

Sistema hidroeletromecânico de identificação de infestação de *L. fortunei* (mexilhão dourado) em bombas centrífugas

Luis E.S. Viamonte (IC), Carlos B. Martinez (PQ)

Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Dano econômico. Impacto de espécies invasoras. Invasões biológicas. Manejo de invasão. Mexilhão dourado

Introdução

Sabe-se que as perdas de carga em sistemas de hidráulicos se dão por ação do aumento da rugosidade, deposição de material e a incrustação de sujidades presentes na água. Utilizando a Equação de Darcy-Weisbach, podemos perceber que o diâmetro hidráulico é item que crucial para os cálculos de perda de carga. Além outro fator de suma importância para a perda de carga em tubulações é o atrito causado pela parede do duto onde ocorre o escoamento, podemos perceber isto aplicando a equação de Buzelli. De tal maneira que em circuitos hidráulicos de diâmetro pequeno o impacto causado por incrustações tende a ser muito impactantes .

A infestação da espécie invasora Mexilhão Dourado, que vem atingindo fortemente os sistemas hídricos no Brasil, tem gerado uma situação de aumento de perda de carga, assim prejudicando o processo de bombeamento de água. Portanto o assunto deste estudo realizado é quantificar a variação temporal do fator de perda de carga em sistemas fluidos mecânicos e os potenciais impactos sobre os sistemas de bombeamentos de água.

Foi identificado que em um sistema de bombeamento colonizado por esse tipo de molusco, pode sofrer um acréscimo de até 400% no fator perda de carga em um ano, ocorrendo uma condição de estabilidade devido de oclusão da tubulação devido a velocidade com perdas de carga de até 15% em menos de dois anos. Assim impactando no consumo de energia de bombeamento, além de reduzir a altura de sucção, piora a condição de cavitação dos sistemas de bombeamento.

Metodologia

Para se obter um sistema de detecção de Limfopema Fourtunei (L.F), em circuitos de adução sugere-se monitorar as perdas de cargas iniciais no sistema sem infestação e realizar o acompanhamento

do aumento dela ao longo do tempo, assim podendo observar um aumento da perda de carga devido a oclusão do sistema devido as incrustações que diminuem o diâmetro hidráulico e aumentam a rugosidade da parede da tubulação. Para essa investigação considera-se oclusão quando a perda de carga unitária for maior que o diâmetro do tubo de água do sistema de resfriamento.

Para determinarmos a perda de carga iremos utilizar da equação partindo da equação de Darcy-Weisbach (1), e para o fator de atrito utilizaremos a seguinte equação manipulada a partir da equação de Buzelli (2).

$$\Delta h = \frac{8 * f * Q^2 * L_{tub}}{\pi^2 * g * D_{tub}^5} \quad (1)$$

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,28}} \quad (2)$$

Analisando graficamente os dados apresentados por Costa [16], podemos plotar os gráficos de crescimento do *L. Fourtunei* que vai do ovo ao pediveliger em questão de horas, que podemos observar na figura 1, já a segunda fase de crescimento do Mexilhão Dourado, que se inicia no estado juvenil indo até o período de maturidade leva em torno de 3 anos conforme a figura 2.

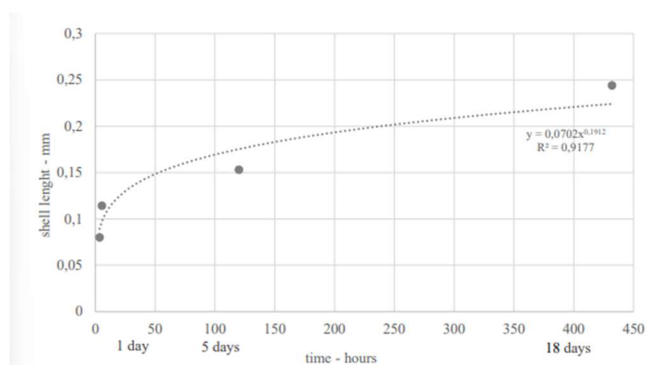


Figura 1 – Curva de crescimento do mexilhão dourado das fases ovo a pediveliger, dada em horas - Obtido a partir de [22].

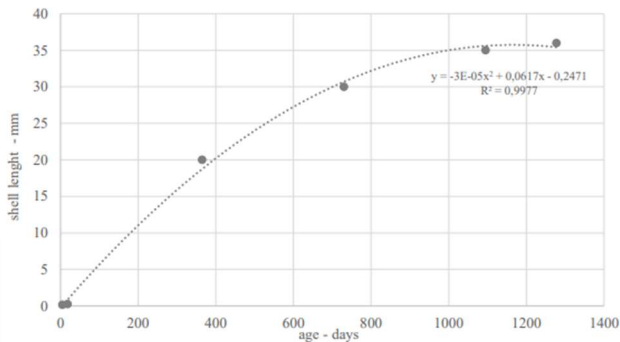


Figura 2 – Curva de crescimento do *L. fortunei* na fase pós larva em função do tempo de infestação, dado em dias - Obtido a partir de [23], [22], [19], [20], [24].

As velocidades de transito no interior das tubulações foram retirados da estação elevatória de Rio Branco, observando que a espessura da camada indica a redução do diâmetro livre de escoamento sendo que as medições dos indivíduos causadores da infestação foram obtidos através de moluscos coletados em itaipu, além de não considerar o arrancamento dos indivíduos da parede das tubulações, assim conseguindo plotar um gráfico de espessura da camada por tempo de infestação.

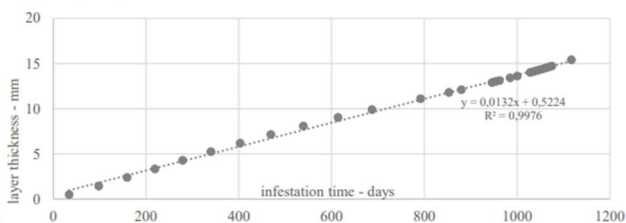


Figura 6 - Espessura da camada formada a partir da incrustação de mexilhão dourado no interior da tubulação em função do tempo, dado em dias, considerando que não houve arrancamento dos indivíduos.

Figura 3 – Espessura da camada formada a partir da incrustação de mexilhão dourado no interior da tubulação em função do tempo, dado em dias, considerando que não houve arrancamento dos indivíduos.

Com estes dados obtidos na figura 3, conseguimos calcular a rugosidade na parede da tubulação, causada pelo Mexilhão Dourado, que nos traz um crescimento exponencial atingindo um pico por volta de 1000 dias, quando os indivíduos atingem a longevidade e passam por uma espécie de reestruturação das colonias, causando uma conseqüente redução do diâmetro livre de escoamento.

Conhecida esta curva de crescimento da espessura de camada é possível determinar a velocidade de escoamento do fluido através da equação da continuidade. A medida em que o diâmetro diminui tem-se um aumento da velocidade do escoamento pois a vazão é constante, assim irá provocar o arrancamento de indivíduos no interior da tubulação, isso ocorrerá de forma progressiva seguindo a figura 4.

Velocidade (m/s)	Taxa de arrancamento (%)
2,0 a 2,5	20
2,5 a 3,0	40
3,0 a 3,5	60
3,5 a 4,0	80
4,0 a 4,5	100

Figura 4 – Progressão da taxa de arrancamento de mexilhão dourado em função do aumento da velocidade do fluido.

Para chegarmos nos valores de consumo de energia das bombas de cada estação é necessário realizar os cálculos de perda de carga total do sistema, combinando estes dados com o levantamento realizado por [21], do rendimento através das curvas típicas das bombas, podemos chegar a um gráfico da evolução temporal do fator de perda de carga associado a bombas inscrustadas com Mexilhão Dourado.

Aplicando os resultados obtidos até o momento, na equação para o cálculo de consumo incremental, conseguimos plotar um gráfico correlacionando o consumo de energia em kWh com os dias de infestação de acordo com a figura 5.

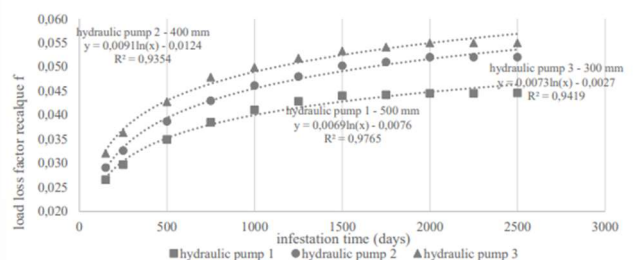


Figura 5 – Evolução temporal do fator de perda de carga do sistema hidráulico associado à tubulação de recalque associada as bombas com incrustação do mexilhão dourado.

Espessura da camada formada a partir da incrustação de mexilhão dourado no interior da tubulação em função do tempo, dado em dias, considerando que não houve arrancamento dos indivíduos.

O sistema hidro-eletromecânico de identificação de infestação de *L. fortunei* (mexilhão dourado) em bombas centrífugas se baseia na medição da perda de carga no circuito de sucção das bombas e na análise da evolução dessa perda de carga frente a vazão aduzida.

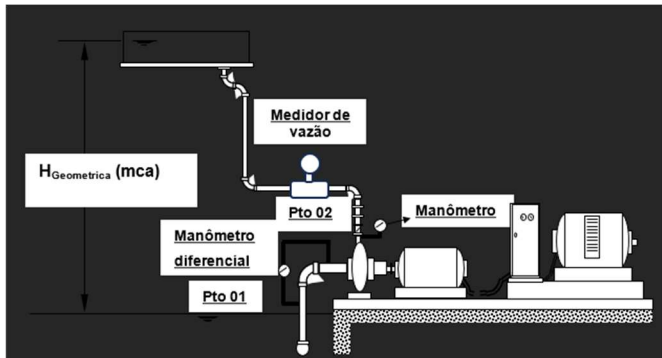


Figura 6 – Desenho esquemático do sistema proposto onde se pode ver a instalação do manômetro diferencial.

Resultados e discussão

Após a análise dos dados obtidos neste estudo, é possível determinar o aumento de custo de operação dos conjuntos de bombeamento da elevatória quando a mesma se encontra infestada por *L. fortunei* em função do tempo de operação. O consumo da instalação sem infestação sem infestação é constante ao longo do tempo de operação, e totaliza um total de 4800 kWh, a a medida em que o sistema sofre com a incrustação de *L. Fortunei*, a instalação ocorre um acréscimo no consumo de energia para manter a mesma vazão. Podemos analisar essa comparação pela figura x.

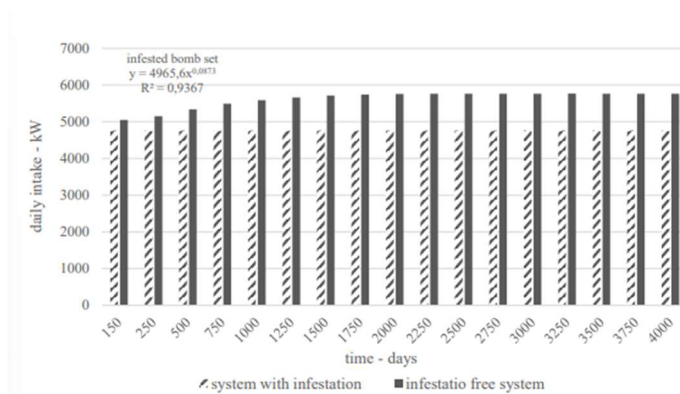


Figura 7 – Consumo diário do conjunto de bombas da estação elevatória de Rio

Branco, em kWh, quando o mesmo está infestado pelo mexilhão dourado, e quando o sistema está livre de infestação, em função do tempo dado em dias.

Escrever aqui o título da figura

Considerando-se o valor do kWh como sendo de US\$0,13 [25] obtêm-se a A Figura 16 apresenta o custo do bombeamento por metro cúbico em dólar, em função do tempo em dias.

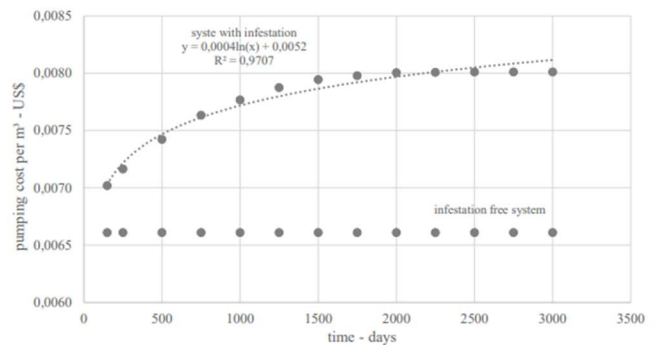


Figura 8 – Custo do bombeamento em m³/US\$, para a estação elevatória de Rio

Branco sob hipótese de o sistema estar ou não infestado pelo *L. fortunei*.Escrever aqui o título da figura

Com os dados de vazão, perda de carga do circuito de sucção e com os cálculos feitos com as equações apresentadas podem-se inferir qual é o grau de infestação de *L.F.* no sistema. Com isso será possível decidir qual a melhor ocasião para uma parada para desinfecção do sistema.

Conclusões

De acordo com o apresentado acima pode-se verificar que é possível fazer o monitoramento da perda de carga no sistema de sucção de bombas. Isso irá permitir que o operador desses sistemas tenha uma ferramenta de tomada de decisão que irá indicar quando intervir no sistema. Os próximos passos no desenvolvimento desse projeto são: a) terminar a montagem do circuito em laboratório; b) instalar os medidores de vazão e de perda de carga; c) fazer testes em laboratório; d) reprojeter o sistema a luz dos resultados obtidos.

\Com um sistema como o proposto o fenômeno de bio-incrustação será

percebido com antecedência dando tempo para a mobilização das equipes de manutenção se prepararem para atuar.

Agradecimentos

Quero agradecer primeiramente a Deus, por ter me dado a grande oportunidade de estudar e ter a chance de realizar grandes conquistas em minha vida.

Quero agradecer imensamente ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Barreira Martinez que me instruiu, corrigiu e incentivou durante esta jornada.

Agradeço ao Eng. Dieimys Santos Ribeiro que me auxiliou na confecção deste trabalho.

Ao CNPq pelo apoio financeiro e incentivo à pesquisa científica.

Agradeço a todos os professores da Universidade Federal de Itajubá, por todo o conhecimento transmitido.

Tenho especial agradecimento ao colega da UNIFEI Pedro Henrique Gualberto dos Santos que desenvolveu seu trabalho de IC na mesma linha aqui apresentada e que contribuiu para esse esforço.

A todos vocês, meu muito obrigado.

Referências

- [8] Barbosa, N.P.U.; Ferreira, J.A.; Nascimento, C.A.R.; Silva, F.A.; Carvalho, V.A.; Xavier, E.R.S.; Ramon, L.; Almeida, A.C.; Carvalho, M.D.; Cardoso, A.V., "Prediction of future risk of invasion by *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857)(Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) in Brazil with cellular automata.," *Ecological Indicators*, vol. 30, pp. 30-39, 2018.
- [9] Mackie, G.L.; Claudi, R., *Monitoring and Control of Macrofouling Mollusks in Freshwater Systems*, New York: CRC Press, 2010.
- [10] Castro ALP (2013), *Study of velocities and Reynolds number for the detachment of golden mussels (Limnoperna fortunei)* [In Portuguese]. PhD Thesis. Federal University of Minas Gerais., Belo Horizonte - Brasil : Federal University of Minas Gerais., 2013.
- [11] Serrano ROP, Santos LP, Viana EMF, Pinto MA, Martinez CB , " Case study effects of sediment concentration on the wear of fluvial water pump impellers on Brazil's Acre River," *Wear* 408-409, pp. 131-137, 2018.
- [12] Resende MF , *Variation of hydraulic characteristics in penstocks due to infestation by Limnoperna fortunei* [In Portuguese]. PhD Thesis. Federal University of Minas Gerais., Belo Horizonte - Minas Gerais.: Federal University of Minas Gerais., 2007..
- [13] Wang, R.; Wang, X.; Li, S., "Study on the Law of Harmful Gas Release from *Limnoperna fortunei* (Dunker

1857) during Maintenance Period of Water fortunei (Dunker 1857) during Maintenance Period of Water," *Appl. Sci.*, p. 20, 16 dez 2021.

[14] Connelly, N.A., O'Neill, C.R., Knuth, B.A. et al. , "Economic Impacts of Zebra Mussels on Drinking Water Treatment and Electric Power Generation Facilities.," *Environmental Management* , p. 105-112 , 2007.

[15] H. G. D. C. C. F. F. L. Z. R. (T. e. c. o. b. i. i. B. a. f. a. N. 6. 3.-3. h. Adelino JRP, " The economic costs of biological invasions in Brazil: a first assessment.," *NeoBiota* , vol. 67, pp. 349-374.

[16] Costa, T. R. ; Andrade, J. T. M. ; Vidigal, T. A. D. ; Martinez, C. B, "Temporal impact of *Limnoperna fortunei* in the increase of load-loss factor in mechanical fluid systems.," Santiago do Chile, 2019.

[18] Souza, T.R.C.d.; Andrade, J.T.M.d.; Serrano, R.O.P.; Vidigal, T.H.D.A.; Viana, E.M.d.F.; Bastos, A.S.; Martinez, C.B., "Energy Efficiency Analysis of Pumping Systems Impacted by the Golden Mussel: A Case Study in the Brazilian Amazon.," *Energies*, vol. 16, nº 4, 2023.

[19] Darrigran, G.; Maroñas, M. Crecimiento valvar de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) de una localidad de clima templado de la región neotropical. In: Darrigran, G.; Bonel, N.; Colautti, D.; Cazzaniga, N.J., "Crecimiento valvar de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) de una localidad de clima templado de la región neotropical. In: Darrigran, G.; Bonel, N.; Colautti, D.; Cazzaniga, N.J. An Alternative Method to Assess Individual Growth of the Golden," *The Wild Journal of Freshwater Ecology* , vol. 26, pp. 527- 535, 2002.

[20] Nakano, D.; Kobayashi, T.; Sakaguchi, I., "Population dynamics and growth of *Limnoperna fortunei*," *Invading Nature*, Boltovskoy, vol. 10, 2015;.

[21] Mataix C, *Hydraulic Turbochargers.*, Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 2009, pp. 1- 1720..

[22] Santos CP, *Evaluation of the Density and Population Growth of the golden mussel Limnoperna fortunei (Dunker, 1857) in its different life stages in Lake Guaíba, Municipality of Porto Alegre, RS, as subsidies for the control of the invasive Bivalve*, Porto Alegre: PhD Thesis. Federal University of Rio Grande do Sul, 2005.

[23] Choi, S.S.; Chin, C.N., "Study on the early development and larvae of *Limnoperna fortunei* [In Korean]," *Korean Journal of Malacology*, vol. 1, pp. 5-12, 1985.

[24] Boltovskoy, D.; Cataldo, D.H., "Population dynamics of *Limnoperna fortunei*, an invasive fouling mollusc, in the lower Paraná river (Argentina).," *Biofouling*, vol. 14, pp. 255-263, 1999.

[25] Empresa de Pesquisa Energética, "Balanço energético nacional, 2022.," EPE, Brasília, 2023.