

FLUXOS DE NUTRIENTES EM VIVEIROS DE AMEIJOA NA RIA FORMOSA

MANUELA FALCAO e CARLOS VALE

Instituto Nacional de Investigação das Pescas, Centro de Investigação Pesqueira de Faro, Av. 5 de Outubro 8700 OLHAO, PORTUGAL

Resumo

A Ria Formosa é um sistema lagunar separado do mar por um cordão litoral com várias ilhas e canais. A ocorrência quinzenal de marés com amplitudes de três metros dá origem a extensas áreas intertidais, parcialmente (10 km²) ocupadas com culturas extensivas de ameijoas, *Ruditapes decussatus*. Em diversas áreas intertidais foram colhidos box-cores (substrato de areia, areia com ameijoas, areia com ameijoas e cobertura vegetal, vasa) e incubados em laboratório durante 15 dias, em câmaras transparentes com água da Ria. As experiências foram realizadas a níveis constantes de O₂, com diferentes concentrações de nutrientes na água, com luz natural e com ausência permanente de luz. Foram colhidas diariamente amostras de água sobrenadante e determinadas as concentrações em silicatos, fosfatos, nitratos e amônia. Os resultados destas experiências mostraram que:

(I) os fluxos mais elevados, através da interface sedimento-água tiveram lugar em substratos com ameijoas apresentando cobertura vegetal (*Zostera spp* e *Enteromorpha spp*);

(II) em areia, na ausência de bivalves e detritos vegetais, os fluxos de silicatos e fosfatos foram no sentido inverso, isto é, houve uma pequena remoção de nutrientes da água;

(III) em períodos de maior concentração de nutrientes na Ria (aumento brusco resultante de chuva intensa) a sílica e os nitratos são rapidamente removidos da água, mesmo em substratos com matéria vegetal em decomposição e bioturbados pelas ameijoas.

Palabras clave: Nutrientes, fluxos bentônicos, interface sedimento-água, laguna costeira

Summary:

Ria Formosa is a shallow coastal lagoon with several islands and channels, and with permanent connection to the sea. Fortnight fluctuations of tidal amplitudes from 0,5 to 3,5 m result in extensive intertidal areas (50 km², one third of the lagoon), partially occupied by growth-banks of the clam *Ruditapes decussatus*. In order to study nutrient exchanges across the sediment-water interfaces of the Ria Formosa, box-cores have been collected at different substrates: sand; sand and clams; sand, clams and vegetation; muddy-sand, clams and vegetation; and mud. Sediments were collected in winter and immediately after run-off. Samples were placed in transparent plexiglass chambers, transported to a field laboratory and covered by lagoon water. Experiments ran for two weeks at saturation levels of dissolved oxygen and water samples have been collected daily and determined the concentrations of silicates, phosphates, nitrates and ammonium. Results in these microcosm experiments revealed that:

i) higher fluxes occurred across the muddy sand-water interface covered by *Zostera* spp and *Enteromorpha* spp and containing clams;

(ii) unlikely, beach sand uptook nutrients from the water;

(iii) during sharp increase of nitrates and silicates in the water (immediately after run-off) these nutrients are removed by the sediments, even when they are bioturbated by clams.

Key words: Nutrients, benthic fluxes, sediment-water interfaces, coastal lagoon.

INTRODUCAO

Nas últimas décadas o "input" de matéria orgânica em muitas lagunas costeiras tem aumentado devido principalmente à crescente actividade humana. Parte desta carga orgânica não é, no entanto, utilizada directamente pelo plancton, sendo temporariamente armazenada nos sedimentos de fundo. O aumento de matéria orgânica no fundo provoca um consumo de oxidantes ao nível da interface sedimento-água (Froelich et al, 1979), ocasionando eventualmente alterações nefastas em organismos bentónicos.

As condições químicas dos sedimentos em lagunas são principalmente função da deposição de matéria orgânica e da velocidade de renovação da água intersticial (Postma, 1981). Como, em geral, as lagunas apresentam uma vasta gama de sedimentos, desde areia grossa à vasa, a retenção de nutrientes associados a partículas e a difusão de espécies dissolvidas, através da interface sedimento-água (Berner, 1980), é por isso, muito diferente de local para local. Trabalhos realizados em zonas costeiras têm mostrado que os nutrientes são rapidamente regenerados nos sedimentos, sendo o transporte para a coluna de água, uma contribuição significativa para o seu balanço total (Aller et Benninger, 1981). Estes fluxos podem ser particularmente acelerados na presença de organismos bentónicos (Rutgers van der Loeff et al, 1984).

Neste trabalho apresenta-se a comparação de fluxos de silicatos, fosfatos e amónia em microcosmos onde foram colocados sedimentos de diferentes granulometrias, na presença e ausência de matéria orgânica vegetal e ameijoas, pretendendo-se deste modo, simular as condições existentes em viveiros de ameijoas da Ria Formosa.

DESCRICAO DA AREA DE ESTUDO

A Ria Formosa (Fig. 1), é um sistema lagunar separado do mar por um cordão litoral de formação aluvionar com ilhas barreira e canais de permanente comunicação com o mar (Monteiro, 1984). A sua extensão é cerca de 16 000 ha e a profundidade média é de 3.5 m. A amplitude de maré varia quinzenalmente entre 0.5 e 3.0 m não sendo de registo o "input" de água doce. A salinidade é relativamente constante e semelhante à da água do mar (36 ‰). Na coluna de água não se desenvolvem zonas de anoxia, apresentando em geral valores de oxigénio dissolvido próximos da saturação. A granulometria dos sedimentos de fundo é muito variável. Junto às barras encontram-se areias grosseiras, enquanto que no interior se depositam sedimentos mais finos. Na Tab. 1, apresenta-se a granulometria de sedimentos colhidos em diferentes zonas da Ria (Faro, Mar Santo, Marim). Grandes extensões dos sedimentos submersos e intertidais são sazonalmente cobertos por *Zostera* spp e *Enteromorpha* spp. A zona intertidal é cerca de 1/3 da área total da Ria e aproximadamente 1000 ha são ocupados com culturas extensivas de ameijoas *Ruditapes decussatus*.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Foram colhidos box-cores em diferentes áreas da Ria (Fig. 1), cujo substrato apresentou as seguintes características:

- Zona de Mar Santo, areia grossa (E1)

TABELA 1: Análise granulométrica e calcimétrica de sedimentos superficiais das estações A, B, C, D, E (S.N.G.- Dir. Ser. Geol. Marinha - Nov. 89).

Estações	% Areia	% Silt	% Argila	% CaCO ₃
A - Faro	39.4	49.0	11.6	12.9
B - Mar Santo	96.9	2.9	0.3	5.5
C - Marim	69.6	24.8	6.2	4.9

- Viveiro de Marim, areia com ameijoas (1kg/m²); zona redutora (3-4 cm) abaixo da superfície (E2)
- Viveiro de Marim, areia com ameijoas (1kg/m²); cobertura vegetal (*Zostera spp*); zona redutora 1 cm abaixo da superfície (E3)
- Viveiro de Ramalhete, areia e vasa com ameijoas (1kg/m²); cobertura vegetal (*Enteromorpha spp*); zona redutora alguns milímetros abaixo da superfície (E4)
- Zona de Faro, vasa (E5)

Os sedimentos colhidos (camada superficial de 10 cm), foram colocados em camaras de vidro transparente de 30x30x30 cm, (Fig. 2), cobertos com água da Ria (camada de 10 cm), e mantidos em laboratório com luz natural e arejamento permanente (oxigénio dissolvido cerca de 8 mg/l, 100% de saturação). Durante estas experiências não foi controlado o pH, tendo sido registada a sua variação entre 7.6 e 8.4.

As experiências E1, E2, E3, E4, foram realizadas respectivamente em Março de 1988 e Novembro de 1987, em condições semelhantes de temperatura da água, cerca de 17°C. A experiência E5 decorreu em Abril de 1987 a uma temperatura mais elevada (20°C). Estas experiências tiveram a duração de 15 dias. Nos viveiros de Marim e Ramalhete foram recolhidos sedimentos após um período de chuvas muito intenso (Dezembro de 1987). No laboratório decorreram experiências com sedimento e água colhidos neste período, com luz natural (E3' e E4') e na ausência de luz (E3'' e E4'').

Procederam-se a recolhas diárias de água sobrenadante com uma seringa de 10 ml, e foram determinados silicatos, fosfatos, nitratos e amónia segundo a metodologia descrita em "Technicon Industrial System".

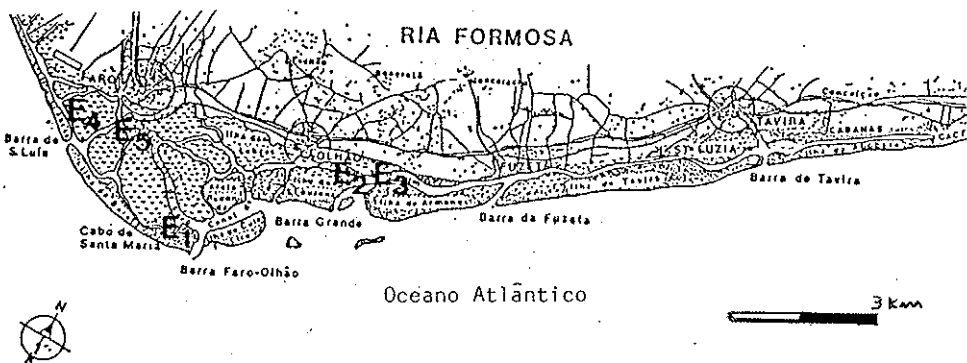


Figura 1.- Mapa da Ria Formosa com localização das estações onde foi colhido o sedimento para as experiências E1, E2, E3, E4, E5.

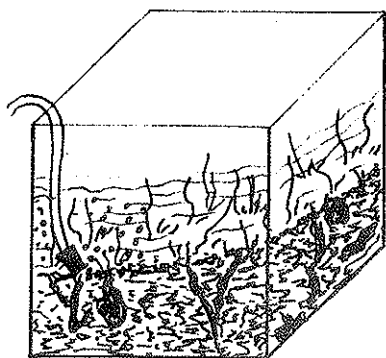


Figura 2.- Camara de vidro com uma camada de sedimento de 10 cm.

RESULTADOS

A Fig. 3 mostra a evolução das concentrações de silicatos, fosfatos, nitratos e amônia na água sobrenadante, ao longo de 15 dias, nas várias camaras de experimentação (E1, E2, E3, E4, E5). Verificou-se que, em geral, os níveis de silicatos e fosfatos aumentaram progressivamente durante a primeira semana, atingindo valores particularmente elevados nas camaras E3 e E4. Apesar de se observar um aumento de

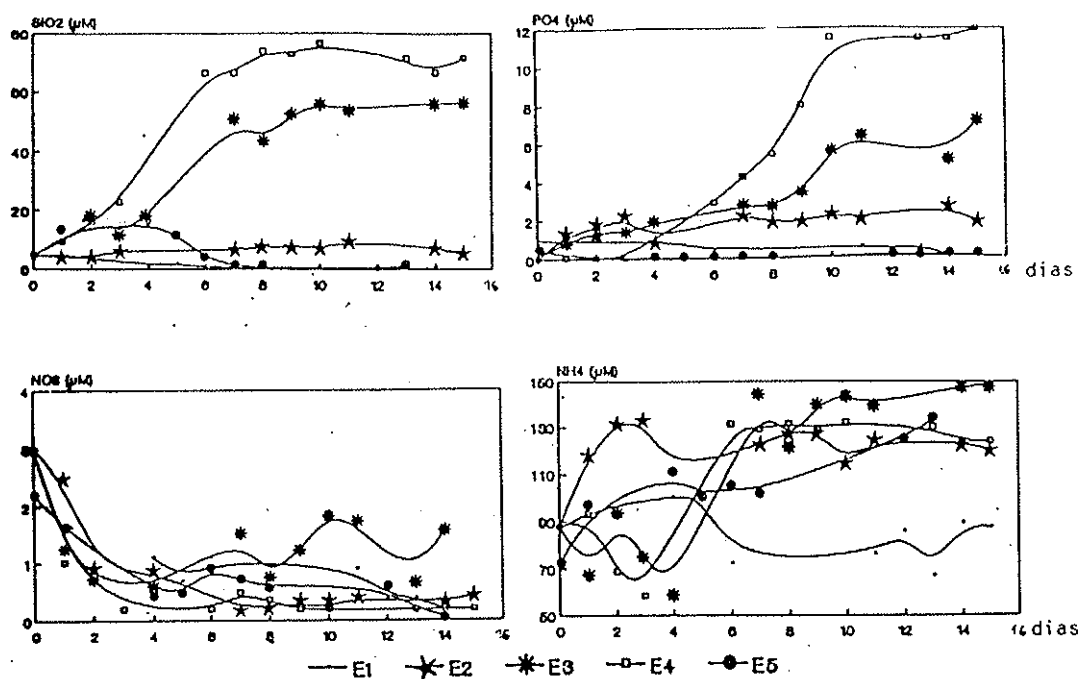


Figura 3.- Distribuição das concentrações de SiO₂, PO₄, NO₃ e NH₄ nas diferentes experiências ao longo de 15 dias.

amônia em algumas experiências, a imagem global da variação deste parametro é menos clara. As concentrações em nitratos, ao contrário das restantes apresentaram decréscimos globais.

Enquanto que na experiência E1 (areia grosseira), os níveis de SiO_2 diminuíram de 5 μM até valores inferiores a 1 μM a partir do 6º dia, nas restantes experiências registaram-se sempre aumentos de silicatos na primeira semana. Em E2 (areia com ameijoas), as concentrações aumentaram de 5 μM para 8 μM mantendo-se este nível a partir do 8º dia. Em E3 e E4 (areia com ameijoas e cobertura vegetal), este acréscimo foi bastante mais acentuado, atingindo a sílica níveis respectivamente de 56 μM e 74 μM ao fim de 10 e 8 dias. Na câmara em que foi colocado sedimento vasoso (E5) os níveis de sílica aumentaram bruscamente de 4 μM para cerca de 14 μM no 1º dia, provavelmente devido à maior perturbação da camada superficial no início da experiência.

Diferenças acentuadas foram igualmente encontradas para os fosfatos. Dada a flutuação sazonal de PO_4 na água da Ria (Falcão et al., 1987), o valor inicial nas diferentes experiências não foi sempre o mesmo. Em E1 o nível de PO_4 decresceu de 1.0 μM até 0.1 μM ao fim de 14 dias. Em E2, E3 e E4 o valor inicial de PO_4 na água foi inferior a 0.05 μM , tendo aumentado progressivamente até 2.4 μM no 7º dia, até 2.6 μM no 11º dia e até 11.5 μM no 10º dia respectivamente. Na experiência E5 o PO_4 decresceu rapidamente de um valor inicial de 0.5 μM para 0.05 μM ao fim de um dia.

O aspecto mais notório quanto à amônia foi a obtenção de elevados níveis em todas as câmaras. Em E1, E2, E3 e E4, aumentaram de 87 μM iniciais para 102 μM no 5º dia (E1), 133 μM no 3º dia (E2), 151 μM no 16º dia (E3) e para 132 μM no 6º dia (E4). Em E5 foi registado um acréscimo de 72 μM para 111 μM ao fim do 4º dia.

Os níveis de nitratos decresceram progressivamente em todas as experiências. De início a concentração foi superior a 1.0 μM , mas ao fim de alguns dias baixou para valores inferiores a 0.6 μM (E1, E2, E4, e E5). Na experiência E3 os teores de nitratos apresentaram uma flutuação irregular entre 1.3 μM e 0.5 μM .

Baseados nas concentrações medidas na água sobrenadante ao longo de vários dias, foram determinados os fluxos de silicatos, fosfatos, nitratos e amônia, nos primeiros 8 dias, nas respectivas experiências.

Com este cálculo pretendeu-se simular uma situação de maré-morta, em que parte das zonas intertidais da Ria, incluindo os viveiros, ficam submersas durante vários dias. Os fluxos (J) foram obtidos multiplicando a inclinação da concentração versus tempo (m) pela razão entre o volume da água sobrenadante (v) e a superfície do sedimento (s) na câmara ($J = m \cdot v / s$).

Na tabela 2 são apresentados os fluxos médios ($\mu\text{mole m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) de silicatos, fosfatos, nitratos e amônia calculados nas diferentes câmaras.

Os valores assim obtidos mostraram que:

I.- fluxo de nitratos foi sempre negativo em contraste com o fluxo de amônia (sempre positivo) e com o fluxo de silicatos e fosfatos que na maioria das experiências foi positivo;

TABELA 2: Fluxos médios (8 dias) de SiO_2 , PO_4 , NO_3 , e NH_4 ($\mu\text{mol/m}^2 \text{ dia}$) nas câmaras E1, a E5.

	E1	E2	E3	E4	E5
Silicatos	-58	29	522	761	121
Fosfatos	- 5	25	47	96	- 6
Nitratos	-25	-137	-44	-85	-175
Amnia	0	566	906	911	433

- II.- maiores exportações de silicatos, fosfatos e amônia registaram-se nas experiências E3 e E4 (areia com ameijoas e cobertura vegetal);
- III.- na experiência E2 (areia com ameijoas e sem vegetação) os fluxos foram inferiores aos calculados em E3 e E4, apesar de igual carga de ameijoas;
- IV.- pelo contrário em E1, os sedimentos (areia grosseira) removeram da água sobrenadante pequenas quantidades de silicatos e fosfatos, exportaram pouca amônia e consumiram uma pequena parte de nitratos;
- V.- o sedimentos vasoso (E5) apresentou um relativo equilíbrio dos fosfatos com a água sobrenadante (fluxos próximos de zero).

A descarga de água doce para a Ria Formosa tem lugar geralmente no Inverno em curtos períodos de tempo. Nesta situação a concentração de nutrientes na água da Ria aumenta bruscamente (Falcao et al, 1987). Os sedimentos de fundo passam assim a estar em contacto com uma água sobrenadante enriquecida em nutrientes. As experiências com sedimentos de Marim e Ramalhete foram repetidas nestas circunstâncias: sedimentos recolhidos após chuvas, cobertos com água da Ria de elevados teores em sais nutritivos.

Na figura 4 mostra-se a evolução das concentrações dos referidos nutrientes em períodos antes da chuva (E3 e E4) e após chuvas (E3' e E4') respectivamente Novembro e Dezembro de 1987. Com as chuvas ocorreu um grande aumento de nutrientes na água.

Nesta figura pode observar-se um claro contraste entre as duas situações referidas. Enquanto que nas experiências de Novembro, antes da chuva, a sílica foi libertada para a água, aumentando a sua concentração de 5 μM para 70 μM , os resultados experimentais de Dezembro mostraram uma forte redução de 65 μM e 180 μM (respectivamente em E3' e E4') para valores entre 10 μM e 20 μM . No caso do fosfato a libertação em E3' e E4' é muito menor do que a observada anteriormente. Para a amônia, os valores encontrados são menos contrastantes nas duas situações, observando-se de um modo geral um aumento progressivo nos primeiros dias das experiências. Pelo contrário, os níveis de nitratos em E3' e E4' são muito superiores aos registados nas experiências anteriores (E3 e E4) apresentando uma diminuição de 20 μM para valores próximos de 5 μM .

Na figura 5 mostra-se a evolução dos níveis de nutrientes após as chuvas, com

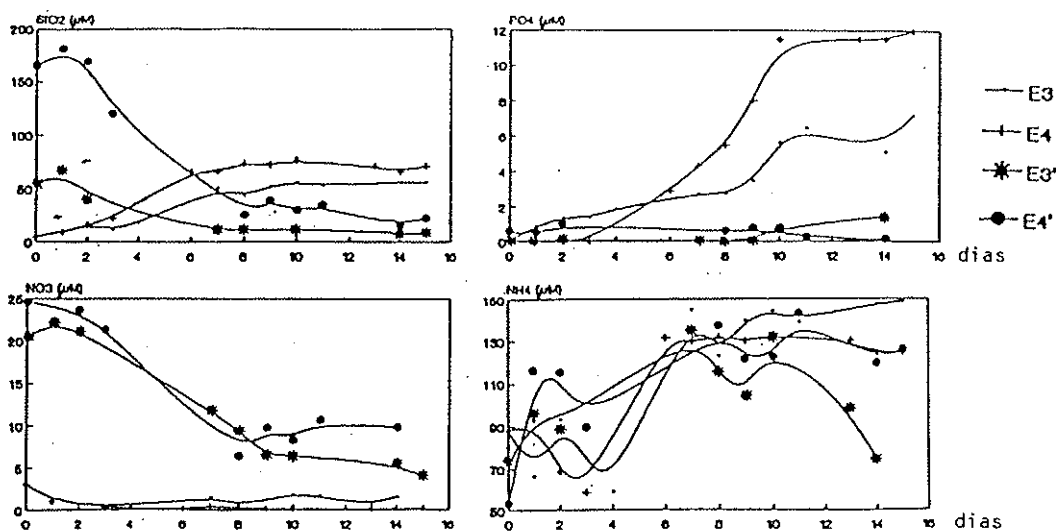


Figura 4.- Distribuição das concentrações de SiO₂, PO₄, NO₃ e NH₄ antes e após as chuvas, ao longo de 15 dias.

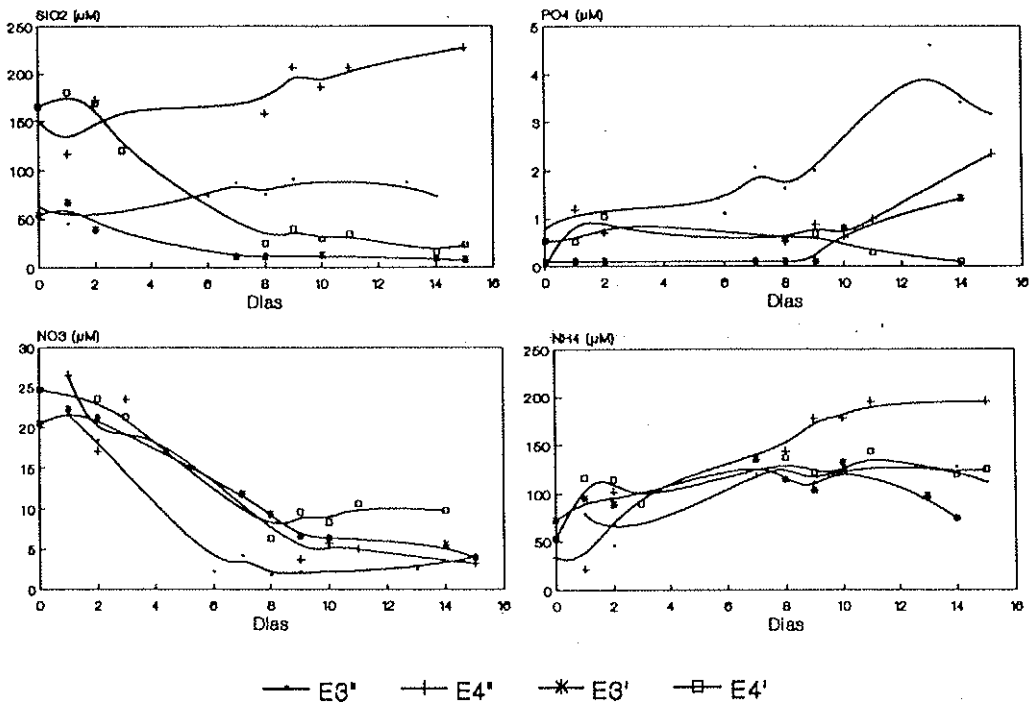


Figura 5.-Distribuição das concentrações de SiO_2 , PO_4 , NO_3 e NH_4 na presença e ausência de luz.

luz natural, mantendo o ritmo dia/noite, (E3'e E4') e em permanente ausência de luz (E3" e E4"). A comparação destes resultados indica que:

- I.- o consumo de sílica nas câmaras com luz natural não foi verificado nas experiências com permanente ausência de luz, mantendo-se nestas, os níveis relativamente constantes;
- II.- os níveis de fosfatos foram mantidos sempre mais elevados nas câmaras sem luz;
- III.- concentrações de amônia no início foram semelhantes nas duas situações, mas a partir do 8 - 9 dia foram mais elevadas nas câmaras sem luz;
- IV.- a diminuição da concentração em nitratos verificou-se nas duas situações, parecendo ser independente da presença ou ausência de luz.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nestas experiências mostram a ocorrência de uma grande gama de fluxos através da interface sedimento-água. Apesar de estes resultados serem obtidos em condições experimentais, o microcosmos criado com a reprodução das condições de fundo (transferência do substrato dos viveiros para as câmaras de experimentação) e o controle de parâmetros fundamentais como o O_2 e a temperatura, parece permitir-nos extrapolar as conclusões para o meio ambiente, em particular para as zonas intertidais da Ria Formosa onde estão implantados os viveiros de ameijoas.

Assim, em zonas arenosas, caracterizadas por uma pequena deposição de matéria orgânica, elevada renovação de água intersticial e menor tortuosidade (Berner, 1980), a quantidade de nutrientes armazenados no fundo deve ser relativamente

pequena. Por isso, a importância destes fundos como fonte interna de nutrientes para a coluna de água é relativamente reduzida. Mesmo em presença de ameijoas os fluxos são pequenos.

Em áreas progressivamente mais vasosas o transporte de nutrientes para a água torna-se mais elevado, resultante provavelmente de uma maior deposição de matéria orgânica. Quando os sedimentos (arenosos e vaso-arenosos) apresentam cobertura vegetal (*Zostera spp* e *Enteromorpha spp*) e matéria orgânica vegetal em decomposição, a libertação de silicatos e fosfatos é mais elevada. Os fluxos tornam-se particularmente significativos em viveiros de ameioja, dado que estes bivalves ao provocar uma forte bioturbação e irrigação dos sedimentos (Roads, 1974) aceleram a troca de espécies dissolvidas com a água sobrenadante (Berner, 1980; Van der Loeff et al, 1984). Isto é, os sedimentos comportam-se como uma fonte interna de nutrientes na Ria. As experiências repetidas em condições de aumento brusco de nutrientes na água devido à ocorrência de chuvas permitem, por outro lado, mostrar que os mesmos fundos podem reter o acréscimo de nutrientes que ocorrem estas situações pontuais. Esta retenção é provavelmente atribuída às plantas e algas de fundo. De facto, a produtividade das áreas intertidais e do fundo da Ria parece ser muito elevada, explicando provavelmente a redução de nitratos até cerca de 39% na coluna de água com a profundidade (Falcao, em preparação).

A variação e magnitude dos fluxos assim calculados sugerem que os processos junto ao fundo poderão desempenhar um papel fundamental no balanço global de nutrientes na Ria Formosa (Aller & Benninger, 1981). A contribuição do fundo pode ser particularmente importante nos viveiros de ameioja (que se estendem por cerca de 10 km²).

Outros factores podem assim incrementar a contribuição dos sedimentos das zonas intertidais, como sejam, a exposição à luz solar por várias horas e as repetidas inundações ocorridas nos períodos de maior amplitude de maré.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito dos projectos PIDR- CCRA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALLER, R. C. (1980). Diagenetic processes near the sediment-water interface of Long Island. I. Advances in Geophysics, 22:237-350
- ALLER, R. C. and Benninger, L.K. (1981). Spatial and temporal patterns of dissolved ammonium, manganese, and silica fluxes from bottom sediments in Long Island Sound. U.S.A. J. Mar. Res., 39:295-314
- BERNER, R. A. (1980). Early diagenesis: a theoretical approach. Princeton Univ. Press, Princeton New Jersey, 241 pp.
- FROELICH, P. N.; KLINKHAMMER, G. P.; BLENDER, M. L.; LUEDTKE, N. A.; MAYNARD, V. (1979). Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. Geochim. Cosmochim. Acta, 42:1075-1091
- FALCAO, M. M.; PISSARA, J. L.; CAVACO, M. H. (1985). Caracterização Químico Biológica da Ria Formosa: Marim e Tavira (in press).
- FALCAO, M.M. (1988). Alguns aspectos químicos, físicos e biológicos da zona lagunar Ria Formosa. Proceedings V congresso do Algarve, 2:699-705
- MONTEIRO, J. H. (1984). Origem evolução e processos geológicos das ilhas barreira de Faro e a sua importância para o desenvolvimento destas ilhas. Proceedings III Congresso do Algarve, 2:713-719
- POSTMA, H. (1981). Processes in the sediments and at the water-sediment interface. Netherlands Institute for Sea Research, Texel, p.111-117
- RHOADS, D. C. (1974). Organism-sediment relation on muddy sea floor. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 12:263-300
- RUTGERS van der LOEFF, M. M.; ANDERSON, L. G.; HALL, P. O. J.; IVERFELDT, A.; JOSEFSON, A. B.; SUNDBY, B. (1984). The asphyxiation technique: An approach to distinguishing between molecular diffusion and biologically mediated transport at the sediment-water interface. Limnology Oceanography, 29(4):675-686