



XXIV CREAM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



Universidade Federal
do Rio Grande



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS

GERAÇÃO NUMÉRICA DE ONDAS OCEÂNICAS EM ESCALA REAL UTILIZANDO DADOS TRANSIENTES DISCRETOS COMO CONDIÇÃO DE CONTORNO

Elissandro Vaz Kisner

Bianca Neves Machado

Universidade Federal do Rio Grande

Av. Itália, km 8, 96201-900, Cx. P. 474, Rio Grande, RS, Brasil.

elissandrokisner@furg.br

biancamachado@furg.br

Mateus das Neves Gomes

Instituto Federal do Paraná

Rua Antônio Carlos Rodrigues, Nº 453, Porto Seguro, Paranaguá, PR, Brasil.

mateus.gomes@ifpr.edu.br

Luiz Alberto Oliveira Rocha

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Av. Unisinos, 950, 93022-750, São Leopoldo, RS, Brasil.

laorocha@gmail.com

Elizaldo Domingues dos Santos

Liércio André Isoldi

Universidade Federal do Rio Grande

Av. Itália, km 8, 96201-900, Cx. P. 474, Rio Grande, RS, Brasil.

elizaldosantos@furg.br

liercioisoldi@furg.br

RESUMO: Este artigo analisa computacionalmente um tanque de ondas em escala real. Para tanto, o software FLUENT foi empregado, que é um pacote de dinâmica de fluidos computacional (CFD) com base no método de volumes finitos (FVM). A intenção do estudo é avaliar um novo sistema para impor a condição de velocidade da fronteira para a geração de ondas numéricas regulares, usando valores discretos transientes. Para isso, comparamos a amplitude das ondas numéricas geradas por este processo com as ondas geradas através da imposição de velocidades prescritas por meio de uma função dependente do tempo - com a ferramenta *User Defined Function* (UDF) em FLUENT - visando verificar este modelo computacional. Foi utilizado um domínio computacional bidimensional (2D) gerado com o software GAMBIT. O modelo multifásico *Volume of Fluid* (VOF) foi aplicado no tratamento da interação água-ar, de modo que o modelo computacional resolve as equações de conservação de massa e momento associadas à equação de transporte da fração volumétrica. Os resultados indicaram que o modelo computacional proposto, usando dados discretos como condições de contorno de velocidade para a geração de ondas regulares, pode ser aplicado de forma satisfatória, além de apresentar uma redução no tempo total de simulação.

Palavras-Chave: Table Data, UDF, Energia das Ondas

ABSTRACT: This article analyzes a real-scale wave tank computationally. For this, FLUENT software was used, which is a computational fluid dynamics (CFD) package based on the finite volume method (FVM). The objective this study is analysis a new system to impose the boundary speed condition for the generation of regular numerical waves using transient discrete values. For this, we compared the amplitude of the numerical waves generated by this process with the waves generated through the imposition of prescribed velocities through a time dependent function - with the *User Defined Function* (UDF) tool in FLUENT - in order to verify this computational model. A two-dimensional (2D) computational domain generated with GAMBIT software. The multiphase *Volume of Fluid* (VOF) model was applied in the treatment of the water-air interaction, so the computational model solves the equations of conservation of mass and moment associated to the equation of transport of the volumetric fraction. The results indicated that the proposed computational model, using discrete data as speed boundary conditions for the generation of regular waves, can be applied in a satisfactory way, besides presenting a reduction in the total simulation time.

Keywords: Table Data, UDF, Wave Energy

INTRODUÇÃO

Atualmente existe a necessidade de suprir a grande demanda energética a nível mundial. O aumento desta demanda de energia e o acordo de Kyoto, o qual visa reduzir as emissões de gases de efeito estufa, têm aumentado o interesse pelo estudo das energias renováveis (Beels et al., 2010). Outros benefícios do emprego deste tipo de energia podem ser mencionados, por exemplo, a minimização da exploração de depósitos de combustíveis fósseis e seus impactos ambientais associados (Tolmasquim, 2003).

A principal causa dos impactos ambientais está relacionada ao uso indiscriminado dos combustíveis fósseis. Independentemente do grau de desenvolvimento do país, o uso destes combustíveis, seja para geração de energia elétrica, produção de calor ou força mecânica, ainda é dominante na matriz energética da maioria das nações (Garcia, 2004). Desta forma, uma maior utilização das energias renováveis proporciona também grandes benefícios ambientais, abrindo espaço, para o desenvolvimento tecnológico e a produção de novos conhecimentos na área energética (Santos et al., 2006).

O Brasil apresenta expressiva participação das fontes renováveis na matriz energética, obtendo larga vantagem em relação aos países desenvolvidos. Enquanto nos países industrializados a participação da energia renovável atinge 6,00%, no Brasil o percentual alcança 46,90%. Tal fato ocorre, dentre outros fatores, da pequena utilização da energia nuclear e da significativa participação da biomassa e da hidroeletricidade na oferta total de energia no país (Assis, 2010).

Nos últimos 25 anos, a energia das ondas tem passado por um processo cíclico com fases de entusiasmo, desapontamento e reconsideração. No entanto, o persistente esforço na investigação, desenvolvimento e a experiência acumulada têm constantemente aumentado o desempenho das técnicas de obtenção de energia a partir das ondas. Isso tem levado o recurso da energia das ondas a uma maior proximidade da exploração comercial que, até agora, não tinha sido vista. De 2009 até os dias de hoje, diversos tipos de dispositivos foram desenvolvidos para extração das energias das ondas (Falcão, 2009).

De acordo com (Cruz e Sarmiento, 2004), os dispositivos atualmente existentes podem ser classificados de acordo com o princípio de conversão de energia das ondas do mar em energia elétrica – vide Fig. (1): dispositivos de Coluna de Água Oscilante (CAO); dispositivos Corpos Flutuantes, podendo ser Progressivos (*Surging Devices*) ou de Absorção Pontual (*Point Absorbers*) ou dispositivos de Galgamento (*Overtopping Devices*). Podem, também, ser classificados de acordo com sua localização e são agrupados em: dispositivos costeiros (na nomenclatura inglesa: *onshore*), dispositivos próximos da costa (*nearshore*) e dispositivos afastados da costa (*offshore*).

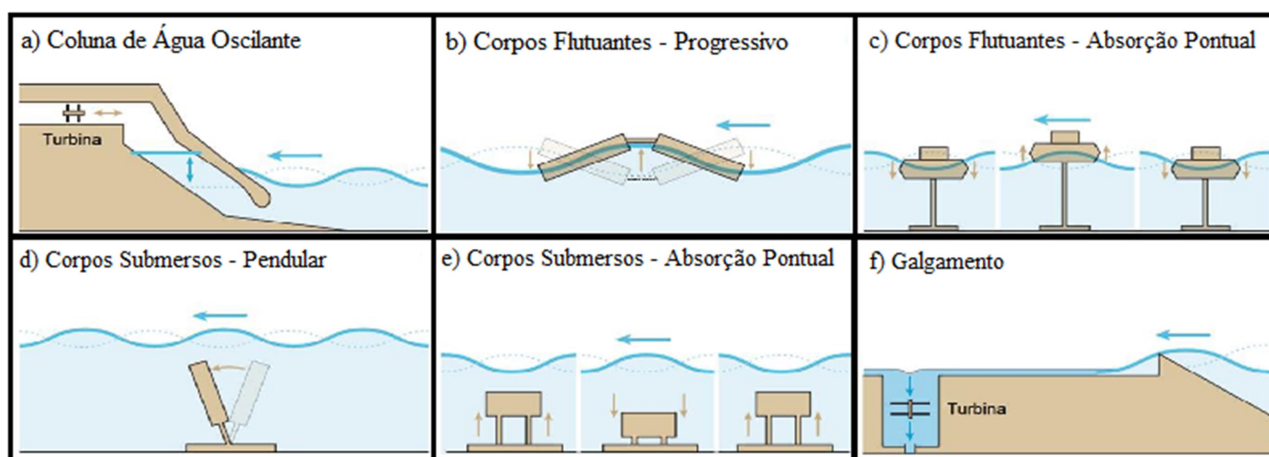


Figura 1. Ilustração dos princípios de funcionamento dos conversores de energia das ondas (adaptado de Callaway, 2007).

Atualmente, diversas soluções têm sido estudadas e desenvolvidas para o aproveitamento da energia das ondas, porém nenhuma delas encontra-se consolidada do ponto de vista comercial. Devido às características do local de instalação ser muito particulares, é esperado que diferentes protótipos de conversão de energia das ondas sejam utilizados no desenvolvimento de conversores (Chozas & Soerensen, 2009; Son et al., 2016). Devido à demanda

financeira para realização de testes com protótipos, utiliza-se também, a simulação numérica como um meio para realização destes. Por este fato, destacam-se alguns estudos numéricos a respeito de conversores de energia das ondas do mar em energia elétrica:

- Horko (2007) é apresenta um estudo de um dispositivo CAO, onde diferentes geometrias e dimensões de *lip* (parede frontal) são avaliadas. A geração da onda se da por meio de UDF, que considera funções transientes contínuas para as componentes de velocidade da onda;
- Conde e Gato (2008) estudam o fluxo de ar dentro de um dispositivo CAO com duas chaminés. A onda numérica foi simulada através da imposição de uma função senoidal;
- Gomes (2014) otimiza um modelo numérico bidimensional de um dispositivo CAO, por meio da Teoria Construtal. O gerador de ondas numérico consiste na variação da condição de contorno de velocidade de entrada, através de uma função definida pelo usuário, UDF;
- Seibt (2014) estuda um modelo numérico bidimensional de um dispositivo de placa horizontal submersa. Utilizando o modelo multifásico VOF e, a geração da onda é da através de uma UDF baseada na equação de Stokes de 2ª ordem;
- Seibt et al. (2017) simula, numericamente, um conversor tipo placa horizontal submersa em escala real e analisa a similaridade dos resultados com relação a resultados precedentes de um modelo em escala de laboratório. A geração das ondas numéricas deu-se através da imposição de uma condição de contorno de velocidade dependente do tempo (UDF);
- Machado et al. (2017) apresenta um estudo de um modelo numérico tridimensional a respeito de um conversor de energia das ondas do mar do tipo galgamento. Aplicou-se o método Design Construtal, aliado a busca exaustiva, na definição da melhor forma geométrica para a rampa do dispositivo. O movimento da onda foi gerado através da imposição de um campo de velocidades na entrada do tanque de ondas através da utilização de uma UDF;
- Liu (2008b) apresenta uma modelagem computacional bidimensional de um dispositivo de galgamento, a onda foi gerada através de uma UDF e o método VOF foi utilizado.
- Machado (2016) apresenta dois estudos de modelos numéricos tridimensionais a respeito de um conversor de energia das ondas do mar do tipo galgamento. No primeiro estudo otimizou-se um dispositivo em escala de laboratório e, no segundo, realizou-se uma otimização geométrica de um modelo numérico tridimensional de um dispositivo de galgamento *onshore* em escala real. A geração da onda foi realizada através de uma UDF baseada na equação de Stokes de 2ª ordem;
- Dos Santos et al. (2014) realizaram uma avaliação numérica da geometria de dispositivos CAO e galgamento por meio do Design Construtal. A geração das ondas numéricas deu-se através de uma função definida pelo usuário (UDF). Os resultados numéricos apresentados neste trabalho ilustraram a aplicabilidade do Design Construtal na otimização de conversores de energia das ondas.

Conforme descrito anteriormente, o presente trabalho consiste na análise computacional bidimensional de um tanque de ondas em escala real. O objetivo é verificar um novo sistema de imposição da condição de contorno para geração da onda numérica, o *Table Data*. Com esta nova maneira de impor a onda numérica, almeja-se a realização de estudos numéricos a respeito de conversores de energia das ondas do mar. Para verificação do *Table Data*, realiza-se a comparação da amplitude da onda numérica gerada através deste procedimento com a onda gerada através da imposição de uma função definida pelo usuário (UDF), afim da obtenção de recomendações teóricas a respeito deste procedimento empregado.

METODOLOGIA

Descrição do Problema

A metodologia para verificar o modelo numérico consiste em definir o primeiro domínio computacional, que, neste caso, representa um tanque de geração de ondas em um plano bidimensional (vide Fig. (2)). Quanto às condições de contorno, tem-se a velocidade de entrada (linha vermelha contínua) gerada pela imposição de um campo de velocidades na parede esquerda do tanque de ondas; a região superior da superfície esquerda do tanque de ondas, bem como a superfície superior deste (linha azul tracejada), possuem pressão atmosférica prescrita; enquanto nas demais superfícies do tanque (superfície inferior e direita – linha preta contínua), as velocidades são prescritas como nulas, sendo adotada a condição de contorno de não deslizamento e impermeabilidade.

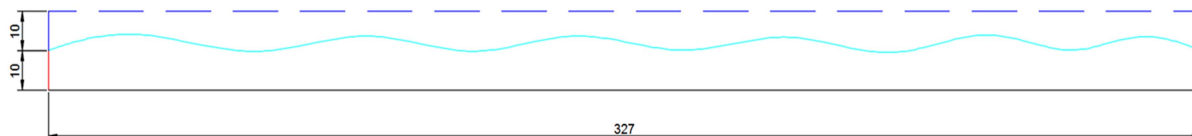


Figura 2. Ilustração do domínio computacional do tanque de ondas

O sistema *Table Data*, o qual viabiliza uma nova maneira de impor a condição de contorno para geração da onda apresentado neste trabalho, apresenta uma particularidade geométrica, ou seja, para imposição de dados transientes discretos como condição de contorno de velocidade de entrada é necessário que esta região da geometria (linha contínua vermelha da Fig. (2)) seja fracionada em sub-regiões (linha mesclada nas cores vermelha e verde), conforme apresentado na Fig. (3).

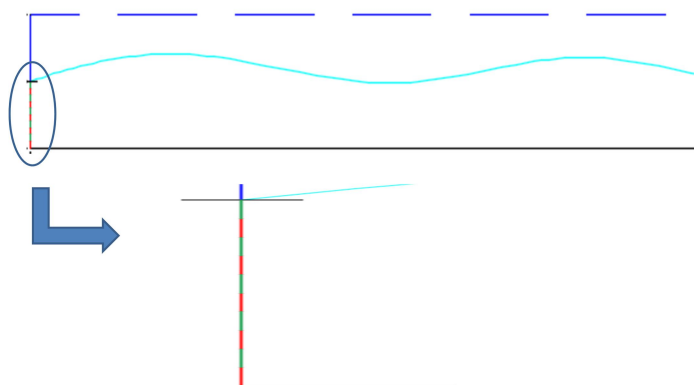


Figura 3. Ilustração do fracionamento da região de aplicação da condição de contorno para geração da onda com a metodologia *Table Data*

O domínio computacional foi construído e discretizado no software GAMBIT®. As simulações numéricas foram efetuadas utilizando o programa FLUENT®, que é baseado no Método dos Volumes Finitos. O modelo multifásico *Volume of Fluid* (VOF) foi empregado, o qual permite tratar adequadamente da interação entre dispositivo, água e ar (Fluent, 2009).

Quanto à discretização do domínio computacional, adotou-se uma malha regular constituída por quadriláteros de dimensão $\Delta x = 0,3$ m. Com relação à discretização temporal, empregou-se um passo de tempo de $\Delta t = 5,00 \times 10^{-2}$ s. O tempo total de simulação foi de $t = 100,00$ s.

Gerador de Ondas

Conforme mencionado anteriormente, o movimento do fluido é imposto pelo movimento da parte inferior da superfície lateral esquerda (linha vermelha na Fig. (2)). Superfície esta, na qual é imposta a condição de contorno de velocidade de entrada (*velocity inlet*).

Para verificação da nova metodologia de geração da onda proposta neste, em um primeiro momento, simulou-se o domínio computacional descrito utilizando uma função definida pelo usuário (UDF – *User Defined Function*). Esta metodologia é a mesma empregada no trabalho de Machado (2016). É importante ressaltar que, a onda adotada neste estudo é uma onda de Stokes de 2ª ordem. Assim, as condições de contorno de velocidade impostas na superfície de entrada do tanque de ondas são dadas pelas Eqs. (1) e Eq. (2)

$$u = Agk \frac{\cosh(kz+k)}{\omega \cosh(kh)} \cos(kx - \omega t) + A^2 \omega K \frac{\cosh 2k(h+z)}{\sinh^4(kh)} \cos 2(kx - \omega t) \quad (1)$$

$$w = Agk \frac{\sinh(kz+kh)}{\omega \sinh(kh)} \sin(kx - \omega t) + A^2 \omega K \frac{\sinh 2k(h+z)}{\cosh^4(kh)} \sin 2(kx - \omega t) \quad (2)$$

onde: A é a amplitude da onda (m); g a aceleração da gravidade (m/s^2); L é o comprimento da onda, k é o número de onda dado por $k = 2\pi/L$ (m^{-1}); h é a profundidade (m); T é o período da onda (s); ω é a frequência dada por $\omega = 2\pi/T$ (Hz); x é a posição espacial (m); t é o tempo (s) e z é a variação da posição entre a superfície livre da água e o fundo do mar (m).

É possível ainda destacar uma equação que descreve o movimento da superfície livre de forma analítica:

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) + \frac{H^2 k \cosh kh}{16s^3 kh} (2 + \cosh 2kh) \cos 2(kx - \sigma t) \quad (3)$$

A Equação (3) desempenha um papel importante na simulação numérica da propagação de ondas em tanques, uma vez que através dessa equação é possível verificar o modelo computacional. Maiores detalhes sobre teoria de ondas oceânicas podem ser encontrados em McCormick (1976) e Dean & Dalrymple (1991).

Para o novo procedimento de geração de ondas proposto, utilizou-se uma metodologia de inserção das componentes horizontal e vertical da velocidade da onda a partir de um banco de dados analítico. Para tal, foram extraídas componentes do vetor velocidade de propagação da onda nas direções u e w com uma variação 0,05 s durante um tempo de 100,00 s. Esta metodologia é denominada *Table Data* e estes dados são inseridos no FLUENT através de uma entrada de dados em forma de tabelas, chamados *Boundary Profiles*, viabilizando que dados transientes discretos sejam utilizados como condição de contorno.

Modelagem Matemática e Numérica

O método *Volume of Fluid* VOF (Hirt & Nichols, 1981) é utilizado nesse trabalho. O método VOF é um modelo multifásico usado para a solução de escoamentos compostos de dois ou mais fluidos imiscíveis. Nesta formulação, todas as fases são definidas e o volume ocupado por uma fase não pode ser ocupado por outra fase. Assim, para representar as fases contidas em cada volume de controle, é necessário o conceito da fração de volume (α). Consequentemente, é necessário que a soma de todas as fases em cada célula seja sempre igual a um. No modelo numérico apresentado neste trabalho, somente duas fases são consideradas: a água e o ar. Portanto, as células com valores de $\alpha_{\text{água}}$ entre 0 e 1 contém a interface entre água e ar (neste caso $\alpha_{\text{ar}} = 1 - \alpha_{\text{água}}$). As que possuem $\alpha_{\text{água}} = 0$ estão sem água e completas de ar ($\alpha_{\text{ar}} = 1$); e, por sua vez, as que apresentam $\alpha_{\text{ar}} = 0$ estão cheias de água ($\alpha_{\text{água}} = 1$).

Além disso, quando o método VOF é empregado, apenas um único conjunto de equações, formado pelas equações de quantidade de movimento e de continuidade, é aplicado a todos os fluidos componentes do escoamento. Então, a fração de volume de cada fluido em cada célula (volume de controle) é considerada em todo o domínio computacional, através da equação de transporte para a fração volumétrica. Assim, o modelo é composto pela equação de continuidade:

$$\frac{\partial(\rho)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (6)$$

A equação da fração volumétrica:

$$\frac{\partial(\alpha)}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \vec{v}) = 0 \quad (7)$$

e as equações de quantidade de movimento:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu \vec{\tau}) + \rho \vec{g} \quad (8)$$

onde: ρ é a massa específica do fluido (kg/m^3), t é o tempo (s), \vec{v} é o vetor velocidade do escoamento (m/s), p é a pressão estática (N/m^2), μ é a viscosidade ($kg/(ms)$), $\vec{\tau}$ é o tensor de tensões (N/m^2) e \vec{g} é a aceleração da gravidade (m/s^2).

Uma vez que as equações de conservação de massa e quantidade de movimento são resolvidas para a mistura de ar e água, é necessário calcular valores médios para a massa específica e a viscosidade, respectivamente (Srinivasan et al., 2011):

$$\rho = \alpha_{\text{água}} \rho_{\text{água}} + \alpha_{\text{ar}} \rho_{\text{ar}} \quad (9)$$

$$\mu = \alpha_{\text{água}} \mu_{\text{água}} + \alpha_{\text{ar}} \mu_{\text{ar}} \quad (10)$$

Conforme descrito anteriormente, a simulação numérica das equações de conservação da massa, quantidade de movimento e uma equação para o transporte da fração volumétrica foi empregado um código comercial baseado no Método dos Volumes Finitos (MVF) (FLUENT, 2006). Para todas as simulações foi considerado o esquema de advecção *upwind* para tratamento dos termos advectivos, enquanto a discretização espacial para a pressão é realizada através do método PRESTO e o método GEO-RECONSTRUCTION é aplicado à fração volumétrica. Quanto ao acoplamento pressão-velocidade foi empregado o método PISO. Além disso, empregou-se os fatores de sub-relaxação para as equações da conservação da massa e quantidade de movimento de 0,30 e 0,70, respectivamente. Todas as soluções foram realizadas usando computadores com processadores *Intel Core i7* de 6800 K de 3,40 GHz de clock e 32,00 Gb de memória RAM.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificação da Onda Numérica

Para verificar a metodologia empregada, foi utilizada a estratégia de comparação entre a solução analítica para a movimentação da superfície livre da água, dada pela Eq. (3), e a solução numérica, que consiste em gerar a onda em um tanque de ondas e observar a variação da posição da superfície livre da água, ou seja, a sua amplitude, em um dado ponto do tanque. Vale ressaltar, que a onda gerada numericamente possui as mesmas características da obtida analiticamente.

Na Figura (4) apresenta-se uma comparação da onda numérica obtida neste trabalho com a onda analítica predita pela Eq. (3) na posição $x = 100,00$ m. Para análise do fenômeno considera-se apenas a faixa de tempo $30,00 \text{ s} \leq t \leq 45,00 \text{ s}$, devido ao fato do escoamento da onda partir do repouso e, em função da inércia do escoamento, as primeiras ondas geradas no tanque numérico são mais amortecidas, levando a desvios consideráveis na comparação com os resultados analíticos. Este amortecimento tende a diminuir com o avanço do tempo de simulação. Posteriormente, a partir do instante de tempo $t \geq 30,00 \text{ s}$, a altura da superfície livre da onda em função do tempo assume um comportamento cíclico estável. Nesta faixa de tempo, é observada uma diferença média entre as amplitudes de cristas, calculadas numérica e analiticamente, de aproximadamente 1,20% e uma diferença média entre as amplitudes de cavas, de aproximadamente 5,00%. Vale também destacar que, como se trata de uma onda de Stokes de 2ª Ordem, as amplitudes de crista e cava são distintas.

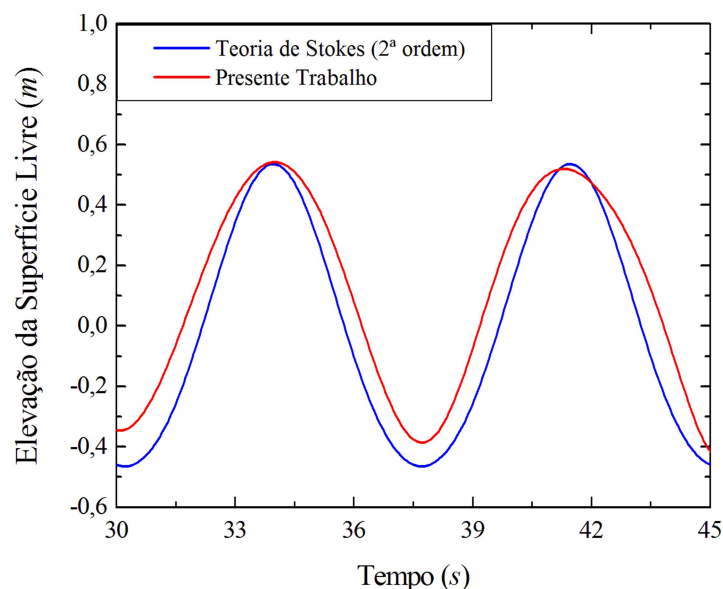


Figura 4. Verificação da Onda Numérica

Verificação do Fracionamento da Região da Geração da Onda

Conforme mencionado anteriormente, o novo procedimento de geração de ondas proposto neste estudo baseia-se na inserção das componentes horizontal e vertical da velocidade da onda a partir de um banco de dados analítico. Para isto, a região onde é imposta a entrada de velocidade (região de geração da onda) é fracionada em sub-regiões, onde cada uma destas recebe a imposição de dados transientes discretos como condição de contorno de velocidade de

entrada. Para tal, necessitou-se de um estudo para averiguar a influência da discretização desta região da geração da onda, onde foram realizados testes que avaliaram a acurácia da onda simulada, além do tempo total de processamento para os casos, onde a região foi fracionada em regiões com comprimento: 2,00 m, 1,25 m e 1,00 m.

A Figura (5) apresenta a verificação da discretização espacial da região de entrada de velocidade através de dados discretos transientes. E, conforme pode se observar, o caso onde ocorreu fracionamento em regiões de 2,00 m foi o que apresentou maior discordância quando comparado com a onda obtida analiticamente. Enquanto para os casos fracionados em regiões com 1,20 m e 1,00 m de comprimento, os resultados foram semelhantes aos encontrados para a onda gerada com a UDF, onde foi observada uma diferença média entre as amplitudes de cristas, calculadas numérica e analiticamente, de aproximadamente 1,20% e uma diferença média entre as amplitudes de cavas, de aproximadamente 5,00%. Como ambos os casos apresentam resultados e tempo de processamento semelhantes, optou-se pela utilização do fracionamento em regiões com 1,2 m devido, ao fato, desta discretização proporcionar uma quantidade inferior de tabelas de dados discretos transientes.

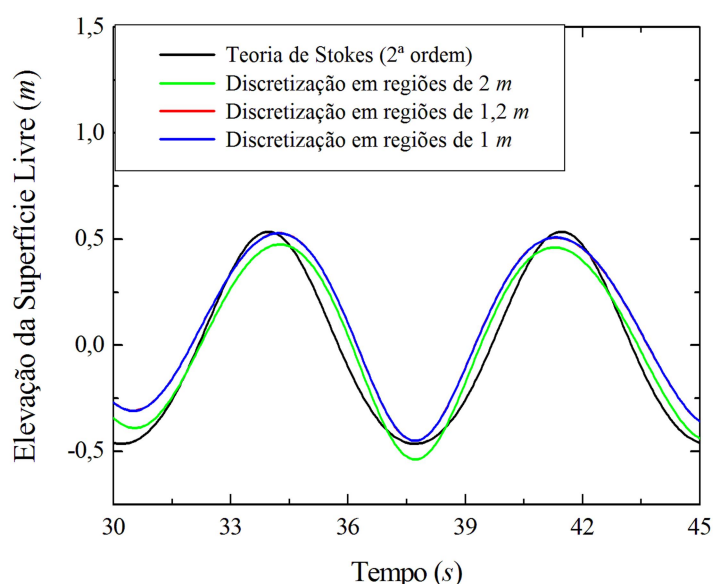


Figura 5. Verificação da Onda conforme a Discretização da Região de Geração da Onda

Verificação do Modelo

A solução numérica obtida com a imposição das condições de contorno utilizando a UDF, que considera funções transientes contínuas para as componentes de velocidade da onda, como em Machado (2016), foi usada como referência para avaliar este novo procedimento de geração de ondas. Assim, a verificação foi feita comparando os resultados numéricos obtidos através da utilização do *Table Data* com os resultados numéricos gerados empregando a UDF, para a elevação da superfície livre da água. Vale ressaltar que, para ambos os estudos a onda gerada possui as mesmas características.

Observa-se na Fig. (6), que as ondas geradas através das metodologias UDF e *Table Data* são concordantes, apresentando uma diferença média praticamente nula (0,002%) entre a amplitude da onda. Vale salientar que, para ambos os casos, as ondas foram monitoradas na posição $x = 100,00$ m. Para análise do fenômeno considera-se três faixas de tempo no gráfico: na primeira, $0,00 \leq t \leq 30,00$ s, conforme comentado anteriormente, observa-se que o escoamento da onda parte do repouso e, em função da inércia do escoamento, ocorre um amortecimento das primeiras ondas geradas no tanque numérico. Este amortecimento tende a diminuir com o avanço do tempo de simulação. Posteriormente, para $30,00 \leq t \leq 50,00$ s, a altura da superfície livre da onda em função do tempo estabiliza, assumindo então, um comportamento cíclico estável. A partir do instante de tempo $t = 50,00$ s pode-se observar que a amplitude da onda apresenta desvios consideráveis causados pela parede final do tanque de ondas, ou seja, verifica-se a influência do fenômeno de reflexão sobre a superfície livre da onda. Destaca-se, também, uma redução no tempo total de processamento de 2 h e 40 min (UDF) para 2 h e 26 min (*Table Data*), representando uma redução de aproximadamente 9% no tempo total de simulação.

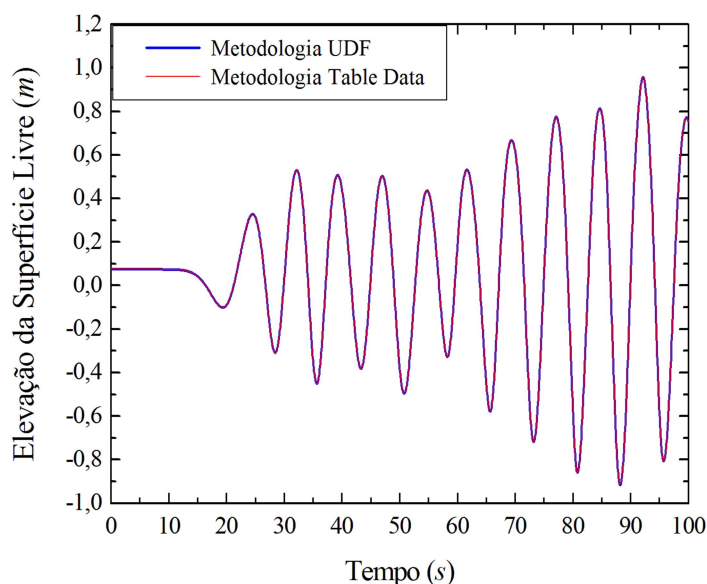


Figura 6. Comparação da Elevação da Superfície Livre

CONCLUSÃO

A contribuição deste trabalho foi a introdução de dados analíticos das componentes horizontal e vertical do vetor velocidade de propagação da onda através da utilização da metodologia *Table Data*, ao invés da imposição de uma função definida pelo usuário, chamada de UDF (*User Defined Function*), que, conforme apresentado neste, tem sido utilizada em trabalhos anteriores. Esta nova forma de imposição das condições de contorno reproduz adequadamente os dados analíticos e, também, reproduz fielmente a amplitude da onda gerada por meio da utilização de uma UDF, além de, apresentar uma redução no tempo total de processamento.

Com os resultados apresentados, verifica-se que a metodologia *Table Data* possibilita a reprodução da elevação da superfície livre, que represente um estado de mar realístico, através da inserção das componentes do vetor velocidade de propagação da onda para uma determinada região. Finalidade esta, pelo qual se estudou a metodologia apresentada neste trabalho. Objetiva-se também, a aplicação desta metodologia de geração da onda em estudos de otimização geométrica de dispositivos conversores da energia proveniente das ondas do mar em energia elétrica, visando aprimorar pesquisas do grupo de estudos que atualmente atua com dispositivos de Galgamento, Placa Submersa e Coluna de Água Oscilante.

AGRADECIMENTOS

Kisner, E. V agradece a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS pela bolsa de Iniciação Científica. Machado, B. N. agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa de Pós Doutorado. Rocha, L. A. O., Dos Santos, E. D. e Isoldi, L. A. agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de Produtividade em Pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Assis, L. E., 2010 “Avaliação e Aproveitamento da Energia de Ondas Oceânicas no Litoral do Rio Grande do Sul”, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Beels C., Troch, P., Visch, K. D., Kofoed, J. P. and Backer, G. D. 2010, "Application of time-dependent mild slope equations for the simulation of wake effects in the lee of a farm of Wave Dragon wave energy converters", *Renew. Energ.*35: 1644 ~1661.
- Callaway, 2007, Ewen. “To Catch a Wave. *Nature*”, v. 450.
- Chozas, J.F.; Soerensen, H.C., 2009, “State of the art of wave energy in Spain”. In: *Proc. of 3rd Annual Electrical Power & Energy Conference (EPEC)*, IEEE, Montreal, Canada, pp. 1-6.



XXIV CREAM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



Universidade Federal
do Rio Grande



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

- Conde, J. M. P., Gato, L. M. C., 2008. "Numerical study of the air-flow in an oscillating water column wave energy converter", *Renewable Energy*, vol. 33, pp. 2637- 2644.
- Cruz, J.; Sarmiento, A. 2004, "Energia das Ondas – Introdução aos Aspectos Tecnológicos, Econômicos e Ambientais." Instituto do Ambiente.
- Dean, R. G., Dalrymple, R.A. 1991 "Water wave mechanics for engineers and scientists." vol. 2, World Scientific, Singapura.
- Dos Santos, E. D. ; Machado, B. N. ; Zanella, M. M. ; Gomes, M. N. ; Souza, J. A. ; Isoldi, L. A. ; Rocha, L. A. O., 2014, "Numerical Study Of The Effect Of The Relative Depth On The Overtopping Wave Energy Converters According To Constructal Design". *Defect And Diffusion Forum*, v. 348, p. 232-244.
- Falcão, A. F. O., 2010, "Wave energy utilization: A review of the technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, p. 899-918.
- Fluent (version 6.3), 2006, ANSYS, Inc.
- Garcia, F.H., 2004, "Análise Experimental e Simulação de Sistemas Híbridos Eólico-fotovoltaico". Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Gomes, M. N., 2010, "Modelagem Computacional de um Dispositivo Coluna d' água Oscilante para Conversão da Energia das Ondas do Mar em Energia Elétrica." Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande – RS.
- Gomes, M. N., 2014, "Constructal Design de Dispositivos Conversores de Energia das Ondas do Mar em Energia Elétrica do Tipo Coluna de Água Oscilante." Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.
- Gomes, M. N.; Isoldi, L. A.; Olinto, C. R. Rocha, L. A. O.; Souza, J. A., 2009, "Simulação numérica e otimização do comprimento de um dispositivo do tipo coluna d'água oscilante. "Congresso Ibero-Latino-Americano de Métodos Computacionais em Engenharia (CILAMCE), Armação dos Búzios, Brasil.
- Hirt, C.W., and Nichols, B. D., 1981, "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries." *Journal of Computational Physics*, v. 39, n. 1, pp. 201-225.
- Horko, M., 2007, "CFD Optimization of an Oscillating Water Column Energy converter". Tese de Mestrado em Engenharia e Ciência, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade de Western, Austrália.
- Liu, Z., Hyun B., Jin, J., 2008, "Numerical Prediction for Overtopping Performance of OWEC". *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, v. 11, nº.1.
- Machado, B. N., 2016, "Estudo Numérico Tridimensional de em Dispositivo de Galgamento para Conversão de Energia das Ondas do Mar em Energia Elétrica Aplicando o Método *Constructal Design*." Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.
- Machado, B. N., Dos Santos, E. D., Isoldi, L. A., Gomes, M. N., Rocha, L. A. O. 2017, "Análise Numérica da Geometria da Rampa de um Dispositivo de Galgamento Onshore em Escala Real Aplicando o Design Construtal." *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.6, n.3, p. 548- 566.
- Mc Cormick, M. E., 1976, "Ocean Engineering Mechanics." New York: Cambridge University Press.
- Santos, A. L.; Weber, L. M.; Moreira, T. Z. T., 2006, "A Matriz Energética Brasileira e o Aproveitamento das Fontes Renováveis." *Análise Conjuntural*, v. 28, n. 1-2, p. 18.
- Seibt, F. M., 2014, "Análise numérica do princípio de funcionamento do conversor de energia das ondas do mar em energia elétrica do tipo placa submersa." Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Do Rio Grande, Rio Grande.
- Seibt, F. M., Dos Santos, E. D., Isoldi, L. A., Rocha, L. A. O., 2017, "Modelagem Computacional do Conversor de Energia das Ondas Tipo Placa Horizontal Submersa em Escala Real e Análise de Similaridade com Modelo em Escala de Laboratório." *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.6, n.3, p. 397-418.
- Son, D.; Belissen, V.; Yeung, R.W., 2016, "Performance validation and optimization of a dual coaxial-cylinder ocean-wave energy extractor." *Renewable Energy*, v. 92, p. 192-201.
- Srinivasan, V. Salazar, A. J., SAITO, K., 2011 "Modeling the disintegration of modulated liquid jets using volume-of-fluid (VOF) methodology". *Applied Mathematical Modeling*, vol. 35, n. 8, pp. 3710-3730.
- Tolmasquim, M., 2003, "Fontes Renováveis de Energia no Brasil." Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.