

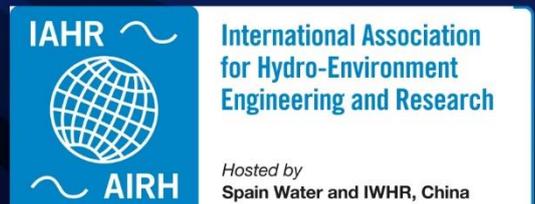
# XXX CLH

CONGRESO LATINOAMERICANO  
DE HIDRAULICA | BRASIL | 2022

## ANALES

- VOLÚMEN 4 -

HIDRÁULICA MARÍTIMA Y DE ESTUARIOS



***Organizadores***

Dr. Cristiano Poletto - UFRGS (Presidente)  
Dr. José Gilberto Dalfré Filho - UNICAMP  
Dr. André Luís Sotero Salustiano Martim - UNICAMP

**ANALES DEL  
XXX CONGRESO LATINOAMERICANO DE  
HIDRÁULICA 2022**

**- VOLÚMEN 4 -  
HIDRÁULICA MARÍTIMA Y DE ESTUARIOS**



Madrid – España  
2023

**Copyright © 2023, by IAHR Publishing.**

Derechos Reservados en 2023 por **IAHR Publishing.**

**Montaje:** Cristiano Poletto

**Organización General de la Obra:** Cristiano Poletto; José Gilberto Dalfré Filho;  
André Luís Sotero Salustiano Martim

**Maquetación:** Juliane Fagotti; Cícero Manz Fagotti

**Relectura General:** Elissandro Voigt Beier

**Portada:** Juliane Fagotti

---

Cristiano Poletto; José Gilberto Dalfré Filho; André Luís Sotero Salustiano Martim  
(Organizadores)

ANALES del XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica – VOLÚMEN 4 –  
HIDRÁULICA MARÍTIMA Y DE ESTUARIOS / Organizadores: Cristiano Poletto; José  
Gilberto Dalfré Filho; André Luís Sotero Salustiano Martim – MADRI, España: IAHR  
Publishing, 2023.

244p.: il.;

ISBN • 978-90-832612-5-6

*ES AUTORIZADA la libre reproducción, total o parcial, por cualquier medio, sin  
autorización escrita del Editor o de los Organizadores.*

---

## EFEITO DA DECLIVIDADE DE FUNDO SOBRE A HIDRODINÂMICA DE UM *OSCILLATING WAVE SURGE CONVERTER*

Fuhrmeister G. V.<sup>1</sup>, Schettini E. B. C.<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Brasil.  
guilherme.fuhrmeister@ufrgs.br, bcamano@iph.ufrgs.br

### RESUMO:

O *Oscillating Wave Surge Converter* representa uma tecnologia de grande potencial para a geração de energia elétrica a partir das ondas dos mares e oceanos, uma vez que promove o aproveitamento de energia durante 24 horas ao dia. Seu desenvolvimento encontra-se em escala pré-comercial e vem incentivando diversas empresas e instituições a investirem no aperfeiçoamento e no estudo deste sistema de conversão. As simulações em *Computational Fluid Dynamics* são ferramentas de grande valia no desenvolvimento destes conversores, pois fornecem detalhes bastante importantes para a análise das variáveis influentes sobre a hidrodinâmica do sistema. Nesse contexto, o presente trabalho utiliza a modelagem *Large Eddy Simulation* para o estudo da influência da declividade de fundo sobre a dinâmica do dispositivo, a qual é realizada por meio do código computacional OpenFOAM v.4.1 e da sua extensão OlaFlow. O modelo utilizado nas análises é bidimensional e fundamentado na metodologia *Wall-Adapting Local Eddy-Viscosity*, enquanto a malha numérica utilizada é do tipo estruturada. Por meio de uma análise detalhada, observou-se que a hidrodinâmica do conversor é bastante influenciada pela declividade do fundo, sendo esta variável responsável pela intensificação da potência captada em regiões com inclinações inferiores a 5°, e pelo decréscimo de potência em casos em que a declividade supera 15°. Aumentos significativos de declividade podem ocasionar uma diminuição de até 28% no momento de excitação do conversor, afetando significativamente seu desempenho na geração de energia.

### ABSTRACT:

The *Oscillating Wave Surge Converter* represents a technology with great potential for generating electricity from ocean waves, promoting energy continuously throughout a day. Its development is on a pre-commercial scale and has been encouraging several companies and institutions to invest in the improvement and study of this conversion system. Simulations in *Computational Fluid Dynamics* are very important tools for the development of these converters, since they provide essential details for the analysis of the variables that influence the system. In this context, the present work uses the *Large Eddy Simulation* modeling to study the influence of the bottom slope on the device dynamics, which is performed using the OpenFOAM v.4.1 computational code and its extension OlaFlow. The model used in the analysis is two-dimensional and based on the *Wall-Adapting Local Eddy-Viscosity* methodology, while a structured mesh is applied. Through a detailed analysis, it was observed that the converter hydrodynamics is strongly influenced by the bottom slope, which is responsible for the intensification of the captured power in regions with slopes lower than 5°, and for the power decrease in cases where the slope exceeds 15°. Significant increases in slope can cause a decrease of around 28% in the converter excitation torque, significantly affecting its performance in power generation.

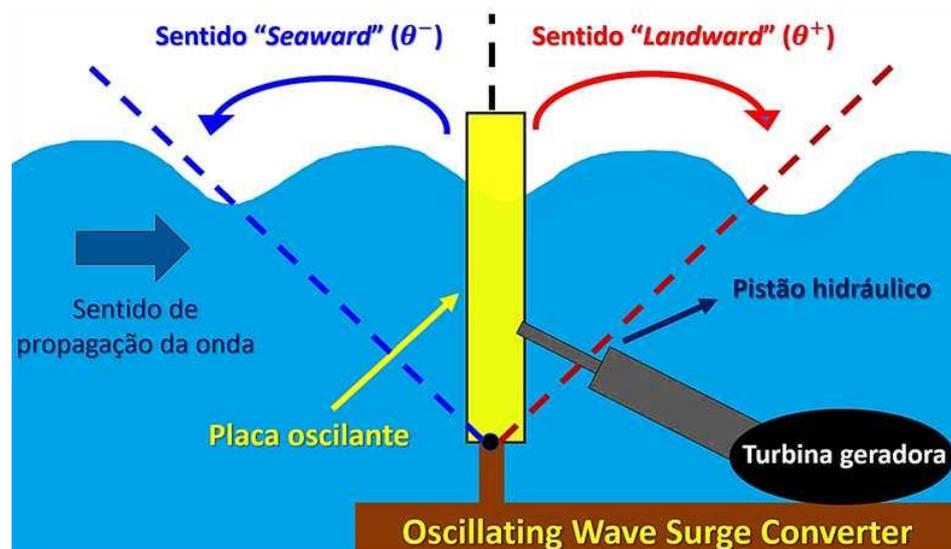
**PALAVRAS-CHAVE:** Conversor de energia de ondas, *Oscillating Wave Surge Converters*, OpenFOAM, OlaFlow, LES.

## INTRODUÇÃO

O atual cenário global é caracterizado por uma sociedade bastante consciente de que a liberação de dióxido de carbono, hidrocarbonetos e diversos outros componentes químicos na atmosfera terrestre é altamente danoso, ocasionando variações significativas na temperatura e no clima do planeta. Tal alerta vem motivando diversas organizações, empresas e pesquisadores a investirem e defenderem tecnologias alternativas de energia. Dentre estas, destaca-se a energia das ondas dos mares e oceanos, que abrigam um potencial mundial em torno de 2 TW e são capazes de gerar eletricidade durante 24 h ao dia. Este tipo de energia renovável pode, ainda, ser associada a outras fontes renováveis, como as energias eólica e solar (Jin, Zheng, Greaves, 2022).

Neste contexto, novos sistemas capazes de converter a energia das ondas vêm sendo estudados e desenvolvidos, enquanto outros já existentes são constantemente aperfeiçoados (Curto, Franzitta, Guercio, 2021). Alguns destes, encontram-se em escala pré-comercial de desenvolvimento, como é o caso dos *Oscillating Wave Surge Converters* – OWSC's (Ghasemipour, Izanlou, Jahangir, 2022). Estes, por sua vez, detêm um dos maiores potenciais para a geração de energia elétrica, conforme demonstrado no trabalho de Kelly et al. (2021).

Este sistema tem seu princípio de funcionamento (Figura 1) baseado na captação da componente horizontal das ondas, que é responsável por promover o movimento oscilatório de uma placa flutuante para frente e para trás, impulsionando um pistão hidráulico, que alimenta uma turbina responsável pela geração de eletricidade (Gallutia et al., 2022). Estas estruturas podem ser instaladas de forma totalmente submersas (Figura 2a) ou parcialmente submersas sobre plataformas flutuantes (Figura 2b), o que representa certa versatilidade do sistema, permitindo que os OWSC's possam ser assentados em diversas regiões do oceano.



**Figura 1.-** Princípio de funcionamento de um *Oscillating Wave Surge Converter*.

Hoje, as simulações numéricas computacionais em mecânica dos fluidos (*Computational Fluid Dynamics* – CFD) representam uma das principais ferramentas utilizadas nos projetos e estudos destes e diversos outros tipos de conversores, pois permitem analisar diferentes configurações, geometrias, climas de ondas e condições de escoamento (Windt, Davidson, Ringwood, 2018). Além disto, a modelagem numérica permite obter dados bastante detalhados acerca dos campos de velocidade, distribuição de pressões e forças atuantes, sendo, portanto, um complemento muito importante aos estudos experimentais realizados em laboratórios (Esteban et al., 2022).



**Figura 2.-** Diferentes configurações de um OWSC: a – totalmente submerso, b – parcialmente submerso (National Renewable Energy Laboratory, 2021; Langlee Wave Power, 2013).

Diversos trabalhos numéricos relevantes foram realizados ao longo dos últimos anos, permitindo conhecer e estudar as diversas condições do complexo escoamento associado à hidrodinâmica dos OWSC's. Dentre estes, destacam-se os trabalhos de Liu et al. (2021), Liu, Wang e Hua (2021), Brito et al. (2020), Wei et al. (2016) e Wei et al. (2015), que representam importantes referências na área e demonstram o grande potencial das simulações para a análise destes conversores. Entretanto, a grande maioria destes trabalhos em CFD utilizam as técnicas de *Reynolds Average Navier-Stokes* (RANS), *Smoothed particle hydrodynamics* (SPH) e de escoamento potencial, as quais, muitas vezes, não conseguem capturar as significativas flutuações que ocorrem nos campos de escoamento em razão da turbulência. Por outro lado, a técnica de modelagem numérica em grandes escalas (*Large Eddy Simulation* – LES) corresponde a uma poderosa ferramenta para a análise de diversos casos em engenharia oceânica, mas, infelizmente, ainda é pouco utilizada nesta área (Bourgoin et al., 2020).

Tendo em vista a baixa aplicação da modelagem em LES no estudo dos conversores de onda, aliada ao fato da influência da declividade do fundo do oceano sobre a hidrodinâmica do OWSC ainda ser desconhecida, o presente trabalho tem como motivação principal preencher estas duas lacunas existentes.

## METODOLOGIA NUMÉRICA

Este estudo é realizado por meio da utilização do código computacional livre e aberto OpenFOAM v.4.1, em conjunto com sua extensão OlaFlow, ambos fundamentados na metodologia numérica de volumes finitos e no método VOF (*Volume of Fluid*) para a representação da superfície livre (Higuera 2016). Este código numérico é dotado de uma grande biblioteca de funções matemáticas e condições de contorno, permitindo ao usuário adaptá-las aos mais diversos casos de escoamentos. Além disto, os esquemas numéricos podem trabalhar com precisão de até quarta ordem, fornecendo resultados bastante realísticos e detalhados dos fenômenos associados.

A modelagem das simulações em grandes escalas está fundamentada na aplicação e na resolução numérica das equações da continuidade e de Navier-Stokes, que podem ser escritas em notação indicial, respectivamente, pelas seguintes expressões (Launchbury, 2016):

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0, \quad [1]$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{u}_i \bar{u}_j)}{\partial x_j} = \bar{f}_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \nu \left[ \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right] \right) - \frac{\partial \tau_{ij}^{sgs}}{\partial x_j}, \quad [2]$$

em que em que  $\bar{u}_{i,j}$  corresponde à parcela de velocidade das grandes escalas,  $x_{i,j}$  à posição,  $t$  ao tempo,  $\bar{f}_i$  à parcela relacionada às forças gravitacionais,  $\rho$  à massa específica da água,  $\bar{P}$  à pressão filtrada pelo método LES,  $\nu$  à viscosidade cinemática do fluido e  $\tau_{ij}^{sgs}$  ao tensor de tensões das escalas de submalha (solucionado pelo modelo de turbulência fundamentado em LES).

O modelo de LES utilizado no presente trabalho é o WALE (*Wall-Adapting Local Eddy-Viscosity*), no qual as grandes escalas são filtradas em função dos volumes dos elementos da malha numérica, sendo capaz de modelar satisfatoriamente as regiões próximas aos contornos sólidos e as zonas de transição do escoamento, se mostrando bastante adequado ao presente estudo. Sua validação numérica foi realizada com base em uma situação extrema de operação dos OWSC's (conhecida como *Slamming*), descrita no trabalho de Wei et al. (2016), a qual é apresentada de forma bastante detalhada no trabalho de Fuhrmeister (2020).

### Método de deformação dos elementos de malha

Para a representação da dinâmica de corpo rígido em função da ação das ondas utilizou-se a metodologia conhecida como *mesh morphing method*, que consiste na deformação dos elementos de malha a cada instante de tempo, preservando a topologia do objeto sólido. O *solver* do código OpenFOAM que está fundamentado neste método é denominado *dynamicMotionSolverFvMesh*, ao passo que o *solver* responsável pela maneira como os elementos se deformam é conhecido como *displacementSBRStress*.

### Domínio numérico e dimensões da estrutura estudada

O domínio numérico adotado para o presente estudo possui o formato de um paralelepípedo, com 8,40 m de largura, 3,80 m de altura e 0,80 m de profundidade (Figura 3). O mesmo é composto por uma entrada, uma saída, um topo, um fundo e duas laterais (para dentro e para fora da página), sendo estas últimas tomadas como valores vazios (“*empty*”) por se tratar de um modelo bidimensional.

A placa (também denominada “*flap*”) utilizada nas simulações possui 0,40 m de altura, 0,08 m de espessura, 0,80 m de largura (igual a largura do domínio, o que é típico de simulações em duas dimensões) e massa específica de 219 kg/m<sup>3</sup>. Seu centroide está localizado exatamente no centro geométrico do paralelepípedo, cujo eixo de giro (para dentro da página) situa-se sobre a linha central da base inferior da estrutura. Em todos os estudos realizados, a placa se encontra a uma distância de 4,20 m a partir da entrada, assim como sua base inferior a uma distância de 0,12 m do fundo.

Visando conformar o objetivo deste trabalho, foi utilizada uma pequena rampa (elevação do fundo) com inclinação  $\beta$  e altura  $h_t$ , cujos valores são modificados em todas as simulações e correspondem aos diferentes casos de estudo (por esta mesma razão, o nível d'água  $h$  também é modificado em cada análise). A parte plana da elevação foi projetada de tal maneira que sempre exista uma coluna de água na região de saída do domínio, a fim de evitar a quebra da onda sobre a placa, bem como os efeitos de reflexão de onda.

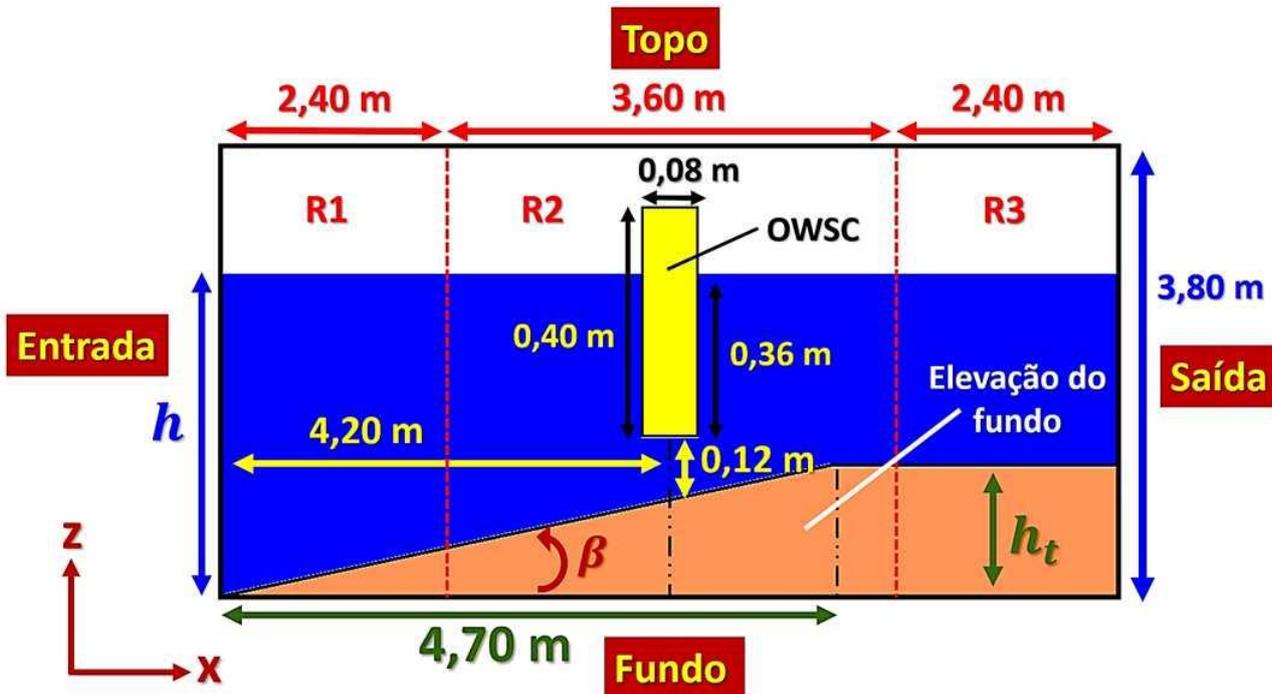


Figura 3.- Domínio numérico e características geométricas do OWSC utilizado nas simulações.

### Características da malha numérica

A malha numérica aplicada ao domínio numérico é do tipo estruturada, dotada de elementos hexaédricos, o que facilita a representação da superfície livre e seu tratamento matemático. A grade foi dividida ainda em três regiões (R1, R2 e R3), sendo que a região central é aquela onde foi utilizado maior refinamento da malha. As características de discretização da grade de cálculo foram esquematizadas da seguinte maneira:

$$\Delta x_{R2} = \Delta z_{R1} = \Delta z_{R2} = \Delta z_{R3} = 0,01 \text{ m}, \quad [3]$$

$$\Delta x_{R1} = \Delta x_{R3} = 5 \cdot \Delta x_{R2}. \quad [4]$$

### Condições iniciais e de contorno

Na entrada, na saída e no topo do domínio foram aplicadas, respectivamente, as condições de geração de ondas regulares de altura e períodos definidos, de camada esponja (visando a “absorção” dos efeitos da onda incidente) e de saída livre. No fundo do domínio foi utilizada a condição de não deslizamento, enquanto na superfície da placa aplicou-se a condição de não deslizamento para corpos em movimento. Na Tabela 1 estão dispostas todas estas condições de contorno segundo as suas respectivas nomenclaturas dentro do código OpenFOAM.

As condições iniciais de velocidade e pressão são ambas de campo interno nulo, da mesma forma que a posição inicial da placa é a vertical (formando um ângulo de 90° com o fundo e o topo do domínio). O passo de tempo ( $\Delta t$ ) inicial adotado foi de 0,01 s, porém é permitido que o mesmo seja reajustado a cada instante, em razão da metodologia de deformação dos elementos da malha numérica, garantindo sempre a convergência das simulações e um número de Courant inferior a 0,8.

**Tabela 1.** – Condições de contorno aplicadas, segundo suas nomenclaturas no código OpenFOAM

Fronteira	Condição de velocidade	Condição de pressão
Entrada	<i>waveVelocity</i>	<i>fixedFluxPressure</i>
Saída	<i>waveAbsorption2DVelocity</i>	<i>fixedFluxPressure</i>
Topo	<i>pressureInletOutletVelocity</i>	<i>totalPressure</i>
Fundo	<i>noSlip</i>	<i>fixedFluxPressure</i>
Elevação do fundo	<i>noSlip</i>	<i>fixedFluxPressure</i>
Placa	<i>movingWallVelocity</i>	<i>fixedFluxPressure</i>
Laterais	<i>empty</i>	<i>empty</i>

## RESULTADOS

Em todos os casos estudados no presente trabalho, considerou-se a ação de uma onda incidente do tipo regular de 0,10 m de altura ( $H$ ) e 1,90 s de período ( $T$ ). Da mesma forma, considerou-se ainda uma submersão fixa de placa de 90% (com profundidade submersa igual a 0,36 m, como mostrado na Figura 3).

Visando analisar a influência da declividade de fundo sobre a hidrodinâmica do OWSC, foram considerados sete valores distintos de  $\beta$ , que, conseqüentemente, resultam em diferentes valores de  $h_t$  e  $h$ . Estes casos estão descritos, de forma resumida, na Tabela 2.

**Tabela 2.** – Casos de Estudo

Caso	$\beta$ (°)	$h_t$ (m)	$h$ (m)
1	0,00	0	0,48
2	4,75	0,39	0,83
3	9,50	0,79	1,18
4	14,24	1,19	1,55
5	19,00	1,62	1,93
6	23,74	2,07	2,33
7	28,49	2,55	2,76

Na Figura 4 são mostrados os campos de velocidade para os casos 1, 2, 4 e 7, para os instantes de máxima amplitude angular nos sentidos *landward* e *seaward*. Nesta figura, pode ser observado que as máximas amplitudes angulares atingidas, em ambos os sentidos, são bastante similares em todos os casos. Entretanto, é possível observar uma intensificação das magnitudes de velocidade com o aumento da inclinação do fundo. De forma similar, também existe uma intensificação da vorticidade nos entornos da região inferior das placas nos casos dos maiores valores de  $\beta$ . Nestes últimos, onde a inclinação de fundo é mais acentuada, observa-se a tendência da ocorrência de zonas de recirculação por baixo da estrutura.

Uma análise entre os valores máximos e mínimos atingidos é realizada para a amplitude angular ( $\theta$ ), velocidade angular ( $\omega$ ), força horizontal ( $F_h$ ), força vertical ( $F_v$ ) e momento de excitação ( $M$ ). Tais resultados encontram-se dispostos nos gráficos da Figura 5, onde são mostrados os módulos das máximas ( $Max_{Amp}^+$ , associada a  $\theta^+$ ) e mínimas ( $Max_{Amp}^-$ , associada a  $\theta^-$ ) amplitudes atingidas.

De acordo com a Figura 5a, pode-se observar que as maiores amplitudes angulares ocorrem no sentido *landward* até uma declividade próxima de 15°, sendo que, a partir deste valor, a maior amplitude angular passa a ocorrer no sentido *seaward* (fato este que pode ser correlacionado ao fato da ocorrência de zonas de recirculação abaixo da placa, conforme observado nos campos de velocidade da Figura 4). Por outro lado, para declividades muito pequenas (próximas de 0°), observa-se que as amplitudes máximas atingidas nos sentidos positivo e negativo são muito similares.

Sentido "Seaward" Sentido "Landward"

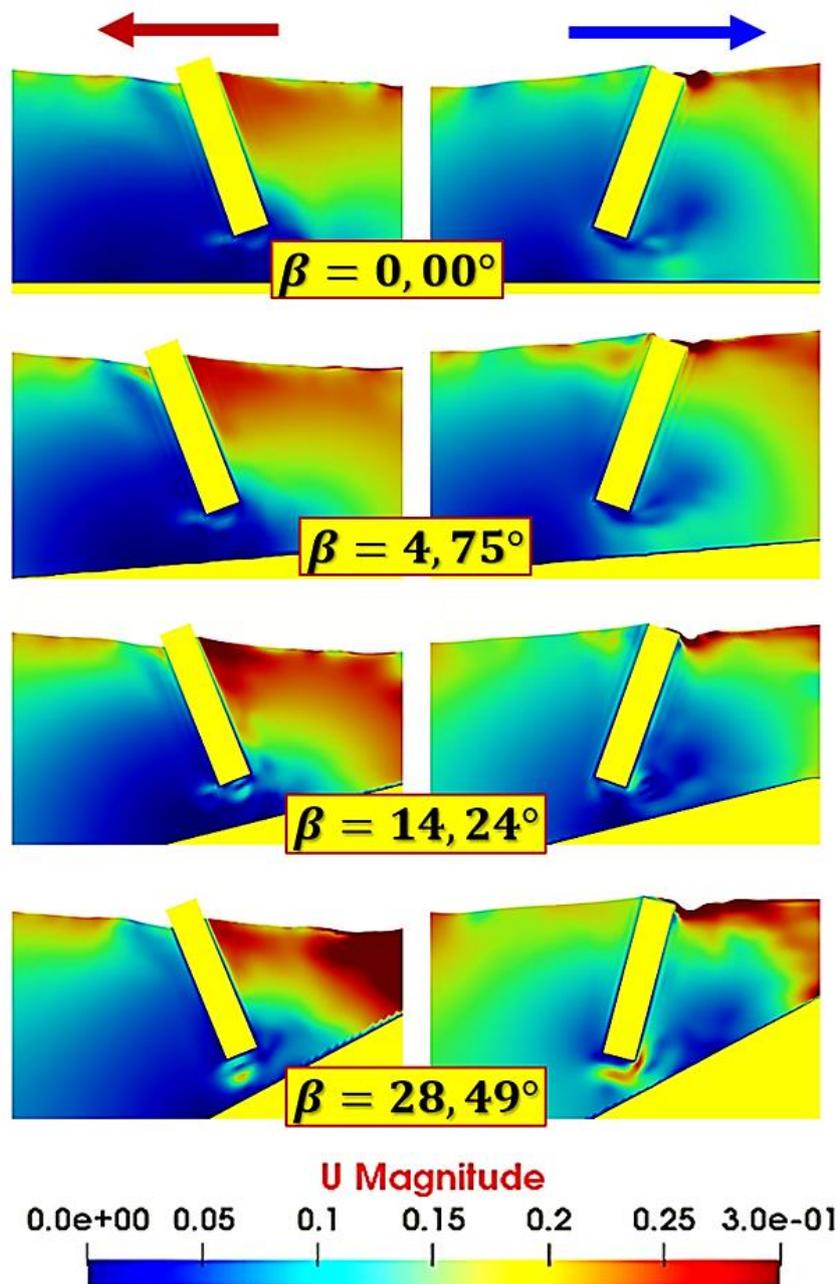
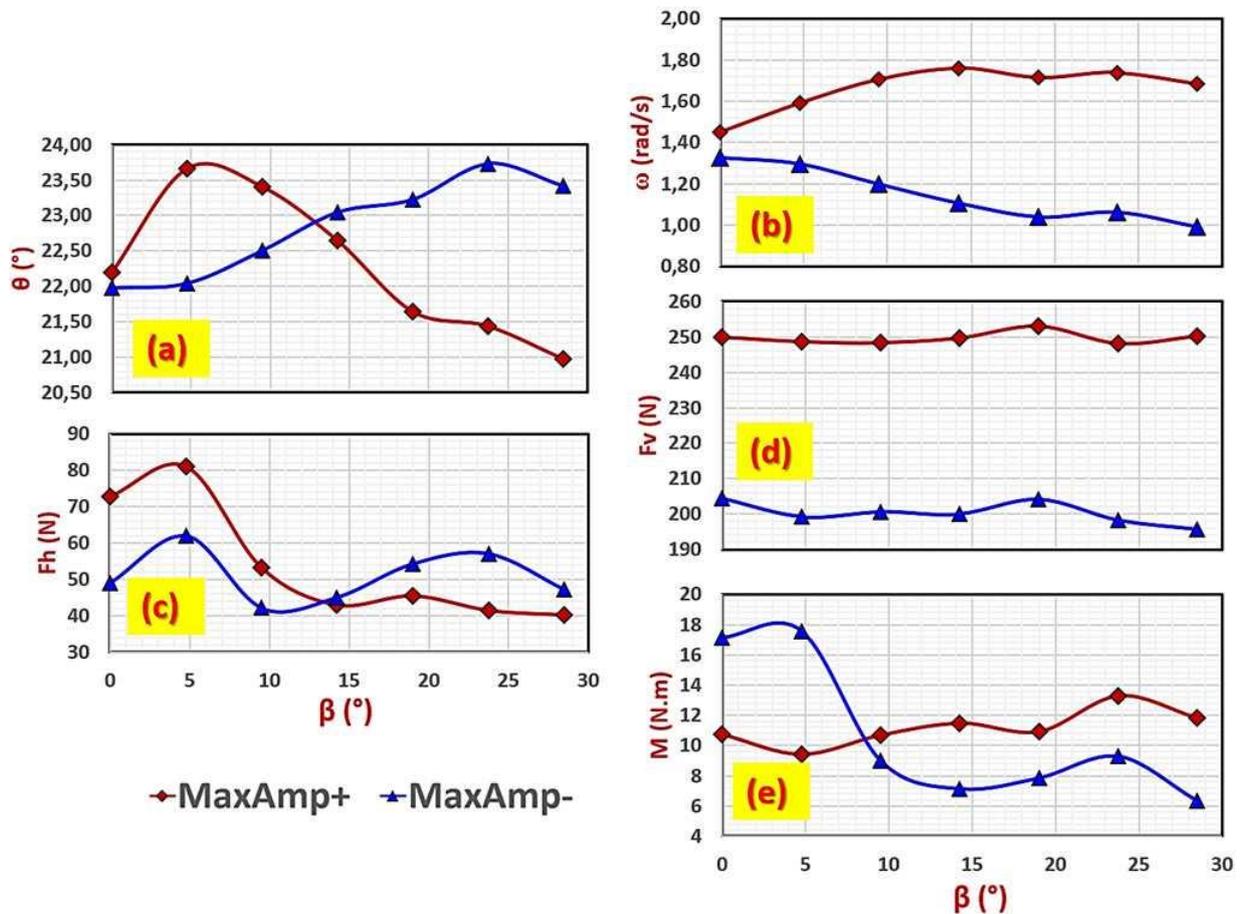


Figura 4.- Campos de velocidade para as máximas amplitudes angulares atingidas nos sentidos *landward* e *seaward* (casos 1, 2, 4 e 7)

A magnitude da máxima amplitude positiva tende a aumentar até uma inclinação próxima a  $15^\circ$ , tendendo a estabilizar em inclinações superiores em um valor próximo a  $1,80 \text{ rad/s}$  (Figura 5b). Entretanto, para as mesmas condições, a magnitude da máxima amplitude negativa tende a diminuir até um valor em torno de  $1,00 \text{ rad/s}$ , se estabilizando em valores próximos a este em declividades superiores a  $15^\circ$ .



**Figura 5.-** Magnitudes das máximas amplitudes positivas (sentido positivo ou *landward*) e das máximas amplitudes negativas (sentido negativo ou *seaward*) em função da declividade do fundo, considerando a amplitude angular (a), a velocidade angular (b), a força horizontal (c), a força vertical (d) e o momento de excitação (e).

Por meio da análise da Figura 5c é possível concluir que o módulo das máximas amplitudes atingidas pela força horizontal tende a aumentar para declividades entre  $0^\circ$  e  $5^\circ$ . Porém, para valores superiores, as magnitudes de ambas as amplitudes máximas são bastante próximas, em torno de 50 N, mostrando que a oscilação da estrutura tende a diminuir com o aumento da inclinação do fundo.

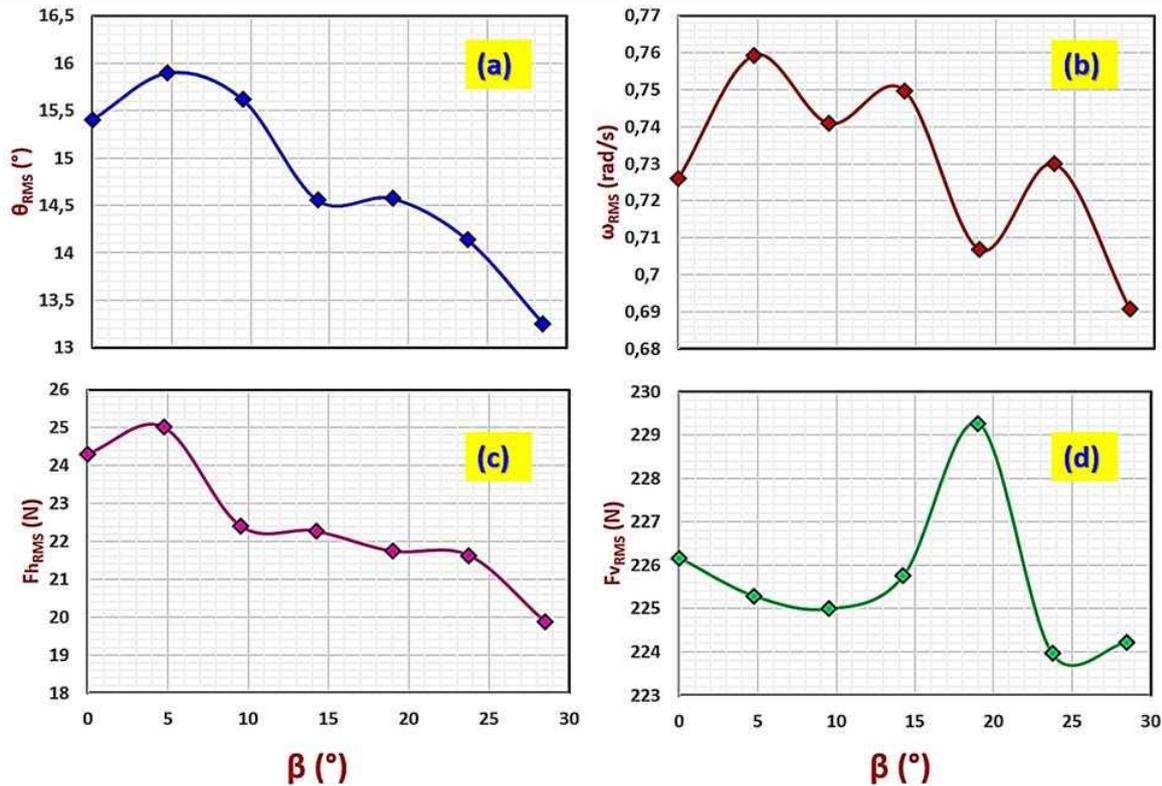
Na Figura 5d se observa que a diferença entre as máximas amplitudes atingidas é praticamente constante, indicando que a força vertical não sofre variações significativas em função da variação da declividade do fundo.

Em declividades inferiores a  $10^\circ$ , a amplitude máxima atingida pelo momento de excitação no sentido *seaward* é superior a amplitude atingida no sentido *landward* (Figura 5e). Para declividades superiores a  $10^\circ$  observa-se uma inversão entre as máximas amplitudes atingidas, entretanto, a diferença entre ambas torna-se praticamente constante, indicando que, em fundos muito íngremes, a placa tende a rotacionar com maior intensidade no sentido *landward*.

Buscando estudar as tendências hidrodinâmicas do OWSC em função da declividade do fundo, foram avaliados os valores eficazes (RMS) das mesmas variáveis analisadas anteriormente, cujos resultados são mostrados nos gráficos das Figuras 6 e 7. Uma estimativa da potência média captada ( $Pot_{Med}$ ) pode ser obtida pela multiplicação dos valores RMS da velocidade angular e do momento de excitação (Figura 7b):

$$Pot_{Med} \approx \omega_{RMS} \cdot M_{RMS} \cdot [5]$$

Como pode ser observado na Figura 6a, a amplitude angular tende primeiramente a aumentar para uma declividade de até 5° (aumento de aproximadamente 3,20%), passando a diminuir para inclinações superiores a esta (representando uma diminuição de até 16%, quando comparada ao máximo valor obtido para a amplitude angular).



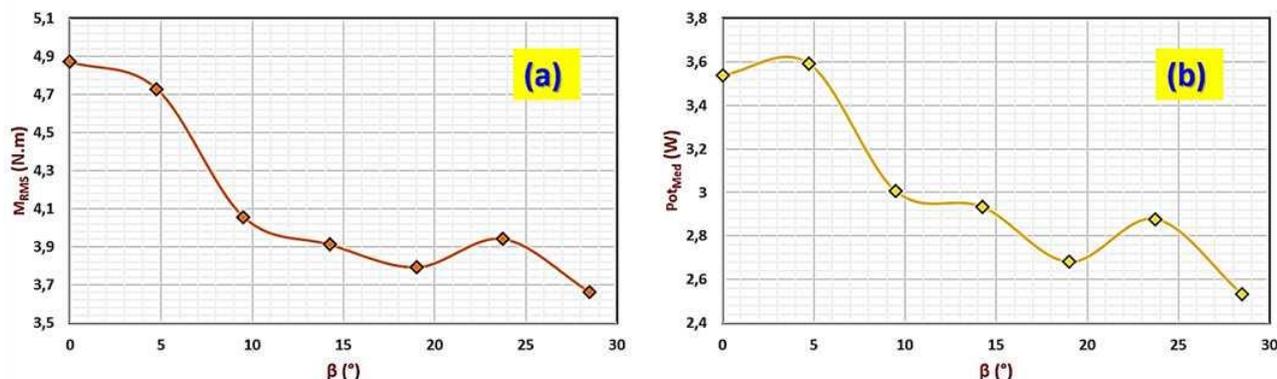
**Figura 6.-** Variação do valor RMS da amplitude angular, velocidade angular, força horizontal e força vertical experimentadas pelo OWSC, em função da declividade do fundo.

A variação do valor RMS da amplitude angular oscila bastante em função da declividade do fundo, como pode ser observado na Figura 6b, indicando que um aumento nesta variável está associado a uma forte influência no comportamento oscilatório da estrutura. Comparando-se o máximo valor RMS da velocidade angular (atingido na inclinação de 5°) com o mínimo valor atingido desta variável (em 28,49°), é possível concluir que um aumento na declividade do fundo pode corresponder a uma variação de até 9,00% na velocidade angular do OWSC.

O valor RMS da força horizontal (Figura 6c) se comporta de forma bastante similar aos valores máximos e mínimos atingidos por esta mesma variável (conforme visto na Figura 5c) em função da declividade do fundo. Sendo assim, a força horizontal tende a aumentar primeiramente em inclinações de até 5°, para diminuir em inclinações superiores. Já o valor RMS da força vertical (Figura 6d) mostra um pequeno aumento (em torno de 1,40%) em profundidades entre 15° e 20°, intervalo este que corresponde ao mínimo valor RMS da velocidade angular atingido, sendo, portanto, uma faixa de declividades desfavorável para a hidrodinâmica do conversor.

Por meio dos gráficos dispostos nas Figuras 7a e 7b, é possível observar uma estreita semelhança entre as curvas dos valores RMS do momento de excitação e da potência média captada, indicando que o momento de excitação é uma variável muito importante na hidrodinâmica do OWSC. Por outro lado, pode-se concluir que o aumento de 1,50% experimentado na Potência média captada para uma inclinação de 5° se deve, principalmente, à influência da velocidade angular (que apresenta este mesmo comportamento, observado na Figura 6b). De uma maneira geral, comparando-se o

primeiro e o último caso, é possível observar diminuições da ordem de 28% no momento de excitação e da potência média captada pelo dispositivo, levando à conclusão de que o aumento da declividade de fundo ocasiona características de escoamento desfavoráveis à hidrodinâmica do conversor, resultando em baixa eficiência na geração de energia pelo mesmo nestes casos.



**Figura 7.-** Variação do valor RMS do momento de excitação e da potência média captada, em função da declividade do fundo.

## CONCLUSÕES

No presente estudo, foi utilizado o código computacional livre e aberto OpenFOAM para avaliar a influência da declividade do fundo do oceano sobre a hidrodinâmica, bem como a consequente geração de energia pelo *Oscillating Wave Surge Converter*. Para garantir uma modelagem bastante adequada, com satisfatória representação dos efeitos turbulentos associados, optou-se por utilizar a metodologia de simulação numérica em grandes escalas (LES), através da aplicação de um modelo bidimensional fundamentado no método WALE de modelagem.

Após a análise dos resultados, observou-se que o aumento da declividade do fundo influencia de forma significativa os parâmetros hidrodinâmicos do conversor. Declividades entre  $0^\circ$  e  $5^\circ$  são favoráveis para a geração de energia, uma vez que, inclinações neste intervalo, favorecem a intensificação da velocidade angular atingida pela estrutura, resultando em um aumento da potência média captada pelo conversor. Entretanto, para declividades superiores a  $5^\circ$ , as variáveis hidrodinâmicas tendem, de uma forma geral, a diminuir suas intensidades, resultando em uma queda significativa na produção de energia do sistema.

Os maiores decréscimos observados na potência captada ocorrem em declividades superiores a  $15^\circ$ , em razão do aumento da força vertical, diminuição da força horizontal, da amplitude angular e da velocidade angular. Desta forma, é possível concluir que a região ideal para instalação dos OWSC's deva ser o mais plana possível. Porém, quando necessária sua instalação em regiões de altas declividades, deve-se optar pela instalação dos OWSC's de forma parcialmente submersa em plataformas flutuantes, garantindo assim que sua base esteja bastante afastada do fundo, diminuindo a influência da sua declividade sobre a hidrodinâmica do sistema.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pelos recursos investidos durante a realização da pesquisa e à UFRGS pelo apoio na realização das simulações numéricas.

## REFERÊNCIAS

- Bourgoin, A.C., Guillou, S.S., Thiébot, J., Ata, R.** (2020). "Caracterização da turbulência em um local de energia de marés usando simulações de grande eddy: caso da Corrida Alderney". *Transações Filosóficas da Sociedade Real A*, 378(2178), 20190499.
- Brito, M., Canelas, R. B., García-Feal, O., Domínguez, J. M., Crespo, A. J. C., Ferreira, R. M. L., ... Teixeira, L.** (2020). "Uma ferramenta numérica para modelar o conversor de ondas oscilantes com restrições mecânicas não lineares". *Energia Renovável*, 146, 2024-2043.
- Curto, D.; Franzitta, V.; Guercio, A.** (2021). "Energia das Ondas do Mar. Uma Revisão das Tecnologias e Perspectivas Atuais". *Energias*, 14 (20), 6604.
- Esteban, G.A., Aristondo, A., Izquierdo, U., Blanco, J. M., Pérez-Morán, G.** (2022). "Análise experimental e simulação numérica de sobrepeso de ondas em um cilindro vertical fixo sob ondas regulares". *Engenharia Costeira*, 173, 104097.
- Fuhrmeister, G. V.** (2020). "Validação de um modelo 2D para a simulação numérica em grandes escalas de um conversor de ondas do tipo OWSC". *Anais do III Encontro Sul Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária (ESBEA)*, Caxias do Sul, Brasil.
- Gallutia, D., Fard, M.T., Soto, M. G., He, J.** (2022). "Avanços recentes em sistemas de conversão de energia de ondas: da teoria das ondas aos dispositivos e estratégias de controle". *Ocean Engineering*, 252, 111105.
- Ghasemipour, N., Izanlou, P., Jahangir, M. H.** (2022). "Estudo de viabilidade sobre a utilização de conversores oscilantes de ondas (OWSCs) em regiões próximas à costa, estudo de caso: Ao longo da costa sudeste do Irã no mar de Omã". *Journal of Cleaner Production*, 133090.
- Higuera, P.** (2016). *Manual de Referência OLAFOAM*. Espanha, Cantábria.
- Jin, S., Zheng, S., Greaves, D.** (2022). "Sobre a escalabilidade dos conversores de energia de ondas". *Ocean Engineering*, 243, 110212.
- Kelly, M.; Tom, N.; Yu, Y.H.; Wright, A.; Lawson, M.** (2021). "Desempenho anual do conversor de energia de onda de onda oscilante de segunda geração". *Energia Renovável*, 177, 242-258.
- Laboratório Nacional de Energia Renovável.** (2021). "Escoramento da linha de fundo da Wave Energy através de projetos WEC de geometria variável". Disponível em: <<https://www.nrel.gov/news/program/2021/shoring-up-wave-energies-bottom-line-through-variable-geometry-wec-designs.html>>.
- Langlee Wave Power.** (2013). "Langlee 132kW Robusto". Disponível em: <<http://www.langleewp.com/>>.
- Launchbury, D. R.** (2016). *Modelagem e aplicações de fluxo turbulentos instáveis*. Springer.
- Liu, Y., Cho, Y.H., Mizutani, N., Nakamura, T.** (2021). "Estude sobre os comportamentos ressonantes de um conversor de ondas oscilantes em fundo". *Revista de Ciência e Engenharia Marinha*, 10(1), 2.
- Liu, Z., Wang, Y., Hua, X.** (2021). "Proposta de um novo modelo de vigília analítica e otimização de matriz do conversor de ondas oscilantes usando algoritmo de evolução diferencial". *Ocean Engineering*, 219, 108380.
- Wei, Y., Rafiee, A., Henry, A., Dias, F.** (2015). "Interação de ondas com um conversor de ondas oscilantes, Parte I: Efeitos viscosos". *Engenharia Oceânica*, 104, 185-203.
- Wei, Y., Abadie, T., Henry, A., Dias, F.** (2016). "Interação de ondas com um conversor de ondas oscilantes. Parte II: Batendo". *Engenharia Oceânica*, 113, 319-334.
- Windt, C., Davidson, J., Ringwood, J. V.** (2018). "Modelagem numérica de alta fidelidade dos sistemas de energia de ondas oceânicas: uma revisão dos tanques de ondas numéricas baseados em dinâmica computacional de fluidos". *Revisões de Energia Renovável e Sustentável*, 93, 610-630.