



Flávia Beatriz Beserra Azevedo et al.

Mudanças na qualidade da água de uma laguna do leste fluminense, geradas pela abertura permanente de conexão com o mar

Flávia Beatriz B. A. Carloni¹

Julio Cesar Wasserman^{1*}

Luiz Firmino Martins Pereira²

Mário Flavio Moreira²

Resumo:

O objetivo do trabalho foi avaliar as mudanças na qualidade da água da laguna de Saquarema, devido à abertura permanente de sua barra, conectando com o mar. Amostragens e análises foram realizadas mensalmente por um período de um ano, monitorando seis estações. Os resultados mostraram que a abertura da barra não contribuiu consideravelmente para a melhora na qualidade da água da Lagoa de Saquarema. Embora a concentração de alguns nutrientes tenha diminuído, a comparação entre as formas do nitrogênio mostrou que o amônio apresenta-se elevado em relação ao nitrito e nitrato, indicando que os aportes de esgotos ainda impactam o ambiente.

Palavras-chave: qualidade de água, laguna de Saquarema, nutrientes dissolvidos

Abstract

The objective of this work was to evaluate the changes in the water quality of the Saquarema lagoon, attributable to the perennial opening of a sand bar, connecting it with the sea. Sampling and analyses were carried out monthly for the period of one year, monitoring six sampling stations. The results showed that the sand bar opening did not considerably contribute with the improvement of Saquarema lagoon water quality. Although some nutrients concentrations have decreased, the ammonium concentration is now very high in relation to nitrite and nitrate, indicating that the sewage pollution still impacts the environment.

Keywords: water quality, Saquarema lagoon, dissolved nutrients

¹ Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense (UFF)

² Consórcio Intermunicipal Lagos-São João; geowass@vm.uff.br





Introdução

As lagunas costeiras estão entre os mais importantes ecossistemas aquáticos porque servem como berçário e área de proteção para juvenis de peixes costeiros de importância comercial e sustentam comunidades através de várias atividades, incluindo indústria e turismo (Herrera-Silveira *et al.*, 2002). No Brasil, são encontradas desde o Estado do Rio Grande do Sul até o Estado do Maranhão (Thomaz *et al.*, 2001). No Estado do Rio de Janeiro (lat. 23°S e long. 43°W), entre as cidades de Niterói e Cabo Frio, a Região das Baixadas Litorâneas possui uma série de sistemas lagunares, cobrindo uma área de cerca de 2.690 km². A partir de Niterói, os sistemas lagunares são Piratininga/Itaipu, Marica/Guarapina, Saquarema e Araruama, sendo que este último sistema conecta-se ao mar no município de Cabo Frio. Enquanto algumas dessas lagunas ainda se encontram relativamente preservadas (caso de Saquarema), outras foram profundamente modificadas (caso de Piratininga), o que faz dessa região uma interessante área experimental, na qual é possível estudar os diferentes estágios do complexo processo de eutrofização (Carmouze & Vasconcelos, 1992) e determinar as possíveis soluções de manejo.

A capacidade dos ecossistemas costeiros em assimilar substâncias depende de uma série de processos de natureza física, química e biológica. Numa laguna costeira, as variações nas concentrações de substâncias relacionam-se, intimamente, com a renovação das águas, a qual depende de uma série de processos de natureza física e geológica que interagem entre si de forma complexa, tornando a qualidade da água susceptível a alterações (Miranda *et al.*, 2002).

Os sistemas lagunares estão, naturalmente, sujeitos ao processo de eutrofização porque retêm com eficiência materiais alóctones e autóctones, continuamente reciclados no interior dos limites do sistema, graças às restritas trocas com o mar e às baixas profundidades, as quais mantêm uma reduzida hidrodinâmica. Por sua vez, a hidrodinâmica retroalimenta uma elevada taxa de acumulação de materiais oriundos dos rios, do escoamento superficial e da produção primária local, reduzindo ainda mais a profundidade do sistema.

A restrita comunicação com o mar leva esses ambientes a serem muito afetados pela atividade humana do seu

Área de estudo

O município de Saquarema integra a Região das Baixadas Litorâneas e possui um sistema lagunar composto por quatro compartimentos. As sublagos apresentadas na Figura 2 têm as características detalhadas na Tabela 1.

Perrin (1999) observa que a bacia de drenagem do sistema lagunar é subdividida em três sub-bacias, Mato-Grosso-Tingui, Seco e Padre. O rio Bacaxá, que drena a

entorno e, como conseqüência, observam-se intensificação do assoreamento; aumento da turbidez na água; alterações no pH; concentração de gases como metano e gás sulfídrico, oriundos da decomposição da matéria orgânica; e a deterioração da qualidade das águas com o crescimento exagerado de algas, proliferação de coliformes e mortandade de peixes.

Uma das ações propostas para melhorar a qualidade da água de lagunas costeiras é a abertura de canais de comunicação com o mar (Dionisio *et al.*, 2000), visando à melhoria na circulação e, conseqüentemente, à diminuição no tempo de residência dos materiais dentro da laguna. Porém a abertura de canais de ligação com o mar suscita diversos questionamentos relacionados às mudanças químicas e metabólicas geradas pela intensificação da circulação e pela invasão de água salina. Um dos problemas mais conspicuos é o comportamento dos sedimentos diante das modificações físico-químicas na coluna d'água. Em uma laguna como Piratininga (Niterói, RJ), por exemplo, com uma ligação muito tênue com o mar, existe uma tendência de acumulação de matéria orgânica e nutrientes nos sedimentos, motivada pelo forte gradiente vertical de oxigenação (Carneiro, 1992; Souza & Wasserman, 1997). No caso de Piratininga, o gradiente de oxigênio é intensificado pela elevada produção algal, que lança na superfície uma elevada carga de oxigênio. Além disto, a presença das algas constitui uma barreira física à mistura e o sedimento atinge extremos de potencial redox negativo, preservando, assim, a matéria orgânica e os nutrientes nela imobilizados (Cunha & Wasserman, 2003; Kisand, 2005).

Tanto o seqüestro de nutrientes associados à matéria orgânica quanto a formação de minerais são processos reversivos, que podem ocorrer em lagunas costeiras, quando da abertura de conexões com o mar ou devido aos processos de dragagem, devido às alterações físico-químicas resultantes. Um caso que comprova, parcialmente, esse processo foi descrito por Suzuki *et al.* (1998), que observou uma forte difusão de nutrientes imediatamente após a abertura de uma barra arenosa que fechava a laguna de Grussai (São João da Barra, RJ). Nesse sistema, a difusão durava apenas alguns dias, pois a barra rompe-se e também se fecha rapidamente e com frequência.

localidade de Bacaxá, encontra-se associado à sub-bacia do rio Padre. Os rios afluentes ao sistema têm uma extensão que não ultrapassa 12 km, tendo suas nascentes altitudes que variam entre 300 e 600 metros. Devido às reduzidas dimensões das bacias, as chuvas orográficas, que incidem na região, geram aportes imediatos de água doce para o sistema lagunar



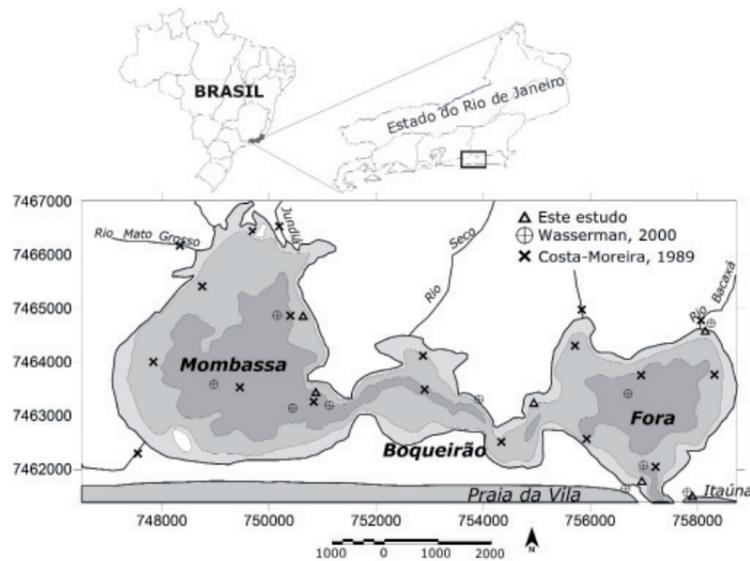


Figura 1: Localização do sistema lagunar de Saquarema (Fonte: CIDE, 2001). As estações amostradas em estudos feitos em diferentes períodos são apresentadas com figurados diferentes. A batimetria da laguna está representada em tons de cinza, sendo o mais claro de 0 a 0,5 m, de 0,5 a 1,0 m e, em cinza mais escuro, >1,0 m.

Subsistema	Área da laguna (Km ²)	Área da bacia (km ²)	Pluviosidade da região (mm)	Evaporação (mm)**	Prof média (m)	T _{1c} (dias)
Urussanga ou Mombaça	12,6	128	1260 (Rio Mole)	1239	1,15	60
Jardim	2,0	20	1260 (Rio Mole)	1239	0,95	48
Boqueirão	0,6	6	1014 (Saquarema)	1239	0,90	35
Fora	6,0	61	1014 (Saquarema)	1239	1,20	5
Total/média	21,2	215	1183	1239	1,15	42,6

Tabela 1: Características de cada uma das lagunas. *Segundo Alves e Wasserman (2002). Valores avaliados para uma maré real, com um vento típico NE de 5 nós e um aporte de água doce da ordem de 1m³ s⁻¹. Considera a barra aberta. ** Dados de estação meteorológica do Rio de Janeiro.

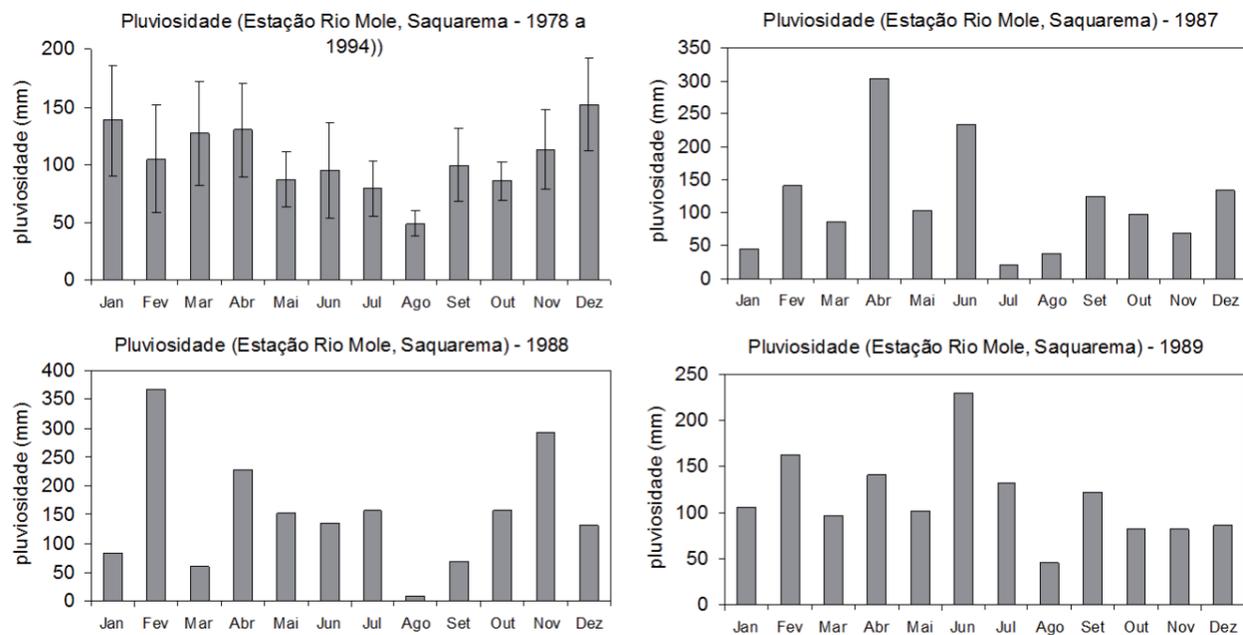


Figura 2: Dados de pluviosidade média mensal da estação Rio Mole (1978 a 1994) comparados aos anos de 1987, 1988 (anos de coleta de Costa-Moreira [1989]) e 1989 (ano de coleta de Carmouze & Vasconcelos [1992]). Como não há dados mais recentes na região, comparamos com os dados médios.



Por influência do relevo (Barbieri & Coe-Neto, 1999), a bacia do sistema lagunar sofre dois tipos de influências climáticas: um clima subúmido seco a leste, que determina períodos prolongados de estiagem, com forte insolação e temperaturas elevadas. No lado Oeste, predominam os processos orográficos, que afetam, principalmente, a bacia de drenagem dos rios (principalmente o rio Roncador), que desembocam na lagoa da Mombaça (Costa-Moreira, 1989). Não há dados disponíveis de estações fluviométricas na região. As estações do Tingui (F-48), Roncador (F-50R) e Jundiá (F-45) foram desativadas e os dados não puderam ser encontrados pela equipe do EIA-RIMA da barra Franca de Saquarema. No documento de Wasserman (2000), existe apenas um dado de vazão (aproximadamente $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) medido no rio Roncador, obtido no projeto de definição da faixa marginal da laguna (ECP, 1979). Contudo não há, neste último documento, descrição do período de medição e nem das metodologias utilizadas.

O fitoplâncton da laguna foi estudado de maneira expedita no EIA-RIMA da abertura da Barra (Wasserman, 2000). A maioria das espécies identificadas na coluna d'água tinha hábitos bentônicos. Entre elas, destaca-se: *Achnanthes brevipes* (Bacillariophyta). As espécies eurihalinas mais abundantes identificadas foram diatomáceas (Bacillariophyta), *Entomoneis alata*, *Pleurosigma elongatum*, *Melosira nummuloides*, *Paralia sulcata* e *Podosira stelliger*. Os dinoflagelados (Dinophyta) *Scropsiella trochoidea*, *Oxyphysis oxitoxoides* e *euglenoficeae* sp. (Euglenophyta), característicos das águas poluídas de outros ambientes costeiros comprometidos como a baía de Guanabara, também se distribuíram de maneira regular ao longo da laguna. Um estudo bem mais detalhado foi realizado por Domingos *et al.* (1994), na vizinha laguna de Maricá. Tal estudo associou as mortalidades de peixes à variação das assembleias fitoplanctônicas.

Embora tenha tido uma urbanização menos rápida e apresente estado de degradação menos avançado que outros sistemas da região (Wasserman, 2000), Saquarema vem sofrendo com uma ocupação desordenada. Até a década de 60, as atividades econômicas características do município eram pesca, pecuária e citricultura (a população do Município, segundo o censo de 1960, era de 19.865 habitantes). Porém, a partir da década de 70, o Sistema Financeiro de Habitação impulsionou a expansão imobiliária do veraneio na região (Costa-Moreira, 1989; Carmouze & Vasconcelos, 1992; Barros, 2003). Segundo o IBGE (2002; 2008), a população

de Saquarema cresceu 72,2% entre 1990 (37.888 habitantes) e 2001 (59.938 habitantes), os quais residiam em 31.623 domicílios, sendo que destes, 47,97 % não eram ocupados por todo o ano. Em 2007, a amostragem da população já indica um aumento da população de Saquarema para 62.174 habitantes (IBGE, 2008), indicando um crescimento para 2012 da ordem de 24,6%. Esse tipo de ocupação vem gerando a degradação do sistema lagunar pelo aporte de esgotos. A barra de areia, que separava o sistema lagunar de Saquarema do mar, vinha, até os anos 90, abrindo e fechando de maneira intermitente, alternando situações de acumulação de nutrientes no sedimento e de regeneração bêntica. Porém, há alguns anos, a ligação fechou de modo permanente, agravando a situação.

No Estado do Rio de Janeiro, são comuns propostas de construção de canais permanentes ou alargamento dos canais naturais, que ligam as lagoas ao mar, como solução para melhorar a qualidade da água desses sistemas. Sendo assim, visando a solucionar os problemas das lagoas de Saquarema, a Secretaria Estadual de Rios e Lagoas do Estado do Rio de Janeiro (Fundação SERLA) propôs a construção de um guia-corrente e a dragagem de um canal de 80 metros de largura por 2 metros de profundidade. A obra, que foi finalizada no início de 2003, ficou conhecida pela população como obra da Barra Franca.

Após a perenização da abertura, embora ainda não existam estudos a este respeito, os pescadores alegam que a qualidade do pescado da região melhorou. Não obstante, qualquer afirmação em relação à qualidade da água é uma questão complexa, considerando-se as peculiaridades climatológicas, geomorfológicas e ecológicas da região (Knoppers *et al.*, 1999). Por este motivo, o Estudo de Impacto Ambiental e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA) realizado para a obra sugeriram o monitoramento das concentrações de nutrientes na coluna d'água por pelo menos um ano (Wasserman, 2000). Esse monitoramento foi realizado em conjunto com o Consórcio Intermunicipal Lagos-São João (consórcio de municípios da região) e as análises de laboratório das águas da laguna foram realizadas pela Companhia Nacional de Álcalis, que deu suporte aos estudos ambientais na região.

O objetivo do presente estudo foi determinar as condições tróficas da laguna de Saquarema, após a abertura de uma conexão perene com o mar e avaliar se ocorreu efetiva melhoria nas características da água.

Metodologia

Procedimentos de amostragem

As campanhas de amostragem e as análises de laboratório das águas da laguna foram realizadas durante o período

de um ano, desde julho de 2003 a junho de 2004. Embora houvesse intenção de se realizarem amostragens mensais,

isto não foi possível, o que levou a um total de 9 campanhas. As amostragens foram executadas em seis estações, duas na lagoa de Mombaça (das quais são apresentadas as médias), uma na lagoa do Boqueirão, uma na lagoa de Fora, uma no rio Bacaxá e uma na praia de Itaúna (Figura 1). Embora existam outros rios desaguando na laguna, o rio Bacaxá foi selecionado porque é o que drena área intensamente ocupada e, provavelmente, constitui o mais significativo aporte de nutrientes para o sistema.

Com o objetivo de permitir uma melhor distinção entre esse estudo e os anteriores, as estações dos trabalhos de Wasserman (2000) e de Costa-Moreira (1989) também foram plotadas na Figura 1. No trabalho de Carmouze e Vasconcelos (1992), não há indicações das posições das estações amostrais, sendo que os autores apenas indicam que as amostras foram coletadas nos anos de 1988 e 1989, nas lagunas de Mombaça e Fora. O trabalho de Wasserman (2000) teve suas coletas realizadas no mesmo ano da publicação e as coletas de Costa-Moreira (1989) foram realizadas nos anos de 1987 e 1988.

A pluviometria média mensal para os anos de 1987,

1988 e 1989 referentes aos períodos de amostragem dos trabalhos de Costa-Moreira (1989) e Carmouze e Vasconcelos (1992) está apresentada na Figura 2. Para os trabalhos mais recentes, como não há dados pluviométricos para a região, foi apresentado o gráfico das médias mensais de todo o período de funcionamento da estação.

Foram medidos *in situ* os valores de salinidade (por refratometria), de temperatura (com um termômetro de mercúrio) e de pH (com um pHmetro portátil). As amostras para análise de nutrientes dissolvidos foram coletadas em garrafas de polietileno, previamente descontaminadas e armazenadas em isopor com gelo até a chegada ao laboratório. Para as análises de oxigênio dissolvido, utilizaram-se garrafas de vidro com tampa esmerilhada (tipo DBO) e a amostra foi fixada imediatamente com soluções de cloreto e iodeto de potássio (Strickland & Parsons, 1972). As amostras para determinação da demanda bioquímica de oxigênio foram coletadas em frascos de polietileno, com o cuidado necessário para não ocorrer oxigenação, e acondicionadas em isopor à temperatura ambiente.

Procedimentos Analíticos

Em laboratório, as amostras de água foram imediatamente filtradas (filtros tipo GFC, descontaminados com ácido clorídrico a 10 %) para separação do material em suspensão. Na fração filtrada analisou-se NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ e PO_4^{3-} , através dos métodos colorimétricos descritos por Grasshoff *et al.* (1983). O oxigênio dissolvido foi analisado através do método de titulação descrito em Grasshoff *et al.* (1983). Para a DBO_5 foram realizadas incubações em la-

boratório a temperatura controlada de 20° C, durante 5 dias (Strickland & Parsons, 1972). As análises foram realizadas sempre em um prazo máximo de uma semana após a coleta.

Foram aplicados os testes de comparação de médias (teste T) e foi construída uma matriz de correlações com o programa estatístico Statistica (Statsoft, 1999).

Resultados e discussão

Os resultados obtidos no monitoramento geraram as figuras 3 a 13. Nos gráficos, os dados são comparados com os resultados obtidos no final dos anos 80 no trabalho de (Costa-Moreira, 1989), quando a barra do sistema lagunar de Saquarema já não abria naturalmente, mas ainda podia ser periodicamente rompida pelos pescadores, o que acontecia com frequência maior do que nos anos 90, quando

Carmouze & Vasconcelos (1992) realizaram um estudo no mesmo sistema. Estes últimos autores apresentaram seus dados na forma de médias do sistema como um todo e o primeiro autor (Costa-Moreira, 1989) apresentou valores para cada compartimento isoladamente, sendo que este último considerou as lagunas Jardim e Boqueirão como um único saco, devido às semelhanças e ao tamanho. Nos

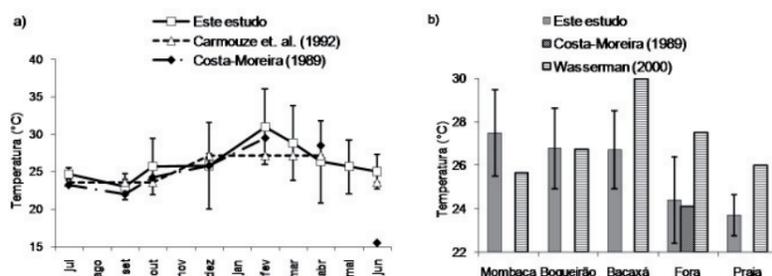


Figura 3: Variação média da temperatura na laguna ao longo da campanha de amostragem – não inclui a estação Rio Bacaxá (a) e em média para cada compartimento (b).

gráficos onde são apresentadas as médias de todo o sistema, variando ao longo do tempo, os dados constituem uma média das quatro sub-lagunas, não sendo consideradas as amostragens realizadas no rio Bacaxá e na praia de Itaúna.

A variação média da temperatura da água da laguna ao longo do tempo foi próxima aos valores encontrados em outros trabalhos (Costa-Moreira, 1989; Carmouze & Vasconcelos, 1992) (Figuras 3-a e 3-b). As lagunas mais interiores (Mombaça e Boqueirão) apresentaram temperaturas um pouco mais elevadas, enquanto a Lagoa de Fora apresentou menor variabilidade, confirmando uma forte influência marinha.

As Figuras 4-a e 4-b mostram que, como esperado, a salinidade atual de todo o sistema aumentou com a abertura definitiva da conexão com o mar. Foi possível identificar uma variação acentuada de salinidade entre as diferentes lagunas, corroborando as observações de (Costa-Moreira, 1989). Essa variação se deve ao fato de a lagoa de Fora estar recebendo a influência da água do mar, enquanto Mombaça recebe a maior parte dos aportes de água doce do sistema (Alves, 2003). O rio Bacaxá, que deságua na lagoa de Fora, apresenta valores elevados de salinidade, porque as coletas foram realizadas próximas à sua foz, que, com a abertura do canal, passou a sofrer grande influência da dinâmica de maré da laguna.

Através da Figura 5, é possível verificar que o pH variou pouco no sistema lagunar de Saquarema. Infelizmente não foram encontrados, na literatura, dados de pH da laguna em outros períodos para se fazerem comparações, com exceção dos dados de Wasserman (2000). Neste caso, só foi possível comparar com a média para cada compartimento (Figura 5-b), já que o estudo, anteriormente citado, não

analisou as variações temporais. Porém é possível verificar que o comportamento das lagunas em relação ao pH não oscilou significativamente no presente estudo em relação ao período em que a barra estava fechada, com exceção do rio Bacaxá, que apresentou uma elevação considerável, provavelmente devido à influência da entrada da água do mar, que tem pH mais alto que a água doce do rio.

O pH é um parâmetro importante na determinação do metabolismo de uma laguna. Os trabalhos de Carmouze (1986) e Carmouze e Vasconcelos (1992) mostram que existe uma forte relação entre o pH e a produção primária, com o equilíbrio do carbonato. Um consumo elevado de CO₂ pelo fitoplâncton durante a produção primária causa uma redução deste gás na coluna d'água, provocando um desequilíbrio nas reações do bicarbonato, principal controlador do pH. O resultado disto é um aumento significativo desse parâmetro, podendo algumas lagunas costeiras hipertróficas apresentarem pH da ordem de 9,5. Em amostragens realizadas semanalmente durante os meses de junho e julho de 1991, Souza e Wasserman (1997) chegaram a medir um pH de 9,9 na lagoa de Piratininga. Num monitoramento realizado entre abril de 1994 e abril de 1995, durante o verão, Cunha e Wasserman (2003) chegaram a observar medidas de pH de até 9,71 na mesma laguna.

O oxigênio dissolvido esteve sempre acima do limite de saturação, o que pode caracterizar um alto nível de produção primária no sistema. O valor mais alto de oxigênio dissolvido foi observado no mês de outubro de 2003 e os mais baixos nos meses de março de 2004 e junho do mesmo ano (Figura 6). As concentrações foram semelhantes em todos os compartimentos, inclusive quanto ao comportamento da curva ao longo do tempo. Na literatura, não foram encontrados dados de oxigênio dissolvido para Saquarema,

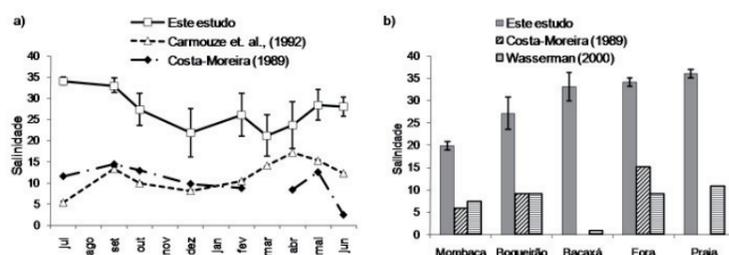
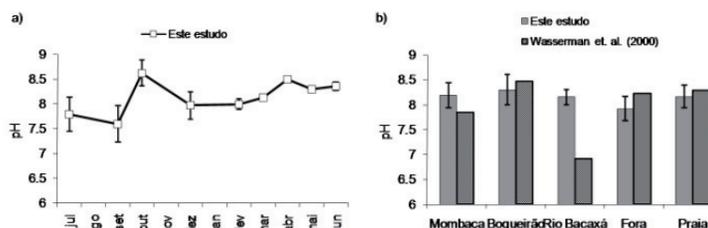


Figura 4: Variação média da salinidade na laguna ao longo da campanha de amostragem – não inclui a Estação Rio Bacaxá (a) e em média para cada compartimento (b).

Figura 5: Variação média do pH na laguna ao longo da campanha de amostragem – não inclui a estação Rio Bacaxá (a) e em média para cada compartimento (b).



além daqueles de Wasserman (2000) obtidos em apenas uma amostragem. Esse autor observou pouca variação nas concentrações de oxigênio dissolvido em todos os compartimentos do sistema lagunar, quando a barra estava fechada. Ainda naquele estudo, o autor observou que o rio Bacaxá apresentou anoxia, resultante da estagnação das águas. Nas amostras de superfície, apresentadas no presente estudo, foi obtida uma média acima do nível de saturação, indicando uma maior oxigenação, proporcionada provavelmente também pela entrada da água do mar. Os resultados da salinidade (Figura 4) corroboram esse processo.

Além da variação espacial e mensal, deve também ocorrer uma variação diurna muito significativa, visto que a fotossíntese tem papel preponderante nos valores observados. A importância da fotossíntese nas concentrações de oxigênio é confirmada na literatura (Espino *et al.*, 2008; Hull *et al.*, 2008; Cunha & Wasserman, 2002) e também pelos elevados valores de pH (Carmouze, 1986). Em Piratininga, laguna com sérios problemas de hipertrofia, Carneiro (1992) realizou medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície e fundo e verificou que as concentrações diminuem bruscamente em direção ao fundo, formando uma forte estratificação. Em Saquarema, com a abertura da conexão com o mar é provável que essa estratificação esteja amenizada pela entrada de água salgada.

A Figura 7-a mostra que com a abertura da conexão com mar, o sistema apresentou uma elevação na demanda bioquímica de oxigênio, principalmente no período do verão (aproximadamente de setembro de 2003 a março de 2004), com uma queda em dezembro de 2003.

Na Figura 7-b, são apresentados os valores de DBO_5 obtidos nas amostras de Wasserman (2000), coletadas nas lagoas de Mombaça e Fora em apenas um dia de coleta.

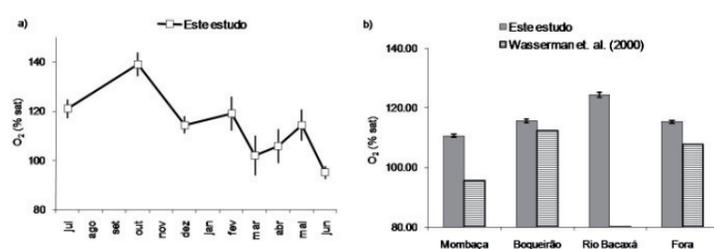
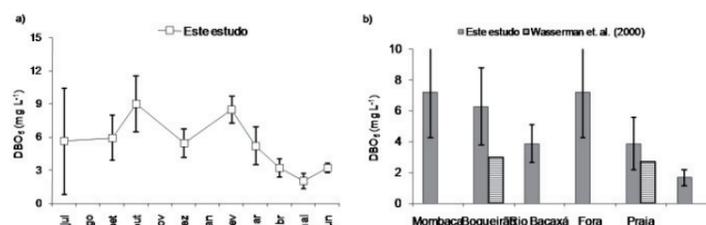


Figura 6: Variação média de oxigênio dissolvido ($mg\ l^{-1}$) na laguna ao longo da campanha de amostragem – não inclui a Estação rio Bacaxá (a) e em média para cada compartimento (b).

Figura 7: Variação média de DBO_5 ($mg\ L^{-1}$) na laguna ao longo da campanha de amostragem – não inclui a estação Rio Bacaxá (a) e em média para cada compartimento (b).



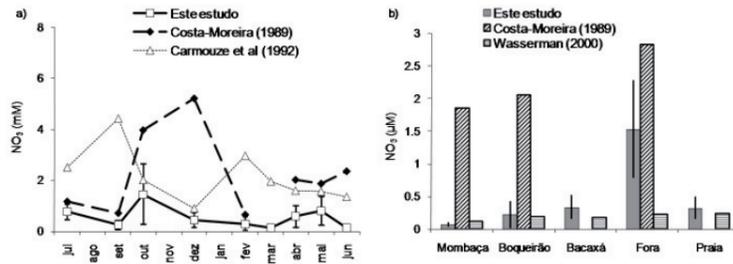


Figura 8: Variação média de nitrato (μM) na laguna ao longo da campanha de amostragem – não inclui a Estação Rio Bacaxá (a) e em média para cada compartimento (b).

Diferentemente do nitrato, a curva de concentração de nitrito no sistema lagunar teve comportamento diferente do observado por Costa-Moreira (1989), apresentando valores mais elevados (Figura 9). O rio Bacaxá foi o compartimento que apresentou concentrações mais elevadas e com maior variação entre os valores máximos e mínimos.

O nitrito é uma forma pouco estável do nitrogênio, que aparece durante processos de mudança de potencial redox. Os valores mais elevados encontrados na lagoa de Fora e no rio Bacaxá podem indicar uma instabilidade do ambiente, assim como também é possível que a fonte de NO_2^- , para o sistema, seja o próprio rio Bacaxá. No caso da lagoa de Fora, esta instabilidade pode ser resultado da recente abertura da barra, que pode estar causando mudanças no estado de oxidação das formas inorgânicas de nitrogênio, à medida que a maré entra ou sai. Suzuki *et al.* (1998), ao analisarem os efeitos da abertura e fechamento natural da barra arenosa da laguna Grussai, em São João da Barra, RJ, sugerem que, com a barra fechada, o aporte de água dos lençóis freáticos, com baixa concentração de oxigênio, aporte enriquecido com nutrientes dissolvidos, promove a predominância de

amônio nas águas da laguna. Quando a barra é aberta, ocorre uma elevação na concentração de oxigênio dissolvido acompanhada de uma gradual oxidação das formas reduzidas de nitrogênio para nitrito e, posteriormente, para nitrato. Não obstante, deve ser ressaltado que, em Saquarema, as concentrações de nitrito ainda são baixas.

Em praticamente todas as análises, os valores de amônio estiveram acima dos obtidos por Costa-Moreira (1989), sendo a lagoa de Fora e o rio Bacaxá os compartimentos que apresentaram as maiores concentrações (Figura 10). No caso da lagoa de Fora, essa elevação nos valores de NH_4^+ pode significar que os aportes de esgoto para o sistema foram intensificados em relação a 1989. O aumento na hidrodinâmica do sistema pode, também, estar promovendo a disponibilização de nutrientes e matéria orgânica através da remobilização do fundo, gerando maior consumo de oxigênio. Corroborando essa afirmação, o comportamento da DBO_5 (Figura 7) correlaciona-se com as concentrações de amônio ($p < 0,05$).

Em teoria, existe uma relação inversamente proporcional entre o NO_3^- e o NH_4^+ . Em ambiente redutor, o NO_3^- se

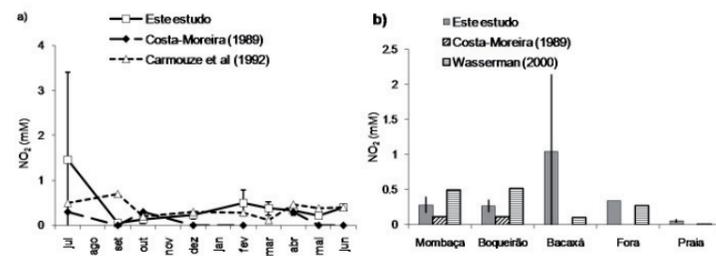
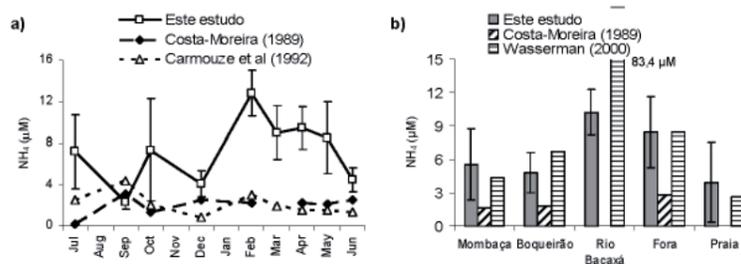


Figura 9: Variação média de nitrito (μM) na laguna ao longo da campanha de amostragem – não inclui a Estação Rio Bacaxá (a) e em média para cada compartimento (b).

Figura 10: Variação média de amônio (μM) na laguna ao longo da campanha de amostragem – não inclui a Estação rio Bacaxá (a) e para cada compartimento (b).



converte em NH_4^+ e, em ambiente oxidante, acontece o contrário (Belias *et al.*, 2007; Bhadha *et al.*, 2007). Desta forma, a conexão com o mar deveria proporcionar à lagoa de Fora um ambiente mais oxidante, resultando numa maior concentração de nitrato em relação às demais lagoas. Porém o fato de os valores de NO_3^- apresentarem-se menores do que aqueles do estudo de Costa-Moreira (1989) indica que a abertura da Barra Franca não foi tão eficiente para a oxidação de NH_4^+ para NO_3^- , como esperado. Esse processo é ainda corroborado pelas concentrações médias de oxigênio na Lagoa de Fora (Figura 6)

Na Figura 11, é possível verificar que o nitrogênio inorgânico dissolvido não variou em relação aos estudos anteriores ($p > 0,05$), o que comprova que a qualidade da água no sistema, em relação às formas de nitrogênio, não melhorou. Segundo Costa-Moreira (1989), a concentração média de nitrogênio inorgânico dissolvido variava ao longo do tempo entre $<0,06$ e $10 \mu\text{M}$. Três anos depois, quando a barra abria com menor frequência, Carmouze e Vasconcelos (1992) avaliaram que a concentração média de nitrogênio inorgânico dissolvido, no período de inverno era de $23,6 \mu\text{M}$ e que, no período do verão, caía para $3,3 \mu\text{M}$. Na análise atual, as concentrações do parâmetro variaram entre 5 e $20 \mu\text{M}$, aproximando-se mais dos valores encontrados por Carmouze e Vasconcelos (1992), quando a laguna era aberta menos vezes. Os compartimentos com maiores concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido foram a laguna de Fora e o rio Bacaxá, provavelmente porque estão em áreas de maior concentração populacional. Este último foi o único compartimento a apresentar uma diminuição considerável das concentrações em relação às encontradas por Costa-Moreira (1989), chegando a apresentar valores, em média, 6 vezes menores. Porém o autor não explicita, em seu trabalho, a localização da amostragem, enquanto que, no presente trabalho, a amostragem foi realizada na foz do rio, já em uma zona de mistura. Quanto à lagoa de Fora, segundo Pereira (1991), as taxas de regeneração bêntica a partir do fundo são mais elevadas, porque seu sedimento é rico em biodetritos originados da produção algal, apresentando-se, assim, mais ricos em nitrogênio e fósforo.

Em sistemas aquáticos, o NID é composto, principalmente, por NO_3^- , quando há a contaminação pelo escoamento

superficial e fluvial de áreas agrícolas, tratadas com fertilizantes (Sfriso *et al.*, 1992; Valiela *et al.*, 1992). Já em sistemas impactados por esgotos domésticos, o NH_4^+ tende a ser o principal componente. Sendo assim, a Figura 11 corrobora a afirmação de que a principal fonte de contaminação para o sistema lagunar de Saquarema é o esgoto urbano e que esse aporte só está se agravando, isto em função das concentrações de nitrato, que estão diminuindo e as de amônio, que estão aumentando. Os altos valores de amônio observados para Saquarema, além de provenientes do aporte de esgotos, também podem ser um indicio de regeneração de nitrogênio a partir do sedimento em função da abertura da barra e do aumento da hidrodinâmica. Na Itália, a laguna Orbetello também apresenta altas concentrações de amônio (86% do NID) como consequência da difusão a partir do sedimento e, provavelmente, também da incapacidade do ecossistema de completar os passos da desnitrificação (Lenzi *et al.*, 2003).

O ortofosfato (Figura 12) apresentou concentrações um pouco maiores do que as encontradas por Costa-Moreira (1989). Em relação aos valores apresentados por Carmouze e Vasconcelos (1992), o presente estudo apresenta valores similares entre dezembro de 2003 e maio de 2004. Nos demais períodos, no trabalho daqueles autores, os valores são mais altos (Figura 12-a). Na análise de cada compartimento (Figura 12-b), verifica-se que, com exceção da praia de Itaúna, as concentrações atuais de ortofosfato giram em torno de $0,5$ a $1 \mu\text{M}$, ficando muito acima dos valores de 1989, que vão no máximo a $0,063 \mu\text{M}$ (Costa-Moreira, 1989). Apenas o rio Bacaxá apresentou redução nos valores em relação aos dados anteriores.

Nos estudos de Costa-Moreira (1989) e Carmouze e Vasconcelos (1992), mesmo nos momentos em que a laguna era aberta naturalmente, essa abertura não ultrapassava os 20 ou 30 m de largura por 1 m de profundidade. Atualmente, a abertura está com 80 m de largura e entre 1 e 2 m de profundidade e o tempo de residência caiu de 6 dias (Knoppers *et al.*, 1999) para menos de 1 dia em marés de sizígia (Alves & Wasserman, 2002; Alves, 2003). Apesar de toda esta hidrodinâmica, os valores de ortofosfato, na lagoa de Fora,

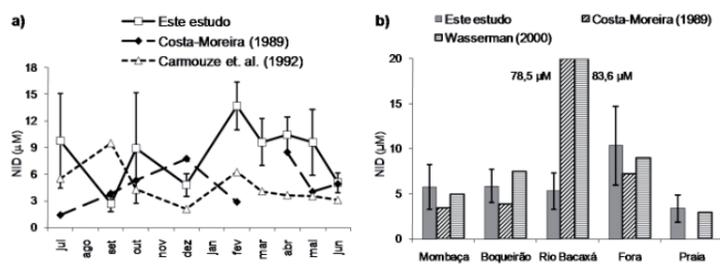


Figura 11: Variação média de nitrogênio inorgânico dissolvido (μM) na Laguna ao longo da campanha de amostragem – não inclui a estação Rio Bacaxá (a) e em média para cada compartimento (b).

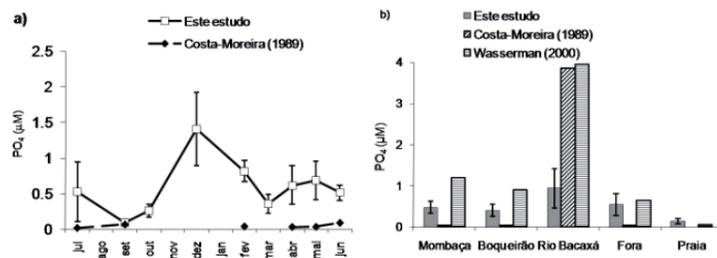


Figura 12: Variação média de ortofosfato (μM) na Laguna ao longo da campanha de amostragem – não inclui a estação Rio Bacaxá (a) e em média para cada compartimento (b).

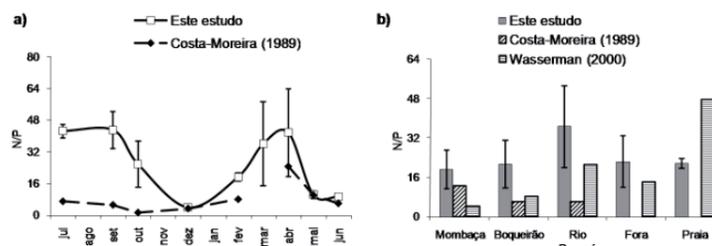
são comparáveis àqueles de 1992. Isto pode ser atribuído a dois fatores: 1) aumento populacional no entorno da laguna. A população no entorno da lagoa de Fora, somada à do distrito de Bacaxá era estimada em 37.888 habitantes em 1991 e aumentou para 52.461 em 2001, um incremento de cerca de 38%. Porém a concentração de ortofosfato no rio Bacaxá é menor do que há 15 anos atrás (Figura 12), o que pode indicar que o aporte de fósforo do rio para a laguna diminuiu; 2) difusão de fósforo a partir do sedimento. Se, como discutido na introdução, o principal reservatório de fósforo é o sedimento e se a sua fonte não é o rio, então, esse elemento pode estar vindo do próprio sistema, pelo aumento do potencial redox do fundo, resultante do aumento da hidrodinâmica. Na laguna de Grussai, Suzuki *et al.* (1998) verificaram, que quando a barra era aberta, os valores de condutividade e concentração de nitrogênio e fósforo inorgânicos aumentavam e os de clorofila *a* diminuam devido a três fatores: entrada da água do mar; ressuspensão do fundo causada pela hidrodinâmica; e transporte advectivo da água intersticial, favorecido pela diminuição da profundidade da laguna nos períodos de maré vazante. Para verificar se essa transferência de nutrientes dos sedimentos para a coluna d'água está acontecendo, seria necessária a realização de experimentos com *bell jar* (Garban *et al.*, 1995; Asmus *et al.*, 1998; Asmus *et al.*, 2000; Mwashote & Jumba, 2002).

As lagunas da região mostram uma marcada variação sazonal de nitrogênio inorgânico dissolvido e ortofosfato, dada pela intensa incorporação de nutrientes pelos produtores primários ao longo do ano e pelas variações nos aportes. Os aportes de nutrientes ao sistema podem se dar pela lixiviação da drenagem na bacia, pelos aportes do lençol freático e pela liberação de nutrientes pelos sedimentos, graças à ressuspensão induzida pelos ventos (Moreira & Knoppers, 1990; Knoppers *et al.*, 1999). A bacia do rio Bacaxá é a que

apresenta maior grau de urbanização, recebendo muitos despejos domésticos desde o distrito de Bacaxá. Existem, ainda, outros rios afluindo à laguna, mas todos os outros drenam áreas com muito baixas taxas de ocupação humana e os aportes de nutrientes são, por essa razão, insignificantes. O entorno da laguna de Fora também concentra uma densa população, que deve contribuir com a poluição da laguna através de aportes difusos. Já os nutrientes presentes nas águas das lagunas mais internas devem estar mais associados ao ciclo de nitrogênio e de fósforo das plantas e dos sedimentos dos brejos. O papel dos taboais também parece importante no processo de reciclagem dos nutrientes oriundos do continente (Costa-Moreira, 1989). Alves e Wasserman (2001) e Alves, (2003), através de estudo de modelagem hidrodinâmica, detectaram que existe um aporte significativo de poluentes da laguna de Fora para as interiores e esse processo, provavelmente, se intensificou com a abertura da barra.

A Figura 13 apresenta a relação N:P (NID:PO_4) do presente estudo, comparada aos estudos anteriores. É possível observar que os valores de Costa-Moreira (1989) e Carmouze e Vasconcelos (1992) são próximos, girando em torno de 1 a 9, a não ser por um pico em abril observado pelo primeiro autor na laguna da Mombaça (Figura 13-a). Porém, com a abertura da barra, a relação N:P subiu para valores de até, aproximadamente, 40, sendo possível concluir que a intervenção, provavelmente, fez o sistema lagunar passar de limitado por nitrogênio a limitado por fósforo. Na Figura 13-b, observa-se que Costa-Moreira (1989) mediu valores mais altos para a lagoa da Mombaça, enquanto os dados do presente estudo apresentam maiores valores para a lagoa de Fora. Esse comportamento se deve, provavelmente, à maior entrada da água do mar, pobre em fósforo, fato que fez elevar a razão entre os nutrientes nessa laguna (isto é demonstrado

Figura 13: Relação N:P na laguna a) ao longo da campanha de amostragem (não inclui a Estação rio Bacaxá) e b) em média para cada compartimento.





na Figura 4, apresentando a variação na salinidade). Contudo a entrada de água do mar unicamente não pode explicar o aumento da relação N:P e os resultados obtidos para o rio Bacaxá mostram que este contribui, principalmente, com nitrogênio para a laguna.

Os trabalhos anteriores têm obtido uma baixa razão N:P para o sistema lagunar de Saquarema, indicando que o nitrogênio dissolvido era o fator limitante para a produção primária do sistema. Com a abertura da barra, esperava-se que a entrada da água do mar, pobre em fósforo, promovesse

conclusões

Com a abertura da barra, esperava-se que a entrada da água do mar, pobre em fósforo, promovesse a diluição das águas da laguna, elevando, assim, os valores da relação N:P. Essa elevação foi confirmada, não pela diluição do fósforo, mas pelo grande aumento nas concentrações de nitrogênio inorgânico total, principalmente através do amônio. Embora as concentrações de nitrato e nitrito tenham diminuído, o amônio passou a ser a forma dominante de nitrogênio orgânico dissolvido, indicando, ainda, significativo aporte de esgotos domésticos. Esses altos valores de amônio também podem constituir indício da regeneração de nitrogênio do sedimento em função da abertura da barra e do aumento da hidrodinâmica.

Os resultados do presente estudo indicam que o equilíbrio da laguna ainda não foi atingido, nesse primeiro ano, após a abertura da conexão com o mar. Uma questão que se impõe, nos processos de abertura de conexão entre lagunas costeiras e o mar, é justamente: qual tempo necessário para que o equilíbrio seja atingido? Uma contribuição significativa do presente estudo é que o tempo deve ser muito superior a um ano, já que, ao final do nosso período de amostragem, o sistema ainda não apresentava nenhuma indicação de que estaria entrando em equilíbrio. É evidente que, nos programas de abertura de canais, conectando lagunas costeiras com o mar, monitoramentos de mais longo prazo devem ser exigidos nos Estudos de Impacto Ambiental, de modo que seja possível acompanhar a evolução do sistema. Os monitoramentos de mais longo prazo também são desejáveis, pois poderão constituir-se em mais consistentes avaliações do estado trófico desses ecossistemas.

Agradecimentos

Os autores são gratos à CAPES pelo fornecimento de uma bolsa de mestrado a FBBA. JCW agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa e respectiva taxa de bancada. (Este projeto foi parcialmente financiado com recursos do Consórcio Intermunicipal Lagos-São João e do Fundo Mundial para Conservação da Vida Selvagem (WWF). Grande parte das análises foi feita nos laboratórios da Companhia Nacional de Álcalis – Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, sem cujo apoio, este trabalho não seria possível.

a diluição das águas da laguna, elevando, assim, os valores da relação N:P. Essa elevação foi confirmada, mas não pela exclusiva diluição do fósforo, visto que as concentrações desse elemento não foram efetivamente reduzidas como indica a Figura 12. Na verdade, a elevação da relação N:P ocorre por um aumento relativo nas concentrações de nitrogênio inorgânico total, principalmente através do amônio. A fonte desse nitrogênio pode ser tanto o crescente aporte de esgotos como também a difusão/remineralização a partir do sedimento, pelos processos de oxi-redução já mencionados.

A variação na profundidade observada principalmente na laguna de Fora (devida à entrada e saída da maré), também deve afetar a biogeoquímica da coluna d'água do sistema estudado, mas esta avaliação deve ter uma abordagem própria, onde as variações físico-químicas da água e do sedimento precisam ser medidos durante os diversos ciclos de maré e poderá constituir assunto de pesquisas futuras.

O sistema continuará em franca degradação se não forem realizadas obras que solucionem o esgotamento sanitário dos bairros que circundam o sistema e se a ocupação continuar a crescer no mesmo ritmo. A população do município de Saquarema cresceu 97% entre 1990 e 2007, o que deve ter gerado um significativo acúmulo de nutrientes nos sedimentos e no sistema como um todo. Situação parecida acontece com o sistema lagunar de Maricá, RJ, que já possui uma conexão artificial com o mar desde a década de 70. Porém esta já não é suficiente e um recente projeto da SERLA propõe a abertura de um segundo canal de ligação com o mar no meio da barra de Maricá. É possível que dentro de dez a quinze anos a mesma proposta já esteja sendo reproduzida para Saquarema.

Estabelecer o tipo de uso que se deseja dar a uma área é fundamental quando se discute a conservação de um ecossistema. O sistema lagunar de Saquarema constitui um criadouro natural de espécies para a margem continental. Assim, a contenção da eutrofização excessiva e de suas conseqüências consiste em medida essencial para o manejo dos recursos pesqueiros e para a manutenção do balneário e seu valor paisagístico.



Referências

- ALVES, A.R. (2003) Modelagem numérica como ferramenta de gestão ambiental. Aplicação ao sistema lagunar de Saquarema, RJ. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, 97 p.
- ALVES, A.R. & WASSERMAN, J.C. (2001) Modelagem numérica aplicada à previsão dos impactos da abertura da ligação entre uma lagoa costeira e o mar. *Cad. Estudos Pesq.*, 11: 75-83.
- ALVES, A.R. & WASSERMAN, J.C. (2002) Determinação do tempo de renovação em sistemas lagunares. *Mundo Vida Alter. Est. Amb.*, 3 (1): 48-53.
- ASMUS, R.M.; JENSEN, M.H.; JENSEN, K.M.; KRISTENSEN, E.; ASMUS, H. & WILLE, A. (1998) The role of water movement and spatial scaling for measurement of dissolved inorganic nitrogen fluxes in intertidal sediments. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 46 (2): 221-232.
- ASMUS, R.M.; SPRUNG, M. & ASMUS, H. (2000) Nutrient fluxes in intertidal communities of a South European lagoon (Ria Formosa) - similarities and differences with a northern Wadden Sea bay (Sylt-Romo Bay). *Hydrobiologia*, 436 (1-3): 217-235.
- BARBIERI, E. & COE-NETO, R. (1999) Spatial and temporal variation of rainfall of the East Fluminense Coast and Atlantic Serra do Mar, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: Knoppers, B.A.; Bidone, E.D. & Abrão, J.J. Eds.), *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brazil*. UFF/FINEP, p. 47-56.
- BARROS, S.R.S. (2003) Proposta para o gerenciamento integrado da zona costeira no município de Saquarema-RJ visando ao estabelecimento de atividades sustentáveis. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, 110 p.
- BELIAS, C.; DASSENAKIS, M. & SCULLOS, M. (2007) Study of the N, P and Si fluxes between fish farm sediment and seawater. Results of simulation experiments employing a benthic chamber under various redox conditions. *Mar. Chem.*, 103 (3-4): 266-275.
- BHADHA, J.H.; MARTIN, J.B.; JAEGER, J.; LINDENBERG, M. & CABLE, J.E. (2007) Surface and pore water mixing in estuarine sediments: Implications for nutrient and Si cycling. *J. Coast. Res.*, 23 (4): 878-+.
- CARMOUZE, J.P. (1986) Alkalinity as a Useful Measure in Biogeochemical Process Studies (Examples of Aerobic Photosynthesis and Anaerobic Mineralization of Organic-Matter in a Tropical Lagoon). *Science of the Total Environment*, 58 (1-2): 187-193.
- CARMOUZE, J.P. & VASCONCELOS, P. (1992) The eutrophication of the Lagoon of Saquarema, Brazil. *Sci. Tot. Environ.*, suppl. 1992: 851-859.
- CARNEIRO, M.E.R. (1992) Ciclo anual do aporte fluvial e o estoque de matéria orgânica biogênica no sistema lagunar de Piratininga - RJ. M.Sc., Universidade Federal Fluminense, 157 p.
- CIDE (2001) Mapas Interativos I e II - Estado do Rio de Janeiro. Fundação CIDE.
- COSTA-MOREIRA, A.L. (1989) Estados tróficos da Lagoa de Saquarema (RJ) num ciclo anual. M.Sc., Universidade Federal Fluminense, 91 p.
- CUNHA, L.C. & WASSERMAN, J.C. (2003) Relationship between nutrients and macroalgal biomass in a Brazilian Coastal Lagoon: The impact of a lock construction. *Chem. Ecol.*, 19 (4): 283-298.
- DIONISIO, L.P.C.; RHEINHEIMER, G. & BORREGO, J.J. (2000) Microbiological Pollution of Ria Formosa (South of Portugal). *Mar. Poll. Bull.*, 40 (2): 186-193.
- DOMINGOS, P.; HUSZAR, V.L.M. & CARMOUZE, J.P. (1994) Composition et biomasse du phytoplancton d'une lagune tropicale (Brésil) au cours d'une période marquée par une mortalité de poissons. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 27 (3): 235-250.
- ECP (1979) Projeto de definição da faixa marginal de proteção e estudos complementares no sistema lagunar de Saquarema, situado na região das baixadas litorâneas. Secretaria Estadual de Rios e Lagoas - SERLA, 3 volumes p.
- ESPINO, G.D.L.; DURAND, J.A.; RUIZ, J.L.M. & PULIDO, S.H. (2008) Chemical-biological analysis to determine the trophic status of Tres Palos Lagoon, Guerrero, Mexico. *Hidrobiologica*, 18 (1): 21-30.
- GARBAN, B.; OLLIVON, D.; POULIN, M.; GAULTIER, V. & CHESTERIKOFF, A. (1995) Exchanges at the Sediment-Water Interface in the River Seine, Downstream from Paris. *Water Research*, 29 (2): 473-481.
- GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M. & KREMLING, K. (1983a) *Methods of Sea Water Analysis*. Vol. Verlag-Chemie, 419 p.
- HERRERA-SILVEIRA, J.A.; MEDINA-GOMEZ, I. & COLLI, R. (2002) Trophic status based on nutrient concentration scales and primary producers community of tropical coastal lagoons influenced by groundwater discharges. *Hydrobiol.*, 475 (1): 91-98.
- HULL, V.; PARELLA, L. & FALCUCCI, M. (2008) Modelling dissolved oxygen dynamics in coastal lagoons. *Ecol. Model.*, 211: 468-480.
- IBGE (2002) IBGE *Cidades@*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- IBGE (2008) *Cidades@*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php> p.
- KISAND, A. (2005) Distribution of sediment phosphorus fractions in hypertrophic strongly stratified Lake Verevi. *Hydrobiol.*, 547: 33-39.
- KNOPPERS, B.A.; CARMOUZE, J.P. & MOREIRA-TURCO, P.F. (1999) Nutrient dynamics, metabolism and eutrophication of lagoons along the East Fluminense Coast, State of Rio de Janeiro. In: Knoppers, B.A.; Bidone, E.D. & Abrão, J.J. Eds.), *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems of Rio de Janeiro, Brazil*. UFF/FINEP, p. 123-154.
- LENZI, M.; PALMIERI, R. & PORRELLA, S. (2003) Restoration of the eutrophic Orbetello lagoon (Tyrrhenian Sea, Italy): water quality management. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 1540-1548.
- MIRANDA, L.B.; CASTRO, B.M. & KJERFVE, B. (2002) *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. Vol. 42. EDUSP, 414 p.
- MOREIRA, P.F. & KNOPPERS, B.A. (1990) Ciclo Anual de Produção Primária e Nutrientes na Lagoa de Guarapina, RJ. *Acta Limnol. Brasil.*, III: 275-290.
- MWASHOTE, B.M. & JUMBA, I.O. (2002) Quantitative aspects of inorganic nutrient fluxes in the Gazi Bay (Kenya): implications for coastal ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 44 (11): 1194-1205.
- PEREIRA, E.R.C. (1991) Estudo Experimental da Influência do Sedimento sobre as Atividades Metabólicas na Lagoa de Saquarema - RJ. Dissertação de Mestrado, UFF, 81 p.
- PERRIN, P. (1999) Physiography and surface formations of the East Fluminense Coast, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: Knoppers, B.A.; Bidone, E.D. & Abrão, J.J. Eds.), *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems of Rio de Janeiro, Brazil*. UFF/FINEP, p. 11-23.
- SFRISO, A.; MARCOMINI, A. & ORIO, A.A. (1992) Macroalgae, Nutrient Cycles, and pollutants in the Lagoon of Venice. *Estuaries*, 15 (4): 517-528.
- Souza, N.M. & Wasserman, J.C. (1997) The fate of anionic surfactants in a tropical choked lagoon in SE Brazil. *Ciência e Cultura. Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science*, 49 (1/2): 130-135.
- STATSOFT (1999) STATISTICA for Windows [Computer program manual]. StatSoft, Inc.
- STRICKLAND, J.D.H. & PARSONS, T.R.A. (1972) *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Vol. Fisheries Research Board of Canada, 310 p.
- SUZUKI, M.S.; OVALLE, A.R.C. & PEREIRA, E.A. (1998) Effects of sand bar openings on some limnological variables in a hypertrophic tropical