

IMPACTO DA INFESTAÇÃO DE MEXILHÕES DOURADOS EM UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA DE ALTA QUEDA

Carlos Barreira Martinez^{1,3*}; Ana Letícia Pilz de Castro², Edna Maria de Faria Viana¹, Luiz Fernando Pereira do Prado¹, Daniel do Carmo Lapa¹.

Resumo – *Limnoperna fortunei* conhecido como mexilhão-dourado (MD), é um bivalve invasor de ambientes aquáticos dulcícolas que vem causando grandes impactos econômicos e ecológicos. Em Usinas Hidrelétricas, o crescimento de mexilhões nas grades de tomada de água resulta no aumento da força de fluxo sobre as mesmas, causando o rompimento das grades, além de uma perda de carga do sistema, diminuindo seu rendimento. Devido ao fato do Mexilhão Dourado ser um organismo que tem se adaptado rapidamente ao meio hídrico Brasileiro algumas hidrelétricas estão sob uma situação de infestação generalizada. Este trabalho apresenta um estudo sobre a infestação do MD e o seu impacto sobre sistemas de adução de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) de alta queda.

Palavras-Chave – Mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei*, Velocidades de descolamento.

IMPACT OF INFESTATION OF MUSSELS IN A LITTLE GOLDEN CENTRAL HIGH DAM FALL

Abstract - *Limnoperna fortunei* known as Golden Mussel (GM), is an invasive bivalve freshwater aquatic environments that is causing major economic and ecological impacts. In hydroelectric power plant, the growth of mussels in water intake grids results in increased power flow over them, causing disruption bars, plus a loss of system load, reducing their income. Because the Golden Mussel be a body that has quickly adapted to the aquatic environment some Brazilian hydroelectric plants are under a situation of widespread infestation. This paper presents a study on the infestation of GM and its impact on systems adduction of a Small Hydropower (SHP) high fall.

Keywords - Golden mussel, *Limnoperna fortunei*, Speeds detachment.

¹ Centro de Pesquisas Hidráulicas e de Recursos Hídricos / UFMG (CPH/UFMG). Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos Escola de Engenharia da UFMG: Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha-Belo Horizonte, (31)3409-3684 – Belo Horizonte, martinez@cce.ufmg.br , ednamfv@ehr.ufmg.br

² Engenheira Sanitarista e Ambiental, mestranda em Recursos Hídricos – UFMG: Avenida Antônio Carlos, 6627, Pampulha-Belo Horizonte, (31)3409-1882, analeticiapilz@hotmail.com.

³ Laboratório de Estudos de *Limnoperna fortunei* (Lelf): Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha-Belo Horizonte, (31)3409.4081–Belo Horizonte.

INTRODUÇÃO

O mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) é um molusco bivalve de água doce que tem uma proliferação e dispersão rápida (DARRIGRAN e PASTORINO, 1993). A partir de uma infestação inicial detectada em meados de 1991, na Argentina ele iniciou uma rápida investida pelas bacias dos rios Paraná, Paraguai e Uruguai (PASTORINO et al., 1993) com taxas de dispersão média de 240 km/ano (DARRIGRAN et al., 2007). As infestações em sistemas hidráulicos se dão pela entrada de larvas que aderem aos substratos e que se fixam desenvolvendo-se posteriormente. O desenvolvimento do *Limnoperna fortunei* (LF) forma colônias de indivíduos que podem alcançar densidades de até 150.000 indivíduos/m² (DARRIGRAN, 2002). Sob essas condições ocorre, no caso de condutos forçados, uma progressiva oclusão dos sistemas. Esse fenômeno (*macrofouling*s) causa impactos de difícil equacionamento, uma vez que o crescimento das colônias depende de diversos fatores que vão desde a disponibilidade de nutrientes na água até as temperaturas da mesma. A identificação da evolução da perda de carga nos sistemas foi objeto de estudos desenvolvidos por Resende (2007). Já os efeitos de arrancamento do LF por ação de velocidade foi apresentado por Simeão (2011) e por Castro (2012).

Esse trabalho apresenta um estudo de caso do impacto da infestação do LF sobre uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH). O impacto é apresentado sob a forma de da redução do bloco de energia disponível e da redução do faturamento de energia ao longo de um ano.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho é necessário selecionar uma PCH como estudo de caso e paralelamente escolher quais serão os parâmetros a serem utilizados para o cálculo da perda de carga e para a definição dos trechos do sistema de adução que serão infestados ou não em função das velocidades que o LF irá ser submetido.

Descrição da PCH em estudo

A PCH objeto desse estudo tem como característica possuir um sistema de adução com extensão de 900 metros e um desnível natural de 300 metros. A capacidade instalada da PCH é de 1200 kW e a vazão aduzida é de 500 L/s sendo aduzida por uma tubulação de 450 mm de diâmetro. Essa instalação está equipada com duas turbinas do tipo Pelton. O esquema em planta e o perfil do conduto forçado estão apresentados nas Figuras 1 e 2 respectivamente.

Pelo fato da instalação ser equipada com duas turbinas e de possuir um Fator de Capacidade (FC) de 0,55 em algumas situações a vazão aduzida pelo conduto será em torno de 140 L/s. Essa vazão pode também alcançar valores menores que 100L/s dependendo da época do ano. A Tabela 1 apresenta um conjunto de situações e de dados sobre a PCH em estudo.

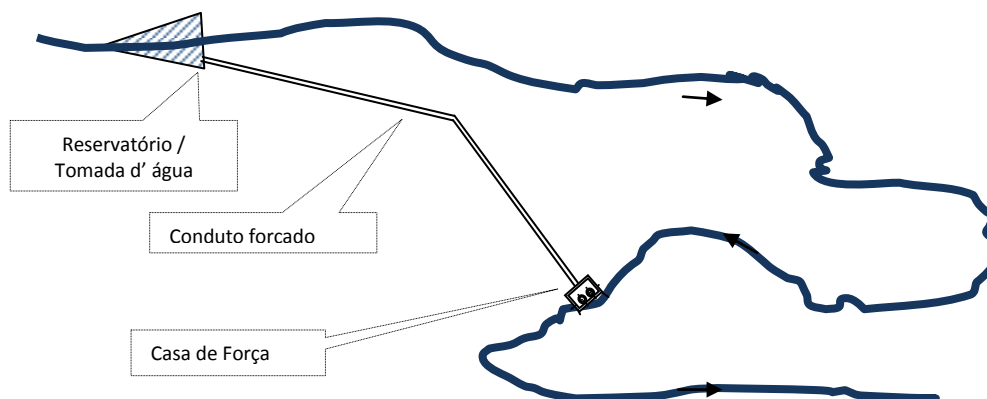


Figura 1 – Esquema em planta da PCH em estudo

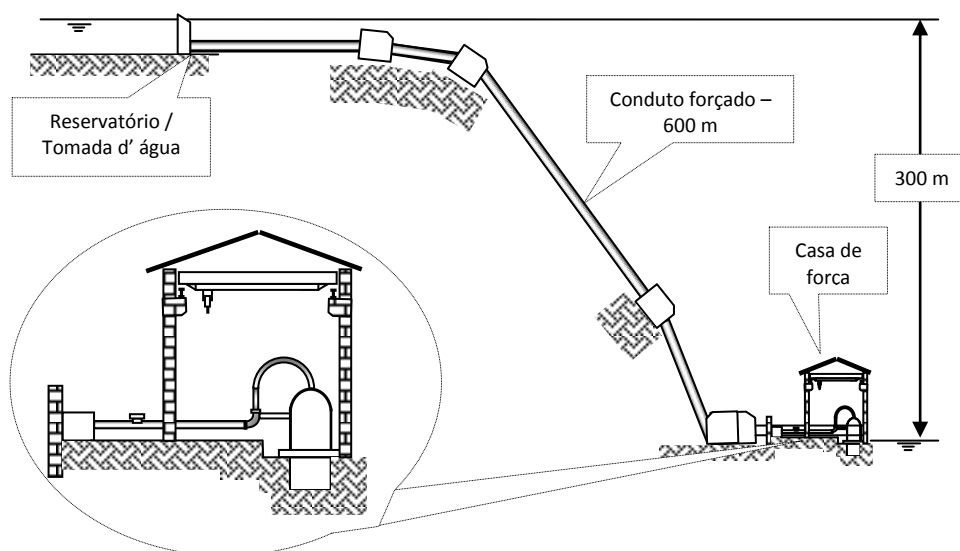


Figura 2 – Esquema em perfil da PCH em estudo

Tabela 1 – Dados básicos sobre a PCH

Queda bruta de projeto (m)	Extensão da tubulação (m)	Potencia gerada (KW)	Vazão de trabalho (m ³ /s)
300	900	1.200	0,480
		900	0,360
		600	0,240
		540	0,210
		432	0,170
		300	0,120
		150	0,060

Perda de carga no sistema de adução e potencia disponível

Para a determinação da perda de carga no sistema de adução será necessário definir alguns critérios de calculo. Assim adota-se que o sistema de adução seja subdividido em três macro componentes, quais sejam: a) Tomada d' água; b) Tubulação

forçada; c) Singularidades – juntas, curvas, bifurcações etc. Para cada uma desses macro-componentes adota-se uma porcentagem da perda de carga total admissível. Dessa forma obtêm-se o valor da perda de carga de projeto apenas na tubulação. Admitindo-se que a perda de carga na adução seja de 6% (Schreiber, 1977) chega-se a uma condição na qual o diâmetro interno da tubulação é de 450 mm. A hipótese de distribuição da perda de carga no sistema de adução adotada é apresentada na Figura 3. A perda de carga será estimada conforme equação 1 “Equação Universal” (Vennard, 1963 e Azevedo Neto, 1998).

$$\Delta h = \frac{8 * f * Q^2 * L_{equiv}}{\Pi^2 * g * D^5} \quad (1)$$

Onde:

Δh = perda de carga em [mca];
 f = coeficiente de perda de carga;
 Q = Vazão aduzida em m³/s;
 g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²);
 D = diâmetro da tubulação igual a 0,450 m;
 L_{equiv} = comprimento da tubulação em 900 m.

A potencia disponível em kW (P_{disp}) pode ser calculada pela equação 2 apresentada a seguir;

$$P_{disp} = g * Q * (H_{bruta} - (\Delta h_{sist.ad.}) * \eta_{el-mec} \quad (2)$$

Onde:

H_{bruta} = Altura de queda bruta – desnível (mca);
 $\Delta h_{sist.ad.}$ = perda de carga do sistema de adução em (mca);
 η_{el-mec} = rendimento eletromecânico (91%).

A perda de carga do sistema de adução pode ser obtida pela equação 3:

$$\Delta h_{sist.ad.} = \Delta h / coef * \Delta_{tomada/singularidad} \quad (3)$$

O $coef * \Delta_{tomada/singularidad}$ é obtido a partir da hipótese de distribuição de perda de carga apresentada na figura 3.

A perda de geração ($P_{perdida}$) pode ser obtida por meio da equação 4 que é uma adaptação da equação 3 onde se inclui a variação do coeficiente de perda de carga inicial ($f_{inicial}$) e o coeficiente de perda de carga com infestação (f_{inf}):

$$P_{perdida} = g * Q * \left[\frac{8 * Q^2 * L_{equiv}}{\Pi^2 * g * D^5} * (f_{inf} - f_{inicial}) \right] * \eta_{el-mec} \quad (4)$$

Para se determinar o custo anual de uma instalação pode-se utilizar o Fator de Recuperação de Capital (FRC). O custo anual é obtido após se obter os custos referentes ao aproveitamento sendo que seu valor é amortizado na vida útil do empreendimento através da equação 5:

$$\text{FRC} = \frac{(1+i)^n \times i}{(1+i)^n - 1} \quad (5)$$

Onde:

n - é o período de amortização do capital investido;
i - é a taxa de interesse anual.

O FRC produz a parcela do capital investido a ser paga anualmente. Ao se dividir o valor da perda de geração anual pelo FRC se obtém o valor total da perda em um dado período de amortização do capital com uma taxa de interesse anual.

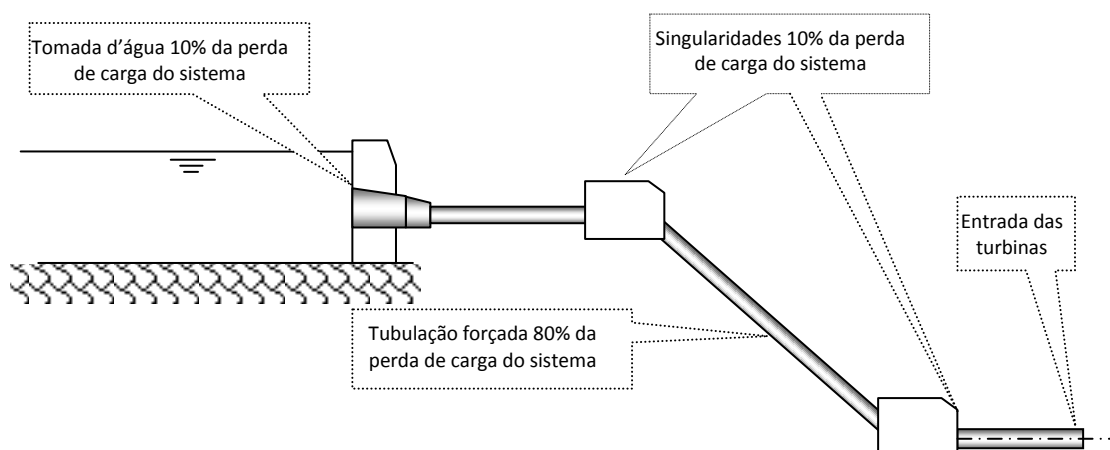


Figura 3 – Hipótese de distribuição das perdas de carga no sistema de adução da PCH em estudo.

Contabilização da perda de carga devido à infestação do LF

Para a determinação da perda de carga no sistema de adução adota-se a correlação matemática apresentada por Simeão (2011) onde se observa que o fator de atrito em uma tubulação aumenta em função da intensidade de infestação. A tabela 2 apresenta os fatores de atrito adotados para cada intensidade de infestação.

Tabela 2 – Fatores de atrito adotados para cada intensidade de infestação.

Intensidade de infestação Ind/cm ²	Fator de atrito
0,0	0,014
0,5	0,025
1,0	0,120

Obtido a partir de Simeão, 2011.

ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresentado contabiliza o acréscimo de perda de carga que irá se processar a partir da evolução da infestação do LF no sistema de adução de uma PCH. A medida que o LF for invadindo o sistema de adução a perda de carga irá aumentando reduzido a queda disponível da instalação. Para se manter a potencia gerada é necessário aumentar a vazão aduzida. Entretanto a medida que a vazão aumenta tem-se um aumento da perda de carga e conseqüentemente uma redução do rendimento global da instalação. Para fins de contabilização da perda de carga adotar-se á nesse trabalho que a vazão será mantida constante para cada patamar de carga a ser abastecida, contabilizando-se a redução da geração frente cada taxa de infestação. O patamar de geração adotada para essa PCH é apresentado na figura 4.

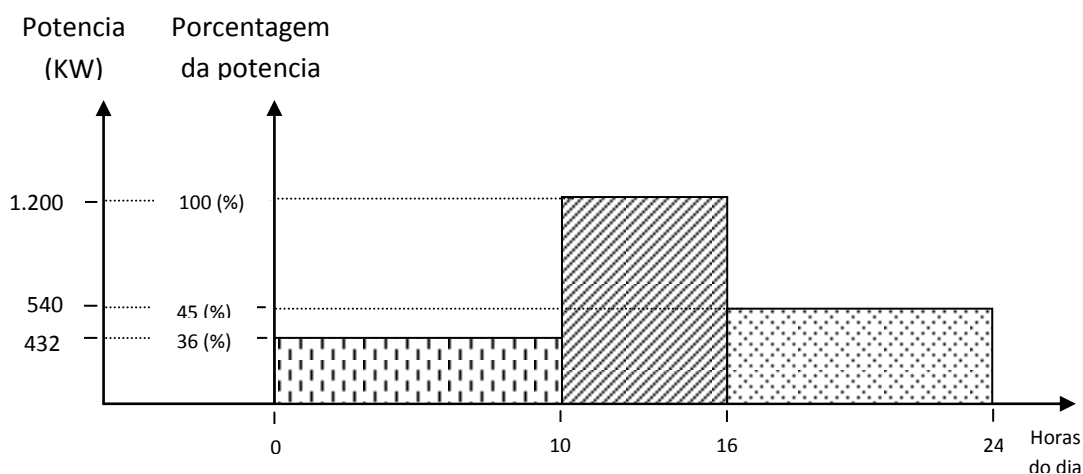


Figura 4 – Curva de geração da PCH em estudo.

A partir da equação 2 e adotando-se um valor de “f” característico (0,014) e os patamares de geração diários apresentados na figura 4 pode-se calcular a vazão demandada pelos grupos geradores da PCH. Em seguida iniciam-se os cálculos da potencia disponível (mantendo-se a vazão calculada anteriormente) para cada taxa de infestação do LF no conduto forçado. Subtraindo-se a potencia originalmente adotada (figura 4) da obtida para cada índice de infestação se obtém a queda de geração em função do aumento da perda de carga. Ao se multiplicar esse valor de queda de geração (potencia) pelo respectivo tempo de operação em cada patamar se obtém a redução do bloco de energia diário, mensal e anual devido à infestação do LF. Também pode-se obter esse valor utilizando-se a equação 4. O resultado dessa simulação é apresentado na

tabela 3 a seguir. A perda de geração em Reais (R\$) é obtida multiplicando-se a perda de geração pelo valor da energia gerada. Nesse caso adota-se um valor de Energia como sendo de R\$ 120/MWh.

Os custos referentes à redução do bloco de energia gerada estão apresentados na tabela 4.

Tabela 3 – Impacto sobre o bloco de energia diário, mensal e anual devido à infestação do LF.

Potencia (KW)	1.200	900	600	540	432	300	150
Vazão (m3/s)	0,48	0,36	0,24	0,21	0,17	0,12	0,06
Velocidade (m/s)	3,02	2,26	1,51	1,31	1,05	0,75	0,38
Taxa de infestação	Perda de Carga (mca)						
Sem infestação	13,01	7,32	3,25	2,45	1,57	0,81	0,20
0,5 ind/cm2	23,24	13,07	5,81	4,38	2,80	1,45	0,36
1,0 ind/cm2	111,53	62,74	27,88	21,03	13,46	6,97	1,74
	Potencia Gerada com Infestação (KW)						
Sem infestação	1.200	900	600	540	432	300	150
0,5 ind/cm2	1.157	882	595	537	430	299	150
1,0 ind/cm2	788	730	550	506	415	294	149
	Perda de Geração com Infestação (KW)						
Sem infestação	0	0	0	0	0	0	0
0,5 ind/cm2	42,75	17,68	5,17	3,50	1,79	0,64	0,08
1,0 ind/cm2	411,95	170,41	49,80	33,71	17,21	6,17	0,77

Tabela 4 – Custos referentes a redução do bloco de energia gerada (Custo da energia = R\$/MWh 120,00)

Perdas de geração em KWh			
	dia	mês	ano
0,5 ind/cm2	302,35	9.070,49	110.357,62
1,0 ind/cm2	2.913,55	87.406,53	1.063.446,16
Perdas de geração em R\$			
	dia	mês	ano
0,5 ind/cm2	36,28	1.088,46	13.242,91
1,0 ind/cm2	349,63	10.488,78	127.613,54
Perdas totais de geração em R\$ (30 anos 10% a/a)			
0,5 ind/cm2			125.051,13
1,0 ind/cm2			1.205.038,14

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da simulação proposta mostram que os impactos econômicos para infestações de 0,5 ind/cm² representam valores bastante elevados. Já no caso de infestações maiores 1 ind/cm² os valores são significativamente maiores e representam uma perda considerável de geração que pode alcançar 35% para geração de 1200 kW, 19% para geração de 900 kW caindo a 1% para gerações pequenas de 150 kW. É importante dizer que em todos os casos a velocidade do escoamento se situa abaixo ou próxima de 3 m/s que é uma velocidade que o LF ainda permanece aderido ao substrato. Isso indica que as infestações podem ser maiores que 1,0 ind/cm² que potencializará o problema de incrustação com o LF e a perda de energia gerada pela instalação.

AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seus agradecimentos à ANEEL, à CEMIG, à ELETROBRAS FURNA, a FAPEMIG ao CNPq e a VALE pelo suporte financeiro para a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTRO, A. L. P.; SIMEÃO, C. M. G.; DINIZ, D. M. A.; MARTINEZ, C. B. Estudo do número de Reynolds para o descolamento do mexilhão dourado In: Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, VIII, 2012, Porto Alegre - RS. Proceeding. Porto Alegre: CBDB, 2012.

DARRIGRAN, G.A.; PASTORINO, G. Bivalvos invasores em el Rio de La Plata, Argentina. Com. Soc. Malacol. Uruguay, v. 7, p.309-313, 1993.

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

DARRIGRAN, G. A.; DAMBORENEA, C.; GREC, N. An evaluation pattern for antimicrofouling procedures: *Limnoperna fortunei* larvae study in a hydroelectric power plant in South America. *Ambio*, v. 36, n. 7, p. 575-579, 2007.

PASTORINO, G.; DARRIGRAN, G. A.; MARTÍN, S. M.; LUNASCHI, L. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), nuevo bivalvo invasor em águas Del Rio de La Plata. *Neotrópica*, n.o 39. p. 101-102, 1993.

RESENDE, M. R. Variação das características hidráulicas em condutos forçados devido à infestação pelo *Limnoperna fortunei*. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

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

SIMEÃO, C.M.G. Influência da variação de velocidade e pressão sobre *Limnoperna fortunei* DUNKER, 1857 (BIVALVIA, MYTILIDAE) e verificação dos efeitos da toxicidade do látex de *Euphorbia splendens* VAR. *hislopiae* N. E. B. (EUPHORBIACEAE) para esta espécie. Tese de doutorado, SMARH, UFMG- Belo Horizonte. Brasil. 2011.