

USO DO ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO PARA AVALIAR A QUALIDADE DAS ÁGUAS DO ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS (RS).

¹Baumgarten, Maria da Graca Zepka & ²Paixão, Bárbara Elen Góis da

¹Laboratório de Hidroquímica, Instituto de Oceanografia, FURG. E-mail: dqmmgzb@furg.br

²E-mail: barbara_elen11@hotmail.com

RESUMO

O uso de índices classificatórios de qualidade de águas simplifica e integra em valores inteiros as concentrações de algumas variáveis. É uma ferramenta útil para programas de gerenciamento ambiental. O presente estudo aborda a otimização do cálculo do Índice do Estado Trófico (IET) para o estuário da Lagoa dos Patos, selecionando entre as variáveis indicadas na bibliografia para esse cálculo e não homogêneas entre autores, as mais representativas para esse estuário. Para tanto, na presente otimização foram selecionadas as variáveis clorofila *a*, fósforo total, fosfato e nitrogênio total. A avaliação da eficiência dessa otimização foi feita calculando o IET com dados do estuário, considerando separadamente águas rasas (dados de 2002 da primavera) diretamente receptoras de efluentes ricos em nutrientes e águas do Canal do Rio Grande, que atravessa o estuário, com alta hidrodinâmica (dados de 2006, com amostragem sazonal em superfície e fundo). Os IET calculados evidenciaram a hipertrofia das águas rasas da enseada Saco da Mangueira nos locais próximos a lançamentos de efluentes (IET de 67 a 85). Os resultados obtidos no canal caracterizaram estas águas predominantemente como mesotróficas (IET <59). Ocorreram acréscimos da trofia no outono (IET entre 60-64), quando a água marinha penetrante no estuário represou a água contaminada com aportes antrópicos lançados nas margens. Não foi definido um padrão de variação sazonal do IET e nem entre superfície e fundo. Concluiu-se que a otimização do cálculo do IET foi satisfatória para esse estuário, se recomendando o seu uso como uma ótima ferramenta complementar de avaliação espaço-temporal da qualidade das águas, principalmente onde há aporte direto de efluentes ricos em matéria orgânica.

Palavras chaves: Índice do Estado trófico. Estuário. Eutrofização

ABSTRACT

Trophic State Index use for water quality assessment in the Patos Lagoon Estuary (RS)

Water quality indices are a useful tool for environmental management programs, given that they simplify and integrate integer values in the concentrations of some variables. This study addresses the optimization of the Trophic State Index (TSI) calculation for the Patos Lagoon Estuary, drawing on the most representative variables of those listed in the literature, which were not homogeneous among authors. For this optimization, recommended variables were: chlorophyll, total phosphorus, total nitrogen and phosphate. Efficiency assessment of optimization was done by calculating TSI using the estuary data, considering separately channel waters (2006), with high hydrodynamics, and shallow waters (2002) directly receiving nutrient-rich eutrophying effluent. In conclusion, the optimization was found as satisfactory for this estuary and the use of such index is recommended as a great complementary tool for spatiotemporal assessment of water quality. TSI showed hypertrophy of the shallow waters of Saco da Mangueira at locations near wastewater releases (TSI of 67-85). Channels were predominantly mesotrophic (TSI <59), with additions in TSI (EIT 60-64 - eutrophic) in the fall, when seawater dammed in the estuary water contaminated with anthropogenic inputs.

Keywords: Trophic State Index. Estuary. Eutrophication

INTRODUÇÃO

As águas estuarinas geralmente recebem aportes causadores de contaminação, principalmente a partir das margens. Entretanto, essas águas normalmente possuem uma alta produtividade, o que resulta em intensa atividade pesqueira industrial e artesanal.

Os aportes de matéria orgânica causam desequilíbrio no meio aquático, quando a capacidade de autodepuração da água receptora não é suficiente para atenuar equilibradamente os contaminantes introduzidos. O resultado é que a matéria orgânica se decompõe por microorganismos, que excretam na água os nutrientes inorgânicos nitrogenados e fosfatados. Esses, em excesso, propiciam a proliferação intensa de micro vegetal oportunista sob forma de florações, que podem liberar toxinas, e proporcionam a diminuição da biodiversidade com prejuízo para a biota local, caracterizando um processo de desequilíbrio da qualidade da água

(Araújo, 2005, Baumgarten, 2010). Gera-se um desequilíbrio trófico, entendendo-se como trofia a reserva de nutrientes para os produtores primários, que são a base da cadeia alimentar.

As florações oportunistas geralmente têm relativo curto ciclo de vida e, quando entram em senescência, decantam e aumentam a quantidade de matéria orgânica a ser decomposta no fundo da coluna d'água. Entretanto, a decomposição desse material pelos microorganismos heterotróficos proporciona intenso consumo do oxigênio via respiração. No ambiente aquático, se a oxigenação for insuficiente, há anoxia parcial ou total com formação de compostos reduzidos, tóxicos, como sulfetos, metano e amoníaco. Isso ocorre principalmente na coluna sedimentar, onde os gases se difundem para a coluna d'água, principalmente sob a forma de bolhas que resultam em odor desagradável ao ambiente (Esteves, 1998).

A avaliação da disponibilidade de nutrientes num ambiente aquático, associada com dados de biomassa ou pigmentos fotossintéticos (como clorofila *a*) e de oxigênio, entre outras variáveis, informa os desequilíbrios tróficos que ocorrem na água. O conceito de estado trófico é multidimensional, envolvendo aspectos de carga e transporte de nutrientes e suas concentrações, a produtividade e a quantidade e qualidade da biota local (Farage et al., 2010).

A utilização de índices numéricos de qualidade de águas simplifica e integra em valores inteiros de fácil entendimento, os resultados de uma série de parâmetros, sendo uma ferramenta bastante comum para ser utilizada para gerenciamentos da qualidade de águas, tanto para a comunidade científica, quanto política (CETESB, 2007). Possibilitam a classificação de águas naturais, facilitando o entendimento da qualidade e do estado nos quais se encontram.

Portanto, as principais vantagens do uso de índices de qualidade de água se referem ao favorecimento da comunicação, além do fornecimento do estado da água mais diretamente informativo do que aquele obtido pelas avaliações das variáveis isoladas. Outra vantagem é o fato dos índices representarem uma média de diversas variáveis em um único número sem unidade. Além disso, esses índices classificatórios fornecem subsídios para a formulação de programas de preservação e gerenciamento de ecossistemas aquáticos, baseados em estratégias que visem sustentabilidade e que garantam os usos múltiplos da água, em médio e longo prazos.

No entanto, a principal desvantagem do uso desses índices consiste na perda de informação das variáveis individuais e das interações e correlações das mesmas, principalmente com relação a variáveis que não entram nas fórmulas desse índice e que são importantes para a produtividade das águas. Por isso, apesar de fornecer uma avaliação integrada, um índice não substitui, mas complementa e simplifica uma avaliação mais detalhada da qualidade da água de um ambiente aquático, principalmente em termos de identificação dos processos geoquímicos e físico-químicos (CETESB, 2007).

O enfoque do presente estudo é um índice de qualidade trófica da água, conhecido como Índice do Estado Trófico (IET), o qual classifica o ambiente aquático em diferentes graus de trofia, no qual são

consideradas variáveis diretamente ligadas a processos influentes nos equilíbrios tróficos da água. Nesse índice, os resultados referentes às concentrações de fósforo total devem ser entendidos como uma medida do potencial eutrofizante (a causa), já que esse elemento químico atua como um importante agente favorecedor do processo (CETESB, 2007). O fósforo total se refere a todas as formas de fósforo presentes na água, sejam dissolvidas ou particuladas, orgânicas e inorgânicas. Muitas formas de fósforo particulado são potencialmente ou indiretamente eutrofizantes, porque podem freqüentemente sofrerem processos de dissolução e se transformarem em fosfato inorgânico dissolvido (ou ortofosfato) (Esteves, 1998). Essa última é a forma mais diretamente eutrofizante, pois é um importante fitonutriente que funciona, em geral, como fator limitante da produtividade primária. Em função disso, alguns autores sugerem a inclusão das concentrações de fosfato no cálculo do IET total de águas naturais. Dentre esses se destaca os estudos de Mercante & Tucci Moura (1999).

Na bibliografia sobre esse assunto, por unanimidade há a inclusão nos cálculos do IET das concentrações da transparência da água e do pigmento fotossintético clorofila, usadas como indicadores da densidade vegetal na água. Essas variáveis devem ser entendidas como uma medida da resposta do ambiente aquático aos agentes causadores do aumento das concentrações das mesmas (o efeito). Assim, a determinação do IET engloba a causa e o efeito do processo (CETESB, 2007).

Além disso, considerando que para crescerem, florescerem e proliferarem, os produtores primários precisam de nutrientes nitrogenados além dos fosfatados, e que dentre as fontes de nitrogênio para a água se destaca a decomposição da matéria orgânica natural e antrópica (Esteves, 1998). Kratzer & Brezonick (1981) incluíram no cálculo do IET o nitrogênio total (NT). Entretanto, os trabalhos posteriores de outros autores sobre esse índice não consideraram essa variável. Isso deve ser em função de que a causa da preferência por usar o fósforo nesse cálculo está ligada ao fato de que esse elemento é mais freqüentemente um fator limitante da produção vegetal do que o nitrogênio e a metodologia analítica para dosar compostos fosfatados são rotineiramente mais simples do que para analisar nitrogênio total.

As concentrações do nitrogênio total, assim como do fósforo total se referem a todas as formas desses elementos, sejam particuladas, dissolvidas, orgânicas e inorgânicas. Entretanto, dentre estas formas, algumas não são eutrofizantes, porque não são assimiladas diretamente pelos vegetais (caso das formas particuladas), ou o são menos. É o caso do nitrato e nitrito, por exemplo, que são formas inorgânicas mais oxidadas do nitrogênio e menos eutrofizantes de que o amônio (ou nitrogênio amoniacal - forma reduzida do nitrogênio inorgânico dissolvido). O amônio e o fosfato são os fitonutrientes preferencialmente assimilados pelos vegetais (Esteves, 1998). Além disso, as concentrações de amônio podem quimioindicar o aporte de matéria orgânica para a água, já que a decomposição microbiológica desse material resulta em formação de amônia/amônio. Entretanto, não há registro de fórmulas que calculem o IET somente para o amônio e nem para outras formas de compostos nitrogenados dissolvidos utilizados como fitonutrientes, como o nitrato e o nitrito.

Com relação às origens das equações já publicadas para o cálculo do IET total, essas foram estabelecidas por estudos de diferentes autores com base em fatores relacionados a taxas de sedimentação, exportação, balanço de massa, análises de regressão e correlações (as que foram significativas) entre as variáveis que são consideradas em cada equação.

As equações para cálculos do IET foram originalmente definidas por Carlson (1977) e modificadas por Toledo *et al.* (1983, apud Mercante & Tucci Moura, 1999) para adequação em águas subtropicais, destacando-se também as atualizações nas mesmas as diferenciando para ambientes lênticos (reservatórios, águas sem movimento) e lóticos (rios e similares) por Lamparelli (2004) e Leal (2006). Esses últimos autores salientaram que o estado trófico de um ambiente aquático pode ser definido com base nas cargas críticas permissíveis e excessivas de cada uma das variáveis consideradas nas equações que permitem o cálculo do IET.

Segundo Lamparelli (2004) e CETESB (2007), a partir do cálculo do IET, os ambientes podem ser classificados como: a) oligotróficos – águas não contaminadas, baixas concentrações de nutrientes e produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos das águas; b)

mesotróficas – produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis; c) eutróficos – alta produtividade em relação às condições naturais, em geral, afetados por atividades antrópicas, em que podem ocorrer alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus múltiplos usos; d) hipereutrófico – altíssima produtividade, com elevações das concentrações de nutrientes e matéria orgânica, com comprometimento acentuado nos seus usos, com florações de vegetais indesejáveis e oportunistas e possível mortalidade de peixes.

Conforme as recomendações de Mercadante & Tucci-Moura (1999), faz-se necessário que a aplicação do IET seja feita com relativa cautela, ou seja, como um indicador do potencial do estado trófico, mas devendo-se considerar complementarmente na interpretação dos resultados, aspectos como: a dinâmica espacial e temporal das variáveis físicas, químicas e biológicas do sistema aquático; os diferentes compartimentos de cada sistema, principalmente em relação ao conteúdo natural ou antrópico de nitrogênio e fósforo e, por fim, os aspectos regionais particulares de cada bacia hidrográfica. Além dessas considerações, é importante que os valores do IET total sejam interpretados conjuntamente com avaliações das concentrações de amônio e, se possível, conjuntamente com outros parâmetros básicos de avaliação de qualidade ambiental (CETESB, 2007), como exemplo, oxigênio, salinidade, biomassa vegetal (Araújo Jr, 2009).

Nesse contexto, o presente estudo se refere à otimização do cálculo do IET para o estuário da Lagoa dos Patos (RS) considerando as variáveis mais influenciáveis na qualidade trófica local, visando à aplicação dessa metodologia para avaliar os níveis tróficos desse estuário. A partir disso, a proposta é disponibilizar essa metodologia otimizada para ser usada em estudos posteriores que visem verificar as possíveis avaliações espaços-temporais dos níveis de trofia das águas de diferentes áreas desse estuário, como canais e enseadas rasas. Nessas áreas não há registros anteriores sobre avaliações do IET, embora a eutrofização nelas já tenha sido enfocada, mas com base em análises de concentrações de parâmetros químicos e biológicos (Baumgarten *et al.*, 2001 e Baumgarten, 2010).

ÁREA DE ESTUDO

A cidade do Rio Grande (cerca de 194.000 habitantes) fica na margem do estuário da Lagoa dos Patos, onde existe um complexo portuário que é um dos maiores do Brasil, além da área estar em franco desenvolvimento de atividades portuárias, navais e industriais. Esse estuário se forma no sul da referida lagoa, até a mesma desembocar no Oceano Atlântico. Ele recebe efluentes ricos em matéria orgânica de diferentes origens e constituições, como domésticos, de indústrias de alimentos e de atividades portuárias de cargas e descargas de pescados e grãos vegetais (Almeida et al., 1993). No eixo do estuário passa o Canal do Rio Grande, que é intensamente utilizado para navegação e atividades portuárias em geral. Nas suas margens existem várias enseadas rasas denominadas Sacos.

Rio Grande está delimitado por ambientes aquáticos como: ao sul a enseada rasa semi-fechada "Saco da Mangueira", receptora de uma grande carga de efluentes urbanos e industriais; ao norte está o Canal do Norte, que margeia uma parte da área portuária conhecida como "Porto Velho". À leste da cidade está a área portuária "Porto Novo". Outra importante área portuária conhecida como "Superporto" se estende desde o sul da cidade até a desembocadura do estuário no oceano. Essa área apresenta um Distrito Industrial nas suas margens, além de um pólo naval com estaleiros muito desenvolvidos. O Canal do Rio Grande atravessa o estuário e todas essas áreas portuárias.

A hidrodinâmica no estuário é mais intensa nos canais do que nas águas rasas marginais, sendo influenciada pelas interações entre os índices pluviométricos e de ventos, que alteram o nível da lagoa, definindo os regimes de enchente no estuário (entrada da água costeira) ou de vazante (escoamento da água continental) (Baumgarten et al., 2001; Fernandes et al., 2007).

MATERIAIS E MÉTODOS

1 - Otimização dos cálculos dos Índices do Estado Trófico (IET) para o estuário

Essa otimização se processou em duas etapas:

Etapa 1: foi baseada na seleção das variáveis consideradas mais adequadas à avaliação da trofia do estuário da Lagoa dos Patos e, que apresentam

na bibliografia fórmulas para o cálculo dos IET específicos para as referidas variáveis, pois estes IET parciais são necessários para o cálculo do IET total. Para tanto, a proposta da presente otimização metodológica é usar como base as fórmulas descritas por Lamparelli (2004) para ambientes lóticos, as quais também são usadas pela CETESB (2007). Essas permitem o cálculo do IET parcial referente à Clorofila (IET Cla), e do IET do fósforo total (IET PT), se assumindo que o estuário é um ambiente lótico. A decisão de seguir o trabalho de Lamparelli (*op cit*) foi porque outras fórmulas para cálculos dos IET apresentadas por outros autores para essas variáveis não distinguem ambientes lóticos de lênticos.

As fórmulas adotadas como base na presente otimização são:

$$\text{IET Cla} = 10^{*(6 - ((-0,7 - 0,6 * (\ln \text{Cla})) / \ln 2)) - 20} \text{ (equação 1)}$$

$$\text{IET PT} = 10^{*(6 - ((0,42 - 0,36 * (\ln \text{PT})) / \ln 2)) - 20} \text{ (equação 2)}$$

Onde: Ln Cla é o logaritmo neperiano da concentração da clorofila *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$);

Ln PT é o logaritmo neperiano da concentração do fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$)

* significa multiplicação

Segundo CETESB (2007) e Farage et al. (2010), nos ecossistemas onde há ressuspensão dos sedimentos de fundo, a transparência da água não é representativa do estado de trofia, porque ela pode estar relacionada à turbidez abiótica decorrente de material em suspensão e, não apenas à densidade de vegetais eutrofizantes presentes na água.

Nesse sentido, particularmente no estuário da Lagoa dos Patos, esse apresenta alta hidrodinâmica, relativa baixa transparência e altas concentrações de material em suspensão e turbidez. Além disso, o estuário tem freqüentes ressuspensão dos sedimentos pela entrada da água marinha ou por fatores meteorológicos como ventos e chuvas fortes (Baumgarten et al., 2001) ou, até mesmo pelas constantes dragagens efetuadas no estuário nas áreas de canais. Com a ressuspensão do material depositado de origem sedimentar, a perda da transparência desse estuário pode não estar associada somente à presença de vegetação ou de florações na água, e sim à

presença de partículas minerais (Niencheski & Baumgarten, 2006). Por tudo isso, se excluiu a variável transparência no cálculo do IET total para esse referido estuário, embora ela foi rotineiramente usada por Lamparelli (2004) para ambientes lóticos.

Também se constatou que Lamparelli (2004) não considerou no cálculo do IET total o fosfato dissolvido e nem formas de nitrogênio, apesar destes nutrientes serem desencadeadores de eutrofização (Esteves, 1998), como acontece em algumas áreas rasas do estuário da Lagoa dos Patos (Baumgarten, 2010). Por isso, na presente otimização do cálculo do IET total para esse estuário foi incluído o fosfato, seguindo as recomendações de a metodologia de Araújo Junior (2009) estudando açudes na Paraíba.

O cálculo do IET para o fosfato ou fósforo solúvel reativo (IET PSR) foi feito pela fórmula citada por Toledo et al. (1983, apud Mercante & Tucci Moura, 1999) (equação 3). Esses últimos autores não distinguem ambientes lóticos de lênticos, mas essa é a única fórmula publicada para o cálculo do IET dessa variável, sendo ela:

$$\text{IET PSR} = (6 - (\ln(21,67/\text{PSR})/\ln(2))) * 10 \text{ (equação 3)}$$

Onde: Ln é o logaritmo neperiano e PSR é a concentração do fosfato ($\mu\text{g L}^{-1}$). O símbolo * significa multiplicação.

Além do fosfato, na fórmula do IET total para o estuário da Lagoa dos Patos foi considerado também o nitrogênio, tendo em vista os intensos aportes de matéria orgânica nitrogenada para esse estuário (Baumgarten, 2010). Entretanto, não há na bibliografia uma fórmula para calcular o IET para amônio, nitrito ou nitrato (formas de nutrientes mais relacionados com a eutrofização das águas). Por isso, foram considerados no cálculo do IET total desse estuário, apenas os dados de nitrogênio total (ou IET NT) (fórmula de Kratzer & Brezonick (1981), embora esses autores não tenham feito distinção entre ambientes lênticos e lóticos na criação dessa fórmula a seguir apresentada:

$$\text{IET NT} = 54,45 + 14,43 (\ln \text{NT}) \text{ (equação 4)}$$

Sendo NT o nitrogênio total em $\mu\text{g L}^{-1}$ e ln o logaritmo neperiano.

Portanto, para a avaliação da trofia das águas do estuário da Lagoa dos Patos, entende-se como uma lacuna não considerar o amônio isoladamente no cálculo do IET total. Por isso nesse caso, uma compensação deve ser feita para esse estuário a partir da avaliação das concentrações de amônio simultaneamente com as avaliações dos valores do IET total.

Etapa 2: foi baseada no cálculo do IET total e na escolha da tabela mais adequada para a classificação do nível trófico do estuário. Depois do cálculo dos IET de cada variável recomendada para ser considerada para o estuário da Lagoa dos Patos, o IET total para o estuário deve ser calculado pela fórmula usada por Toledo et al. (1983); Mercadante & Tucci Moura (1999). Essa fórmula se baseia apenas a uma média ponderada dos IET das variáveis consideradas no cálculo do IET total, incluindo o fosfato. Lamparelli (2004) também usou essa fórmula, mas conforme já dito anteriormente, desconsiderando o fosfato.

Para todos esses autores acima citados, no cálculo do IET total, o IET da transparência (chamado de IET S, devido a essa variável ser obtida com um Disco de Secchi) entrou com peso 1 e as outras variáveis com peso 2 cada uma e assim, cada variável aparece com um peso, proporcional à sua importância nos desequilíbrios tróficos da água em questão. Dessa forma, a fórmula a seguir apresentada por esses autores é a soma das variáveis, sendo cada uma delas multiplicada pelo respectivo peso, dividida pela soma dos pesos.

$$\text{IET total} = \frac{1 * \text{IET S} + 2 * \text{IET Cla} + 2 * \text{IET PT}}{5}$$

Como para o estuário da Lagoa dos Patos não se recomendou o uso da transparência no cálculo do IET total e se incluiu o fosfato e o nitrogênio total, ficaram quatro variáveis (clorofila a, fósforo total, fosfato e nitrogênio total), todas com peso 2, sendo estruturada a seguinte fórmula, com o mesmo fundamento da fórmula original:

$$\text{IET total} = \frac{2 * \text{IET Cla} + 2 * \text{IET PT} + 2 * \text{IET PSR} + 2 * \text{IET NT}}{8}$$

Nesta fórmula, as variáveis têm o mesmo peso e por isso, ela pode ser simplificada, resultando na média aritmética entre os valores dos IET de cada

variável. Assim, se obtêm a fórmula final da presente otimização para o estuário da Lagoa dos Patos:

$$\text{IET total} = \frac{\text{IET Cla} + \text{IET PT} + \text{IET PSR} + \text{IET NT}}{4} \text{ (eq. 5)}$$

A partir desse cálculo, o valor do IET total deve ser comparado com uma tabela classificatória do nível de trofia do ambiente. As tabelas publicadas foram variando ao longo dos anos, dentre elas se destacando: em 1981, Kratzer & Brezonick baseados em Carlson (1977) publicaram uma tabela com cinco classes de trofia (ultraoligotrófica, oligotrófica, mesotrófica, eutrófica e hipereutrófica, com IET totais

variando de <20 a >61). Toledo et al. (1983), depois Mercante & Tucci Moura (1999) recomendaram uma tabela com apenas três classificações de IET total (oligotrófico, mesotróficode e eutrófico, onde o IET total variou de <44 a >54), também usada por Leal (2006). Lamparelli (2004) delimitou os valores do IET e criou uma tabela que contempla seis classes para ambientes lóticos (Tabela 1) Essa foi a selecionada na presente otimização para ser usada na classificação trófica das águas do estuário da Lagoa dos Patos, pois os intervalos dos valores são menores e assim distingue mais nitidamente as áreas hídras com diferenças sutis nas suas qualidades tróficas.

Tabela 1- Níveis de trofia para ambientes lóticos com base no cálculo do Índice do Estado Trófico total (IET total) (Lamparelli, 2004).

Nível Trófico	IET total
Ultraoligotrófico	≤47
Oligotrófico	47<IET≤52
Mesotrófico	52≤IET≤59
Eutrófico	59<IET≤63
Supereutrófico	63<IET≤67
Hipereutrófico	>67

2- Avaliação da eficiência da otimização do cálculo do IET total para identificar o grau de trofia do estuário da Lagoa dos Patos.

Para esta proposta avaliação, as fórmulas das variáveis selecionadas foram aplicadas em dados do Canal do Rio Grande, que atravessa o eixo do estuário e de águas rasas estuarinas com diferentes níveis de aportes antrópicos. Os dados do canal foram extraídos do programa “Monitoramento Ambiental para o Canal até Bacia de Evolução do Porto Novo e da área de descarte do material dragado”. Esse monitoramento é seqüencial no estuário e está ativo desde 2006. Entretanto, os dados utilizados no presente artigo foram somente os de 2006, divulgados apenas num relatório técnico (Niencheski et al., 2006). Conjuntamente com os resultados do canal foram usados dados da enseada Saco da Mangueira (Niencheski & Baumgarten, 2007), apesar deles se referirem apenas a uma amostragem feita na primavera de 2002.

Essa estratégia foi assim adotada, porque nas enseadas rasas do estuário não existem dados mais

atuais publicados que contemplem as variáveis necessárias para calcular o IET. Quanto aos dados de canal, foram usados os de 2006 e não os mais recentes dos monitoramentos contínuos das águas portuárias, porque estes são os dados da época mais próxima daqueles publicados para as águas rasas.

A comparação de dois ambientes hidrologicamente diferentes no estuário foi motivada pelo fato de que o cálculo dos IET somente para as águas de canal tem pouco significado para a avaliação da trofia do estuário. Isso porque os efluentes ricos em nutrientes e vindos da cidade de Rio Grande são lançados preponderantemente nas águas rasas marginais (Almeida et al., 1993), chegando muito diluídos nos canais. Além disso, a comparação dos IET nesses dois tipos de ambientes estuarinos permite avaliar a influência das diferentes hidrodinâmicas dos mesmos nas variações dos respectivos níveis tróficos, evidenciando as diferenças espaciais e as prováveis origens dos distúrbios tróficos. A avaliação dos dados do canal com amostragem sazonal e em diferentes profundidades permitiu verificar as variações do IET ao

longo do tempo e em diferentes cenários de hidrodinâmica vertical da coluna d'água.

Desta forma, as características dos dados usados para calcular os IET foram:

Águas rasas: os dados foram obtidos em 2002 em 6 locais na enseada Saco da Mangueira (Figura 1), com amostragem de água de superfície. O local M1 ficou no canal de entrada da enseada e o local M2 ficou próximo a efluentes domésticos clandestinos urbanos e de indústrias de processamento de pescados. O local M3 ficou no centro da enseada, recebendo aportes das duas margens, embora mais diluídos. O local M4 foi considerado controle por ser, dentro da enseada, o mais

distante da cidade e do Distrito Industrial. Os locais M5 e M6 ficaram na margem de áreas industriais.

Área portuária: em 2002 simultaneamente às amostragens nas águas rasas foram amostrados mais 4 locais no Canal do Rio Grande (canal portuário que atravessa o estuário), sendo que os locais 1 e 2 ficam longe das atividades antrópicas da cidade, mas recebem mais diretamente os aportes da Lagoa dos Patos. Os locais 3 e 6 ficam na área portuária da cidade, mas todos esses com profundidades bem maiores (5 ou mais metros) que as dos locais da enseada (máximo de 1 metro) (Figura 1).

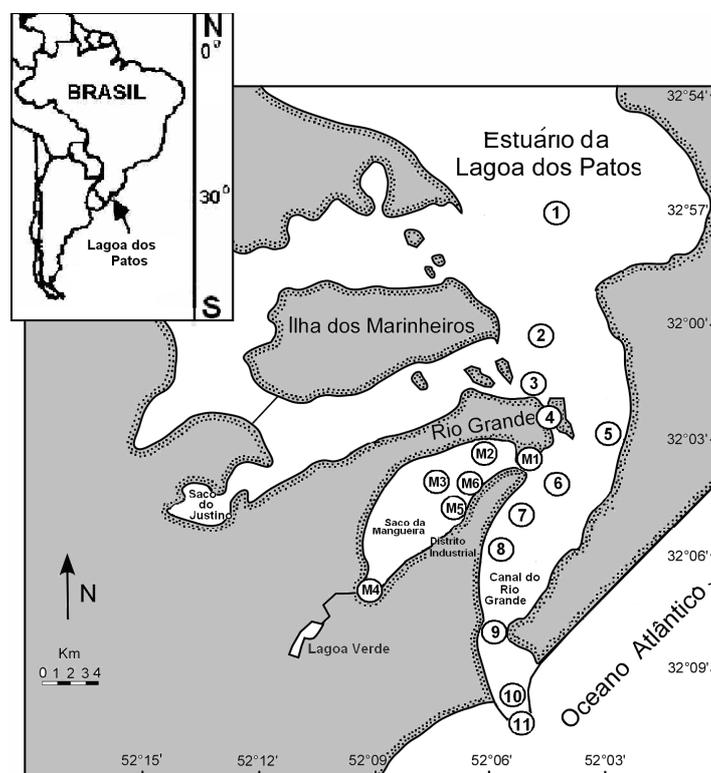


Figura 1- Sul do estuário da Lagoa dos Patos. Os locais M1 a M6 no Saco da Mangueira (SM) e os locais 1, 2, 3 e 6 no Canal do Rio Grande (CRG) foram monitorados em 2002. Os locais 1, 3, 4 até o 11 foram monitorados em 2006.

Os dados de 2006 extraídos do monitoramento das águas do eixo do Canal do Rio Grande se referem a quatro cruzeiros sazonais (verão, primavera, outono e inverno) em 10 locais de amostragem espalhados ao longo do canal (Figura 1), com coletas em superfície e fundo. Estes locais estão posicionados desde o norte do estuário, numa área controle mais distanciada do porto (local 1), seguindo pelo Porto Velho, onde fica o local 3, que é uma área portuária ao norte da cidade. O local 2, apresentado na figura 1 e monitorado em 2002, não foi contemplado nesse monitoramento de 2006.

Os locais 4, 5 e 6 ficam no Porto Novo, que é outra área portuária localizada a leste da cidade, indo até o Superporto, onde ficam os locais do monitoramento 7, 8, 9, 10 e 11, que é outra área portuária que se estende desde o Porto Novo até a desembocadura do estuário no oceano.

Parâmetros considerados e métodos analíticos

As análises de fósforo total foram feitas segundo APHA (1998), de clorofila segundo Welschmeyer (1994), de fosfato e de amônio segundo

Baumgarten *et al.* (2010). A salinidade foi medida com condutivímetro digital portátil USI.

O amônio e a salinidade, apesar de não participarem do cálculo do IET, foram também considerados no presente estudo por serem parâmetros de reforço para avaliar o nível trófico do estuário e, ainda, seus resultados usados para dar suporte nas interpretações dos IET totais.

Nessa avaliação da otimização da metodologia do cálculo do IET total para o estuário da Lagoa dos Patos foi excluído o nitrogênio total, tendo em vista que não foram publicados dados desta variável até o momento. Além disso, quando em alguns locais (mais freqüentes no canal) a concentração de clorofila foi zero, esta variável também foi excluída do cálculo do IET total de cada local em que isso aconteceu, porque neste cálculo entra o IET da clorofila, para o qual a concentração desta variável deve ser logaritimizada. Considerando que o logaritmo neperiano de zero é infinito, ficou inviável a obtenção numérica do referido índice. Assim, na fórmula do cálculo do IET total desses locais de concentração zero de clorofila, foram considerados apenas o fósforo total e o fosfato e o denominador da fórmula ficou sendo 2. Neste sentido, autores como Lamparelli (2006) e Farage *et al.* (2010) também assumiram em seus trabalhos sobre IET total no ambiente avaliado, a exclusão da fórmula final deste índice, de variáveis sem disponibilidade de dados ou que deram resultado zero

Em síntese, a avaliação da otimização da fórmula da IET para este estuário foi feita pela adaptação da equação 5 anteriormente apresentada, sendo:

$$\text{IET total} = \frac{\text{IET Cla} + \text{IET PT} + \text{IET PSR}}{3}$$

3

Classificação dos níveis de trofia (IET totais) do estuário da Lagoa dos Patos

A partir do cálculo dos IET para a clorofila *a*, para o fósforo total e para o fosfato do canal e das águas rasas, se obteve os valores dos IET totais para cada local amostrado nos diferentes períodos, os

quais foram comparados com os valores da Tabela 1 (Lamparelli, 2004), o que forneceu o grau de trofia do local em questão.

Avaliação da eficiência da inserção do fosfato na fórmula do IET total do estuário

Visando a confirmação da adequação de inserir o fosfato além do fósforo total na fórmula original do IET total para esse estuário, no presente estudo se calculou os IET totais usando os dados obtidos em 2002 para o canal e o Saco da Mangueira de duas maneiras: a) considerando o fosfato, mais os dados de clorofila e fósforo total de cada local amostrado e, b) usando os mesmos dados de clorofila e fósforo total, mas não considerando o fosfato.

Tratamento dos dados.

Os IET de cada variável (calculados como base para o uso na fórmula do IET total) e os IET totais foram submetidos a uma análise da Correlação Linear de Spearman, em cuja matriz também foram inseridos os resultados de amônio e de salinidade. Este é um teste estatístico não paramétrico para dados não normalizados. Foi gerada uma matriz para os resultados do monitoramento do canal individualmente para cada estação do ano de 2006 e outra para os dados obtidos na primavera de 2002 somente do Saco da Mangueira.

Isso permitiu avaliar o nível de importância do IET de cada variável no cálculo do IET total, já que todas as variáveis têm o mesmo peso na fórmula para esse cálculo. Também foi avaliada a influência da salinidade e do amônio nas variações do IET total. A tabela 4 apresenta esses coeficientes quando foram significativos.

RESULTADOS

Os valores dos IET totais foram graficados para cada local amostrado e por estação do ano (Figuras 2 e 3, respectivamente). Os dados brutos de cada local amostrado estão apresentados nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2- Concentrações relacionadas com os cálculos dos IET do estuário, que foram analisados no Saco da Mangueira (SM) (locais M1 a M6) e no Canal do Rio Grande (CRG) (locais de 1, 2, 3 e 6) em 2002 (dados: Niencheski & Baumgarten, 2007).

PRIMAVERA (2002)											Referências
	Locais no CRG				Locais no SM						
	1	2	3	6	M1	M2	M3	M4 (controle)	M5	M6	
Salinidade	0	0	0	0	0,5	0,3	0,8	0,1	1,0	1,1	
Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	2,6	1,2	3,9	1,8	24,6	18,7	39,5	3,8	34,7	37,4	
Nitrogênio amoniacal ($\mu\text{g L}^{-1}$)	233,1	65,1	155,3	84,0	68,3	187,5	22,7	39,5	463,5	120,7	<70**** <700**
Fosfato ($\mu\text{g L}^{-1}$)	53,0	48,0	57,0	57,9	50,5	164,3	60,1	17,4	458,2	70,7	<31***
Fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	58,9	50,2	58,6	64,5	188,2	185,0	243,4	65,1	691,9	287,9	<186**

*FEPAM, Classe C – água salobra (1996) **CONAMA n 357, Classe 2 – água salobra (2005)
 Aminot&Chaussepied (1983) *Day et al. (1986).

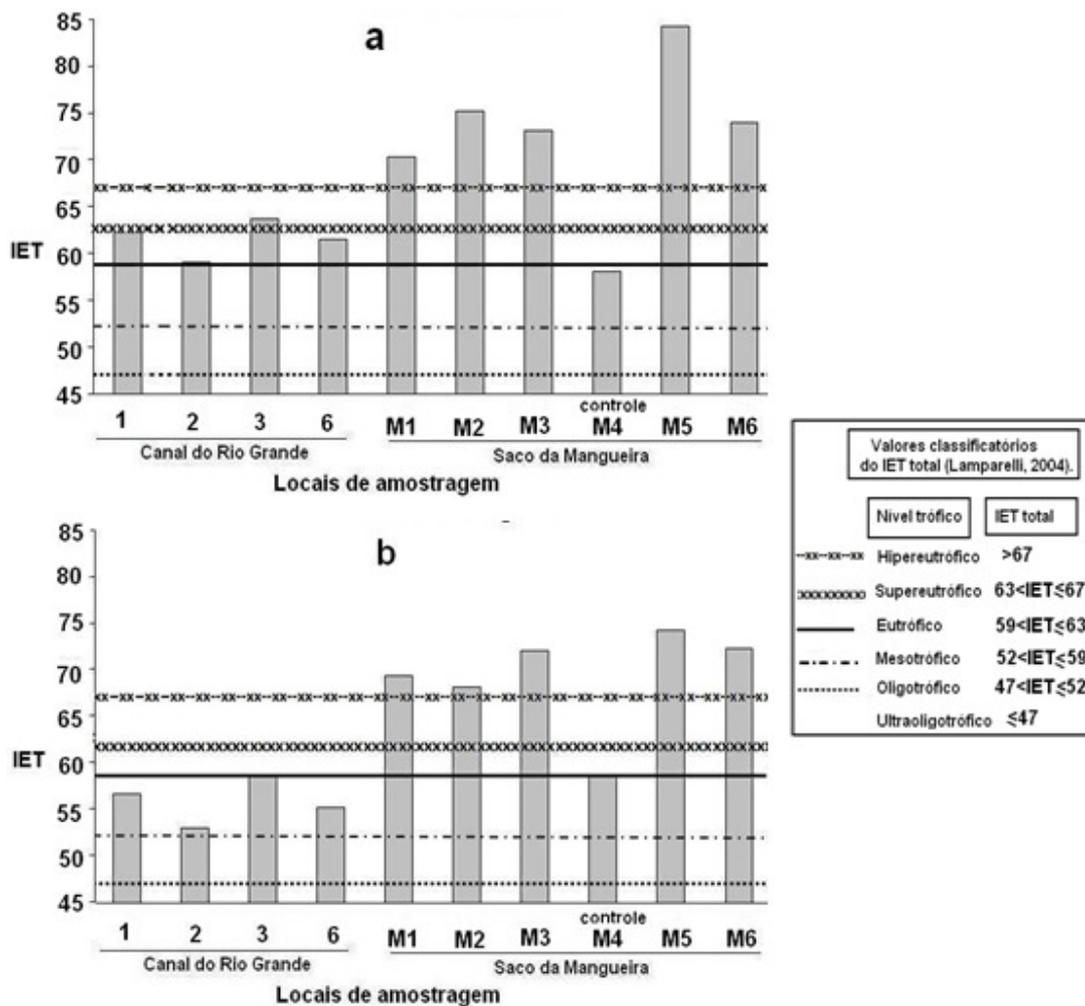


Figura 2- Índices do Estado Trófico Total (IET) do Canal do Rio Grande e do Saco da Mangueira (primavera/2002), com a classificação do nível trófico: a) IET calculado com as variáveis clorofila, fósforo total e fosfato dissolvido; b) IET calculado sem fosfato, mas com os dados de clorofila a e fósforo total.

Tabela 3- Concentrações dos parâmetros relacionados com os IET do estuário, analisados no Canal do Rio Grande (CRG) (dados de Niencheski et al., 2006).

Parâmetros	Locais\ Prof.	Verão (2006)										Referências
		1 (10m)	3 (8m)	4 (10m)	5 (8m)	6 (8m)	7 (17m)	8 (17m)	9 (17m)	10 (14m)	11 (13m)	
Salinidade	S	10,6	17,4	10,2	8,7	9,7	10,0	10,0	10,4	10,7	11,3	
	F	10,5	29,3	29,8	10,9	15,2	31,2	31,1	30,6	31,7	31,9	
Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	0	2,23	0	2,23	5,34	1,34	0	1,34	1,78	2,67	
	F	0	0,45	1,34	1,34	0	4,90	4,45	3,12	3,12	3,08	
Nitrogênio amoniacal ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	64,8	136,1	47,0	18,8	21,1	22,8	17,9	21,9	47,0	32,5	<70**** <700**
	F	48,7	23,7	36,5	49,6	87,5	24,5	26,0	21,9	34,2	26,0	
Fosfato ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	18,9	40,6	25,4	16,7	17,4	21,1	21,4	39,9	19,8	20,1	<31***
	F	25,1	28,5	16,7	22,9	26,9	21,4	20,8	22,3	23,3	34,1	
Fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	23,0	9,0	21,0	28,0	28,0	28,0	39,0	44,00	30,0	147,0	<186**
	F	30,0	37,0	23,0	19,0	16,0	36,0	43,0	6,0	40,0	34,0	
Outono (2006)												
Parâmetros	Locais\ Prof.	1 (10m)	3 (8m)	4 (10m)	5 (8m)	6 (8m)	7 (17m)	8 (17m)	9 (17m)	10 (14m)	11 (13m)	Referências
Salinidade	S	27,8	26,3	28,3	29,9	29,3	30,3	29,5	30,3	29,9	29,6	
	F	29,9	26,3	30,0	30,7	30,0	30,8	31,0	30,6	30,6	29,8	
Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	4,8	5,5	3,2	7,4	7,1	5,3	10,4	6,6	9,0	10,0	
	F	5,7	3,3	4,3	1,2	5,2	8,6	5,9	7,1	11,0	9,8	
Nitrogênio amoniacal ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	26,2	27,7	21,0	22,4	23,9	17,2	19,5	52,6	17,2	20,2	<70**** <700**
	F	16,4	67,0	27,7	9,7	9,7	18,6	17,2	17,2	11,9	14,9	
Fosfato ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	22,0	24,8	22,9	21,4	23,3	21,4	23,3	25,7	25,7	27,6	<31***
	F	29,8	24,5	22,0	24,5	25,4	23,3	23,6	29,5	28,2	23,3	
Fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	35,0	35,0	44,0	45,0	41,0	44,0	56,0	56,0	55,0	41,00	<186**
	F	41,0	41,0	41,0	39,0	38,0	45,0	48,0	67,0	73,0	38,0	
Inverno (2006)												
Parâmetros	Locais\ Prof.	1 (10m)	3 (8m)	4 (10m)	5 (8m)	6 (8m)	7 (17m)	8 (17m)	9 (14m)	10 (13m)	11 (13m)	Referências
Salinidade	S	5,8	14,3	6,8	6,4	6,3	6,9	7,2	7,8	7,8	7,6	
	F	12,0	21,1	27,6	26,9	27,7	29,3	25,3	29,3	30,0	21,9	
Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	1,8	1,9	1,0	0,1	0,9	0	0,5	0	0,8	0,5	
	F	2,0	10,9	1,9	5,3	0,8	3,5	0,8	1,0	0	0,4	
Nitrogênio amoniacal ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	80,6	273,3	35,9	102,5	233,9	0	162,9	65,7	40,3	111,3	<70**** <700**
	F	45,5	149,8	95,5	112,9	159,5	36,8	20,2	39,5	209,4	90,3	
Fosfato ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	25,7	31,0	28,8	23,9	25,4	21,7	39,7	23,3	28,8	31,9	<31***
	F	43,4	30,4	25,1	48,7	33,8	31,9	30,7	31,9	34,1	31,9	
Fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	38,0	51,0	29,0	23,0	30,0	25,0	32,0	28,0	25,0	42,0	<186**
	F	29,0	128,0	109,0	47,0	28,0	80,0	40,0	38,0	51,0	44,0	
Primavera (2006)												
Parâmetros	Locais\ Prof.	1 (14m)	3 (6m)	4 (11m)	5 (10m)	6 (10m)	7 (12m)	8 (17m)	9 (17m)	10 (13m)	11 (17m)	Referências
Salinidade	S	21,8	32,4	33,4	33,8	33,7	33,6	33,6	33,3	33,2	33,1	
	F	34,4	33,2	33,7	34,2	33,8	33,6	33,7	33,6	33,3	33,1	
Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	0,9	1,7	0	0	2,5	1,6	0	0,7	0,2	0,2	
	F	2,9	0	0	0	0	1,0	0	0	0	1	
Nitrogênio amoniacal ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	35,3	4,2	47,7	1,9	0,4	15,9	62,6	54,7	54,7	0	<70**** <700**
	F	9,7	12,0	49,3	0	10,5	1,1	0	3,5	23,7	126,9	
Fosfato ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	12,0	25,4	29,5	22,3	25,7	20,5	26,9	28,5	25,4	25,4	<31***
	F	26,3	22,9	32,6	28,2	26,7	21,0	25,1	26,9	26,0	23,6	
Fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	S	39,0	42,0	44,0	42,0	35,0	38,0	38,0	38,0	37,0	36,0	<186**
	F	40,0	45,0	53,0	38,0	34,0	38,0	38,0	43,0	41,0	42,0	

*FEPAM, Classe C – água salobra (1995)

**CONAMA n 357, Classe 2 – água salobra (2005)

***Aminot & Chaussepied (1983)

****Day et al. (1986).

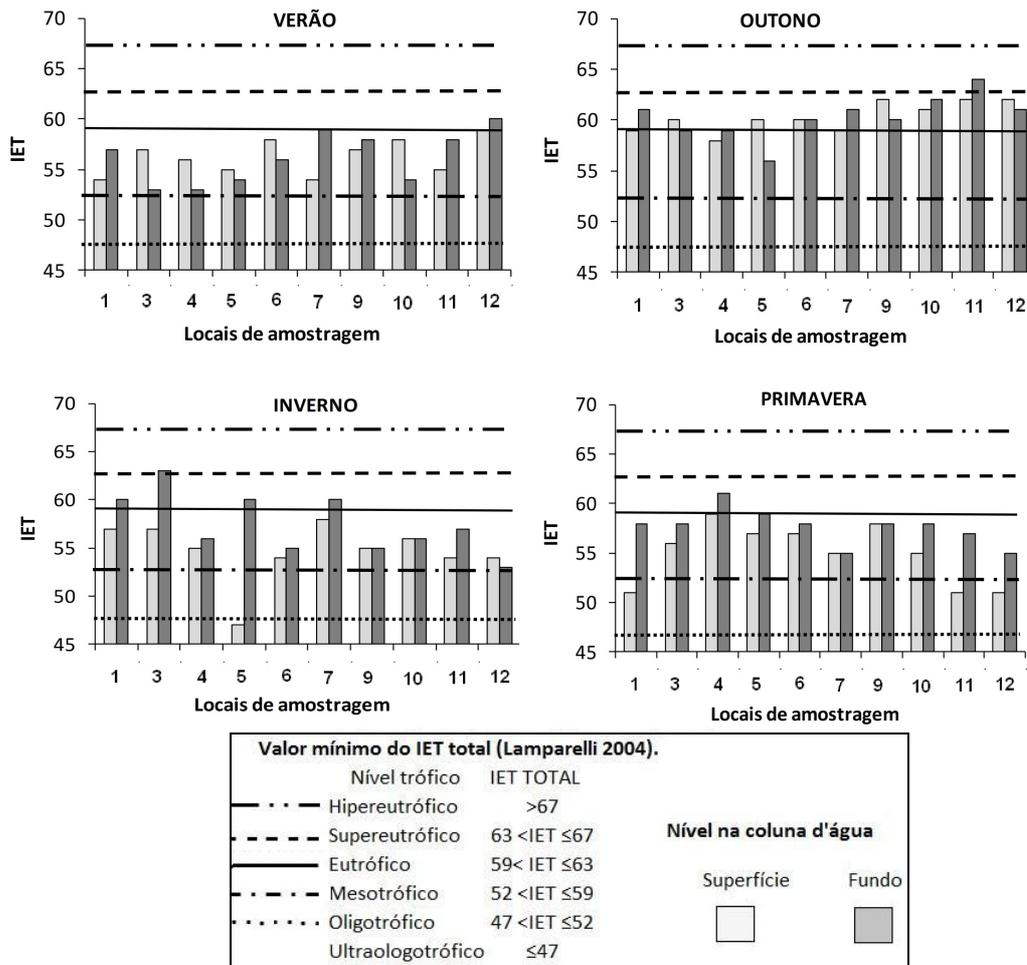


Figura 3- Variações sazonais dos Índices do Estado Trófico Total e classificação trófica das águas do eixo do Canal do Rio Grande em 2006.

Discussão

Considerações sobre o processo da otimização da fórmula para o cálculo do IET total de cada ambiente a ser avaliado

A revisão bibliográfica evidenciou a existência de mais de uma fórmula para calcular o IET total, com variáveis diferentes entre elas e, mais atualmente, também fórmulas diferenciadas entre ambientes lênticos e lóticos. Por isso, na dependência das características de um ambiente aquático, antes de se aplicar esse índice, deve ser feita uma otimização da fórmula do IET total para o ambiente aquático a ser avaliado. Na seleção das variáveis mais adequadas para representarem a qualidade trófica desse ambiente, se recomenda que sejam considerados os seguintes critérios:

- que sejam variáveis para as quais a bibliografia já apresente fórmulas específicas para os cálculos dos seus IET, pois esses índices parciais entram na fórmula final do IET total;

Se para um ambiente a ser avaliado se queira introduzir uma variável inédita para o cálculo do IET total, uma fórmula específica o cálculo do IET dessa nova variável deve ser desenvolvida experimentalmente e com base estatística. Essa foi a estratégia adotada por Lamparelli (2006), que otimizou as fórmulas originais descritas para ambientes tropicais por Carlson (1977) referentes aos IET da clorofila, da transparência e do fósforo total. Nesse sentido, também Kratzer & Brezonick (1981) criaram a fórmula do IET do nitrogênio total. Cita-se ainda Toledo et al. (1983) apud Mercadante & Tucci Moura (1999) que introduziram o IET para o fosfato na fórmula do IET total;

- que sejam variáveis que representem diretamente os desequilíbrios tróficos do ambiente em questão. O exemplo disso foi a retirada da transparência e a inserção do fosfato na otimização do cálculo do IET total do estuário da Lagoa dos Patos;
- que sejam usadas no cálculo do IET total as variáveis viáveis de serem analisadas para o

ambiente em questão, ou que apresentem dados disponíveis para serem usados. Logicamente, com a entrada ou a saída de alguma variável na fórmula final do IET total (equação 5), essa deve ser reestruturada na otimização para cada ambiente a ser investigado, respeitando o peso matemático que cada tipo de variável representa na mesma.

Assim sendo, particularmente para o estuário da Lagoa dos Patos, a fórmula final otimizada se refere às variáveis clorofila, fosfato, fósforo total e ainda o nitrogênio total, tendo todas essas o mesmo peso na fórmula. Entretanto, para esse estuário se recomenda estudos posteriores específicos que permitam a criação de uma fórmula para calcular o IET do amônio (nitrogênio amoniacal) ou o IET do nitrogênio dissolvido total (IET NDT) (soma do amônio, nitrito e nitrato), pois as análises desses fitonutrientes são rotineiras nesse estuário e os dados muito freqüentes na bibliografia local. Estes IET poderiam substituir o IET do nitrogênio total na fórmula 5 acima apresentada para esse estuário, já que este último é um parâmetro de metodologia analítica mais complexa e não usual nas amostras de água deste estuário.

Avaliação da inserção do fosfato na fórmula do IET total

Comparando os IET calculados com e sem os resultados de fosfato (Figura 2a e b) ficou claro que a inserção do fosfato destacou a contaminação ocorrente em alguns locais estudados. No canal, com a inserção do fosfato a classificação das águas passou de mesotrófica para eutrófica.

A maior diferenciação ocorreu no Saco da Mangueira, onde os locais mais contaminados (maiores IET total) identificaram onde ocorrem os maiores aportes de fosfato. A inserção deste nutriente eutrofizante na fórmula, além de ter evidenciado bem mais a classificação da maioria dos locais dessa enseada como águas hipertróficas, distinguiu melhor as diferenças espaciais e inclusive, evidenciou a exceção do local controle (M4), onde o aporte de fosfato foi fraco e, por isso, a classificação da água com ou sem fosfato foi sempre mesotrófica (IET < 59).

Portanto, quanto mais contaminado o ambiente, maior a influência da inserção do fosfato na fórmula do IET total e vice-versa.

Avaliação dos níveis de trofia do estuário com base nos valores dos IET

A avaliação do potencial de trofia das águas do estuário da Lagoa dos Patos baseada nas concentrações brutas de variáveis ligadas à produção primária (Tabelas 2 e 3), como nutrientes, clorofila e fósforo total não definiu um único padrão de estado trófico do estuário para todas as variáveis. Isso ocorreu porque a evolução das concentrações de uma variável não coincidiu espaço-temporalmente com a de outra, o que confunde a classificação final da trofia da água avaliada por variáveis individualmente.

A causa destes descompassos entre as concentrações destas variáveis está relacionada às intensas variações de fatores ambientais como o regime hidrológico/salinidade e ventos e às diferenças na composição de cada efluente lançado. Dependendo destas variações, aumenta a concentração de uma ou de outra variável, mas não necessariamente todas simultaneamente.

Portanto, a discrepância entre as variações simultâneas das concentrações dos nutrientes (causa da trofia) e da clorofila (conseqüência) reforça a recomendação do uso do IET total para a avaliação trófica das águas do estuário da Lagoa dos Patos, que considera a integração de várias variáveis.

Os níveis de trofia das águas do Canal do Rio Grande e das águas rasas do Saco da Mangueira

A comparação entre os IET total destes dois tipos de ambientes do estuário da Lagoa dos Patos evidenciou a grande diferença dos níveis de trofia entre eles (Tabelas e Figuras 2a e 3). Nas águas de canal, tanto em 2002 como em 2006, e ainda no local controle do Saco da Mangueira (local M4), onde as fontes antrópicas são indiretas ou escassas, os valores dos IET em geral, foram bem menores que 63, classificando estas águas como mesotóxicas e eutróficas.

No Saco da Mangueira foi identificado o desequilíbrio trófico, na proporção direta das proximidades das fontes de matéria orgânica e, principalmente, de fósforo para a água. Nos locais M5 e M6 do Saco da Mangueira os IET foram, respectivamente de 85 e 73 (hipereutrofia) (Figura 2a), conseqüência da posição dos mesmos nas margens de indústrias que lançam efluentes. Na área do local M5 há duas indústrias de processamento de grãos vegetais,

que liberam efluentes líquidos com grande carga de matéria orgânica. Na margem do local M6 há uma indústria de fertilizantes, que libera compostos fosfatados (Baumgarten et al., 2001). Destaque também para o local M2 (IET=75), que fica nas adjacências da cidade, na margem oposta a do local M5, onde são lançados efluentes domésticos clandestinos e de indústrias de processamento de pescados.

O desequilíbrio trófico dos locais M2 e M5 é em função de que, a matéria orgânica intensamente aportada pelos efluentes domésticos e industriais, ao se degradar enriquece simultaneamente a coluna d'água em compostos nitrogenados e fosfatados, favorecendo florações oportunistas, hipereutrofizando as águas. No local M6 os compostos fosfatados chegam à enseada diretamente ou na forma assimilável de fósforo dissolvido (fosfato) ou na forma de partículas oriundas das indústrias de fertilizantes. Essas partículas se depositam na coluna sedimentar superficial, onde se dissolvem ou decompõem, enriquecendo a água dos interstícios dos sedimentos, a qual funciona como vetor para o aporte de fosfato e amônio na direção de enriquecimento da coluna d'água (Baumgarten et al., 2001).

Os muito significativos coeficientes de correlação linear entre os IET total e o IET PSR (ou fosfato) e, ainda com as concentrações de amônio apresentados

na tabela 4 para o Saco da Mangueira, corroboram com a hipótese de que o desequilíbrio trófico (altos IET) ocorrido na enseada é primariamente propiciado pelos altos aportes destes nutrientes diretamente responsáveis pela produção biológica. Apesar dos coeficientes de correlação entre o IET total com o IET da clorofila não terem sido significativos (Tabela 4), foram também positivos, ou seja, os maiores IET ocorreram onde as concentrações de clorofila foram elevadas. Entretanto, a não significância destes coeficientes foi devido a que não houve simultaneidade entre os maiores aumentos de clorofila e os maiores IET (exemplo: maior IET ocorreu na M5 (Figura 2a) e maiores concentrações de clorofila ocorreram nos locais M3 e M6 (Tabela 2).

As altas concentrações de clorofila registradas no Saco da Mangueira foram consequência da presença de colônias de cianobactéria *Aphanothece sp.* (conhecida na região como Ranho de Marinheiro) que formam flocos mucilaginosos distribuídos não uniformemente na coluna d'água onde boiam (Figura 4b). Quando são empurrados para as margens pelos ventos ou ondas, estes flocos se amontoam (Figura 4a), resultando na sua deposição junto ao fundo, quando entram em senescência e diminuem a oxigenação da coluna sedimentar (Baumgarten, 2010).

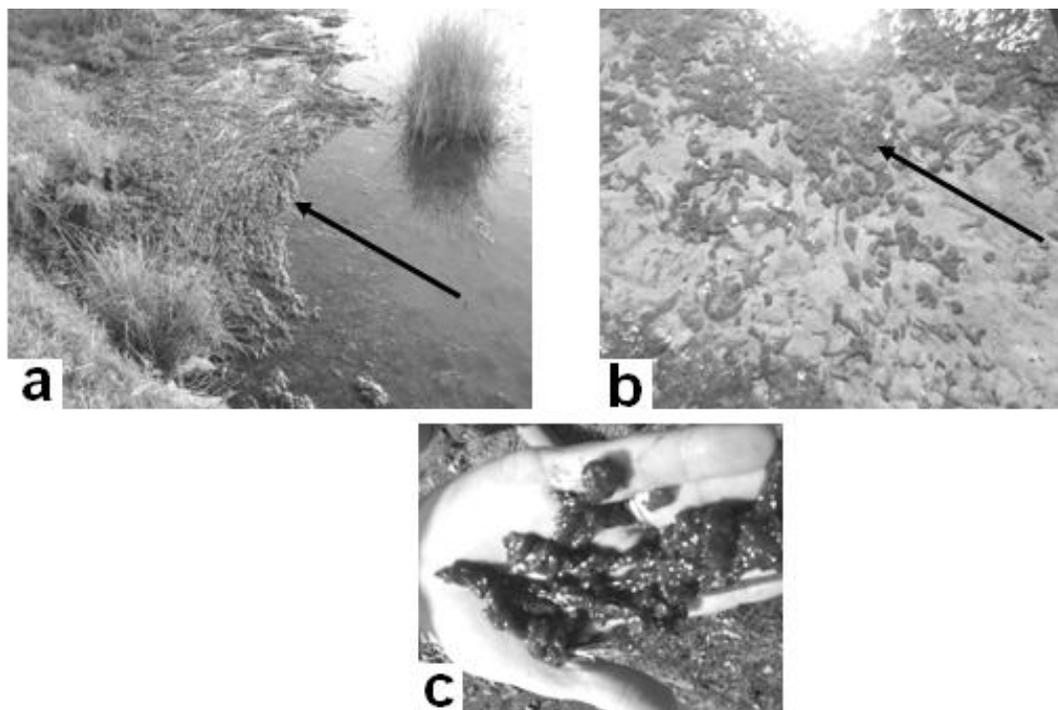


Figura 4 – Floração de *Aphanothece sp.* (Rancho de Marinheiro) no Saco da Mangueira, na margem da indústria de processamento de soja (local M6), durante a primavera: a) acúmulo em decomposição; b) colônias mucilaginosas na água; c) detalhe das colônias.

Quanto às águas do eixo do canal, as amostragens foram realizadas em diferentes cenários hidrológicos, ou seja, no outono e primavera a coluna d'água se apresentou sem estratificação salina devido ao intenso regime de enchente; no inverno e no verão a coluna d'água se apresentou estratificada, com água salina no fundo entrando e doce na superfície vazando para o oceano (Tabela 3).

Com isso, pode-se evidenciar o nível de influência da salinidade da coluna d'água nos valores dos IET do eixo do canal. Foi constatado que o efeito é indireto, e o que realmente influencia nos valores dos IET são os complexos e variados processos biogeoquímicos proporcionados pelas variações da hidrodinâmica/salinidade no estuário que afetam diretamente as concentrações de nutrientes e os níveis de clorofila, e não a salinidade em si. No canal, estas concentrações em geral, se apresentaram fracas, resultando em relativamente baixos valores dos IET e com diferenças pouco significativas entre as estações do ano e entre a superfície e o fundo da coluna d'água. As não significativas correlações entre o IET total e a salinidade, para as quatro estações do ano avaliadas reforça a hipótese apresentada com relação à influência direta da salinidade sobre os valores do IET total no canal.

No verão, na primavera e no inverno as águas do eixo do Canal do Rio Grande se apresentaram predominantemente mesotróficas, em todos locais amostrados (IET <59), o que é uma qualidade trófica normal e bem diferente do registrado no Saco da Mangueira. Como exceção, nas águas de fundo ocorreram algumas condições de eutrofia não atingindo a supereutrofia (IET >63), sendo registrados apenas um valor de IET=60 no verão; um IET=61 na primavera e quatro IET de valores entre 60 e 63 no inverno, sem um padrão espacial definido (Figura 3). Entretanto, no inverno ocorreram aumentos significativos de amônio não coincidentes com os acima citados aumentos no IET principalmente nos locais mais próximos da cidade do Rio Grande (locais 4 a 6). Portanto, esse amônio pode ter origem nos efluentes industriais e domésticos lançados nas margens da cidade. Em função do baixo tempo de residência da água no canal, o excesso de amônio e a limitação de fosfato (concentrações não se

destacaram como altas na ocasião) não desencadearam florações (ou acréscimos de clorofila), não proporcionando desequilíbrio trófico ou aumentos no IET total.

No outono a situação no canal se diferenciou um pouco das outras estações do ano, porque houve predominância de eutrofia em superfície e fundo, com destaque nos locais mais ao sul do estuário (a partir do local 8, valores de IET maiores que 59 em superfície e fundo) (Figura 3). Esses aumentos do índice de trofia foram consequência das elevações simultâneas somente nas concentrações de clorofila e de fósforo total registradas nesses locais no outono, pois o amônio e o fosfato não apresentaram aumentos significativos nas suas concentrações (Tabela 3). A causa pode ter sido devido a que, partículas bióticas e abióticas formadas no estuário podem ter ficado represadas pela entrada da água marinha, dominando toda a coluna d'água, pois o estuário estava em regime de enchente sem estratificação a partir do local 6, onde a salinidade foi maior que 30 (Tabela 3). A origem deste material particulado seria o deságue das enseadas marginais ao canal, onde as biomassas vegetais normalmente aumentam no verão (Baumgarten et al., 2001).

Portanto, a condição predominante de normalidade trófica das águas do eixo do canal, diferente do registrado no Saco da Mangueira, foi consequência da maior capacidade de autodepuração dessas águas, basicamente em termos da diluição que proporcionam à carga de nutrientes aportada a partir das margens das enseadas onde são lançados (Almeida et al., 1993). Esta diluição é favorecida pela maior hidrodinâmica e menor tempo de residência das massas de água do canal, que logicamente apresentam maior volume e profundidade do que as águas das enseadas. Estes fatores em conjunto resultam na diminuição dos valores do IET, os quais se apresentaram mais homogêneos entre os diferentes locais ao longo do canal.

Analisando os coeficientes de correlação linear que se apresentaram significativos para as águas do canal nas quatro estações do ano, se destaca o referente ao IET total e o IET clorofila, que foi muito maior que o coeficiente entre o IET total e o IET do fosfato e do amônio (Tabela 4). Portanto, isso é o

contrário do constatado para o Saco da Mangueira, reforçando a hipótese da diluição dos nutrientes dissolvidos que chegam no eixo do canal. Isso também evidenciou que as variações de trofia são primariamente dependentes dos aportes de microvegetais vindos com as correntes de outras áreas do estuário, como margem e enseadas, onde se desenvolvem e acumulam. A maior correlação ocorreu no inverno, quando os ventos e chuvas ajudaram na dispersão dos microvegetais formados nas áreas mais tróficas das enseadas e estes teriam

migrado para o canal. Farage et al. (2010) também constataram esse tipo de processo no Rio Pombas (MG), onde a correnteza proporcionou o deslocamento, o acúmulo e o represamento de densas comunidades de micro vegetais em águas receptoras de compostos nutrientes.

Portanto, os dados das águas do eixo do canal evidenciaram que, quando houver aumento da trofia, isso tem uma causa não local e dependente da exportação de contaminantes a partir das margens e das enseadas do estuário.

Tabela 4: Coeficientes de Correlação Linear de Spearman (r) significativos entre os Índices do Estado Trófico Total (IET total) e os IET calculados para a clorofila a (IET Cla), para o fósforo total (IET PT) e para o fosfato (IET PSR) e entre o IET total e o amônio.

p= nível de significância: significativo quando <0,05

n= 30 para o canal (10 locais em superfície, meio e fundo da coluna d'água)

n=6 para o Saco da Mangueira (considerados somente os locais amostrados nessa enseada).

CANAL (2006)	r _{IET total / IET Cla}	r _{IET total / IET PSR}	r _{IET total / IET PT}	r _{IET total / NH4}
Primavera	+0,901 p=0	+0,644 p=0,002		
Verão	+0,7477 p=0		+0,619 p=0,003	
Outono	+0,882 p=0	+0,525 p=0,017	+0,538 p=0,014	
Inverno	+0,925 p=0			
Saco da Mangueira (primavera, 2002)		+0,999 p=0		+0,829 p=0,042

CONCLUSÕES

Quanto à otimização e uso dos IET

A otimização da metodologia de cálculos do IET total para o estuário da Lagoa dos Patos resultou na retirada da variável transparência e na inserção do fosfato juntamente com a clorofila, o fósforo total e o nitrogênio total. Foi eficiente para diferenciar os níveis tróficos das águas rasas daquelas dos canais do estuário, menos impactadas. Da mesma forma, foi eficiente a adoção da tabela de classificação dos níveis tróficos com seis classes de trofia, ao invés do uso de outras mais simples com menos classes (muito abrangentes). Portanto, esse tipo de otimização deve ser feita para outros ambientes

costeiros que sejam submetidos à avaliação do potencial trófico com o uso de cálculos do IET total.

A aplicação desse índice constitui uma metodologia de avaliação trófica muito recomendável para águas desse estuário, sendo mais recomendável para as águas rasas e marginais que recebem aportes antrópicos possivelmente ricos em nutrientes. Como esse índice resume muito bem para essas águas a causa e o efeito num só valor classificatório, ele se mostrou vantajoso para o estuário, pois a avaliação do grau de trofia baseada individualmente para cada variável, resultou em diferentes classificações das suas águas, dependendo da variável considerada, principalmente porque este estuário é instável hidrologicamente.

Tanto nas águas rasas como nas de canais, a avaliação da trofia usando o IET deve ter uma frequência sazonal e serem amostrados locais que recebem diferentes cargas poluidoras. Além disso, nas águas de canais, a avaliação do nível de trofia usando o IET deve ser feita em superfície e fundo, e os resultados serem interpretados conjuntamente com as variações da salinidade e do regime hidrológico ocorrente. Isso é recomendável quando a coluna d'água estiver com estratificação salina ou não, pois embora a salinidade não se correlacione diretamente com os valores do IET, a presença da água marinha no estuário afeta as origens dos nutrientes, para mais ou para menos, dependendo do processo biogeoquímico desencadeado.

Considerando o importante papel eutrofizante do amônio, e como esta variável não foi considerada na fórmula do IET otimizada para o estuário da Lagoa dos Patos (não existe fórmula para o cálculo do IET dessa variável), suas concentrações devem ser avaliadas juntamente com os valores do IET total. Um trabalho complementar à este seria o desenvolvimento da fórmula do IET do amônio ou da fórmula do IET relativo ao nitrogênio total inorgânico (somatório do amônio, nitrito e nitrato), e assim, considerar estes IET na fórmula final do IET total desse estuário, em substituição ao IET do nitrogênio total, já incluído na fórmula aqui otimizada.

Quanto aos ambientes estudados

A avaliação das águas do Canal do Rio Grande com periodicidade sazonal permitiu a avaliação dos níveis de trofia em diferentes cenários de condições ambientais, ficando evidenciado o efeito apenas indireto da variável salinidade nos valores deste índice. Foi destacada a alta influência da hidrodinâmica do estuário em condicionar a ocorrência de processos geoquímicos que alteram as concentrações de nutrientes, afetando os valores do IET.

As variações espaciais dos valores do IET foram muito significativas para o estuário da Lagoa dos Patos, distinguindo nitidamente as águas do Saco da Mangueira daquelas do Canal do Rio Grande. Estes índices refletiram nessa enseada a presença pontual de fontes antrópicas de compostos fosfatados, especialmente fosfato, com diferentes intensidades entre os locais. Além disso, permitiram

uma avaliação comparativa do nível trófico de cada local.

Os maiores IET do Saco da Mangueira caracterizaram uma hipereutrofização dessa enseada, diretamente proporcional à proximidade de lançamentos de efluentes ricos em matéria orgânica. Isso passa a ser um problema ambiental, pois ela está enquadrada pela legislação ambiental como Classe B de águas salobras (FEPAM, 2005), onde efluentes somente poderão ser lançados após tratamento que permita a manutenção da qualidade original da água receptora. A preservação dessa enseada e das outras do estuário é importante, pois elas são criadouros de espécies comercializáveis. Além disso, existem propostas governamentais atuais de implantação do Programa de Revitalização da Orla do Saco da Mangueira, para o que o gerenciamento dos efluentes potencialmente poluidores deve ser efetivado.

Nessa enseada se faz necessária uma complementação ao presente estudo (feito somente no regime de vazante), em termos da avaliação do seu nível de trofia em regime de enchente com a entrada da água marinha e suas consequências, já que essa pode diluir as concentrações dos nutrientes da água, represar efluentes, liberar nutrientes da coluna sedimentar, entre outros processos que afetam os valores finais do IET.

Quanto às águas de canais, essas apresentaram qualidade trófica predominantemente equilibrada, com águas mesotróficas como consequência da alta capacidade de autodepuração destas águas. Os leves e infreqüentes acréscimos do IET verificados no canal não estiveram diretamente relacionados aos aportes antrópicos, pois foram em função dos aumentos da clorofila, possivelmente reflexo da migração de microvegetais a partir das enseadas marginais para o canal. Portanto, o impacto do lançamento de efluentes nas margens do estuário não se restringe às águas rasas onde são predominantemente lançados. Isso é em função de que o regime de vazante das águas das enseadas ou a retenção dos efluentes e da produção primária dentro do estuário devido a entrada da água marinha (regime de enchente) acabam afetando a qualidade trófica das águas do eixo do canal.

Por fim, esse estudo mostrou que quando se elevam os níveis de trofia no estuário da Lagoa dos Patos são favorecidas as florações oportunistas e suas disseminações pelo estuário ou acúmulos em áreas não necessariamente de lançamento de efluentes. Isso compromete a integridade, o equilíbrio e os usos dessas águas, com maior impacto para a pesca artesanal.

São necessárias ações que inibam o lançamento de efluentes clandestinos ou não, ricos em matéria orgânica, tanto em termos industriais, como domésticos e navais nas margens do estuário, principalmente nas enseadas. Se o aumento da entrada de nutrientes nas águas do estuário não for controlado, é provável a continuidade e disseminação de florações oportunistas até um nível intolerável para a saúde pública, especialmente no Saco da Mangueira.

Quanto mais usadas forem as águas do estuário, mais necessária é a avaliação de suas qualidades, para a busca de propostas e soluções que minimizem os impactos sócio-ambientais nesses ecossistemas. Há, portanto, necessidade de implantações e incrementos reais e práticos de políticas e programas de gestão das águas desse estuário.

AGRADECIMENTOS

Aos técnicos químicos do Laboratório de Hidroquímica da FURG (Lúcia Helena Bhomer e José Vanderlen V. Miranda) pelas valiosas participações nas coletas e nas análises das amostras do monitoramento das águas portuárias. Aos colegas Dr. Carlos Francisco Andrade pelas valiosas sugestões e ao Dr. Felipe Dumont pelo apoio editorial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, MTA; Baumgarten, MGZ & Rodrigues, RM. 1993. **Identificação das possíveis fontes de contaminação das águas que margeiam a cidade do Rio Grande – RS.** Série Documentos Técnicos n 6 – Oceanografia. Ed. FURG. Rio Grande. 34 p.
- ARAÚJO, ECA. 2005. **Fatores que colaboram para a ocorrência de cianobactérias nas águas ao redor de Rio Grande (RS).** Tese de Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica. FURG. Rio Grande. 100 p.
- BAUMGARTEN, MGZ; WALLNER-KERSANACH, M & NIENCHESKI, LFH 2010. Manual de Análises em Oceanografia Química. 163p. Editora da FURG. Rio Grande.
- BAUMGARTEN, MGZ & NIENCHESKI, LFH & VEECK, L. 2001. **Nutrientes na coluna d'água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada rasa estuarina com aportes**

- de origem antrópica (RS).** Revista Atlântica.FURG. Rio Grande. v.23, n. 1, p.101-116
- BAUMGARTEN, MGZ. 2010. **A eutrofização das águas de uma enseada do estuário da Lagoa dos Patos (RS) protegida pela legislação ambiental.** Revisão de Literatura. FEPAM em Revista. Porto Alegre. V. 3, n 2, p.34-42.
- CARLSON, RE. 1977. **A trophic state index for lakes.** Limnology and Oceanography. Limnological Research Center, University of Minnesota. v. 22, n. 2, p 361-369.
- CETESB, 2007. Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: 2006. São Paulo: (Série Relatórios). Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) 2005. Resolução nº 357. 17 de março. DOU nº 53 - 30 de julho. Revoga a Resolução CONAMA nº 20 de 1986.
- ESTEVES, FA. 1998. **Fundamentos de Limnologia 2 ed.** RJ. Ed. Interciências. 602 p.
- FERNANDES, EHL; MONTEIRO, IO & MOLLER Jr., O. 2007. On the dynamics of Mangueira Bay – Patos Lagoon (Brazil). **Journal of Coastal Research.** SPECIAL ISSUE n.47–Project: Estuaries and coastal areas, basis and tools for a more sustainable development (ECOSUD). Ed.: Finkl, CW. Published by CERF. Florida, p. 97-107.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (FEPAM) 1995. Portaria SSMA nº 7. Norma Técnica 003/95. Enquadramento dos recursos aquáticos da parte sul do estuário da Lagoa dos Patos. DOU, 24 de maio.
- KRATZER, CR & BREZONICK, PLA 1981. A Carlson type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. Water Res. Bull., 17, p. 713-14.
- LAMPARELLI, MC. 2004. **Graus de Trofia em Corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento.** Tese de Doutorado- Ecologia Aplicada. Universidade de São Paulo- Instituto de Biociências. 191 p.
- LEAL, PR. 2006. **Avaliação de indicadores do estado trófico de uma lagoa costeira: Lagoa Jacuném.** Monografia- curso de Oceanografia, Universidade Federal do Espírito Santo- Departamento de Ecologia e Recursos Naturais. Vitória, Espírito Santo. 60 p.
- MERCANTE, CTJ & TUCCI-MOURA, A. 1999. **A comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais.** Acta Limnológica Brasiliensia. V. 11, n. 1, p.1-14.
- NIENCHESKI, LFH; BAUMGARTEN, MGZ & WALLNER-KERSANACH, M. 2006. Qualidade da Água. In: Programa de monitoramento da qualidade da água da região do Canal de Acesso ao Porto do Rio Grande, Bacia de evolução do Porto Novo e da área de descarte do material dragado. Asmus, Milton L. (Coord.). Documento Técnico. Convênio FURG/SUPRG.
- NIENCHESKI, LFH & BAUMGARTEN, MGZ. 2007. **Water quality in Mangueira Bay: anthropic and natural contamination.** Journal of Coastal Research: Special Issue. Project: Estuaries and coastal areas, basis and tools for more sustainable development (ECOSUD) n. 47. p. 56-62.
- TOLEDO Jr., AP; TALARICO, M; CHINEZ, SJ & AGUDO, EG. 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação e processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. p. 1-34.

BAUMGARTEN, MARIA DA GRACA ZEPKA & PAIXÃO, BÁRBARA ELEN GÓIS DA

WELSCHMEYER, NA. 1994. **Fluorimetric analysis of chlorophyll
a in the presence of chlorophyll b and phaeopigments.**

Limnology and Oceanography.V 39, n. 8, p. 1985-1992.