



**UFOP**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

---



**Thévilla Coeli Pereira Mairink**

**CONTROLE DA INCRUSTAÇÃO DO *LIMNOPERNA FORTUNEI* - MEXILHÃO  
DOURADO UTILIZANDO ONDAS ULTRASSÔNICAS**

Ouro Preto

2023

CONTROLE DA INCRUSTAÇÃO DO LIMNOPERNA FORTUNEI - MEXILHÃO  
DOURADO UTILIZANDO ONDAS ULTRASSÔNICAS

Thévilla Coeli Pereira Mairink

Trabalho Final de Curso apresentado  
como parte dos requisitos para obtenção  
do Grau de Engenharia Ambiental na  
Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Santos Assis – UFOP

Linha de pesquisa: Projeto GT-604 UFOP/CEMIG/CBEIH

Coparticipação: Universidade Federal do Triângulo Mineiro(UFTM)

Ouro Preto

2023

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M228c Mairink, Thevilla Coeli Pereira.

Controle da incrustação do *Limnoperna fortunei* - Mexilhão dourado utilizando ondas ultrassônicas. [manuscrito] / Thevilla Coeli Pereira Mairink. - 2023.

46 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Santos Assis.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Usinas hidrelétricas. 2. Meios de transferência de calor - Trocadores. 3. Tubos de calor - Incrustação. 4. Ondas Ultrassônicas. I. Assis, Paulo Santos. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 504:502

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Thévilla Coeli Pereira Mairink

### Controle da incrustação do *Limnoperna fortunei* - mexilhão dourado utilizando ondas ultrassônicas

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental

Aprovada em 30 de março de 2023

#### Membros da banca

Prof. Dr. Paulo Santos Assis - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Profa. Dra. Silvana de Queiroz Silva (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Prof. Dr. Jorge Luiz Brescia Murta (Universidade Federal de Ouro Preto)

Paulo Santos Assis, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 17/04/2023



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Santos Assis, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/04/2023, às 22:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0512470** e o código CRC **956B8E94**.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse, pela saúde e força nestes anos de graduação; por teus planos, por vezes incompreendidos, mas cheia de confiança em teus propósitos. Que seja feita a tua vontade!

A Nossa senhora; mãe que acalenta e me cobre com teu manto, minha proteção e refúgio na tormenta; minha intercessora quando” ... juntava as mãozinhas e rezava apressado, mas rezava como alguém que ama!”

Aos meus pais Nelson Menezes Mairink e Ana Cristina da Consolação Pereira Mairink. Me despeço desta dedicatória reconhecendo meus esforços, por mais que por vezes insuficientes e imperfeitos ao meu ideal almejado; apesar dos obstáculos, dei o melhor que pude; me sentindo orgulhosa!

## AGRADECIMENTOS

Meus irmãos Nelson Junior, Teily, Tatiana, Telma, Jonatas, Thabata e Thais; e sobrinhos Neabily, Daniele, Nelsinho, Luis Gustavo, Luis Octávio, Maria Cristina, Lucas, João, Elias, Benício, Miguel e Benito(Mionzinho); pelo cuidado; carinho, incentivo nas horas de desânimo e pelos exemplos; em alguns momentos eles foram esperança pra seguir.

Um agradecimento especial a tia Janua Coeli pelo estímulo aos estudos seguindo os passos de vovô Joao Silva. Agradeço a minha família, vovó Eugênia, tio Antônio Savio, tio Aloisio, Eugênia, Sheila Bruna, Gregório, Werley, Sandra, e Denílson; minha graduação assim como fora dela é marcada pela ajuda de vocês. Marcinha, Kélita, Monique, Lucas Henrique, Lucas Land e Emerson, apesar da distância e ausência, nunca estivemos separados; Luís Fernando e Marcus Túlio, pela influência e inspiração profissional.

Aos amigos que fiz durante a graduação, Julia, Manoela, Joao Pedro, Bruno, Bruna Pablo e Cassio, por toda ajuda, companhia e risadas compartilhadas; tal como a cidade de Ouro Preto por proporcionar momentos e vistas incríveis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Santos Assis pela confiança, compreensão e ensinamentos além das oportunidades oferecidas. Agradeço também a Gislaíne, pela paciência e disposição a me ajudar.

Orlando e a Arandu, Sandro e Romeu por me mostrarem a realidade da profissão escolhida, foi um privilégio ser instruída por tais profissionais.

A Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) e Prof. Dr. Afonso Pelli, pelo apoio técnico, espaço e estrutura cedidos. A Fundação Gorceix, CBEIH e Cemig pelo suporte e patrocínio ao trabalho realizado.

A cidade de Ouro Preto pelos momentos especiais vividos e paisagens belíssimas.

Por fim, gostaria de oferecer um agradecimento singular a Universidade Federal de Ouro Preto e a ilustre Escola de Minas por todo conhecimento oferecido, a oportunidade de aprender com um corpo docente exímio, capazes de formar profissionais excelentes; é uma honra ter frequentado salas e corredores do prédio e me tornar uma Engenheira Ambiental.

” Se lembra quando a gente  
Chegou um dia acreditar  
Que tudo era pra sempre  
Sem saber que o pra sempre, sempre acaba...  
Mesmo com tantos motivos  
Pra deixar tudo como está  
Nem desistir, nem tentar  
Agora tanto faz  
Estamos indo de volta pra casa.”

Renato Russo

“Cum mente et malleo”  
Claude-Henri Gorceix.

## RESUMO

O molusco invasor *Limnoperna fortunei*, conhecido popularmente como mexilhão dourado é um molusco bivalve de origem asiática identificado pela primeira vez na América do Sul em 1991, no Rio da Prata e no Rio Guaíba transportado por água de lastro de cargueiros; algumas de suas características como alta fecundidade e elevada tolerância ambiental, fizeram desta espécie um exímio invasor. Segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a incrustação dos moluscos afeta 40% das hidrelétricas brasileiras. O presente trabalho se trata de uma pesquisa experimental apoiada na análise bibliográfica de características, comportamentos e impactos do mexilhão; revisão da documentação, normas e planos brasileiros referentes ao tratamento e controle. A sessão prática se dá pela aplicação de ondas ultrassônicas as amostras selecionadas a fim de avaliar a eficácia da técnica no controle da incrustação por mexilhão dourado. Os ensaios 1 e 3, exibem número amostral semelhante, no entanto obtiveram resultados diferentes; no primeiro ensaio não notou-se desacoplamento em nenhuma das amostras. O ensaio 3, com a presença de substrato natural do grupo amostral tiveram respectivamente 1- 6,67%; 2- 15,38%; 3- 16,67%; 4- 55,56%; 5- 16,67 % de desacoplamento. Tais porcentagens referentes as amostras sem substrato foram as seguintes: 40,00; 76,92; 25,00; 55,56 e 58,33 por cento. As amostras 1,2,3 e 4 tiveram respectivamente 13,39; 38,46; 37,50; 1,67% de desacoplamento ao fim dos 4 dias do ensaio 2. Diante das observações, há um aumento considerável nos desacoplamentos de indivíduos das camadas superficiais aderidos a outros indivíduos de camadas abaixo ou que não estejam presos a um substrato rochoso.

Palavras-chaves: Usina hidrelétrica; Trocadores de calor; Desacoplar.

## ABSTRACT

The invasive mollusk *Limnoperna fortunei*, popularly known as the golden mussel, is a bivalve mollusk of Asian origin identified for the first time in South America in 1991, in the Rio da Prata and Rio Guaíba transported by ballast water from freighters; Some of its characteristics, such as high fecundity and high environmental tolerance, made this species an excellent invader. According to the Brazilian Institute for the Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA), mollusc fouling affects 40% of Brazilian hydroelectric plants. The present work deals with an experimental research based on the bibliographical analysis of characteristics, behaviors and impacts of the mussel; review of documents, norms and Brazilian plans related to treatment and control. The practical session is given by the application of ultrasonic waves as selected in order to evaluate the effectiveness of the technique in the control of encrustation by golden mussels. Tests 1 and 3, exhibit similar sample numbers, however obtained different results; in the first test, no decoupling was noted in any of the Exceptions. Test 3, with the presence of natural substrates of the sample group respectively had 1- 6.67%; 2- 15.38%; 3- 16.67%; 4- 55.56%;5- 16.67% decoupling. Such percentages referring to samples without substrates were the following: 40.00; 76.92; 25.00; 55.56 and 58.33 percent. Samples 1,2,3 and 4 had respectively 13.39; 38.46; 37.50; 1.67% of uncoupling at the end of the 4 days of trial 2. In view of the observations, there is a considerable increase in the uncoupling of individuals from enrollments that are adhered to other individuals from enrollments or that are not attached to a rocky subsidy.

Keywords: Hydroelectric plant; Heat exchangers; Uncouple.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- A-Estrutura interior do Mexilhão Dourado. B- Concha .....	17
Figura 2 - Ciclo de vida do mexilhão-dourado .....	18
Figura 3 - L. fortunei aderido ao substrato(rocha) .....	19
Figura 4 - Limnoperna fortunei. Esquema da anatomia .....	19
Figura 5 - Representação do processo de cavitação .....	25
Figura 6 - Local da coleta .....	28
Figura 7 - Lavadora Ultrassônica 2840 DA.....	29
Figura 8 - Lavadora Ultrassônica, visão superior .....	30
Figura 9 - Amostra na Lavadora após ensaio.....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tolerância ambientais de <i>L. fortunei</i> para alguns parâmetros ambientais (Darrigran, 2002).....	17
Tabela 2 - Indivíduos e tempos do Ensaio 1. ....	29
Tabela 3 - Especificações técnicas da lavadora ultrassônica utilizada.....	30
Tabela 4 - Indivíduos e tempos Ensaio 2.....	32
Tabela 5 - número da amostra/número de indivíduos/tempo de exposição. Ensaio 3.....	33

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>OBJETIVO GERAL</b> .....	15
<b>2.1</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
3.1	- Descrição do <i>Limnoperna fortunei</i> (mexilhão dourado). .....	16
3.2	- Água de lastro .....	20
3.3	- <i>L.Fourtunei</i> em Usinas hidrelétricas .....	21
3.4	- Ondas ultrassônicas.....	23
3.5	- Documentos de referência .....	25
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	27
4.1	ENSAIO 1 .....	28
4.2	ENSAIO 2 .....	31
4.3	ENSAIO 3 .....	33
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	34
5.1	ENSAIO 1 .....	34
5.2	ENSAIO 2 .....	35
5.3	ENSAIO 3 .....	36
5.3.1	Com substrato .....	36
5.3.2	Sem substrato .....	39
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	41
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	43

## 1 INTRODUÇÃO

O *Limnoperna fortunei* mais conhecido como mexilhão dourado, é um molusco bivalve de origem asiática; a espécie de mexilhão possui sua origem em água doce, de crescimento rápido atingindo entre 3 cm e 4 cm quando adulto além da maturidade sexual rápida e fecundidade alta (DARRIGRAN & DAMBORENEA, 2011). Estima-se que tenha uma vida média de 3 anos.

Identificado pela primeira vez na América do Sul em 1991, no Rio da Prata e no Rio Guaíba, teve dispersão rápida a montante a uma distância de 240 km por ano causando diversos impactos ao meio ambiente (DARRIGRAN et al., 2007; MANSUR et al., 2003). A chegada do *L. fortunei* mostrou que não são apenas afetados os ambientes naturais, mas também trouxe diversos problemas econômicos aos países sul-americanos causadas pela bioincrustação que anteriormente era problema em regiões de estuários e costeiras. Dessa forma, grandes indústrias enfrentam problemas de redução de diâmetro de tubos de água, bloqueio de tubulações e diminuição da velocidade da água por bloqueio de larvas em filtros (DARRIGRAN, 2000). Estes problemas foram percebidos em usinas de tratamento de água, usinas hidrelétricas, térmicas, refinarias de petróleo e dutos de esgoto nas cidades. Com isso, os custos aumentam devido a paralisações causadas pela necessidade de limpeza mecânica ou química. Além disso, medidas como substituições de tubos e filtros das tubulações podem se tornar uma necessidade devido à elevação da taxa de oxidação do material, reduzindo sua vida útil.

Segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a incrustação dos moluscos afeta 40% das hidrelétricas brasileiras. Os custos para os processos de manutenção associados às infestações variam entre R\$ 220 mil a R\$ 1,4 milhão por ano para cada uma das usinas afetadas. Em usinas de pequeno porte, o prejuízo chega a aproximadamente R\$ 40 mil a cada dia de paralisação para manutenção. Estima-se que o setor gaste cerca de US\$ 120 milhões com o controle da praga e manutenção do maquinário.

O conhecimento da proliferação e incrustação do mexilhão dourado em componentes dos hidrogeradores, como comportas, tubulações de trocadores de

calor, filtros e grades, é de extrema importância para o estabelecimento dos procedimentos de manutenção visando à minimização da incrustação (FELIX, 2011).

O fluido de resfriamento utilizado nesses trocadores de calor é a água, a qual pode estar contaminada com larvas de mexilhão-dourado ou mesmo animais adultos. Essas larvas e indivíduos jovens podem se fixar nas tubulações internas dos trocadores de calor, principalmente em pontos de estagnação de fluido. O crescimento dessas larvas resulta na incrustação (*macrofouling*) de animais adultos, o que causa, em última instância, o bloqueio completo do fluxo de água na tubulação.

O presente trabalho foi desenvolvido em função da avaliação do efeito de ondas ultrassônicas como técnica de controle da incrustação por mexilhão dourado. As ondas ultrassônicas são ondas mecânicas e transmitem energia através da matéria causando uma oscilação nas posições de equilíbrio das suas partículas. Estes movimentos oscilatórios são resistidos por forças elásticas de acordo com a estrutura molecular do meio (FREDERICK, 1965). O ultrassom é transmitido em forma de ondas de compressão, onde a oscilação de partículas se dá paralelamente à direção de propagação da onda, constituindo zonas de compressão e refração.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Examinar o efeito de ondas ultrassônicas no controle da incrustação do *Limnoperna fortunei*.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Realizar experimentos empregando ondas ultrassônicas.
- Observar o comportamento do mexilhão a exposição ao método.
- Identificar a(s) amostra(s) com maior porcentagem de desacoplamentos.
- Distinguir e compreender característica(s) e variáveis da(s) amostra(s) de maior número de desacoplamento.
- Avaliar a eficácia do método ao controle da incrustação do mexilhão e dourado.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 - Descrição do *Limnoperna fortunei* (mexilhão dourado).

*Limnoperna fortunei*, conhecido popularmente como mexilhão dourado, é um molusco bivalve de água doce pertencente à família dos mexilhões marinhos (*Mytilidae*), ordem *Mytiloidea* e subclasse *Pteriomorpha*. *L. fortunei* originário do sudeste asiático, teve ocorrência natural na China, Tailândia, Coreia, Laos, Camboja, Vietnã e Indonésia. A chegada do espécime até então exótica na América do Sul, foi registrada pela primeira vez em setembro de 1991, no Balneário Bagliardi, no estuário do rio La Plata, Argentina, provavelmente tendo sido introduzido pela água de lastro de grandes embarcações (PASTORINO et al., 1993; DARRIGRAN & PASTORINO, 1995). Apresenta alta capacidade reprodutiva, crescimento rápido e capacidade de viver aderido a diversos tipos de substratos sólidos, onde forma aglomerados compostos por vários indivíduos, cobrem extensas áreas podendo atingir comunidades com concentrações superiores a 150.000 indivíduos/m<sup>2</sup> (DARRIGRAN, 2002). Possui larvas microscópicas livres e planctônicas, o fato de não ter condições próprias de locomoção, vivem sob o efeito do movimento da água, favorecendo sua dispersão no ambiente aquático.

Esta espécie (Figura 1-A e B) apresenta ampla tolerância ambiental (Tabela 1), capaz de tolerar concentrações desde água destilada até soluções contendo 20% de água do mar (GREENBERG & SUBHEDAR, 1982, DARRIGRAN et al. 2011). Podem atingir 20 mm de comprimento no seu primeiro ano de vida, 30 mm no segundo, e 35 mm no terceiro (BOLTOVSKOY & CATALDO, 1999), em condições ideais alcança até 60 mm (MACKIE & CLAUDI, 2010).

Tabela 1- Tolerância ambientais de *L. fortunei* para alguns parâmetros ambientais

Parâmetros	Limites
Limite de salinidade	0 – 12%
Cálcio (Ca ++)	>3,96 mg.L <sup>-1</sup>
Limites para pH	6,2 – 7,2
Temperatura para início da reprodução	Limiar 15 – 17 °C
Temperatura para o desenvolvimento larval	16 – 28°C
Temperatura para sobrevivência do adulto	Até 35°C
Oxigênio Dissolvido	>1,0 mg.L <sup>-1</sup>
Exposição ao ar (adulto)	Até 7 dias

Fonte: (Darrigran, 2002).

Figura 1- A-Estrutura interior do Mexilhão Dourado. B- Concha

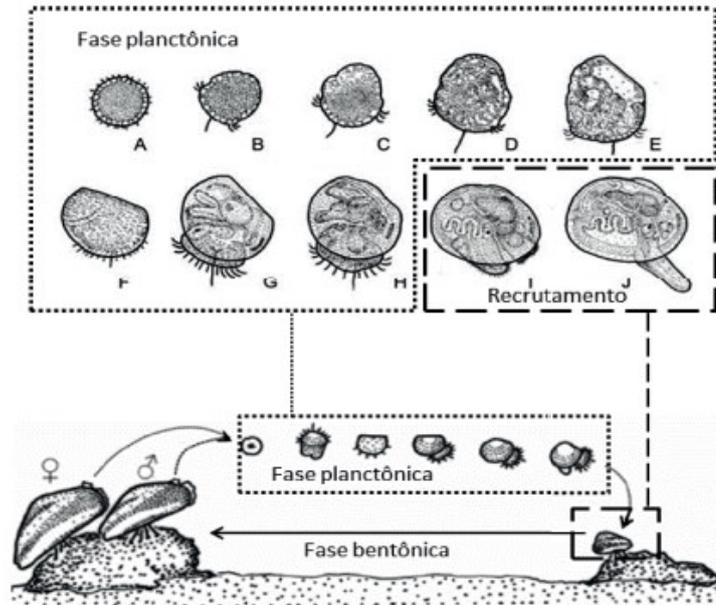


Fonte: A autora (2022)

Vivem cerca de dois a três anos, sendo a maturação sexual alcançada ainda no primeiro ano de vida, quando o comprimento da concha atinge um pouco mais de 5 mm (RICCIARDI, 1996; OLIVEIRA, 2003). A fecundação desta espécie ocorre externamente dando origem a uma larva natante (véliger) capaz de colonizar rapidamente novos ambientes aquáticos (RICCIARDI, 1996). A fase larval (Figura 2)

é o período de maior dispersão; o mexilhão-dourado ocupa a coluna d'água, integrando o plâncton, podendo atingir densidade de 30.000 ind./m<sup>3</sup> (PEREIRA, 2014).

Figura 2 - Ciclo de vida do mexilhão-dourado



A) mórula ciliada, B) a E) trocóforas I a IV (comprimentos respectivos de 80-125  $\mu\text{m}$ ); estágios valvados, F) a larva "D" (100-130  $\mu\text{m}$ ), G) véliger de charneira reta (140-180  $\mu\text{m}$ ), H) véliger umbonado (190-230  $\mu\text{m}$ )

Após a invasão, os ambientes começam a apresentar impactos na fauna e flora, pelo fato de não haver competição, predadores ou doenças que afetem o espécime.

Quando adultos, os mexilhões ocupam diversos substratos preferencialmente consolidado, como costões e fundos rochosos (Figura 3), galhos de macrófitas aquáticas emergentes e flutuantes (*Scirpus californicus*, *Juncus spp.*, *E. crassipes*; *E. azurea*), raízes e galhos de vegetação ribeirinha (*Cephalanthus glabratus*), conchas de moluscos (MANSUR et al., 1999; 2003;2008; SANTOS et al., 2012a) e carapaças de crustáceos (LOPES et al., 2009).

Figura 3 - *L. fortunei* aderido ao substrato(rocha)

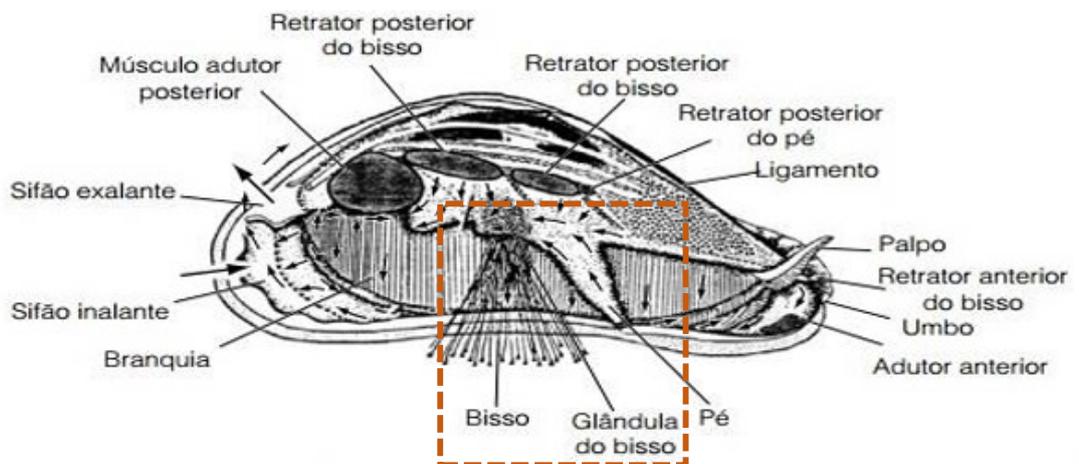


Fonte: A autora (2022)

*L. fortunei* possui uma estrutura proteica, chamada bisso (Figura 4), que o torna capaz de se fixar em vários tipos de substratos duros (Solá et al., 2000). Tais filamentos de bisso são 5 vezes mais resistentes e 16 vezes mais flexíveis que o tendão humano (COYNE et al., 1997). Uryu et al. (1996) afirmam que em agrupamentos maiores a produção do bisso se intensifica se comparada à produção em colônias menores ou indivíduos isolados.

A média de secreção de bisso varia de 1 a 9 por dia dependendo de fatores como idade, temperatura e qualidade da água. Em ambiente aquático a 30°C, após se soltar de um determinado substrato, a produção subsequente de bisso consiste em duas fases: uma inicial rápida (1-7 dias) seguida por uma produção mais lenta (8-21 dias). Em baixa temperatura esta produção permanece constante durante os primeiros 21 dias (CLARKE & McMAHON, 1996).

Figura 4 - *Limnoperna fortunei*. Esquema da anatomia



Fonte: Adaptado de Marton, 1973

Causam impactos diretos sobre a comunidade fitoplantônica e zooplanctônica, pelo fato de serem seres filtrantes; provoca redução da turbidez do corpo d'água e alterações na cadeia alimentar (BRUGNOLI & CLEMENTE, 2002); ciclagem de nutrientes e uma diminuição drástica no número de espécies nativas (TAKEDA et al., 2000 e MANSUR et al., 1987, 2003).

No Brasil, a presença de *L. fortunei* foi registrada pela primeira vez em 1998, no Delta do rio Jacuí, próximo a Porto Alegre. Em 1999, foi detectada no rio Guaíba, no qual o rio Jacuí deságua, e na usina hidrelétrica Binacional Paraguaia-Argentina de Yacyretá, no rio Paraná (DARRIGRAN, 2002). Em abril de 2001, foi encontrado em uma das tomadas de água da barragem da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional, em Foz do Iguaçu/PR, 400 km acima de Yacyretá (PATELLA et al., 2004). Em novembro do mesmo ano, a presença deste mexilhão foi registrada em reservatórios distantes dos locais anteriores como Piraquara e Guaricana, nas proximidades das nascentes do rio Iguaçu, no extremo leste do estado do Paraná. O sistema hidroviário formado pelos rios Paraguai e Paraná constitui o principal meio de dispersão de *L. fortunei* para o centro do Brasil, transportado junto às embarcações que navegam nessas bacias (OLIVEIRA et al., 2004).

### 3.2 - Água de lastro

O transporte marítimo internacional corresponde a cerca de 80% do comércio mundial. No Brasil, são transportados por via marítima aproximadamente 95% de todo o comércio exterior (SILVA & SOUZA, 2004). Exportações e importações em embarcações são a principal fonte de dispersão de espécies, através das incrustações nos cascos, transporte de animais e plantas de outras regiões para comercialização ou no material usado para contrabalançar e estabilizar tais embarcações quando não estão plenamente carregadas, o chamado lastro. Por questões econômicas, eficiência na integridade estrutural e facilidade de descarga, a água foi introduzida ao processo substituindo o lastro sólido pelo lastro líquido.

Um navio descarregado insere em seus tanques água de lastro para manter sua estabilidade. Durante seu carregamento, a água do porto de origem é descartada, dando início ao processo de introdução de espécies exóticas por essa via. Estima-se que 10 bilhões de toneladas de água de lastro sejam transferidas anualmente e cerca

de 3.000 espécies de plantas e animais sejam transportadas por dia em todo o mundo (CARLTON & GELLER, 1993). A média anual de visitas aos portos brasileiros é de 40.000 navios, estimando-se 40 milhões de toneladas de águas deslastradas por ano (SILVA & SOUZA, 2004).

Dentre espécies de invertebrados aquáticos introduzidas, provavelmente via transportes aquáticos, tanto marinho quanto de água doce, consideradas espécies invasoras, está o *L. fortunei*. O sucesso da invasão e dispersão está associada a ações antrópicas; aumento da interconectividade entre bacias via hidrovias, transporte de embarcações via terrestre, transposição de bacias, construção de reservatórios e crescimento de navegação em águas continentais.

### 3.3 - *L. Fortunei* em Usinas hidrelétricas

A energia hidrelétrica é obtida através da transformação de energia hidráulica ou energia hídrica em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica; adquirida a partir da força de movimentação da massa das águas dos rios e lagos, aproveitada por meio de um desnível ou queda d'água, que é convertida na forma de energia, através de turbina hidráulicas ou moinhos de água (ORTIZ, 2014).

Para caracterizar um arranjo de geração eletro hidráulica, adota-se um sistema que se permite controlar o nível da água de um reservatório através de um vertedouro. Através de canais, túneis ou condutos abertos ou metálicos a água represada é captada e transportada até a casa de força, fazendo com que as turbinas hidráulicas acopladas a um eixo, que produz energia mecânica, quando conectado a um gerador é transformada em energia elétrica. Após movimentar as turbinas a água volta ao leito natural do rio pelo canal de fuga (SCHREIBER, 1977).

A Introdução do *L. fortunei* nas fontes hídricas brasileiras, coloca em vulnerabilidade a principal matriz energética, já que representam 61% da oferta interna de energia renováveis produzidas no país. Segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), o molusco está presente em cerca de 40% das hidrelétricas brasileiras ocasionando expressivas perdas econômicas na geração de energia. RESENDE(2008) e colaboradores descrevem que a colonização do *L. fortunei* e incrustação desses organismos nas tubulações

resultará em um aumento da rugosidade de sua parede interna, ao reduzir a área útil para o escoamento da água, implica em uma maior perda de carga.

Os custos para os processos de manutenção associados às infestações vão de R\$ 220 mil a R\$ 1,4 milhão por ano para cada uma das usinas afetadas; tais processos podem ser físicos ou químicos; variam entre remoção manual, mecânica e química; exemplos muito comuns são a raspagem, jateamento em alta pressão e posterior aplicação de revestimento anti-incrustante. Uma usina hidrelétrica de 120 MW, pode ter custos diários de R\$ 40.000,00 a cada dia devido à parada de máquinas (NETTO, 2011). COLLYER (2007) afirma que após a invasão do mexilhão-dourado, os intervalos entre as paralizações para a manutenção das turbinas tiveram reduções consideráveis. Estima-se que o setor gaste cerca de US\$ 120 milhões.

A presença do mexilhão-dourado resulta em danos estruturais a equipamentos de resfriamento, grades, filtros, bombas, tubulações, bastidores, grelhas, telas, tanques de armazenamento, poços de bomba, túneis de entrada de água, instrumentação de monitoramento submersa, medidores de nível e paredes de concreto (SANTOS et al., 2012; DARRIGRAN; DAMBORENEA, 2009, BOLTOVSKOY et al., 2015c); perda de carga, aumento na corrosão, desgastes nos equipamentos e vedações, aumento no número de trabalhadores/hora, superaquecimentos de equipamentos e paradas de emergência nas unidades geradoras (MATA et al., 2011).

Destaca-se que os trocadores de calor presentes nos sistemas de lubrificação dos mancais das turbinas hidráulicas são um dos equipamentos mais afetados. O fluido de resfriamento utilizado em trocadores de calor é a água, uma vez contaminada por larvas e indivíduos jovens, os mesmos são capazes de se fixar nas tubulações internas dos trocadores de calor e concluir seu ciclo de maturação. O acesso de adultos pode ser evitado com a instalação de filtros na entrada dos sistemas de resfriamento. Outros tratamentos na redução dos modos de falha principalmente os químicos podem causar o aumento da degradação devido à corrosão além de que por sua composição principal, alguns produtos são conhecidamente tóxicos ou prejudiciais às espécies vivas em geral e perigosos ambientalmente.

### 3.4 - Ondas ultrassônicas

As ações de prevenção e controle são de suma importância devido aos eventos acarretados pela presença do mexilhão. O controle físico pode ser feito por métodos considerados mecânicos e químicos. Podem ser citadas, bombas de alta pressão, ondas sonoras, radiação ultravioleta e por meio de revestimentos anti-incrustantes, sem biocidas (ZURITA, 2012); raspagem, filtração, corrente elétrica e campo magnético em relação a remoção mecânica; já os mecanismos químicos como anti-incrustantes, moluscicida, biocidas exige dosagens muito elevadas, podem conferir toxicidade ao ambiente, biota, ao homem assim como corrosão estrutural.

No século XVII, a ciência catalogava evidências da existência de frequências sonoras fora da faixa audível pelo ouvido humano (entre 20 Hz e 20 kHz) e começava a sistematizar métodos que utilizavam o som como instrumento de detecção, medição ou alerta (CHEEKE, 2002).

Ondas ultrassônicas são ondas mecânicas e transmitem energia através da matéria causando uma oscilação nas posições de equilíbrio das suas partículas, tais movimentos oscilatórios são resistidos por forças elásticas de acordo com a estrutura molecular do meio (FREDERICK, 1965); constituindo zonas de compressão e rarefação, onde a oscilação de partículas se dá paralelamente à direção de propagação da onda ou oscilam em direção perpendicular à direção de propagação das ondas.

As ondas ultrassônicas apresentam características dos demais tipos de ondas, como o comprimento, a amplitude, o período e a frequência (TER HAAR, 1987).

O comprimento da onda ( $\lambda$ ) corresponde a distância entre regiões adjacentes de compressão ou de rarefação máxima, cujas partículas encontram-se em um mesmo estado de movimento, em um dado instante de tempo.

Amplitude (A) – corresponde ao deslocamento máximo que uma partícula experimenta à partir de sua posição de equilíbrio. Descreve a magnitude do distúrbio causado pela onda.

Período (T) é o intervalo de tempo necessário para que uma partícula realize um ciclo completo de movimento.

Potência (P) – energia (E) total do feixe em um intervalo de tempo (t), expressa em Watts.

A frequência (f) corresponde ao número de vezes que uma partícula realiza um ciclo oscilatório por unidade de tempo.

O som possui velocidades características para cada meio que atravessa e para cada meio, em particular, existe uma relação inversamente proporcional entre frequência e comprimento de onda (Equação 1).

Como toda onda, o som obedece à relação:

*Equação 1*

$$\lambda = v / f$$

Se a corrente elétrica for suficientemente alta e de frequência elevada, são geradas vibrações mecânicas do material de frequência elevada, conseqüentemente, ondas ultrassônicas (ALBERNAZ, 2011).

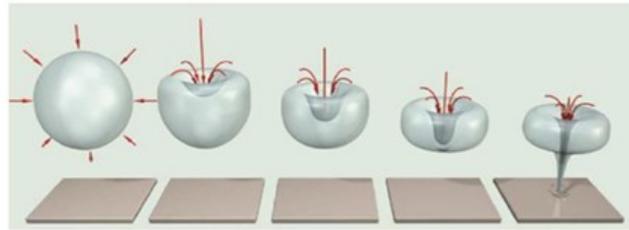
As ondas ultrassônicas podem ser divididas em alta frequência e baixa potência e as de baixa frequência e alta potência, a última são utilizadas para alterar propriedades físicas e químicas da matéria, geralmente utilizada na sonoquímica (RONCHI, 2014).

Sua primeira aplicação prática está relacionada a criação dos sonares para a detecção de submarinos em 1917, utilizando o método pulso-eco. Anos mais tarde entre 1930 e 1940, a tecnologia foi introduzido na prática médica, devido ao fato do ultrassom provocar o aumento da temperatura em tecidos biológicos, foi como um recurso terapêutico, para produzir calor em tecidos profundos.

Ondas intensas de ultrassom acopladas em líquidos comprimem a estrutura molecular do meio com um aumento de pressão acústica e em seguida se expande por uma diminuição de pressão dispersando as moléculas. A refração produz bolhas ou cavidades contendo o próprio líquido em forma de vapor ou os gases dissolvidos no líquido, e na etapa de compressão ocorre o colapso violento destas bolhas gerando um ciclo (RONCHI, 2014). Estas bolhas geradas pelo campo ultrassônico é denominado cavitação ( Figura 5).

Cavitação acústica é um dos principais efeitos do ultrassom no líquido; a implosão da bolha de cavitação é altamente energética; o colapso em forças de cisalhamento hidrodinâmicas e oscilações ultrassônicas provocam a quebra ou rompimento de ligações ou paredes celulares dos organismos.

Figura 5 - Representação do processo de cavitação



Fonte: ALBERNAZ, 2011

Zhou, N. (et al.,2021), testou o ultrassom para controle desse mexilhão invasor e relata tempos mínimos de exposição para matar juvenis e adultos em potências ultrassônicas variando de 300 a 600 W a uma distância fixa de 8,5 cm. A biomassa pode ser efetivamente reduzida, especialmente para estágios iniciais do ciclo de vida sem ou apenas com conchas imaturas.

### 3.5 - Documentos de referência

Espécies exóticas invasoras são consideradas aquelas que ao introduzidas em outros ambientes, se adaptam, reproduzem e proliferam causando frequentes perturbações nos processos ecológicos naturais e danos as espécies nativas, habitats e ecossistemas; além de impactar negativamente a sociedade ou a economia (MMA, 2016). *L. fortunei* é considerada uma espécie engenheira, devido às alterações estruturais potenciais que pode causar, em função de sua capacidade de filtração e de macroaglomeração (Darrigran e Damborenea.2011).

O Ministério do Meio Ambiente por meio da Portaria nº 494, de 22 de dezembro de 2003, criou em caráter emergencial, a Força-tarefa Nacional para o Controle do Mexilhão-dourado, resultando no Plano de Ação Emergencial para o Controle do Mexilhão-dourado, cujas diretrizes seguem as ideologias de que o controle e a contenção da dispersão do mexilhão-dourado devem se constituir em tarefas de caráter permanente; deve haver restrição nas atividades de tráfego hidroviário; aumento e rigor da fiscalização das embarcações de pequeno porte para pesca e recreação, navegações internacional e de cabotagem; maior controle no transporte de fauna e flora, e desaconselha a transposição de águas. Tal força tarefa, foi uma colaboração entre as seguintes instituições:

- Ministério do Meio Ambiente (MMA) (Coordenador da FTN);

- Estado-Maior da Armada (EMA);
- Diretoria de Portos e Costas (DPC);
- Agência Nacional de Águas (ANA);
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa);
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama);
- Secretaria de Meio Ambiente dos Governos dos Estados de Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul;
- Departamento Municipal de Águas e Esgotos de Porto Alegre (DMAE/ RS);
- Associação Brasileira das Empresas Geradoras de Energia Elétrica (Abrage);
- Itaipu Binacional;
- Furnas Centrais Elétricas S. A.

A Comissão Nacional da Biodiversidade (Conabio), aprovou em 2009 a Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras, conforme Resolução Conabio nº 5/2009, que define diretrizes e ações prioritárias para prevenção, detecção precoce e resposta rápida, controle, monitoramento e erradicação de espécies exóticas invasoras, orientando as diferentes esferas governamentais no trato da temática bioinvasão.

Instrução normativa IBAMA nº 17, de 21 de outubro de 2015.

Aprova as especificações técnicas de produto moluscicida para a finalidade específica de utilização no controle da espécie exótica invasora mexilhão-dourado (*Limnoperma fortunei*) em sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas.

Em 2016, o MMA publicou o livro *Espécies Exóticas Invasoras de Águas Continentais no Brasil*. Foram apresentados dados sobre as espécies, situações populacionais, características, origem, distribuição geográfica e outras, dos grupos taxonômicos; por fim, acaba por reconhecer o mexilhão-dourado como espécie exótica invasora.

Em abril de 2017, o plano de trabalho para elaboração do Plano Mexilhão-dourado foi acordado entre o MMA, Ibama e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio); conforme a Portaria MMA nº 43, de 31 de janeiro de 2014, e Instrução Normativa ICMBio nº 25, de 12 de abril de 2012.

#### **4 METODOLOGIA**

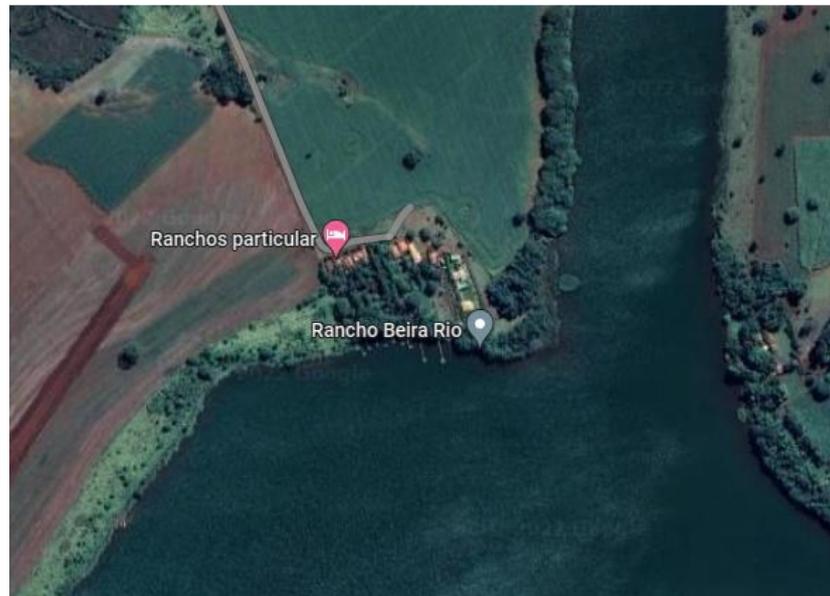
O presente estudo se trata de uma pesquisa experimental, a fim de avaliar a utilização de onda ultrassônicas sob a perspectiva de controlar a permanência do organismo em questão em tubulações, com enfoque no sistema de resfriamento de usinas hidrelétricas.

Os experimento se deram em etapas distintas; foram realizados três ensaios, em diferentes datas, com parâmetros semelhantes para a primeira e a última leva de amostras (como a quantidade de indivíduos por amostra, quantidade de água do ambiente e água clorada, temperatura e tempo). O segundo experimento foi realizado com parâmetros particulares aos ensaios 1 e 3, com intuito de se fazer possível observar se as variáveis se anulavam ou não. O preparo para a coleta, se desenvolveu com a separação dos materiais a serem utilizados: recipientes plásticos, concha de cabo longo, caixa de armazenamento.

#### 4.1 ENSAIO 1

Entre os dias 24 e 28 de abril de 2022, foi realizada a coleta em campo das amostras de *L. fortunei* no Rio Grande, Reservatório de Volta Grande, Rancho Beira Rio no Triângulo Mineiro(MG), conforme mostra a Figura 6:

Figura 6 - Local da coleta



Fonte: Gislaíne Soares Araujo, 2022.

Juntamente ao substrato ao qual estavam aderidos (rocha); atentando sempre ao fato de causar o mínimo de estresse e perturbações aos indivíduos das amostras, as mesmas foram levadas ao laboratório de Ecologia da Universidade Federal do Triângulo Mineiro(UFTM), na cidade de Uberaba-MG. As amostras, foram armazenada em aquários aclimatados, preenchido com água decolorada. O espécime permaneceu em descanso por 24 horas antes da realização dos experimentos.

Durante a realização dos experimentos, cada uma das cinco amostras com (N) indivíduos, foi submetida a diferentes tempos (T) de exposição as ondas ultrassônicas; realizados em ordem decrescente a partir da amostra número 5, respeitando seus tempos específicos (

Tabela 2). No dia seguinte, os mexilhões sobreviventes foram novamente submetidos ao mesmo processo, com os mesmos tempos. O terceiro dia foi marcado pela observação das amostras, analisando a mortalidade e desacoplamento.

Tabela 2 - Indivíduos e tempos do Ensaio 1.

	<b>N indivíduos</b>	<b>T(min)</b>
<b>Amostra 1</b>	15	3 min
<b>Amostra 2</b>	13	7 min
<b>Amostra 3</b>	12	13 min
<b>Amostra 4</b>	9	21 min
<b>Amostra 5</b>	12	31 min

Foi empregada a Lavadora Ultrassônica 2840 DA (Figura 7 e Figura 8), da fabricante Biodont, na realização dos ensaios. A frequência e potência utilizadas são de 40Khz e 150 watts respectivamente.

Figura 7 - Lavadora Ultrassônica 2840 DA.



Fonte: A autora (2022)

Figura 8 -Lavadora Ultrassônica, visão superior



Fonte: A autora (2022)

Seguem as especificações técnicas do aparelho ( Tabela 3).

Tabela 3 - Especificações técnicas da lavadora ultrassônica utilizada

<b>Características</b>	<b>Benefícios</b>
<b>Revestimento externo em aço carbono tratado, pintado eletrostaticamente em epóxi a 250°.</b>	Acabamento altamente resistente às variações de temperatura em função do processo. O tratamento da chapa de aço carbono antes da pintura elimina o risco de corrosão.
<b>Cuba interna em aço inox</b>	Além de apresentar um melhor acabamento e maior vida útil, o aço inox melhora a propagação do Ultrassom já que os transdutores são fixados em sua base. De fácil limpeza e assepsia.
<b>Tampa em acrílico transparente</b>	Além de proteger, abafa o ruído de funcionamento.
<b>Frequência de 40KHz</b>	Através do PZT (transdutor piezoelétrico) chegam a esta vibração mecânica utilizada nas limpezas chamadas finas tais como limas e instrumentais.
<b>Potencia</b>	150 watts
<b>Painel de membrana e digital</b>	Ergonômico, de fácil manuseio e limpeza. Permite acionar todas as funções do aparelho.

<b>Timmer de 0 a 20 minutos</b>	Controla o tempo de limpeza. Permite ajustes de conformidade com o grau de sujidade dos instrumentais a serem lavados.
<b>Cesto suspenso em aço inox</b>	Ótimo propagador de som. Ideal para os procedimentos do aparelho. Perfurado.
<b>Medidas externas</b>	360 x 270 x 340 mm.
<b>Medidas internas</b>	240 x 300 x 150 mm.
<b>Chave de aquecimento (não presente na 1440)</b>	Liga a resistência para aquecimento da água oferecendo uma limpeza mais fina ainda.
<b>Componentes eletrônicos</b>	Equipamento totalmente transistorizado.
<b>Capacidade</b>	7,35 litros.
<b>Volume</b>	9,5 litros.

Fonte: Adaptado de ODONTOBRAS (2022).

O aparelho já preenchido com água declorada, era previamente ligado por cerca de 10 minutos, para eliminar quaisquer variáveis que pudessem influenciar na operação.

#### 4.2 ENSAIO 2

Um segundo ensaio foi realizado entre os dias 20 e 25 de Junho, seguindo o mesmo local da primeira coleta. Os mexilhões foram separados em amostras de quantidades diversas tanto incrustadas ao substrato, uns aos outros ou individualmente; foram divididos em 4 amostras contaram com um número maior de indivíduos em relação ao ensaio anterior; expostos a diferentes tempos as ondas ultrassónicas.

O experimento foi realizado utilizando o mesmo modo operante do aparelho, adicionada a amostra desejada aderida ou não ao substrato, a lavadora era novamente ligada. Assim como no ensaio 1, ao fim do tempo de exposição (Figura 9), cada amostra foi devolvida ao seu respectivo aquário e analisados no dia posterior.

Figura 9 - Amostra na Lavadora após ensaio



Fonte: A autora (2022)

Na amostra nº 1, 112 indivíduos foram expostos a ondas ultrassônicas, pelo tempo de 30 minutos; a amostra nº 2 composta por 104 indivíduos e com exposição de 40 minutos; na amostra nº 3, 40 indivíduos foram expostos ao aparelho por 10 minutos; por fim, a amostra nº 4 contou com 60 indivíduos e tempo de exposição de 20 minutos.

Tabela 4 - Indivíduos e tempos Ensaio 2.

	<b>N indivíduos</b>	<b>T(min)</b>
<b>Amostra 1</b>	112	30
<b>Amostra 2</b>	104	40
<b>Amostra 3</b>	40	10
<b>Amostra 4</b>	60	20

A exposição das amostras (

Tabela 4) aconteceram sucessivamente uma vez ao dia ao longo de três dias. Foram observados e anotados a cada dia de aplicação, qualquer alteração a cada um dos organismos, o que difere dos outros dois experimentos.

### 4.3 ENSAIO 3

Em Agosto/2022 foi realizada a terceira coleta no mesmo local das outras duas coletas feitas anteriormente, seguindo mesmas especificações do ensaio 1, selecionando o mesmo número de indivíduos por amostras, para funcionar como uma “contraprova”. Devido as condições de coleta, materiais e transporte, apenas 7,5 litros de água do habitat natural foram adicionados a outros 7,5 litros de água clorada no aquário de armazenamento. As amostras foram submetidas ao mesmo período de tempo das amostras do primeiro ensaio. Entretanto, há alguns diferenciais; a exposição ao processo coma a lavadora teve origem já no dia da coleta e foi finalizado após quatro dias, em 12 de agosto; foram realizados dois conjuntos de experimentos, um aderido ao substrato rochoso e outro sem o substrato rochoso, sendo os indivíduos incrustados em plantas e raízes do coletados em seu habitat natural.

Ainda assim, em relação ao ensaio 1, os exemplares do espécime foram submetidos ao processo diariamente, em cada um dos quatro dias de experimento. A Tabela 5 detalha essas informações:

*Tabela 5 - número da amostra/número de indivíduos/tempo de exposição. Ensaio 3.*

Com Substrato Rochoso			Sem Substrato Rochoso		
Amostra nº	Nº indivíduos	Tempo	Amostra nº	Nº indivíduos	Tempo
1	15	3 min.	1	15	3 min.
2	13	7 min.	2	13	7 min.
3	12	13 min.	3	12	13 min.
4	9	21 min.	4	9	21 min.
5	12	31 min.	5	12	31 min.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 ENSAIO 1

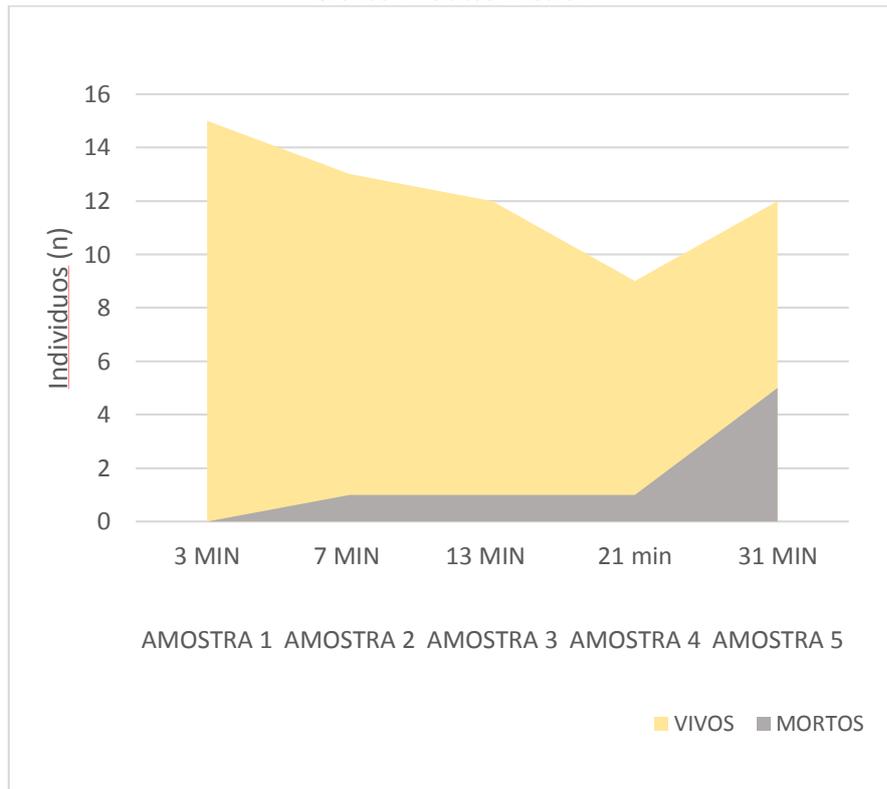
Antes do primeiro dia de uso do ultrassom, após o repouso no aquário por 24 horas, notou-se que não houve qualquer morte ou desincrustação pela perturbação da coleta. Em seguida, realizou-se a aplicação do aparelho sonicador, respeitando os tempos e quantidades já especificados. Não houve mortes ou desacoplamento dos mexilhões-dourados nesse dia. Em todos os dias de aplicação, notou-se o processo físico de cavitação.

No segundo dia de aplicação da técnica, em nenhuma das amostras notou-se desacoplamentos, entretanto a temperatura da água nas amostras nº4 e 5 subiu cerca de 4°C (22,5°C para 26,5°C). O aumento da temperatura é efeito comum, relatado por autores como Bassoli (2001) e Ronchi (2014). A temperatura da água começou a aumentar a partir de 21 minutos de exposição.

Conforme as observações feitas no terceiro dia chegou-se a seguinte conclusão de que a diferença de tempos não causaram efeito considerável no desacoplamento.

Já a taxa de mortalidade (Gráfico 1) modificou-se de acordo com a quantidade de tempo no qual as amostras foram submetidas. O maior tempo de exposição, 31 minutos, na amostra nº 5, teve a maior mortalidade: 5 mortos de um total de 12, 41,66%. Em tempos menores, essas taxas foram reduzindo até chegar a zero, como na amostra 1 (3 min.).

Gráfico 1- Óbitos Ensaio 1

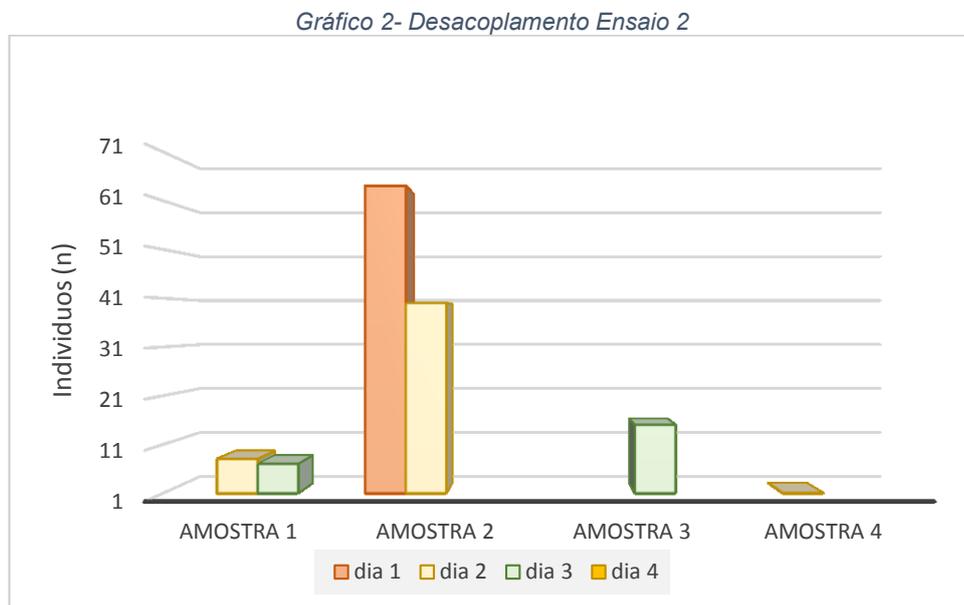


## 5.2 ENSAIO 2

Neste ensaio, os resultados apontam que os dois menores tempos (10 e 20 min.; amostra 3 e 4 respectivamente), tiveram a maior taxa de mortalidade. Ao fim do quarto dia, os óbitos chegaram a 73,3% da amostra nº3 e 65% na amostra nº4. Enquanto para os tempos maiores, a mortalidade para as amostras nº 2 (40 minutos) e nº 1 (30 minutos) foram menores, 45,19% e 35%, respectivamente. Vale frisar que nas amostras de tempos maiores, a quantidade de indivíduos era maior, aumentando o número de camadas de incrustação, tal fato, possivelmente influenciou nos resultados obtidos. Em relação ao desacoplamento, o

Gráfico 2 apresenta os resultados; a amostra nº2 houveram 100% dos indivíduos desacoplados no dia 2. As amostras nº1 e nº3 apresentaram

desacoplamento total de 15 indivíduos cada ao longo do dia 2 e 3, enquanto a n<sup>o</sup>4 apresentou somente 1 desacoplamento no dia 2.

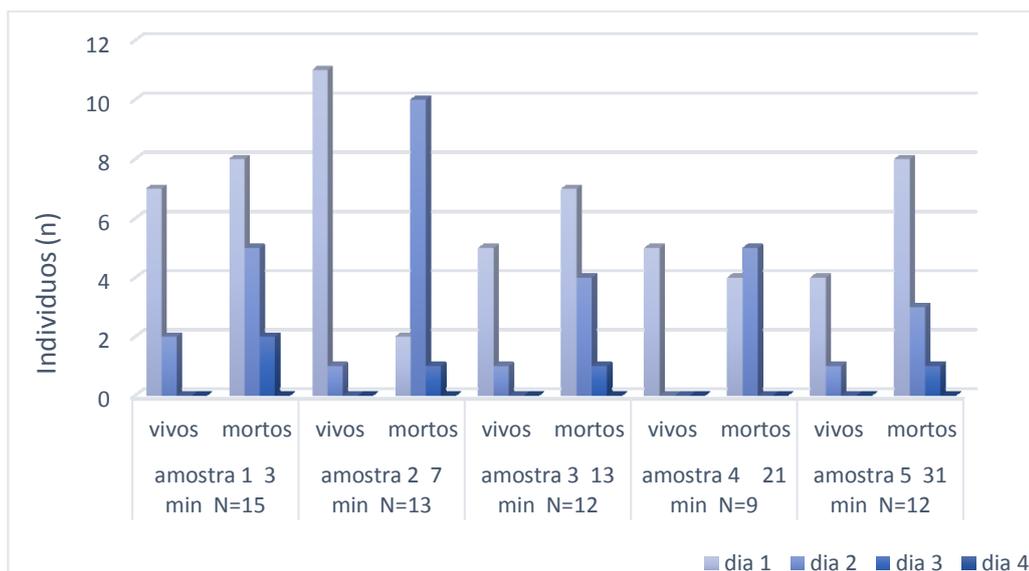


### 5.3 ENSAIO 3

#### 5.3.1 Com substrato

O experimento, que inicialmente aconteceria em quatro dias, acabou sendo finalizado no terceiro dia, por conta da ocorrência de 100% de mortalidade em todas as amostras. O Gráfico 3 apresenta os resultados dos óbitos das amostras com substrato, sendo contabilizadas as observações dos indivíduos por amostra, tanto durante, depois do experimento e após 24 horas de repouso.

Gráfico 3- Óbitos Ensaio 3 com substrato



Na amostra nº1, a taxa de mortalidade de 53,33% no dia 1; para o segundo dia, 75%. Desacoplou 1 indivíduo (8,33%). Ao fim do terceiro dia de experimento, os últimos 2 indivíduos vieram a óbito.

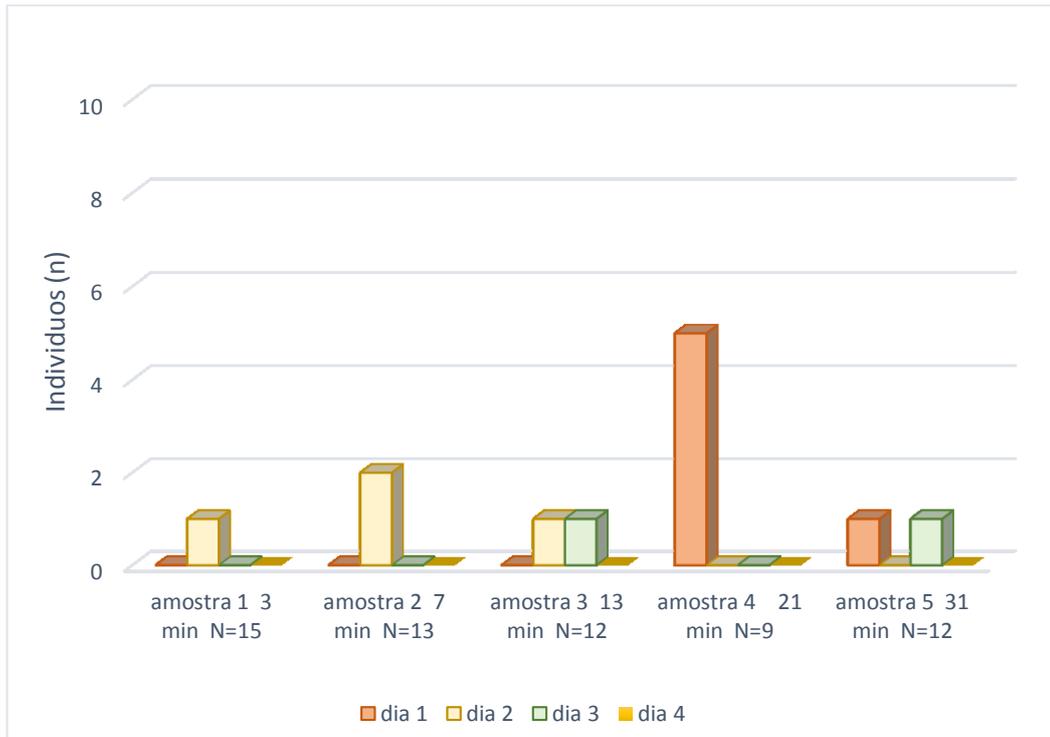
Na amostra nº2 (N=13), no primeiro dia a mortalidade foi baixa (15,4%), ao segundo restando somente um indivíduo, a mortalidade atingiu 90,9% de. No terceiro 100% da amostra veio a falecer. Foram observados 2 desacoplamentos (15,8%).

Para a amostra nº 3, foi observada uma maior taxa de mortalidade no primeiro dia, em relação às amostras anteriores, ultrapassando a metade (58,3%). No segundo dia a mortalidade também foi alta (80%), restando somente um indivíduo vivo que morreu no dia 3.

A amostra nº4, apresentou no primeiro dia taxa de mortalidade de 44,4%, restando 5 indivíduos que vieram a óbito já no segundo dia, atingindo 100% de mortalidade. Desacoplaram 2 indivíduos no total (Gráfico 4).

Por fim, na amostra nº 5, com o tempo de 31 minutos tem-se a maior mortalidade, sendo 66,7% no primeiro dia, e 75% no segundo. O último indivíduo morreu no terceiro dia. Como a amostra 4, também houveram 2 desacoplamentos.

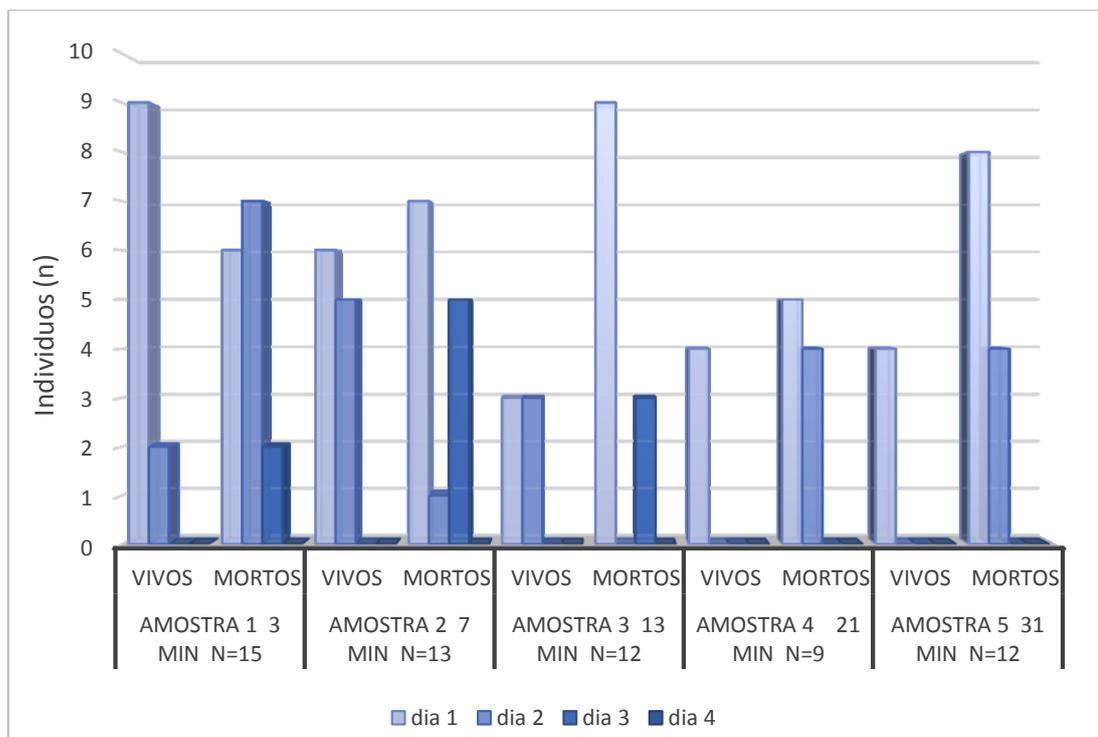
Gráfico 4- Desacoplamentos Ensaio 3 com substrato



### 5.3.2 Sem substrato

A seguir, são apresentados os dados quantitativos referentes ao experimento realizado sem o substrato, sendo os mexilhões expostos ao aparelho acoplados em plantas e raízes do habitat natural. O Gráfico 5 permite uma visualização ampla dos resultados observados em cada um dos dias:

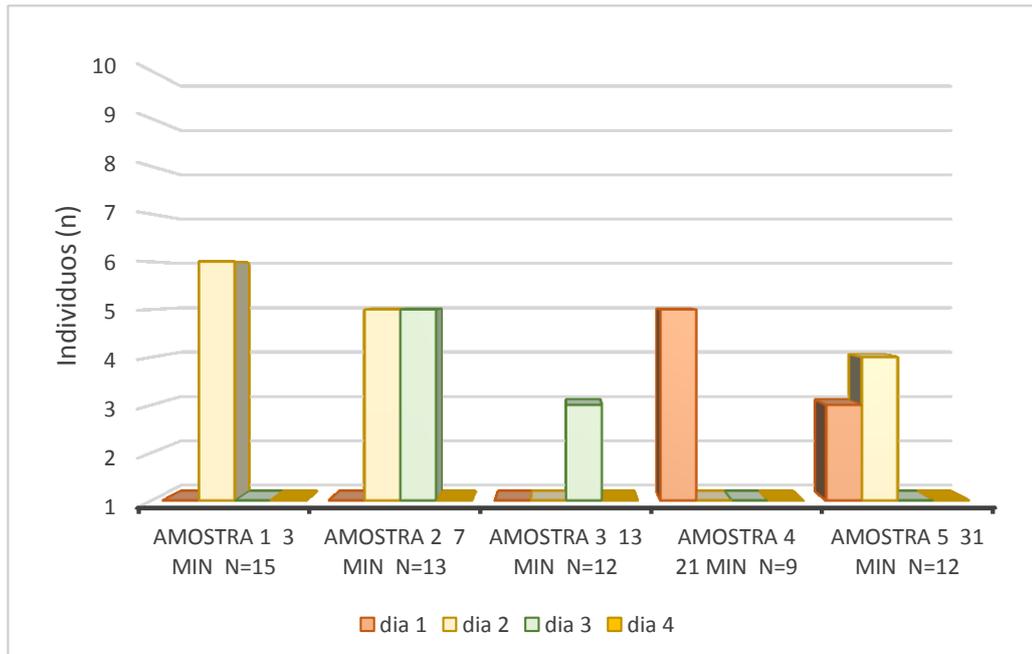
Gráfico 5- Óbitos Ensaio 3 sem substrato



Os resultados comparados com substrato e sem substrato rochoso, não variam muito, com exceção de algumas discrepâncias eventuais, como no caso da amostra de nº 2: com substrato, houve grande índice de morte no segundo dia de experimento (90,9%), enquanto sem substrato atingiu um número pequeno, de 16,6%. Outra diferença notável foi o aumento de 16,7% na mortalidade da amostra 3º sem substrato no primeiro dia, além de não haver morte no ensaio sem substrato no segundo dia.

Em relação ao desacoplamento (Gráfico 6), este acontece com mais facilidade quando o substrato são raízes e plantas aquáticas (31 desacoplamentos no total) do que quando utilizado o substrato rochoso (12 desacoplamentos). Essa diferença pode acontecer devido ao material no qual o mexilhão-dourado está incrustado.

Gráfico 6- Desacoplamentos Ensaio 3 sem substrato



## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho, se trata de uma pesquisa experimental onde o molusco *Limnoperna fortunei* foi exposto a ondas ultrassônicas como avaliação de estratégia de perturbação e medida a ser adotada para controle da incrustação do mesmo em sistemas hidráulicos de usinas geradoras de energia hidrelétrica.

Durante os experimentos foram observados um certo desconforto ao organismo, houve o movimento de abrir e fechar da concha e parte da estrutura interior do mexilhão exposta.

As amostras 1,2,3 e 4 tiveram respectivamente 13,39; 38,46; 37,50; 1,67% de desacoplamento ao fim dos 4 dias do ensaio 2.

Os ensaios 1 e 3, exibem número amostral semelhante, no entanto obtiveram resultados diferentes; no primeiro ensaio não notou-se desacoplamento em nenhuma das amostras. O ensaio 3, com a presença de substrato natural do grupo amostral tiveram respectivamente 1- 6,67%; 2- 15,38%; 3- 16,67%; 4- 55,56%;5- 16,67 % de desacoplamento. Tais porcentagens referentes as amostras sem substrato foram as seguintes: 40,00; 76,92; 25,00; 55,56 e 58,33 por cento.

Diante das observações, chega-se à conclusão de que tem-se um aumento considerável nos desacoplamentos quando os indivíduos não estão agregados a um substrato rochoso.

Comprova-se então a eficácia da aplicação do método em relação ao controle da aderência do mexilhão dourado nos sistemas hidráulicos já que tem capacidade de desagregar os indivíduos das camas superficiais aderidos a outros indivíduos de camadas abaixo.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como resultado da investigação guia do estudo, no ensaio 1 não houveram desacoplamentos em todas as amostras. Já no ensaio 2, o grupo amostral 2, composto por 104 indivíduos e expostos ao total de 80 minutos nos dois dias de experimento, apresentou maior porcentagem de desacoplamentos.

O ensaio 3 dividido em duas sub sessões, com substrato rochosos e sem substrato rochoso respectivamente, apontou que a amostra 4 com nove indivíduos e a amostra 2 com treze indivíduos levou a maior porcentagem de indivíduos desagregados. A amostra 4 foi exposta ao total de 63 minutos e a amostra 2 citada acima, 21 minutos, ambas em 3 dias de experimento.

No geral, observa-se maior mortalidade a medida que se aumenta o tempo de exposição as ondas ultrassônicas, presumindo que tal fato acontece em relação a como a estrutura interna do espécime se comporta diante da perturbação. Mesmo não sendo o objetivo principal do estudo realizado, cabe a observação de uma futura remoção ao substrato post mortem já que não foram notadas alguma separação nestas condições.

Para trabalhos futuros é sugerido realizar o mesmo experimento empregando sonicadores variados até mesmo em capacidade estrutural; capazes de uma melhor manipulação dos ciclos e frequências de onda relativamente maiores. Como sucessão do trabalho exposto recomenda-se a realização de ensaios *in situ*, para acrescentar tal investigação.

Saliento que apesar das dificuldades encontradas e frustrações, ainda assim trata-se de um estudo experimental, desenvolvido afim, de avaliar soluções a um problema real e está sujeito a respostas efetivas ou negativas ao objetivo principal; entretanto, poderá agregar a futuras pesquisas.

## 8 REFERÊNCIAS

BOLTOVSKOY, D.; AND CATALDO, D. **Population dynamics of *Limnoperma fortunei* an invase fouling mollusk in the lower Paraná river \*Argentina**. *Biofouling*, v. 14, p. 255-263,1999.

BOLTOVSKOY, D.; XU, M.; NAKANO, D. (2015). **Impacts of limnoperma fortunei on man-made structures and control strategies: general overview**.

BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **Limnoperma fortunei: the ecology, distribution and control of a swiftly invasive fouling mussel. Argentina**. Springer, p. 375-393.

BRUGNOLI, E.; AND CLEMENTE, J. M. **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, 2002.

CACHAPUZ, P. B. B. **USINAS DA CEMIG: A história da eletricidade em minas e no Brasil, 1952 – 2005**.

CARLTON, J.; GELLER, J. **Ecological Roulette: the global transport of nonindigenous marine organisms**. *Science*, v. 261, p. 78 – 82, 1993.

CHEEKE, J. D. N. **Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves**. Editora CRC Press, ed.1, Londres, 2002

CLARKE, M.; McMAHON, R. F. **Effects of temperature on byssal thread production by the freshwater mussel, *Dreissena polymorpha* (Pallas)**. *American Malacological Bulletin*, v. 13, p. 105 – 110, 1996.

COYNE, K. J.; QIN, X-XIA; WAITE, J. H. **Extensible collagen in mussel byssus: a natural block copolymer**. *Science Reports*, v. 277, p. 1830 – 1832, 1997.

DARRIGRAN G, 2000. **Bivalves invasivos de água doce da região neotropical. *Dreissena*, 11((2)):7-13 p.**

DARRIGRAN G, 2002. **Impacto potencial de invasores filtradores em ambientes temperados de água doce do interior**. *Invasões biológicas*, 4:145 p.

DARRIGRAN G, PENCHASZADEH P, DAMBORENEA C, GRECO N, 2003. **Abundância e distribuição de larvas de mexilhão dourado *limnoperma fortunei* em uma usina hidrelétrica na américa do sul**. In: proceedings 11th international conference an aquatic invasive species: Alexandria, Virginia, USA, 310-314.

DARRIGRAN GA, EZCURRA DRAGO IDE, 2000. **Invasão de limnoperna fortunei (dunker, 1857) (bivalvia: mytilidae) na américa.** Nautilus, 114((2)):69-74.

DARRIGRAN, G & PASTORINO, G. **The recent introduction of asiatic bivalve, limnoperna fortune (mytilidae) into south america.** The veliger, p. 171-175, 1995.

DARRIGRAN, G. & DAMBORENEA, C. **Ecosystem engineering impact of limnoperna fortunei in south america.** Zoological Science, v. 28, n. 1, p. 1–7, 2011.

DARRIGRAN, G. & DRAGO, E. I. **Invasion of the exotic fresh water mussel limnoperna fortunei in south américa.** The nautilus, melbocerne, v. 114, n. 2, p. 69-73, 2000.

DARRIGRAN, G. **Potencial impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments.** Biological invasions, v. 4, p. 145-156, 2002.

DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C.; GRECO N. **Freshwater invasive bivalves in man-made environments: A case study of larvae biology of limnoperna fortunei in a hydroelectric power plant in south america.** Ambio 36, p. 575-579, 2007.

DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C.; PENCHASZADEH, P. ET AL. **Reproductive stabilization of limnoperna fortunei (bivalvia: mytilidae) after ten years of invasion in the americas.** J shellfish res, v. 22, p. 141-146, 2003.

ENEEL - enel green power volta grande S.A. Relatório da administração - 2018.

ER HAAR, G. (1987). **Physic of therapeutic ultrasound.** London, physiotherapy. v. 73, n.3, mar.

FELIX, E. P. **Avaliação de técnicas de controle da incrustação por mexilhão dourado em hidrogeradoras visando minimização da indisponibilidade.** Tese (doutorado em engenharia), escola politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

FERREIRA, FILIPE HENRIQUE MIRANDA. **Caracterização química do extrato metanólico do limnoperna fortunei – Mexilhão Dourado – UFOP/ Filipe Henrique Miranda Ferreira.** - 2021. Fer61 f.

FREDERICK, J. R. **Ultrasound engineering.** New York, John willey & sons, 1965.379p.

GARCÍA M, MONTALTO L, 2006. **Los peces depredadores de limnoperna fortunei en los ambientes colonizados**. PP 113-129.

GREENBERG M. J.; SUBHEDAR N. K. **Osmotic and ionic regulation in Limnoperna fortunei, a genuinely fresh-water mytilid bivalve from Southeast-Asia**. American Zoologist, v.22, n. 4, p. 979-979, 1982.

KIMURA T, TABE M, DARRIGRAN G, PANHA S, 2003. **Estudo genético comparativo de limnoperna fortunei (bivalvia: mytilidae) de duas localidades nativas e duas invadidas**. Res. 18 encontro brasileiro de malacología. Rio de Janeiro.

LEÃO, R. GTD – **Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica** - Apostila do curso. Universidade federal do Ceará, 2009.

MACKIE, G. L.; CLAUDI, R. **Monitoring and control of macrofouling mollusks in fresh water systems**. 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. 508 p.

MANSUR MC, ROSSONI CARDOSO F, AMATO RIBEIRO L, PINHEIRO SANTOS CDOS, ITIDIERO THORMANN B, COSTA FERNÁNDEZ FDA, ZANI RICHINITTI L. **Biociências**. Sul, Brasil (molusca, bivalvia, mytilidae). 12:165-172. 2004

MANSUR, M. C. D.; SANTOS, C. P.; PEREIRA, D. ET AL. **Moluscos límnicos – bivalves**. In: **informe sobre as espécies exóticas invasoras de águas continentais no brasil**. Ministério do meio ambiente – MMA, Brasília, cap. 7, p. 131-179, 2012.

MANSUR, M. C.; SANTOS, C. P.; DARRIGRAN, G.; HEYDRICH, I.; CALLIL, C. T.; CARDOSO, F. R. **Primeiros dados qual-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**. Rev. bras. zool., Curitiba, v. 20, n. 1, p. 75-84, 2003.

MATA, F. A. R. da. **Abundância e distribuição temporal de Limnoperna fortunei Dunker, 1857 (Mollusca, Bilvalvia) nos reservatórios de Itaipu e Jupia (PR)**. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Biomas Tropicais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

MATA, F.A.R.; DIAS, C.A.; OLIVEIRA, J.G.; MARCOLI, E.J.; ZAN, M.; RAMPIM, C. R. **Vantagens econômicas e ambientais no uso do MXD-100 para controle da bioincrustação no sistema de resfriamento da UHE Governador José**

**Richa (Salto Caxias).** XXI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Grupo Geração Hidráulica. 2011.

OKUNO, E.; CALDAS, I.L.; CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas.** São Paulo, harba, 1986. 490 p.

PATELLA, L.; BOEGER, W.W.; TORRES, R.A. **Diferenciação das larvas de *Limnoperna fortunei* e *Corbicula fluminea* utilizando técnicas de RFLP.** Resumos XXV; Congresso Brasileiro de Zoologia, 280 p., Universidade de Brasília, 2004.

RESENDE, M. F. AND MARTINEZ, C. B. **Impacto da infestação de condutos forçados de PCH's pelo *Limnoperna fortunei*.** VI Simpósio Brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas, 2008.

RICCIARDI, A. ***Limnoperna fortunei* (Mytilidae): The Next Macrofouling Mussel to Invade North America?** In: Sixth International Zebra Mussel and Other Aquatic Nuisance Species Conference – Dearborn, Michigan, 1996.

SANTOS, C.P., VICENZI, J., BERUTTI, F.A., MANSUR, M.C.D., BERGMANN, C. P., RAYA RODRIGUEZ, M.T., NEHRKE, M.V., ZURITA, M.L.L. Controle de bivalves com a utilização do ultrassom. In: MANSUR, M.C.D., SANTOS, C.P; PEREIRA. D.; PAZ, I.C.P.; ZURITA, M.L.L.; RAYA-RODRIGUEZ, M.T.; NEHRKE, M.V.; BERGONCI P.EA. (Org.). Moluscos límnicos invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle. Porto Alegre: Redes Editora, 2012d. p. 339–341.

SANSON, A. L. **Análise proteômica da espécie exótica invasora *Limnoperna fortunei* para fins de prospecção de alvos para o controle e monitoramento.** Tese (Doutorado em Biotecnologia), UFOP, Ouro Preto, 2018.

SARVAZYAN, A. P. (1983). **Some general problems of biological action of ultrasound.** *IEEE transactions on sonics and ultrasonics.* v.30, n.1, p.2-12, jan.

SCHREIBER, G. P. *Usinas Hidrelétricas.* São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 238p.

SOLÁ, G.; AZUAGA, E. L.; NIVEYERO, A. **Evolución de los moluscos invasores *Limnoperna fortunei* em la región.** Comunicaciones Científicas Y Tecnológicas Universidad Nacional del Nordeste, 2000.

THOMPSON, L. H. & DORAISWAM, L.K. **Sonochemistry: Science and engineering, ind. Eng. Chem. Res.** 38, 1999, pp.1215-1249.

URYU, Y.; IWASAKI, K.; HINOUE, M. **Laboratory experiments on behavior and movement of a freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker)**. Journal of Molluscan Studies, v. 62, p.327 – 341, 1996.

VIITASALO, SATU; SASSI, JUKKA; RYTKONEN, JORMA; LEPPAKOSKI, ERKKI (2005): **Ozônio, ultravioleta, ultrassom e peróxido de hidrogênio como tratamentos com água de lastro – experimentos com mesozooplâncton em água salobra com pouca salina**. Journal of marine environmental engineering 8. P. 35-55.

VILLELA IV, OLIVEIRA IMDE, SILVA JDA, HENRIQUES JAP, 2006. **Dano e reparo de DNA em células hemolinfas de mexilhão dourado (*limnoperna fortunei*) exposto a contaminantes ambientais**. Pesquisa de mutação, toxicologia genética e mutagênese ambiental, 605(1/2):78-86. Disponível em: < [Http://www.Sciencedirect.Com/science/journal/13835718](http://www.Sciencedirect.Com/science/journal/13835718) >.

WELLS, P. N. T. **Biomedical ultrasonics**. London: academic press, 1977. 635 p.

ZHOU, N., RJ ZHANG, BD LIU, B. CUI, ZL DU, PF CHEN, BF ZHU, C. LIN, HT DONG, WY ZHOU & YS LIU, 2021. **Effects of ultrasound on invasive golden mussel *Limnoperna fortunei* mortality and tissue lesions**. Science of the Total Environment 761: 144134.