

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

A AMEAÇA SILENCIOSA: *Limnoperna fortunei* E A CRISE DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO SERTÃO ALAGOANO

Ana Maria Edivia dos Santos ¹; Ronny Francisco Marques de Souza ²

Abstract: The golden mussel (*Limnoperna fortunei*), an invasive species originating from China, poses a serious threat to water supply in Brazil. With its impressive ability to adhere to various artificial substrates, it forms macro-aggregates capable of obstructing raw water passage, cooling, filtration, and intake systems. Since the 1990s, the success of this species in colonizing artificial structures has caused unprecedented impacts on economic sectors related to water use in the country. In the Sertão region of Alagoas, the Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) has been facing obstructions and stoppages in its raw water intake and adduction systems since the golden mussel's arrival in the lower São Francisco region. The first record of the species occurred in 2016 in the pipes of the public water supply systems of Barragem Leste, in Delmiro Gouveia, and Xingó, in Piranhas. During the monitoring of the infestation in the raw water intake sources, it was possible to observe clusters attached to submerged substrates, with a density of 291 thousand individuals per square meter and average sizes between 11 and 20 mm in length. These incrustations resulted in the need to implement new services and maintenance of equipment and pipelines, generating financial impacts for the company of around R\$ 260 thousand per year, based on local market values at the time. This study, covering the period from 2017 to 2020, reports the experiences obtained in the golden mussel control and monitoring actions at CASAL's facilities.

Resumo: O mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*), uma espécie invasora originária da China, representa uma séria ameaça ao abastecimento de água no Brasil. Possuindo a impressionante habilidade de aderir a diversos substratos artificiais, ele forma macroaglomerados capazes de obstruir sistemas de passagem, resfriamento, filtragem e captação de água bruta. Desde a década de 1990, o sucesso dessa espécie em colonizar estruturas artificiais tem causado impactos sem precedentes em setores econômicos relacionados ao uso da água no país. No Sertão de Alagoas, a Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) vem enfrentando obstruções e paralisações em seus sistemas de captação e adução de água bruta desde a chegada do mexilhão-dourado à região do baixo São Francisco. O primeiro registro da espécie ocorreu em 2016 nas tubulações dos sistemas de abastecimento público de Barragem Leste, em Delmiro Gouveia, e Xingó, em Piranhas. Durante o monitoramento da infestação nos mananciais de captação de água bruta, foi possível observar aglomerados presos a substratos submersos, com densidade de 291 mil indivíduos por metro quadrado e tamanhos médios entre 11 e 20 mm de comprimento. Essas incrustações resultaram na necessidade de implementação de novos serviços e manutenções de equipamentos e tubulações, gerando impactos financeiros à companhia em torno de R\$ 260 mil por ano, em valores do mercado local à época. Este trabalho, abrangendo o período de 2017 a 2020, relata as experiências obtidas nas ações de controle e monitoramento do mexilhão-dourado nas instalações da CASAL.

Palavras-Chave – Mexilhão-dourado; Bioincrustação; Abastecimento de água.

¹⁾ CASAL, 82-82 9643-1175, edivia2301@gmail.com

²⁾ IFAL, Avenida Sergipe, S/N, Xingó - Piranhas/AL - 81- 9997109854, ronny.souza@ifal.edu.br

INTRODUÇÃO

A presença de espécies invasoras representa um desafio significativo para ecossistemas e infraestruturas em todo o mundo, pois sua chegada, permanência e expansão, geralmente ocorrem atrelados a impactos ambientais e econômicos substanciais. Dentre essas, o mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*), molusco bivalve de água doce da família Mytilidae, originário da China, destaca-se por sua notável capacidade de adesão a diversos substratos naturais e artificiais. Essa característica permite a formação de macroaglomerados que podem obstruir severamente sistemas de captação, resfriamento, filtragem e passagem de água bruta.

Desde sua chegada à América do Sul na década de 1990, no lago Guaíba (Rio Grande do Sul) (Mansur *et al.*, 1999), o *L. fortunei* tem se dispersado rapidamente por bacias hidrográficas no Brasil, como a do Paraná, alcançando inclusive a UHE Itaipu Binacional (Canzi *et al.*, 2014). Registros da espécie já foram reportados na bacia do São Francisco, na região do reservatório da UHE de Sobradinho-PE (Barbosa *et al.*, 2016) e em pisciculturas de tilápias em Jatobá-PE (Avelino *et al.*, 2019) e no baixo São Francisco (Souza; Souza, 2022). Este êxito adaptativo pode ser explicado sob dois aspectos atuando conjuntamente: o perfil da espécie invasora e as características da área invadida. Com seu perfil de reprodução quase contínua e tolerância a mudanças abióticas do meio, o mexilhão-dourado é considerado uma espécie engenheira, modificando ecossistemas devido ao seu comportamento gregário e à formação de macro aglomerações resistentes à vazão de água. Atualmente, elenca-se entre os três principais invasores do país (BRASIL, 2020).

No estado de Alagoas, especificamente no Sertão do estado, a Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) começou a registrar obstruções e paralisações em seus sistemas de captação e adução de água bruta a partir de 2016, com os primeiros focos identificados nas tubulações dos sistemas de abastecimento público de Barragem Leste, em Delmiro Gouveia, e Xingó, em Piranhas (Souza; Souza, 2022). Os prejuízos associados à bioinvasão do mexilhão-dourado são amplos, incluindo a redução no diâmetro e obstrução de tubulações, diminuição da velocidade e turbulência do fluxo, aumento do processo de corrosão e até mesmo alterações indesejáveis no gosto e odor da água tratada. No Brasil, os custos excedentes com manutenção e limpeza de usinas hidrelétricas afetadas pelo mexilhão-dourado já foram estimados em torno de R\$ 40.000,00 (BRASIL, 2017, 2020), e prejuízos anuais da ordem de US\$ 120 milhões, com gastos de US\$ 6,9 a US\$ 8 milhões

em monitoramento e manutenção em usinas de geração de energia (Rebelo *et al.*, 2018). Diante desse cenário, este estudo visa relatar as experiências obtidas nas ações de controle e monitoramento do mexilhão-dourado nas instalações da CASAL no Sertão alagoano, contribuindo para a compreensão e mitigação dos impactos dessa espécie invasora.

METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho focou no monitoramento e controle do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) nos sistemas de abastecimento de água de Barragem Leste e Xingó, localizados nos municípios de Delmiro Gouveia e Piranhas, respectivamente, em Alagoas. Os procedimentos adotados incluíram uma rotina semestral para o monitoramento das incrustações, e anual para a contagem da densidade populacional e levantamento de dados técnicos operacionais e de produção. A periodicidade de aplicação dos métodos de controle (mecânicos, químicos e físicos) foi avaliada após cada procedimento. Os pontos com aglomerações do molusco foram registrados por suas coordenadas geográficas utilizando um GPS Garmin Etrex Vista HCx.

Para a inspeção das tubulações, foram utilizadas imagens e filmagens com uma câmera endoscópica SmartCam modelo HY-5908, acoplada a um tubo flexível de PVC de 25 mm de diâmetro e 15 metros de comprimento, cobrindo 30 metros de tubos (jusante e montante). A medição pitométrica da vazão de água aduzida foi realizada semestralmente com um aparelho Lamon. As amostragens quantitativas dos indivíduos foram realizadas anualmente, entre 2017 e 2020, nas bordas de conexão da luva mecânica. Trechos de seção de 10 cm foram retirados com o auxílio de uma espátula, seguindo a metodologia adaptada (Mansur *et al.* 1999). Os indivíduos foram quantificados por classe de tamanho (menores que 5,0 a 10 mm; de 11 a 15 mm; de 15 a 20 mm; e maiores que 20 mm) utilizando lupa e paquímetro digital.

No sistema Barragem Leste, foram empregados métodos mecânicos (abertura de tubulações para remoção por limpeza/raspagem e hidrojateamento de alta pressão), químicos (adição de dicloroisocianurato de sódio granulado e ácido tricloroisocianúrico em pastilha) e físicos (emissão de ondas eletromagnéticas). Para o sistema Xingó, os procedimentos de controle foram similares, com a diferença de que o método mecânico envolveu a substituição das tubulações afetadas. As dosagens de produtos químicos foram baseadas na concentração mínima de cloro (0,5 mg/L) e no

volume das tubulações, com verificação da concentração de cloro livre e imersão por 24 horas. As pastilhas de ácido tricloroisocianúrico foram adicionadas na sucção da bomba de captação a cada 25-30 dias. O equipamento GASPAR-A foi utilizado para o método físico contínuo. A escolha dos o grau de infestação/incrustação.

RESULTADOS

A análise dos dados de monitoramento permitiu a classificação das incrustações do mexilhão-dourado em quatro categorias: iniciais, comuns, semicríticas e críticas. Essa categorização foi fundamental para a elaboração de um protocolo de ações de controle, considerando as características da incrustação e a medição biométrica quantitativa dos indivíduos. Incrustações iniciais, com predominância de indivíduos menores que 5,0 a 10 mm, apresentavam-se dispersas ou em colônias rasas. Incrustações comuns mostravam colônias em equipamentos operacionais com possibilidade de limpeza pontual e predominância de indivíduos entre 10 e 15 mm. As semicríticas se estendiam a outros processos, mas ainda permitiam limpezas pontuais, com indivíduos entre 15 e 20 mm. Por fim, as incrustações críticas representavam níveis máximos de invasão, com obstruções e colapso no abastecimento, e indivíduos entre 15 e acima de 25 mm, impedindo a avaliação da extensão da colônia. A primeira detecção da invasão no Sertão alagoano, especificamente nos sistemas da CASAL, ocorreu em um trecho de 12 metros de tubulação na captação do sistema Xingó, em Piranhas-AL. A Figura 1 ilustra claramente a gravidade das incrustações críticas nas paredes do tubo, observadas por câmera endoscópica.

Figura 1 - Macro incrustações por mexilhão-dourado nas paredes do tubo por câmera endoscópica



Os locais preferenciais de incrustação são aqueles com maior coeficiente de perda de carga, como as bordas de conexão de equipamentos e tubulações, enquanto áreas de alta velocidade e pressão, próximas a bombas de adução, dificultam o crescimento e a formação de macroaglomerados. Os impactos financeiros decorrentes das paradas para limpeza e manutenção dos sistemas da CASAL/Unidade Sertão - UNSERTÃO foram significativos. A Tabela 1 detalha esses custos anuais, que totalizaram um valor estimado de R\$ 263.036,93 em 2019, englobando serviços de manutenção, mão de obra e aquisição de materiais e equipamentos para situações emergenciais.

Tabela 1 - Custos financeiros no controle do mexilhão-dourado nos sistemas de captação da CASAL / Unidade Sertão - UNSERTÃO

Ações	Custo anual (R\$)
Viagens (visitas técnicas e pesquisas de campo)	4.800
Compra de materiais (troca de tubulações, peças, consertos de bombas)	63.457,50
Contratação de Serviços (retroescavadeira, pitometria, caminhão hidrojato)	171.000,00
Intervenções de vistoria e amostragem de água	4.842,00
Produtos químicos para retirada de incrustações ou limpeza de tubulações	5.000
Diárias, horas extras e outros	13.937,43
TOTAL	263.036,93*

*Custo baseado na contratação de serviços e compra de materiais e equipamentos do mercado local no ano de 2019

Além dos custos, houve perdas significativas na vazão de água, comprometendo o abastecimento das populações. A Tabela 2 demonstra as perdas de vazão obtidas em medições periódicas de pitometria. Em 2017, o sistema Xingó registrou uma perda de 26,50% da vazão, equivalente a 119,2 m³/h de água não produzida.

Tabela 2 - Medições de pitometria e perdas de vazão

Sistema Barragem Leste				
Mês / Ano	*Vazão de captação	*Vazão de chegada ETA	*Perdas	Perdas (%)
11/2017	130	124	6,7	5,11%
07/2018	154	153	1,0	0,64%
09/2019	166	161	5,0	3,01%
Sistema Xingó				
01/2017	450	330	119,2	26,50%
07/2018	338	330	7,9	2,35%
09/2019	351	327	24,1	6,86%

*m³/h

O mexilhão-dourado mostrou-se bem adaptado às condições das tubulações, formando incrustações com densidades populacionais variadas entre 2017 e 2020, como demonstrado na Tabela 3. Em 2017, foram encontradas as maiores densidades populacionais em ambos os sistemas, com indivíduos entre 11 e 20 mm. A redução para "zero" no sistema Barragem Leste em 2018 e 2019, e a diminuição significativa no sistema Xingó, sugerem a eficácia das ações de controle. Contudo, em 2020, o sistema Barragem Leste mostrou um retorno da colonização, embora em fase inicial e sem impactar a vazão. Já o sistema Xingó demonstrou eliminação completa dos indivíduos em 2020 , possivelmente devido à alta velocidade de fluxo próxima à bomba de captação, que dificulta a fixação dos organismos.

Tabela 3 - Densidade populacional e a distribuição quantitativa de indivíduos de mexilhão-dourado

Período	Indivíduos por tamanho (%)				
	5,0 a 10 mm	11 a 15 mm	16 a 20 mm	21 a 25 mm	*Densidade
Barragem Leste					
Jan/17	8,4	43,7	37,3	10,6	14.200
Mai/18	0	0	0	0	0
Ago/19	0	0	0	0	0
Ago/20	9,8	50,9	37,7	1,6	530
Xingó					
Jan/17	4,5	45,2	41,3	9	291.028
Mai/18	0	41,2	41,2	17,6	8.658
Ago/19	6,1	13,8	50,8	29,2	8.928
Ago/20	0	0	0	0	0

O protocolo de ações, detalhado na Tabela 4 , serviu como base para a utilização de métodos de controle às incrustações, seguindo uma frequência periódica de limpezas. Este protocolo considerou a capacidade de reprodução e adaptação da espécie, bem como as características do ambiente invadido e da estrutura a ser tratada, confirmando que não existe um método único para a solução do problema. A utilização de métodos combinados, como hidrojateamento com dicloroisocianurato de sódio e ondas eletromagnéticas, demonstrou ser a abordagem mais eficaz para a eliminação das incrustações por períodos prolongados

Tabela 4 - Protocolo ações de controle às incrustações nos sistemas afetados de acordo com sua classificação

Classificação	Métodos	Frequência
Iniciais	Químico (pastilha) individual	Semanalmente
Comuns	Mecânico (raspagem) + Químico (granulado)	A cada 30 a 60 dias
Semicríticas	Mecânico (raspagem) + Químico (pastilha / granulado) + Físico (eletromagnético)*	A cada 30 a 90 dias
Críticas	Mecânico (jateamento) + Químico (pastilha/granulado) + Físico (eletromagnético)*	Anualmente

CONCLUSÕES

O presente trabalho confirmou a presença do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) nos sistemas de abastecimento de água da CASAL no Sertão alagoano, especificamente em Barragem Leste (Delmiro Gouveia) e Xingó (Piranhas), no Baixo São Francisco. A infestação resultou em impactos negativos significativos, incluindo perdas de vazão nas tubulações. As ações de monitoramento e o protocolo de controle implementado foram cruciais para o manejo das macroincrustações. Os impactos financeiros anuais para a CASAL/Unidade Sertão - UNSERTÃO, causados pelas paradas para limpeza e manutenção, atingiram um valor estimado de R\$ 263.036,93, considerando serviços auxiliares, mão de obra e compra de materiais em 2019.

A invasão do molusco é expressiva e, mesmo com as medidas adotadas, novos ciclos de colonização persistem, afetando o abastecimento de água das populações. A maior aglomeração de *L. fortunei* foi observada em 2017, no sistema Xingó, com densidade de 291.028 indivíduos/m². Locais de elevação de coeficiente e perda de carga, como as bordas de conexão de equipamentos e tubulações, mostraram-se mais propícios às incrustações, enquanto áreas de alta velocidade e pressão dificultam a formação de grandes aglomerações. Embora os métodos de controle (mecânico, químico e físico) individualmente apresentem bons resultados na redução das incrustações, a melhor abordagem no combate ao avanço da incrustação reside na combinação desses métodos. A estratégia mais eficaz demonstrou ser a utilização de jateamento de alta pressão em conjunto com dicloroisocianurato de sódio e o método por emissão de ondas eletromagnéticas.

Essa combinação resultou na eliminação completa das incrustações por um período de 24 meses, sem recorrência.

As informações geradas com a aplicação desses métodos subsidiaram a elaboração de um protocolo de ações para as incrustações. Este protocolo é baseado na classificação das incrustações por característica (rasas, dispersas ou aglomeradas), faixa de tamanho e extensão (pontuais, curtas, extensas), considerando a viabilidade técnica e a disponibilidade de recursos da Companhia. A presença de *L. fortunei* nas instalações da CASAL aponta para a infestação nas águas do Baixo São Francisco, servindo como alerta para autoridades e gestores públicos sobre a necessidade de práticas que minimizem os impactos ambientais e econômicos que essa espécie invasora pode causar em seu novo habitat

REFERÊNCIAS

- ABELINO, D. C.; SILVA, T. F.; FAGUNDES, L. A.; PIRES, C. M. BARBOSA, P. H. (2019). "Primeiro registro de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) em uma piscicultura de tilápias em Jatobá, Pernambuco". *Revista Nordestina de Zoologia*, v. 10, n. 1.
- BARBOSA, F. B.; SILVA, W. A.; NEGREIROS, B. A.; PEREIRA, D.; SANTOS, A. M. E. S.; SOUZA, R. F. M. (2016). "Dispersão do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) na bacia do rio São Francisco". In: *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Malacologia*, p. 11-13.
- BRASIL. (2017). *Diagnóstico sobre a invasão do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) no Brasil*. Brasília: MMA.
- BRASIL. (2020). *Plano nacional de prevenção, controle e monitoramento do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) no Brasil*. Brasília: MMA.
- CANZI, C.; FIALHO, N. S.; BUENO, G. W. (2014). "Monitoramento e ocorrência do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) na hidrelétrica Itaipu Binacional, Paraná (BR)". *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.5, n.2.
- MANSUR, M. C. D.; SANTOS, C. P.; DARRIGRAN, G.; HEYDRICH, I.; CALLIL, C. T.; CARDOSO, F. R. (1999). "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 ambiente". *Revista Brasileira de Zoologia*, v.20, n.1, p.75-84.

REBELO, M. F.; AFONSO, L. F.; AMÉRICO, J. A.; SILVA, L.; NETO, J. L.; DONDERO, F.; ZHANG, Q. (2018). "A sustainable synthetic biology approach for the control of the invasive golden mussel (*Limnoperna fortunei*)". *Peerj Preprints*.

SOUSA, R.; NOVAIS, A.; COSTA, R.; STRAYER, D. R. (2014). "Invasive bivalves in fresh waters: impacts from individual to ecosystems and possible control strategies". *Hydrobiologia*, v.735, p.233-251.

SANTOS, A. M. E. S.; SOUZA, R. F. M. (2022). "Limnoperna fortunei: impactos e medidas de controle no abastecimento de água no sertão alagoano". *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.4, p.108-117

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Alagoas e à Companhia de Saneamento do Estado de Alagoas.