

DIMENSIONAMENTO DE DISPOSITIVO PARA AVALIAÇÃO DE DENSIDADE DE INCRUSTAÇÃO PROVOCADA POR ORGANISMOS AQUÁTICOS

Pedro H. G. dos Santos¹ (IC), Carlos B. Martinez (PQ)¹
¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Mexilhão dourado. Perda de carga. Usinas hidrelétricas.

Introdução

A pesquisa em questão segue uma linha de investigação que culminou na elaboração da Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). A autora da tese, Engenheira Tamara Rita Costa de Souza, apresentou sua pesquisa com o título "Dimensionamento de dispositivo para avaliação de densidade de incrustação provocada por organismos aquáticos" em sua defesa realizada em 05 de abril de 2023. Além disso, este trabalho também foi apoiado pelas contribuições do Engenheiro Stenio Augusto de Souza Coelho, em seu estudo durante o Mestrado Profissional em Engenharia Hídrica da UNIFEI. Este estudo concentra-se em aprofundar a pesquisa relacionada ao desenvolvimento de dispositivos voltados para a avaliação da densidade de incrustação gerada por organismos aquáticos em ambientes hidrelétricos no Brasil.

As perdas de carga em sistemas hidráulicos podem ser oriundas de diversas causas, como aumento da rugosidade, deposição de material e a incrustação de sujidades presentes na água. Esses efeitos têm período de maturação longo e provoca uma redução da área útil das tubulações. A infestação da espécie invasora Mexilhão Dourado (MD) tem atingido fortemente as UHE's e o processo da perda de carga nos circuitos de resfriamento dessas instalações gerando prejuízos de geração e de disponibilidade de energia para os diversos setores econômicos da sociedade. Este trabalho, feito em apoio ao apresenta um estudo em tubulações de até 20 polegadas de diâmetro onde se verificou a necessidade de monitoramento de ramais de diâmetro entre 2 e 4 polegadas de forma a ser possível, a partir da medição da perda de carga, inferir as taxas de infestação do MD fornecendo parâmetros para orientar o momento da intervenção no sistema.

Para se obter um sistema de detecção de L.F. (*Limnoperna fourtunei*) em circuitos de adução sugere-se

monitorar as perdas de carga iniciais no sistema (sem infestação) e verificar o aumento dela ao longo do tempo. Assim ao se observar um aumento da perda de carga pode-se inferir que está se encontra em processo de oclusão devido a incrustações que reduzem seu diâmetro e aumentam o fator de perda de carga.

Metodologia

Para essa investigação considera-se que haja oclusão do sistema quando a perda de carga unitária for igual ou maior que o diâmetro do tubo da água do sistema de resfriamento. A perda de carga em um sistema hidráulico é função das variáveis; a) diâmetro (D_{tub}); b) comprimento da tubulação (L_{tub}); c) fator de atrito (f) e da vazão (Q) do sistema. E pode ser determinada pela equação 1:

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

Equação 1

Costa [9] recomenda a utilização da equação de Buzzelli para a determinação do fator de atrito (equação 2). Essa equação apresenta um intervalo de erro de Err.mín=0,007% e o Máximo de Err.máx=2,156%, Reynolds variando entre 4×10^3 a 5×10^7 , e rugosidade relativa com intervalo de 5×10^{-6} a 10^{-6} . Para a escolha da equação de cálculo do fator de perda de carga tomou-se como parâmetro a faixa de variação do número de Reynolds encontrado a partir da determinação da rugosidade relativa. A rugosidade superficial da tubulação pode variar rapidamente em função da bioincrustação do mexilhão dourado. Assim, recomenda-se utilizar a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, apresentada logo a seguir, como orientação para determinação da a evolução da rugosidade do Mexilhão Dourado (MD).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = B_1 - \left(\frac{B_1 + 2 \cdot \log_{10} \left(\frac{B_2}{Re} \right)}{1 + \frac{2,18}{B_2}} \right)$$

Equação 2

De acordo com Costa [10] os dados sobre o crescimento valvar do M.D. são variados e coletados em diferentes regiões, portanto, para determinação da curva de crescimento real do mexilhão dourado foi escolhida uma região de teste a fim de identificar o crescimento valvar em todas as fases, para um mesmo local e um mesmo material de fixação, tendo como base comparativa os valores obtidos a partir da literatura. A região escolhida para avaliação temporal do desenvolvimento do MD foi o Rio Grande, na Represa da Usina de Furnas, 1500 metros a jusante da barragem, especificamente no Clube Náutico Engenheiro Mauro Ferraz, São João Batista da Glória – MG.

Resultados e discussão

A partir do monitoramento dos valores de perda de carga no sistema pode-se inferir qual o tempo de infestação e a seriedade do fenômeno sobre os sistemas de resfriamento de UHE's. As vazões utilizadas para simulação das tubulações que sofrem oclusão, foram calculadas de acordo com as velocidades dos sistemas de resfriamento de modo que cada velocidade é calculada considerando que o sistema irá manter as velocidades constantes. Os valores de vazão em função da velocidade de trânsito nas tubulações são apresentados na Tabela 4.

Q - Vazão para velocidades de trabalho usuais
m³/s

Diâmetro	1,5 m/s	2,0 m/s	2,5 m/s
1"	0,0008	0,0010	0,0013
2"	0,0030	0,0041	0,0051
2 ½"	0,0047	0,0063	0,0079
3"	0,0068	0,0091	0,0114
4"	0,0122	0,0162	0,0203
5"	0,0190	0,0253	0,0317
6"	0,0273	0,0365	0,0456
8"	0,0486	0,0648	0,0810
10"	0,0760	0,1013	0,1266
12"	0,1094	0,1459	0,1823
15"	0,1709	0,2279	0,2849
18"	0,2461	0,3282	0,4102
20"	0,3039	0,4052	0,5065

Tabela 4

Aplicando-se as equações 1 e 2, e as taxas de crescimento de L.F. apresentadas na Tabela 1 obtêm-se tem-se a perda de carga unitária para diâmetros de tubulação de resfriamento e velocidades de trânsito ao longo do tempo de infestação no sistema. Os resultados dessa simulação para diversas velocidades de trânsito estão apresentados nas Tabelas 5 a 7.

Tabela 1 - Perda de carga - [mca/m]) - velocidade 1,5 m/s Δh.

Diâmetro	Tempo de infestação (dias)				
	5	50	100	150	250
1"	Oclusão	Oclusão	Oclusão	Oclusão	Oclusão
2"	0,0049	0,0182	Oclusão	Oclusão	Oclusão
2 ½"	0,0015	0,0051	0,0358	Oclusão	Oclusão
3"	0,0006	0,0018	0,0081	Oclusão	Oclusão
4"	0,0001	0,0004	0,0011	0,0054	Oclusão
5"	0,0000	0,0001	0,0001	0,0002	0,0010
6"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0003
8"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
18"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
20"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: de Souza (2023) [10]

Obs.: Adotado como oclusão quando a perda de carga unitária for igual ou maior que o diâmetro do tubo

Tabela 2 - Perda de carga - [mca/m]) - velocidade 2,0 m/s Δh.

Diâmetro	Tempo de infestação (dias)				
	5	50	100	150	250
1"	Oclusão	Oclusão	Oclusão	Oclusão	Oclusão
2"	0,0087	0,0324	Oclusão	Oclusão	Oclusão
2 ½"	0,0027	0,0091	0,0637	Oclusão	Oclusão
3"	0,0010	0,0032	0,0144	Oclusão	Oclusão
4"	0,0002	0,0007	0,0020	0,0096	Oclusão
5"	0,0001	0,0001	0,0002	0,0004	0,0018
6"	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0005
8"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
10"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
18"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
20"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: de Souza (2023) [10]

Obs.: Adotado como oclusão quando a perda de carga unitária for igual ou maior que o diâmetro do tubo

Tabela 3 - Perda de carga - [mca/m]) - velocidade 2,5 m/s Δh .

Diâmetro	Tempo de infestação (dias)				
	5	50	100	150	250
1"	Oclusão	Oclusão	Oclusão	Oclusão	Oclusão
2"	0,0137	0,0506	Oclusão	Oclusão	Oclusão
2 ½"	0,0042	0,0142	Oclusão	Oclusão	Oclusão
3"	0,0016	0,0051	Oclusão	Oclusão	Oclusão
4"	0,0004	0,0010	0,0032	0,0149	Oclusão
5"	0,0001	0,0002	0,0003	0,0006	0,0029
6"	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0008
8"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
10"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
18"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
20"	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: de Souza (2023) [10]

Obs.: Adotado como oclusão quando a perda de carga unitária for igual ou maior que o diâmetro do tubo.

Conclusões

Com base nas análises de perda de carga expostas nas tabelas 5 a 7, este estudo sugere que a vigilância do processo de infestação pelo mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei*, seja priorizada em tubulações com diâmetros inferiores a 4 polegadas, nas quais se constata a obstrução das vias de água ocorrendo em um período que varia entre cinco dias e oito meses após o início da infestação. Em contraste, em condutos de maiores diâmetros, observa-se uma diminuição na taxa de variação da perda de carga, devido à menor sensibilidade do processo de aumento da rugosidade relativa nesses dutos mais amplos. Como resultado, o fenômeno de bioincrustação pode ser identificado com antecedência, permitindo um tempo adequado para a mobilização das equipes de manutenção, garantindo, assim, uma pronta resposta às necessidades de intervenção. Essa estratégia focalizada na seleção criteriosa das tubulações otimiza a gestão de recursos e fortalece a eficácia da manutenção preventiva, contribuindo substancialmente para a confiabilidade e desempenho dos sistemas hidráulicos em ambientes afetados pela infestação do mexilhão dourado.

Agradecimentos

Expresso minha gratidão a minha família e amigos, por todo o apoio que me deram ao longo da realização desta pesquisa. Tenho especial agradecimento ao colega da UNIFEI Luis Eduardo Siqueira Viamonte que desenvolveu seu trabalho de IC na mesma linha aqui

apresentada e que contribuiu para esse esforço. Fizemos o trabalho dentro do contexto de duas pesquisas de maior envergadura desenvolvidas por Stenio Augusto de Souza Coelho (MPEH/UNIFEI) e Tamara Rita Costa de Souza (PPGMEC/UFMG) e procuramos contribuir, mesmo que de forma singela para o avanço do conhecimento nessa área. Os resultados aqui apresentados têm muito daquilo que esses dois pesquisadores se esforçaram e desenvolveram nos últimos 2 anos, a eles nossos agradecimentos especiais.

Ao Dieimys Santos Ribeiro, Fagner Luiz Campos Cardoso, Adriano Silva Bastos, pelas grandes contribuições a este trabalho. Aos funcionários do LTHE pelo suporte e parceria.

Ao CNPq pelo apoio financeiro e incentivo à pesquisa científica.

Referências

[9] 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.

[10] de Souza, Tâmara, Andrade, Jennifer; Serrano, Rodrigo ;Vidigal, Teofânia; Viana, Edna; Bastos, Adriano; Martinez, Carlos, "Energy Efficiency Analysis of Pumping Systems Impacted by the Golden Mussel: A Case Study in the Brazilian Amazon.," Energies, 20223.