

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS - UFMG  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ICB  
ESPECIALIZAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

LEONARDO RUAS PENAFORTE

INVASÃO DO MEXILHÃO DOURADO, *LIMNOPERNA  
FORTUNEI* (DUNKER, 1857):

IMPACTOS, MÉTODOS DE CONTROLE E  
ESTRATÉGIAS DE GESTÃO ADOTADAS

Belo Horizonte

2014

LEONARDO RUAS PENAFORTE

INVASÃO DO MEXILHÃO DOURADO, *LIMNOPERNA  
FORTUNEI* (DUNKER, 1857):

IMPACTOS, MÉTODOS DE CONTROLE E  
ESTRATÉGIAS DE GESTÃO ADOTADAS

Monografia apresentada a  
Universidade Federal de Minas  
Gerais como parte dos requisitos  
para obtenção do título de  
Especialista em Gerenciamento de  
Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. José  
Fernandes Bezerra Neto.

Belo Horizonte

2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS  
GERAIS**

Curso de Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos  
Instituto de Ciências Biológicas - Caixa Postal 486  
Cep 31210-970 - Belo Horizonte - MG  
Telefax: 0xx (31) 3409 2565  
e-mail: pgrh@icb.ufmg.br

## Ata de Apresentação de Monografia


nº 001/2014  
Entrada  
1º/2013

Aos dezoito dias do mês de Julho do ano de dois mil e quatorze, no horário de 19:45 hs, na Sala 236 Bloco I3 no Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais (ICB/UFMG), teve lugar a apresentação da monografia do aluno **Leonardo Ruas Penaforte**, do curso de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Trabalho Final.


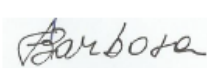
Estiveram presentes à Banca Orientador e Examinador, demais convidados. Seguiu-se a apresentação do aluno e arguição pelo examinador.

Nada mais havendo a tratar, encerrou-se a apresentação e assinaram esta Ata orientador e examinador que participaram.

Belo Horizonte, 18 de Julho de 2014

  
Maria das Graças J. Barbosa  
Secretária do Curso PGRH

Aprovada por:

Aluno	Orientador	Examinador	Assinaturas
Leonardo Ruas Penaforte	José Fernandes Bezerra Neto	Francisco Antônio Rodrigues Barbosa	
			

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a DEUS por ser presença em minha vida e me conceder todos os subsídios necessários para dar prosseguimento aos meus objetivos. A minha família, pela paciência e compreensão por minha ausência durante as horas dedicadas ao curso e a elaboração deste trabalho. A minha amada esposa Michelle, por todo o amor e por sempre me incentivar a trilhar meus objetivos. Ao professor Dr. José Fernandes Bezerra Neto pelo aceite e pela orientação do presente trabalho. A amiga Hélien Regina Mota pela contribuição fundamental no início da minha formação profissional e por despertar o interesse sobre o tema. Esse agradecimento se estende também a todos aqueles que contribuíram com conhecimento (amigos da SUPRAM – CM, CETEC, MAXCLEAN, LIMNOS e CEMIG).

“A natureza pode suprir todas as necessidades do homem,  
menos a sua ganância”  
*(Gandhi)*

## RESUMO

O molusco invasor *Limnoperna fortunei*, conhecido popularmente como mexilhão dourado é originário da China e chegou a América do Sul juntamente com a água de lastro de navios cargueiros do sudeste da Ásia. A presente revisão bibliográfica teve como finalidade abordar a invasão do mexilhão dourado, características da espécie, impactos ecológicos e econômicos e medidas de gestão adotadas para o seu controle. Constatou-se que características como o amadurecimento sexual precoce, alta fecundidade, elevada tolerância ambiental, falta de predadores e parasitas, fizeram desta espécie um exímio invasor. Nos sistemas industriais os prejuízos econômicos causados pelo *Limnoperna fortunei* são oriundos da sua incrustação em tubulações, ocasionando basicamente entupimentos, oclusão de bombas e filtros, sendo o setor hidrelétrico o mais prejudicado. Para mitigar os danos causados pelo mexilhão dourado, foram apresentados métodos de controle que podem ser divididos em três grupos: métodos físicos, métodos químicos e métodos biológicos. O grande problema dos métodos existentes e discutidos nesta revisão deve-se a não serem específicos para o mexilhão dourado, sendo efetivos também em outros organismos presentes no ecossistema aquático. Neste contexto, verifica-se que estratégias voltadas para a gestão como adoção de medidas preventivas e de controle seria o ideal em termos ambientais e econômicos.

**Palavras-chave:** *Limnoperna fortunei*, Mexilhão dourado, Impactos ambientais e econômicos, Métodos de controle.

## ABSTRACT

The invasive mussel *Limnoperna fortunei*, popularly known as the golden mussel originates from China and arrived in South America along with the ballast water of cargo ships from Southeast Asia. This literature review aims to address the invasion of golden mussel species characteristics, ecological and economic impacts and management measures adopted for its control. It was found that characteristics such as early sexual maturity, high fecundity, high environmental tolerance, lack of predators and parasites, made this species an accomplished attacker. In industrial systems the economic losses caused by *Limnoperna fortunei* are from a scale in pipes, causing clogs basically, occlusion of pumps and filters, and the hydropower sector the most affected. To mitigate the damage caused by the golden mussel control methods that can be divided into three groups were presented: physical methods, chemical methods and biological methods. The major problem of existing methods and discussed in this review should not to be specific to the golden mussel, is also effective in other organisms in the aquatic ecosystem. In this context, it appears that strategies for the management and adoption of preventive and control measures would be preferable in environmental and economic terms.

**Keywords:** *Limnoperna fortunei*, Golden Mussel, Environmental and economic impacts, Control methods.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Processo da água de lastro.
- Figura 2 – Fases larvais do *Limnoperna fortunei*. Mórula ciliada, 80 µm.
- Figura 3 – Larva trocófora fase 1, comprimento 100 µm.
- Figura 4 – Larva trocófora fase 2 (110 µm).
- Figura 5 – Larva trocófora fase 3 (125 µm).
- Figura 6 – Larva trocófora fase 4, com primórdios de concha (125 µm).
- Figura 7 – Larva “D”, (120 µm).
- Figura 8 – Veliger de carneira reta (150 µm).
- Figura 9 – Larva veliger umbonado (200 µm).
- Figura 10 – Larva pedveliger (230 µm).
- Figura 11 – Pós larva.
- Figura 12 – Colônia de mexilhão dourado.
- Figura 13A – *Corbicula flumínea*.
- Figura 13B – *Dreissena polymorpha*.
- Figura 14 – Mexilhão dourado no trato digestivo de peixes.
- Figura 15 – Mexilhão adulto colonizando *Leila blainvilliana*.
- Figura 16A – Filtro de água bruta incrustado pelo mexilhão dourado.
- Figura 16B – Tubulação de água bruta incrustada pelo mexilhão dourado.
- Figura 17 – Distribuição do mexilhão dourado e hidrelétricas.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**FTN** – Força Tarefa Nacional.

**GEF** - Fundo Mundial para o Meio Ambiente.

**GLOBALLAST** - Global Ballast Water Management Programme (Programa de Gerenciamento Global da Água de Lastro).

**IMO** - Organização Marítima Internacional.

**MEPC** - Comitê de Proteção ao Ambiente Marinho.

**MMA** - Ministério do Meio Ambiente.

**NORMAM** - Norma Marítima.

**ONU** - Organização das Nações Unidas.

**PNUD** - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

**°C** – Grau Celsius.

***D. polymorpha*** – *Dreissena polymorpha*.

**ind./m<sup>2</sup>** – Indivíduo por metro quadrado.

***L. fortunei*** – *Limnoperma fortunei*.

**mg/L** – Miligrama por litro.

**pH** – Potencial hidrogeniônico.

**PPM** – Partes por milhão.

**μ** – Micra.

## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 - OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1 – Objetivos específicos .....	16
<b>3 – METODOLOGIA</b> .....	<b>17</b>
<b>4- HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE.</b> .....	<b>18</b>
4.1. Histórico da invasão do mexilhão dourado e sua dispersão .....	18
4.2 - Características da espécie.....	19
4.3 - <i>Limnoperna fortunei</i> x <i>Dreissena polymorpha</i> .....	23
4.4 - Impactos do <i>Limnoperna fortunei</i> sobre o ambiente .....	24
4.4.1 - Ciclagem de nutrientes e transparência da água.....	25
4.4.2 - Impacto sobre as comunidades planctônicas .....	25
4.4.3 - Oferta de alimento para peixes .....	26
4.4.4 - Impacto em espécies nativas.....	28
<b>5 – IMPACTOS ECONÔMICOS</b> .....	<b>29</b>
5.1 - Histórico dos impactos em sistemas industriais.....	29
5.2 – Impactos em sistemas industriais .....	29
5.3 - Métodos de controle utilizados para o combate do <i>Limnoperna fortunei</i> em sistemas industriais.....	33
5.3.1 - Métodos de controle físico .....	34
5.3.1.1 - Remoção manual ou mecânica .....	34
5.3.1.2 - Controle de temperatura.....	34
5.3.1.3 - Filtros fixos e móveis .....	35
5.3.1.4 - Correntes Elétricas e luz UV.....	35
5.3.1.5 - Anoxia e hipóxia .....	36
5.3.1.6 - Velocidade da corrente de água .....	36
5.4.1 – Métodos de controle químico .....	37
5.4.1.1 - Agentes oxidantes .....	37
5.4.1.2 - Cloro e seus derivados .....	37
5.4.1.3 - Ozônio .....	38
5.4.1.4 - Peróxido de hidrogênio.....	39
5.4.1.5 - Agentes não oxidantes .....	39

5.4.1.6 - Quaternários de Amônia, Poliquaternários e Niclosamidas .....	39
5.4.1.7 - Hidrocarbonetos aromáticos .....	40
5.4.1.8 - Os sais de potássio, cápsulas e metais .....	40
5.4.1.9 - Tintas antiincrustantes .....	41
5.5 - Métodos de controle biológicos.....	42
<b>6 – GESTÃO .....</b>	<b>43</b>
6.1 – Histórico de medidas gerenciais para o controle de deslastro de navios .....	43
6.2 - Força Tarefa Nacional .....	44
6.3 - NORMAM-20/DPC .....	44
6.3 - A gestão como um mecanismo de controle da dispersão do mexilhão dourado.....	48
<b>7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>51</b>
<b>8 – REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1 - INTRODUÇÃO

As invasões biológicas são datadas desde o século XIX. Naturalistas pioneiros como Charles Darwin, Alfred Russel Wallace, Alphonse de Candolle, Charles Lyell e Joseph Hooker, já mencionavam algo relacionado a espécies invasoras em suas obras (Richardson, 2011).

A história do processo de introdução de organismos está intimamente relacionada aos avanços tecnológicos, dessa forma, o histórico das bioinvasões aquáticas no Brasil pode ser dividido em três fases: do descobrimento até o final do século XIX; o século XX; e a partir do século XXI.

A primeira fase refere-se à época da colonização e tráfico de escravos e se caracteriza pela chegada de navios originários do continente europeu e da África. Desde esse período, a incrustação em cascos de navios já era responsável por um grande número de introduções marinhas no litoral brasileiro. Três espécies foram consideradas introduzidas nesse período: o mexilhão *Perna perna* (Souza *et al*, 2004), o vibrião da cólera *Vibrio cholerae* e a ascídia *Styela plicata* (Rivera *et al*, 2003; Souza *et al*, 2005).

O século XX é a segunda fase, marcada por grandes avanços econômicos e tecnológicos no país e no mundo. Nesse século, houve uma intensificação do comércio marítimo e a água de lastro passou a ser largamente utilizada nos tanques dos navios, agravando o transporte que já era efetuado via incrustação na transferência de espécies.

O lastro corresponde a um material usado para dar peso, e conseqüentemente manter a estabilidade dos navios. Nos primeiros modelos de navios cargueiros era utilizado lastro sólido, na forma de pedras, areia ou metais, sendo este utilizado por séculos. Nos tempos modernos, as embarcações passaram a usar a água como lastro, o que facilitou bastante a tarefa de carregar e descarregar um navio, além de ser mais econômico e eficiente do que o lastro sólido.

O processo da água de lastro nos portos é realizado da seguinte forma: Quando um navio está descarregado, seus tanques recebem água de lastro para manter sua estabilidade, e durante seu carregamento, a água do porto de origem é lançada ao mar (Figura 1).

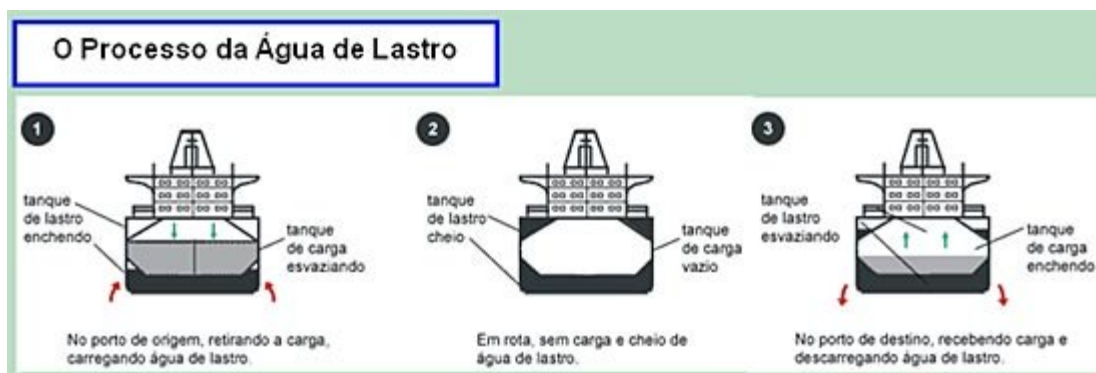


Figura 1: Processo da água de lastro.  
(<http://www.labec.com.br/biodigital/agua-de-lastro>)

A terceira fase inicia-se no final do século passado, discorrendo até os dias atuais, caracterizando-se principalmente pela globalização e o livre comércio intercontinental. Avanços da civilização moderna, nas mais diversas áreas, têm contribuindo para alterar a estrutura e a função de ecossistemas nativos, acarretando decréscimos da biodiversidade do planeta, através da fragmentação de ecossistemas e poluição, além de contribuir expressivamente para a eliminação ou redução das barreiras naturais, que possuem a função de separar e manter a integridade dos ecossistemas (Silva *et al*, 2004).

Apesar do impacto provocado por invasões biológicas ser cientificamente reconhecido há algum tempo (Elton, 1958), nos últimos anos, o aumento no número de invasões de espécies exóticas, fenômeno conhecido como invasão biológica, vem causando grande preocupação aos pesquisadores, sendo atualmente considerada a segunda maior causa de perda de biodiversidade, de acordo com a União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (IUCN, 2006), atrás apenas da destruição dos habitats (CBD, 2006). Diante deste fato, houve um crescimento expressivo na investigação científica sobre invasões biológicas ao longo dos últimos 20 anos, principalmente em países desenvolvidos (Vázquez e Aragon, 2002; Speziale *et al*, 2012).

Os ambientes aquáticos merecem destaque, uma vez que apresentam maior vulnerabilidade às espécies invasoras (Sala *et al*, 2000), sendo este motivado pela forte afinidade das pessoas com a água por razões estéticas, recreacionais e de transporte, além do que comunidades inteiras de espécies pelágicas e bentônicas são movimentadas através de todo tipo de meio.

Devido à capacidade de transporte, à periodicidade e à diversidade de rotas, os navios utilizados pelo comércio internacional são considerados importantes vetores, sendo responsabilizados por um grande número de introduções de espécies (Souza *et al*, 2009).

Os termos espécie introduzida, espécie exótica, espécie não nativa, espécie alóctone, e variantes, em geral, podem ser considerados sinônimos, apesar dos diferentes conceitos e formas de interpretação, por vezes problemáticos, confusos ou mesmo ineficientes em sua utilização (Blackburn *et al*, 2011). Os termos citados denotam, de forma generalizada e simplificada: “toda e qualquer espécie transportada pelo ser humano e solta, intencional ou acidentalmente, fora de sua área de distribuição ou ocorrência natural” (FAO, 2006).

É fundamental destacar que um organismo introduzido é considerado invasor somente quando se estabelece em um ecossistema ou *habitat* natural ou seminatural, sendo um agente modificador negativo, ameaçando a biodiversidade e/ou os processos e serviços ecossistêmicos naturais (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; IUCN, 2006).

De acordo com Darrigran (2000) são consideradas espécies invasoras, aquelas que, além de serem exóticas, caracterizam-se pela rápida maturação sexual, grande capacidade reprodutora e uma tendência à persistência de populações após se estabelecerem nos ambientes que colonizam, sejam naturais,

artificiais, terrestres ou aquáticos. Segundo Andersen *et al*, (2004), o processo de invasão biológica pode ser dividido em quatro etapas:

- i) entrada, quando efetivamente a espécie chega a um ou mais pontos do ecossistema;
- ii) estabelecimento, quando a espécie começa a se reproduzir e tenta escapar da extinção no novo ambiente;
- iii) dispersão, quando ocupa os habitats disponíveis;
- iv) impacto, quando a espécie persiste e compete em seu novo ambiente.

Uma das espécies exóticas que atualmente vem merecendo atenção dos pesquisadores é o *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857). Segundo a classificação de Newell (1969), trata-se de um molusco bivalve da família dos mexilhões marinhos (Mytilidae), ordem Mytiloidea e subclasse Pteriomorpha, conhecido popularmente como mexilhão dourado (*golden mussel*, *mejillón dorado*).

Atualmente a presente espécie vem afetando a integridade das comunidades naturais, impactando na biodiversidade e alterando a cadeia trófica, devido a sua elevada adaptabilidade e ausência de predadores naturais, o que faz com que a espécie não tenha a sua população regulada, permitindo assim o crescimento populacional desenfreado, o que ainda é potencializado pelo seu crescimento rápido, maturidade sexual precoce e alto poder reprodutivo.

Representa enorme preocupação para todos os setores que desenvolvem atividades associadas ao uso da água. Nas hidrelétricas, por exemplo, os prejuízos econômicos são alarmantes, visto que a incrustação do *Limnoperna fortunei* nas tubulações do sistema de resfriamento das turbinas compromete a capacidade de geração, sendo necessária a parada de máquinas para limpeza e manutenção.

## **2 - OBJETIVOS**

Abordar por meio de revisão bibliográfica a invasão do mexilhão dourado, características da espécie, impactos ecológicos e econômicos, e medidas de gestão adotadas para o seu controle.

## 2.1 – Objetivos específicos

- Apresentar os países e regiões do Brasil atualmente impactados pelo *Limnoperna fortunei*;
- Avaliar as características biológicas da espécie e os fatores que proporcionaram dominância e rápida expansão no ambiente aquático;
- Averiguar os impactos econômicos ocasionados em sistemas industriais que utilizam água bruta em seus processos, abordando os métodos preventivos, medidas de controle e emergenciais adotados.



### **3 – METODOLOGIA**

A revisão bibliográfica foi baseada em pesquisas realizadas em artigos publicados em periódicos internacionais e nacionais; livros publicados por renomadas editoras; teses e dissertações, e anais de conferências internacionais e nacionais.

#### 4- Histórico e características da espécie.

##### 4.1. Histórico da invasão do mexilhão dourado e sua dispersão

O habitat natural do molusco *Limnoperna fortunei* é a cabeceira do rio do Leste, um tributário do rio das Pérolas, que é o terceiro maior rio da China, localizado no sul e fluindo para o mar da China entre Hong Kong e Macau. Em 1965, foi registrado como uma espécie invasora em Hong Kong (Morton, 1973). Expansões subsequentes são registradas muitos anos depois, em 1990, no Japão (Kimura, 1994) e Taiwan (Ricciardi, 1998).

O mesmo chegou a América do Sul juntamente com a água de lastro de navios cargueiros do sudeste da Ásia (Coréia e China). Em 1991 este bivalve foi detectado pela primeira vez na América do Sul no Balneário de Bangliardi, rio da Prata, na Argentina. Já em 1994 esse bivalve ocupava toda costa argentina do rio da Prata, sendo reportada sua presença no Uruguai em 1995 e em 1997 no Paraguai (Darrigran e Drago 2007). O aparecimento da espécie na Argentina coincidiu com os picos mais altos de intercâmbio comercial com os países do sudeste da Ásia (Darrigran e Pastorino, 1995).

Em 1999, ao sul do lago Guaíba, na praia de Itapuã, município de Viamão (RS), foram encontrados vários exemplares de *Limnoperna fortunei*, que já alcançava assim as águas fluviais brasileiras (Mansur *et al*, 1999).

O estado de São Paulo teve seu primeiro registro em 2002 no município de Rosana (Avelar *et al*, 2004) e em 2003, na Usina São Simão, da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG. Em 2004, foi encontrado na usina hidrelétrica de Barra Bonita no rio Tietê (Belz, 2005).

Takeda (2003) coletou seis espécimes de *Limnoperna fortunei* em dois reservatórios de água próximos a Curitiba (Paraná). Em 2004, a espécie já se encontrava no Pantanal e no rio Paraná até o reservatório da Usina Hidrelétrica de Jupia (Rio Paraná - São Paulo). Após a publicação de Rolla *et al* (*apud* Rückert; Campos; Rolla, 2004), foi registrada a ocorrência do mexilhão a montante da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira no Estado de Minas Gerais.

Em aproximadamente 10 anos alcançou cinco países: Argentina, Brasil, Paraguai, Uruguai e Bolívia. No Brasil esse organismo não para de se multiplicar e se dispersar à montante das bacias hidrográficas do Sul, sudeste e centro-oeste (Darrigran e Damborenea, 2009).

A dispersão do mexilhão na América do Sul ocorreu por tráfego de embarcações, estimulada pela atividade comercial entre os países do MERCOSUL, que o transportaram ao longo das hidrovias rio acima, em regiões distantes de sua área de invasão. Uma vez estabelecido nas cabeceiras dos rios sua dispersão hidrocórica (pelas correntezas) ampliou sua distribuição ao longo de toda hidrovia. O mexilhão possui desenvolvimento larval que facilita sua dispersão através das correntes. A dispersão também pode ocorrer por juvenis fixados em materiais flutuantes. A gametogênese constante e intensa produção de larvas, com dois a três picos reprodutivos anuais propiciam uma alta disponibilidade de larvas e contínuo assentamento (Darrigran, 1999).

Atividades de pesca esportiva também atuam possibilitando a colonização em ambientes a montante de barragens. Especula-se que aves migratórias também possam transportar larvas e organismos agarrados em suas patas e bicos (Darrigran, 2002), como também peixes podem ser vetores de transporte ao eliminar, através das fezes, organismos vivos que tenham resistido à passagem por todo o trato digestivo (Belz, 2006).

A rápida dispersão está associada ao tipo de uso dos corpos de água, sendo que bacias, lagos e rios são utilizados frequentemente como vias de transporte fluvial e para pesca desportiva. Segundo Buchan e Padilla (1999), barcos de lazer e pesca esportiva são associados à dispersão de espécies invasoras nos corpos de água. Belz (2005) estudando os vetores de dispersão do mexilhão na região do estado do Paraná identificou como vetores mais significativos:

i) transporte fluvial e de barcos de pesca esportiva, principalmente na forma adulta, aderida a materiais retirados da água e transportados no interior dos barcos;

ii) transporte de areia em caminhões;

iii) transporte de peixes, pois juvenis e adultos do *Limnoperna fortunei* podem ser transportados vivos no trato digestivo de peixes que incluem o molusco em sua dieta e larvas da espécie podem ser transportadas vivas na água de transporte de peixes.

## 4.2 - Características da espécie

O *Limnoperna fortunei* é encontrado em ambientes de água doce que variam do lêntico ao lótico até águas muito rápidas como no interior de encanamentos ou adutoras (Morton, 1973). Pertence à família Mytilidae e assemelha-se ao mexilhão marinho. São organismos filtradores que se alimentam de partículas suspensas na água, principalmente fitoplâncton.

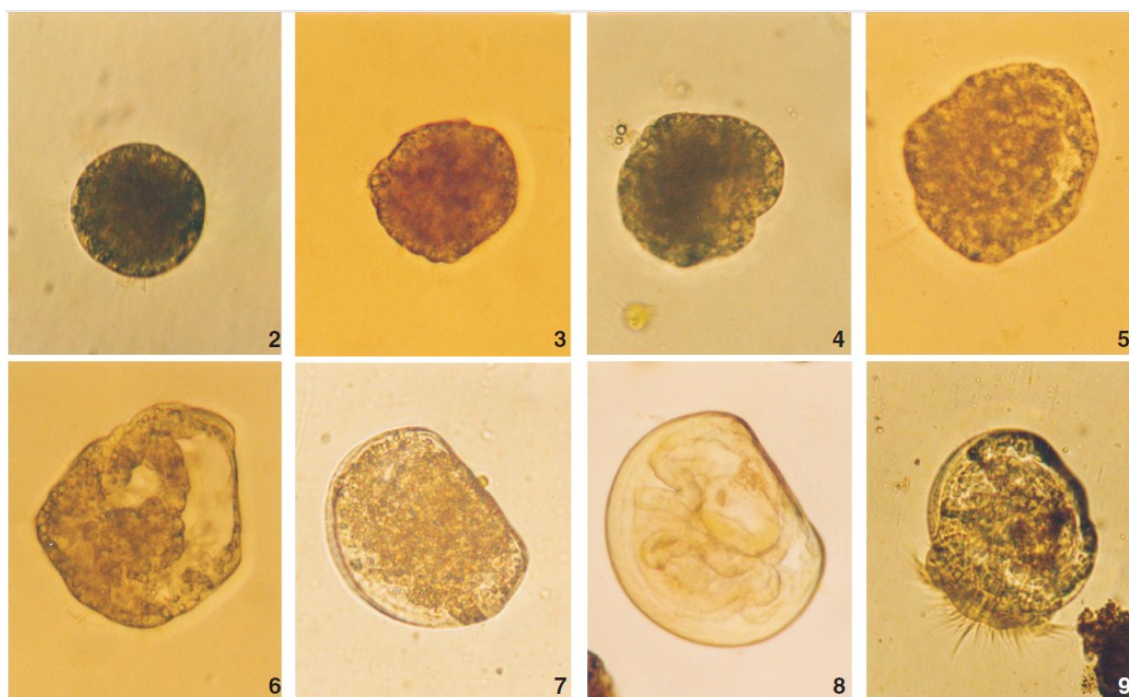
Morton (1996) e Darrigran (1999) descreveram algumas características, que se aplicam ao bivalve *Limnoperna fortunei*: Curto período de vida (dois – três anos), rápido crescimento individual, rápida maturação sexual, dióica (sexos separados), gametogênese constante com alta fecundidade propiciando alta disponibilidade de larvas (2 a 3 picos anuais) e constante assentamento, eurióticos (coloniza diferentes habitats), eurióicos (alta tolerância fisiológica), comportamento de agregação, associação a alguma atividade humana (transporte aquaviário), ampla variabilidade genética etc. No entanto, quatro características foram preponderantes para transformar o *Limnoperna fortunei* em uma espécie invasora: amadurecimento sexual precoce, alta fecundidade, elevada tolerância ambiental, falta de predadores e parasitas (Darrigran, 2002).

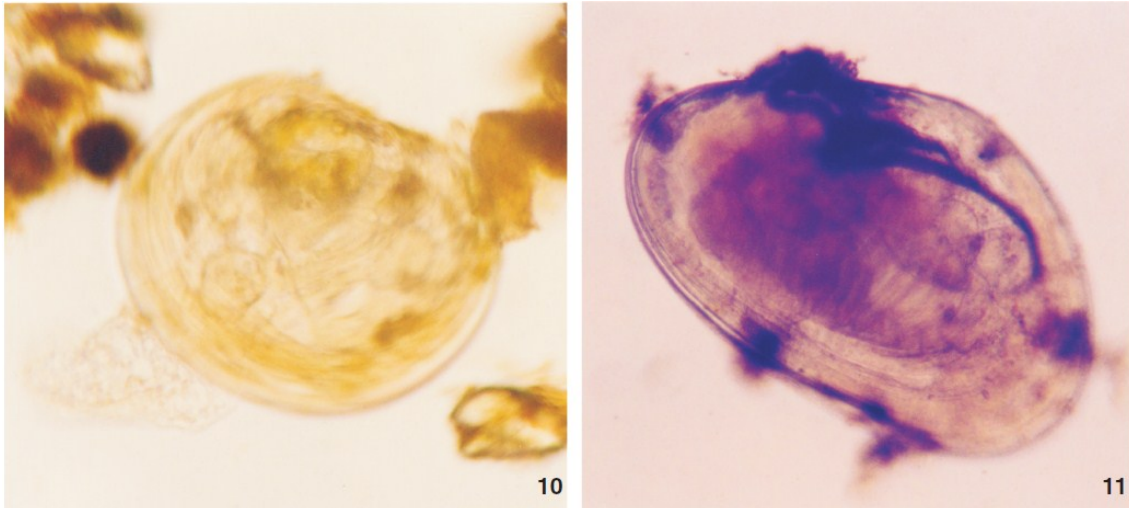
A fecundação ocorre externamente dando origem a uma larva nadante de vida livre que coloniza novos sítios. Os primeiros estágios são de vida livre e posteriormente pode se fixar a um substrato pelo bisso, chegando ao estágio adulto (Boltovskoy e Cataldo, 1999).

O mexilhão dourado apresenta rápida maturidade sexual, com aproximadamente 6 mm de comprimento inicia-se o amadurecimento de suas gônadas (Darrigran, 2002). O desenvolvimento larval passa por diferentes estágios denominados de acordo com a morfologia e as dimensões da larva.

O ciclo reprodutivo do *L. fortunei* apresenta duas fases, sendo, uma juvenil/adulta e uma fase larvária planctônica. Os gametas masculinos e femininos são liberados na água onde é realizada a fecundação (Darrigran e Damborenea, 2009).

Os estágios larvais de uma população de *L. fortunei* do lago Guaíba, sul do Brasil, foram descritos por Santos *et al*, (2005) (Figuras 2-10). O primeiro estágio é reconhecido como uma mórula ciliada que se transforma numa trocófora (comprimentos respectivos de 80µm a 125µm) com quatro estágios distintos, trocófora de 1 à 4. Os estágios valvados incluem: a larva "D" (comprimento de 120µm a 150µm), o véliger de charneira reta (comprimento de 150µm a 190µm), o véliger umbonado (comprimento de 190µm a 220µm) a formação do umbo alcança seu maior desenvolvimento no estágio véliger, incrementam-se as linhas de crescimento como a diferenciação dos órgãos internos, e o pedivéliger (comprimento de 220µm a 250µm) onde ocorre a formação do pé, que começa a ser funcional, tendo a larva uma dupla forma de deslocamento, nadando por meio do véu, ou se deslocando pelo pé. Quando atinge a forma plantígrada, não apresenta mais o véu, portanto só o pé passa a ser o único meio de locomoção da larva, a partir daí começa a desenvolver-se em mexilhão adulto, podendo-se fixar a substratos (Ezcurra de Drago *et al*, 2009). A larva do mexilhão dourado, em todas suas fases descritas anteriormente, vive livremente no plâncton, se deslocando a favor da corrente (Darrigran e Damborenea, 2005). Quando pós-larva ou recruta (comprimento aproximado de 300µm), secreta fios de bisco que permitem sua fixação e aglomeração no substrato.





Figuras 2-10: Fases larvais do *Limnoperna fortunei*. (2) Mórula ciliada, 80  $\mu\text{m}$ ; (3) Larva trocófora fase 1, comprimento 100  $\mu\text{m}$ ; (4) Larva trocófora fase 2 (110  $\mu\text{m}$ ), (5) Larva trocófora fase 3 (125  $\mu\text{m}$ ), (6) Larva trocófora fase 4, com primórdios de concha (125  $\mu\text{m}$ ), (7) Larva "D", (120  $\mu\text{m}$ ), (8) Véliger de charneira reta (150  $\mu\text{m}$ ), (9) Larva veliger umbonado (200  $\mu\text{m}$ ), (10) Larva pedivéliger (230  $\mu\text{m}$ ), (11) Pós-larva. Fonte: Santos *et al*, 2005 "Fases larvais do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) na Bacia do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil.

Esta espécie se fixa em vários tipos de substratos firmes e endurecidos com auxílio de um filamento de base proteica, o bisso, secretado por uma glândula localizada na base do pé muscular (Morton *et al*, 1998), desenvolvendo assim colônias, especialmente sobre rizomas e raízes de plantas marginais fixas ou outros objetos firmes, através da reprodução sucessiva dos indivíduos que permanecem unidos aos primeiros colonizadores do local, formando aglomerações chamadas de *macrofouling* (Figura 12).

Os espaços existentes entre os indivíduos maiores são preenchidos por indivíduos de tamanhos medianos e as frestas restantes pelos menores. O aglomerado torna-se assim, uma estrutura muito compacta, que dificilmente pode ser removida ou capturada por outros organismos (Santos *et al*, 2008).

Segundo Morton (1973) nos ambientes mais calmos os fios de bisso são mais fracos e em pequeno número. Assim o animal pode facilmente descolar-se do substrato e procurar por um local melhor. Nas águas correntes, ele dispende mais energia construindo um forte aparelho bissal, formando um aglomerado fortemente aderido ao substrato (Darrigran, 2002).





Figura 12: Colônia de mexilhão dourado. Fonte: <http://4.bp.blogspot.com/-0wmjEtdvUOg/T3IRqehiAqI/AAAAAAAAABFs/OExC33LHR8/s1600/Mexilh%C3%A3o+Dourado.JPG>

A longevidade de *Limnoperna fortunei* varia conforme a localidade geográfica (Magara *et al*, 2001). Indivíduos desta espécie podem viver até 2 anos no Japão (Iwasaki e Uryu, 1998). Boltovskoy e Cataldo (1999) estimaram em 3 anos a longevidade para o estuário do Rio da Prata na Argentina e na mesma região, Maroñas *et al*, (2003) sugerem uma longevidade de 3,2 anos. Darrigran e Damborenea (2009) estimaram no máximo três anos e meio.

O *Limnoperna fortunei* atinge entre 3 e 4 cm quando adulto, apresenta concha composta por duas valvas (coloração marrom-escura na porção superior e amarela na porção inferior) dentro da qual o corpo do animal está protegido (Ruppert *et al*, 2004). Geralmente encontrado em locais de águas oxigenadas, capaz de sobreviver com sucesso em águas salinas em até 3 psu (Unidades Práticas de Salinidade) (Darrigran, 2002), lagos, áreas úmidas e outros cursos d'água. Colonizam as margens e o fundo dos ambientes em densidades que variam de 1 a 150.000 ind./m<sup>2</sup> (Darrigran *et al*, 2000a) e no que se refere à sua forma de vida, deve-se salientar que possui hábito geralmente “epifaunal” (Darrigran e Ezcurra de Drago, 2007).

Comparando o *Limnoperna fortunei* com as espécies de bivalves nativos da América do Sul, ele se diferencia pela forma valvar, anatomia interna, forma de vida (sédil), estratégia de vida (agregamento), ciclo de vida curto, mecanismo de dispersão e impacto negativo nos ambientes (Darrigran e Damborenea, 2006).

### 4.3 - *Limnoperna fortunei* x *Dreissena polymorpha*

Devido à chegada do *Limnoperna fortunei* na América do Sul ser relativamente recentemente, grande parte de informações básicas sobre esta espécie resulta da experiência adquirida na Europa e na América do Norte em outras espécies de bivalves introduzidos, particularmente o *Corbicula fluminea* (Muller, 1774) (Figura 13A) e "mexilhão zebra" *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) (Figura 13B). Estas espécies de bivalves de água doce têm colonizado vários continentes e há algum tempo vem sendo investigados os seus impactos tanto sobre o ambiente, quanto sobre a indústria (Doherty *et al*, 1986; Matthews e McMahon, 1994; MacIsaac, 1996 e Karatayev *et al*, 2002).



(A)

(B)

Figura 13: (A) *Corbicula fluminea* e (B) *Dreissena polymorpha*. Fonte: (A) <http://www.animalspot.net/wp-content/uploads/2012/09/Corbicula-Fluminea-Pictures.jpg> e (B) <http://nas.er.usgs.gov/XIMAGESERVERX/2005/20051116094832.jpg>

O *Dreissena polymorpha* (mexilhão zebra), nativo da bacia do mar Cáspio, se expandiu pela Europa em canais construídos no final do século XVIII para ligar o mar Negro e o mar Cáspio com o Mar Báltico (Karatayev *et al*, 2003). Em meados dos anos 80, a espécie foi encontrada na América do Norte, na região dos Grandes Lagos. Atualmente, a sua distribuição continua em expansão tanto na Europa, onde atualmente se concentra em 23 países na região central do continente, incluindo a Irlanda (Minchin, 2000; Daisie, 2008), como na América do Norte, onde já está presente em 27 estados e províncias de Quebec e Ontário, no Canadá (USGS, 2011).

O *L. fortunei* compartilha muitas características biológicas e ecológicas com *D. polymorpha*, sendo comum traçar paralelos entre os dois. Ambas as espécies são filtradoras e possuem modo de vida epifaunal, se fixam sobre substrato rígido por meio de bisso e tendem a se agrupar em colônias ocupando fendas, cavidades e outros lugares protegidos, inclusive a vários metros de profundidade (Griffiths *et al*, 1991; Uryu *et al*, 1996; Boltovskoy e Cataldo, 1999; Darrigran e Mansur, 2006). Além disso, têm um ciclo de vida curto, altas taxas de crescimento e rápida dispersão facilitada por estágios larvais planctônicos (Morton, 1973; Cataldo e Boltovskoy, 2000; Karatayev *et al*, 2007 a, b).

No entanto, o uso de *D. polymorpha* como um modelo de comportamento e ecologia de *L. fortunei* tem suas limitações, pois ambas as espécies têm também diferenças muito expressivas. Por exemplo, *D. polymorpha* tem um período reprodutivo muito mais curto (3-5 meses por ano) do que *L. fortunei* que reproduz entre 6 e 10 meses do ano (Boltovskoy *et al*, 2009). Limites de tolerância ambientais do "mexilhão zebra" são muito mais estreitos do que as do mexilhão dourado (salinidade 6 ‰, pH 7,3, oxigênio dissolvido 1,8 mg/L e cálcio dissolvido 25 mg/L) (Karatayev *et al*, 2007a).

Em relação à exposição aguda e crônica a altas temperaturas, *D. polymorpha* também tolera valores muito menores do que *L. fortunei*. Devido à sua origem subtropical e tropical, *L. fortunei* é um bivalve com grande tolerância a altas temperaturas, podendo se desenvolver em águas com temperatura acima de 30 °C durante 7 meses por ano, e com picos frequentes de mais de 33 °C (Oliveira *et al*, 2010).

A resistência à presença de contaminantes do mexilhão zebra é também inferior. O mexilhão dourado tolera níveis muito altos de contaminação (Zn, Cr, Cu, o benzo (a) pireno, PCB, etc.) inclusive superiores aos limites considerados perigosos para os organismos aquáticos que afetam outras espécies de bivalves introduzidos (Cataldo *et al*, 2001a, b).

Ao contrário de *L. fortunei*, o *D. polymorpha* desapareceu de vários lagos e rios da Europa devido à poluição, tendo alguns recolonizados só depois de uma melhoria considerável na qualidade da água (Karatayev *et al*, 2007a). Estas diferenças fazem do *L. fortunei* um invasor mais agressivo do que *D. polymorpha* (Perepelizin e Boltovskoy, 2011).

Faixa de temperatura não representa um entrave para uma potencial expansão do *L. fortunei* na América do Norte e Central. Sua expansão para o norte seria facilitada tanto pela sua ampla tolerância térmica, quanto pela sua resistência à poluição, baixos níveis de oxigênio dissolvido e baixa requisição de cálcio dissolvido (Boltovskoy *et al*, 2006; Karatayev *et al*, 2007a; Oliveira *et al*, 2010).

Estas características fazem *L. fortunei* uma espécie com uma alta probabilidade de colonizar corpos d'água da América do Norte em um futuro próximo, incluindo as regiões onde não são adequadas para o desenvolvimento de outras espécies de moluscos invasores, como os dreisenídeos (Darrigran e Damborenea, 2011; Perepelizin e Boltovskoy 2011; Karatayev *et al*, 2010).

#### **4.4 - Impactos do *Limnoperna fortunei* sobre o ambiente**

Nos corpos d'água brasileiros, o crescimento descontrolado tem provocado diversos impactos ambientais que se assemelham muito com os ocorridos na Europa e América do Norte com *D. polymorpha* (mexilhão zebra) (Brugnoli e Clemente, 2002; CATALDO *et al*, 2002; Matsui *et al*, 2002).

Os impactos vão desde a variação na composição da comunidade bêntica, com a remoção de moluscos nativos e aumento na abundância e distribuição de outros grupos, até nas modificações da cadeia trófica.



Entre os principais impactos destacam-se:

#### **4.4.1 - Ciclagem de nutrientes e transparência da água**

Retenção de material particulado em suspensão e depósito no fundo de pseudofezes (material particulado rejeitado pelo mexilhão) tem um efeito muito importante na transparência da água. Em Pesquisas realizadas por Boltovskoy *et al*, (2009) no reservatório Rio Tercero, Córdoba, várias propriedades da água foram alteradas após a invasão do molusco. A transparência da água aumentou entre 1,5 e 2,4 vezes e a quantidade de material particulado em suspensão diminuiu entre 28 e 42%. A clorofila e produção primária bruta caíram entre 59 e 65%.

A presença de *L. fortunei* no ecossistema determina mudanças na taxa de ciclagem de nutrientes, aumentando os níveis de amônia, nitrato e fosfato, devido ao consumo, digestão e oxidação biológica de material orgânico particulado nos corpos de água.

A transparência da coluna de água também tem um efeito importante sobre macrófitas aquáticas, permitindo-lhes sobreviver em profundidades maiores, enquanto a remoção de fitoplâncton aumenta a disponibilidade de nutrientes (principalmente fosfatos e nitratos) para o desenvolvimento. Este fenômeno foi relatado no reservatório Rio Tercero, onde o aparecimento de *L. fortunei* aumentou significativamente a área ocupada por plantas submersas (*Elodea callitrichoides*) (Boltovskoy *et al*, 2009). Efeito semelhante foi observado para o perifíton na represa Salto Grande (Caprari, 2002).

#### **4.4.2 - Impacto sobre as comunidades planctônicas**

Cataldo *et al*, (2000), registraram que na presença de *L. fortunei* foi observado um aumento na proporção de células de maior tamanho como as colônias de *Microcystis* spp. uma alga que causa florações no verão. Esse fenômeno parece responder ao aumento da disponibilidade de nutrientes e, especialmente, as mudanças na relação N: P, devido à mineralização realizada pelo mexilhão dourado, o que favorece as cianobactérias menos dependentes de N, isto se deve a maior pressão de filtração *L. fortunei* sobre as partículas pequenas, aumentando a proporção de partículas maiores.

Os efeitos sobre a comunidade fitoplanctônica e a ciclagem de nutrientes também foram verificados por outros pesquisadores (Porta, 2001; Rükert *et al*, 2004).

Gazulha *et al*, 2012, testaram os efeitos da toxicidade de cianobactérias sobre o comportamento alimentar do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei*, sendo verificado que este bivalve invasor possui potencial para a transferência de cianotoxinas para os níveis tróficos superiores. No presente trabalho foi testada a hipótese de que *L. fortunei* ingere preferencialmente o fitoplâncton não tóxico

e rejeita as cianobactérias tóxicas. Em segundo lugar, foi testada a hipótese de que as cianobactérias tóxicas afetam negativamente a alimentação e a sobrevivência de *L. fortunei*. Na filtração de curto prazo, as taxas de filtração do mexilhão dourado foram avaliadas na presença de cepas tóxicas e não tóxicas da cianobactéria *Microcystis aeruginosa* e do fitoplâncton não tóxico *Nitzschia palea*. As maiores taxas de filtração foram registradas quando os mexilhões foram alimentados com *Nitzschia*, porém o mexilhão dourado expeliu as células de *Nitzschia* em grandes quantidades e ingeriu, preferencialmente, as células de *Microcystis*, tanto cepas tóxicas quanto não tóxicas. Na filtração de longo prazo, os mexilhões foram expostos a cepas tóxicas e não tóxicas de *Microcystis* durante cinco dias. As taxas de filtração não foram significativamente diferentes para cepas tóxicas e não tóxicas de *Microcystis* durante todo o período de exposição. Os resultados obtidos na presente pesquisa demonstraram que a toxicidade da cianobactéria não é o principal fator que influencia o comportamento alimentar de *L. fortunei*.

Foram constatadas alterações na composição de comunidades bentônicas, favorecendo o aumento significativo na riqueza e abundância de alguns grupos de invertebrados bentônicos como Oligochaeta, Isópoda, Chironomidae, Hirudinea, dentre outros (Martin e Darrigran, 1994; Darrigran *et al*, 2000a). Darrigran *et al*, (1998); Sylvester *et al*, (2007a) e Sardiña *et al*, (2008), verificaram aumentos variando entre 27 e 100% em áreas ocupadas por *L. fortunei*. Estes resultados sugerem que o *L. fortunei* aumenta tanto o número de taxa, quanto a densidade, devido o aumento da disponibilidade de matéria orgânica (acúmulo de fezes e pseudofezes) e pela proteção conferida pelas colônias de mexilhões, devido sua complexidade estrutural.

#### **4.4.3 - Oferta de alimento para peixes**

Montalto *et al*, (1999); Ferriz *et al*, (2000); Penchaszadeh *et al*, (2000); e Cataldo *et al*, (2002), verificaram em suas pesquisas, que o *L. fortunei* é uma abundante fonte de alimento para pelo menos 16 espécies do Paraná e Rio do Prata, incluindo armados (*Pterodoras granulosus*, *Oxydoras kneri*), bogas (*Leporinus obtusidens*), carpas (*Cyprinus carpio*), bagres amarelos (*Pimelodus maculatus*), velhos d'água (*Loricaria Loricaria vetula* e *Loricaria Loricaria nudiventris*), dentre outros. Algumas espécies, como *Pterodoras granulosus* e *Leporinus obtusidens*, se alimentam preferencialmente deste recurso principalmente no verão, quando foram encontrados espécimes contendo seus estômagos totalmente preenchidos por detritos de bivalves (Ferriz *et al*, 2000; Penchaszadeh *et al*, 2000; Cataldo *et al*, 2002).

A constatação de que o mexilhão dourado (*L. fortunei*) sobrevive à passagem através do trato digestivo de algumas espécies de peixes sugere um vetor de dispersão adicional (Belz *et al*, 2012) (Figura 14).



Figura 14: Mexilhão dourado no trato digestivo de peixes. Fonte: <http://www.openmytilusconsortium.org/wp-content/uploads/2013/04/Coleta-Foz-Peixes-348.jpg>

Não apenas os peixes adultos consomem *L. fortunei*, larvas e juvenis de várias espécies de peixes, consomem grandes quantidades de larvas véligers de *L. fortunei*. Nos trabalhos realizados por Paolucci *et al*, (2007, 2010a, b), verificou-se que de 25 taxa de peixes registrados, 18 tinham larvas véligers do *L. fortunei* em seu trato digestivo, representando cerca de 90% do ictioplâncton recolhido nestes ambientes. Os resultados também indicam que o *L. fortunei* foi selecionado positivamente por várias espécies mais abundantes nestes ambientes, como *P. lineatus* e larvas de pimelodídeos.

Portanto, há alteração expressiva na ictiofauna, uma vez que, esta espécie foi prontamente incorporada como item alimentar de diversas espécies de peixes estuarinos e de água doce (Boltovskoy e Cataldo, 1999; Montaldo *et al*, 1999; Ferriz *et al*, 2000; Penchaszadeh *et al*, 2000; Garcia e Protogino, 2005).

Wang *et al*, (2005) chamam atenção para a capacidade dos moluscos, como o mexilhão dourado, de remover substâncias tóxicas como metais pesados, agrotóxicos e toxinas presentes na água e bioacumular em seus tecidos e de outros organismos aquáticos. Os metais tóxicos (Pb, Cd e Cr) e metais pesados biologicamente essenciais (Zn, Fe, Cu e Mn), quando acumulados em quantidades elevadas, provocam danos as espécies. Portanto, os metais contaminantes podem ser difundidos pela cadeia trófica local e também dispersos espacialmente, uma vez que os peixes migram por extensões consideráveis para reprodução e alimentação, entre outros comportamentos fisiológicos.

Além de peixes, existem espécies de mamíferos, pássaros aquáticos e muitos invertebrados (crustáceos, gastrópodes) que podem consumir e/ou servirem de meio de dispersão do *L. fortunei*.

#### 4.4.4 - Impacto em espécies nativas

Competição com outros animais filtradores nativos também é favorecida pelo *Limnoperna fortunei* e essa competição aumenta o risco de aceleração da extinção das espécies mais raras de bivalves nativos como *Leila blainvilliana* e *Castalia martensi* (Mansur *et al*, 2003).

O mexilhão dourado coloniza as conchas e valvas de moluscos nativos e de alguns gastrópodes de forma que a colonização destes moluscos limita sua mobilidade, afetando o seu desenvolvimento. Acarretando em uma diminuição drástica no número de espécies nativas (Takeda *et al*, 2000 e Mansur *et al*, 2003) (Figura 15).



Figura 15: Mexilhão adulto colonizando *Leila blainvilliana*. Fonte: [http://3.bp.blogspot.com/-wBH0M8tAFO4/UAXdWKO4VXI/AAAAAAAAABS4/9so3GR\\_g9KM/s1600/12827173.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-wBH0M8tAFO4/UAXdWKO4VXI/AAAAAAAAABS4/9so3GR_g9KM/s1600/12827173.jpg)

Sufocamento de bivalves e gastrópodes que apresentam exoesqueletos ou conchas após sua fixação na porção superior dos indivíduos impede o fechamento total das valvas ou do opérculo, tais como o bivalve invasor *Corbicula fluminea*, o bivalve nativo *Anodontites trapesialis* (Mycetopodidae) e o caranguejo *Aegla platensis* (Aeglidae) (Mansur *et al*, 1999; Darrigran, 2000; Darrigran *et al*, 2000b; Mansur *et al*, 2003; Darrigran e Ezcurra de Drago, 2007).

## **5 – IMPACTOS ECONÔMICOS**

### **5.1 - Histórico dos impactos em sistemas industriais.**

Os prejuízos econômicos causados pelo *Limnoperna fortunei* em instalações industriais da América do Sul começaram a ser registrados em 1994, com a detecção de incrustações em amostras de água da torneira na cidade de La Plata, Argentina (Darrigran, 1995), e mais tarde também foram afetadas as estações de tratamento da cidade de Buenos Aires e Bernal (Darrigran e Ezcurra de Drago, 2007). Em 1997, o *L. fortunei* foi relatado pela primeira vez na República do Paraguai nos sistemas de refrigeração dos barcos da guarda costeira no porto de Assunção sobre as águas do rio Paraguai.

O primeiro registro de incrustações em hidrelétricas foi observada na Usina Yacretá, localizada no rio Paraná, em 1998. Nesta usina o mexilhão dourado afetou os sistemas de resfriamento e outros sistemas auxiliares de circulação de água (Darrigran e Ezcurra de Drago, 2007). Em 2001 o *L. fortunei* foi registrado no sistema de resfriamento da hidrelétrica binacional de Itaipu (Zanella e Marena, 2002) afetando também as entradas de água de estações de tratamento e indústrias localizadas no Lago Guaíba e outros sistemas de resfriamento de outras hidrelétricas (Porto Primavera, Jupia e Ilha Solteira), localizada no rio Paraná. No mesmo ano o molusco chegou a barragem binacional (Argentina-Uruguai) de Salto Grande localizada no rio Uruguai. Em 2002, foram relatados problemas pelas incrustações no sistema de resfriamento da Central Nuclear de Embalse, sobre a represa do Rio Tercero (Córdoba, Argentina).

Em seguida, foram detectados no reservatório Piedras Moras, Los Molinos e Barragem San Roque entre 2002 e 2006 (Darrigran e Mansur, 2006; Darrigran *et al*, 2009). Em 2008, as conchas acumuladas no sistema resfriamento da Central de Energia Elétrica de San Roque, resultaram na interrupção do fornecimento de água para a cidade.

Além de afetar as instalações industriais e embarcações, o *L. Fortunei* pode interferir em sistemas de irrigação e pisciculturas. Por exemplo, em 2008 o sistema de irrigação Tacuarí e sistemas de cultivo de esturjão, no Uruguai foram afetados pela incrustação do mexilhão dourado, onde a malha do tanque rede, foi preenchida com colônias do mexilhão, criando um ambiente anóxico para os peixes (Sardiña *et al*, 2008).

### **5.2 – Impactos em sistemas industriais**

Além de suas influencias negativas sobre o ecossistema, os impactos do *Limnoperna fortunei* nos sistemas industriais são muito significativos. O entupimento de filtros, grades, tubos, trocadores de calor, condensadores e outros equipamentos representam as dificuldades mais comuns para indústrias e usinas de geração de energia que utilizam água não tratada de rios e lagos em seus processos, em particular para resfriamento.

Os prejuízos econômicos causados pelo *Limnoperna fortunei* são oriundos da sua colonização, em sistemas que utilizam à água ou entram em contato com cursos de águas infestados. Estações de tratamento de água e usinas hidrelétricas estão entre as que mais sofrem com esse problema (Darrigran e Pastorino, 1995; Ricciardi, 1998; Darrigran e Ezcurra de Drago, 2007).

Irurueta *et al*, (2002) verificaram que a densidade de larvas de *L. fortunei* em ambientes industriais pode ser 2,57 vezes maior do que em ambientes naturais.

Segundo Mansur *et al*, (2003), essa extensa proliferação e fixação do *Limnoperna fortunei* em ambientes industriais podem provocar principalmente:

- i) redução da passagem de água no interior das tubulações com decréscimo de velocidade do fluxo de água;
- ii) entupimentos nos sistemas coletores de água;
- iii) contaminação de água por causa da mortandade e deterioração em massa;
- iv) oclusão de bombas, filtros e sistemas de resfriamento.

O ingresso do mexilhão dourado em instalações industriais ocorre durante os primeiros estágios de desenvolvimento (Boltovyskoy e Cataldo, 1999). As larvas de vida livre que se encontram suspensas na coluna de água são introduzidas nos sistemas através da captação de água bruta para uso nos equipamentos e processos de produção. Assim, esta espécie quando dentro do ambiente industrial se fixa a qualquer tipo de substrato duro como metal, plástico, cimento, madeira, entre outros, e cresce descontroladamente em camadas, podendo obstruir todo o diâmetro de tubulações, filtros, bombas, canalizações e turbinas, configurando um efeito denominado de *macrofouling* (Darrigran e Damborenea, 2009) (Figuras 16A e 16B). As tubulações, filtros, bombas, condensadores dentre outros equipamentos necessitam então de limpeza constante para a remoção dos organismos, gerando prejuízo para as empresas, (Darrigran e Pastorino, 1995; Ricciardi, 1998; Darrigran e Ezcurra de Drago, 2007).





(A)

(B)

Figura 16: (A) Filtro de água bruta incrustado pelo mexilhão dourado e (B) Tubulação de água bruta incrustada pelo mexilhão dourado. Fonte: (A) <http://3.bp.blogspot.com/LT8QXDFDsAI/Ta9N5Psiggl/AAAAAAAAAWfk/0Ozxr88SvKI/s1600/mexilh%25C3%25A3o+dourado.jpg> e (B) <http://2.bp.blogspot.com/-vflpb9-0Qnk/TnqYU8BnSLI/AAAAAAAAACo/hcjUzYIWLXA/s1600/mexilhao04.jpg>

As constantes paradas de máquinas acarretam diminuição da vida útil de equipamentos oriundos do aumento de manutenções para limpeza, além de onerar com mão-de-obra necessária para as frequentes manutenções.

Para se ter uma noção de valores, de acordo com a CEMIG (2004) nos Estados Unidos, no período de 1993-1999, as usinas geradoras de energia gastaram US\$ 3,1 bilhões com o combate ao mexilhão zebra. No Canadá, o gasto anual foi estimado em torno de US\$ 376.000 por estação geradora, segundo empresa Ontário Hydro.

Segundo a ANEEL (2011), o Brasil possui um total de 2.344 empreendimentos em operação, tendo uma capacidade produtiva de 113.368.791 kW de potência. A principal fonte geradora é a matriz hidroelétrica compreendendo 889 usinas que geram 66,35% de toda a capacidade instalada e em segundo lugar a termoeétrica com cerca de 1400 empreendimentos e sendo responsável por 26,17%. O restante é completado por produção eólica 0,76% e importação de outros países 6,72%.

No Brasil, praticamente todas as usinas hidrelétricas utilizam sistemas de resfriamento aberto, ou seja, a água é captada diretamente do reservatório à montante, de forma bruta, sem nenhum tratamento químico e é devolvida ao rio à jusante da usina (Lopes *et al*, 2010).

Sendo assim, após a introdução do *L. fortunei* nos rios brasileiros, a principal matriz energética ficou vulnerável aos impactos acarretados por esta espécie, acarretando diversos problemas ocasionados pela bioincrustação, principalmente em seus sistemas de resfriamento, que ocasionam perda de carga, aumento na corrosão, desgastes nos equipamentos e vedações, aumento no número de homens/hora trabalhando, superaquecimentos de equipamentos e paradas de emergência nas unidades geradoras, que podem interferir no processo de geração, na taxa de disponibilidade e no fornecimento da energia assegurada.

Em hidrelétricas os principais equipamentos que apresentam problemas de funcionamento ocasionados devido à incrustação por mexilhão dourado estão descritos abaixo:

- Grades de proteção da tomada d'água: redução da vazão de água utilizada para geração;
- Câmara da comporta: aumento no tempo de manutenção devido à formação de odor desagradável, formado pela morte e decomposição dos mexilhões aderidos a esta estrutura;
- Filtros de água bruta: obstrução dos elementos filtrantes, queda no fornecimento de água para o sistema de resfriamento da unidade geradora;
- Tubulações: redução do calibre e queda no fornecimento de água aos equipamentos acarretando superaquecimento;
- Trocadores de calor do tipo placa: redução do fluxo de água e queda na troca térmica da água com o óleo ocasionando superaquecimento de equipamentos;
- Radiadores: redução do fluxo de água e queda na troca térmica da água com o ar, ocasionando superaquecimento de equipamentos.

De acordo com Collyer (2007), os custos associados às paralisações não programadas para manutenção de máquinas das usinas hidrelétricas e retirada manual do mexilhão dourado em filtros e tubulações, tem prejuízo estimado de US\$ 1 milhão de dólares.

Netto (2011) alega que uma usina hidrelétrica de 120 MW, com 3 unidades geradoras e com problema de incrustação na parte crítica de seu sistema de resfriamento, pode ter o prejuízo de até R\$ 40.000,00 por dia de máquina parada, sem considerar neste valor a mão de obra e os materiais necessários para desobstruir o sistema.

Quanto a valores envolvidos, por se tratar muitas vezes de informações internas e também por variar de acordo com o empreendimento fica difícil de chegar a um denominador comum.

Na figura 17, segue um mapa com a distribuição do mexilhão dourado e as hidrelétricas no país.



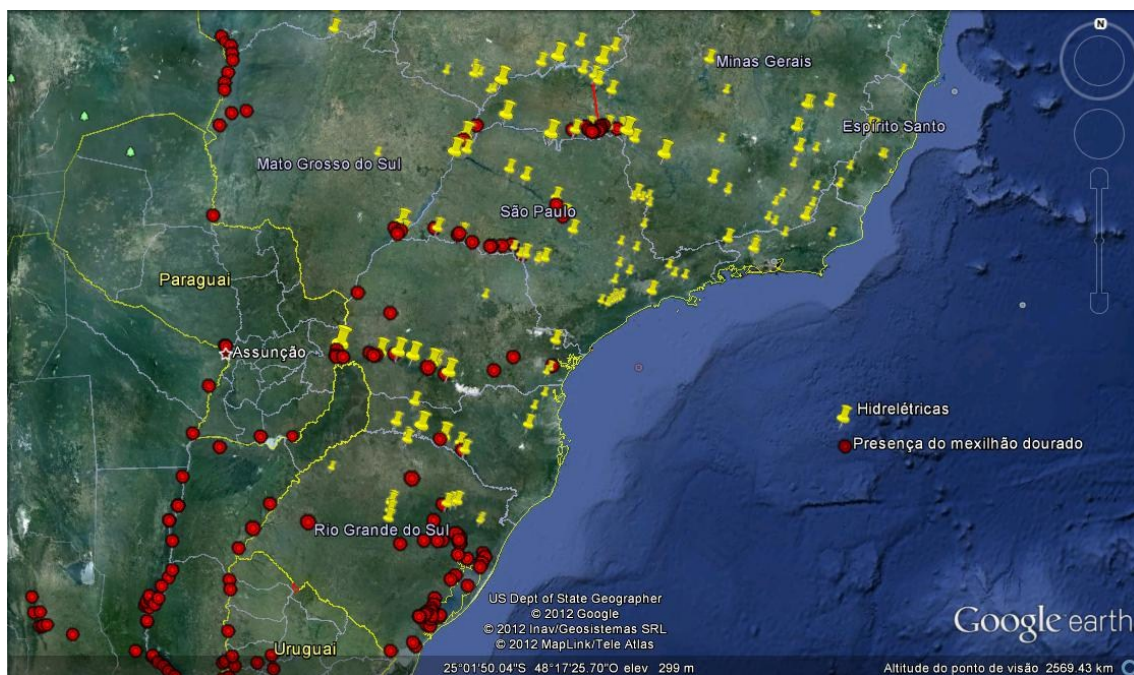


Figura 17: Distribuição do mexilhão dourado e hidrelétricas.

Como observado no mapa, grande parte da principal matriz energética do País encontra-se comprometida e/ou em sério risco, devido à expansão territorial do mexilhão dourado.

Nos ambientes industriais já infestados, os problemas decorridos da incrustação moluscos não é um problema sem solução, pois métodos de controle através de meios físicos ou químicos têm se mostrado eficientes. Porém, a maioria dos métodos desenvolvidos é de difícil aplicação em sistemas industriais e sempre trazem custos associados, quer de ordem econômica e ou ambiental.

### 5.3 - Métodos de controle utilizados para o combate do *Limnoperna fortunei* em sistemas industriais

O *Limnoperna fortunei* possui características biológicas importantes a serem consideradas na concepção de estratégias de controle, incluindo a alta fecundidade (Karatayev *et al*, 2007a), larvas pequenas entre 85 e 400 micrometros (Cataldo *et al*, 2005), período de reprodução extenso entre 6 e 10 meses do ano (Boltovskoy *et al*, 2009) e estágio larval de vida livre relativamente longo de 10 a 20 dias, dependendo da temperatura da água (Choi e Kim, 1985; Cataldo *et al*, 2005). Além disso, *L. fortunei* tem amplo limite de tolerância ambiental, suportando salinidades de até 23‰ (Sylvester *et al*, 2013) baixo pH (5,5), oxigênio dissolvido (0,5 mg/L) e cálcio (3 mg/L) (Karatayev *et al*, 2007a).

Filippo (2003) ressalta que conhecer a biologia da espécie invasora, tanto no ambiente humano quanto no natural, é um dos requisitos fundamentais para um efetivo controle e para evitar deteriorações indesejáveis do ambiente. Este mesmo autor ressalta que cada curso de água apresenta características estruturais, limitantes e definitivas, que devem orientar o método ou sistema de

controle, químico e/ou físico e/ou biológico, a ser utilizado. Não existe uma fórmula geral para ser aplicada no controle do mexilhão dourado. Corroborando esta informação Darrigran e Pastorino (2003) comentam que não existe um único método de prevenção e controle que seja sustentável para solução deste problema. Neste caso deve-se realizar uma combinação de metodologias, que levem em consideração:

- i) a grande capacidade adaptativa e reprodutiva do mexilhão dourado;
- ii) as características ambientais peculiares de cada região geográfica;
- iii) as características de cada ambiente industrial a ser tratado.

Qualquer tratamento a ser utilizado precisa preencher diversos quesitos, tais como: ser seguro, prático, tecnicamente exequível, de baixo custo e ambientalmente aceitável (Silva *et al*, 2004).

No intuito de mitigar os danos causados pelo mexilhão dourado, o objetivo dos métodos de controle em sistemas industriais se baseia em limitar a propagação deste organismo para níveis seguros ou aceitáveis, para que ocorra o funcionamento normal dos sistemas industriais.

Existem diferentes métodos, que podem ser divididos em três grupos: métodos físicos, métodos químicos e métodos biológicos.

### **5.3.1 - Métodos de controle físico**

#### **5.3.1.1 - Remoção manual ou mecânica**

O método físico mais utilizado é a remoção manual ou mecânica. Este processo elimina populações de moluscos de estruturas externas, canos e tubos em trocadores de calor em curto tempo, sendo necessário repetir o processo regularmente. São utilizadas pás, raspadores, escovas adaptadas com o diâmetro do tubo, entre outros. Normalmente, estes métodos são combinados com outras técnicas, tais como a utilização de cloro e de tratamento térmico para reduzir a frequência de trabalhos oriundos da manutenção do sistema. No entanto, estas operações tendem a ser onerosas (desgaste de equipamentos) e nem sempre aplicáveis devido ao difícil acesso aos lugares colonizados por moluscos.

#### **5.3.1.2 - Controle de temperatura**

O uso de água em temperaturas elevadas é um método eficaz de controle de organismos incrustantes. Tratamentos térmicos são implementados em indústrias na América do Norte e na Europa há muitos anos (Mackie e Claudi, 2010).

As principais vantagens do método são sua facilidade e baixo custo, porém causa impactos ambientais onde a temperatura pode afetar outros organismos presentes no meio. Sua principal limitação é que para sua implementação, em alguns casos, é necessário uma readequação da estrutura do equipamento a ser utilizada.

### **5.3.1.3 - Filtros fixos e móveis**

Antes de entrar nos equipamentos, a água bruta pode ser filtrada em filtros fixos e/ou móveis. No entanto, a maioria dos filtros são eficazes para a remoção de partículas de até 0,8 mm, não impedindo a entrada de larvas de moluscos (entre 0,01 mm e 0,03 mm). Os filtros finos são menos eficientes, especialmente quando se lida com grandes volumes e águas turvas, sendo mais onerosos em termos da energia necessária para impulsionar a água mantendo a pressão no sistema.

### **5.3.1.4 - Correntes Elétricas e luz UV**

Correntes elétricas podem ser usadas para prevenir a entrada de larvas de moluscos nos sistemas de resfriamento, ou criando um campo elétrico na superfície para evitar a incrustação de moluscos. Podem ser utilizados valores altos de intensidade de corrente e tempos de exposição curtos, ou tempos de exposição prolongados e menor intensidade de corrente. Estudos realizados em laboratório sobre o *L. fortunei* indicam que campos elétricos superiores a 40 V/cm a 25 pulsos por segundo, e de 60 V/cm a 6 pulsos/s são eficazes para "atordoar" larvas véligers (Satuito *et al*, 2000). No entanto, os tempos de exposição necessários e a quantidade de energia requerida tornam este método impraticável na maioria dos sistemas (Mackie e Claudi, 2010). Ressalta-se que a corrente elétrica pode afetar outros organismos contidos no meio.

A utilização de luz ultravioleta (UV), como um agente biocida é conhecido e utilizado há muitos anos, principalmente no setor de água potável e de recreação em alguns países. Para bivalves de água doce são efetivos os espectros de luz UVb e UVc (Mackie e Claudi, 2010). A implementação do método consiste em submeter a água que entra no sistema de resfriamento a radiação, de forma a inativar as larvas. É um método relativamente econômico, fácil de operar e ambientalmente seguro. Segundo Wright *et al*, (1998) o processo de desinfecção com radiação UV possui uma mínima geração de subprodutos, não tendo sido identificada a formação de subprodutos mutagênicos ou carcinogênicos. Sendo conhecida por ser uma técnica com baixos riscos a saúde (EPA, 2006).

As principais desvantagens são a absorção da radiação pelo material em suspensão, baixa seletividade e alta dose necessária para controlar os moluscos.

Souza *et al*, (2000) realizaram estudos sobre a influência da turbidez na desinfecção de água de abastecimento utilizando radiação ultravioleta e

verificaram que a turbidez interfere diretamente no processo de desinfecção, quanto maior for a turbidez maior será o consumo de radiação UV.

O uso de radiação UV é eficaz apenas para combater larvas do molusco, se no sistema já possuir mexilhões adultos estabelecidos, o método não impede o desenvolvimento destes moluscos, sendo necessário recorrer a outros métodos para eliminação dos moluscos adultos (Claudi e Mackie, 2010).

#### **5.3.1.5 - Anoxia e hipóxia**

A falta total de oxigênio (anoxia) é mortal para os animais que vivem num meio aquático e uma quantidade insuficiente de oxigênio (hipoxia) pode debilitar os organismos prejudicando inclusive sua capacidade de reprodução.

Outro parâmetro que influencia o método de controle é o tamanho do molusco, sendo que moluscos pequenos necessitam de mais oxigênio que moluscos de maior tamanho, o que torna o tratamento mais eficiente para moluscos de menor tamanho. Outro fato observado, é que os moluscos morrem mais rapidamente em locais contaminados com moluscos mortos, pois há uma competição pelo oxigênio entre as bactérias que decompõem os moluscos mortos e os moluscos vivos.

Alguns artigos publicados recomendam o tratamento por anoxia ou hipóxia, sendo um método eficiente em sistemas fechados e de águas paradas como, por exemplo, água de lastro.

Comumente tem-se provocado a hipoxia ou anoxia, através da inserção de metabisulfito de sódio ou gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S). Importante ressaltar que devido à redução dos níveis de oxigênio da água também ocorre uma redução do pH, induzindo a oxidação de tubulações. Este fato faz com que o método não seja aplicado de forma contínua em sistemas onde as tubulações sejam passíveis de oxidação (Tamburria, 2002). No caso da utilização do nitrogênio para provocar a desoxigenação da água, o processo pode implicar numa redução dos efeitos de corrosão das tubulações.

#### **5.3.1.6 - Velocidade da corrente de água**

O assentamento de larvas planctônicas é limitado a áreas com velocidades de corrente moderadas. Matsui *et al*, 2002, chegaram a velocidade crítica de 1,3 m/s para *L. Fortunei*, e verificaram que acima dessa velocidade é dificultado o assentamento da larva. Portanto, o controle da velocidade do fluxo pode ser usado para atenuar a infestação de bivalves. No entanto, poucos equipamentos industriais são projetados para operar em velocidades de corrente suficientes para evitar o assentamento de larvas (Mackie e Claudy, 2010).

#### **5.4.1 – Métodos de controle químico**

Atualmente, o uso de químicos para o controle de moluscos incrustantes em sistemas industriais é a estratégia mais utilizada. A escolha de produtos químicos deve ao fato de possuírem ação rápida e ser simples sua implementação (em sua maioria).

Outra vantagem oferecida pela maioria dos produtos químicos é que o sistema de injeção poder ser projetado para proteger grande parte do sistema industrial (Claudi e Mackie, 1994).

Mas a utilização destes métodos deve levar em conta a compatibilidade com os materiais presentes no sistema de resfriamento e o possível impacto ambiental a jusante do lançamento, uma vez que a maioria dos produtos utilizados pode ser letal tanto para as espécies invasoras como para as nativas (Filippo, 2003).

A dificuldade de adoção deste método é representada principalmente por normas e limitações relativas à descarga de compostos tóxicos no ambiente, bem como os custos envolvidos. Por causa de seu impacto, as regulamentações sobre estes produtos são cada vez mais rigorosas, e, conseqüentemente, a sua aplicabilidade cada vez mais limitada (Mackie e Claudí, 2010). A utilização de produtos químicos pode ser categorizada em agentes oxidantes e não oxidantes.

##### **5.4.1.1 - Agentes oxidantes**

Entre os agentes oxidantes mais utilizados incluem derivados clorados (cloro gasoso, dióxido de cloro e dicloroisocianurato de sódio), hidróxido de sódio, ozônio e peróxido de hidrogênio.

No geral, todos estes compostos têm um modo de ação semelhante baseado na oxidação da matéria orgânica que confere efeitos tóxicos e letais para os organismos envolvidos (Sprecher e Getsinger, 2000).

##### **5.4.1.2 - Cloro e seus derivados**

O controle do mexilhão começou a ser realizado de diferentes formas, no entanto, o uso de substâncias químicas, principalmente o uso de cloro, tornou-se a opção mais oportuna e aceita, sendo um produto de “baixo custo” com uma legislação regulamentando sua disposição no ambiente.

O cloro é o mais utilizado devido à sua eficácia e custo do produto. O cloro é normalmente injetado na entrada de água do sistema, em forma gasosa ou em soluções de hipoclorito, até que os resíduos alcancem os níveis exigidos.

Uma das principais desvantagens do cloro é que a sua utilização no tratamento de águas produzem halogenetos orgânicos e trihalometanos, que é um composto cancerígeno (THMs), sendo ressaltado em diversos estudos (Kim *et al*, 2002; Trolli *et al*, 2002; Sérodes *et al*, 2003; Macedo, 2004). Os

trihalometanos aparecem como produtos resultantes da reação entre substâncias químicas que se utilizam no tratamento oxidativo (cloro livre) e matérias orgânicas (ácidos húmicos e fúlvicos) naturalmente presentes na água. Por esta razão, na maioria dos países a dosagem é estritamente regulada. Nos Estados Unidos, por exemplo, a Agência de Proteção Ambiental (USEPA) limita a concentração de cloro livre em um limite máximo de 0,2 ppm durante o período de 2 horas por dia (Sprecher e Getsinger, 2000).

O processo de cloração não é seletivo e dependendo da concentração, pode ser altamente tóxico para peixes e invertebrados não alvos. Segundo Claudi e Mackie (1994), os peixes são mais afetados do que os outros organismos aquáticos, embora populações de fitoplâncton possam diminuir drasticamente com a presença deste produto químico. Além de matar organismos não alvos, o cloro também pode afetar o comportamento, reprodução, crescimento e mutagênese de organismos expostos.

Além de impactos ambientais, o cloro, por ser um oxidante forte, pode ocasionar corrosão nos materiais presentes no sistema industrial dependendo da dosagem e do tempo de injeção. Desta forma, antes de injetar o cloro em sistemas de resfriamento industriais, o mesmo deve ser analisado para verificar a compatibilidade dos materiais a este tratamento.

Diversos fatores podem afetar a efetividade do controle da bioincrustação com cloro, a concentração de compostos orgânicos e inorgânicos, a temperatura e o pH da água.

As águas ricas em matéria orgânica e inorgânica, caso de grande parte dos reservatórios brasileiros, têm alta demanda de cloro, pois consomem grandes quantidades de cloro residual por meio de reações de oxido-redução (Boelman *et al*, 1997).

#### **5.4.1.3 - Ozônio**

O ozônio é um biocida amplamente conhecido na indústria da água, e ganhou popularidade no mundo inteiro por seu efeito antiviral e antibacteriano. Sendo uma molécula relativamente instável, o ozônio dissipa rapidamente garantindo valores residuais de descarga baixos, portanto, gerando baixo impacto ambiental.

É utilizado com sucesso em sistemas industriais norte-americanos e europeus no controle de larvas e moluscos adultos incrustantes marinhos, e de água doce, incluindo o mexilhão azul *Mutilus edulis*, e o mexilhão zebra (Verelst *et al*, 1999). O ozônio também tem sido utilizado com sucesso no controle do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* em concentrações de 0,3 ppm (Rothe, 2007). Entre as suas desvantagens, o ozônio pode não ser eficaz para o controle de mexilhões já estabelecidos em sistemas de resfriamento e em sistemas que excedem o tempo de 20 minutos de retenção (Mackie e Claudi, 2010), além do que possui elevado custo inicial.

Dentre os diversos subprodutos orgânicos, derivados da ozonização de águas naturais, cabe destacar duas famílias: os ácidos carboxílicos de cadeia curta e os compostos carbonílicos (Hoigné, 1998). O mais comum precursor inorgânico dos subprodutos de desinfecção é o brometo que pode ser um constituinte natural da água, convertido a bromato durante a ozonização, que pode ser um problema se formado em grandes concentrações, considerado um potencial carcinogênico para os seres humanos.

#### **5.4.1.4 - Peróxido de hidrogênio**

O peróxido de hidrogênio é usado frequentemente como algicida ou biocida em pequenos sistemas. Para controlar o mexilhão zebra são necessárias concentrações relativamente elevadas do composto; entre 5,4 e 40 ppm, reduzindo a duração do tratamento com o aumento da concentração tóxica (Petrille e Miller, 2000). Como o peróxido de hidrogênio tem o custo mais elevado do que o cloro, o composto não é economicamente aplicável em sistemas que lidam com grandes volumes de água (Mackie e Claudi, 2010).

#### **5.4.1.5 - Agentes não oxidantes**

Entre os tóxicos não oxidantes existem uma grande variedade de formulações industriais (principalmente compostos de quaternário de amônio, niclosamidas, e hidrocarbonetos aromáticos) para o controle de moluscos incrustantes. A química e a atividade dessas formulações diferem dos agentes oxidantes oferecendo uma gama de diferentes aplicações.

#### **5.4.1.6 - Quaternários de Amônia, Poliquaternários e Niclosamidas**

Produtos com as formulações à base de quaternário de amônia, poliquaternários ou niclosamidas, são de ação rápida, sendo absorvidos pelos mexilhões causadores de incrustação. Atuam nas membranas impedindo a respiração dos mexilhões. Eles podem ser aplicados nos tratamentos de curto período, de forma intermitente e contínua, em diferentes doses, dependendo do grau de incrustação do sistema e do tempo de retenção.

Tanto as formulações a base de quaternário de amônia, quanto à base de niclosamidas, são tóxicas para o ser humano e para outras formas de vida, incluindo peixes e invertebrados, de modo que a sua utilização em sistemas de água são regulamentados por legislação. Outras desvantagens associadas ao seu uso são os altos custos e as complicações na manipulação e dosagem.

Cataldo *et al*, (2003), analisaram em laboratório a tolerância do *L. fortunei* com molusquicidas não oxidantes e concluíram que a espécie detecta a presença dos tóxicos e fecha a concha e suas valvas, contrastando com o relatado em outras espécies de moluscos. No experimento concluíram que estes compostos são prejudiciais ao *L. fortunei*, porém foram menos eficazes quando comparado com os efeitos no *D. polymorpha*.

#### **5.4.1.7 - Hidrocarbonetos aromáticos**

Formulações a base de hidrocarbonetos aromáticos têm sido utilizadas na indústria como biocidas há muitos anos. São corrosivos para as membranas e formam películas protetoras que aderem no interior dos componentes do sistema, prevenindo a proliferação dos organismos causadores de incrustação no sistema. Além disso, os mexilhões não detectam estes compostos, não fechando suas valvas. A toxicidade destes compostos para o controle do mexilhão varia segundo a sua concentração e tempo de exposição, determinando a dose entre 0,3 e 12 ppm. Estes compostos são altamente tóxicos para peixes e outros organismos, sendo o seu uso regulamentado (Sprecher e Getsinger, 2000).

#### **5.4.1.8 - Os sais de potássio, cápsulas e metais**

Sais de potássio são seletivos e altamente tóxicos para os mexilhões. Estes compostos atuam interferindo na integridade das membranas responsáveis pela respiração, não sendo tóxico em peixes (Waller *et al*, 1993). No entanto, eles são muito prejudiciais para as populações de mexilhões nativos (Sprecher e Getsinger, 2000). Sua utilização em sistemas abertos e fechados se dá por meio de soluções concentradas de cloreto de potássio ou através de soluções de hidróxido de potássio.

O uso de partículas microencapsuladas tem o potencial de superar a reação do mexilhão de fechar as conchas, comumente observados quando os mexilhões estão expostos a alguma ameaça. Os tratamentos breves com químicos não afetam os moluscos, provavelmente pela capacidade de detectarem o biocida na água e fechar fortemente suas valvas, evitando o contato (Cataldo *et al*, 2002). Esta característica também foi verificada por Mansur *et al*, (2003) notificando que, quando em condições ambientais desfavoráveis, o mexilhão dourado responde fechando suas conchas por períodos prolongados. Isto significa que biocidas dissolvidos, podem necessitar de dosagem contínua por longos períodos para apresentar os efeitos desejados para o controle de moluscos invasores (Aldridge *et al*, 2006).

Aldridge *et al*, (2006) desenvolveram um método em que o princípio ativo que provoca morte dos mexilhões incrustantes é encapsulado em um revestimento "comestível". Estas partículas tem o diâmetro das comumente consumidas pelos dreisenídeos (cerca de 20 microns). Devido à presença do revestimento, os mexilhões filtram as partículas sem detectar o tóxico.

Os microencapsulados possuem o potencial de oferecer uma alternativa viável ao uso de químicos para o controle de pragas filtradoras como os mexilhões, com as vantagens prometidas pelo fabricante de oferecer tratamentos com dosagens únicas, portanto, sem a necessidade de dosagens contínuas, evitando que grande quantidade de biocida seja disperso no ambiente (Aldridge *et al*, 2006).

O uso dessas substâncias para o controle de pragas, como o mexilhão dourado e mexilhão zebra, fundamenta na habilidade de filtração e de remoção das



partículas do meio líquido que os moluscos possuem. Ao considerar que diferentes espécies de moluscos filtram diferentes tamanhos de partículas, a seleção do tamanho das microcápsulas pode ser de acordo com a espécie. Além disto, pode-se levar qualquer substância até o mexilhão, em concentrações dosadas e específicas, reduzindo drasticamente a concentração de biocidas, comparado com as dosagens diretas na água. Testes com mexilhão zebra, *Dreissena polymorpha*, sugerem os biocidas microencapsulados como uma alternativa com menor dano ambiental para o controle de bivalves invasores (Elliot, 2005; Aldridge *et al*, 2006; Costa, 2008). No entanto, trata-se de um processo que poderia ser utilizado apenas em sistemas fechados, pois fatalmente atingiria outros moluscos filtradores existentes no meio ambiente.

O uso de metais como um método de controle de organismos incrustantes baseia-se na utilização de ions de cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) e de alumínio (Al) ou hidróxido de alumínio ( $\text{AlOH}^3$ ). A presença em excesso de ions de cobre na água é letal para muitos organismos aquáticos e é utilizado como um componente de tintas antiincrustantes marinhas há muitos anos. O alumínio age como um floculante formando películas protetoras sobre as superfícies, evitando a incrustação dos animais. Existem formulações comerciais mesclando estes princípios ativos. Também tem sido utilizadas soluções de sulfato de cobre obtendo resultados aceitáveis (Mackie e Claudi, 2010). Devido à elevada toxicidade destes compostos, o seu uso é limitado por legislação.

#### **5.4.1.9 - Tintas antiincrustantes**

Tintas antiincrustantes têm sido utilizadas há alguns anos para prevenir a incrustação de mexilhões e outros organismos incrustantes nos cascos de navios e sistemas de resfriamento industrial. Estes produtos contêm cobre, ligas de cobre e níquel, ligas de materiais organometálicos ou outros componentes tóxicos para organismos incrustantes.

Entre os mais utilizados encontram-se o óxido de tributil-estanho, óxido de cobre, acetato de trifenil-ferro, fluoreto de tributil-estanho e trifenil estanho. Comumente aplicado em condensadores e trocadores de calor. Sua vantagem é que se pode tratar apenas a superfície onde se fixam os moluscos, e não todo o volume de água circulante. No entanto, possuem numerosas desvantagens, incluindo a necessidade de renovar a pintura periodicamente e alto custo. Além disso, todas as tintas antiincrustantes liberam tóxicos para a água com o passar do tempo.

Outra alternativa é a utilização de materiais com propriedades antiaderentes. Os autores (Matsui *et al*, 2001, Matsui *et al*, 2002, Mackie e Claudi, 2010), observaram que mexilhões, incluindo *Limnoperna fortunei*, se aderem fortemente a superfícies polares ou ásperas como o vidro, calcário e aço carbono; enquanto que a adesão é fraca em superfícies não polares ou lisas, como silicone, teflon e alumínio.

## 5.5 - Métodos de controle biológicos

Os métodos biológicos baseiam-se na introdução de espécies predadoras, o que também é bastante delicado, devido à dificuldade em se determinar o comportamento de uma nova espécie no ecossistema, além de estar correndo risco de se introduzir outra praga no ambiente, uma vez que em muitos casos o mexilhão passa pelo trato digestivo do peixe vivo. Muitos pesquisadores avaliaram a capacidade de predação de *Limnoperna fortunei* por peixes através de pesquisas experimentais e observacionais (Boltovskoy e Cataldo, 1999; Darrigran e Pastorino, 2003; Giordani *et al*, 2005), onde os principais predadores são: *Ptedodoras granulosus*, *Leporinus obtusidens* (piava), *Loricaria loricaria vetula*, *Oxydoras kneri*, *Pimelodus maculatus* (bagre amarelo) e *Cyprinus carpio* (carpa).

Atualmente, a introdução de peixes não é utilizada como um método de controle do mexilhão dourado. Foi mencionada nesta revisão por despertar a atenção de alguns pesquisadores quanto à predação, em suas pesquisas experimentais e observacionais. Portanto, são necessários estudos mais detalhados que comprovem a sua eficácia e os impactos ocasionados pela introdução de uma nova espécie no ambiente.

## **6 – GESTÃO**

### **6.1 – Histórico de medidas gerenciais para o controle de deslastro de navios**

Estima-se que aproximadamente 4 bilhões de toneladas de água de lastro são transferidas globalmente a cada ano, e que 7.000 espécies de bactérias, plantas e animais são carregadas por dia na água de lastros de navios ao redor do mundo (Fernandes e Leal Neto, 2009).

Mediante os casos de introdução de espécies exóticas comprovados em várias partes do mundo, a IMO (Organização Marítima Internacional), agência da Organização das Nações Unidas (ONU) responsável pela salvaguarda da vida humana no mar e pela preservação da vida marinha, juntou-se aos países que já trabalhavam com a introdução de espécies exóticas pela água de lastro, principalmente Austrália e Estados Unidos, e chamou para si a coordenação dos trabalhos internacionais nesse sentido, editando resoluções, desenvolvendo e financiando programas.

A IMO, em conjunto com os seus membros, criou o Programa Global de Gerenciamento de Água de Lastro (GloBallast), contando com o apoio dos países membros e da indústria do transporte marítimo, que teve como objetivo apoiar os países em desenvolvimento no trato do problema de água de lastro. Os recursos para sua execução foram providos do Fundo Mundial para o Meio Ambiente – GEF, repassados por intermédio do Programa das Nações Unidas Para o Desenvolvimento – PNUD. A IMO selecionou seis países onde o programa seria implementado e desenvolvido ainda como um trabalho piloto (Leal e Jablonsky, 2004). Os escolhidos foram: Brasil, Índia, Irã, Croácia, África do Sul e China. No Brasil, foi indicado o Porto de Sepetiba como Piloto do GloBallast.

Alguns países, preocupados com os impactos causados pelas introduções involuntárias de espécies exóticas por meio do vetor água de lastro, dentre elas o mexilhão dourado, resolveram desenvolver e implantar algumas ações próprias, no sentido de minimizar as alterações ambientais causadas por essa atividade.

O Panamá, por iniciativa própria, adotou como medida a proibição da descarga de água de lastro no interior do seu canal, para todos os navios que o atravessassem (Gollasch, 1997).

Na Argentina, desde 1990, as autoridades portuárias de Buenos Aires exigem a cloração da água de lastro dos navios que chegam a seu porto. Atualmente, de acordo com a Prefeitura Naval Argentina, existe uma zona de proibição de ações contaminantes. O deslastro de navios estrangeiros deve ser feito fora dessa área, entretanto o uso de biocidas continua sendo autorizado, como complemento às trocas de lastro em alto-mar (Silva, 2001).

No Chile, com o intuito de prevenir epidemias, especialmente de cólera, desde 1995 foi determinada a troca de lastro a 12 milhas da costa, para todos os

navios vindos de países estrangeiros. Caso a troca não seja feita ou não possa ser comprovada, é necessária a cloração dos tanques (Silva, 2001).

Em 1992, a Nova Zelândia, por meio do grupo de água de lastro da IMO, também elaborou suas diretrizes, que seguem a mesma linha da Austrália (Silva, 2001). Em Israel, o Porto de Haifa adotou como medida mitigadora, para ser aplicada a todos os navios que para lá se dirijam e que necessitem efetuar a manobra de deslastro de água depois de atracados, que efetuem a troca de água de lastro em alto mar, antes de entrarem em águas territoriais israelenses (Gollasch, 1997).

## **6.2 - Força Tarefa Nacional**

O problema da presença do mexilhão dourado, principalmente nas usinas hidrelétricas onde afeta diretamente a produção de energia, fez com que o governo federal através do Ministério do Meio Ambiente (MMA), criasse a força tarefa nacional (FTN) para o controle do mexilhão dourado (portaria nº 494 de dezembro de 2003). Composta por representantes de sete ministérios e 13 entidades ligadas aos setores de geração de energia, abastecimento e meio ambiente. A Força Tarefa Nacional se destinava a traçar um diagnóstico dos danos causados pelo mexilhão dourado e tentar controlá-lo. Com o desdobramento das ações da Força Tarefa Nacional, foram criadas coordenações locais, nas bacias dos rios Paraná, Paraguai e Guaíba. Em 2004 foi lançado o plano emergencial para combate ao mexilhão dourado. Com a desativação da Força Tarefa Nacional em 2007, o plano não foi adiante e a espécie continua a se espalhar.

## **6.3 - NORMAM-20/DPC**

Como mencionado, sabe-se que a água de lastro é um meio eficaz de transferência de organismos. No Brasil o fato de seus portos apresentarem grande similaridade ambiental entre si é ainda mais preocupante, pois, uma vez introduzida uma espécie com sucesso em um desses portos, serão encontradas condições favoráveis para que ela se difunda para os demais (Junqueira e Leal, 2003).

No Brasil existe a NORMAM-20/DPC cujo propósito é estabelecer requisitos referentes à prevenção da poluição por parte das embarcações em águas jurisdicionais brasileiras, no que tange ao gerenciamento da água de lastro. O sistema inicial tem como base fundamental a troca da água de lastro de acordo com a Resolução de Assembléia da Organização Marítima Internacional (IMO) A.868(20), de 1997 e com a Convenção Internacional de Controle e Gestão da Água de Lastro e Sedimentos de Navios, adotada em fevereiro de 2004 e assinada pelo Brasil em 25 de Janeiro de 2005, devendo ser aplicada a todos os navios que possam descarregar água de lastro nas águas jurisdicionais brasileiras.

A norma da autoridade marítima para o gerenciamento da água de lastro de navios remete dentre outras, as seguintes considerações a respeito do gerenciamento de água de lastro:

a) é fundamental que os procedimentos de gerenciamento da água de lastro sejam eficazes e viáveis, técnica e ecologicamente, e que sejam implementados com o objetivo de reduzir ao mínimo os custos e a demora infligida às embarcações;

b) a implementação de métodos e procedimentos para o gerenciamento da água de lastro apresenta-se como solução para reduzir-se ao mínimo a introdução de organismos aquáticos exóticos e agentes patogênicos nas águas jurisdicionais brasileiras;

c) o sistema de gerenciamento da água de lastro usado para cumprimento da presente norma deverá ser seguro para a embarcação, seus equipamentos, sua tripulação e seus passageiros, e não causar mais ou maiores impactos ambientais do que sua ausência;

d) existe a necessidade evidente do desenvolvimento de novas tecnologias de gerenciamento da água de lastro e equipamentos, uma vez que medidas operacionais, como a troca oceânica da água de lastro, não são plenamente satisfatórias. Novos métodos de gerenciamento de água de lastro poderão ser aceitos como alternativas, desde que em consonância com as regras da IMO.

A presente norma se aplica a todas as embarcações, nacionais ou estrangeiras, dotadas de tanques/porões de água de lastro, que utilizam os portos e terminais brasileiros.

De acordo com a Resolução de Assembleia da IMO A.868(20), de 1997 e com a Convenção Internacional de Controle e Gestão da Água de Lastro e Sedimentos de Navios, adotada em 2004, a prevenção da poluição por parte das embarcações em nas águas jurisdicionais brasileiras, no que tange ao gerenciamento da água de lastro, tem por base a obrigatoriedade da troca oceânica da água de lastro.

Consta na norma que toda embarcação nacional ou estrangeira que utiliza água como lastro deve possuir um plano de gerenciamento da água de lastro com o propósito de fornecer procedimentos seguros e eficazes para esse fim. Este plano deve ser incluído na documentação operacional da embarcação, devendo, ainda, ser específico para cada embarcação e conter os seguintes itens:

a) procedimentos detalhados de segurança para a embarcação e tripulação associadas ao gerenciamento da água de lastro;

b) descrição detalhada das ações a serem empreendidas para implementar o gerenciamento da água de lastro;

c) indicar os pontos onde a coleta de amostras da água de lastro, representativas do lastro que a embarcação traz, seja possível;

d) oficial a bordo responsável por assegurar que o plano seja corretamente implementado;

e) ser escrito no idioma de trabalho da embarcação. Caso o idioma usado não seja o inglês, francês ou espanhol, deverá ser incluída uma tradução para um destes idiomas;

f) ser escrito em português nas embarcações brasileiras que operam somente em águas jurisdicionais brasileiras. Caso essas embarcações passem a operar também na navegação de longo curso, o plano deverá seguir o previsto na alínea anterior.

A norma preconiza que o plano de gerenciamento da água de lastro das embarcações brasileiras e das embarcações afretadas com Atestado de Inscrição Temporária (AIT) deve ser aprovado por Sociedade Classificadora de Navios, com representação no país, que tenha delegação de competência para atuar em nome da Autoridade Marítima. As embarcações de outras bandeiras deverão ter seus planos aprovados pela administração do país de bandeira ou organização reconhecida pela mesma.

Sendo que as embarcações que façam escalas em portos ou terminais brasileiros estarão sujeitas à inspeção naval com a finalidade de determinar se a embarcação está em conformidade com esta Norma.

São também estabelecidas Diretrizes gerais para a troca de Água de Lastro de navios, sendo algumas delas descritas abaixo:

- As embarcações deverão realizar a troca da água de lastro a pelo menos 200 milhas náuticas da terra mais próxima e em águas com pelo menos 200 metros de profundidade, considerando os procedimentos determinados nesta norma. Será aceita a troca de água de lastro por quaisquer dos métodos: Sequencial, fluxo contínuo e diluição;
- Nos casos em que a embarcação não puder realizar a troca da água de lastro em conformidade com a alínea a, a troca deverá ser realizada o mais distante possível da terra mais próxima e, em todos os casos, a pelo menos 50 milhas náuticas e em águas com pelo menos 200 metros de profundidade;
- Não deverá ser exigido de uma embarcação que esteja realizando troca da água de lastro, se o comandante decidir de forma razoável que tal troca ameaçaria a segurança ou estabilidade da embarcação, sua tripulação ou seus passageiros devido a condições meteorológicas adversas, esforços excessivos da embarcação, falha em equipamento ou qualquer outra condição extraordinária;

- Quando a embarcação utilizar o método do fluxo contínuo ou de diluição para a troca da água de lastro deverá bombear, no mínimo, três vezes o volume do tanque;
- As embarcações ao realizarem a troca da água de lastro deverão fazê-lo com uma eficiência de pelo menos 95% de troca volumétrica da água de lastro;
- Somente os tanques/porões que tiverem sua água trocada poderão ser deslastrados;
- É proibida a descarga de água de lastro nas áreas ecologicamente sensíveis e em Unidades de Conservação da Natureza (UC) ou em outras áreas cautelares estabelecidas pelos órgãos ambientais ou sanitários, nas AJB, quando plotadas em carta náutica.

Como mencionado anteriormente, o método recomendado atualmente pela Organização Marítima Internacional (IMO) para diminuir os problemas causados pela água de lastro, consiste na troca oceânica da água de lastro, o único procedimento atualmente disponível em larga escala para reduzir o risco do deslastramento (Juras, 2003).

Esse método está baseado em duas premissas: 1) a concentração de organismos é, via de regra, muito mais baixa em alto mar do que nas áreas costeiras; e 2) a probabilidade de sobrevivência de espécies oceânicas no ambiente de entorno dos portos, tanto na costa quanto em águas interiores, é muito pequena e virtualmente nula (Juras, 2003).

Entretanto esse método tem sofrido algumas críticas, em função do sistema atual de bombeamento da água e do desenho estrutural dos tanques de lastro, associados às limitações operacionais sob condições desfavoráveis do mar, pois isso impede a troca oceânica completa (Procopiak, 2009). Além disso, muitas espécies permanecem no fundo do tanque e podem ser ressuspensas para a coluna d'água quando se tem uma nova tomada de lastro e, posteriormente, podem ser introduzidas no novo ambiente quando do deslastramento (Juras, 2003).

Assim, conforme a NORMAM 20:

(...) Existe a necessidade evidente do desenvolvimento de novas tecnologias de Gerenciamento da Água de Lastro e equipamentos, uma vez que medidas operacionais como a troca oceânica da Água de Lastro não são plenamente satisfatórias. Novos métodos de Gerenciamento de Água de Lastro poderão ser aceitos como alternativas, desde que assegurem, pelo menos, o mesmo nível de proteção ao meio ambiente, à saúde humana, à propriedade e aos recursos naturais, e sejam aprovados pelo Comitê de Proteção do Meio Ambiente Marinho (MEPC), da IMO (NORMAM 20).

Em face disso, admite-se a ideia de que o processo atual (troca oceânica) consiste em um processo transitório, sendo que, outros processos para tratamento da água de lastro deverão ser implementados nas novas embarcações.

Algumas outras opções ainda em análise correspondem a:

- a) Tratamento mecânico, como filtragem e separação;
- b) Tratamento físico, como esterilização por ozônio, luz ultravioleta, correntes elétricas e tratamento térmico;
- c) Tratamento químico, como adição de biocidas na água de lastro para matar organismos;
- d) Várias combinações dos métodos acima descritos (Juras, 2003).

De forma geral, constata-se que as medidas governamentais ainda não produziram os efeitos esperados, e na verdade, foi estabelecida uma década após a identificação da presença do mexilhão dourado em águas brasileiras, quando a espécie invasora já demonstrava seu potencial em causar problemas ao meio ambiente e para as indústrias que se utilizam de águas infestadas.

### **6.3 - A gestão como um mecanismo de controle da dispersão do mexilhão dourado**

Os custos ocasionados por espécies invasoras como o *Limnoperna fortunei* tem crescido consideravelmente, o que tem incentivado pesquisas e discussões sobre o tema. Neste contexto, o estudo de vetores de introdução e dispersão das espécies, visa mapear o que pode acarretar nestas introduções, para reduzir a probabilidade de entrada de novas espécies em determinadas regiões.

Um dos pontos mais importantes na prevenção da introdução de espécies invasoras é a análise dos vetores de dispersão, objetivando interceptá-los ou eliminá-los (Belz, 2006). A erradicação das espécies introduzidas, uma vez que estas se tornaram comuns e abundantes, é uma atividade dificilmente bem sucedida. Erradicação, portanto, é o método menos desejável e muito mais oneroso do gerenciamento de introduções, do que impedir a entrada de espécies em um local (Carlton, 2001).

O conhecimento da biologia e biogeografia da espécie, bem como as relações inter e intraespecíficas e o monitoramento do ambiente tornam-se fundamentais para o gerenciamento do problema da invasão do mexilhão dourado, surgindo à necessidade de se investir em procedimentos de prevenção e controle.

De modo a desenvolver estratégia de gestão para o controle da bioinvasão são necessárias medidas como:

- Controle e gerenciamento de vetores para evitar a chegada de novas espécies, uma vez que a maioria dos casos de introdução de espécies



aquáticas está associada ao transporte via incrustação seja em cascos de embarcações e/ou outras estruturas flutuantes e, também, através da água de lastro;

--Padronização da coleta e armazenamento de dados e avaliação dos impactos para permitir a comparação generalizada, notoriamente entre regiões e tipos de ecossistemas;

-- Estudos que evidenciem as circunstâncias em que são mais facilmente introduzidos e estabelecidos são extremamente importantes, uma vez que a erradicação de espécies já estabelecidas é muito difícil na grande maioria dos casos;

--Aprimoramento e criação de ferramentas de modelagem para prever distribuição espacial da espécie invasora e futuras invasões;

--Técnicas estatísticas para quantificar desvios erros e outros “ruídos” em dados deficientes que dificultam a percepção dos fatores associados à invasão;

--Criação e aprimoramento de ferramentas para avaliação de risco em diferentes escalas;

--Gerenciamento da água de lastro e utilização de tecnologias inovadoras para fiscalizar se as normas foram cumpridas;

--Implementação e desenvolvimento de tecnologias e/ou medidas inovadoras, rápidas e práticas na prevenção das invasões biológicas;

--Restauração de ecossistemas invadidos e gerenciamento de “novos ecossistemas”;

--O monitoramento do ambiente é imprescindível para o controle e o gerenciamento do problema. O pré-requisito para qualquer tentativa de controle está no conhecimento biodiversidade local, identificando as espécies nativas e determinando a presença, distribuição e abundância de espécies introduzidas. Dessa forma, maiores investimentos em estudos relacionados à sistemática e biogeografia são necessários;

--Criação e divulgação de medidas de prevenção e divulgação perante a grande mídia e sociedade. Por exemplo, campanhas de esclarecimento junto às pessoas que podem estar diretamente relacionadas ao problema, neste caso os proprietários de embarcações;

--Medidas legais efetivas de forma integrada e globalizada.

O estabelecimento de mecanismos como a implementação de barreiras à propagação da espécie e a orientação dos usuários das bacias hidrográficas, são formas de diminuir a probabilidade de expansão deste organismo invasor.

A prevenção é de simples implementação e apresenta um menor custo em comparação com a aplicação de métodos de controle. Segundo Darrigran e Pastorino (2003) algumas medidas podem ser tomadas para prevenir ou desacelerar a dispersão do *Limnoperna fortunei*:

- i) Limpar sempre toda embarcação (bote, lancha, veleiro, etc.) antes de transportá-la de uma área infestada ou contaminada por este mexilhão para outra área;
- ii) Lavar o casco e trailer com água sanitária doméstica;
- iii) Utilizar jatos de água ou raspar a superfície com escovas ou espátulas;
- iv) Se o tempo estiver quente e seco, deixar a embarcação fora da água por 6 ou 7 dias (exposição ao ar). Os mexilhões morrerão, alguns cairão e outros deverão ser raspados;
- v) Nunca utilizar a água dos rios e arroios para transportar isca viva ou transferir água de um ambiente aquático a outro. As larvas do *Limnoperna fortunei* são microscópicas e podem ser transportadas involuntariamente de um corpo de água para outro;
- vi) Enxaguar as sentinas, bombas de sucção e outros sistemas de bombeamento, resfriamento, etc., com solução de água sanitária ou com biocida não oxidante;
- vii) Se estiver em terra e houver a possibilidade que seu bote ou outro equipamento contenha água dos corpos de água (e, portanto ter trazido, muito provavelmente, *Limnoperna fortunei*) certifique-se de limpá-lo e despejar a água em terra seca, bem longe de um corpo de água.

As medidas de gestão sugeridas para o controle do mexilhão apresentadas nesta revisão são interessantes, porém é de certa forma de difícil prática, uma vez que muitas vezes envolve custos ao proprietário da embarcação e “gasto” de tempo. O que se verifica, é um maior empenho daqueles que são lesados de alguma forma pelo mexilhão dourado, seja diretamente ou indiretamente em seu processo produtivo ou atividade econômica. Sendo assim, neste contexto, a educação ambiental torna-se uma forte ferramenta para sensibilizar a população dos impactos causados pelo mexilhão dourado e da importância de cada indivíduo no combate deste invasor.

## 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do apresentado nesta revisão bibliográfica constata-se que o *Limnoperna fortunei* (Mexilhão Dourado) é uma espécie com elevada tendência a se expandir para as demais regiões do país. Características como amadurecimento sexual precoce, alta fecundidade, elevada tolerância ambiental, falta de predadores e parasitas fazem desta espécie um exímio invasor.

Sua rápida dispersão no país esta associada ao tipo de uso dos corpos de água, sendo que bacias, lagos e rios são utilizados frequentemente como vias de transporte fluvial e para pesca desportiva.

Verifica-se que grande parte das informações sobre esta espécie resulta da experiência adquirida na Europa e na América do Norte com outras espécies de bivalves introduzidos, como o *Dreissena polymorpha* (Mexilhão Zebra). Uma vez que bivalves de água doce como esse, tem colonizados vários países e há algum tempo vem sendo investigados os seus impactos tanto sobre o ambiente, quanto sobre a indústria.

O *L. fortunei* compartilha muitas características biológicas e ecológicas com *D. polymorpha*, no entanto, o uso de *D. polymorpha* como um modelo de comportamento e ecologia de *L. fortunei* tem suas limitações, pois ambas as espécies têm também diferenças expressivas.

Pesquisadores consideram o *L. fortunei* um invasor mais agressivo do que *D. polymorpha*, tanto pela sua ampla tolerância térmica, quanto pela sua resistência à poluição, baixos níveis de oxigênio dissolvido e baixa requisição de cálcio dissolvido, sendo uma espécie com uma alta probabilidade de colonizar corpos d'água da América do Norte em um futuro próximo.

Nos corpos d'água brasileiros, o crescimento descontrolado do *L. fortunei* tem provocado diversos impactos ambientais, dentre eles aumento da transparência da água, mudanças na taxa de ciclagem de nutrientes, impacto sobre as comunidades planctônicas, alteração na ictiofauna, diminuição drástica no número de espécies nativas, dentre outros.

Nos sistemas industriais os prejuízos econômicos causados pelo *Limnoperna fortunei* são oriundos da sua incrustação em tubulações, ocasionando basicamente entupimentos, oclusão de bombas e filtros.

No Brasil, a principal matriz energética ficou vulnerável aos impactos acarretados por esta espécie, acarretando em diversos problemas ocasionados pela bioincrustação, principalmente em seus sistemas de resfriamento, ocasionando perda de carga, aumento na corrosão, desgastes nos equipamentos e vedações, aumento no número de homens/hora trabalhando, superaquecimentos de equipamentos e paradas de emergência nas unidades geradoras, que podem interferir no processo de geração, na taxa de disponibilidade da unidade geradora e no fornecimento da energia assegurada.

Para mitigar os danos causados pelo mexilhão dourado, foram apresentados métodos de controle que podem ser divididos em três grupos: métodos físicos, métodos químicos e métodos biológicos.

Dos métodos de controle físicos utilizados, a remoção manual ou mecânica é a mais utilizada, porém possui a desvantagem de ser necessário repetir o processo regularmente. A implementação dos demais métodos citados nesta revisão tem sua aplicação dificultada fora de ambiente controlado, ou necessita de adaptação no sistema industrial.

O controle biológico pode conduzir o meio ambiente a ter que suportar novas espécies não naturais do habitat, podendo trazer um impacto ainda maior ao ecossistema.

Os métodos de controle químico são considerados os mais eficientes até o momento, e os mais usados em sistemas industriais, porém, podem apresentar danos ao meio ambiente em função dos resíduos produzidos durante e pós o processo de tratamento.

Dos compostos químicos, o mais utilizado são os derivados clorados, que possuem ação baseada na oxidação da matéria orgânica, que confere efeitos tóxicos e letais para os organismos envolvidos. Entre os efeitos adversos dos compostos e formulações contendo derivados clorados pode se destacar a formação de trihalometanos.

Os moluscidas formulados à base de compostos de quaternário de amônio, niclosamidas, hidrocarbonetos tintas antiincrustantes e aromáticos contêm metais pesados que são tóxicos. Outras desvantagens associadas ao uso desses compostos em equipamentos são os altos custos, corrosão de metais, e complicações no manuseio e dosagem. Desta forma, é imprescindível uma avaliação prévia do uso e da aplicação dos diversos métodos químicos.

O grande problema dos métodos existentes e discutidos nesta revisão deve-se a não serem específicos para o mexilhão dourado, sendo efetivos também em outros organismos presentes no meio ambiente. Neste contexto verifica-se que estratégias voltadas para a gestão, como a implementação a adoção de medidas preventivas e de controle seria o ideal em termos ambientais e econômicos.

O estabelecimento de mecanismos como a implementação de barreiras à propagação da espécie e a orientação dos usuários das bacias hidrográficas, são formas de diminuir a probabilidade de expansão deste organismo invasor. A prevenção é de simples implementação e apresenta um menor custo em comparação com a aplicação de métodos de controle.

O método recomendado atualmente pela Organização Marítima Internacional (IMO) para diminuir os problemas causados pela água de lastro, consiste na troca oceânica da água de lastro, o único procedimento atualmente disponível em larga escala para reduzir o risco do deslastramento.

No Brasil, um passo importante dado em termos de gerenciamento foi criação da NORMAM-20/DPC cujo propósito é estabelecer requisitos referentes à prevenção da poluição por parte das embarcações em águas jurisdicionais brasileiras, no que tange ao gerenciamento da água de lastro.

De forma geral, constata-se que as medidas governamentais ainda não produziram os efeitos esperados, e na verdade, foi estabelecida uma década após a identificação da presença do mexilhão dourado em águas brasileiras quando a espécie invasora já demonstrara seu potencial em causar problemas ao meio ambiente e para as indústrias que se utilizam de águas infestadas.

Há necessidade de mais investimentos por parte das empresas onde se utilizam recursos hídricos, e dos órgãos governamentais, no sentido de realizar pesquisas com metodologias alternativas às químicas, a médio e longo prazo. Todo o investimento realizado, seguramente evitará prejuízos futuros mais sérios a economia brasileira e ao meio ambiente.

## 8 – REFERÊNCIAS

- Aldridge, D.C.; Elliott, P.; Moggridge, G.D. 2006. — **Microencapsulated biobullets for the control of biofouling zebra mussels**, Environ. Sci. Technol., 40, 975-979.
- Andersen, M. C. *et al.* 2004. **Risk assessment for invasive species**. Risk Anal., v. 24, p. 787-793.
- ANEEL, **Agência Nacional de energia elétrica**. Disponível na internet via: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em: 10 de março, 2011.
- Avelar, W. E. P.; Martin, S. L.; Vianna, M. P. **A new occurrence of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1856) (Bivalvia, Mytilidae) in the State of São Paulo, Brazil**. Braz. J. Biol., v. 64, p. 739-742. 2004.
- Blackburn, T. M., Pysek, P., Bacher, S., Carlton, J. T., Duncan, R. P., Jarosík, V. *et al.* (2011). **A proposed unified framework for biological invasions**. Trends in Ecology e Evolution, 26(7), 333-339. doi: 10.1016/j.tree.2011.03.023.
- Belz, C. E. 2006. **Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): Um modelo para a bacia do rio Iguçu, Paraná**. Tese doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Belz, C. E. 2005. **Prospecção do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em reservatórios e sistemas de usinas hidrelétricas da Companhia Paranaense de Energia – Copel**. Acta Biol. Leopold., v. 27, p. 123-126.
- Belz, C. E.; Darrigran, G.; Netto, O. S. M.; Boeger, W. A.; Ribeiro Júnior, P. J. 2012. **Analysis of Four Dispersion Vectors in Inland Waters: The Case of the Invading Bivalves in South America**. Journal of Shellfish Research, Washington, v. 31, No. 3, p. 777–784.
- Boelman, S., Neilson, F. M., Dardeau, E. A. e Cross, T. 1997. **Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) control handbook for facility operators, first edition. Miscellaneous paper. EL-97-1**. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Boltovskoy, D.; e Cataldo, D. 1999. **Population dynamics of *Limnoperna fortunei* an invase fouling mollusk in the lower Paraná river \*Argentina)**. Biofouling, v. 14, p. 255-263.
- Boltovskoy D, Correa N, Cataldo D, Sylvester F. 2006. **Dispersion and ecological impact of the invasive freshwater bivalve *Limnoperna fortunei* in the Río de la Plata watershed and beyond**. Biological Invasions 8: 947-963.

Boltovskoy D, Sylvester F, Otaegui A, Leites V, Cataldo D. 2009. **Environmental modulation of reproductive activity of the invasive mussel *Limnoperna fortunei*: implications for antifouling strategies.** Austral Ecology 34: 719–730.

Brugnoli, E.; e Clemente, J. M. 2002. **Los moluscos exóticos en la Cuenca Del Plata: su potencial impacto ambiental y económico.** Sección Limnología. Facultad de Ciencias. Universidad de la República Oriental del Uruguay.

Buchan, L. A. J.; Padilla, D. K. 1999. **Estimating the probability of long-distance overland dispersal of invading aquatic species.** Ecol. Appl., v. 9, n. 1, p. 245– 265.

Caprari JJ, Lecot CJ. 2002. **El Control de Bivalvos Invasores *Limnoperna fortunei* (Dunker,1857) en la Central Hidroeléctrica Yaciretá Mediante Pinturas.** Seminario Internacional sobre Gestión Ambiental e Hidroelectricidad, Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande, Argentina-Uruguay.

Carlton, J. T. 2001. **Introduced Species in U.S. Coastal Waters: Environmental Impacts and Management Priorities.** Pew Oceans Commission. Virginia.

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

Cataldo D, Boltovskoy, D, Hermosa, JL, Canzi C. 2005. **Temperature-dependent larval development rates of *Limnoperna fortunei* (Mollusca, Bivalvia).** Journal of Molluscan Studies 71: 41-46.

Cataldo, D.; Boltovskoy, D.; Marini, V., CORREA. N. 2002. **Limitantes de *Limnoperna fortunei* em lacuenca del plata: predación por peces.** Terceira Jornada sobre conservação da fauna ictica do Rio Uruguai, caru, Paysandú.

Cataldo, D.; Boltovskoy, D. e Pose, M. 2002. **Control del molusco incrustante *Limnoperna fortunei* mediante el agregado de moluscicidas al agua.** In. Tercera jornada sobre conservación de la fauna íctica en el rio Uruguay, Paysandu, Uruguay.

Cataldo D, Boltovskoy D, Pose M. 2003. **Toxicity of chlorine and three nonoxidizing molluscicides to the pest mussel *Limnoperna fortunei*.** Journal of the American Waterworks Association (AWWA) 95: 66-78.

Cataldo D, Boltovskoy D, Stripeikis J, Pose M. 2001a. **Condition index and growth rates of field caged *Corbicula fluminea* (Bivalvia) as biomarkers of pollution gradients in the Paraná River delta (Argentina).** Aquatic Ecosystem Health and Management 4: 187–201.

Cataldo D, Colombo JC, Boltovskoy D, Bilos C, Landoni P. 2001b. **Environmental toxicity assessment in the Paraná River delta (Argentina): simultaneous evaluation of selected pollutants and mortality rates of *Corbicula fluminea* (Bivalvia) juveniles.** Environmental Pollution 112: 379–389.

CBD - **Secretariat of the Convention on Biological Diversity.** 2006. Global Biodiversity Outlook 2. Montreal, 81 + vii pages.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **O mexilhão Dourado, uma ameaça às águas e hidrelétricas brasileiras.** Belo Horizonte, Ed. CEMIG, p. 24, 2004.

Choi SS, Kim JS. 1985. **Studies on the metamorphosis and the growth of larva in *Limnoperna fortunei*.** Korean Journal of Malacology 1: 13-18.

Claudi, R. e Mackie, G. L. 1994. **Practical manual for zebra mussel monitoring and control.** Lewis Publishers, Boca Raton, FL 227 pp.

Collyer, W. 2007. **Água de lastro, bioinvasão e resposta internacional.** Jus Navigandi, Teresina, n.1305. Disponível em: <<http://jus.com.br/artigos/9435>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

Costa, Raquel. 2008. **Improved solutions for zebra mussel control.** University of Cambridge.

DAISIE. 2008. **European Invasive Alien Species Gateway *Dreissena polymorpha*.** <http://www.europealiens.org/speciesFactsheet.do?speciesId=50169>. Acesso em: 2 fev.2014

Darrigran G. 1995. ***Limnoperna fortunei*: un problema para los sistemas naturales de agua dulce del mercosur?** Revista del museo 5: 85–87.

Darrigran, G.; Damborenea, C. 2005. **El mejillón dorado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) en la Cuenca del Plata.** In Penchaszadeh, PE. (Coord.). Invasores: Invertebrados exóticos en el Río de la Plata y región marina aledaña. Buenos Aires: Eudeba, 39-102.

Darrigran G, Damborenea C. 2011. **Ecosystem engineering impacts of *Limnoperna fortunei* in South America.** Zoological Science 28: 1-7.

Darrigran, G. 1999. **Longitudinal distribution of molluscan communities in the Rio de la Plata estuary as indicators of environmental conditions.** Malacological Review, Suppl 8, Freshwater Mollusca.

Darrigran, G. **Invasive freshwater bivalves of the neotropical region.** Dreissena, v. 11, p. 7-13, 2000.

Darrigran, G. 2002. **Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments.** Biological Invasions, v. 4, p. 145-156.



Darrigran G, Boeger W, Damborenea C, Maroñas M. 2009. **Evaluation of sampling and analysis techniques for early detection of *Limnoperna fortunei* (mytilidae) in limit areas of its distribution.** Brazilian Journal of Biology 69: 979-980.

Darrigran G, e Damborenea C. 2009. **Introdução a biologia das invasões. O mexilhão dourado na América do Sul: Biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle.** Cubo Editora. São Carlos, p. 1-246.

Darrigran, G; Damborenea, C. 2006. **Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano.** 1a ed. - La Plata : Univ. Nacional de La Plata. 226 p.

Darrigran, G; Damborenea, C; Penchaszadeh, P. 2000a. **A case of hermaphroditism in the freshwater invading bivalve *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) from Rio de la Plata, Argentina.** Iberus, v. 16, p. 99- 104.

Darrigran, G; Penchaszadeh, P; Damborenea, C. 2000b. **An invasion tale: *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) in the Neotropics.** Proc. 10th International Aquatic Nuisance Species and Zebra- Mussels Conference, Toronto, Canadá: 219-224.

Darrigran, G. e Drago, I. E. 2007. **“Invasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in South America”.** The Nautilus 114(2):69–73.

Darrigran G, Mansur MCD. 2006. **Distribución, abundancia y dispersión.** En: **Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano.** Darrigran G, Damborenea C (Eds.). Capítulo 6, pp. 93-110.

Darrigran G, Martín SM, Gullo B, Armendáriz L. 1998. **Macroinvertebrates associated with *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in Río de la Plata, Argentina.** Hydrobiologia 367: 223-230.

Darrigran, G; Pastorino, G. 2003. **The golden mussel, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) in the neotropical region: a 10 year story of invasion.** Tentacle, v. 11, p. 8-9.

Darrigran, G; Pastorino, G. 1995. **The recent introduction of asiatic bivalve, *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) into South America.** Veliger, v. 38, p. 183-187.

Doherty FG, Farris JL, Cherry DS, Cairns J. 1986. **Control of the freshwater fouling bivalve *Corbicula fluminea* by halogenation.** Archives of Environmental Contamination and Toxicology 15: 535-542.

Elliott, P. 2005. **The zebra mussel in England: Biology, impacts and control using micro-encapsulated toxinsII,** Ph.D. Thesis, Univ. of Cambridge.

Elton C. S. 1958. **The ecology of invasions by animals and plants**. London: Methuen.

EPA, 2006. **Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule**. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, EPA815-R-06-007, <http://www.epa.gov/safewater>. Acesso em: 2 fev.2013.

Ezcurra de Drago, I.; Montalto, L.; e Oliveros, O. B. 2009. **Desenvolvimento e ecologia larval do *Limnoperma fortunei***, p. 77-87. In: Darrigran, G.; e Damborenea, C. **Introdução a biologia das invasões. O mexilhão dourado na América do Sul: Biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle**. Cubo Editora. São Carlos, p. 1-246.

FAO. 2006. **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Part 1: World Review of Fisheries and Aquaculture. Rome: FAO.

Fernandes, F.C.; Leal Neto, A.C. 2009. **Água de lastro como via de introdução de espécies a nível global**. In: Darrigran, G.; Damborenea, C. **Introdução a Biologia das Invasões. O Mexilhão Dourado na América do Sul: biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle**. Cubo Editora: São Carlos/SP. p 31- 41.

Ferriz RA, Villar CA, Colautti D, Bonetto C. 2000. **Alimentación de *Pterodoras granulosus* (Valenciennes) (Pisces, Doradidae) en la baja cuenca del Plata**. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales 'Bernardino Rivadavia', Nueva Serie. Hydrobiologia, v. 2, p. 151-156.

Filippo, R. de. 2003. **Mexilhão dourado nos ecossistemas brasileiros**. SEPRONEWS. Série meio ambiente. Ano 1 nº 3.

Garcia, M. L.; Protogino, L. C. **Invasive freshwater molluscs are consumed by native fishes in South America**. J. Appl. Ichthyol., v. 21, p. 34 - 38, 2005.

Gazulha, V, Mansur, MCD, Cybis, LF. e Azevedo, SMFO, 2012. **Feeding behavior of the invasive bivalve *Limnoperma fortunei* (Dunker, 1857) under exposure to toxic cyanobacteria *Microcystis aeruginosa***. Braz. J. Biol., 2012, vol. 72, no. 1, p. 41-49.

Giordani, S.; Neves, P. S.; Andreoli, C. V. 2005. ***Limnoperma fortunei* ou mexilhão dourado: impactos causados, métodos de controle passíveis de serem utilizados e a importâncias do controle de sua disseminação**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Gollasch, S. 1997. **Removal of barriers to the effective implementation of ballast water control and management measures in developing countries**. [s.l.]: GEF/IMO/UNDP, p.151-97.

Griffiths RW, Schloesser DW, Leach JH, Kovalak WP. 1991. **Distribution and dispersal of the Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in the Great Lakes Region.** Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 48: 1381-1388.

Hoigné, J. 1998. **Chemistry of aqueous ozone and transformation of pollutants by ozonation and advanced oxidation processes.** In: The handbook of environmental quality and treatment of drinking water. Berlin, Springer.

Irurueta, M. Damborenea, M. C.; e Darrigran, G. 2002. **Estudios preliminares del ciclo larval del bivalvo invasor *Limnoperna fortunei* (Mytilidae).** Actas III Jornadas sobre Conservación de La Fauna Ictica em el Rio Uruguay. Paysandú, Uruguay.

IUCN – International Union for Conservation of Nature. 2006. **The World Conservation Union IUCN.** Acessado em 15 fev. 2014, de <http://www.iucn.org>.

Iwasaki, K.; Uryu, Y. 1998. **Life cycle of a freshwater mitilid mussel, *Limnoperna fortunei*,** in Uji River, Kyoto. Venus, v. 57, p. 105-113.

Junqueira, A.; Leal, A. 2003. **Avaliação de risco de água de lastro.** In: Seminário sobre Meio Ambiente Marinho, 4. Rio de Janeiro: Sobena, p.1-6.

Juras, A. G. M. **Problemas Causados pela Água de Lastro. Consultoria Legislativa.** 2003. Disponível em: [http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/987/agua\\_lastro\\_juras.pdf?sequence=1](http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/987/agua_lastro_juras.pdf?sequence=1) Acesso em: 17/05/2014.

Karatayev A.Y, Boltovskoy D, Padilla D, Burlakova LE. 2007a. **The invasive bivalves *Dreissena polymorpha* and *Limnoperna fortunei*: parallels, contrasts, potential spread and invasion impacts.** Journal of Shellfish Research 26: 205–213.

Karatayev A.Y, Burlakova L.E, Karatayev V.A, Boltovskoy D. 2010. ***Limnoperna fortunei* versus *Dreissena polymorpha*: population densities and benthic community impacts of two invasive freshwater bivalves.** Journal of Shellfish Research 29: 975–984.

Karatayev A.Y, Burlakova L.E, Padilla D.K. 2002. **Impacts of Zebra mussels on aquatic communities and their role as ecosystem engineers.** En: Invasive Aquatic Species of Europe. Leppakoski E et al. (Eds.), The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. pp. 433-446.

Karatayev A.Y, Burlakova L.E, Padilla D.K, Johnson LE. 2003. **Patterns of spread of the Zebra mussel (*Dreissena polymorpha* (Pallas)): the continuing invasion of Belarussian lakes.** Biological Invasions 5: 213-221.

Karatayev A.Y, Padilla D.K, Minchin D, Botolvskoy D, Burlakova L.E. 2007b. **Changes in global economy and trade, and potential spread of exotic freshwater bivalves.** Biological Invasions 9: 161–180.

Kim, J. *et al.* 2002. **Chlorination by-products in surface water treatment process.** Desalination, v. 15, p. 1-9.

Kimura, T. **The earliest record of *Limnoperna fortunei* (Dunker) from Japan.** Chirobatan, v. 25, p. 34-35, 1994.

Leal, A. N.; Jablonsky. S. 2004. **O Programa GloBallast no Brasil.** In: Silva, J.; Souza, R. Água de lastro e bioinvasão. Rio de Janeiro: Interciência, cap. 2, p.11-9.

Lopes, A. D. A.; Macedo, E. N.; Santos de Oliveira, M. S.; Freire de Silva, J. 2001. **Avaliação de sobrevivência de organismos transportados por água de lastro de navios mercantes.** Arraial do Cabo: Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira/ Departamento de Oceanografia, cap. 1, p.1-11.

Souza, S. A. 2010. **Aumento da produtividade de geradores de usinas hidroelétricas através da automação do processo de limpeza dos trocadores de calor do sistema de resfriamento.** Convencion internacional de la ingenieria em Cuba (CIIC 2010).

Macedo, J.A.B. 2004. **Águas e Águas.** 2ª edição, Ed. Conselho Regional de Química – MG, 977 pág.

Mackie G.L, Claudi R. 2010. **Monitoring and control of macrofouling mollusks in fresh water systems.** Boca Raton, US: CRC Press. pp. 508.

Maclsaac HJ. 1996. **Potential abiotic and biotic impacts of Zebra mussels on the inland waters of North America.** American Zoologist 36: 287-299.

MAGARA, Y. *et al.* 2001. **Invasion of the nonindigenous nuisance mussel, *Limnoperna fortunei*, into water supply facilities in Japan.** Aqua J. Water Suppl. Res. Technol., v. 50, n. 3, p. 113-124.

Mansur, M. C. D.; Richinitti, L. M. Z. e Santos, C. P. 1999. **“*Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), molusco bivalve invasor, na Bacia do Guaíba, Rio Grande do Sul”, Brasil.** Biociências 7(2):147–150.

Mansur, M. C. D.; Santos, C. P.; Darrigran, G.; Heydrich, I.; Callil, C. T.; Cardoso, R. R. 2003. **Primeiros dados quali-quantitativos do mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker), no delta do jacuí, 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, n.o 20. p. 75-84.

Maronas, M. *et al.* 2003. **Shell grow of the golden mussel, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), from a Neotropical temperate locality.** Hydrobiologia, v. 495, p. 41-45.

Martin, S. M.; Darrigran, G. 1994. ***Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em el Balneário Bagliardi, Rio de la Plata. Alteración em la composición de la malacofauna litoral.** Tankay, v. 1, p. 161-166.

Matsui Y, Nagaya K, Funahashi G, Goto Y, Yuasa A, Yamamoto H, Ohkawa K, Magara Y. 2002. **Effectiveness of antifouling coatings and water flow in controlling attachment of the nuisance mussel *Limnoperna fortunei***. Biofouling, v.18, p. 137- 148.

Matsui Y, Nagaya K, Yuasa A, Naruto H, Nagaya K, Yuasa A, Yamamoto H, Ohkawa K, Magara Y. 2001. **Attachment strength of *Limnoperna fortunei* on substrates, and their surface properties**. Biofouling 17: 29–39.

Matthews M.A, McMahon R.F. 1994. **The survival of Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) and Asian clams (*Corbicula fluminea*) under extreme hypoxia**. Proceedings of The 4th International Zebra Mussel Conference. Madison, US.

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. **Ecosystems and human well-being: Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group**. Washington, DC: Island Press.

Minchin D. 2000. **Dispersal of Zebra mussel in Ireland**. Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie 27: 1576–1579.

Montalto L, Oliveros O.B, Ezcurra de Drago I, Demonte L.D. 1999. **Peces del Río Paraná medio predadores de una especie invasora: *Limnoperna fortunei* (Bivalvia, Mytilidae)**. Revista de la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas 3: 85-101.

Morton, B. 1973. **Some aspects of the Biology and functional morphology of the feeding and digestion of *Limnoperna fortunei* (Dunker) (Bivalvia: Mytilacea)**. Malacologia, v. 12, p. 265-281.

Morton, B. 1996. **The aquatic nuisance species problem: a global perspective and review**. In: Dimitri, F. (Ed.). Zebra mussels and aquatic nuisance species, Chelsea, Michigan: Ann Arbor, p. 1-54.

Morton, B.; Prezant, R. S.; Wilson, B. Class Bivalvia. 1998. In: Beeley, P. L.; Ross, G. J. B.; Wells, A. (Ed.). **Mollusca: the Southern synthesis**. Fauna of Australia. Melbourne: CSIRO Publishing, v. 5, p. 195-234.

Netto, O. S. 2011. **Controle da Incrustação de organismos invasores em materiais de sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós -Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

NORMAM-20/DPC. Marinha do Brasil Diretoria de Portos e Costas. **Norma da Autoridade Marítima para o Gerenciamento da água de lastro de navios**. Rev01. 2014. Disponível em: [https://www.dpc.mar.mil.br/normam/N\\_20/normam20.pdf](https://www.dpc.mar.mil.br/normam/N_20/normam20.pdf). Acessado em 02/04/2014.

Newell, N. D. 1969. **Classification of Bivalvia**. In: MOORE, R. (Ed). Treatise on Invertebrate Paleontology. Lawrence: University of Kansas, p. 205-223.

Oliveira de M.D, Hamilton S.K, Jacobi C.M. 2010. **Forecasting the expansion of the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei* in Brazilian and North American rivers based on its occurrence in the Paraguay River and Pantanal wetland of Brazil**. Aquatic Invasions 5: 59–73.

Paolucci E, Cataldo D, Boltovskoy D. 2010a. **Prey selection by larvae of *Prochilodus lineatus* (Pisces): indigenous zooplankton versus larvae of the introduced bivalve *Limnoperna fortunei***. Aquatic Ecology 44: 255-267.

Paolucci E.M, Cataldo D, Fuentes C.M, Boltovskoy D. 2007. **Larvae of the invasive species *Limnoperna fortunei* (Bivalvia) in the diet of fish larvae in the Paraná River, Argentina**. Hydrobiologia 589: 219-233.

Paolucci E, Thuesen E, Cataldo D, Boltovskoy D. 2010b. **Veligers of an introduced bivalve (*Limnoperna fortunei*) are a new food resource that enhances growth of larval fish in the Paraná River (South America)**. Freshwater Biology 55: 1831-1844.

Penchaszadeh P.E, Darrigran G, Angulo C, Averbuj A, Brögger M, Dogliotti A, Pérez N. 2000. **Predation of the invasive freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker,1857) (Mytilidae) by the fish *Leporinus obtusidens Valenciennes, 1846* (Anostomidae) in the Rio de la Plata, Argentina**. Journal of Shellfish Research 19: 229-231.

Perepelizin P.V, Boltovskoy D. 2011. **Thermal tolerance of *Limnoperna fortunei* to gradual temperature increase and its applications for biofouling control in industrial and power plants**. Biofouling 27: 667–674.

Petrille J.C, Miller SD. 2000. **Efficacy of hydrogen peroxide for control of adult zebra mussels, *Dreissena polymorpha* and Asiatic clams, *Corbicula fluminea***. En: Proceedings of the 10th International Aquatic Nuisance Species and Zebra Mussel Conference. Toronto, Canada.

Porta, A. 2001. **Biomarkers of contamination in coastal aquatic organisms of Rio de la Plata (Argentina)**. Acta Bioquim. Clin. Latinoam., v. 35, p. 261-271.

Procopiak; Knechtel, L. 2009. **O conhecimento dos comandantes de navios sobre bioinvasão por água de lastro nos portos do Estado do Paraná e a importância da educação ambiental**. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/23060/tese%20Leticia%20Procopiak%202009.pdf;jsessionid=50C1786550E92C705250B799A9DE3A17?sequence=1>> Acesso em: 11 mai. 2014.

Ricciardi, A. 1998. **Global range expansion of the Asian mussel *Limnoperna fortunei* (Mytilidae): Another fouling threat to freshwater systems.** Biofouling, v.13, p. 97-106.

Richardson, D. M. 2011. **Fifty years of invasion ecology: The legacy of Charles Elton.** Oxford: Wiley- Blackwell.

Rivera, I. N. G; Lipp, E. K., Gil, A; Choopun, N; Huq, A. e Colwell, R.R. 2003. **Method of DNA extraction and application of multiplex polymerase chain reaction to detect toxigenic *Vibrio cholerae* O1 and O139 from aquatic ecosystems.** Environ. Microbiol. 5 (7):599–606.

Rothe M. 2007. **Control of golden mussel by ozonation of cooling water in power plants.** En: Proceedings of the 15th International Conference on Aquatic Invasive Species. Nijmegen, Netherlands, Septiembre 2007.

Rückert, G. V.; Campos, M. C. S.; Rolla, M. E. 2004. **Alimentação de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): taxas de filtração com ênfase ao uso de Cyanobacteria.** Acta Sci. Biol. Sci., v. 26, p. 421-429.

Ruppert, E. E.; Fox, R. S.; Barnes, R. D. 2004. **Invertebrate Zoology.** 7th ed. Belmont: Brooks/Cole.

Sala, O. *et al.* 2000. **Global biodiversity scenarios for the year 2100.** Science, v. 287,p. 1770-1774.

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

Santos, C.; Mansur, M. C. D. ,Würdig, N. L. 2008. **Variações no comprimento dos indivíduos de uma população do mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker), ao longo do ano, na praia do veludo, lago Guaíba, RS, Brasil (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae).** Revista Brasileira de Zoologia, v. 25, n.3, p. 389-396.

Sardiña P, Cataldo DH, Boltovskoy D. 2008. **The effects of the invasive mussel, *Limnoperna fortunei*, on associated fauna in South American freshwaters: Importance of physical structure and food supply.** Fundamental e Apply Limnology 173: 135-144.

Satuito C.G, Katuyama I, Den S. 2000. **Effect of electric fields on the planktonic-staged larvae of fouling organisms.** The 10th International Aquatic Nuisance Species and Zebra Mussel Conference. Toronto, Canada, February 2000.

Sérodes, J. B., *et al.* 2003. **Occurrence of THMs and HAAs in experimental chlorinated waters of the Quebec City area Canada.** v 51, p. 253-263.

Silva, J.S.V.; Fernandes, F.C.; Souza, R.C.L.; Larsen, K.T.S., Danelon, O.M. 2004. **Água de lastro e bioinvasão**. p.1-10. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 224p.

Souza, R.C.C.L., Fernandes, F.C. e Silva, E.P. 2004. **Distribuição atual do mexilhão *Perna perna* no mundo: um caso recente de bioinvasão**. In: Silva, J.S.V. e Souza, R.C.C.L. (Org.). *Água de lastro e bioinvasão*. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, p. 157–172.

Souza, R.C.C.L., Silva, E.P. e Fernandes, F.C. 2005. **Sambaqui: um baú de preciosas informações**. *Ciência Hoje*. 214:72–74.

Souza, R.C.C.L.; Calazans, S.H.; Silva, E.P. 2009. **Impacto das espécies invasoras no ambiente aquático**. *Ciência Cultura*, v.61, n.1, p. 35-41.

Souza, J.B.; Sartori, L.; Daniel, L. A. 2000. **Influência da cor e turbidez na desinfecção de águas de abastecimento utilizando-se cloro e radiação ultravioleta**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 1-6.

Speziale, K. L., Lambertucci, S. A., Carrete, M., e Tella, J. L. 2012. **Dealing with non-native species: What makes the difference in South America?** *Biological Invasions*, Online First. doi:10.1007/s10530-011-0162-0.

Sprecher S.L, Getsinger K.D. 2000. **Zebra mussel chemical control guide**. Vicksburg, US: US Army Engineer Research and Development Center, Technical Report ERDC/ELTR-00-1.

Sylvester F, Boltovskoy D, Cataldo DH. 2007a. **The invasive bivalve *Limnoperna fortunei* promotes growth of benthic invertebrates in South American floodplain rivers**. *Hydrobiologia* 589: 15-27.

Sylvester F, Cataldo DH, Notaro C, Boltovskoy D. 2013. **Fluctuating salinity improves survival of the invasive freshwater golden mussel at high salinity: implications for the introduction of aquatic species through estuarine ports**. *Biological Invasions*. *Biological Invasions*, V. 15, p. 1355-1366

Takeda, A. M. 2003. **Ocorrência da espécie invasora de Mexilhão Dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em dois pequenos reservatórios próximos a Curitiba, PR**. *Acta Biol. Leopoldensia*, v. 25, p. 251-254.

Takeda, A. M; Higuti, J.; Fujita, D. S. e Bubena, M. R. 2000. **Proliferação de uma espécie de bivalve invasora, *Corbicula fluminea*, na área alagável do Alto rio Paraná (Brasil)**. In: Seminário Brasileiro sobre Água de Lastro, 1, Arraial do Cabo, p.11.

Tamburria, M. N., Kerstin W., Masayasu, M. 2002. **Ballast Water Deoxygenation can Prevent Aquatic Introductions while Reducing Ship Corrosion**. *Biological Conservation* V. 103.



Trolli, A. C.; Ide Noboyoshi C.; Silveira, Palhano, F. M. M. S.; Matta, M. H. R. 2002. **Trialometanos em água tratada após cloração com hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio, cloro gasoso e dicloroisocianurato de sódio, utilizando cromatógrafo gasoso acoplado a espectrômetro de massa, sistema Purge And Trap.** 2º Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste – Campo Grande – MS, 23 a 36 de Julho de 2002.

Uryu K, Iwasaki K, Hinoue M. 1996. **Laboratory experiments on behaviour and movement of a freshwater mussel, *Limnoperna fortunei* (Dunker).** Journal of Molluscan studies 62: 327-341.

USGS US Geological Survey. 2011. **Zebra and Quagga mussel distribution inUSLakes.**[http://fl.biology.usgs.gov/Nonindigenous\\_Species/Zebra\\_mussel\\_distribution/zebra\\_mussel\\_distribution.html](http://fl.biology.usgs.gov/Nonindigenous_Species/Zebra_mussel_distribution/zebra_mussel_distribution.html). Acesso em: 9 de maio de 2014.

Vázquez, D. P., e Aragón, R. 2002. **Introduction to special issue on biological invasions in southern South America.** Biological Invasions, 4, 1-5.

Verelst L, Ollevier F, Vanmaele R, Duvivier L, Girboux P, Delanay JN. 1999. **The use of ozone for biofouling control in auxiliary circuit of cooling water system for a power plant.** En: Proceedings of the 9th International Conference on Zebra Mussels and Aquatic Nuisance Species. Duluth, US, Abril 1999.

Rükert, V. G.; Campos, M. C. S.; Rolla, M. E. 2004. **Alimentação de *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857): taxas de filtração com ênfase ao uso de Cyanobacteria.** Acta Scientiarum. Biological Sciences, p. 421 – 429, Maringá – PR.

Waller D.L, Rach J.J, Cope W.G, Marking L.L. 1993. **Toxicity of candidate molluscicides to Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) and selected nontarget organisms.** Journal of Great Lakes Research 19: 695-702.

Wang, Y.; Liang, L.; Shi, J.; Jiang, G.; **Environ.** Int. 2005, 31, 1103.

Wright, H.B.; Cairns, W.L. 1998. **Desinfección de água por medio de luz ultravioleta.** In: Simposio Regional sobre Calidad Del Agua: Desinfección Efectiva, Lima. pp.1-28.

Zanella O, Marenha LD. 2002. **Ocorrência de *Limnoperna fortunei* na central hidrelétrica de Itaipu.** En: V Congresso Latinoamericano de Malacologia. Sao Paulo, Brasil.