



LABORATÓRIO DE ENERGIA DAS ONDAS E MARÉS



**EÓLICA E SOLAR
OFFSHORE**
(ESTUDOS DE SEGURANÇA)



**EMPREENHIMENTOS
COSTEIROS**
(PORTOS E AMPLIAÇÕES
PORTUÁRIAS)



**ENERGIA
ONDAMETRIZ**



**AMPLIAÇÃO
PORTUÁRIA**



**INTERVENÇÕES
NA COSTA**
(PIER, CAIS, MARINA
E ALARGAMENTO)

CIÊNCIA • TECNOLOGIA • SUSTENTABILIDADE • ENERGIA LIMPA



Laboratório de Energia de Ondas e Marés (LEOM)

Laboratório do Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza – **CEHPAR** da Universidade Federal do Paraná (**UFPR**), localizado no Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba.

Página: <https://pnipe.mcti.gov.br/laboratory/47571>

Coordenador: Prof. Dr.-Ing. Tobias Bleninger (bleninger@ufpr.br)



1 CONTEÚDO

2	Histórico e contexto	3
3	Area de atuação.....	4
4	O tanque.....	4
4.1	Batedor tipo Pistão	6
4.2	Infraestrutura.....	9
5	Equipe	9
6	Referencias	Erro! Indicador não definido.

2 HISTÓRICO E CONTEXTO

O projeto GEO (Gerador de Energia Ondomotriz), desenvolvido no âmbito de projetos da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), registrado pelo código PD 06961-0009-2019, teve o objetivo de realizar uma prova de conceito de um sistema de geração de energia elétrica por ondas do mar concebido pela empresa Hidrobombas de Salvador. O projeto foi viabilizado pela Global, participações em energia e executado pela parceria entre a Hidrobombas e o Lactec. Inicialmente, foi avaliado o sistema concebido pela Hidrobombas em relação à funcionalidade e capacidade de geração de energia, identificando possíveis pontos falhos no dispositivo. Posteriormente, foi desenvolvido um projeto aprimorado do sistema, levando em consideração os mais severos regimes de operação que o dispositivo pudesse ser submetido dentro das condições de controle pré-estabelecidas. Por fim, foi construído um modelo em escala reduzida e realizada a prova de conceito num tanque de ondas, que também foi desenvolvido dentro do PD&I (Projeto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação), o que permitiu verificar a funcionalidade do modelo e ter uma ideia da viabilidade técnica, eficiência energética e viabilidade econômica do dispositivo. Outros assuntos que foram estudados dentro do PD&I foram os aspectos regulatórios do ponto de vista da legislação ambiental. Particularmente a fonte de energia a partir das ondas, para que efetivamente possa participar da matriz energética brasileira, deverá ser regulamentada, devido à necessidade de ser instalada na costa, de propriedade pública, demandando, além do licenciamento ambiental, um procedimento de concessão de uso.

Além da tecnologia propriamente dita para a conversão da energia das ondas em energia elétrica, há sistemas acessórios a se investigar, como a conexão com a rede elétrica, a qualidade da energia gerada e sua intermitência. Um dos grandes benefícios para a comunidade científica gerados pela execução do projeto GEO foi a criação do LEOM (Laboratório de Estudo da Energia das Ondas e Marés). O LEOM possibilitará a realização de um grande volume de testes de funcionalidade de modelos reduzidos, seja para a geração de energia renovável, utilizando um potencial praticamente inexplorado no Brasil, ou, pelo potencial de geração de estudos e linhas específicas de pesquisa relacionadas ao mar, assuntos esses carentes no país.

Em 2026 o LEOM foi doado a UFPR. A Figura 1 mostra o tanque.



Figura 1: Vista lateral do tanque

3 AREA DE ATUAÇÃO

- Análise de ondas: Capacidade de identificação e medição dos fenômenos ondulatórios. Refração e difração, devido ao alto nível de precisão dos sistemas mecânicos utilizados para a geração de ondas e dos sistemas de medição. Avaliação das alterações nos formatos das ondas, o que pode ser analisado no tanque de ondas. Ondas de navegação.
- Eólica offshore: Avaliar os impactos produzidos nestas intervenções. Realizar estudos de modelos de ancoragem, simulando condições reais dos campos da engenharia hidráulica, estrutural e de energia.
- Sistemas de células fotovoltaicas flutuantes em lagos e águas costeiras (efeitos ambientais, ancoragem).
- Análise de corpos flutuantes: A flutuabilidade de embarcações e sua estabilidade, ou submersos, em qualquer situação submetidos tanto a correntes como ondas. Avaliação estrutural e de suas características inerciais para a melhoria contínua em fase de avaliação de projetos, tanto virtual quanto física de equipamentos marítimos.
- Emissários e ondas: Lançamento de poluentes em regiões costeiras.
- Robótica submersa: Teste de ROVs.
- Proteção costeira: Criação de modelos reduzidos de moles e regiões costeiras. Como por exemplo: Modelos reduzidos de alterações de regiões portuárias.

4 O TANQUE

Considerando a sua possível aplicação em simulações da costa, mas também buscando uma certa versatilidade, o tanque de ondas do LEOM foi concebido utilizando batedores do tipo pistão. Em função das características do tanque, dependendo da escala, do nível utilizado e das características da onda gerada, é possível realizar ensaios de modelos near-shore e até off-shore, ou, basicamente, o tanque permite a simulação de ondas respeitando a relação de ondas com $h \leq \lambda/2$, sendo $h[m]$ a profundidade local e $\lambda[m]$ o comprimento de onda, e, dentro dos limites supracitados, a relação de $h > \lambda/2$, representando águas profundas.

Na Figura 2 pode ser observado o conceito global do projeto, composto por uma região superior e outra inferior. Com essas duas regiões pode-se observar que a água do tanque não é perdida durante o seu esvaziamento, sendo apenas escoada para a região inferior do tanque por gravidade. O processo de esvaziamento e enchimento do tanque possa ocorrer num intervalo de 20 min, contemplando uma margem de tempo para a realização das operações necessárias, como manobras de válvulas e acionamento de bombas, por exemplo. Entende-se que essa agilidade para reenchimento do tanque é fundamental, tendo em vista que com isso torna-se possível realizar alterações nos modelos em tempo hábil, fornecendo maior flexibilidade de correções de modelos e atendimento de prazos de projetos.

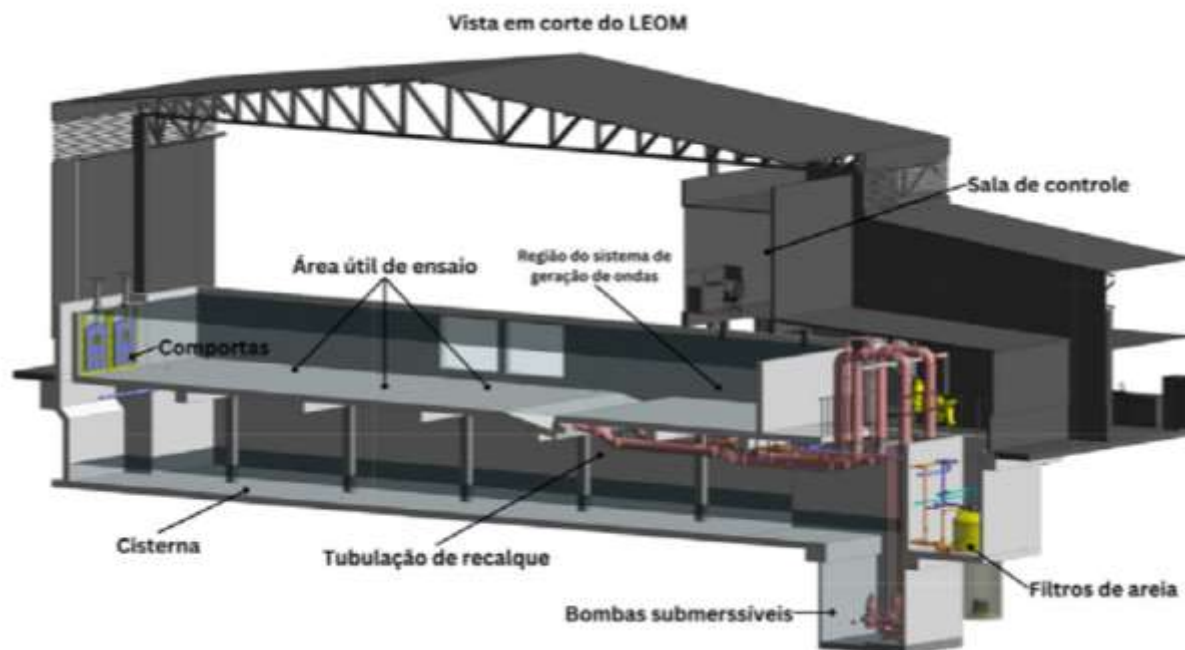


Figura 2: Ilustração do projeto do tanque em corte e fotografia do tanque (Paludo et al., 2025)

Outra característica de grande importância que se apresenta como um dos grandes diferenciais do tanque é o sistema de geração de correntes, composto pela tubulação vermelha exposta na imagem da Figura 2. O sistema permite, juntamente com o conjunto de comportas, a criação de um escoamento contínuo no interior do tanque. Dessa forma, é possível criar uma lâmina com altura específica devido ao controle da vazão nas duas pontas, tanto do lado das bombas pelos inversores como pelo lado da comporta, devido à capacidade de aumento ou redução da camada de escoamento. Esse conjunto, de operação simplificada, permite criar uma lâmina com altura especificada e vazão controlada, e, além disso, sobre essa lâmina produzir ondas.

Um dos pontos importantes relacionados ao meio ambiente é que o LEOM não perde água, ou seja, em seu projeto foi considerado o fato de que a água é um recurso natural escasso, sendo, portanto, conservada durante a sua operação. Os filtros de areia permitem a remoção de partículas sólidas e filtração biológica produzindo a melhoria na qualidade da água em geral.



Dimensões (C x L)
25 x 7,5 metros



Capacidade (volume)
330 mil litros

Figura 3: Vista da sala de comando (cima) e da escada lateral (baixo), mostrando a praia de amortecimento das ondas

Uma vez definidos todos os detalhes do projeto do ponto de vista da engenharia civil, relacionados com a fundação, alvenaria e hidráulica, o sistema de geração de ondas já estava em fase adiantada de desenvolvimento devido ao trabalho realizado previamente. Esse trabalho iniciou-se com estudos preliminares chegando até a fase construção de protótipos, o que forneceu conhecimento técnico suficiente para que a equipe do projeto tivesse subsídio para a definição do projeto do sistema de geração de ondas. Nesses protótipos foram testados os dispositivos mecânicos e elétricos, sejam de potência ou de controle, além dos arranjos de equações e técnicas utilizados para a geração de ondas.

4.1 BATEDOR TIPO PISTÃO

Após testes, precedidos de estudos e análises da literatura existente e simulações de hidrodinâmicas, foi dimensionado um sistema do tipo pistão. Ao passo inicial o sistema foi modelado e simulado no software comercial Ansys Fluent, como qual foram obtidos os primeiros testes relacionados ao flap, e posteriormente com o software Olaflo, que é uma ferramenta de modelagem e simulação específica para análise de ondas em sistemas marítimos e costeiros. Assim como o Ansys, o Olaflo que é uma extensão do OpenFoam, oferece recursos avançados de modelagem para representar a propagação, reflexão, difração e interação de ondas com estruturas costeiras, como quebra-mares, diques, cais, entre outros fenômenos ondulatórios. A seguir pode ser visualizada uma imagem ilustrativa, na Figura 4, do sistema de pistão idealizado para o tanque de ondas tridimensional, o qual seria a evolução do protótipo do tanque em 2D.



Figura 4: Idealização inicial de batedores tipo pistão com cremalheira e foto dos batedores instalados (Paludo et al., 2025)

Foi desenvolvido um sistema de controle dos batedores que consiste em um PLC e acessórios (em verde) para o controle de movimento de 15 servo motores na cor alaranjada por meio de 15 servo-drives dispostos nos painéis circulares em amarelo, conforme pode ser observado na Figura 5

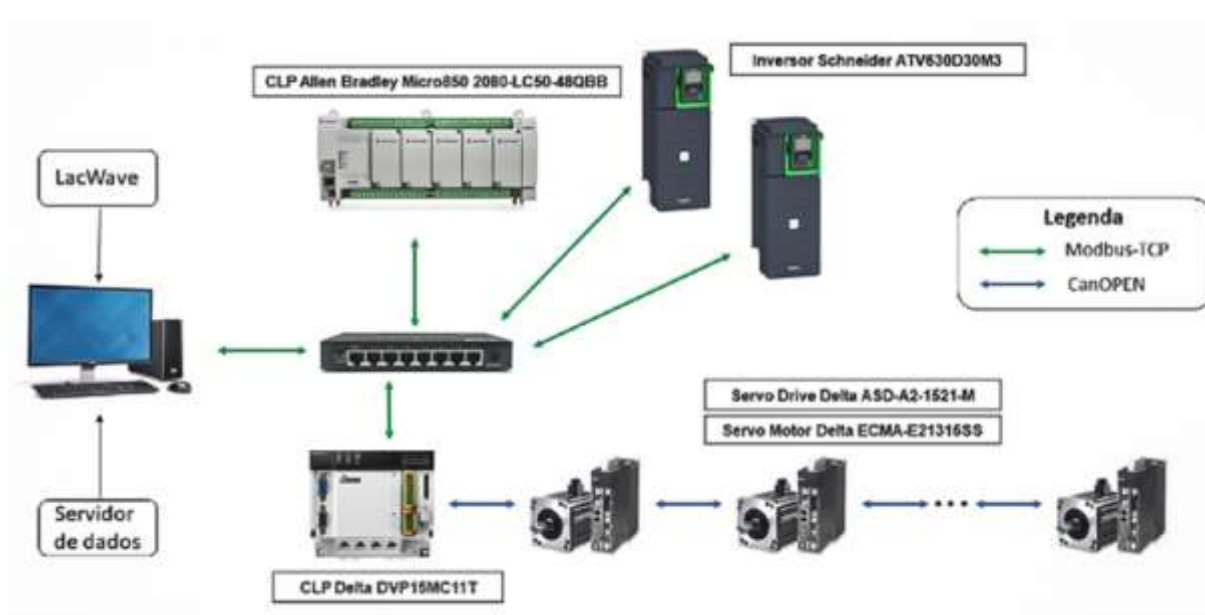


Figura 5: Sala de comando (cima) e disposição do sistema de controle (meio) e hardwares utilizados (baixo) dos batedores do tanque de ondas LEOM (Paludo et al., 2025)

4.2 INFRAESTRUTURA

- Tanque de ondas e correntes: 25m x 7,5m
- Sala de comando com estação de trabalho, armários, ar-condicionado
- 4 Sensores Akamina de ondas (O medidor de altura de onda capacitivo é um instrumento confiável e altamente preciso para medir altura das ondas e o nível da água. O sensor permite a identificação das características das ondas que passam por ele no tempo, sendo seu sinal de saída podendo ser em tensão ou em corrente. No caso do LEOM foi optado pelos sensores fabricados pela Akamina Technologies. O sensor possui um intervalo de medição de 1 m e resolução de 0,001 mm. Num tanque de ondas, o posicionamento dos sensores ao longo do desenvolvimento da onda pode fornecer, por exemplo, a diferença de altura de onda causada pela absorção de energia através de um modelo específico)
- Medidor de vazão Krohne



Figura 6: Sensor de ondas - Fonte: (Akamina Technologies, 2016)

5 EQUIPE

- Tobias Bleninger, Departamento de Engenharia Ambiental - DEA, UFPR (Coordenador)
- André Fabiani, DHS, UFPR
- Michael Mannich, DEA, UFPR
- Gustavo Pacheco, CEM, UFPR
- Rodrigo Paludo, PPGERHA, UFPR
- Diego Casas Toro, PPGERHA, UFPR
- Rafael Bueno, PPGEA, UFPR

6 LABORATÓRIOS PARCEIROS

LIMNOTRONIC - Laboratory of Limnological Research and Sensor Technology da UFPR

CEHPAR - Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza da UFPR

LEMMA - Laboratório de Estudos em Monitoramento e Modelagem Ambiental da UFPR

7 REFERENCIAS

Paludo, R., Bleninger, T., Casas Toro, D. A., & Arantes Miguel, M. W. (2025). Geração de Energia por Ondas. In Geração de Energia por Ondas (1ª ed). Zenodo.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.16905820>

