



Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil

(doi:10.4136/ambi-agua.78)

Ronaldo Fia¹; Antonio Teixeira de Matos²; Paulo Carteri Coradi³; Orlando Pereira-Ramirez⁴

¹Engenheiro Agrícola e Ambiental, Pós-doutorando em Engenharia Agrícola, UFV
E-mail: ronaldo.fia@ufv.br

²Engenheiro Agrícola, D.Sc. Professor do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV
E-mail: atmatos@ufv.br

³Engenheiro Agrícola, UFPEL, Doutorando em Engenharia Agrícola, UFV
E-mail: paulocoradi@yahoo.com.br

⁴Engenheiro Químico, D.Sc. Professor do Departamento de Engenharia Agrícola da UFPEL
E-mail: orlando@ufpel.edu.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a variação espaço-temporal das características tróficas dos principais cursos de água afluentes à Lagoa Mirim, no estado do Rio Grande do Sul, por meio da determinação do Índice do Estado Trófico proposto por Toledo Jr. (IET_T) e Lamparelli (IET_L), obtendo dados de qualidade das águas entre os anos de 1996 e 1998. Diante dos resultados foi verificado que os ambientes lóticos apresentaram condições de maior eutrofização quando avaliados pela metodologia de Toledo Jr, em que o IET_T variou de Eutrófico a Hipereutrófico. No entanto, pela metodologia de Lamparelli, os ambientes avaliados apresentaram variações de Mesotrófico a Hipereutrófico, para o IET_L . Pela classificação proposta por Toledo Jr. os corpos de água lênticos foram considerados Mesotróficos ($IET_T > 44$) e Hipereutróficos ($IET_T > 74$), enquanto que, pela metodologia de Lamparelli estes foram classificados como Eutróficos ($IET_L > 59$) e Hipereutróficos ($IET_L > 67$). As concentrações de fósforo encontradas em todas as amostragens foram superiores ao limite estabelecido na Resolução CONAMA nº 357 de 2005, para cursos de água em condição classe 2, provavelmente em função de despejos domésticos e industriais sem tratamento nas águas.

Palavras-chave: Eutrofização; nutrientes; fósforo; Índice de Estado Trófico.

Trophic state of water in the watershed of Lake Mirim, RS, Brazil

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the spacetime variations in the trophic characteristics of the principal water bodies feeding Lake Mirim, in the state of Rio Grande do Sul, by determination of the Trophic State Index proposed by Toledo Jr. (IET_T) and Lamparelli (IET_L), to assess water quality data between 1996 and 1998. It was verified that the lotic environments presented greater eutrophication conditions when evaluated by the Toledo Jr. methodology, in which the IET_T varied from Eutrophic to Hypereutrophic. However, the evaluated environments showed variations from Mesotrophic to Hypereutrophic for the IET_L when evaluated according to the Lamparelli methodology. From the classification proposed by Toledo Jr., lentic water bodies were considered Mesotrophic (IET_T

> 44) and Hypereutrophic ($IET_T > 74$), while the Lamparelli method classified them as Eutrophic ($IET_L > 59$) and Hypereutrophic ($IET_L > 67$). Concentrations of phosphorus encountered in all water samples were greater than the limits established by the CONAMA Resolution n. 357, 2005, for class 2 water bodies, probably due to the discharge of untreated domestic and industrial wastes into the waters.

Keywords: Eutrophication; nutrients; phosphorus; Trophic State Index.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico e o aumento de atividades potencialmente impactantes tornaram crescente a preocupação em relação à qualidade das águas. O lançamento de matéria orgânica, substâncias tóxicas e nutrientes, via efluentes domésticos e industriais ou resultantes do manejo inadequado das lavouras e do solo, pode afetar a qualidade do ambiente para os organismos aquáticos ou mesmo a saúde humana, por meio da ingestão de águas contaminadas.

O crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas, causado pelo lançamento de grandes quantidades de nutrientes nos corpos de água, em especial nitrogênio e fósforo, é denominado eutrofização. Esse excesso de nutrientes, associado às boas condições de luminosidade, favorece o crescimento das algas e outras plantas aquáticas. Segundo Mota (2006), a eutrofização pode levar à alteração no sabor, no odor, na turbidez e na cor da água; à redução do oxigênio dissolvido que provoca mortandade de peixes e outras espécies aquáticas, além de redução na balneabilidade da água.

O conceito de estado trófico é multidimensional, envolve aspectos de carga e transporte de nutrientes; concentração de nutrientes; produtividade, quantidade e qualidade da biota e a morfometria do lago (Duarte et al., 1998). Essa constatação leva a se estabelecer índices multiparamétricos, o que limita sua utilização devido ao número elevado de variáveis a serem medidas. Dessa forma, para identificação do estado trófico de um corpo hídrico, alguns índices têm sido utilizados, sendo o mais comum o de Carlson (1977), modificado por Toledo Jr. et al. (1983), utilizado na avaliação da qualidade das águas de rios e lagos de regiões de clima tropical.

Carlson (1977) definiu um índice do estado trófico usando uma transformação linear da transparência pelo disco de Secchi, que avalia a concentração de biomassa algal. Pela sua simplicidade e objetividade, esse índice é um dos mais utilizados para a classificação da qualidade da água de lagos. Além da transparência, o índice pode ser expresso em função das concentrações de fósforo Equação 1 e clorofila “a”, medidas em amostras coletadas próximo à superfície da água. Com estas três variáveis pode-se estimar, de forma independente, a biomassa algal.

$$IET_C = 14,42 \times \ln(P) + 4,15 \quad [1]$$

em que P é a concentração de fósforo total em mg L^{-1} .

O Índice de Estado Trófico de Carlson (IET_C) foi desenvolvido para regiões temperadas, onde o metabolismo dos ecossistemas aquáticos difere dos encontrados em ambientes tropicais. A fim de adaptar uma nova metodologia para condições tropicais, Toledo Jr. et al. (1983) propuseram modificações na metodologia de Carlson (Equação 2) e os autores

concluíram que as versões modificadas (IET_T) eram mais adequadas para determinação do estado trófico, quando comparadas às formas originais.

$$IET_T = 10 \times \left[6 - \frac{\ln\left(\frac{80,32}{P}\right)}{\ln 2} \right] \quad [2]$$

em que P é a concentração de fósforo total em $\mu\text{g L}^{-1}$.

Lamparelli (2004) propôs índices (IETL) diferenciados para aplicação específica em ambientes lênticos Equação (3) e em ambientes lóticos Equação (4).

$$IET_T = 10 \times \left[6 - \frac{1,77 - 0,42 \times \ln(P)}{\ln 2} \right] \quad [3]$$

$$IET_T = 10 \times \left[6 - \frac{0,42 - 0,36 \times \ln(P)}{\ln 2} \right] - 20 \quad [4]$$

em que P é a concentração de fósforo total em $\mu\text{g L}^{-1}$.

Um índice de estado trófico funciona como um registro das atividades humanas nas várias bacias hidrográficas, além de oferecer subsídios para a formulação de planos de manejo e gestão de ecossistemas aquáticos, por meio de estratégias que visem à sustentabilidade dos recursos hídricos e que garantam os usos múltiplos da água, em médio e longo prazo.

Em síntese, neste trabalho teve-se como objetivo analisar a variação espaço-temporal das características tróficas dos principais cursos de água afluentes à Lagoa Mirim, no estado do Rio Grande do Sul, por meio da determinação do Índice do Estado Trófico (IET), verificando a qualidade das águas entre os anos de 1996 e 1998.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim compreende um espaço geográfico binacional, com parte desse espaço em território brasileiro e parte em território uruguaio. Situa-se no sudeste do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas de $31^\circ 30'$ a $34^\circ 35'$ de latitude Sul e $53^\circ 31'$ a $55^\circ 15'$ de longitude Oeste, correspondendo a uma superfície de 62.250 km^2 , dos quais, 47% estão em território brasileiro e 53% em território Uruguaio (Figura 1).

Foram selecionados 11 pontos amostrais na foz de diferentes corpos de água afluentes à Lagoa Mirim. Os corpos hídricos avaliados foram: Canal São Gonçalo, Arroio Pelotas, Rio Jaguarão, Rio Piratini, Rio Santa Isabel, Arroio Chuí, Barragem do Chasqueiro, Barragem da Eclusa, Porto, Dique e Reserva do Taim (Figura 2). Nesses pontos foram coletadas duas amostras mensais, entre os anos de 1996 a 1998, para determinação das concentrações de fósforo total, seguindo-se metodologia apresentada em APHA et al. (1998). A forma de amostragem foi do tipo manual, com utilização de recipientes plásticos com volume de dois litros.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Controle de Poluição do DCTA, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, na Universidade Federal de Pelotas (UFPel), no estado do Rio Grande do Sul – Brasil.

A partir dos resultados obtidos, foram calculados os valores médios mensais de concentração de P_{total} na água e o IET modificado por Toledo Jr. et al. (1983) e o IET proposto por Lamparelli (2004). No caso do IET proposto por Lamparelli, fez-se a diferenciação entre os ambientes lânticos (Barragem do Chasqueiro, Barragem da Eclusa, Porto, Dique e Reserva do Taim) e lóticos (Canal São Gonçalo, Arroio Pelotas, Rio Jaguarão, Rio Piratini, Rio Santa Isabel, Arroio Chuí).

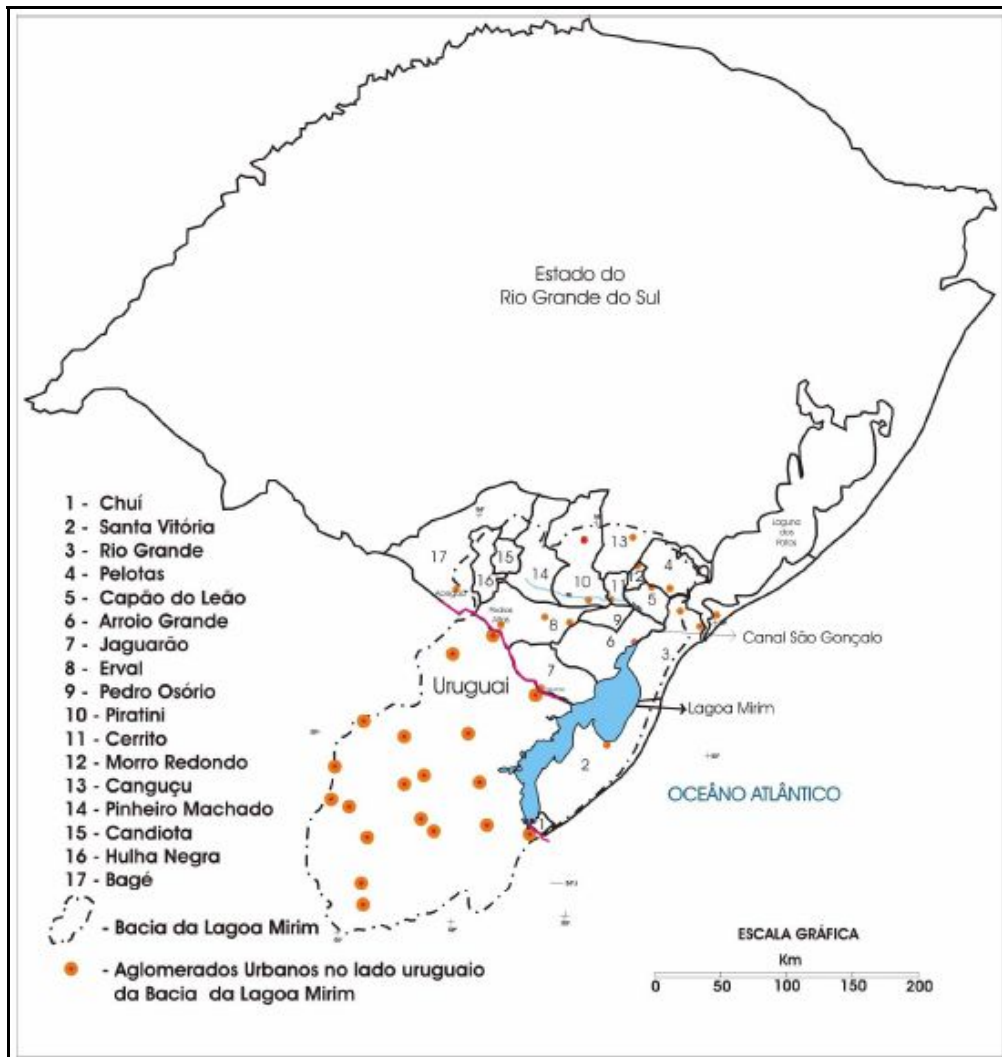


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim – RS (adaptado de Machado, 2007).

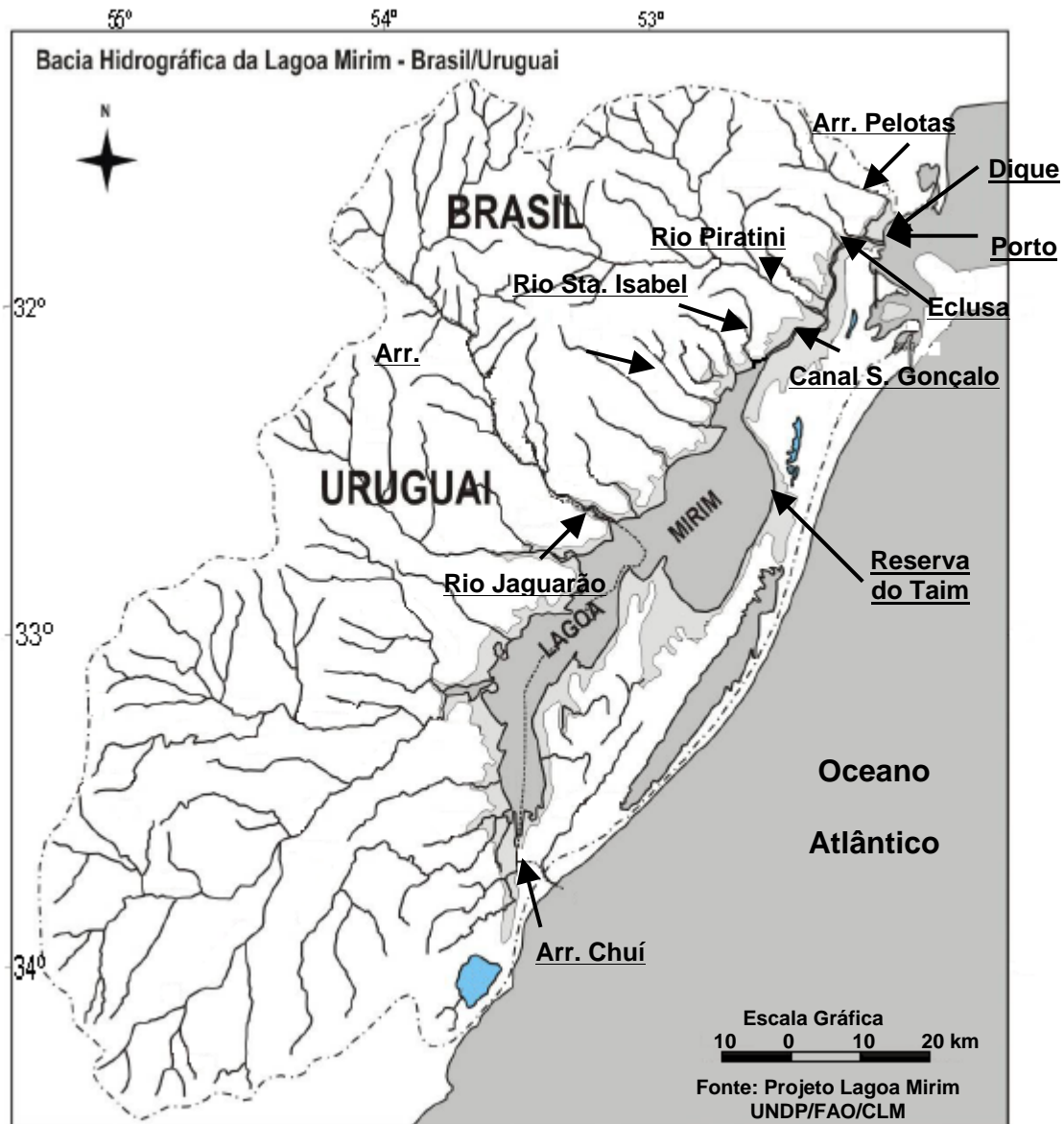


Figura 2. Localização dos principais corpos hídricos avaliados – RS (adaptado de Machado, 2007).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados máximos, mínimos, médios e o desvio padrão nas concentrações de fósforo, obtidos nas análises efetuadas nas amostras coletadas ao longo dos três anos de monitoramento, nos cursos de água que deságuam na Lagoa Mirim e que cortam a cidade de Pelotas.

Tabela 1. Resultados máximos, mínimos, médios e desvio padrão das concentrações de fósforo nos corpos de água, durante os três anos de monitoramento.

Corpo hídrico	Máximo	Mínimo	Média	Desvio-padrão
	P ($\mu\text{g L}^{-1}$)			
Eclusa	31.495	135	5.571	8.318
Chasqueiro	19.320	80	1.383	3.532
Porto	3.940	90	595	949
Dique	9.900	60	1.130	2.331
Taim	6.020	80	816	1.496
Canal São Gonçalo	67.917	41.429	57.463	6.235
Arroio Pelotas	28.078	153	3.711	8.126
Rio Jaguarão	12.320	80	1.232	2.496
Rio Piratini	28.500	65	1.650	5.128
Rio Santa Isabel	17.540	60	1.299	3.184
Arroio Chuí	12.530	110	1.666	3.185

As concentrações de fósforo nas amostras estão elevadas, o que caracteriza esses cursos de água como hipereutróficos. Segundo a Resolução CONAMA nº 357 de 2005, para que um curso de água esteja na condição classe 2 são necessários, entre outras avaliações, que as concentrações de fósforo total sejam inferiores a $30 \mu\text{g L}^{-1}$ em ambientes lênticos e inferiores a $50 \mu\text{g L}^{-1}$ em ambientes intermediários e tributários de ambientes lênticos (Brasil, 2005). Nota-se que em todas as amostragens as concentrações mínimas observadas foram superiores aos valores estabelecidos pela referida resolução. Devem-se destacar ainda as maiores concentrações de fósforo encontradas no Canal São Gonçalo, na Barragem da Eclusa, inserida no referido canal, e no Arroio Pelotas que recebe parte da poluição da cidade de Pelotas. Nas Figuras 3 e 4 estão apresentados, respectivamente, os Índices de Estado Trófico modificado por Toledo (IET_T) e o sugerido por Lamparelli (IET_L), para os corpos hídricos com características lênticas.

Pela classificação proposta por Toledo Jr. (1990) os corpos de água lênticos foram considerados Mesotróficos ($\text{IET}_T > 44$) e Hipereutróficos ($\text{IET}_T > 74$), enquanto que, pela metodologia de Lamparelli, eles foram classificados como Eutróficos ($\text{IET}_L > 59$) e Hipereutróficos ($\text{IET}_L > 67$).

Nas Figuras 5 e 6 estão apresentados, respectivamente, os Índices de Estado Trófico modificado por Toledo (IET_T) e o sugerido por Lamparelli (IET_L), para os corpos hídricos com características lóticas.

Os ambientes lóticos apresentaram condições de maior eutrofização quando avaliados pela metodologia de Toledo Jr, em que o IET_T variou de Eutrófico a Hipereutrófico. No entanto, pela metodologia de Lamparelli, os ambientes avaliados apresentaram variações de Mesotrófico a Hipereutrófico, para o IET_L .

Assim, verifica-se que o IET_L foi mais conservador que o IET_T para ambientes lênticos, sendo observado o contrário para ambientes lóticos. Para os ambientes lóticos, o IET_L apresentou maior sensibilidade às mudanças, aumentando, dessa forma, a amplitude das classificações tróficas. Já para os ambientes lênticos, essa maior sensibilidade e, conseqüentemente, maior amplitude de classes tróficas, foi verificado para o IET_T . Fato semelhante foi observado por Lima (2007) ao avaliar o estado de trofia do Açúde Acarape no Ceará. Garcia et al. (2007), ao contrário, constataram maior sensibilidade para o IET_L quando comparado ao IET_T na avaliação do estado trófico do Reservatório de Ilha Solteira.

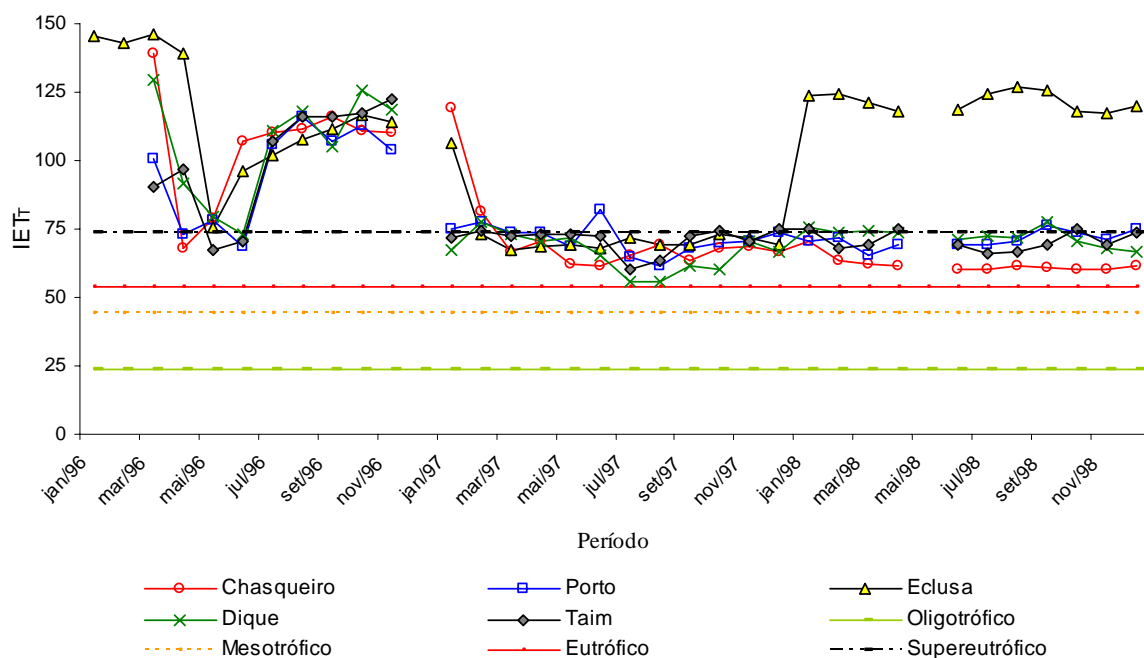


Figura 3. Valores de IET_T obtidos na avaliação de alguns corpos de água lânticos da bacia da Lagoa Mirim.

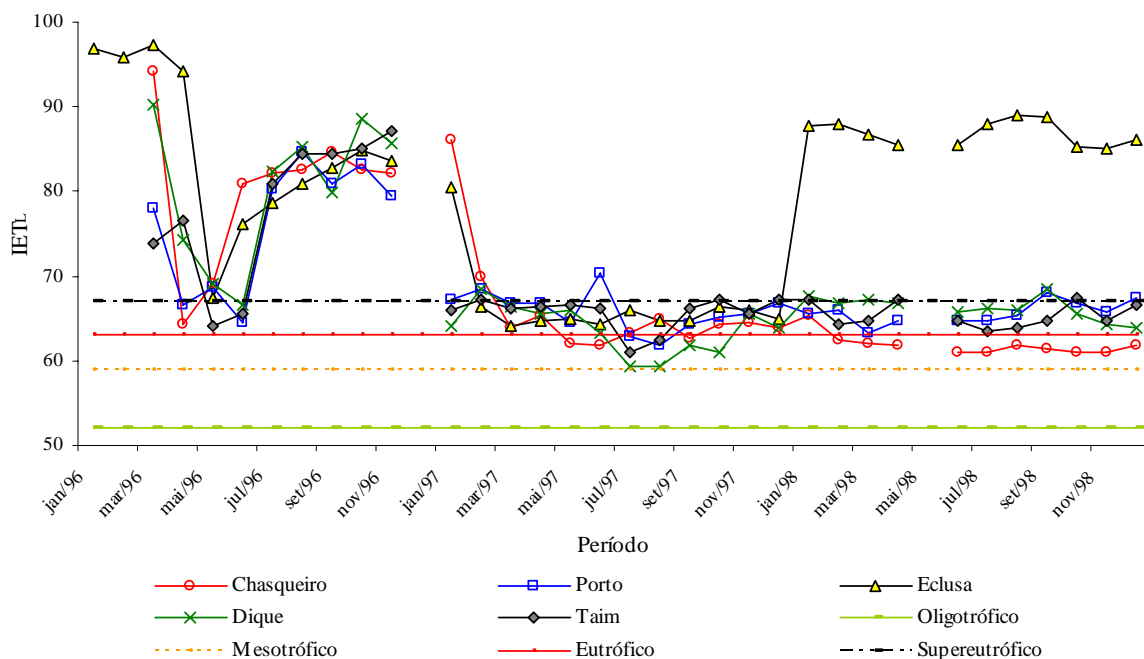


Figura 4. Valores de IET_L obtidos na avaliação de alguns corpos de água lânticos da bacia da Lagoa Mirim.

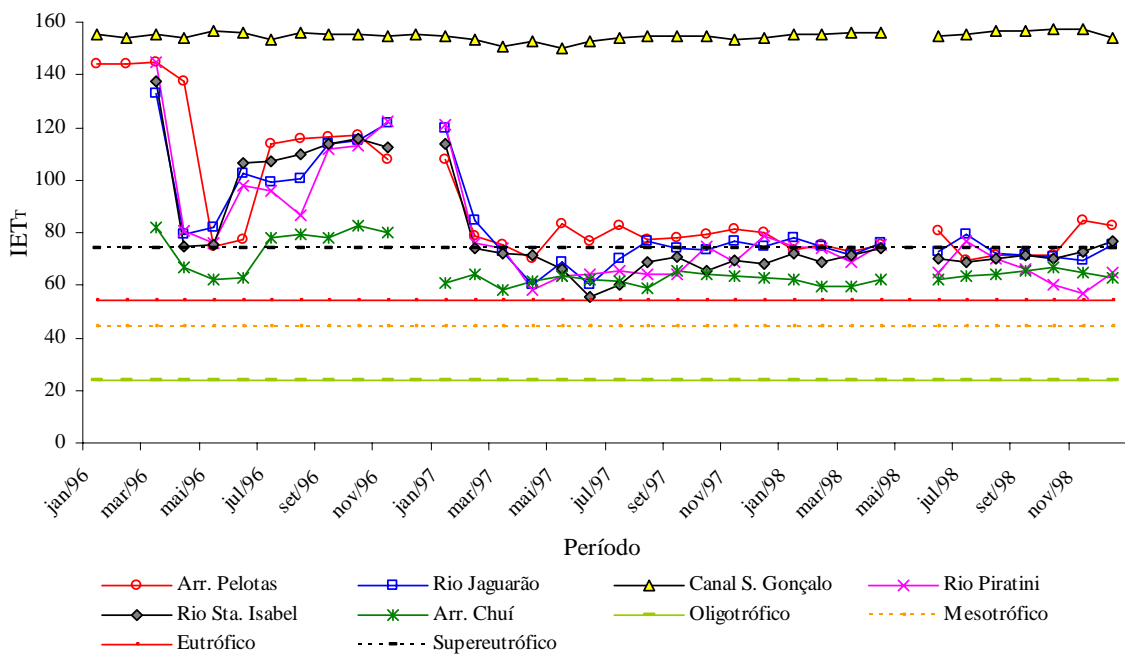


Figura 5. Valores de IET_T obtidos na avaliação de alguns corpos de água lóticos da bacia da Lagoa Mirim.

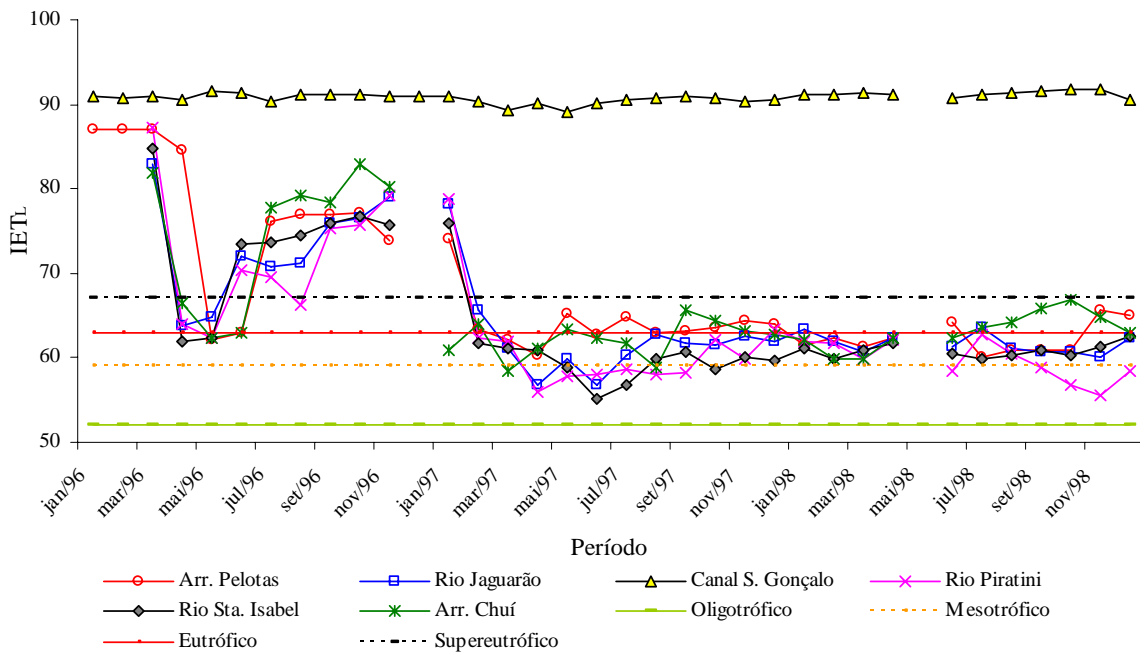


Figura 6. Valores de IET_L obtidos na avaliação de alguns corpos de água lóticos da bacia da Lagoa Mirim.

Independente do IET utilizado é possível verificar que, após um período de elevada variabilidade do IET, durante praticamente todo o ano de 1996, houve tendência de estabilização nos valores nos anos de 1997 e 1998. Exceto para a Eclusa, em que se observa aumento nos valores de IET no ano de 1998. Verifica-se, também, a elevada concentração de fósforo e consequentemente elevação do IET no Canal São Gonçalo, comparado aos demais

cursos de água. Não foi possível verificar influência das estações do ano em relação aos índices calculados.

Os resultados obtidos permitem dizer que o comportamento da variável avaliada é instável. Há períodos em que o estado trófico indica melhoria na qualidade da água e há períodos em que os valores alcançados tornam-se críticos, principalmente para o Canal São Gonçalo e para Eclusa, indicando deterioração na qualidade das águas.

Esse fato se deve às características do entorno dos cursos de águas. Alguns corpos hídricos cortam regiões de intensa atividade agrícola, como, por exemplo, o Canal São Gonçalo, que apresenta lavouras de arroz irrigado nas suas duas margens, sendo um significativo recurso hídrico utilizado pelos orizicultores da região de Pelotas, que o utilizam para captação de água com fins à irrigação de suas lavouras. Como em muitos cursos de água, neste também há devolução da água utilizada nas lavouras de arroz (Grützmacher et al., 2008), o qual poderá estar recebendo adubos químicos e orgânicos fosfatados. Esse tipo de atividade acaba por estabelecer uma contribuição difusa ao longo deles. Isso pode explicar a variabilidade encontrada no IET durante o período de observação. Além disso, o Canal São Gonçalo recebe parte dos efluentes da cidade de Pelotas, visto que a cidade possui rede coletora de esgoto que atende a, apenas, 67% da população, incluindo as indústrias, sendo tratado apenas 40% de todo o esgoto coletado (Silva, 2007).

Os corpos de água recebem, sem tratamento algum, os esgotos urbanos das cidades e efluentes industriais que carregam material orgânico ricos em nutrientes e que superam em muito a capacidade depurativa destes. Essas fontes pontuais de poluição conduzem a uma queda na qualidade das águas e a um intenso processo de eutrofização, como observado em alguns ambientes aquáticos avaliados.

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que:

- As concentrações de fósforo encontradas em todas as amostragens foram superiores ao limite estabelecido na Resolução CONAMA nº 357 de 2005, para cursos de água em condição classe 2;
- A utilização do IET constitui metodologia de avaliação da qualidade de corpos de água bastante prática, facilitando a interpretação e divulgação dos resultados obtidos e, quando aplicado a corpos aquáticos de uma mesma região, permite a rápida avaliação comparativa do estado trófico dos mesmos;
- O Índice de Estado Trófico modificado por Toledo Jr. mostrou-se mais conservador para ambientes lóticos, quando comparado ao índice proposto por Lamparelli, e menos conservador para ambientes lênticos;
- Não foi possível diferenciar tendências de variação nos IET's em função das estações do ano.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION- WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1998.

FIA, R.; MATOS, A. T.; CORADI, P. C.; PEREIRA-RAMIREZ, O. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 4, n. 1, p. 132-141, 2009. (doi:10.4136/ambi-agua.78)

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2009.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, v. 22, n. 2, p. 261-269, 1977.

DUARTE, M. A. C.; CEBALLOS, O.; SUSANA, B.; ANNEMARIE, K.; MELO, H. N. M.; ARAÚJO, J. A. H. Índice do estado trófico de Carlson (IET) aplicado em corpos aquáticos lênticos do nordeste do Brasil. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 26., Lima, 1998. **Resumes...** Lima: Asociación Peruana de IngenierÍA Sanitaria y Ambiental - AIPS; AIDIS, 1998. p.1-5.

GARCIA, C. Z.; GARCIA, D. C. O.; LEITE, M. A. Comparação entre dois índices de estado trófico para o reservatório de Ilha Solteira. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., Caxambu, 2007. **Anais...** Caxambu, 2007. CD-ROM.

GRÜTZMACHER, D. D.; GRÜTZMACHER, A. D.; AGOSTINETTO, D.; LOECK, A. E.; ROMAN, R.; PEIXOTO, S. C.; ZANELLA, R. Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 6, p. 632–637, 2008.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 238f. 2004. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LIMA, F. F. **Estado trófico do Açude Acarape do Meio com prognósticos usando modelagem matemática**. 94f. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

MACHADO, G. Demanda e disponibilidade hídrica no sistema Lagoa Mirim - São Gonçalo – Rio Grande do Sul. *Revista Discente Expressões Geográficas*, n. 3, p. 61-82, 2007.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 4. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2006. 388p.

SILVA, L. C. **Plano de gestão ambiental e social**. Programa de desenvolvimento municipal integrado, 2007. Disponível em: <www.bage.rs.gov.br/pdmi/plano_ambiental_e_social_do_pdmi.pdf>. Acesso em: 13 novembro de 2008.

TOLEDO Jr., A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12., Camboriú, 1983. **Anais...** Camboriú, 1983. p. 1-34.

TOLEDO Jr., A. P. **Informe preliminar sobre os estudos para obtenção de um índice para avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais**. São Paulo: CETESB, 1990. 12p. (Relatório Interno CETESB).