

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

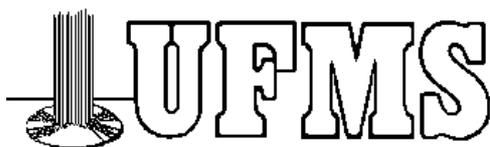
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

ABUNDÂNCIA E TAMANHO DAS FASES LARVAIS
DE *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) NO RIO
PARAGUAI E RIO MIRANDA, MS.

Dissertação de Mestrado

Vivianne Eilers

Campo Grande, março de 2006.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

Vivianne Eilers

ABUNDÂNCIA E TAMANHO DAS FASES LARVAIS DE
Limnoperna fortunei (DUNKER, 1857) NO RIO PARAGUAI E
RIO MIRANDA , MS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Ecologia e Conservação da
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
para obtenção do título de Mestre

Orientador: Dr. Kennedy Francis Roche

Campo Grande

2006

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus que me sustentou em todos os momentos.

A minha mãe, mulher guerreira, que sempre se sacrificou pela educação dos seus filhos.

Aos meus irmãos, por estarem presentes nas minhas conquistas.

A Márcia Divina de Oliveira, por ser responsável pelo meu ingresso no mestrado, acreditando na minha capacidade e possibilitando meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Dr. Kennedy Francis Roche, pela experiente orientação que permitiu meu amadurecimento.

A toda a equipe da Embrapa Pantanal pelo apoio logístico e financeiro, em especial as técnicas do laboratório de Limnologia da Embrapa Pantanal, Maria Davina Ramos dos Santos, Valdete Juraci dos Santos Sanchez e Egídia do Amaral pela realização das análises de água e aos piloteiros Vadoiro Lima e Silva e Isac Teixeira pelo apoio nas coletas.

Aos estagiários e bolsistas do laboratório de Limnologia da Embrapa Pantanal, Claudyane Lúcia dos Santos, Fernanda Auxiliadora Victório da Silva, Izabella Maria Gomes Xavier, Marlene Moreira Mármora e Rafael Rodrigues Barreto, pela colaboração nas coletas.

Ao MSc. Luiz Alberto Pellegrin pelas imagens de satélite com a localização dos pontos de amostragem.

Ao Dr. Daniel Hugo Cataldo pelo auxílio na identificação das fases larvais do *Limnoperna fortunei* e pelas críticas que me permitiram identificar e corrigir falhas.

Ao Fundect/MS pela bolsa de mestrado e recursos financeiros.

Ao Hotel Passo do Lontra pela permissão e apoio logístico para realização das coletas na propriedade as margens do rio Miranda.

Resumo

Desde sua invasão na América do Sul, o mexilhão dourado se tornou um grande prejuízo para indústrias hidrelétricas, locais de tomada de água e embarcações ao longo dos rios no qual ocorre. O molusco produz larvas durante uma grande parte do ano e isso dificulta ainda mais o seu controle. O presente trabalho apresenta uma análise da variação mensal na densidade de larvas planctônicas do molusco invasor *Limnoperna fortunei*, conhecido como mexilhão dourado, nos rios Paraguai e Miranda. O estudo foi realizado durante 12 meses, entre fevereiro de 2004 e janeiro de 2005. A coleta de amostras do plâncton foi acompanhada de análises físicas, químicas e biológicas da água para verificar a influência das variáveis ambientais sobre a densidade de larvas. A densidade dos estágios larvais foi objeto de comparação entre os locais estudados. Foram observados apenas os estágios valvados das larvas de *Limnoperna fortunei*, larva D, véliger e umbonada. A densidade de larvas variou de 0 a 23.989 larvas.m⁻³, no rio Paraguai, com o pico de densidade em março de 2004, enquanto que no rio Miranda a variação foi de 0 a 7.373 larvas.m⁻³ e o pico de densidade larvas foi registrado em fevereiro de 2004. Em ambos os rios não foram registradas larvas nos meses de maio e junho de 2004. Tanto no rio Paraguai como no rio Miranda, a influência dos fatores ambientais sobre a densidade de larvas não foi demonstrada pelas análises estatísticas, embora tenha sido verificada uma tendência da densidade de larvas aumentar sob temperaturas mais elevadas. A complexidade dos ambientes amostrados em relação às variáveis físico-químicas torna difícil estabelecer os fatores que influenciam a variação da densidade de larvas. Os dados fornecidos neste estudo são básicos e servirão para subsidiar medidas de controle adequadas para cada localidade e em outras partes do Brasil, tendo em vista a carência de estudos sobre o ciclo de vida do molusco na região.

– Palavras-chave

Larvas planctônicas, Mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei*, rio Paraguai, rio Miranda, Bioinvasão.

Abstract

Since its invasion of South America, the Golden Mussel has become a major problem for hydroelectric plants, water withdrawal locations, and vessels along the rivers of occurrence. The fact that the mussel produces larvae during the greater part of the year might hamper even more its control. The present study involved an analysis of the monthly variation in the density of the planktonic larvae of the exotic mollusc *Limnoperna fortunei*, known as the golden mussel in the rivers Paraguay and Miranda. The study was carried out over a period of 12 months, between February 2004 and January 2005. Collection of the plankton samples was accompanied by physical, chemical and biological analyses of the water, to investigate the possible influence of environmental variables on larval density. Abundances of the larval stages were compared between the sampling localities. Only the valved stages, namely the D, veliger and umbonate forms, of the larva were observed. Larval density varied between 0 and 23.989 individuals.m⁻³ in the Paraguay River, with a peak in March of 2004, while in the Miranda River, abundances varied between 0 and 7.373 individuals.m⁻³ with a peak in February of 2004. In neither river were larvae encountered during the months of May and June. Significant correlations were not found between environmental variables and larval density in both rivers. The data presented in this study are basic and should assist in the development of adequate methods of control, in view of the lack of studies on the life cycle of the mollusc in the region.

– Key-words

Planktonic larvae, Golden mussel, *Limnoperna fortunei*, Paraguay River, Miranda River, Bioinvasion.

ÍNDICE

Agradecimentos	3
Resumo	4
Abstract	5
Lista das figuras	7
Introdução	8
Objetivos	12
Metodologia	12
Resultados	19
Densidade de larvas	19
Estágios larvais	21
Variáveis ambientais	28
Profundidade	28
Temperatura	28
Oxigênio dissolvido	29
Clorofila	30
Material em suspensão	30
Turbidez	31
pH	31
Condutividade	31
Alcalinidade	32
Cálcio	32
Amônia	32
Fósforo	33
Nitrogênio	33
Discussão	37
Conclusão	53
Referências Bibliográficas	44

LISTA DAS FIGURAS

Figura 1 – Local de amostragem no rio Paraguai, próximo à cidade de Corumbá.	17
Figura 2 – Local de amostragem no Passo do Lontra, margem direita do rio Miranda.	18
Figura 3 – Densidade de larvas no plâncton dos rios Paraguai (RP) e Miranda (RM) entre fevereiro de 2004 e janeiro de 2005.	20
Figura 4 – Larvas de <i>Limnoperla fortunei</i> com a linha da charneira reta (larva D).	23
Figura 5 – Larvas de <i>Limnoperla fortunei</i> apresentando véu (larva véliger).	24
Figura 6 – Larvas de <i>Limnoperla fortunei</i> no estágio umbonado.	25
Figura 7 – Distribuição das larvas de <i>Limnoperla fortunei</i> nos estágios de desenvolvimento com a linha da charneira reta (D), véliger (V) e umbonado (U) no plâncton dos rios Paraguai e Miranda.	26
Figura 8 – Frequência relativa das larvas de <i>Limnoperla fortunei</i> por classes de comprimento (μm) no rio Paraguai (RP) e rio Miranda (RM).	27
Figura 9 – Variáveis ambientais nos rios Paraguai (P1) e Miranda (PL) entre fevereiro de 2004 e janeiro de 2005.	34
Figura 10 – Relação entre as variáveis ambientais e a densidade de larvas (número de indivíduos. m^{-1}) no rio Paraguai.	35
Figura 11 – Relação entre as variáveis ambientais e a densidade de larvas (número de indivíduos. m^{-1}) no rio Miranda.	36

INTRODUÇÃO

A introdução de espécies exóticas em ambientes aquáticos tem sido considerada uma ameaça ao equilíbrio de ecossistemas naturais (Darrigran, 2000). Um dos principais problemas associados à introdução de espécies é o crescimento desmedido de suas populações. Tal situação não ocorre no ambiente de origem, pois ainda não possuem inimigos naturais que limitem sua dispersão, através de competição ou predação, e acabam provocando alterações no meio ambiente. Os prejuízos causados pela introdução de espécies abrangem impactos ecológicos e econômicos (Colares *et al.*, 2002).

O mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), pertence à família Mytilidae, é uma espécie de bivalve de água doce nativa dos rios da China e Sudeste da Ásia (Darrigran *et al.*, 1998), que foi registrado pela primeira vez na América do Sul em setembro de 1991, na foz do rio da Prata, Argentina (Pastorino *et al.*, 1993). Sua introdução parece não ter sido intencional, o mais provável é que tenha sido acidentalmente, por meio da água de lastro de navios oriundos do sudeste da Ásia (Coreia e China). Isso se torna possível uma vez que a época do aparecimento da espécie na Argentina coincidiu com os picos mais altos de intercâmbio comercial entre aqueles países (Darrigran & Pastorino, 1995 *apud* Mansur *et al.*, 2003).

Limnoperna fortunei pertence à mesma família dos mexilhões marinhos que possuem uma glândula no pé, cuja secreção endurece e forma numerosos filamentos córneos, constituindo o bisso, capaz de lhes proporcionar fixação em praticamente qualquer tipo de substrato. A presença de bisso também permite a *L. fortunei* se fixar em substratos a qualquer altura da coluna d'água, facilitando o escape de predadores e de condições adversas (Colares *et al.*, 2002). A incrustação deste mexilhão é facilitada por suas larvas que se fixam em substratos duros incluindo a superfície interna de canos, peneiras, aquecedores e condensadores, alcançando altas densidades de mexilhões que chegam a ter de 3 a 4 cm em tamanho, e que obstruem o fluxo da água (Boltovskoy & Cataldo, 1999).

A navegação no sistema hidroviário dos rios Paraguai e Paraná foi o principal responsável pela introdução do mexilhão dourado para os rios da bacia do Alto Paraguai. Esta se deu através do transporte em cisternas, na água servida das barcaças e incrustações nos cascos de navios (Oliveira *et al.*, 2006).

No Brasil a ocorrência de *Limnoperna fortunei* já foi descrita para as bacias dos rios Paraná, Paraguai, Uruguai e lago Guaíba. No Pantanal, *L. fortunei* foi encontrado em 1998, no rio Paraguai (Oliveira *et al.*, 2000). Desde então tem sido observado colonizando diferentes tipos de substratos duros, ocorrendo em maior densidade nos afloramentos rochosos, como na região do Amolar, Acurizal, na Baía Gaíva e em pilastras de concreto da ponte ferroviária de Porto Esperança. A espécie já colonizou várias outras Baías como Tuiuiú, Castelo, Mandioré e Zé Dias. Também já foi constatada a presença no Canal do Tamengo, o qual liga a baía de Cáceres na Bolívia ao rio Paraguai (Oliveira *et al.*, 2004).

Em outras áreas do Pantanal a ocorrência se dá em menor densidade, nem sempre de fácil observação. Entre os tributários do rio Paraguai, *L. fortunei* foi observada nos rios Apa e Miranda. Em 2003, Barros *et al.* (2003) registraram a ocorrência deste bivalve invasor no trecho final do rio Miranda, na região do Passo do Lontra e em setembro de 2004 foi observada 15 km acima, à montante da foz do rio Vermelho (Oliveira *et al.*, 2004).

Desde sua chegada na América do Sul, *L. fortunei* tem provocado prejuízos tanto ambientais como econômicos. Segundo Darrigran & Drago (2000), o alto poder reprodutivo e a falta de inimigos naturais propiciam ao mexilhão dourado a formação de grandes aglomerados que reduzem a passagem no interior das tubulações, com decréscimo da velocidade do fluxo da água por fricção. Ocasionalmente, entupimentos nos sistemas coletores de água pelo acúmulo de conchas vazias e também a contaminação da água pela mortandade e deterioração em massa. Esses fatores levam à oclusão de bombas, filtros e sistemas de refrigeração de indústrias.

O mexilhão dourado tem causado prejuízos à fauna bentônica e peixes nativos (Maroñas *et al.*, 2003). No ambiente natural, *L. fortunei* altera a

composição das comunidades bentônicas, favorecendo o aparecimento de certas espécies em detrimento de outras (Mansur *et al.*, 2003).

Uma situação muito similar ocorre na América do Norte, nos Estados Unidos e no Canadá, desde 1986, com a presença da espécie *Dreissena polymorpha*, o mexilhão zebra, que possui morfologia funcional semelhante a *L. fortunei* (Boelman *et al.*, 1997 *apud* Colares *et al.*, 2002). Esse mexilhão exótico foi introduzido no lago St. Clair (EUA) e se dispersou rapidamente através dos grandes lagos e vários sistemas hídricos importantes causando graves impactos ecológicos e econômicos (Nalepa & Schloesser, 1993). Segundo Cataldo & Boltovskoy (2000) *Dreissena polymorpha* e *Limnoperna fortunei* se destacam entre as espécies de moluscos de água doce que mais causam prejuízos no ambiente onde estão introduzidas.

Esses animais são dióicos, liberam os gametas na água, onde ocorre a fecundação. Após a fertilização externa, o embrião passa por vários estágios até atingir o estágio ciliado de trocófora (Magara *et al.*, 2001). O mexilhão dourado passa por um estágio livre de desenvolvimento larval com uma fase não valvada e outra com valvas apresentando características morfológicas levemente diferentes. No primeiro estágio da fase valvada a linha da charneira é reta (larva de forma "D") e logo em seguida se transforma em uma larva véliger com natação ativa proporcionada pelo surgimento de um véu ou velo. Até alcançar seu último estágio larval o umbo vai aparecendo gradativamente como uma formação conspícua, o velo é reabsorvido e ocorre o desenvolvimento de um pé muscular e aderente. Neste estágio a larva se assemelha a uma forma juvenil prematura ou larva umbonada, pronta para se fixar ao substrato (Cataldo & Boltovskoy, 2000; Santos, 2004).

Em seu ambiente natural, no rio das Pérolas, na China, *L. fortunei* apresenta dois picos reprodutivos num mesmo ano para a gametogênese e a desova. Estes eventos parecem ser influenciados pelas variações sazonais da temperatura (Morton, 1982). Morton (1977) observou três períodos de assentamento larval em um reservatório na cidade de Hong Kong, relacionados com mudanças na temperatura e quantidade de oxigênio dissolvido na água, com

um aumento da desova durante as oscilações, tanto de aumento quanto de redução dessas variáveis.

Darrigran *et al.* (1999), verificaram no rio da Prata (Argentina), que a população de moluscos parece apresentar um processo de reprodução contínua, com picos de atividade de maturação sexual relacionadas com as mudanças de temperatura, tendo densidades de larvas altamente variáveis no plâncton ao longo de um ano. Cataldo *et al.* (2005) monitoraram larvas nascidas em laboratório desde o estágio de mórula até o assentamento e constataram que o aumento da temperatura parece acelerar o desenvolvimento larval.

O sucesso de estabelecimento da espécie, aumento da densidade e a estrutura organizacional da população são todos dependentes do recrutamento larval. Desta forma os eventos reprodutivos são etapas importantes para os processos de colonização e recrutamento. Informações populacionais detalhadas, em particular acerca das flutuações sazonais de reprodução, tornam-se necessárias para estabelecer uma estratégia adequada de controle principalmente em usinas hidrelétricas, onde as larvas entram para o sistema de produção e causam grandes prejuízos ao se instalarem. Por este motivo o controle do mexilhão dourado tem sido feito principalmente durante a fase larval.

Dadas as características da espécie e a tendência à expansão pelo aumento do tráfego de embarcações pelo mundo inteiro, futuras invasões de outros ambientes aquáticos são altamente prováveis. O conhecimento da biologia do mexilhão dourado na América do Sul, em particular dos estágios larvais, por meio do qual a dispersão ocorre mais rapidamente, é importante para o desenvolvimento de estratégias para controle da sua dispersão, pois essa espécie pode ser considerada presente em grande parte da área do Pantanal e aumenta rapidamente a sua distribuição.

As informações obtidas com estudos populacionais na Argentina (Boltovskoy & Cataldo, 1999; Darrigran *et al.*, 1999; Cataldo & Boltovskoy, 2000; Maroñas *et al.*, 2003) e na região sul do Brasil (Colares *et al.*, 2002; Mansur *et al.*, 2003; Santos, 2004), podem não refletir as mesmas características populacionais encontradas no Pantanal, pois as interferências do regime hidrológico são distintas

em cada ambiente. Isso pode determinar diferenças na temperatura e nas características físicas e químicas provavelmente resultando em respostas diferentes à colonização do novo ambiente (Oliveira *et al.*, 2006).

Este estudo objetiva fazer uma comparação entre a flutuação anual na densidade de larvas planctônicas do *Limnoperna fortunei* em dois rios situados na planície do Pantanal e analisar os fatores ambientais que influenciam a densidade de larvas, bem como as proporções dos vários estágios larvais no plâncton.

OBJETIVOS

1. Comparar as densidades de larvas do *Limnoperna fortunei* nos rios Paraguai e Miranda.
2. Comparar as proporções e tamanhos das diferentes fases larvais de *Limnoperna fortunei* nos rios Paraguai e Miranda.
3. Identificar se ocorrem correlações entre as densidades larvais do mexilhão dourado com as características físicas, químicas e biológicas da água nos locais amostrados.

METODOLOGIA

Área de estudo

A Bacia do Alto Paraguai é formada por uma malha de 175 rios, temporários e permanentes, conectados a baías, lagos, vazantes e corixos.

O rio Paraguai é o principal canal de drenagem da Bacia. Sua nascente situa-se nas encostas da serra dos Parecis, na porção norte do Pantanal e suas águas seguem em sentido sul com uma certa sinuosidade recebendo inúmeros afluentes até Corumbá, onde toma sentido sudeste até Porto Esperança, continuando no rumo sul até a confluência com o rio Paraná (Carvalho, 1986).

O rio Miranda, um dos principais tributários do rio Paraguai, nasce na serra de Maracajú, ao sul da Bacia do Alto Paraguai. Segue em direção noroeste e no seu alto curso é estreito e forma meandros. O baixo curso do Miranda no Pantanal apresenta uma faixa larga de inundação e drena uma área próxima a 47.000 km² incluindo a bacia do seu afluente Aquidauana (Carvalho, 1986).

A área estudada localiza-se dentro do Pantanal, uma extensa planície de inundação contínua que se formou ao longo do rio Paraguai durante o soergimento da cadeia andina e se individualizou no final do Mesozóico (Godoi Filho, 1986).

O Pantanal ocupa uma área de aproximadamente 140.000 km² na Bacia do Alto Paraguai. A planície de inundação apresenta baixas declividades que favorecem as inundações periódicas, pois dificultam o escoamento da água. Durante o período de inundação ocorre um fenômeno de deterioração da qualidade da água (decoada), que tem sido considerado um fator regulador de algumas comunidades bióticas (Calheiros & Hamilton, 1998). Tal fenômeno está relacionado com os processos de decomposição da matéria orgânica terrestre inundada durante o período de enchente, e levada para o leito dos rios e lagos. Durante a decomposição há consumo do oxigênio dissolvido e liberação do gás carbônico na água, e dependendo da sua intensidade e duração, torna o ambiente desfavorável para a maioria das espécies aquáticas.

O clima do Pantanal é quente e úmido no verão e frio e seco no inverno, com temperatura média anual de 25 °C e temperaturas máximas absolutas acima de 40 °C. A precipitação média anual é de 1.150 mm, com uma concentração do período de chuvas que é responsável por cerca de 45% da precipitação anual total (Guerrini, 1978 *apud* Calheiros & Fonseca Jr, 1996).

Procedimentos de amostragem

Os pontos de amostragem situaram-se em dois rios da planície pantaneira: um no rio Paraguai (latitude 57°39'20" S e longitude 19°59'55" O) à montante da

estação de captação de água da cidade de Corumbá, e outro no rio Miranda (latitude 57°02'15" S e longitude 19°34'39" O), próximo ao Hotel Passo do Lontra, município de Corumbá (Figuras 1 e 2).

Para a análise da densidade larval foram coletadas 12 amostras de plâncton em cada localidade, uma a cada mês, iniciando em fevereiro de 2004 até janeiro de 2005. Foram coletados 360 litros de água com auxílio de uma bomba d'água STHILL e filtrados em rede de plâncton de abertura de malha de 36 µm, coletados entre 2 e 3 metros de profundidade na margem direita de cada rio. As amostras foram fixadas e conservadas em álcool a 70%.

A tomada dos parâmetros limnológicos de cada local de amostragem foi feita para investigar a relação de influência destas variáveis na densidade de larvas do *L. fortunei*. Foram coletadas amostras de água a 60% da profundidade do ambiente amostrado, no meio (50% da largura do corpo d'água) e nas margens (25 e 75% da largura do corpo d'água) utilizando garrafa de Van Dorn. As amostras foram colocadas num balde, com agitador manual para homogeneização e, sob agitação, foram retiradas sub amostras para análises em laboratório.

As características físicas, químicas, e biológicas analisadas e os respectivos métodos foram: profundidade por meio de ecobatímetro, temperatura do ar (termômetro de mercúrio), temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH e condutividade por meio de medidas *in situ* utilizando medidores portáteis YSI, material em suspensão total segundo APHA (1998), transparência da água através do mergulho do disco de Secchi até o seu desaparecimento e reaparecimento, alcalinidade por meio de titulação de Gran (1952), cálcio por meio de espectrofotometria de absorção atômica segundo APHA (1998), amônia através do método colorimétrico por injeção em fluxo segundo Nobrega *et al.* (1991), nitrogênio e fósforo totais por meio do método colorimétrico com digestão com persulfato de potássio de acordo com Wetzel & Likens (1991) e clorofila *a* segundo Marker *et al* (1980). Os materiais e métodos utilizados nas coletas e no processamento das análises laboratoriais são rotina no Laboratório da Embrapa Pantanal.

Procedimentos de laboratório

As larvas valvadas dos mexilhões foram contadas em microscópio invertido Wild Leitz sob aumento de 200X. Devido a grande quantidade de sedimento e ao grande número de organismos presentes em algumas amostras foi utilizado um procedimento de subamostragem que consistiu em uma homogeneização através de agitação seguindo a figura de um oito padrão. Enquanto a amostra era misturada foi retirada uma subamostra de 2 ml com uma pipeta milimetrada de abertura de 4 mm. Foram contadas 5 subamostras (sem devolução) de cada amostra de plâncton de cada rio e em seguida foi calculada a densidade de larvas por metro cúbico (N de indivíduos. m^{-3}) (Bottrell *et al.*, 1976; McCallum, 1979; McCauley, 1984).

Para medir as larvas foi utilizada câmera digital MOTIC 1000 acoplada ao microscópio invertido Wild Leitz sob aumento de 200X, a qual captura imagens através do software Motic Image Plus 2.0 e as medidas das larvas. As fases larvais foram separadas tendo como base o tamanho e forma da concha, o desenvolvimento da charneira, a presença ou ausência do véu e do pé e a formação do umbo. De acordo com as diferenças na morfologia e tamanho foram chamadas de:

- Larva “D” – quando possui a linha da charneira reta, com comprimento de 120 a 150 μm segundo Choi & Kim (1985), 100 a 130 μm segundo Santos (2004) e 115 a 175 μm segundo Cataldo *et al.* (2005);
- Larva véliger – quando apresenta véu para natação, com comprimento de 150 a 190 μm segundo Choi & Kim (1985), 140 a 180 μm segundo Santos (2004) e ainda apresenta a linha da charneira reta (Cataldo *et al.*, 2005);
- Larva umbonada – quando tem o umbo bem definido, com comprimento de 190 a 230 segundo Santos (2004), 180 a 220 segundo Choi & Kim (1985) e 156 a 220 μm segundo Cataldo *et al.* (2005).

Todas as larvas observadas foram medidas entre a maior distância da região anterior para a posterior segundo Nichols & Black (1994). Os resultados das medições mensais foram plotadas na forma de histogramas de frequência de

comprimento em que o número total de espécimes em cada classe de 20 μm de tamanho foi expresso como uma porcentagem do número total dos animais presentes na amostra. Este procedimento tem a vantagem de permitir uma comparação direta entre todas as amostras.

Análise dos dados

A comparação da densidade e do tamanho das larvas entre os pontos de amostragem foram feitas por meio de Teste-t de Student. Para examinar as relações possíveis entre a variação temporal na densidade total de larvas e as características físicas, químicas e biológicas do ambiente foi feita uma matriz de correlação simples de Pearson, com os dados transformados ($\ln(x+1)$). As análises foram executadas através do programa estatístico Systat 11 (Wilkinson, 2004).



Figura 1 - Local de amostragem no rio Paraguai, próximo à cidade de Corumbá.



Imagem Landsat7, ano 2000 - Laboratório de Geoprocessamento da Embrapa Pantanal

Figura 2 – Local de amostragem no Passo do Lontra, margem direita do rio Miranda.

RESULTADOS

Densidade de larvas

Em geral, no rio Paraguai foi observado tendência a maior densidade de larvas que no rio Miranda, porém as diferenças de densidade, quando comparadas mês a mês nos dois rios não foram significativas ($t=1,09$; $p> 0,05$).

No rio Paraguai a densidade de larvas variou de 0 a 23.989 larvas.m⁻³. O pico de larvas foi observado em março de 2004, sendo que em fevereiro do mesmo ano foram registradas 6.958 larvas.m⁻³ (Fig. 3). A liberação de larvas ocorreu principalmente entre julho e março. Houve uma queda brusca na quantidade de larvas de abril a julho do mesmo ano, quando não foram encontradas larvas suficientes para indicar atividade reprodutiva, porém, a partir de agosto foi registrado um pequeno aumento de larvas no plâncton (320 larvas.m⁻³). A densidade de larvas permaneceu baixa nos meses de setembro a outubro (média de 140 larvas.m⁻³ em cada mês), com um sensível aumento em novembro (1.569 larvas.m⁻³), pausa em dezembro e novo aumento em janeiro de 2005 (6.257 larvas.m⁻³) como mostra a figura 3.

No rio Miranda a densidade de larvas variou de 0 a 7.373 larvas.m⁻³, com o pico de larvas observado em fevereiro de 2004. No mês seguinte houve um decréscimo (5.471 larvas.m⁻³) e parece ter ocorrido uma pausa na liberação de larvas de abril a junho. Houve um registro de larvas em julho (163 larvas.m⁻³) e nova pausa em agosto, e a partir de setembro há indícios de atividade reprodutiva, com 2.491 larvas.m⁻³. No mês de novembro não foram observadas larvas no plâncton e em dezembro houve um aumento (883 larvas.m⁻³), com novo declínio em janeiro (Fig.3).

Nos meses de maio e junho de 2004 não foram encontradas larvas em nenhum dos pontos amostrados (Fig. 3), o que indica um período de pouca ou nenhuma atividade reprodutiva.

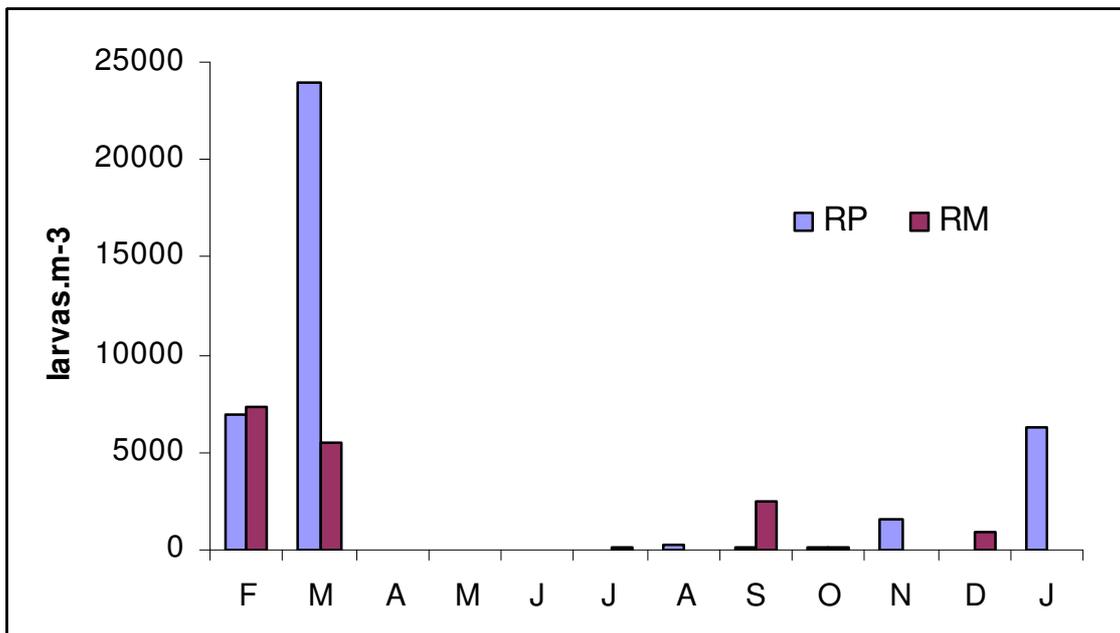


Figura 3 – Densidade de larvas (larvas.m⁻³) no plâncton dos rios Paraguai (RP) e Miranda (RM) entre fevereiro de 2004 e janeiro de 2005.

Estágios larvais

A maior parte das larvas registradas em cada mês (acima de 75%), em ambos os rios encontravam-se no estágio de desenvolvimento em que sua morfologia se assemelha à letra D por apresentar a linha da charneira reta. Nesse estágio foi possível visualizar uma massa no interior da concha sem definição aparente. Poucas larvas (menos de 10%) encontravam-se no estágio em que o umbo aparece formado. Não foram observados ovos nem larvas desprovidas de valvas em ambos os rios.

No rio Paraguai foram observadas larvas valvadas com a linha da charneira reta (larva D), variando de 86,7 a 134,7 μm de comprimento (Fig. 4). As larvas nesse estágio de desenvolvimento corresponderam a cerca de 78% dos indivíduos encontrados.

No estágio em que as larvas de charneira reta apresentam véu bem desenvolvido (larva veliger) (Fig. 5), o tamanho variou entre 130,0 a 139,9 μm de comprimento, e corresponderam a 13% do total amostrado.

Foram encontradas larvas com umbo levemente elevados (larvas umbonadas) em menor quantidade (menos de 10% do total) cujo tamanho variou de 134,5 a 221,1 μm de comprimento (Fig. 6).

No rio Miranda as larvas no estágio de desenvolvimento com a linha da charneira reta (larva D), corresponderam a 84% do total amostrado (Fig. 7), variando em tamanho de 88,7 a 131,5 μm . As larvas de charneira reta com véu apresentaram tamanho variando de 130,1 a 139,7 μm , representando cerca de 16% da amostragem total. Menos de 1% do total de larvas contadas encontraram-se no estágio umbonado, variando entre 143,2 e 167,9 μm de comprimento.

As densidades das fases D e veliger não foram significativamente diferentes entre os dois rios ao longo do período estudado ($t=0,72$; $p>0,05$ e $t=0,41$; $p>0,05$ respectivamente). No entanto a densidade de larvas na fase umbonada no rio Paraguai foi significativamente maior que a do rio Miranda ($t=2,73$, $p<0,05$).

O tamanho das larvas em cada um dos estágios, não diferiu entre os dois ambientes ($t=1,07$; $p>0,05$). A média de tamanho das larvas na fase D foi de 108,2 μm no rio Paraguai e 109,5 μm no rio Miranda. As larvas veliger mediram em

média 134,8 μm no rio Paraguai e 134,0 μm no rio Miranda. As larvas umbonadas no rio Paraguai mediram 147,2 μm em média e no rio Miranda 154,2 μm (Fig. 8).



Figura 4 – Larva de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) com a linha da charneira reta (larva D).



Figura 5 – Larvas de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) apresentando véu (larva véliger).



Figura 6 – Larvas de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) no estágio umbonado.

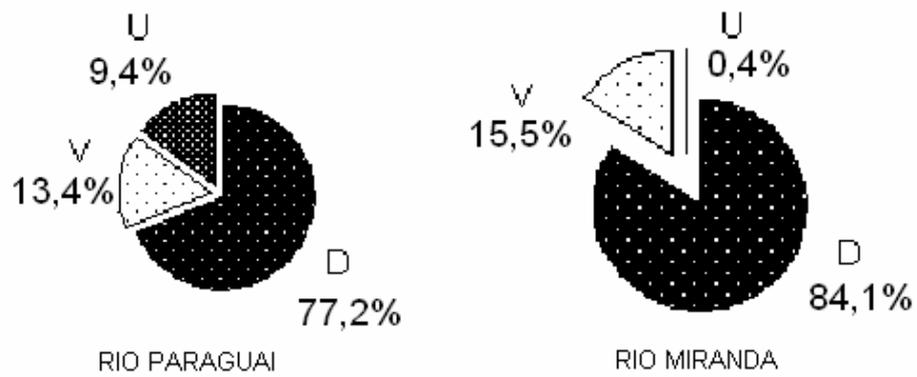


Figura 7 – Distribuição das larvas de *Limnoperna fortunei* nos estágios de desenvolvimento com a linha da carneira reta (D), véliger (V) e umbonado (U) no plâncton dos rios Paraguai e Miranda.

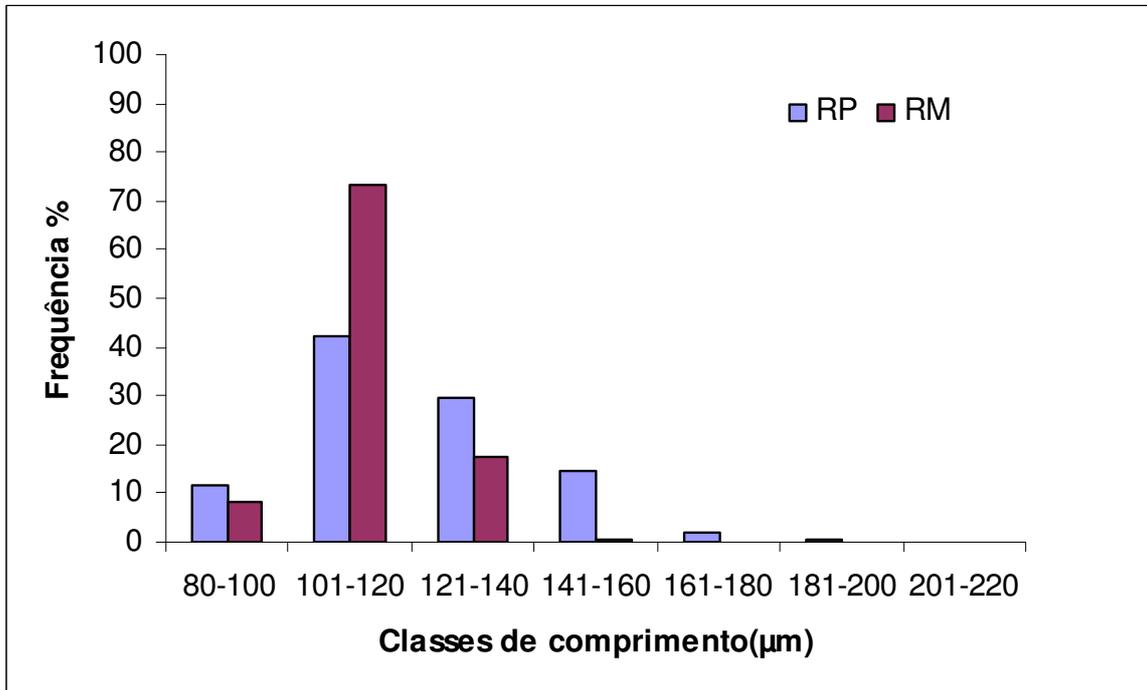


Figura 8 – Frequência relativa das larvas de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) por classes de comprimento (μm) no rio Paraguai (RP) e rio Miranda (RM), MS.

Variáveis ambientais

PROFUNDIDADE

A profundidade média observada no rio Paraguai foi de 5,6 metros, com mínima de 4,45 m durante os meses de outubro a dezembro e máxima de 7,35 m. Em setembro o nível do rio Paraguai, de acordo com a régua de Ladário, foi 0,7 m e o nível máximo foi observado em julho (10,8 m).

No rio Miranda a profundidade média observada foi de 2,7 metros, com máxima de 4,15 m no mês de junho e mínima no mês de outubro, sendo 1,2 m.

TEMPERATURA

A temperatura do ar apresentou uma amplitude térmica de 14,0 °C, variando de 20,0 °C a 34,0 °C, com média de 27,2°C, no local de amostragem do rio Paraguai. A temperatura mínima foi registrada no mês de maio e a máxima em fevereiro de 2004. A temperatura da água do rio Paraguai apresentou o menor valor (21,0 °C) durante o mês de junho e, em abril e dezembro de 2004 e em janeiro de 2005 foram observados os valores máximos de 31,1°C. Entre os meses de maio a setembro as temperaturas registradas estiveram abaixo da média anual observada de 26,9°C.

A média da temperatura do ar na região do rio Miranda foi de 27,5°C, variando entre 19,0 °C em maio a 36,0 °C em novembro de 2004, tendo uma amplitude térmica de 17,0 °C. A temperatura da água do rio Miranda variou de 20,1°C a 30,2°C, sendo a média de 26,3°C. Os menores valores foram registrados nos meses de maio e junho e os maiores em fevereiro e dezembro de 2004. De maio a setembro os valores de temperaturas estiveram abaixo da média anual.

A amplitude térmica da água em ambos os rios foi de aproximadamente 11,0 °C, oscilando entre 20,0 e 31,1 °C (Fig. 9). A variação da temperatura tanto da água quanto do ar ao longo do ano não foi significativamente diferente nos dois ambientes estudados ($t=1,34$; $p> 0,05$).

A variação da temperatura e da densidade de larvas não apresentou correlação significativa no rio Paraguai ($r= 0,377$), porém não foram registradas larvas durante as temperaturas mais baixas e os picos de densidade foram observados durante períodos de temperatura mais elevadas (Fig. 10). No rio Miranda também não foi observada influência da temperatura sobre a densidade de larvas ($r=0,425$) (Fig.11).

OXIGÊNIO DISSOLVIDO

A concentração de oxigênio dissolvido no rio Paraguai oscilou entre $0,45 \text{ mg.L}^{-1}$ (6,2% de saturação), em abril, e $9,22 \text{ mg.L}^{-1}$ (117% de saturação) em outubro (Fig. 9). A menor saturação de oxigênio dissolvido ficou em torno de 6% em ambos os rios. A comparação dos teores de oxigênio dissolvido entre os dois rios não apresentou diferenças significativas ($t= 0,49$; $p>0,05$). De fevereiro a junho de 2004 os níveis de oxigênio dissolvido estiveram abaixo da média observada no período de $5,28 \text{ mg.L}^{-1}$ (65,58% de saturação).

No rio Miranda a concentração de oxigênio dissolvido oscilou de $2,01 \text{ mg.L}^{-1}$ (6,24% de saturação) a $9,77 \text{ mg.L}^{-1}$ (124% de saturação). A menor concentração de oxigênio foi observada em janeiro de 2005 e a maior concentração foi observada em setembro de 2004 (Fig.9). Nos meses de fevereiro e abril e de novembro de 2004 a janeiro de 2005 foram observados valores abaixo da média anual de $5,68 \text{ mg.L}^{-1}$ (67,9% de saturação).

Não se observou influência da concentração de oxigênio dissolvido sobre a densidade de larvas no plâncton tanto no rio Paraguai ($r= -0,295$) (Fig.10) como no rio Miranda ($r=0,032$) (Fig. 11), embora em abril de 2004 houve uma diminuição brusca da densidade de larvas no plâncton do rio Paraguai que coincidiu com uma queda na quantidade de oxigênio dissolvido na água e valores elevados de temperatura.

CLOROFILA

A concentração média de clorofila medida na água do rio Paraguai foi de $1,42 \mu\text{g.L}^{-1}$, com variações de $0,00 \mu\text{g.L}^{-1}$ a $4,62 \mu\text{g.L}^{-1}$. Durante os meses de junho, outubro e novembro de 2004 e janeiro de 2005 os valores estiveram abaixo do limite de detecção (Fig. 9).

A média anual da concentração de clorofila no rio Miranda foi de $1,38 \mu\text{g.L}^{-1}$, tendo variações de $0,00 \mu\text{g.L}^{-1}$ a $3,62 \mu\text{g.L}^{-1}$. Nos meses de junho e novembro os valores estiveram abaixo do nível de detecção.

A concentração de clorofila da água dos dois rios não apresentou diferenças significativas na sua variação ($t= 0,09$; $p >0,05$). A variação da concentração de clorofila e a densidade de larvas de mexilhão dourado não apresentaram correlação tanto no rio Paraguai ($r=0,676$) (Fig.10) como no rio Miranda ($r= 0,394$) (Fig.11).

MATERIAL EM SUSPENSÃO

A concentração de material em suspensão total (MST) no rio Paraguai variou entre $7,33 \text{mg.L}^{-1}$ e $64,15 \text{mg.L}^{-1}$, com média anual de $31,66 \text{mg.L}^{-1}$. O maior valor de MST foi observado no mês de dezembro, período de águas baixas no rio Paraguai, e o menor valor ocorreu em junho de 2004, período de águas altas. No rio Miranda a variação da concentração de material em suspensão total esteve entre $13,25 \text{mg.L}^{-1}$ e $78,6 \text{mg.L}^{-1}$, com média anual de $44,02 \text{mg.L}^{-1}$. Durante o mês de abril, período de águas altas, foi constatado o maior valor de MST e o menor foi registrado no mês de julho de 2004, período de águas baixas (Fig. 9).

A concentração de material em suspensão não foi significativamente diferente entre os rios ($t=0,56$; $p>0,05$). A densidade de larvas e a variação da concentração de material em suspensão não apresentaram correlação tanto no rio Paraguai ($r=0,075$) (Fig.10) como no rio Miranda ($r=-0,225$) (Fig.11).

TURBIDEZ

A turbidez da água do rio Paraguai variou de 5,91 NTU a 94,1 NTU, com média de 37,5 NTU, sendo o maior valor registrado na época de seca. A variação da turbidez da água no rio Miranda foi de 2,8 NTU a 94,4 NTU, com média de 34,7 NTU (Fig.9).

A turbidez não apresentou diferenças significativas entre os rios ($t=0,55$; $p>0,05$) e também não influenciou a densidade de larvas tanto no rio Paraguai ($r=0,013$) (Fig. 10) como no rio Miranda ($r=-0,225$) (Fig. 11).

pH

No rio Paraguai o pH variou de 4,53 a 6,78 com média de 6,00. O valor mais baixo ocorreu no mês de dezembro e o mais elevado foi observado no mês de setembro. No rio Miranda o pH manteve-se entre 6,11 em dezembro a 7,79 em outubro com média anual de 6,98 (Fig. 9).

O pH do rio Miranda foi significativamente maior do que o registrado no rio Paraguai ($t=7,56$; $p<0,05$). A variação do pH não apresentou correlação significativa com a densidade de larvas no rio Paraguai ($r=0,081$) (Fig. 10), nem no rio Miranda ($r=0,183$) (Fig. 11).

CONDUTIVIDADE

A condutividade no rio Paraguai variou de $37,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em novembro de 2004 a $56,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em abril de 2004, com média de $44,2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. No rio Miranda a variação foi de $120,2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em maio a $197,2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em dezembro de 2004, com média de $143,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Fig. 9).

No rio Miranda a condutividade foi significativamente maior que no rio Paraguai ($t=14,4$; $p<0,05$). A variação da condutividade não apresentou correlação com a densidade de larvas tanto no rio Paraguai ($r=0,131$) (Fig. 10) como no rio Miranda ($r=-0,076$) (Fig. 11).

ALCALINIDADE

No rio Paraguai a alcalinidade variou de 497,6 mEq.L⁻¹ em abril de 2004 a 160,1 mEq.L⁻¹ em dezembro do mesmo ano. A média para o período foi de 318,8 mEq.L⁻¹. A alcalinidade no rio Miranda variou de 1.011,4 mEq.L⁻¹ em maio de 2004 a 2.065,3 mEq.L⁻¹ em dezembro de 2004, com média de 1.503 mEq.L⁻¹ (Fig. 9). A alcalinidade do rio Miranda foi significativamente maior do que a registrada no rio Paraguai ($t=11,88$; $p<0,05$).

A variação da alcalinidade não foi correlacionada significativamente com a densidade de larvas, tanto no rio Paraguai ($r=0,118$) (Fig. 10) como no rio Miranda ($r=-0,114$) (Fig. 11).

CÁLCIO

No rio Paraguai a concentração de cálcio variou de 0,95 µg.L⁻¹ em fevereiro a 5,89 µg.L⁻¹ em abril de 2004, com média de 3,99 µg.L⁻¹. No rio Miranda a variação da concentração de cálcio foi de 12,49 µg.L⁻¹ em fevereiro a 23,43 µg.L⁻¹ em dezembro de 2004, com média de 18,36 µg.L⁻¹ (Fig. 9). A concentração de cálcio no rio Miranda foi significativamente maior do que a concentração do rio Paraguai ($t=18,88$; $p<0,05$).

A concentração de cálcio não foi correlacionada significativamente com a densidade de larvas tanto no rio Paraguai ($r=-0,237$) (Fig. 10) quanto no rio Miranda ($r=-0,494$) (Fig. 11).

AMÔNIA

No rio Paraguai a concentração de amônia ficou abaixo do limite de detecção em janeiro de 2005 e atingiu o valor máximo de 98,82 µg.L⁻¹ em outubro de 2004, com média de 42,10 µg.L⁻¹. No rio Miranda a variação da concentração de amônia ficou abaixo do limite de detecção em março e novembro de 2004 e atingiu o valor máximo de 84,49 µg.L⁻¹ em agosto de 2004, com média de 25,10

$\mu\text{g.L}^{-1}$ (Fig. 9). A concentração de amônia nos dois rios não apresentou diferenças significativas ($t=1,51$; $p>0,05$).

A concentração de amônia não foi correlacionada significativamente com a densidade de larvas tanto no rio Paraguai ($r=-0,152$) (Fig. 10) quanto no rio Miranda ($r=-0,346$) (Fig. 11).

FÓSFORO TOTAL

No rio Paraguai a concentração de fósforo total variou de $15,09 \mu\text{g.L}^{-1}$ em setembro a $96,41 \mu\text{g.L}^{-1}$ em abril de 2004, com média de $33,10 \mu\text{g.L}^{-1}$. No rio Miranda a variação da concentração de fósforo foi de $4,51 \mu\text{g.L}^{-1}$ em março a $281,74 \mu\text{g.L}^{-1}$ em dezembro de 2004, com média de $76,70 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Fig. 9). A concentração de fósforo no rio Miranda foi significativamente diferente do que a do rio Paraguai ($t=2,56$; $p<0,05$).

A concentração de fósforo não foi correlacionada significativamente com a densidade de larvas tanto no rio Paraguai ($r=-0,194$) (Fig. 10) quanto no rio Miranda ($r=-0,158$) (Fig. 11).

NITROGÊNIO TOTAL

No rio Paraguai a concentração de nitrogênio variou de $499,9 \mu\text{g.L}^{-1}$ em julho a $1075,6 \mu\text{g.L}^{-1}$ em maio de 2004, com média de $652,7 \mu\text{g.L}^{-1}$. No rio Miranda a variação da concentração de nitrogênio foi de $428,6 \mu\text{g.L}^{-1}$ em julho a $763,4 \mu\text{g.L}^{-1}$ em novembro de 2004, com média de $571,3 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Fig. 9). A concentração de nitrogênio nos dois rios não apresentou diferenças significativas ($t=1,81$; $p>0,05$).

A concentração de nitrogênio não foi correlacionada significativamente com a densidade de larvas tanto no rio Paraguai ($r=-0,308$) (Fig. 10) quanto no rio Miranda ($r=-0,175$) (Fig. 11).

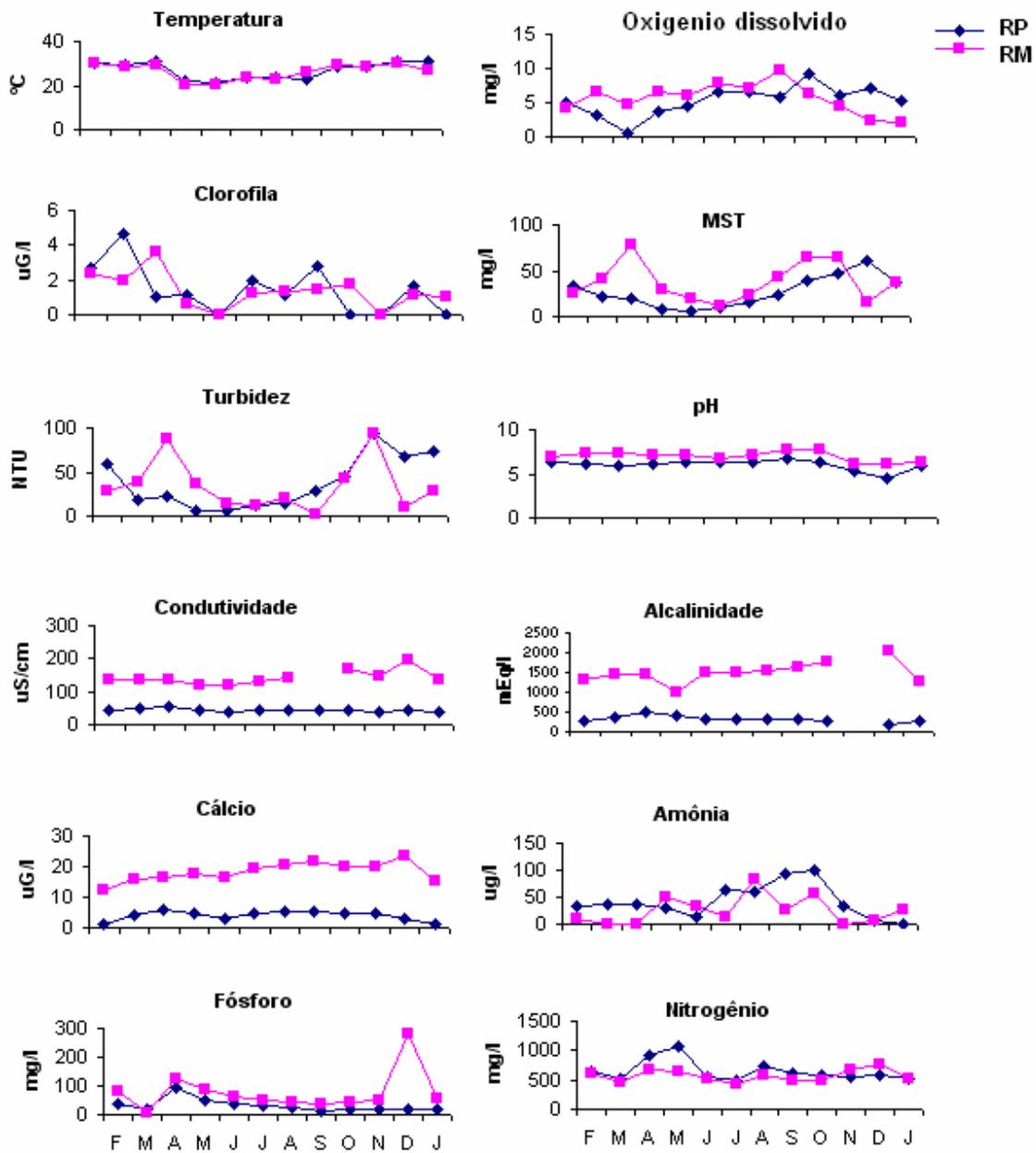


Figura 9 – Variáveis ambientais nos rios Paraguai (RP) e Miranda (RM) entre fevereiro de 2004 e janeiro de 2005.

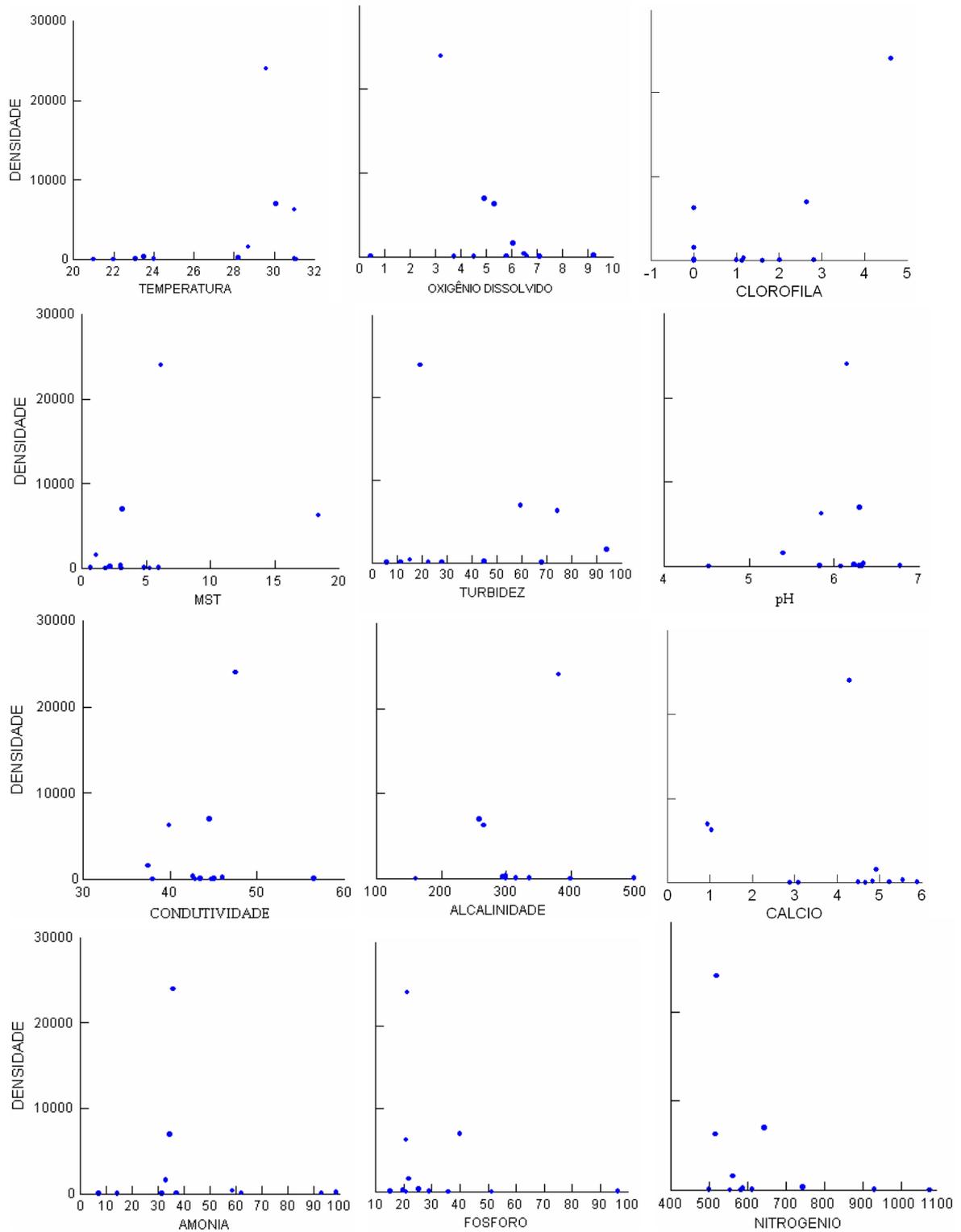


Figura 10 – Relação entre as variáveis ambientais e a densidade de larvas (número de indivíduos.m⁻³) no rio Paraguai.

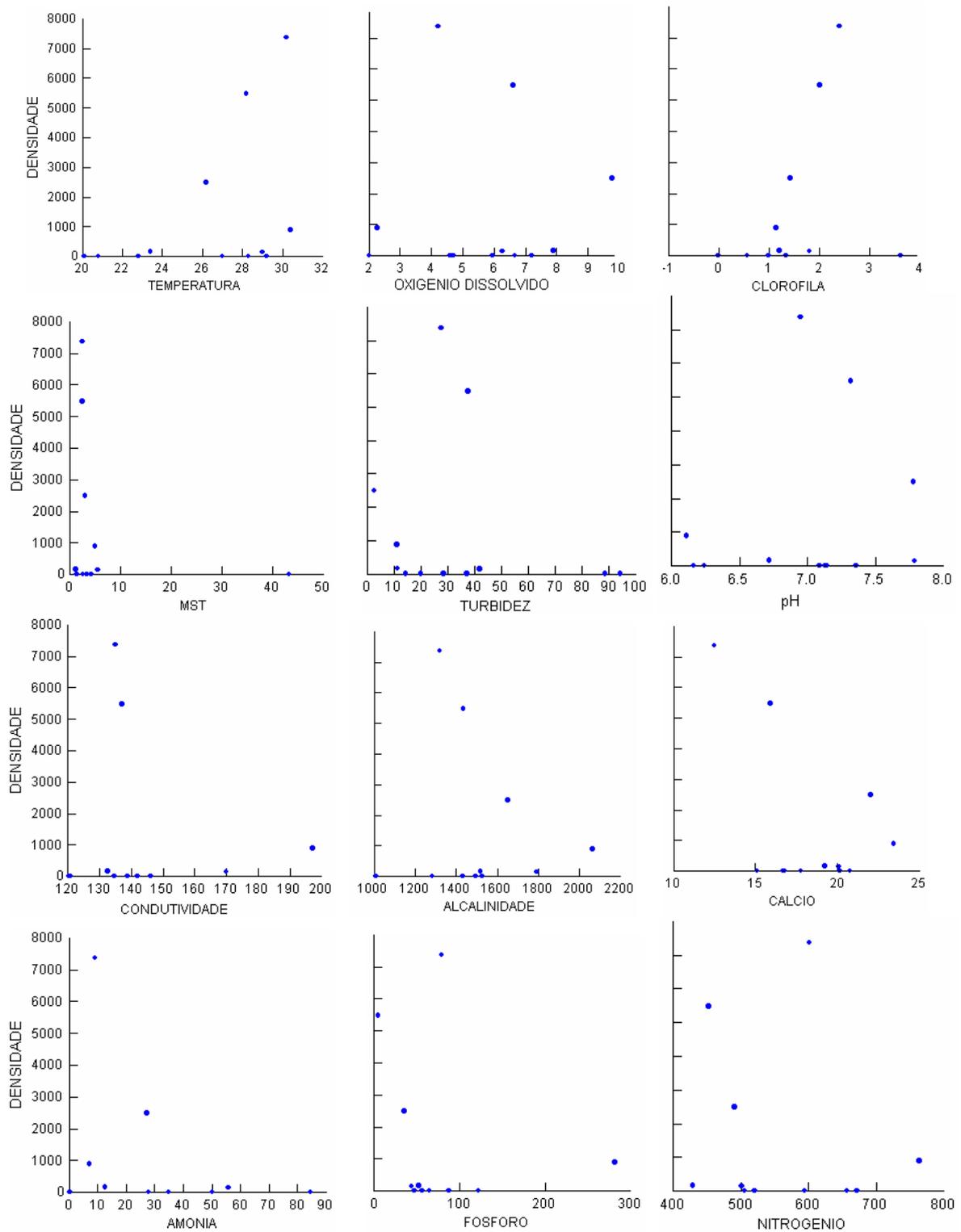


Figura 11 – Relação entre as variáveis ambientais e a densidade de larvas (número de indivíduos.m⁻³) no rio Miranda.

DISCUSSÃO

O desenvolvimento larval é um processo que ocorre de maneira contínua e gradual, porém ao longo desse processo é possível observar as diferenciações de cada estágio pelo qual a larva evolui no plâncton antes de se tornar um indivíduo juvenil e assentar-se em um substrato. As transformações compreendem basicamente as etapas não valvadas, desde o ovo até a trocófora, e as etapas onde as larvas possuem valvas que podem ser diferenciadas através de sua morfologia funcional (Santos, 2004; Cataldo *et al.*, 2005).

O ovo de *Limnoperna fortunei* possui forma esférica com diâmetro em torno de 80 µm, é compacto e apresenta material viscoso no seu entorno. As larvas que não possuem valvas são denominadas trocóforas e evoluem de um formato circular com cílios, medido em torno de 85 µm de diâmetro, passando por um formato alongado com achatamento lateral até apresentar primórdios de concha com comprimento em torno de 125 µm (Choi & Shin, 1985; Santos, 2004).

No estágio umbonado as larvas perdem gradativamente o véu que utilizam para nadar ativamente e começam a formar um pé que lhes permitirão rastejar. Quando estão próximas de se assentar em um substrato o pé secreta filamentos de bisso para possibilitar fixação (Choi & Kim, 1985).

As etapas do desenvolvimento larval do mexilhão dourado são muito semelhantes ao da espécie invasora da América do Norte, o mexilhão zebra, que passa pelos mesmos estágios de desenvolvimento no plâncton. Esse molusco está separado taxonomicamente de *Limnoperna fortunei* ao nível de sub-classe, pertencendo à ordem Veneroida. Apesar disso, partilham vários aspectos ecológicos e biológicos por serem ambos dióicos e de tamanho similar, possuem crescimento rápido, se fixam em substratos duros por meio de um bisso forte e são facilmente dispersos por meio de suas larvas planctônicas. As larvas das duas espécies possuem semelhanças anatômicas, morfológicas e métricas, porém *Dreissena polymorpha* é um bivalve de água doce ainda não presente no hemisfério sul (Choi & Shin, 1985; Nichols & Black, 1994; Cataldo & Boltovskoy, 2000). Ambas espécies têm sua dispersão favorecida pelo transporte das larvas

para locais distantes de sua origem permanecendo latente por grandes períodos, sem continuar a metamorfose, até completar seu desenvolvimento quando chegam em um local favorável (Darrigran, 2002).

As medidas fornecidas por Choi & Kim (1985) para as larvas de populações de *Limnoperna fortunei* na Ásia não se enquadram naquelas observadas para populações encontradas na América do Sul (Cataldo & Boltovkoy, 2000; Santos *et al.*, 2005) para os estágios larvais correspondentes. As medidas obtidas no presente estudo também não se enquadraram nas descrições dos autores citados acima.

As classes de tamanho de populações asiáticas relatadas por Choi & Kim (1985) e Choi & Shin (1985) para as diferentes fases larvais do *L. fortunei*, coletadas sob temperatura de 25,0 °C, são relativamente maiores do que as registradas neste estudo. As medidas das larvas da forma D variaram entre 120,0 e 220,0 µm na Coréia. Na Argentina Cataldo *et al.* (2005) encontraram larvas véligers com a linha da charneira reta (larva D) de 115,0 a 175,0 µm a temperaturas em torno de 25,0 °C em condições de laboratório. No lago Guaíba Santos *et al.* (2005) encontraram medidas de 100,0 a 130,0 µm para as larvas na mesma etapa de desenvolvimento sendo que a temperatura do lago Guaíba durante o período estudado teve média de 21,0 °C, variando entre 12,0 °C e 27,5°C. No estudo conduzido nos rios Paraguai e Miranda, as larvas de charneira reta (larva D) compreenderam a faixa de tamanho de 86,7 a 139,7 µm sob temperaturas mais elevadas, variando de 21,0 °C a 31,1°C no rio Paraguai e 20,1°C a 30,2°C no rio Miranda, com médias de 26,9 °C e 26,3 °C respectivamente. Assim como observado nos rios Paraguai e Miranda a maioria das larvas observadas por Santos (2004) no lago Guaíba encontravam-se na fase de desenvolvimento com a linha da charneira reta (larva D). Cataldo & Boltovskoy (2000) também encontraram em amostras do rio da Prata a maioria das larvas no estágio D e véliger, constituindo cerca de 80% da amostra. As larvas umbonadas representaram apenas 20% do total de larvas amostradas.

De acordo com Choi & Kim (1985) e Choi & Shin (1985) a proporção relativa dos dois primeiros estágios larvais depende de vários fatores, em

particular da duração de cada fase. A duração do estágio D é em torno de 1 a 2 dias, enquanto que da véliger é de 8 a 9 dias. O fato das larvas umbonadas representarem uma pequena proporção pode sugerir que o estabelecimento no substrato deve ocorrer antes que a metamorfose seja completa, pois segundo os autores citados acima, a duração desse estágio é de mais de 10 dias, porém, apesar de serem pequenos em comparação com as pós-larvas, já apresentam um pé e conseguem se rastejar ativamente no substrato (Santos *et al.*, 2005). Um fator que pode explicar a diminuição da densidade de larvas a medida em que evoluem nos estágios de desenvolvimento é a grande mortalidade nos estágios iniciais, que faz parte de uma estratégia para garantir o sucesso da espécie na colonização do ambiente (Dillon, 2000).

A densidade de larvas em ambos os rios mostrou-se altamente variável ao longo do ano, oscilando entre ausência completa de larvas e densidades de mais de 20.000 ind.m⁻³ no rio Paraguai. A ausência de larvas no material amostrado em alguns meses não necessariamente indica uma pausa na reprodução, mas pode também estar relacionado ao intervalo de amostragem maior que a duração do ciclo larval, conforme os autores citados acima relataram ser de algumas semanas.

Num estudo realizado na usina hidrelétrica binacional de Yacyretá, no rio Paraná, entre o Paraguai e a Argentina, as larvas estiveram ausentes apenas de 2 a 4 meses do ano. As maiores densidades foram observadas apenas durante curtos períodos entre os meses de novembro e dezembro, quando a temperatura da água começou a aumentar alcançando os valores máximos do verão, então as densidades começaram a declinar antes da temperatura diminuir (Darrigran *et al.*, 2000).

No rio Paraguai a espécie está presente desde 1998, portanto, há mais tempo do que no rio Miranda, observada em 2003, e por isso as maiores densidades observadas nesse rio podem estar relacionadas ao tempo de estabelecimento no ambiente, que no rio Miranda é mais recente.

O fato de não existir uma diferença significativa entre as densidades de larvas nos dois rios, pode ser devido a semelhanças nas variações das condições

ambientais. Os dois locais estão sujeitos, sazonalmente, aos ciclos periódicos de cheia e seca, que alteram a qualidade da água. Essas variações parecem interferir na densidade de larvas da mesma forma nos dois ambientes apesar das diferenças físico químicas existentes entre eles.

A influência da temperatura na indução da desova é bem conhecida para várias espécies de moluscos, sendo que o aumento na temperatura resulta no aumento da atividade reprodutiva (Morton, 1977). Para uma ampla classe de bivalves e para o *Limnoperna fortunei*, a temperatura parece ser um fator que atua no desencadeamento da atividade reprodutiva, bem como na intensidade desse processo. Morton (1982) constatou que a gametogênese e a desova são influenciadas pelas variações sazonais na temperatura da água e Santos *et al.* (2003) observaram picos de densidade de larvas nos meses de outubro e dezembro de 2002, coincidindo com um período de altas temperaturas da água. Nos rios Paraguai e Miranda os maiores registros de densidade larval também ocorreram acompanhando as altas nas temperaturas. Cataldo & Boltovskoy (2000) constataram que a reprodução do mexilhão dourado se dá de forma contínua entre agosto e abril, ocorrendo uma diminuição na densidade de larvas durante o período de temperaturas mais baixas compreendido entre maio e julho. No rio Paraguai foi observada a presença de larvas no período de julho a novembro e de janeiro a abril, com pausa em dezembro, não sendo constatada a presença de larvas em maio e junho. No rio Miranda também não foi observada presença contínua de larvas no plâncton ao longo do período estudado.

Cataldo *et al.* (2005) observaram, em condições de laboratório, que sob temperaturas mais baixas (em torno de 20 °C) a metamorfose das larvas não se completou e com o aumento da temperatura de 25 °C para 28 °C as larvas completavam a metamorfose em menos tempo. Durante este estudo as temperaturas dos dois rios estiveram em torno de 20 °C entre maio e junho e por isso a metamorfose pode não ter ocorrido e não foram detectadas larvas no plâncton.

Morton (1977) relacionou o período de assentamento das larvas com as oscilações de temperatura e oxigênio dissolvido na água, e observou que a

desova ocorria, ou durante períodos de aumento da temperatura e diminuição do nível de oxigênio dissolvido, ou durante baixas na temperatura e elevação dos níveis de oxigênio.

No rio Paraguai houve uma queda acentuada da concentração de oxigênio dissolvido no mês de abril de 2004, com valores próximos a zero, devido ao início da decoada. A decoada é um fenômeno regional de alteração na qualidade da água que ocorre todos os anos nos ambientes da planície pantaneira, em maior ou menor intensidade, devido a decomposição da matéria orgânica inundada nos campos durante a enchente. Subseqüente a decoada foi observada queda de temperatura. Coincidente com este fenômeno observou-se uma redução na quantidade de larvas no plâncton e no mês seguinte não foram observadas larvas no plâncton. O rio Miranda não teve suas águas fortemente afetadas com esse fenômeno devido a pequena intensidade da cheia que ocorreu no período estudado, porém uma queda na densidade de larvas também foi observada nesse rio. O fenômeno de decoada tem sido considerado como um importante fator regulador das comunidades aquáticas no Pantanal (Calheiros & Hamilton, 1998; Oliveira *et al.*, 2006). Pode ser considerado um fator que regula as atividades reprodutivas do mexilhão dourado impedindo sua proliferação descontrolada.

Durante o fenômeno de decoada, além da alteração nos níveis de oxigênio, ocorrem alterações em outras variáveis físico-químicas. O conjunto dessas alterações propicia a formação de um ambiente estressante para muitas espécies, inclusive para o *Limnoperna fortunei*, que na tentativa de garantir o sucesso no ambiente poderiam liberar gametas fora do período reprodutivo. As variações súbitas da temperatura seriam um fator que, segundo Darrigran *et al.* (1999), estimulariam a gametogênese e a desova.

Um das variáveis que exerce influência sobre as demais características físicas e químicas afetando a distribuição das espécies aquáticas é o pH (Esteves, 1988). Na América do Norte, a temperatura, o pH e a concentração de cálcio são os fatores ambientais que mais influenciam o desenvolvimento da espécie exótica *Dreissena polymorpha* (Claudi & Mackie, 1994).

Na Argentina, Cataldo & Boltovskoy (2000) verificaram que esses mesmos parâmetros também foram os que mais se associaram com as densidades larvais de *L. fortunei*. Os rios da bacia do alto Paraguai geralmente apresentam suas águas com pH na faixa em torno do neutro em todas as épocas do ano. Porém na época de decoada o pH pode ser alterado devido à grande decomposição de matéria orgânica, o que faz com que haja liberação de ácidos na água e conseqüente alteração do pH, como ocorrido com o rio Paraguai no mês de abril de 2004. Em novembro e dezembro do mesmo ano houve uma alteração nos valores de pH, durante a fase de vazante, onde as águas da planície entram para o rio Paraguai. Nesse mesmo período, junto com a água que escoava da planície de inundação são carregadas partículas sólidas em suspensão para o leito do rio. No rio Paraguai, em dezembro de 2004, foi constatada a maior concentração de partículas sólidas em suspensão e coincidiu com ausência de larvas no plâncton. No rio Miranda uma situação similar ocorreu em abril de 2004, nos meses em que houve maior quantidade de sedimento nos rios não foi observada a presença de larvas, contudo a concentração de material em suspensão nos rios não estabeleceu relações significativas com a densidade de larvas.

No rio Uruguai além da temperatura como fator responsável pelo desenvolvimento larval do *Limnoperna fortunei*, Irurueta *et al.* (2002) verificaram que a quantidade de substâncias sólidas dissolvidas também afetou o ciclo da espécie. A densidade de larvas foi associada aos valores de sólidos dissolvidos em torno de 44,5 mg.L⁻¹ e temperatura de 22,5 °C.

De acordo com Ricciardi (1998) a concentração de cálcio pode ser um fator limitante para o estabelecimento de *L. fortunei* num ambiente, pois os mexilhões requerem concentrações de mais de 3 mg.L⁻¹. No rio Paraguai a concentração de cálcio variou de 0,95 µg.L⁻¹ a 5,89 µg.L⁻¹ enquanto no rio Miranda, devido as características da sua bacia de drenagem em regiões calcáreas, a variação foi de 12,49 µg.L⁻¹ a 23,43 µg.L⁻¹, o que seria uma condição mais favorável para o estabelecimento da espécie, principalmente para o seu crescimento, porém não foi observado maior tamanho no rio Miranda em relação ao rio Paraguai. Apesar de níveis mais altos de cálcio serem observados no rio Miranda, sua concentração

não influenciou o tamanho e a densidade das formas larvais, como poderia ser esperado, pois segundo Claudi & Mackie (1994) a concentração de cálcio pode ser um fator limitante ao desenvolvimento dos moluscos.

CONCLUSÃO

Observou-se uma grande variação na densidade de larvas ao longo do período estudado, tanto no plâncton do rio Paraguai como no do rio Miranda, acompanhando principalmente as variações na temperatura da água. No rio Paraguai (3291 larvas.m⁻³) observou-se uma tendência para maior densidade média que no rio Miranda (1377 larvas.m⁻³), provavelmente pelo maior tempo de colonização. Não se observou diferenças significativas entre a densidade de larvas nos dois ambientes, o que pode ser em decorrência da flutuação das variáveis limnológicas, as quais estariam atuando da mesma forma nos dois locais, apesar das diferenças físicas e químicas existentes entre os dois ambientes.

A maior parte das larvas encontrou-se no estágio de desenvolvimento de forma D em ambos os rios. O tamanho observado para as larvas no Pantanal parece ser menor do que os relatados para o Sul do Brasil, Argentina e o local de origem da espécie provavelmente devido a temperaturas mais elevadas registradas na região do Pantanal, o que poderia acelerar o processo de desenvolvimento, fazendo com que as larvas completassem a metamorfose em menos tempo e atingindo menor tamanho.

Tanto no rio Paraguai como no rio Miranda, a influência dos fatores ambientais sobre a densidade de larvas não foi demonstrada pelas análises estatísticas, embora tenha sido verificada uma tendência da densidade de larvas aumentar sob temperaturas mais elevadas. A complexidade dos ambientes amostrados em relação às variáveis físico-químicas torna difícil estabelecer os fatores que influenciam a variação da densidade de larvas. O fato de o molusco produzir larvas durante uma grande parte do ano dificulta ainda mais o seu controle.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Public Health Association - APHA. (1998). Water Environment Federation and American Water Works Association. Standard methods for the Examination of Water and Wastewater. 20^a edição. Washington USA.

Barros, L.F.; Oliveira, M.D.; Silva, L.C.R.; Eilers, V.; Takeda, A.M. (2003). Ocorrência do Mexilhão Dourado (*Limnoperna fortunei*) no rio Miranda, Pantanal – MS, Brasil. *IX Congresso Brasileiro de Limnologia 2003*. Resumos.

Boltovskoy, D.; Cataldo, D. H. (1999). Population dynamics of *Limnoperna fortunei*, an invasive fouling mollusc, in the Lower Parana River (Argentina). *Biofouling*, vol 14 (3), pp. 255-263.

Bottrell, H.H., A. Duncan, Z. Gliwicz, E. Grygierek, A. Herzig, A. Hillbricht-Ilkowska, H. Kurasawa, P. Larsson, and T. Weglenska. 1976. A review of some problems in zooplankton production studies. *Norwegian Journal of Zoology* 24 pp: 419-456.

Calheiros, D. F.; Fonseca Júnior, W. C. da (1996). Perspectivas de estudos ecológicos sobre o Pantanal. Corumbá, MS: Embrapa-CPAP. Documentos 18. 41p.

Calheiros, D. F.; Hamilton, S. K. (1998). Limnological conditions associated with natural fish kills in the Pantanal wetland of Brazil. *Verhandlungen - Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 26 pp: 2189-2193.

Carvalho, N. O. (1986). Hidrologia da Bacia do Alto Paraguai. *Anais do I Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio- Econômicos do Pantanal*: pp. 43-49

Cataldo, D. H.; Boltovskoy, D.; Hermosa, J. L.; Canzi, C. (2005). Temperature-dependent rates of larval development in *Limnoperna fortunei* (Bivalvia : Mytilidae). *Journal of Molluscan Studies* 71 (1) pp: 41-46.

Cataldo, D. H.; Boltovskoy, D. (2000). Yearly reproductive activity of *Limnoperna fortunei* (Bivalvia) as inferred from the occurrence of its larvae in the plankton of the lower Parana river and the Rio de la Plata estuary (Argentina). *Aquatic Ecology* 34 pp: 307-317.

Choi, S. S.; Kim, J. S. (1985). Studies on the metamorphosis and the growth of larva in *Limnoperna fortunei*. *Korean Journal of Limnology*. Seoul 1 pp:13-18.

Choi, S. S.; Shin, C. N. (1985). Study on the early development and larvae of *Limnoperna fortunei*. *Korean Journal of Limnology*. Seoul 1 pp: 5-12.

Claudi, R; Mackie, G. L. (1994). *Practical Manual for Zebra Mussel Monitoring and Control*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 227p.

Colares, E. R. C.; Suminsky, M.; Bendati, M. M. A. (2002). Diagnóstico e controle do mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei*, em sistemas de tratamento de água em Porto Alegre (RS/Brasil). VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória – ES.

Darrigran, G. (2000). Invasive freshwater bivalves of the Neotropical Region. *Dreissena*, New York, 11(2) pp: 7-13.

Darrigran, G. (2002). Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. *Biological Invasions* 4 pp: 145-156.

Darrigran, G. & Drago, I. E. (2000). Invasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in South América. *The Nautilus* 114 (2) pp: 69-73.

Darrigran, G.; Martin, S.M.; Gullo, B.; Armendáriz, L. (1998). Macroinvertebrates associated with *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) in Rio de La Plata, Argentina. *Hydrobiologia* 367 pp: 223-230.

Darrigran, G.; Pastorino, G. (1995). The Recent Introduction of a Freshwater Asiatic Bivalve, *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) into South America. *The Veliger* 38(2) pp: 171-175.

Darrigran, G.; Penshaszadeh, P.; Dramborenea, M.C. (1999). The reproductive cycle of *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (Mytilidae) from a neotropical temperate locality. *Journal of shellfish Research* 18 (2) pp: 361-365.

Darrigran, G.; Penshaszadeh, P.; Dramborenea, M.C. (2000). An invasion tale: *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) in the neotropics. In: Proceedings of the 10th International Aquatic Nuisance Species and Zebra Mussels Conference. Toronto, Canada pp: 219-224.

Dillon, R. T. Jr. (2000) *The Ecology of Freshwater Molluscs*. Cambridge University Press. 509 p.

Esteves, F. A. (1998). *Fundamentos de Limnologia*. Interciência. FINEP, Rio de Janeiro, RJ. 602 p.

Godoi Filho, J. D. de (1986). Aspectos geológicos do Pantanal Mato-Grossense e de sua área de influência. *Anais do I Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal*: pp. 63-76.

Gran, G. (1952). Determination of the equivalence point in potentiometric titrations, part II, *Analyst*. 77 pp: 661-671.

Guerrini, V. (1978). Bacia do Alto rio Paraguai; estudo climatológico. Brasília-DF. EDIBAP/SAS. 60 p.

Irurueta, M.; Damborenea, M.C.; Darigran, G. (2002). Larvas de moluscos bivalves no rio Uruguai. Estudos preliminares do ciclo larval do bivalve invasor *Limnoperna fortunei* (Mytilidae). Actas III Jornadas Conservación de la Fauna Ictica em el Rio Uruguay, Paysandú, Uruguay, pp. 10, figuras 6.

Magara, Y.; Matsui, Y.; Goto, Y.; Yuasa, A. (2001) Invasion of the non-indigenous nuisance mussel, *Limnoperna fortunei*, into water supply facilities in Japan. *Journal of Water Supply: Research and Tecnology*. London, 50(3) pp: 113-124.

Mansur, M. C. D.; Santos, C. P.; Darrigran, G.; Heydrich, I.; Callil, C. T.; Cardoso, F. R. (2003). Primeiros dados quali-quantitativos do mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker), no Delta do Jacui, no Lago Guaíba e na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil e alguns aspectos de sua invasão no novo ambiente. *Revista Brasileira de Zoologia* 20 (1) pp: 75-84.

Marker, A. F.H.; Crowther, C. A.; Gunn, R. J. M. (1980). Methanol and Acetone as Solvents for Estimating Chlorophyll A and Phaeopigments by Spectrophotometry, *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, 14, Stuttgart, Ger., Sept. 1980, pp: 52-69.

Maroñas, M. E.; Darrigran, G. A.; Sendra, E. D.; Beckon, G. (2003). Shell growth of the golden mussel, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), in the rio de la Plata, Argentina. *Hydrobiologia*, 495 pp: 1-5.

McCallum, I. D. (1979). A simple method of taking a subsample of zooplankton. *N. Z. Journal of Marine Freshwater Research* 13 pp: 559-560.

McCauley, E. (1984). The estimation of the abundance and biomass of zooplankton in samples. pp: 243-261, in: Downing, J. A.; Rigler, F. H. A manual on methods for the assesmen of secondary productivity in freshwaters. Blackwell Scientific Publications, 2^o edition, Oxford, UK.

Morton, B. S. (1982). The reproductive cycle of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) fouling Hong Kong's raw water supply system. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, Hong Kong, 13 pp: 312-325.

Morton, B.S. (1977). The population dynamics of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in Plove Cover reservoir, Hong Kong. *Malacologia* 16 (1) pp: 165-182.

Nalepa, T. F.; Scholesser, D. W. (1993). Zebra Mussels. Biology, Impacts and Control. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida, 810 p.

Nichols, S. J.; Black, M.G. (1994). Identification of larvae: the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*), quagga mussel (*Dreissena rosteriformes bugensis*) and asian clam (*Corbicula fluminea*). *Canadian Journal of Zoology*. Ottawa 72 pp: 406-416.

Nóbrega, J. A.; Mozeto, A. A.; Alberici, R. M. (1991). Reaction kinetics in a flow injection spectrophotometric experiment - A laboratory exercise. *Journal of Chemical Education*, Estados Unidos, 68(11) pp: 966-968.

Oliveira, M.D; Takeda, A.M; Barbosa, D.S; Calheiros, D.F. (2000). Ocorrência da espécie exótica *Limnoperna fortunei* (Bivalvia, Mytilidae) no rio Paraguai, Pantanal, Brasil. *III Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal 2000. Resumos*. p 264.

Oliveira, M.D; Pellegrin, L.A.; Barreto, R.R.; Santos, C.L.; Xavier, I.G. (2004). Área de Ocorrência do Mexilhão Dourado na bacia do Alto Paraguai, entre os anos de 1998 e 2004. Corumbá-MS. Embrapa Pantanal. Documentos 64. p.19.

Oliveira, M.D; Takeda, A.M.; Barros, L.F; Barbosa, D.S ; Resende, E. K. (2006). Invasion by *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) of the Pantanal wetland, Brazil. Biological Invasions 8 pp: 97-104.

Pastorino, G.; Darrigran, G.; Martin, S.; Lunaschi, L. (1993). *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), nuevo bivalvo invasor en aguas del río de La Plata. Neotropica, La Plata, 39 (101/102) pp: 34.

Ricciardi, A. (1998). Global range expansion of the Asian mussel *Limnoperna fortunei* (Mytilidae): another fouling threat to freshwater systems. Biofouling 13(2) pp: 97–106.

Santos, C. P. dos; (2004). Avaliação da densidade e crescimento populacional do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em suas diferentes fases de vida no Lago Guaíba, município de Porto Alegre-RS, como subsídios ao controle do bivalve invasor. UFRGS. Dissertação de Mestrado. 93 p.

Santos, C. P. dos; Würding, N. L.; Mansur, M. C. D. (2003). Estudos das fases larvais de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) no Lago Guaíba, praia do Veludo, Belém Novo, Porto Alegre, Rio Grande do sul, Brasil (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae). XVIII Encontro Brasileiro de Malacologia. Resumos. p 158.

Santos, C. P. dos; Würding, N. L.; Mansur, M. C. D. (2005) Fases larvais do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) na Bacia do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Brasileira de Zoologia 22(3) pp. 702-708.

Wetzel, R.G.; Likens, G.E. (1991) Limnological Analyses. 2nd Edition, Springer-Verlag, 391 p.

Wilkinson, L. (2004). Systat 11 Statistics. SYSTAT Software Inc. Richmond, CA.