

9 O Sistema Hidrológico do Taim

DAVID DA MOTTA MARQUES*¹, LÚCIA RIBEIRO RODRIGUES¹, CARLOS RUBERTO FRAGOSO JR.², LUCIANE CROSSETTI¹, LUCIANA DE SOUZA CARDOSO¹, WALTER COLLISCHONN¹, RUTINEIA TASSI³, NG HAIG THEY¹, MARLISE BEMVENUTI⁴, ALEXANDRE GARCIA⁴, JOÃO PAES VIEIRA⁴, ELIETE BERTAZZO CANTERLE⁵, MARIA ANGÉLICA CARDOSO¹, VANESSA BECKER⁶, VANESSA GAZULHA¹, JUAN MARTIN BRAVO¹, RAFAEL SOUZA¹, CECÍLIA VOLKMER-RIBEIRO⁷, VERA LÚCIA CALLEGARO⁷, SANDRA ALVES-DA-SILVA⁷, VERA WERNER⁷, ZULANIRA ROSA⁷, ADOLFO VILLANUEVA¹, ALEX MORESCO⁴, MÁRIO VINÍCIUS CONDINI⁴, MARCELO BURNS⁴ & NORMA WÜRDIG¹.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9.500, Caixa Postal: 15.029, Porto Alegre/RS, CEP: 91501-970.

² Universidade Federal de Alagoas, Avenida Lourival Melo Mota, Cidade Universitária, Tabuleiro do Martins, Maceió/AL, CEP: 57072-900.

³ Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, 1000, Camobi, Santa Maria/RS, CEP: 97105-900.

⁴ Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Oceanografia, Avenida Itália, km 8, Câmpus Carreiros, Rio Grande/RS, CEP: 96203-900.

⁵ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, Praça Vinte de Setembro, 455, Centro, Pelotas/RS, CEP: 96015-360.

⁶ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Avenida Senador Salgado Filho, 3000, Câmpus Universitário, Natal/RN, CEP: 59078-970.

⁷ Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, Rua Dr. Salvador França, 1427, Bairro Jardim Botânico, Porto Alegre/RS, CEP: 90690-000.

* Autor para correspondência: dmm@iph.ufrgs.br

Resumo: O Sistema Hidrológico do Taim é um sistema límnico complexo composto de banhados e lagoas interconectadas. Esse sistema tem associado uma Unidade de Conservação Federal, a Estação Ecológica do Taim, e a cultura de arroz, a qual usa água do sistema para irrigação. A simultânea conservação do sistema com o uso da água é um desafio para a região, uma vez que ambos são dependentes do manejo da água. A gestão do sistema depende do entendimento de padrões e regimes. A água, na forma de hidroperíodo e hidrodinâmica, é a função de força dominante na formação, no estado e na evolução desse sistema hidrológico. Conhecer a assinatura hidrológica do sistema é fundamental para o entendimento da sua estrutura e do seu funcionamento. Essa assinatura influencia as comunidades biológicas e/ou espécies indicadoras. Padrões de comunidades acompanhadas no tempo permitem verificar a dinâmica oscilatória e a eventual mudança de regime em função de estressores antrópicos ou naturais, tanto na observação direta como por modelagem ecológica. O entendimento dos padrões espaciais e temporais no Sistema Hidrológico do Taim é a base para a proposta de uso e conservação simultânea.

Palavras-chave: comunidade, dinâmica, hidrologia, hidrodinâmica, indicador, interações tróficas

Abstract: The Taim Hydrological System is a complex limnetic system composed of interconnected wetlands and lakes. This system has an associated federal conservation unit, the Taim Ecological Station, and rice cultivation, which uses water from the system for irrigation. Conservation of the system concomitantly with the use of its water is a challenge, since both functions depend on water management. The system management depends on understanding patterns and regimes. The hydroperiod and hydrodynamics are the dominant driving forces in the formation, evolution and current state of this hydrological system, and influence the biological communities and indicator species. Following the community patterns over time allows tracking of the oscillatory dynamics and possible regime change due to anthropogenic or natural stressors, both as direct observation or by ecological modeling. Understanding the spatial and temporal patterns in the Taim Hydrological System is the basis for the most efficient simultaneous use and conservation.

Keywords: community, dynamics, hydrology, hydrodynamics, indicator, trophic interactions

Introdução

O Sistema Hidrológico do Taim é um sistema complexo composto de banhados e lagoas interconectadas. Esse sistema tem associado uma Unidade de Conservação Federal, a Estação Ecológica do Taim, e a cultura de arroz, que usa água do sistema para irrigação. A compatibilização da conservação do sistema com o uso do recurso água é um desafio para a região, uma vez que ambos passam pelo manejo da água. O cultivo do arroz é a atividade econômica principal e dominante da região, sendo feita em grandes propriedades e intensamente mecanizada.

A gestão desse sistema depende do entendimento do seu estado (padrões de variação e regime). A água é a função de força dominante sobre banhados em associação com a dinâmica da água gerada pelo regime de ventos em lagoas. Conhecer a assinatura hidrológica do sistema, o hidroperíodo e a hidrodinâmica é fundamental para o entendimento da sua estrutura e do seu funcionamento. Essa assinatura hidrológica (exs.: variação de nível, permanência em um determinado nível) influencia as comunidades biológicas ou espécies indicadoras, como o cisne-de-pescoço-preto e a capivara. Entender essa relação e prever sua dinâmica no tempo em associação com o uso do recurso na irrigação deve permitir estabelecer regras de uso que potencializem a conservação e a atividade econômica mais importante da região. Esses padrões acompanhados no tempo permitem verificar a dinâmica oscilatória e a eventual mudança de regime em função de estressores antrópicos ou naturais.

O entendimento dos padrões espaciais e temporais no Sistema Hidrológico do Taim é a base para uma convivência da sua conservação e o uso do recurso água. Instituições importantes nesse processo incluem a Agência da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim, a Comissão da Lagoa Mirim, o Ministério Público Federal, a Estação Ecológica do Taim e as associações, representando os usuários da água. O conhecimento e as ferramentas derivadas também podem ter uma aplicação extra no Sistema Hidrológico do Taim, considerando sistemas em uma região mais ampla, como a Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim.

Descrição do Sítio 7 – Sistema Hidrológico do Taim

O Sistema Hidrológico do Taim – SHT, Sítio 7 do *Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD*, do CNPq, está localizado entre o Oceano Atlântico e a Lagoa Mirim, sul do Estado do Rio Grande do Sul, correspondendo a partes dos municípios de Santa Vitória do Palmar e de Rio Grande, 32° 20' e 33° 00' S

e 52° 20' e 52° 45' W (Figura 1). Na área do sistema (2.254 km²), encontra-se a Estação Ecológica do Taim (Esec-Taim), situada na estreita faixa de terra entre o Oceano Atlântico e a Lagoa Mirim (alinhamento dos banhados pós-planícies marinho-eólicas). A área dessa Unidade de Conservação compreende praias oceânicas,

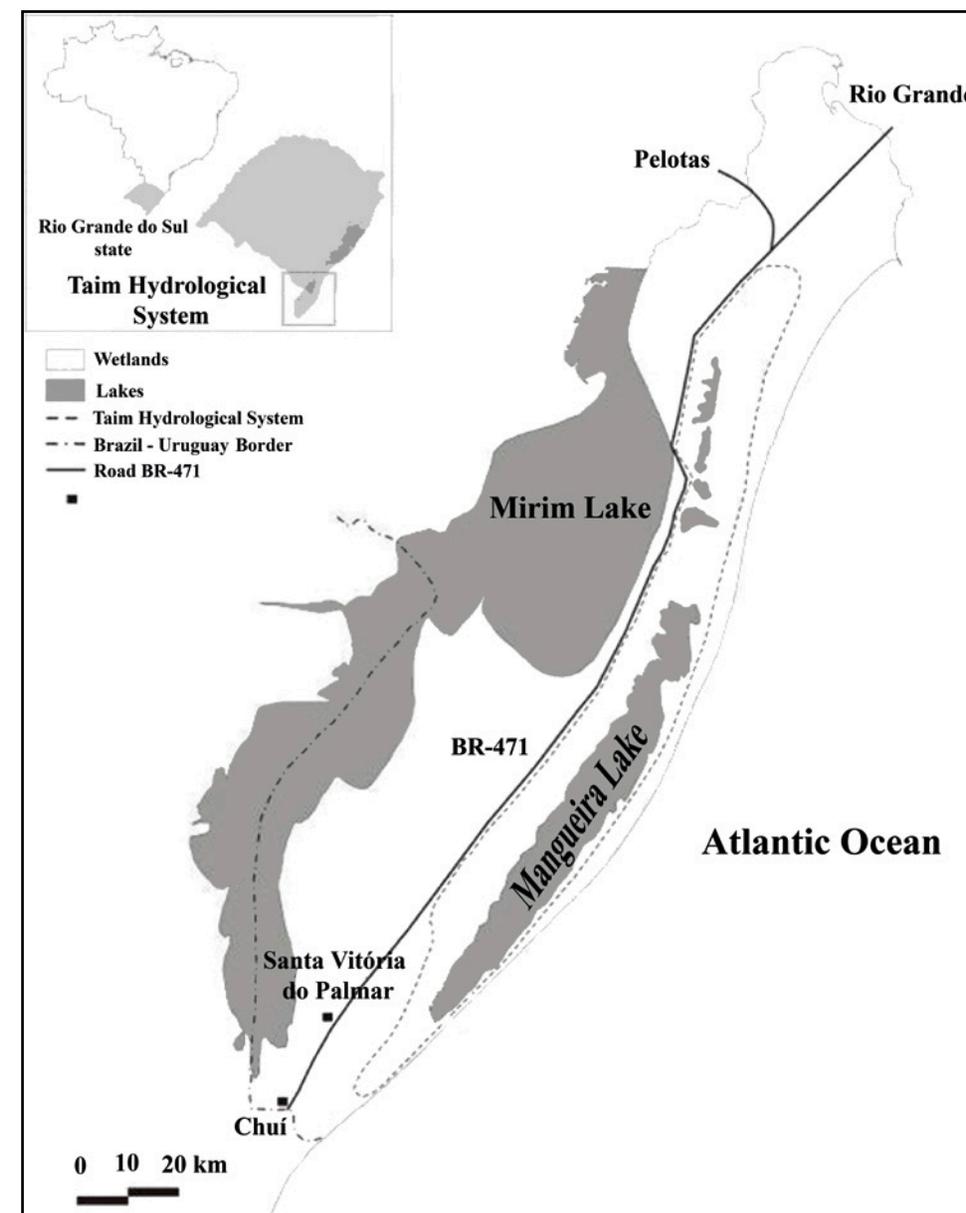


Figura 1. O Sistema Hidrológico do Taim na planície costeira sul do Estado do Rio Grande do Sul.

dunas, campos, lagoas e, principalmente, banhados e alagados em um clima subtropical, distinguindo-se de outras áreas alagáveis existentes no Brasil.

O SHT é formado por diferentes subsistemas: (a) Subsistema Norte (387 km²), composto pela Lagoa Caiubá, pela Lagoa das Flores e pelo Banhado do Maçarico, este último com afluição para a Lagoa das Flores; (b) Subsistema do Banhado (270 km²) é o Banhado propriamente dito, também composto pelas lagoas Nicola e Jacaré. O escoamento é caracterizado por baixas velocidades superficiais, devido à existência de macrófitas aquáticas, e a saída de água acontece pelas comportas no extremo norte, em direção à Lagoa Mirim; (c) Subsistema Sul (1.597 km²) é formado pela Lagoa Mangueira e por sua bacia de contribuição. A união do Subsistema Sul com o Banhado é realizada através: (a) do canal junto à BR-471, por escoamento concentrado; e (b) da interface lagoa-banhado, por escoamento difuso (Villanueva 1997).

Os fluxos nesses subsistemas são diferenciados conforme características próprias, tais como: topografia, cobertura de macrófitas aquáticas, condições climáticas e uso da água. A influência do Subsistema Norte sobre o Banhado é mínima, sob o ponto de vista hidrológico. As lagoas Flores, Nicola e Jacaré caracterizam-se por pequenas áreas de superfície correspondentes a 11,30 km², 2,58 km² e 1,45 km², respectivamente, as profundidades médias ficam em torno de 1,68 m, 1,10 m e 1,57 m, respectivamente. A Lagoa Mangueira tem uma área superficial de 820 km² e profundidade média de 2,49 m (Figura 1).

Principais resultados obtidos

A influência do clima no comportamento dos níveis de água

O clima exerce uma forte influência no comportamento do SHT, em particular na disponibilidade de água para a regulação do seu hidroperíodo. Assim, entender e identificar a variabilidade espacial e temporal da precipitação, considerando influências de índices climáticos e sua possível previsibilidade com a utilização de modelos meteorológicos, é uma das metas mais abrangentes do projeto. A previsão hidroclimática de níveis, com antecedência, e o estabelecimento de um conjunto de regras para o gerenciamento do Banhado do Taim e da retirada de água da Lagoa Mangueira, de forma a contribuir com o planejamento da utilização dos recursos hídricos no SHT, tem o clima local como uma das bases. Na região do SHT, existe uma relação entre os índices climáticos e a precipitação: as relações dos períodos secos e úmidos não estão única e diretamente ligadas aos fenômenos El Niño e La Niña, e a Oscilação Decadal do Pacífico – ODP, influencia na precipitação no Sis-

tema Hidrológico do Taim, variando proporcionalmente em relação ao sinal. Na verificação da qualidade da previsão de precipitação, os modelos apresentaram boa correlação com a precipitação observada (Cardoso 2010).

O hidroperíodo e sua quantificação

O hidroperíodo é definido como a ocorrência periódica ou regular de inundação ou condições de solo saturado, sendo, portanto, a assinatura hidrológica do Banhado, a qual depende do balanço hídrico, da topografia e das condições subsuperficiais.

As condições hidrológicas podem, portanto, modificar propriedades físicas e químicas, tais como disponibilidade de nutrientes, grau de anóxia do substrato, salinidade do solo, propriedades do sedimento e pH. Portanto, quando condições hidrológicas em banhados mudam, mesmo que ligeiramente, a biota pode responder com mudanças acentuadas, tanto na riqueza de espécies como na produtividade do ecossistema. O Banhado do Taim possui a maioria da sua área coberta por macrófitas emergentes e flutuantes, o que pressupõe uma quantidade enorme de biomassa, funcionando, então, como um gerador de matéria orgânica.

Para que essas características sejam mantidas, é necessário identificar um hidroperíodo específico ou uma série de hidroperíodos (muitas vezes mais efetivo ou desejável), utilizáveis no gerenciamento do ecossistema. A definição do hidroperíodo, dos ciclos e do consumo de água é a base de qualquer estudo que vise fornecer elementos para o gerenciamento em longo prazo desse tipo de ecossistema.

O modelo hidrológico-hidrodinâmico

Embora a definição seja facilmente entendida, a sua quantificação é um processo complexo em ecossistemas sem história de dados. Para essa quantificação, foi utilizada uma série hidrológica com 42 anos de dados tratados mensalmente, a partir de dados de campo e de modelagem hidrológica-hidrodinâmica, usando um modelo hidrológico-hidrodinâmico de células, pseudobidimensional, previamente calibrado e validado para o sistema hidrológico do Banhado do Taim (Villanueva 1997). A validação posterior do modelo (Tassi 2008) permitiu avaliar a qualidade da informação e o preenchimento de algumas falhas nos registros dos linígrafos e régua. No processo de validação do modelo, foram utilizadas as séries de evaporação e precipitação médias, a água captada para irrigação de arroz e as cotas do nível da água da Lagoa Mirim, que funciona como condicionante de jusante.

Essa validação mostra que o modelo forneceu um bom ajuste entre os dados observados e calculados e uma série consistente e coerente de níveis a partir de 1960 (Figura 2). Os picos de nível foram bem representados. Em geral, as reces-

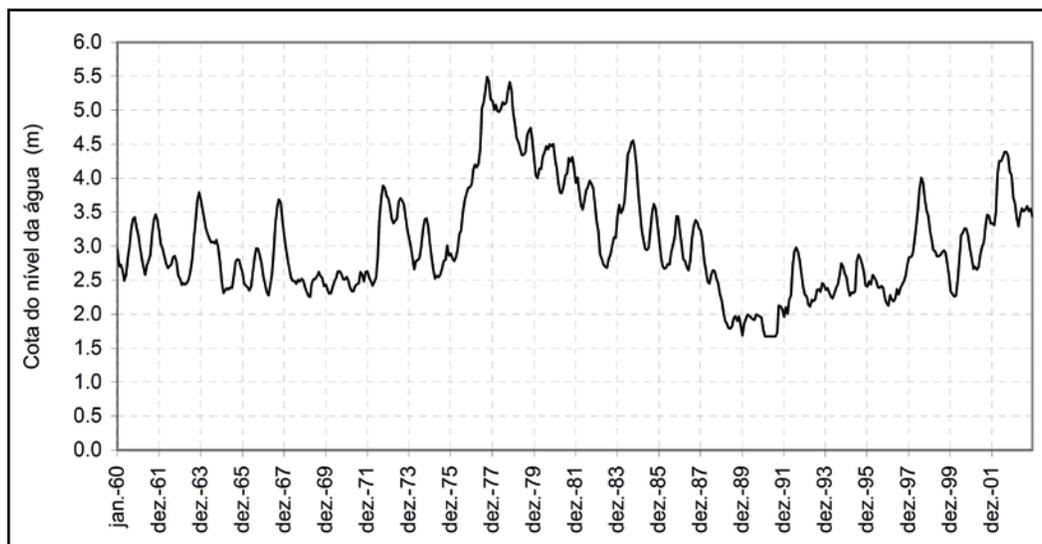


Figura 2. Série de cota de nível da água do Banhado do Taim/RS — período de janeiro/1960 a dezembro/2003.

sões foram superestimadas (ocorrendo sempre entre os meses de janeiro e abril). Alguns fatores podem ter contribuído para que o ajuste das recessões não tenha sido tão satisfatório quanto para os picos: incertezas na estimativa da quantidade de água que efetivamente é retirada para a irrigação; subestimativa da evaporação; superestimativa das vazões trocadas da Lagoa Mangueira para o Banhado; e possíveis problemas nos parâmetros, que foram calibrados para um período em que não ocorreram grandes cheias.

Hidroperíodo: níveis médios de longos períodos mensais

Para fins de análise estatística, foi tomada a série de cota de nível da água em um ponto do Banhado, correspondente à célula 25 do modelo hidrodinâmico. A estatística mais simples extraída da série foi a determinação da cota média de longo período do nível da água (NMLP), que resultou em 2,90 m, com um desvio-padrão da série de 0,85 m. A sazonalidade anual da série foi avaliada a partir da cota média mensal de longo período do nível da água, em associação com a sazonalidade da precipitação (na escala secundária).

Verifica-se que, durante o período menos chuvoso, o nível de água é igualmente menor. Na época mais chuvosa, no entanto, não há coincidência entre os valores extremos de precipitação e nível; o período de cheia ocorre aproximadamente 3 meses após o pico da precipitação. Aparentemente, o Banhado do Taim tende a esvaziar mais

rapidamente que encher. Possivelmente, o rápido esvaziamento do Banhado do Taim esteja associado a uma combinação de fatores, como: período coincidente com o final do processo de irrigação do arroz; época em que ocorrem as maiores taxas de evaporação; e pouca umidade no solo, retardando e diminuindo o escoamento superficial.

A análise interanual da série hidrológica revela a ocorrência de anos consecutivos, nos quais todos os meses mantiveram cotas do nível da água constantemente acima da média de longo período – MLP, e, da mesma forma, períodos em que elas foram inferiores à média. Existe uma alternância entre períodos consecutivamente mais úmidos e outros consecutivamente mais secos. É possível a ocorrência de uma sequência de anos em que todos os meses mantêm a cota do nível da água acima da MLP. Por outro lado, tanto nos anos anteriores quanto nos posteriores a esse período, a situação é inversa, indicando uma espécie de ciclo de alternância, com duração aproximada de 12–13 anos.

A faixa de variação da cota do nível da água médio de longo período de cada mês, conjuntamente com uma banda de incerteza, meramente ilustrativa, foi definida em função das médias e de um desvio-padrão mensal. O mês que apresenta o maior desvio-padrão é novembro, enquanto o de menor desvio é maio. Os maiores desvios-padrão estiveram associados aos meses de cheia.

Hidroperíodo: níveis por componentes harmônicas

Foi realizado um refinamento dos dados apresentados por meio da análise das componentes harmônicas (ou séries de Fourier), possibilitando excluir (adequadamente) da série todos os anos que não possuem componentes harmônicas significantes (amplitude), trabalhando apenas com a série de dados que normalmente seria esperada no Banhado (Tassi 2008). Por exemplo, anos em que ocorre inversão no padrão sazonal são eliminados, bem como aqueles em que a amplitude anual não atende à condição de variabilidade normal esperada.

Os anos de 1962, 1964, 1968, 1973, 1982, 1988, 1989, 1990, 1996 e 1999 não possuem componentes harmônicas significantes. Os anos mencionados correspondem àqueles em que as flutuações no nível da água não mostraram um pico pronunciado ou ocorreram fora da época esperada. Utilizando os anos não eliminados, foi determinado o valor médio de longo período das cotas dos níveis da água, amplitude e período das oscilações anuais, além do desvio-padrão correspondente (Figura 3).

Os valores médios foram utilizados para gerar uma nova curva média de variação da cota do nível da água do Banhado, e a banda de incerteza foi estimada a partir dos valores médios \pm o desvio-padrão. Esse procedimento mostrou-se mais conservador que a simples determinação das médias de longo período mensais na

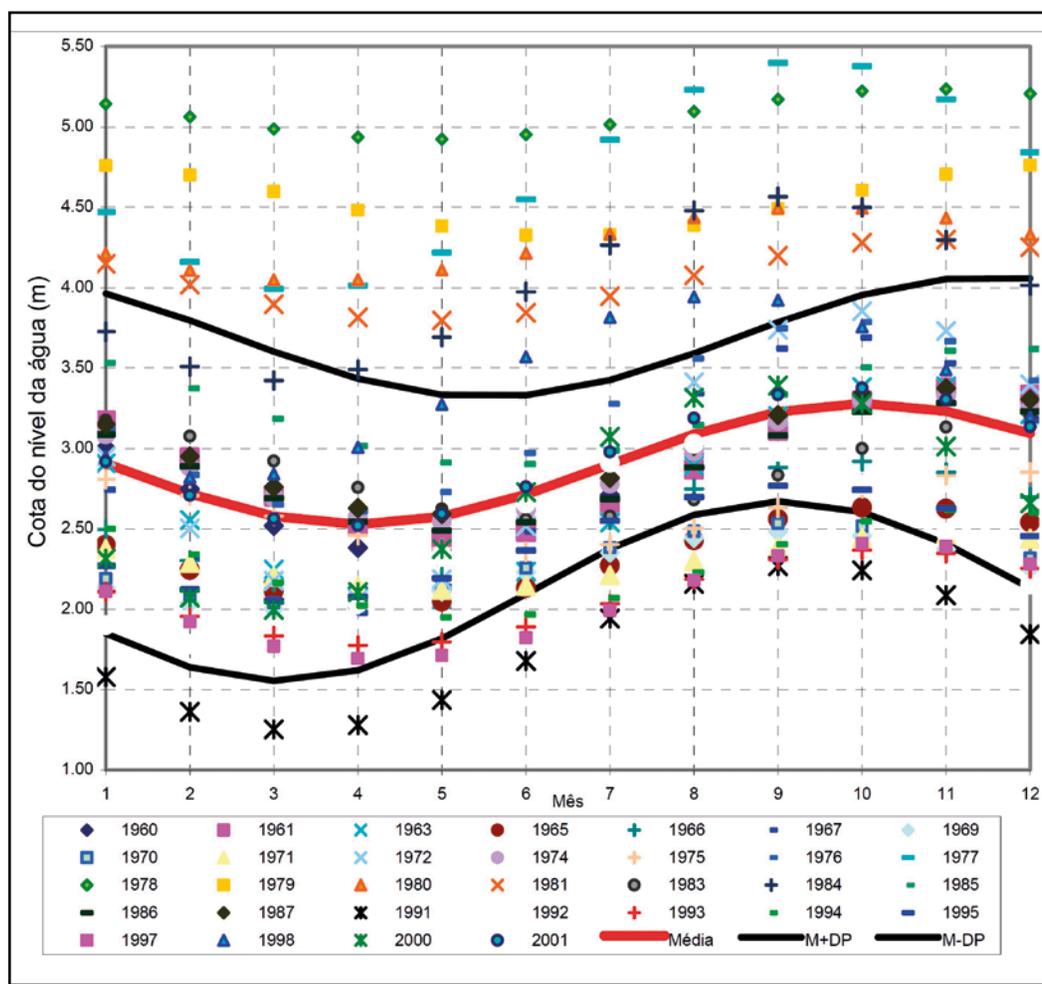


Figura 3. Variabilidade sazonal do hidroperíodo no Banhado do Taim/RS a partir da aplicação da análise harmônica.

definição da banda de incerteza da variação sazonal do hidroperíodo.

Assim, uma maneira mais conservadora de verificar critérios de gerenciamento da água usando de procedimentos estatísticos seria verificar se as cotas do nível da água encontram-se dentro dos limites aceitáveis (Figura 3). O cumprimento da condição de significância das cotas impostas no critério de gerenciamento assegura que, dentro dos limites impostos, o hidroperíodo tenha um comportamento de alternância de níveis altos e baixos.

Efeito potencial do uso da água no hidroperíodo

No caso específico do Banhado do Taim, sabe-se que, além da construção da BR-471, as atividades de extração de água para a irrigação do arroz contribuem para a modificação do regime hidrológico do local. Essa água é usada na própria bacia hidrográfica contribuinte ou transposta por diversos canais para outra bacia hidrográfica, e, nesse caso, não retorna ao sistema. Para avaliar quantitativamente o efeito dessa extração de água, foi realizada a simulação de um cenário hipotético. Nesse cenário, todas as variáveis de entrada no modelo hidrológico-hidrodinâmico de células (de divisão do Banhado) foram mantidas conforme utilização na calibração e validação do modelo; foram eliminadas, no entanto, as demandas de água para irrigação durante todo o período de simulação (Tassi 2008).

Comparando o regime hidrológico real e o simulado no cenário hipotético sem irrigação, é possível observar a redução significativa dos níveis de água provocada pela irrigação, especialmente no período mais úmido da série (Figura 4). Observa-se, também, a considerável memória existente no sistema hidrológico do Banhado do Taim. Contrariamente ao que ocorre em sistemas muito rápidos, em que have-

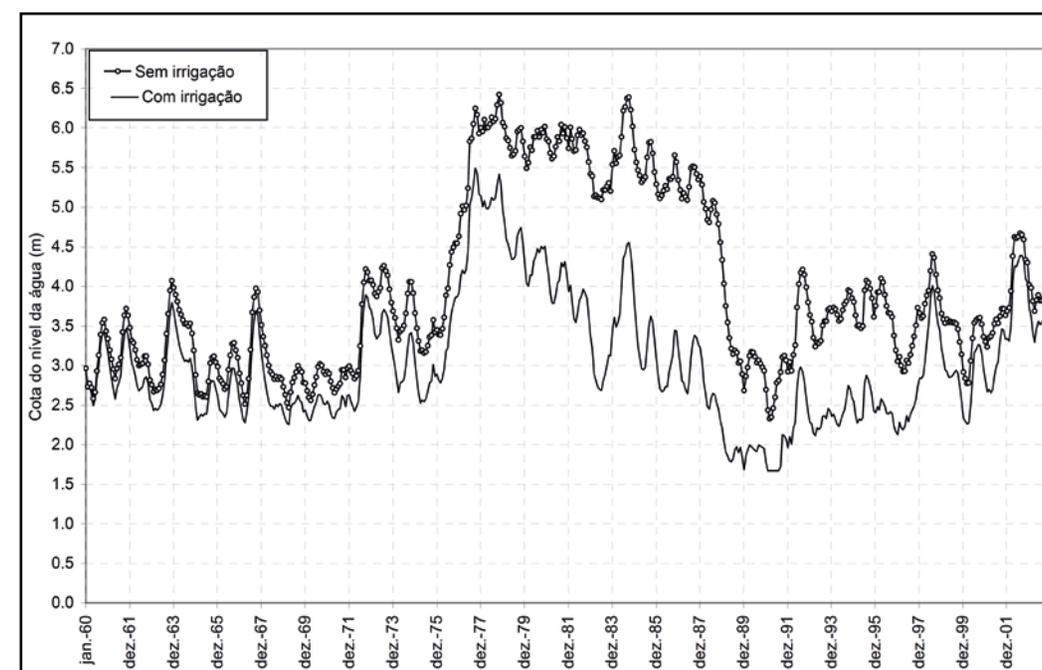


Figura 4. Comparação entre o regime hidrológico real no Banhado do Taim/RS e cenário hipotético sem irrigação.

ria uma grande proximidade nas cotas dos meses sem irrigação nos dois cenários considerados, no Banhado do Taim essa resposta é muito lenta, devido à preponderância dos efeitos de armazenamento.

A partir dessa constatação, é possível verificar que o atual padrão do Banhado do Taim é, em parte, o resultado de retirada de água da Lagoa Mangueira para a irrigação de arroz. No período de 1975 a 1988, fica evidente que as atividades de extração de água colaboraram para a manutenção de níveis de água mais baixos. Para o mesmo período, no cenário em que não há retiradas de água para irrigação, é possível inferir que determinadas espécies encontradas no Banhado poderiam não suportar lâminas de água tão elevadas com longa duração. Nesse caso, passando esse período úmido, poderia se esperar outro padrão de Banhado, talvez uma distribuição espacial da vegetação totalmente diferente.

Essa análise não significa, no entanto, que as atividades de captação de água da Lagoa Mangueira para a irrigação do arroz se constituem em benefícios para a manutenção e conservação do Banhado do Taim. É possível verificar que, após o ano de 1988, os níveis de água foram extremamente baixos, associado a um período seco do Banhado do Taim. A expansão da demanda de água é uma realidade nesse sistema, mesmo em período extremamente seco, iniciado em 1987, com consequente demanda hídrica. A combinação dos dois elementos, nível baixo no Banhado e aumento da demanda hídrica, é um dos mecanismos que pode ter agravado a seca observada.

Metabolismo e diversidade do bacterioplâncton

As macrófitas podem fornecer maiores quantidades de matéria orgânica do que o fitoplâncton (Wetzel 1992; Lauster et al. 2006), suportando, em alguns casos, a maior parte da produção secundária bacteriana (Stanley et al. 2003). No entanto, o carbono fornecido pelas macrófitas compõe-se em grande parte por compostos aromáticos e alifáticos semelhantes a polímeros de alto peso molecular (Bracchini et al. 2006), que demandam mecanismos enzimáticos caros e específicos para sua degradação (Münster & Chróst 1990; Wetzel 1992). Além disso, a matéria orgânica fornecida pelas macrófitas é qualitativamente deficiente, sendo pobre em fósforo e nitrogênio (Hessen 1992). Outro aspecto ecológico importante é que muitas macrófitas apresentam comprovada atividade alelopática contra espécies de fitoplâncton e cianobactérias (Gross et al. 2007; Mulderij et al. 2007), e existem indícios de que esses efeitos inibitórios podem ocorrer também sobre bactérias heterotróficas (Wu et al. 2007; They et al. 2010; They et al. 2013a).

Lagoas subtropicais, devido às condições amenas de temperatura, apresentam

crescimento contínuo de macrófitas (e.g., Ferreira et al. 2009), permitindo que seus efeitos ecológicos sejam permanentes. Pelo fato das macrófitas desenvolverem-se bem e preferencialmente nas zonas litorais das lagoas, elas contribuem para a heterogeneidade espacial na distribuição de organismos, tal como o fitoplâncton (Fragoso Jr. et al. 2008; They et al. 2013a).

Na Lagoa Mangueira, a segunda maior lagoa do Rio Grande do Sul, existem evidências indicando que as macrófitas aquáticas estão associadas à heterogeneidade na diversidade e no metabolismo também de bactérias heterotróficas. Taxas de respiração, biovolume e biomassa bacteriana são menores em zonas litorais comparadas com zonas limnéticas da lagoa (They et al. 2010; They et al. 2013a). Por outro lado, a matéria orgânica oriunda dos estandes de macrófitas apresenta taxas de decomposição bacteriana e foto-oxidação indetectáveis em períodos menores do que de 5 dias (They et al., 2013a).

A transição da área litoral intensamente vegetada em direção a uma área limnética, sem macrófitas, na Lagoa Mangueira, com relação ao bacterioplâncton heterotrófico, fitoplâncton, zooplâncton e variáveis limnológicas, pode ser uma área de intensa dinâmica de comunidades e processos (They et al., em preparação). Essa zona de transição é marcada pela mudança abrupta na dominância de produtor primário: macrófitas dominaram na zona litoral, sendo substituídas pelo fitoplâncton na zona limnética. A abundância, o biovolume médio e a biomassa bacterianas aumentam ao longo desse gradiente, havendo mudanças na estrutura da comunidade de bactérias, fitoplâncton e zooplâncton: na zona limnética, ocorre aumento da proporção de bactérias cocoides, da diversidade dos principais grupos bacterianos (α -Proteobacteria, β -Proteobacteria, γ -Proteobacteria e *Cytophaga-Flavobacter*) e da proporção de bactérias dentre os procariotos totais; o fitoplâncton apresenta dominância de cianobactérias e o zooplâncton de Cladocera também na zona limnética (They et al., em preparação).

A presença de macrófitas aquáticas submersas afeta a estrutura de comunidade de diversos organismos, indicando que esses efeitos, até então pouco conhecidos em lagoas subtropicais, estendem-se também ao bacterioplâncton heterotrófico. Isso sugere que a ciclagem do carbono, via bacterioplâncton, pode ser menos eficiente em zonas litorais do que em limnéticas em lagoas rasas subtropicais com extensa cobertura de macrófitas.

Padrões do fitoplâncton como indicadores do ecossistema

O estudo das respostas das comunidades planctônicas a diferentes condições e situações ambientais permite identificar e quantificar padrões em ecossistemas naturais. Atributos das comunidades biológicas, nesse contexto, são ferramentas úteis na descrição de tendências e estados ecológicos sistêmicos. Não diferentemente, o fitoplâncton demonstra capacidade preditiva e exploratória a partir de seus mais diversos atributos morfológicos, fisiológicos e funcionais. Estudos sobre a comunidade fitoplanctônica do Sistema Hidrológico do Taim – SHT, demonstraram não só a diversidade taxonômica desse grupo, mas principalmente respostas ecológicas às peculiaridades de seus subsistemas. Do ponto de vista ecológico, dentre os diversos fatores que podem interferir na estrutura e dinâmica do fitoplâncton, a disponibilidade de recursos e a hidrodinâmica estão entre os mais importantes direcionadores no SHT. A avaliação da influência do hidroperíodo na dinâmica da comunidade fitoplanctônica constatou que alterações no nível de água e as consequentes alterações limnológicas, especialmente as maiores concentrações de nutrientes e reduzidos padrões de luz, explicam a dinâmica da biomassa fitoplanctônica (Crossetti et al. 2007). Contudo, esse padrão não se aplica ao norte da Lagoa Mangueira (Crossetti et al. 2013).

Diferentes padrões espaciais na estrutura do fitoplâncton também foram observados a partir do estudo dos grupos funcionais, sendo o norte caracterizado por espécies metafiticas, possivelmente influenciadas pelo Banhado adjacente (Crossetti et al. 2007). Espécies de diatomáceas mostraram elevadas densidades no norte da Lagoa Mangueira durante a primavera, quando os valores mais altos de velocidade do vento e nível de água foram registrados.

Por outro lado, espécies de cianobactérias são geralmente abundantes no centro e sul, quando a turbulência é alta em função dos constantes ventos, destacam-se as maiores biomassas de *Aphanocapsa delicatissima*, *Planktolyngbya contorta* e *Planktolyngbya limnetica*. Entretanto, o registro de *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii* durante períodos mais calmos, de baixo nível de água e incremento nutricional, aponta para a presença de inóculos de espécies potencialmente tóxicas e formadoras de florações (Crossetti et al. 2007, 2013).

Experimentos de enriquecimento a partir de amostras da margem e da região limnética da lagoa demonstraram que a interação entre as diferentes concentrações de N e P, tempo e locais estudados, apresentaram influência significativa tanto para a biomassa e densidade total do fitoplâncton quanto para a biomassa das classes estudadas. A região de margem apresentou sempre os maiores valores de densidade e biomassa observados. Contudo, o maior incremento de cianobactérias

(três vezes em relação ao controle) em detrimento às clorofíceas e diatomáceas ocorreu na região limnética diante do enriquecimento do dobro da concentração média de P pós-10 dias (Wieliczko et al. 2013). De uma forma geral, o uso de índice de qualificação ambiental a partir dos grupos funcionais apontou bom estado ecológico da Lagoa Mangueira, assim como índices de estado trófico comumente utilizados em ecossistemas temperados, que indicaram condições mesotróficas.

Interação de banco natural de macrófitas flutuantes com a comunidade zooplanctônica

Macrófitas aquáticas flutuantes podem não promover adaptações na comunidade de zooplâncton em um lago subtropical oligotrófico, como já verificado em outras lagoas (Meerhoff et al. 2003; Iglesias et al. 2007). O estudo conduzido no Banhado do Taim foi o primeiro a investigar o efeito da vegetação sobre o zooplâncton em bancos naturais de macrófitas flutuantes em uma lagoa subtropical oligotrófica (Lagoa Jacaré) (Gazulha et al. 2011).

A comunidade zooplanctônica na Lagoa Jacaré foi dominada por cladóceros de pequeno porte, como *Bosmina*, *Ceriodaphnia* e *Diaphanosoma*. Cladóceros de grande porte, como *Daphnia*, não foram registrados na lagoa. Comunidades com maior riqueza de espécies de zooplâncton de grande porte (incluindo *Daphnia* spp.) ocorrem em lagos temperados, enquanto as de zooplâncton de pequeno porte caracterizam lagos subtropicais (Meerhoff et al. 2007).

O cladóceros de pequeno porte *Chydorus* ocorreu em densidades mais elevadas nas plantas flutuantes e na área litorânea durante todo o período de amostragem, enquanto as demais espécies predominantes mudaram com as estações do ano. As densidades do zooplâncton foram mais elevadas na área litorânea e nas plantas flutuantes; entretanto, o efeito dos micro-habitats (plantas flutuantes, área litorânea e área aberta) foi fraco para a maioria dos gêneros predominantes.

A ausência de efeitos das plantas flutuantes sobre as variáveis físico-químicas mostrou que esse não foi um fator que influenciou a distribuição dos microcrustáceos nos micro-habitats. As diferenças físico-químicas entre os micro-habitats provavelmente desempenham um papel menor na formação de padrões espaciais do zooplâncton nos (sub)tropicais.

A heterogeneidade espacial clássica do zooplâncton de grande porte nos lagos temperados não foi observada na Lagoa Jacaré. As baixas diferenças nas densidades entre os micro-habitats e a baixa abundância de cladóceros de grande porte observados levaram à rejeição da hipótese de que as plantas flutuantes agiriam como um refúgio para o zooplâncton (Gazulha et al. 2011).

Heterogeneidade espacial de grupos funcionais da comunidade de macroinvertebrados

A composição de táxons e a estrutura da comunidade apresentou grande heterogeneidade espacial nos diferentes subsistemas do SHT, evidenciando que densidades médias da comunidade de macroinvertebrados e a riqueza de famílias foram significativamente mais altas nas porções norte e sul da Lagoa Mangueira. A análise de agrupamento definiu quatro grupos: Grupo 1, predominância de Cumacea e Oligochaeta; Grupo 2, baixas densidades médias de indivíduos e baixa riqueza de famílias; Grupo 3, presença de Tanaidae e Corophiidae; Grupo 4, abundância de Hydrobiidae. A composição dos grupos funcionais de macroinvertebrados bentônicos foi caracterizada pela predominância de coletores de depósito que compuseram os grupos 1, 2 e 3 e pela predominância de raspadores que formaram o Grupo 4 (Würdig et al. 2007).

Estrutura da ictiofauna

A estrutura da ictiofauna do SHT é constituída por 62 espécies de peixes distribuídas em 24 famílias, sendo Characidae (19 espécies) e Cichlidae (7) as famílias com o maior número de espécies. Diferenças na composição de espécies e padrões de dominância entre margens rasas e zonas limnéticas das lagoas que compõem o SHT foram encontradas. Uma assembleia de peixes mais diversa, dominada por peixes pequenos (< 5 cm), ocorre nas margens vegetadas e protegidas das lagoas, como o barrigudinho (*Jenynsia multidentata*), a sardinha (*Platanichthys platana*), os juvenis dos peixes-rei (gênero *Odonesthes*) e a coridora (*Corydoras paleatus*); e uma assembleia menos diversa, formada por peixes de maior tamanho (>15 cm), parece dominar as zonas limnéticas, como o biru (*Cyphocharax voga*), formas adultas dos dentuços (*Oligosarcus jenynsii*, *Oligosarcus robustus*) e dos peixes-rei (gênero *Odonesthes*), a traíra (*Hoplias malabaricus*), o pintado (*Pimelodus maculatus*) e o penharol (*Trachelyopterus lucenai*) (Garcia et al. 2006).

A dinâmica e o papel estruturador dos peixes na Lagoa Mangueira

Considerando-se a Lagoa Mangueira, um total de 52 espécies compõem a sua ictiofauna, distribuídas em dezessete famílias, sendo Characidae, Cichlidae, Loricariidae e Atherinopsidae as mais representativas. Diferenças na composição de espécies e padrões de dominância entre os diferentes habitats da lagoa foram observados. Os padrões de dominância mostraram que, na zona litoral, 19,5% das espécies foram dominantes; enquanto na zona profunda, 7,6% das espécies capturadas foram dominantes, com tamanhos semelhantes aos da zona litoral. Já

a análise do padrão geral de abundância por classe de tamanho (CT) mostrou que nas zonas litoral e profunda mais de 50% dos indivíduos capturados apresentavam entre 25 e 50 mm de CT.

A heterogeneidade espacial da Lagoa Mangueira foi particularmente identificada através da distribuição de frequência das guildas de peixes. Peixes comedores de invertebrados foram dominantes nos extremos da lagoa. Entretanto, é interessante salientar que a composição da guilda foi distinta nos extremos da lagoa. No norte, *Oligosarcus jenynsii* foi a espécie mais abundante, alimentando-se principalmente de crustáceos (*Aegla* sp. e *Palaemonetes argentinus*). Em contraste, a espécie mais abundante dessa guilda no sul da lagoa foi *Odonesthes humensis*, consumindo preferencialmente moluscos (*Heleobia* sp. e *Corbicula* sp.). Também foi observada uma inversão relacionada às frequências de detritívoros e piscívoros entre os extremos da lagoa. Sedimentos lamosos do norte da lagoa podem explicar a abundância relativa de detritívoros, enquanto sedimentos arenosos e águas mais claras poderiam ser relacionados à maior frequência de piscívoros no sul, supondo uma detecção mais fácil das presas (Rodrigues 2009).

Baseando-se nas razões isotópicas de produtores e consumidores ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$), identificou-se a estrutura trófica da lagoa, bem como a posição trófica de espécies de peixes e fontes de carbono do sistema. Análises de isótopos estáveis de nitrogênio permitiram identificar dois níveis tróficos de peixes na Lagoa Mangueira, enquanto macrófitas emergentes e perifiton foram identificadas como importantes fontes de carbono que sustentam a estrutura trófica. Análises de grupamento a partir de dados de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ e de conteúdo estomacal identificaram um perfeito arranjo filogenético entre as espécies de peixe analisadas, evidenciando que nichos alimentares são compartilhados por espécies taxonomicamente relacionadas. Essas informações proporcionaram o entendimento sobre a estrutura atual do sistema, bem como os fatores direcionadores da sua dinâmica, podendo subsidiar a parametrização de modelo ecológico, com capacidade de estabelecer prognósticos, tendo, como contorno, estressores naturais e antrópicos (Rodrigues 2009).

Interações espacial e temporal de componentes da cadeia trófica

Mudanças no nível de água em associação com macrófitas aquáticas podem determinar a dinâmica do bacterioplâncton (densidade, biomassa, atividade e riqueza) responsável pela degradação de carbono orgânico dissolvido associado. O nível da água em associação com os diferentes estandes de macrófitas aquáticas (*Zizaniopsis bonariensis*, *Schoenoplectus californicus* e *Myriophyllum aquaticum*) induz diferenças significativas nos valores de biomassa, densidade e produção bacteriana.

A diversidade das assembleias de bacterioplâncton mostrou uma mudança na frequência de morfotipos. Essa mudança foi significativa entre diferentes espécies de macrófitas (*Z. bonariensis*, *S. californicus* e *M. aquaticum* e outras espécies), mas não para diferentes níveis de água. Dados morfológicos sugerem uma possível ligação entre a forma da célula e a disponibilidade de recursos no sistema, resultando em adaptação na presença de certos tipos e espécies de macrófita, independentemente do nível da água.

Por outro lado, verificou-se que existe uma dinâmica espacial e temporal dos principais diferentes componentes da cadeia trófica em associação com a heterogeneidade do sistema. Clorofila *a*, turbidez, sólidos totais, fósforo total e nível da água foram as variáveis geradoras do gradiente espacial crescente no sentido S-N. Essas condições propiciaram a maior complexidade estrutural do sistema, favorecendo o desenvolvimento do fitoplâncton no norte. Apenas o zooplâncton exibiu gradiente decrescente no sentido S-N em todas as estações do ano, enquanto que o padrão oposto foi verificado para o bacterioplâncton.

Para a ictiofauna, a turbidez foi a variável descritora do gradiente espacial, agregando os pontos norte e centro. Sazonalmente, para o bacterioplâncton, os picos de biomassa foram registrados no outono e inverno, enquanto primavera e verão favoreceram o fitoplâncton. Um gradiente temporal também foi evidenciado para o zooplâncton e os peixes, com picos registrados no verão. Considerando que a maior abundância e biomassa foram registradas para o microzooplâncton (ciliados e rotíferos), esse gradiente oposto observado entre bactérias e zooplâncton pode ser um indicador da relação presa-predador.

O fitoplâncton, dominado por espécies microplanctônicas, não favoreceu as interações tróficas observadas. Os peixes mais abundantes do sistema têm como preferência alimentar itens não contemplados neste estudo (macroinvertebrados bentônicos), descartando possíveis relações de predação sobre o plâncton. Correlações significativas entre os diferentes componentes da cadeia trófica e dados ambientais demonstraram esses gradientes espaciais e temporais, sendo a complexidade espacial a principal direcionadora das relações biológicas estudadas (Cardoso et al. 2011).

Banhados temporários

Comunidades biológicas variam no tempo e espaço em função de pressões decorrentes da estrutura do hábitat e da disponibilidade de recursos. O entendimento das relações ecológicas e as interações das comunidades são essenciais para o manejo com objetivo de melhorar/garantir a qualidade da água através

de interferências na cadeia trófica aquática e na dinâmica do ecossistema através de modelagem ecológica. Estudos desenvolvidos em sistemas temporários podem contribuir para o entendimento desses processos (Rodrigues et al. 2011), sendo que esse tipo de sistema configura-se como alternativa para um plano de conservação mais amplo ao apresentar potencial para receber, por exemplo, aves.

Em banhados temporários, campos de arroz, foi avaliada a dinâmica das comunidades planctônicas e íctica durante o desenvolvimento de um ciclo produtivo de cultivo. Existe um claro gradiente temporal direcionado pela disponibilidade de nutrientes. Correlações positivas entre clorofila *a*, nutrientes e biomassa zooplânctônica, especialmente pequenos e médios filtradores, foram obtidas. Por outro lado, a biomassa de peixes, particularmente dos peixes planctívoros, foi inversamente relacionada à concentração de clorofila *a*. Os resultados apontam para mecanismos de controle ascendente (*bottom up*) e descendente (*top down*), regulando simultaneamente a produção nesses banhados temporários (Rodrigues et al. 2011).

Modelagem ecológica da estrutura trófica

Vários aspectos importantes da estrutura trófica e da dinâmica de nutrientes em ecossistemas aquáticos sujeitos a perturbações externas, tais como mudanças no nível da água, aumento de carga de nutrientes e matéria orgânica, biomaniplulação e clima, foram identificados. Para descrever tais efeitos sobre a estrutura trófica, um complexo modelo ecológico (Fragoso Jr. et al. 2008; 2009), com base em processos físicos, químicos e biológicos, foi desenvolvido e aplicado em ecossistemas aquáticos tropicais, subtropicais e temperados. Em tais aplicações, uma análise integrada foi empregada considerando a transferência de impactos da bacia para o ecossistema, com a finalidade de entender a real dinâmica dos ecossistemas aquáticos. As simulações revelaram importantes aspectos sobre a estrutura e funcionalidade dos ecossistemas frente às perturbações.

Profundas alterações na composição do fitoplâncton com o aumento sistemático da concentração de ortofosfato podem ocorrer. Significativos gradientes horizontais e verticais na estrutura trófica da Lagoa Mangueira indicam a importância de considerar a heterogeneidade espacial em grandes lagoas para melhorar a compreensão dos processos ecológicos e padrões encontrados.

Cenários críticos apontam que o aumento da carga de nutrientes afeta negativamente a transparência da água, diferentemente do efeito de mudanças climáticas. Pequenas alterações na estrutura trófica causadas por esses fatores indicam uma forte resistência da Lagoa Mangueira. Além disso, aplicações mais simples também auxiliaram o processo de tomada de decisão e planejamento. A modela-

gem ecológica aplicada em ecossistemas aquáticos mostrou ser uma alternativa promissora para a gestão integrada dos recursos naturais (Fragoso Jr. et al. 2011).

Discussão e aplicações dos resultados

Educação dos atores no Sistema Hidrológico do Taim

O trabalho no Sistema Hidrológico do Taim, Sítio 7 do *Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD*, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/Ministério da Ciência e Tecnologia, desenvolve um processo de integração entre a Ecologia de Ecossistemas Aquáticos, a Hidrologia e a Hidrodinâmica. O conjunto de trabalhos procura verificar e quantificar como comunidades se relacionam com o meio físico e a água, em sua quantidade e movimento, e como o ecossistema responde a *drivers* diretos e indiretos e está conectado a outros sistemas em diferentes escalas. Um dos interesses é a modelagem dessas interações, as conectividades e o desenvolvimento de métodos de avaliação adequados aos sistemas de banhados e lagoas subtropicais rasas e sua gestão.

Um dos aspectos derivados do projeto é a educação, sobre esses temas, dos agentes transformadores sociais e econômicos da região, através da transferência do conhecimento adquirido e das ferramentas derivadas aplicadas à gestão dos recursos hídricos. Esses transformadores são os arroteiros, proprietários de terras e arrendatários de propriedades, todos promovendo modificações no ambiente associadas com a produção de arroz. No município de Santa Vitória do Palmar, a produção de arroz é a atividade dominante da economia, utilizando em torno de 90% da área do município. Educar os principais atores usuários dos recursos e promotores de mudanças é, portanto, o grande desafio de educação para esse sistema em que se procura parear uso e conservação. Esse tipo de “educação” deve fazer parte do processo de gestão e de uma ação integrada entre desenvolvedores de conhecimento, gestores de recursos e esses mesmos atores.

A Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim tem como característica marcante a existência da associação de banhados e lagoas e o agronegócio centrado na produção de arroz irrigado. É importante também ressaltar que esse tipo de sistema se encontra nos dois lados da fronteira do Brasil com o Uruguai e que os resultados obtidos e as ações de educação e integração poderão incrementar a melhoria da gestão desses recursos: a água e as áreas úmidas — lagoas compartilhadas por um tratado específico com o Uruguai, o Tratado de Cooperação para o Aproveitamento dos Recursos Naturais e o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim.

A Agência de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim, unidade executiva da

SB/CLM, tem uma posição privilegiada para a implementação desse processo de educação e integração entre a academia e o setor produtivo da região.

Gerenciamento integrando indicadores biológicos e hidrologia

Uma maneira de pensar nas relações que ocorrem em uma terra úmida é considerar que, se, por um lado, a diversidade de espécies responde à estrutura da mesma, por outro lado, a estrutura da terra úmida (vegetação e água) responde ao hidroperíodo ao qual está sujeita. Consequentemente, qualquer ação que altere o hidroperíodo ao qual está submetida uma terra úmida pode trazer profundas mudanças ao ecossistema. Dessa forma, uma das ferramentas-chave para a manutenção da variedade de habitats em uma terra úmida é o gerenciamento da água.

Partindo desse princípio, desenvolveu-se uma metodologia (Figura 5) baseada na caracterização da situação de conflito pelo uso dos recursos hídricos na terra úmida; na identificação de indicadores biológicos e a relação destes com o hidroperíodo; na determinação das necessidades dos indicadores biológicos; na elaboração de uma proposta para o gerenciamento dos recursos hídricos, com a definição de valores de limites máximos e mínimos para a manutenção dos níveis de água; e na determinação de critérios de gerenciamento em função da demanda de água (Tassi 2008).

Os pontos fundamentais dessa metodologia são a determinação do hidroperíodo e a identificação de espécies indicadoras e a relação entre adequação de habitat para essas espécies e o hidroperíodo. Essas espécies devem ser características do ecossistema e estreitamente vinculadas ao seu funcionamento, com variabilidade espacial e temporal conhecida. Para esse fim, foram escolhidas uma macrófita aquática emergente (*Zizaniopsis bonariensis*), uma ave migratória (cisne-de-pescoço-preto, *Cygnus melancoryphus*) e um mamífero (capivara, *Hydrochoerus hydrochaeris*). Essa relação é expressa na forma de um Índice de Adequabilidade para cada espécie indicadora, mostrando a relação da espécie com a variação da disponibilidade de habitat adequado em função do nível de água. O cotejamento desse índice com o hidroperíodo do ecossistema e a variação de nível de água anotada ou prevista permite avaliar potenciais efeitos sobre as espécies em função de situações atuais ou previstas em termo de nível de água.

Utilizando modelos desenvolvidos especialmente para este trabalho, esses índices foram combinados com diferentes cenários hidrológicos. Esse procedimento permitiu que, dentro de distintas áreas da terra úmida, fosse feita uma avaliação temporal e espacial da condição ambiental para os indicadores selecionados. Diferentes cenários de qualidade ambiental foram selecionados, permitindo a determinação de curvas-guia, que traduzem as necessidades hidrológicas de diferentes espécies (Figura 6).

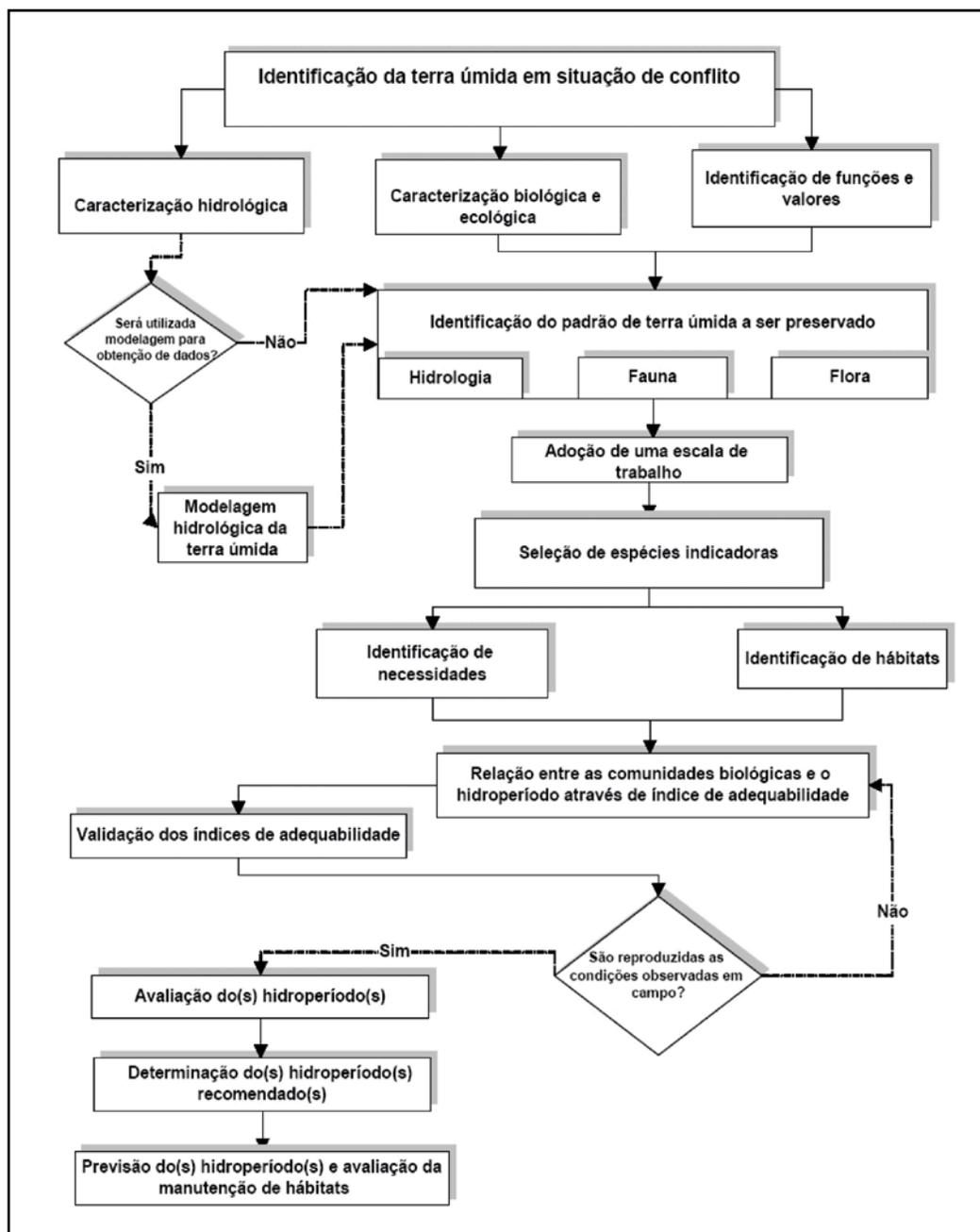


Figura 5. Fluxograma da sequência metodológica para identificação do hidroperíodo e sua relação com espécies indicadoras.

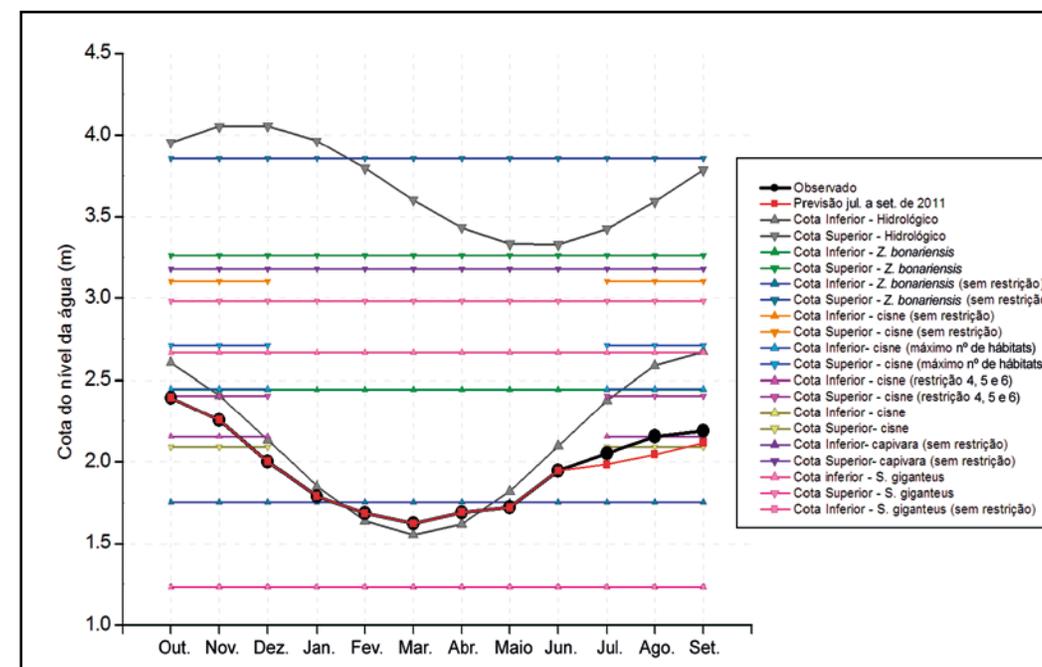


Figura 6. Exemplo de aplicação: previsão de nível de água e sua relação com o hidroperíodo e os limites para as espécies indicadoras.

Esse instrumento possibilita testar cenários baseados em previsões hidrometeorológicas para um período específico. Com base nas previsões hidroclimáticas, pode-se (1) testar cenários e definir critérios para o gerenciamento dos recursos hídricos, (2) analisar riscos com antecedência e (3) alcançar uma gestão integrada considerando os usos múltiplos da Lagoa Mangueira.

A metodologia desenvolvida foi aplicada ao Banhado do Taim, um exemplo de terra úmida sob regime de conservação na forma de uma estação ecológica, e à tomada de água da Lagoa Mangueira para a orizicultura. Após a determinação das curvas-guia para esse local, foi utilizado um modelo de previsão hidrológica permitindo que, *a priori*, faça-se uma análise de disponibilidade de água para atender à conservação do ecossistema e à manutenção da atividade econômica de forma harmônica, definindo regras que otimizem conservação e uso dos recursos.

Perspectivas para a continuidade dos estudos

A continuidade do PELD depende da obtenção de recursos adicionais, preferencialmente de fontes diversas, compilando vários interesses no contexto da proposta geral de pesquisa. Preferencialmente, um sítio PELD — lidando com ecossistemas aquáticos continentais — deve ser reduzido a um mínimo de questões suficientemente abrangentes, concentrando-se em monitoramento contínuo por equipamentos, em grande escala, integrando os aspectos físicos e biológicos em associação com funcionalidade e diversidade. Essa aproximação induz a formalização de questões que não são regularmente associadas a projetos em ecossistemas límnicos, levando necessariamente à pesquisa de padrões, processos, escalas temporais e espaciais e sua modelagem ecológica.

A modelagem ecológica de ecossistemas, baseada no conhecimento gerado, *a priori* sobre estrutura, funcionamento e dinâmica de comunidades biológicas, permite experimentar como alterações na estrutura são refletidas na funcionalidade e diversidade do sistema. É possível também diagnosticar o tamanho de serviços desse ecossistema e, ao mesmo tempo, fazer a previsão de alterações desses serviços, tendo como condição de contorno diferentes *drivers* naturais e antrópicos.

Essa nova aproximação só é factível com a modernização da infraestrutura dos sítios PELD, sendo esta uma necessidade permanente. A referência deve ser a mudança/atualização das questões científicas nos ecossistemas límnicos.

Agradecimentos

O grupo de pesquisa, no Sítio 7 - CNPq, foi recipiente de recursos do CNPq (Processo nº 520.027/98-1) para a execução do projeto Sistema Hidrológico do Taim. Outros recursos foram alocados na forma de bolsas de mestrado e doutorado do CNPq e da Capes. A execução das atividades deste projeto não seria possível sem a participação dos técnicos de apoio das diversas instituições, aos quais os autores agradecem o empenho. Os autores agradecem as sugestões e recomendações dos revisores anônimos que melhoraram substancialmente o texto. A bibliografia produzida no projeto está disponível em www.peld.ufrgs.br.

Literatura citada

- Bracchini, L., A. Cózar, A. M. Dattilo, S. A. Loisel, A. Tognazzi, N. Azza, and C. Rossi. 2006. The role of wetlands in the chromophoric dissolved organic matter release and its relation to aquatic ecosystems optical properties. A case of study: Katonga and Bunjako Bays (Victoria Lake, Uganda). *Chemosphere* 63: 1170-1178.
- Cardoso, L. S., L. H. R. Rodrigues, L. O. Crossetti, D. L. Kist, e P. I. Riediger. 2011. Espacialidade versus sazonalidade: qual é o fato estruturador da cadeia trófica em uma lagoa rasa subtropical? *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Limnologia*, Natal.
- Cardoso, M. A. G. 2010. Previsão hidroclimática para o gerenciamento do Banhado do Taim. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Crossetti, L. O., L. S. Cardoso, V. L. M. Callegaro, S. M. Alves-da-Silva, V. R. Werner, Z. M. Rosa, and D. Motta Marques. 2007. Influence of the hydrological changes on the phytoplankton structure and dynamics in a subtropical wetland-lake system. *Acta Limnologica Brasiliensia* 19: 315-329.
- Crossetti, L. O., V. Becker, L. S. Cardoso, L. H. R. Rodrigues, L. S. Costa, and D. Motta Marques. 2013. Is phytoplankton functional classification a suitable tool to investigate spatial heterogeneity in a subtropical shallow lake? *Limnologia* 43: 157-163.
- Ferreira, T. F., E. H. van Nes, and D. Motta Marques. 2009. Continuous growth of the giant grass *Zizaniopsis bonariensis* in subtropical. *Freshwater Biology* 54: 321-330.
- Fragoso Jr., C. R., D. Motta Marques, T. F. Ferreira, J. H. Janse, and E. H. van Nes. 2011. Potential effects of climate change and eutrophication on a large subtropical shallow lake. *Environmental Modelling & Software* 26: 1337-1348.
- Fragoso Jr., C. R., H. E. van Nes, W. Collischonn, C. E. M. Tucci, and E. H. van Nes. 2008. Modelling spatial heterogeneity of phytoplankton in Lake Mangueira, a large subtropical lake in South Brazil. *Ecological Modelling* 219: 125-137.
- Fragoso Jr., C. R., H. E. van Nes, J. H. Janse, and D. Motta Marques. 2009. IPH-TRIM-3D-PLake: A three-dimensional complex dynamic model for subtropical aquatic ecosystems. *Environmental Modelling & Software* 24: 1347-1348.
- Garcia, A. M., M. A. Bemvenuti, J. P. Vieira, D. M. L. Motta Marques, M. D. M. Burns, A. Moresco, and M. V. L. Condini. 2006. Checklist comparison and dominance patterns of the fish fauna at Taim Wetland, South Brazil. *Neotropical Ichthyology* 4: 261-268.
- Gazulha, V., M. Montu, D. M. L. Motta Marques, and C. C. Bonecker. 2011. Effects of natural banks of free-floating plants on zooplankton community in a shallow subtropical lake in Southern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 54: 745-754.
- Gross E. M., S. Hilt (nee Körner), P. Lombardo, and G. Mulderij. 2007. Searching for allelopathic effects of submerged macrophytes on phytoplankton – state of the art and open questions. *Hydrobiologia* 584: 77-88.
- Hessen, D. O. 1992. Dissolved organic carbon in a humic lake: effects on bacterial production and respiration. *Hydrobiologia* 229: 115-123.
- Iglesias, C., Goyenola, G., Mazzeo, N., Meerhoff, M., Rodó, E. and Jeppesen, E. (2007) Horizontal dynamics of zooplankton in subtropical Lake Blanca (Uruguay) hosting multiple zooplankton predators and aquatic plant refuges. *Hydrobiologia* 584: 179-189.
- Lauster, G. H., P. C. Hanson, and T. K. Kratz. 2006. Gross primary production and respiration differences among littoral and pelagic habitats in northern Wisconsin lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63: 1130-1141.
- Meerhoff, M., C. Iglesias, F. T. De Mello, J. Clemente, E. Jensen, T. L. Lauridsen, and E. Jeppesen. 2007. Effects of habitat complexity on community structure and predator avoidance behaviour of littoral zooplankton in temperate versus subtropical shallow lakes. *Freshwater Biology* 52: 1009-1021.
- Meerhoff, M., Mazzeo, N., Moss, B. e Rodríguez-Gallego, L. The structuring role of free-floating versus submerged plants in a subtropical shallow lake. 2003. *Aquatic Ecology*, 37:377-391.
- Meerhoff, M., N., Moss, B. e Rodríguez-Gallego, L. The structuring role of free-floating versus submerged plants in a subtropical shallow lake. 2003. *Aquatic Ecology*, 37:377-391.

- Münster, U., and R. J. Chróst. 1990. Origin, composition, and microbial utilization of dissolved organic matter. Pages 8-46 em J. Overbeck, and R. J. Chróst, editors. *Aquatic Microbial Ecology*. Springer-Verlag, New York, USA.
- Mulderij, G., E. H. van Nes, and E. V. Donk. 2007. Macrophyte-phytoplankton interactions: the relative importance of allelopathy versus other factors. *Ecological Modelling* 204: 85-92.
- Rodrigues, L. H. R. 2009. Reguladores da dinâmica das comunidades planctônicas e íctica em ecossistemas límnicos subtropicais. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Rodrigues, L. H. R., E. R. B. Canterle, V. Becker, V. Gazulha, A. Hamester, and D. M. L. Motta Marques. 2011. Dynamics of plankton and fish in a subtropical temporary wetland: Rice fields. *Scientific Research and Essays* 6: 2069-2077.
- Stanley, E. H., M. D. Johnson, and A. K. Ward. 2003. Evaluating the influence of macrophytes on algal and bacterial production in multiple habitats of a freshwater wetland. *Limnology and Oceanography* 48: 1101-1111.
- Tassi, R. 2008. Gerenciamento hidroambiental de terras úmidas. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- They, N. H., D. M. L. Motta Marques, and R. S. Souza. 2012. Lower respiration in the littoral zone of a subtropical shallow lake. *Frontiers in Microbiology* 3: 1-10.
- They, N. H., D. M. L. Motta Marques, E. Jeppesen, and M. Søndergaard. 2010. Bacterioplankton in the littoral and pelagic zones of subtropical shallow lakes. *Hydrobiologia* 646: 311-326.
- They, N. H., D. M. L. Motta Marques, R. S. Souza e L. R. Rodrigues. 2013b. Short-term photochemical and biological unreactivity of macrophyte-derived Dissolved Organic Matter in a subtropical shallow lake. *Journal of Ecosystems* 316709:1-9 doi: 10.1155/2013/316709.
- Villanueva, A. O. N. 1997. Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Wetzel, R. G. 1992. Gradient-dominated ecosystems: sources and regulatory functions of dissolved organic matter in freshwaters ecosystems. *Hydrobiologia* 229: 181-198.
- Wieliczko, A. R., L. H. R. Rodrigues, D. M. L. Motta-Marques, and L. O. Crossetti. 2013. Effects of temperature and nutrient manipulation on phytoplankton structure: the influence of climate changes in a subtropical shallow lake. *Aquatic Conservation* (submitted).
- Wu, Q. L., G. Zwart, J. Wu, P. Kamst-van-Agtveld, S. Liu, and M. W. Hahn. 2007. Submersed macrophytes play a key role in structuring bacterioplankton community composition in the large, shallow, subtropical Taihu Lake, China. *Environmental Microbiology* 9: 2765-2774.
- Würidig, N. L., C. C. C. Cenzano, and D. M. L. Motta-Marques. 2007. Macroinvertebrate communities structure in different environments of the Taim Hydrological System in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* 19: 427-438.