



ESTIMATIVA DO BALANÇO DE FÓSFORO E NITROGÊNIO NA BAÍA DA ILHA DE SANTA CATARINA E SUAS IMPLICAÇÕES NO METABOLISMO E NO PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO DO ECOSISTEMA.

1 A.L.D Fonseca

1" G.de Barros"; 2" P.B. Teixeira"; 3" A.C.C. Manzini"; 2" A.C. Marcelino"; 2" S.de Almeida"; 4" D.Cabral"

1 Departamento de Geociências, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina. afonseca@cfh.ufsc.br 2 Departamento de Aqüicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina 3 Instituto Carijós Pró - Conservação da Natureza 4 Curso de Pós - graduação em Biologia Vegetal, Departamento de Botânica, Universidade Federal de Santa Catarina

INTRODUÇÃO

Os sistemas costeiros são áreas de transição entre o ambiente terrestre e o oceânico, uma interface onde ocorre o transporte, a retenção e a modificação da matéria orgânica (Stahl *et al.*, 004). Em contraste com o oceano aberto, a matéria alóctone introduzida é eficientemente retida em consequência do maior tempo de residência da água, da minimização de fontes de energia como marés, ondas e correntes, e do acentuado acoplamento entre o sedimento e a coluna d'água (Grelowski *et al.*, 000).

Na decomposição da matéria orgânica, o oxigênio e outros terminais de elétrons são consumidos e os nutrientes inorgânicos são disponibilizados aos produtores primários, servindo à produção primária autóctone e enriquecendo a água do mar adjacente quando exportados (Yamamoto *et al.*, 008). Processos como a desnitrificação e o tamponamento de fósforo, controlam a concentração destes nutrientes na coluna d'água, afetando a produtividade primária do sistema. O domínio de um ou outro processo depende de fatores físicos e químicos, tais como o fluxo de entrada do nutriente, a turbidez, a camada de oxigênio - redução, o tempo de residência e a ocorrência de estratificação na coluna d'água (de Jonge *et al.*, 002).

O crescimento urbano em cidades costeiras causa evidentes alterações na qualidade dos ambientes marinhos. O aumento de concentrações de nutrientes inorgânicos e matéria orgânica dissolvida em níveis acima da capacidade de carga do meio são os principais fatores causadores de problemas e alterações sérias nos ambientes costeiros (Smith *et al.*, 003). A manutenção do equilíbrio ecológico destes ambientes depende do balanço entre a quantidade de matéria orgânica e de nutrientes dissolvidos que entram no sistema e sua capacidade de diluir e de exportar estes materiais (Nixon, 1995). A Baía da Ilha de Santa Catarina drena a maior região urbanizada do Estado de SC, cujo sistema de dis-

posição dos efluentes domésticos é precário (Pagliosa *et al.*, 2005).

OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo identificar as principais fontes de nutrientes para a Baía da Ilha de Santa Catarina, avaliar a capacidade do sistema em metabolizar - los e exportá - los para o mar adjacente.

MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Área de Estudos

A Baía da Ilha de Santa Catarina, localiza - se entre 27°20'S e 27°50'S, é um sistema polimixohalino semi - fechado com 50 km de comprimento no sentido N - S e profundidade médias inferiores a 5 m. Estrangulada na região central, distingue - se em dois embaixamentos, as baías Norte e Sul, que são conectados ao mar adjacente. Por estes extremos, propagam - se as ondas de maré em sentidos opostos e convergentes até se encontrarem no setor centro - sul do sistema (Prudêncio, 2003). A Baía Norte possui sedimentos com alta porcentagem de finos e matéria orgânica (Bonetti *et al.*, 007). Além destas características, o sedimento da porção central da Baía Sul possui altas taxa de nitrogênio total. O restante deste sistema é formado por sedimentos arenosos, com baixo teor de carbono orgânico e de nitrogênio total.

2.2 - Desenho amostral e análises

2.2.1 - Amostragem na Baía da Ilha de Santa Catarina

A Baía da Ilha de Santa Catarina foi setorizada em quatro subsistemas: i) o norte, localizado entre o canal norte e a bacia hidrográfica do Saco Grande; ii) o centro - norte, fazendo limite com o anterior e se estendendo até o estreito na região central da baía; iii) o centro - sul, que se estende a partir deste e segue até a altura da foz do rio Cubatão,

incluindo - a; e iv) o sul, com limites no centro - sul e no canal sul da baía. Em cada setor, três pontos amostrais foram definidos aleatoriamente para a coleta de água, sub - superfície e próximo ao fundo, a qual ocorreu em agosto de 2005. A água do mar adjacente foi coletada em dois pontos amostrais, um ao sul e outro ao norte do sistema. Além das águas da baía, na mesma semana da referida amostragem, coletou - se a água de superfície dos principais rios que drenam para as baías Sul (Maciambú, Cubatão, Maruim, Aririú e Tavares) e Norte (Biguaçu, Ratoões, Pau do Barco, Itacorubi, Sertão, Três Henriques, Caveiras). Os rios que drenam para a APA do Anhatomirim foram coletados em novembro de 2005.

2.2.2 - Coleta e procedimentos analíticos

A água foi amostrada com uma garrafa de Van Dorn, provida de redutor de turbulência. A profundidade local e a do disco de secchi foram tomadas com um cabo graduado. A temperatura e o pH foram medidos em campo com o uso de pHmetro portátil Hach (mod. 50205). A salinidade foi averiguada pelo método condutimétrico, utilizando - se um condutivímetro/TDS Hach mod. 44600. As concentrações de oxigênio dissolvido, dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da biomassa fitoplanctônica foram quantificadas seguindo metodologias descritas em Grasshoff *et al.*, (1983).

2.2.3 - Análise dos dados

O modelo do balanço de água, sal e nutrientes da coluna d'água da Baía da Ilha de Santa Catarina foi elaborado seguindo a metodologia descrita por Gordon *et al.*, (1996). Os dados médios de cada variável por setor foram aplicados ao modelo, elaborado com quatro caixas, cada qual representando um dos setores.

A análise de variância e o teste pos - hoc foram utilizados para avaliar as diferenças entre os setores analisados (norte, centro - norte, centro - sul e sul), seguindo os pressupostos da análise. A correlação simples de Pearson foi gerada para as variáveis e os processos medidos.

RESULTADOS

3.1 - Balanço de material conservativo

A Baía da Ilha de Santa Catarina caracterizou - se por um balanço de água positivo, onde a entrada de água doce supera a perda pela evaporação. A principal entrada de água doce via drenagem continental na Baía da Ilha de Santa Catarina foi proveniente do rio Cubatão, seguido do rio Biguaçu, enquanto que os demais rios não diferiram significativamente. As Baías Sul e Norte receberam em média 9,10 m³.s⁻¹ e 4,89 m³.s⁻¹ da água continental, respectivamente. As trocas de água com a atmosfera foram significativas para o balanço de massa conservativo da Baía da Ilha de Santa Catarina, representando em média 95 % deste e não diferindo entre as baías Norte e Sul. O volume residual da água doce (VR) indicou exportação dos setores internos da baía para o mar adjacente, sendo que 42 ± 24 % da água que entrou no sistema foram exportados.

A salinidade não variou significativamente ao longo da baía e nem apresentou correlação significativa com os fluxos de entrada e saída de água doce, VP, VE e VQ. O tempo de residência hidráulico controlado pela fonte fluvial foi de 51

dias, a eficiência da troca das águas pelas marés reduziu o tempo de residência médio total para 1,9 dias. O volume de mistura (VX) foi em média 71 e 36 vezes maior do que o fluxo residual e o da precipitação, respectivamente. Este fato indica que a mistura das águas da Baía da Ilha de Santa Catarina com as do mar adjacente é elevada o suficiente para não gerar um gradiente salino marcante, como o observado em estuários e baías.

3.2 - Balanço do material não conservativo

Os rios que drenam para a Baía da Ilha de Santa Catarina estão eutrofizados, apresentando elevada carga de nutrientes inorgânicos fosfatados (204 ± 358 mg.m⁻³) e nitrogenados (501 ± 582 mg.m⁻³) e baixa concentração de oxigênio dissolvido, chegando a anóxia. Smith *et al.*, (1999) estabeleceu as concentrações de 75 mg.m⁻³ e de 1500 mg.m⁻³ como o limite mínimo de fósforo total (PT) e nitrogênio total (NT) na água para caracterizá - la como eutrófica. As concentrações de PID foram superiores nos rios que drenam para o setor centro - norte da baía, com a média de 14,22 ± 15,50 mmol.m⁻³, seguido do setor norte (3,47 ± 6,97 mmol.m⁻³) e dos setores centro - sul (1,63 ± 1,06 mmol.m⁻³) e sul (1,16 ± 0,99 mmol.m⁻³). Os valores de NID foram significativamente maiores nas águas dos rios que drenam para os setores centrais do sistema (centro - sul >centro - norte), não havendo diferença entre os setores norte e sul. Destacam - se as elevadas concentrações de NID observadas no rio Maruim, de 108 ± 14 mmol.m⁻³ ou 1521 ± 190 mg.m⁻³, o qual drena o parque industrial de São José. Ao considerar os fluxos dos rios, o Maruim é o terceiro em ordem de grandeza, verificou - se que o referido rio é a principal fonte de nutriente nitrogenado para a baía da Ilha de Santa Catarina, carreando entre 8,17 x 10³ molN.d⁻¹ e 68,26 x 10³ molN.d⁻¹, o equivalente a 25 t N.mês⁻¹.

Dos muitos minerais necessários para os produtores primários, o nitrogênio e o fósforo inorgânico são os principais nutrientes limitantes. A razão abaixo de 10 e acima de 20 é considerada como limitante de NID e PID, respectivamente, para a formação da biomassa microalgal (Kocum *et al.*, 002) . Esta razão é um reflexo da taxa de entrada e do processo de regeneração de cada nutriente, variando consideravelmente entre os sistemas. Alguns autores citam que em ambientes eutrofizados a razão NP é de aproximadamente 10, próximo ao valor encontrado no esgoto doméstico. A razão observada nos fluxos de nutrientes para a Baía da Ilha de Santa Catarina indicou que, com exceção do setor centro - sul 28 ± 18, a produção primária pode ser potencialmente limitada por nitrogênio (setor norte 9 ± 4, centro - norte 3 ± 6 e sul 10 ± 3).

As características físico - químicas e a biomassa fitoplanctônica das águas não diferiram significativamente entre os setores da baía. As concentrações de oxigênio e os valores de pH estiveram acima de 6,30 mg.L⁻¹ e de 8,00, respectivamente. Verificou - se, contudo, um aumento da transparência da água para os setores externos norte e sul da baía, com máximo no setor sul, onde a zona fótica engloba toda a coluna da água. Inversamente, as concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos decresceram dos setores centrais para os extremos do sistema, enquanto a biomassa algal apresentou um gradiente crescente do setor norte para o sul da baía. Segundo Smith *et al.*, 1999), em ambientes

marinhos as concentrações de fósforo total (PT) entre 30 e 40 mg.m⁻³ caracterizam eutrofização, assim como, as concentrações entre 350 mg.m⁻³ e 400 mg.m⁻³ de nitrogênio total (NT). Na baía o PID variou de 23 mg.m⁻³ a 116 mg.m⁻³, com máximo no setor centro - sul, caracterizando o sistema como hipertrófico. Por outro lado, os valores de NID estiveram entre 16 mg.m⁻³ e 48 mg.m⁻³, os quais caracterizam águas oligotróficas. A razão NP abaixo de 5 corrobora a limitação de nitrogênio em todo o sistema. O NID das águas eutrofizadas dos rios, já limitadas por N, pode estar saindo do sistema ao entrar na baía, servindo imediatamente à demanda dos produtores primários, sofrendo denitrificação ou se diluindo com a água do mar adjacente, exaurindo este <pool > nutricional. As maiores biomassas fitoplanctônica foram observadas no setor sul da baía, onde a zona fótica engloba toda a coluna da água. A correlação significativa e inversa entre a concentração de NID e a biomassa microalgal (r = 0,73) sugere que o fitoplâncton é determinante no balanço biogeoquímico do nitrogênio, assimilando - o e incorporando - o a biomassa quando sob condições ideais de luminosidade.

A Baía da Ilha de Santa Catarina se apresentou como uma importante fonte de PID (59 x 10³ mol.d⁻¹) para a coluna d'água quando comparada a entrada deste nutriente pelos rios. Os setores com elevado teor de finos e de matéria orgânica no sedimento foram os principais compartimentos fontes deste elemento. Estudo recente na região estuarina dos principais rios que drenam para a Baía da Ilha de Santa Catarina evidenciou a remoção de fósforo da coluna da água para o sedimento (Pagliosa *et al.*, 2005). Somada a esta informação, sugere - se que o fósforo, orgânico dissolvido e particulado, proveniente dos rios é depositado, precipitado e adsorvido pelos processos físico e geoquímicos e se mantém no compartimento bêntico, principalmente dos setores norte, centro - norte e centro - sul, onde é mineralizado à PID, enriquecendo a coluna d'água. Os setores norte, centro - norte e centro - sul caracterizaram - se, em média, como fonte de NID para a coluna d'água, enquanto que o setor sul é um sumidouro deste nutriente. No balanço geral, a baía é fonte de NID para a coluna d'água e o NID correlacionou - se com o fluxo de mistura deste nutriente (r 0,72), fato não observado para o balanço do PID. A denitrificação prevaleceu no setor norte (- 4 mmolN.m⁻².d⁻¹) e centro - sul (- 110 mmolN.m⁻².d⁻¹) da baía. Enquanto que a nitrificação/fixação de N foi determinante nos setores centro - norte (29 mmolN.m⁻².d⁻¹) e sul (107 mmolN.m⁻².d⁻¹), onde ocorreram as maiores produções em relação a mineralização.

De acordo com o balanço de PID e com base na relação estequiométrica CNP para o fitoplâncton, verificou - se que a mineralização da matéria orgânica prevaleceu no sistema com mais frequência, mas não com mais intensidade do que a produção primária. Ou seja, em 70 % dos dados calculados, a taxa de mineralização superou, em 168 ± 290 mmolC.m⁻².d⁻¹, a taxa de produção. Por outro lado, a produção primária gerou 354 mmolC.m⁻².d⁻¹ a mais que a mineralização no balanço final, o qual apresentou um valor médio de 522 ± 623 mmolC.m⁻².d⁻¹ neste estudo. O metabolismo líquido da Baía da Ilha de Florianópolis correlacionou - se positivamente com a biomassa

fitoplanctônica, clorofila a (r 0,67) e feofitina a (r 0,73), o que ressalta a importância da comunidade fitoplanctônica no metabolismo do ecossistema. Gordon, *et al.*, 1996) e Yamamoto *et al.*, 2008) estimaram que o metabolismo líquido do ecossistema é cerca de 10% da produção primária bruta. Ao extrapolar esta relação para os dados aqui encontrados, verifica - se que a produção primária bruta média seria de 470 mmolC.m⁻².d⁻¹ (ou 5,6 gC.m⁻².d⁻¹). De acordo com estas informações, a baía se apresenta heterotrófica na maior parte do período, porém, quando as condições oceanográficas favorecem a produção primária, como luminosidade ao longo da coluna d'água e sobre o sedimento, esta apresenta valores esperados para um ambiente eutrofizado.

CONCLUSÃO

Os rios que drenam para baía apresentam características eutróficas para o fósforo e mesotróficas para o nitrogênio. A razão NP indicou que tais águas são potencialmente limitantes de N para a produção primária fitoplanctônica. Esta baixa razão também foi observada na água da baía, onde a concentração de P caracterizou o sistema como hipertrófico, enquanto que a de N identificou - o como oligotrófico. A perda de N do sistema é significativa pelos processos biogeoquímicos. A maré tem efeito significativo nas trocas de água, de sal e de nutrientes entre a baía e o mar adjacente, sendo apontada como um importante fator na manutenção da qualidade ambiental.

REFERÊNCIAS

- Bonetti C.; Bonetti, J.; Barcellos, R.L. 2007. Caracterização sedimentar e geoquímica de sistemas costeiros com ênfase na valiação da influência de sítios de cultivo de moluscos. In: Barroso, G.F.; Poersch, L.H.S.; Cavalli, R. (org.) Sistemas de cultivos aquícolas na zona costeira do Brasil: recursos, tecnologias, aspectos ambientais e sócio - econômico. Museu Nacional, Rio de Janeiro, RJ. 316 p.
- Gordon, JR., D. C., P. R. Boudreau, K. H. Mann, J. - E. Ong, W. L. Silvert, S. V. Smith, G. Wattayakorn, F. Wulff AND T. Yanagi. 1996. LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines. LOICZ Reports & Studies No 5, 1 - 96.
- Grasshoff, K; Ehrhardt, M. & Kremling, K. 1983. Methods of seawater analysis. 2ed. Verlag Chemie, Weinheim. 419p.
- Grelowski, A.; M. Pastusza; S. Sitek & Z. Witek. 2000. Budget calculations of nitrogen, phosphorus and BOD5 passing through the Oder estuary. J. Mar. Syst., 25: 221 - 237.
- De Jonge, V.N.; Elliott, M., and Orive, E., 2002. Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. Hydrobiologia, 475/476, 1 - 19
- Kocum, E.; D.B. Nedwell & G.J.C. Underwood. 2002. Regulation of phytoplankton primary production along a hyper-nutriented estuary. Mar. Ecol. Progr. Ser., 231: 13 - 22.
- Moller Jr, O.O.; Piola, A. R.; Freitas, A.C.; Campos, E.J.D. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South América. Continental Shelf Research, 28: 1607 - 1624.

- Nixon, S.W.1995. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41: 199 - 219.
- Pagliosa, P.; Fonseca, A.; Bosquilha, G.E.; Braga, E.S.; Barbosa, F.A.R. 2005. Phosphorus dynamics in the water and sediments in urbanized and non - urbanized rivers in the Southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 965 - 974.
- Prudêncio, R.S. 2003. Estudos numéricos da circulação induzida pela maré na Baía de Florianópolis. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 107p.
- Smith, S.V.; Swaney, D.P.; Talaue - Mcmanus, L.; Bartley, J.D.; Andhei,P.T.; e outros. 2003. Humans, hydrology, and the distribution of inorganic nutrient loading to the ocean. *BioScience*, 53:235 - 245.
- Smith, V.H.; Tilman, G.D.; Nekola, J.C. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrients inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100: 179 - 196.
- Stahl, H.; P.O.J. Hall; A. Tengberg; A.B. Josefson; N. Strefitaris; A. Zenetos & A.P. Karageorgis. 2004. Respiration and sequestering of organic carbon in shelf sediments of the oligotrophic northern Aegean Sea. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 269: 33 - 48.
- Yamamoto, T; Hiraga, N.; Takeshita, K.; Hashimoto, T. 2008. Na estimation of net ecosystem metabolism and net denitrification os the Seto Inland Sea, Japan. *Ecological Modelling*, 215: 55 - 68.