tais como clorofila a, ATP, ADN, em termos de carbono, têm valores muito variáveis devido à variações intra e interespecíficas. Todavia essa variabilidade fica reduzida em certas situações (quando as populações estão em bom estado fisiológico e quando predominam ou o fitoplâncton, ou as bactérias, ou a fração detritica). Nestas condições as técnicas químicas tornam-se confiáveis sob condição de serem padronizadas median

te contagem dos organismos no microscópio.

Assim, este trabalho apresenta alguns aspectos das possibilidades oferecidas pela biogeoquímica para estudar o metabolismo de um ecossistema, enfocando sobretudo as técnicas químicas que permitem apreender o ecossistema na sua complexidade e na sua integralidade. Evidentemente as técnicas isotópicas e bioquímicas devem ser aproveitadas em certos casos, tais como, avaliação de processos não detectáveis pelos métodos químicos, eliminação de uma indeterminação entre processos de natureza antagônica, etc.

De qualquer modo, mesmo que a abordagem biogeoquímica for bem adaptada para fornecer uma boa visão da dinâmica de um ecossistema, são necessários também estudos sobre os compartimentos fitoplâncton e bactérias, pelo menos, dando informações sobre o comportamento desses organismos em função do contexto ambiental. Estes estudos são imprescindíveis quando se quer fazer previsões sobre a evolução do sistema em questão.

Como conclusão, pode-se dizer que a abordagem biogeoquímica, principalmente baseada sobre técnicas químicas, ainda que não seja suficiente, aparece como a mais adaptada para que se atinja um conhecimento básico para avaliar o estado trófico de um ecossistema e seguir sua evolução, ou em outras palavras, enfrentar os problemas ambientais gerados pelas alterações resultantes da ação do homem.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GIANESSELLA-GALVÃO, S.; CARMOUZE, J.P.; ABE, D.S.; AIDAR-ARA  
GÃO, E.; NISHIARA, L.; SARTI, C.C.; SOUZA-LIMA MESQUITA,  
H. *Interações biogeoquímicas e produção primária na in-  
terface do complexo estuarino-lagunar de Cananéia com o  
seu manguesal.* (Relatório FAPESP - no prelo)
- BERNER, R.A. Sedimentary pyrite formation. *Amer. J. Sci.*,

268: 1-23, 1970.

DREVER, J.I. Magnesium-iron replacement in clays minerals in anoxic marine sediments. *Science*, 172: 1334-6, 1971.

MANN, K.H. Seaweeds: their productivity and strategy for growth. *Science*, 182 (4116): 975-81, 1973.

MUNCH, J.C. & OTTOW, J.C.G. Reductive transformation mechanism of ferric oxides in hydromorphic soils. *Envir. Biogeochem. Ecol. Bull.* (Stockholm), 35: 383-94, 1983.

POMEROY, L.R. The Ocean's food Web, a changing paradigm. *Biosciences*, 24 (9): 499-504, 1974.

#### ENDEREÇO DO AUTOR

CARMOUZE, J-P  
Universidade Federal Fluminense  
Departamento de Geoquímica  
24000 Niterói - RJ