

## O EFEITO DA SUBMERGÊNCIA NA EFICIÊNCIA DE QUEBRA-MARES FLUTANTES DE GARRAFAS PLÁSTICA

Tiago Zenker Gireli, Luana Kann Kelch Vieira e Rafael de Melo Gaudêncio Pedroso

FEC-UNICAMP – Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Brasil.

FEC-UNICAMP – Doutora pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Brasil.

FEC-UNICAMP – Aluno de graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Brasil.

E-mail: zenker@fec.unicamp.br, luanakelch@gmail.com, rafael.melo1995@gmail.com

### Introdução

As mudanças climáticas e a ação antrópica estão entre as principais causas das erosões costeiras que vem ocorrendo em numerosas praias ao redor do planeta. Dentre as obras de proteção costeira que podem ser empregadas na solução deste problema, destacam-se os quebra-mares, que são estruturas dispostas paralelamente à costa e tem como função barrar parte da energia das ondas, reduzindo sua capacidade erosiva e protegendo assim as praias.

Outras aplicações possíveis para quebra-mares estão relacionadas à proteção de margens de lagos e reservatórios que, por suas dimensões, também estão sujeitos à erosão por ação de ondas geradas pelo vento e devido à passagem de embarcações próximas às margens. Esta erosão, além de reduzir a extensão de matas ciliares e danificar equipamentos urbanos que se encontram ao redor dos lagos, acelera o processo de assoreamento destes corpos hídricos, afetando a navegação e reduzindo o volume útil de reservatórios destinados a geração de energia hidroelétrica.

Os quebra-mares são comumente confeccionados de blocos naturais ou artificiais dispostos em talude de forma que ele ocupa toda a coluna d'água e se ergue metros acima da superfície livre para evitar seu galgamento pelas ondas de gravidade. Esta concepção, apesar de ser de custo relativamente baixo e eficiência elevada, geralmente vem associada a um grande impacto ambiental resultante da extração dos blocos de enrocamento, que são necessários em enorme quantidade para a construção do quebra-mar.

Como alternativa, podem ser empregados os chamados quebra-mares não convencionais, dentre os quais destaca-se o quebra-mar flutuante que, dentre outras vantagens, permite a construção em doca seca, interfere menos com o transporte costeiro por não ocupar toda a coluna líquida, além de permitir o emprego de materiais não convencionais.

Kelch Vieira e Gireli (2012) apresentaram uma proposta de quebra-mar flutuante constituído de garrafas plásticas reutilizadas que apresentava, como principais vantagens: um baixo custo, por empregar garrafas descartadas; um bom potencial de redução da energia das ondas, avaliado em testes em modelo reduzido, além do fato de ser ambientalmente amigável por estar retirando da natureza milhares de garrafas PET que levariam até uma centena de anos para serem biodegradadas.

Gireli et al. (2014), trouxeram um aprimoramento do conceito apresentado por Kelch Vieira e Gireli (2012) avaliando, a partir da modelagem física, o emprego de tela de gabião recoberta de PVC como elemento de unitização das garrafas plásticas, bem como a relação entre a eficiência na redução da altura de onda e a relação entre o comprimento da onda e o comprimento da obra.

Estes estudos demonstraram o potencial do quebra-mar de garrafas plásticas na redução da altura de ondas. Entretanto, para que seja possível desenvolver uma metodologia que permita o dimensionamento desta solução em escala de protótipo, passa a ser relevante avaliar a influência de parâmetros como a esbeltez da onda, a profundidade de

instalação e a submergência da obra no desempenho da estrutura.

Assim, este trabalho tem por objetivo, avaliar, a partir da modelagem física, o efeito da variação da submergência na eficiência do quebra-mar de garrafas plásticas na redução da altura das ondas que nele incidem.

### Materiais e métodos

Para a realização dos ensaios foram empregados três módulos de gabião caixa de arame de aço doce recozido, de malha hexagonal de dupla torção, recoberto com uma camada de composto termoplástico à base de PVC com dimensões nominais de 1,5x1,0x0,5m preenchidos com de 2496 garrafas PET de 500 ml e 600 ml. Os três módulos foram unidos longitudinalmente formando um quebra-mar de 4,6x1,0x0,5m, conforme proposto por Gireli et al. (2014). Na Figura 1 é apresentada uma imagem do quebra-mar de garrafas plásticas empregado neste estudo.

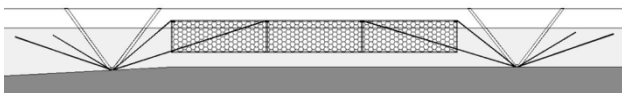


Figura 1.- Quebra-mar de garrafas plásticas empregado no estudo.

Os ensaios foram realizados no canal de ondas do Laboratório de Hidráulica da Escola politécnica da Universidade de São Paulo – LHEPUSP que possui 50 m de comprimento, 1,0 m de largura e 1,42m de altura. Além disso, o canal possui 20 m de display de vidro na lateral para visualização dos ensaios e estruturas passivas de absorção de ondas em ambas as extremidades. O sistema de geração de ondas é tipo pistão, com excursão máxima de 1,0 m e capaz de gerar tanto ondas regulares quanto randômicas baseadas em espectros de energia da agitação (GIRELI, 2008).

Para a análise proposta, foram ensaiadas ondas regulares combinando períodos de 1,1; 1,3; 1,5; 1,7 e 2,1 s, e alturas de onda de 4, 8, 12, 16 e 20 cm. As ondas foram calibradas antes da inserção do quebra-mar no modelo para uma profundidade de lâmina d'água de 1,0 m.

Para possibilitar a variação da submergência (calado), a estrutura foi ancorada em oito pontos, tracionados a partir de um sistema de roldanas e guinchos (Figura 2). A partir deste sistema, foram ensaiadas submergências correspondentes a 50, 70, 100 e 110% da altura do quebra-mar.

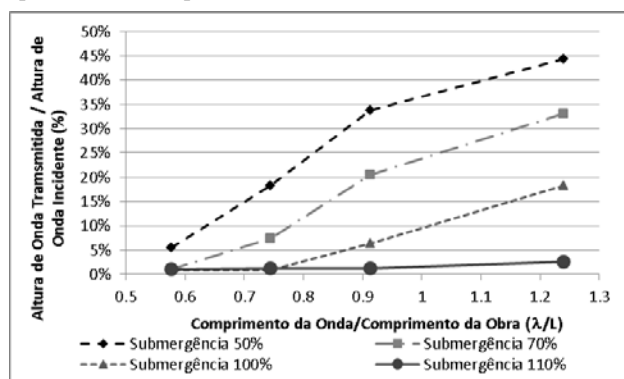


**Figura 2.-** Corte esquemático do sistema de ancoragem do quebra-mar de garrafas plásticas ensaiado.

Os ensaios foram compilados e analisados graficamente separando, para cada altura de onda, a taxa de transmissão em relação ao parâmetro  $\lambda/L$ , para cada submersão ensaiada.

## Resultados e discussão

Na Figura 3 é apresentada a razão entre a altura de onda transmitida e incidente e a relação entre o comprimento da onda e o comprimento da obra ( $1/L$ ) para as diferentes submersões do quebra-mar de garrafas plásticas ensaiado com altura de onda  $H = 20$  cm, uma vez que as demais alturas apresentaram comportamentos similares.



**Figura 3.-** Taxa de transmissão de altura de onda em função da relação Comprimento de Onda / Comprimento da Obra para diferentes submersões –  $H = 20$  cm.

Da análise da Figura 3 é possível verificar que para as condições ensaiadas, a taxa de transmissão da onda variou entre valores muito próximos de zero, para relações  $1/L$  baixas, até cerca de 45% para relações  $1/L$  da ordem de 1,25.

Analisando-se cada uma das curvas apresentadas, nota-se claramente que para as submersões iguais ou inferiores a 100% a taxa de transmissão de onda se comportou de maneira diretamente proporcional à relação  $1/L$ . Este resultado está de acordo com os obtidos por Harms et al. (1982), Meadows e Woods (2003), Fousert (2006) e Gireli et al. (2014).

Por outro lado, o ensaio realizado com submersão de 110% não seguiu a mesma tendência dos demais, mantendo a taxa de transmissão de onda baixa e praticamente constante, mesmo com a relação  $1/L$  variando de valores inferiores a 0,6 até superiores a 1,2.

Já ao analisar-se o efeito da submersão sobre a taxa de transmissão de ondas com mesma relação  $1/L$ , percebe-se que estas se relacionam de maneira inversamente proporcional, tendo maior influência sobre a altura de onda transmitida quanto maior a relação  $1/L$ .

Assim, para relações  $1/L$  próximas a 0,6, a variação da submersão produziu variações na taxa de transmissão de cerca de 5%, enquanto que para relações  $1/L$  de 1,2, a mudança da submersão afetou a taxa de transmissão em mais de 40%.

Fousert (2006) cita a submersão como um dos parâmetros mais relevantes na eficiência de quebra-mares flutuantes, já Webb (2014) conclui dos testes realizados com o quebra-mar flutuante batizado de *BioHaven® Floating Breakwater* da empresa Martin Ecosystems, que sua eficiência é maior quando

este se encontra submerso, com uma coluna d'água maior abaixo do que acima da estrutura. Entretanto, ambos os autores descreveram a melhora no desempenho do quebra-mar por efeito da submersão como um benefício secundário, sendo unânimes em afirmar que o principal parâmetro para o dimensionamento deste tipo de obra é a relação entre o comprimento da onda e o comprimento da obra.

No entanto, os ensaios aqui apresentados demonstram pode ser tão efetiva na redução da taxa de transmissão de onda quanto a relação  $1/L$ .

## Conclusão

Brebner e Ofuya (1968) verificaram que a atenuação da energia, e consequentemente da altura de uma onda pela passagem por um quebra-mar flutuante possui três componentes: a reflexão, a interferência e a dissipação. A reflexão está relacionada à obstrução à passagem da onda pela presença da estrutura, já interferência, se relaciona com difração da onda que ocorrerá na zona de sombra produzida pela obra. Por fim, a dissipação pode ocorrer devido ao atrito e à turbulência decorrente da passagem da onda pelos vazios ou poros da estrutura e pela arrebatção da onda sobre a estrutura, o que depende da submersão ou calado da obra.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados com o quebra-mar de garrafas plásticas submerso 110% demonstraram que a arrebatção da onda sobre a estrutura é capaz de aumentar de maneira significativa a eficiência de quebra-mares flutuantes, mesmo para relações  $\lambda/L$  superiores à unidade.

Estes resultados contradizem os obtidos outros autores, por exemplo Fousert (2006), que condicionam a eficiência deste tipo de estrutura a ela possuir uma dimensão superior ao comprimento da onda. Além disso, o estudo permitiu demonstrar que a correta consideração a respeito da submersão de trabalho de quebra-mares flutuantes pode ser tão ou mais importante em seu dimensionamento quanto à relação  $\lambda/L$ .

## Referencias bibliográficas

- Brebner, A. e Ofuya A. O.** (1968). "Floating Breakwaters". *Proceedings of 11th Conference on Coastal Engineering*, London, United Kingdom.
- Fousert, M.W.** (2006). "Floating breakwaters A Theoretical study of a dynamic wave attenuating system". Delft University, Holanda.
- Gireli, T.Z. and Alfredini, P.** (2006). "Developing of a random wave generation system for the wave flume of the Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo". *Proceedings of the IAHR International Symposium on Hydraulic Structures*, Ciudad Guayana, Venezuela.
- Gireli, T. Z., da Silva, B. S. R., Nakamura, E. S. e Kelch Vieira, L. K.** (2014). "Quebra-mar Flutuante Ecológico de Garrafas PET". *Anais do XXV Congresso Latinoamericano de Hidráulica*, Santiago, Chile.
- Harms, V.W., Westerink, J.J., Sorensen, R.M., e Mctamany, J.E.** (1982). "Wave Transmission and Mooring-Force and Characteristics of Pipe-Tire Floating Breakwaters". *U.S. Army Corps of Engineers Coastal Engineering Research Center*, Fort Belvoir, VA, EUA.
- Kelch Vieira, L.K. and Gireli, T. Z.** (2012) "Development of a Green Floating Breakwater with Re-use of PET Bottles". *Journal of Sustainable Development, Canadian Center of Science and Education*, Vol. 5, No. 12, Canada.
- Meadows, G.A; Woods, W. L.** (2003) *Coastal Engineering*. Chen, W.F. and Richard Liew, J.Y. In: *The Civil Engineering Handbook*, Second Edition CRC Press LCC. Inglaterra.
- Webb, B.M.** (2014). "Wave Transmission Testing of the Martin Ecosystems BioHaven® Floating Breakwater", *Department of Civil Engineering*, University of South Alabama.