

APLICAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO SWAN EM LOCAIS COM VEGETAÇÃO NO LAGO DA BARRAGEM DE ILHA SOLTEIRA

Adriana Silveira Vieira (Universidade Estadual Paulista – UNESP, PPGEM- Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Ilha Solteira – S.P/Brazil).

E-mail: adriana.ilha@gmail.com

Igor Correia Gregório (Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa- FCUL, Lisboa, Portugal)

E-mail: igorcgreg@gmail.com

Conceição Juana Espinosa Morais Fortes (Laboratório Nacional de Engenharia Civil -LNEC, Lisboa, Portugal)

E-mail: jfortes@lnecc.pt

Tomohiro Suzuki (Flanders Hydraulics Research, Antwerp, Belgium)

E-mail: tomohiro.suzuki@mow.vlaanderen.be

Geraldo de Freitas Maciel (Universidade Estadual Paulista – UNESP, Departamento de Engenharia Civil/, PPGEM- Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Ilha Solteira – S.P/Brazil)

E-mail: maciel@dec.feis.unesp.br

Resumo: Este artigo descreve a aplicação do modelo SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*) com o módulo vegetação (SWAN-VEG) para o lago da barragem de Ilha Solteira - São Paulo, Brasil. O reservatório da barragem de Ilha Solteira é um dos segmentos da rota comercial da Hidrovia Tietê-Paraná. Com o intuito de analisar a influência da vegetação sobre a redução da energia das ondas (produzidas por vento) perto das margens do lago, o modelo numérico foi aplicado, primeiro considerando uma profundidade constante de 5 m em todo domínio, atentando-se para os fatores de atenuação devido à vegetação junto à margem esquerda do lago, mais próxima à barragem. Neste caso, foram testados vários valores de velocidade e direção do vento, bem como diferentes arranjos da área vegetada. Em um segundo momento, a batimetria real do lago foi considerada, bem como a vegetação em determinadas zonas dispostas também à margem esquerda do lago. Várias condições de vento foram testadas e comparadas para as situações com e sem vegetação.

Palavras-chave: SWAN, vento- onda, atenuação de onda, atenuação de energia, vegetação.

MODELLING WAVE ATTENUATION BY VEGETATION WITH SWAN IN THE LAKE OF ILHA SOLTEIRA DAM

Abstract: This article describes the application of SWAN model (*Simulating Waves Nearshore*) with vegetation module (SWAN-VEG) in the lake of Ilha Solteira dam - São Paulo, Brazil. The Ilha Solteira dam reservoir is one of the segments of Tietê-Paraná waterway. In order to analyze the influence of vegetation on the reduction of wave energy (produced by wind) near the banks of the lake, the numerical model was applied first on a constant depth of 5 m across the field, paying attention to the energy attenuation factors due to the vegetation along the left bank of the lake, closer to the dam. In this case, we tested several values of velocity and wind direction as well as different arrangements of the vegetated area. In a second case, the bathymetry of the lake was considered as well as the vegetation in certain areas also arranged on the left bank of the lake. Various wind conditions were tested and compared for cases with and without vegetation.

Keywords: SWAN, wind-wave, wave attenuation, energy attenuation, vegetation.

1. INTRODUÇÃO

A Hidrovia Tietê-Paraná é uma rota de navegação que atravessa as regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil. Permite a navegação do transporte de cargas e passageiros ao longo dos rios Paraná e Tietê, sendo de extrema importância para o escoamento da produção agrícola dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e para uma parcela de Rondônia, Tocantins e Minas Gerais. Detém doze terminais, espalhados por 76 milhões de hectares. O início deste sistema promoveu a implementação de 23 pólos industriais, 17 pólos

turísticos e 12 centros de distribuição, criando assim diretamente cerca de 4.000 postos de trabalho. A Figura 1 mostra o segmento da Hidrovia Tietê-Paraná, no lago da barragem de Ilha Solteira.

Em certas áreas do lago, as ondas geradas pelos ventos, além de poderem trazer dificuldades à navegação, são responsáveis pela erosão das margens e desbarrancamentos. Para mitigar tais efeitos, a vegetação natural ou ali inserida podem vir a atenuar as ondas e seus efeitos, o que vem constituir opção de bioengenharia interessante, pois dissipa energia, sem prejuízos ambientais e econômicos. Portanto, é fundamental analisar a influência da vegetação sobre a redução da energia das ondas perto das margens do lago.

Num trabalho anterior de Vieira A.S *et al.* (2013), o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1996) foi aplicado para caracterizar as ondas geradas pelo vento sobre o lago da barragem (sem vegetação). É importante salientar que para o lago de Ilha Solteira há um extenso plano de monitoramento com medições realizadas no âmbito do projeto de investigação FINEP - ONDISA5, UNESP (1997, 2008). No entanto, essas medições foram feitas apenas em quatro locais distribuídos no lago, o que impossibilita uma visão geral de todo o lago como o modelo numérico é capaz de fornecer.

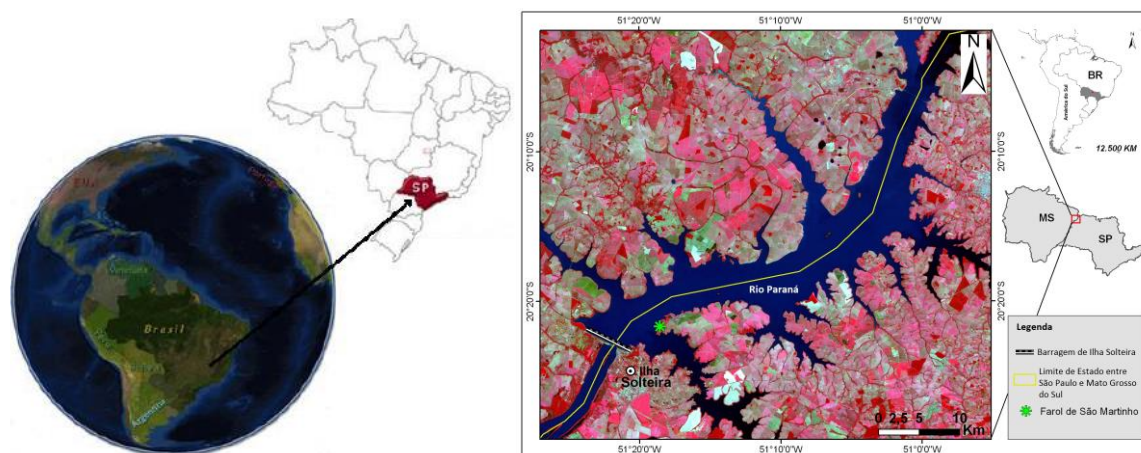


Figura 1: Barragem do reservatório de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. Representação do segmento / rota da Hidrovia Tietê-Paraná. Vistas gerais.

Para analisar a influência da vegetação na redução da altura das ondas junto às margens, a intenção deste trabalho foi aplicar a versão mais recente do modelo numérico SWAN (versão 41.01, SWAN team, 2014), que inclui a dissipação de energia devido à vegetação, SWAN-VEG (Suzuki *et al.*, 2011), na área do lago da barragem de Ilha Solteira.

O modelo foi aplicado para os dados de vento obtidos a partir de um anemômetro sônico 2D instalado numa árvore no lago, localizada a cerca de 250 metros de distância da margem. Foi analisado o efeito da vegetação existente quanto à atenuação da altura das ondas, tendo sido primeiramente considerada uma profundidade constante em todo o reservatório da barragem e vários valores de velocidade e de direção do vento, bem como diferentes tipos de vegetação. Posteriormente, considerando a batimetria real do lago, realizaram-se testes com e sem vegetação situada em vários lugares ao redor do lago. Para ambas as situações, foram consideradas diversas condições de onda e características de vegetação.

Este artigo começa com uma breve descrição da área de estudo (seção 2) e da coleta de dados. Em seguida, a descrição do modelo numérico utilizado (seção 3) e a sua aplicação para a área de estudo (seção 4) são apresentadas, considerando-se batimetria constante e real. A discussão dos resultados obtidos para as diferentes condições e conclusões são discutidas na seção 5.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 Visão Geral

A área de estudo é o reservatório da barragem de Ilha Solteira, a terceira maior barragem no Brasil. Situa-se perto da cidade de Ilha Solteira, um dos municípios do Brasil na região noroeste do estado de São Paulo, Brasil (Figura 1), a cerca de 699 km de distância da capital do estado de São Paulo. O lago artificial tem uma extensão de 100 km e sua barragem está localizada na latitude 20°25'58" S, longitude 51°20'33" W, e uma altitude próxima de 335 m. A barragem é uma das mais importantes na hidrovía Tietê-Paraná e está localizada onde os rios Tietê e Paraná se encontram, perto da fronteira do Mato Grosso do Sul.

A vegetação no lago é dispersa e encontra-se distribuída na maioria das áreas de baixa profundidade, perto da margem do lago.

2.2 Coleta de Dados

Um extenso plano de monitoramento na região vem sendo realizado (Morais *et al.* 2009), assim como também a definição de um sistema de alerta, no âmbito do projeto de investigação FINEP - ONDISA5. O objetivo é desenvolver modelos preditivos para geração de ondas de vento a fim de ser incluído num sistema de alerta para navegação. Várias campanhas de medição de vento e ondas já foram realizadas.

O sistema de aquisição de dados para a velocidade do vento e a sua direção compreende anemômetros 2D distribuídos ao redor do lago e posicionado a 30 m de altura, em faróis. Os dados são coletados e enviados por telemetria para serem processados e armazenados no Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP de Ilha Solteira. Para a análise e processamento de dados de vento, o software OndisaCsat3 é usado (Maciel *et al.*, 2009).

Além disso, existe também uma estrutura vertical, de 6 m de altura implementada dentro do lago, próximo da barragem, ligada a uma árvore, onde foram ligados anemômetros tipo concha posicionados a 0.3, 0.6, 1.2 m, tal como demonstrado na Figura 2. O objetivo é de perfilar os dados de vento no local, o que é possível com mais 1 anemômetro sônico 2D, situado no topo da torre, Figura 2. Os dados de vento são registrados num CR1000 datalogger de Campbell Scientific. Os anemômetros tipo concha apenas permitem a medição da velocidade do vento, enquanto o anemômetro sônico 2D mede a velocidade e direção do vento.

Para as medições da onda, foi colocado no fundo do lago um ADCP waves, que acoplado a um sistema, transmite dados online para a central de recepção de dados. Um exemplo de processamento de onda é ilustrado na Figura 3.

Em detalhe, o equipamento implementado dentro do lago e perto da árvore consiste em (Figura 2): (1) um ADCP-waves, a 8 m de profundidade, 20 metros de distância da base da árvore e conectados via cabo ao rádio localizado na caixa de instrumentação; (2) um transdutor de pressão (Druck), a 1m de profundidade e ligado ao conjunto datalogger / rádio localizado na caixa de instrumentação; (3 e 4) anemômetros tipo concha convencionais, a 0.3, 0.6, 1.2 m de altura na estrutura amarrada à árvore; (5) um anemômetro sônico 2D, localizado na parte superior da estrutura; (6) caixa de instrumentação, que contém rádio, coletores de dados, baterias, etc.; (7) antenas de transmissão de dados; (8) um sistema de energia (painel solar), 80W; (9) uma câmara de vídeo de alta resolução e baixo consumo de energia, para a visualização de onda em tempo real.

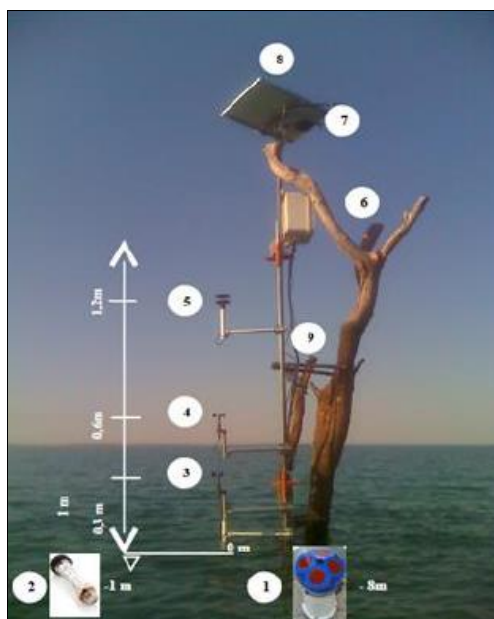


Figura 2: Instrumentação e telemetria.

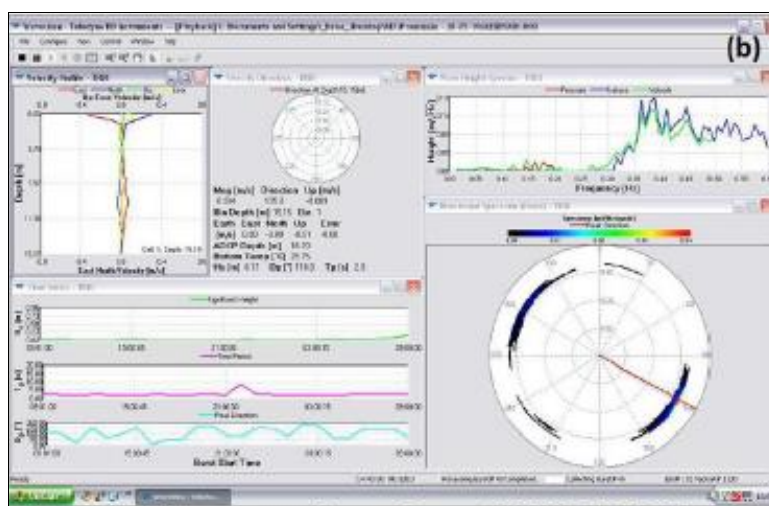


Figura 3: Onda - software de processamento de WAVESMON.

3. MODELO NUMÉRICO SWAN

3.1 Conceitos Básicos

O modelo numérico SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*) modela a geração, propagação e dissipação de ondas do mar com base na equação de balanço da ação das ondas (Booij *et al.*1999). Este modelo, de domínio público; é continuamente atualizado pela Delft University of Technology (Holanda).

O modelo SWAN é capaz de simular a propagação de ondas do mar a partir de alto mar até à costa e considera os principais processos físicos de refração, difração e empolamento, devido à variação da profundidade do fundo e à presença de correntes e ondas. Inclui também o crescimento de onda induzida pelo vento, quebras de onda devido à variação do fundo e à declividade, dissipação de energia por atrito no fundo, bloqueio de onda e reflexão, bem como a transmissão de ondas.

O campo de onda na região de estudo é caracterizado por um espectro de ação das ondas 2D, que permite que o modelo represente o crescimento das ondas causadas por vento ou pela presença de ondulação.

Os dados necessários para executar o modelo SWAN são a batimetria da região de estudo, as condições de contorno na entrada de domínio e um conjunto de parâmetros de cálculo. Entre os diversos resultados produzidos pelo SWAN é importante mencionar a altura significativa e média das ondas e os períodos de pico, a direção de propagação, o parâmetro de largura de banda e o nível médio de água em qualquer ponto do domínio computacional definido. O modelo foi adaptado por esses autores para ser utilizado em condições de águas interiores (restritas), como o estudo de caso tratado neste artigo.

3.2 SWAN VEG

Neste artigo, o modelo SWAN-VEG (Suzuki *et al.*, 2011) é usado. Trata-se do modelo SWAN original com a adição do módulo de vegetação, que contém um termo de dissipação de energia devido à vegetação, subtraindo energia das ondas de entrada. Isso resulta numa altura de onda inferior, uma vez que a energia da onda é menor na área com vegetação e na área posterior à mesma.

Assim, para ondas com propagação numa certa direção x , o fluxo de energia $F = E \cdot c_g$ de onda permanece constante se nenhuma energia for perdida ou adquirida. Isto é indicado pela equação 1.

$$\frac{\partial F}{\partial x} = 0 \rightarrow \frac{\partial}{\partial x} [E \cdot c_g] = 0, \text{ com } c_g: \text{ celeridade de grupo} \quad (1)$$

Contudo, a vegetação provoca uma perda de energia que resulta numa diminuição do fluxo de energia das ondas e em novas condições de onda. Aqui o módulo de vegetação determina uma dissipação de energia de longo prazo, ε_v [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$], que é subtraída do fluxo de energia das ondas (Dalrymple *et al.* (1984), e Kobayashi *et al.* (1993), Mendez e Losada (2004)). O próprio modelo SWAN original não muda, apenas um termo de dissipação extra é adicionado ao modelo, conforme indicado pela equação 2:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = -\varepsilon_v \rightarrow \frac{\partial}{\partial x} [E \cdot c_g] = -\varepsilon_v, \text{ com } \varepsilon_v: \text{ dissipação de energia} \quad (2)$$

O termo de dissipação é sempre negativo, uma vez que provoca uma perda de energia. A equação 3 mostra que a expressão de dissipação é uma função das seguintes condições de onda e de vegetação.

$$\varepsilon_v = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \rho C_D b_v N \left(\frac{kg}{2\sigma}\right)^3 \frac{\sinh^3(kah) + 3\sinh(kah)}{3k \cosh^3(kh)} H_{rms}^3 \quad (3)$$

sendo: ρ a densidade da água, H_{rms} o erro médio quadrático, k é o número de onda e σ é a frequência da onda.

A vegetação é modelada como obstáculos cilíndricos causando força de arrasto e definida por quatro características (altura - ah [m]; diâmetro - b_v [m]; densidade - N [planta/m²] e coeficiente de arrasto - C_D [-]). Há também um parâmetro usado para quantificar a vegetação, denominado fator de vegetação (V_f [planta/m]), dado pela equação 4.

$$V_f = b_v \times N \times C_D \quad (4)$$

4. APLICAÇÕES DO MODELO SWAN

A aplicação do modelo SWAN, no reservatório da barragem de Ilha Solteira, visa caracterizar o campo de ondas na presença de vegetação.

Em primeiro lugar, devido à falta de informação detalhada sobre a vegetação existente na zona em estudo, foram realizados vários testes de sensibilidade, um com batimetria de profundidade constante e outro com a batimetria real, variando a velocidade e direção de vento, bem como as características da vegetação (altura, densidade, etc.). Desta forma, foi possível avaliar o efeito da vegetação e das suas características no campo de ondas gerado.

Nas seções seguintes, apresentamos as condições de entrada do modelo para as batimetrias constante e real. Os resultados numéricos são apresentados e discutidos.

4.1 Condições de Entrada

O cálculo do domínio do modelo SWAN foi discretizado com 3 grelhas (Figura 4 para batimetria constante, Figura 8 para batimetria real). A maior grelha é de 58 km por 33 km, o espaçamento em X e em Y é de 1000 m para batimetria constante e 500 m para os testes de batimetria real, e abrange todo o território do reservatório da barragem de Ilha Solteira. A grelha seguinte é, para batimetria constante, 26.6 km por 28.4 km e com uma distância entre nós de 500 m e para a batimetria real de 5 km por 13.5 km e 250 m de distância entre nós.

Finalmente, para a batimetria constante, foi utilizada uma terceira grelha com 14.8 km por 14.3 km e 250 m entre nós, e para a batimetria real, 11.3 km por 5.2 km e 50 m entre os nós. Foram definidos vários pontos (P1 a P9, embora apenas P1, P6 e P9 para batimetria constante e P7 e P9 para a batimetria real, foram utilizados neste trabalho) a fim de se obter os resultados do SWAN.

O espectro direcional nos cálculos com o SWAN foi definido com uma discretização de frequência de 30 intervalos de 0.05 a 3.0 Hz com uma distribuição logarítmica e uma discretização direcional de 2.5° cobrindo os 360° (que resulta em 44 intervalos de direção). Todas os testes foram realizados com a versão SWAN 41.01, SWAN (Team 2014), em modo estacionário, sem a presença de correntes. Os fenômenos físicos considerados foram: refração, difração, empolamento e interação não linear entre três e quatro ondas. Todos os parâmetros relevantes foram introduzidos no pacote SOPRO-SWAN (Fortes *et al.*, 2006).

4.2 Batimetria Constante

Nestes cálculos com o modelo SWAN nesta região, considerou-se um valor de 5 m de profundidade de água constante em todo o lago da barragem. Junto à estrutura da barragem, foi implantada uma zona de vegetação, como indicado pela cor verde na Figura 4.

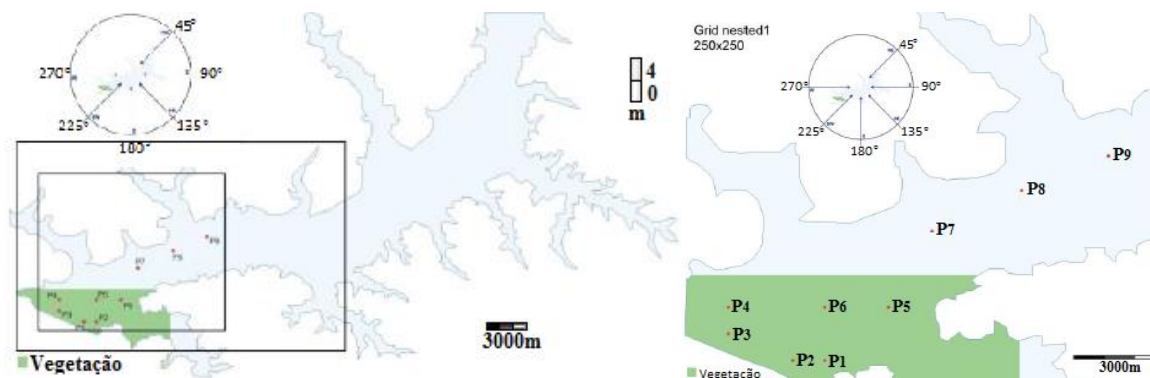


Figura 4: Batimetria constante: grades com localização da vegetação. Escalas horizontais e verticais em UTM.

Foram efetuados cálculos para onze diferentes condições, correspondentes à variação de parâmetros da vegetação e condições de vento, como indicado na Tabela 1. Foram consideradas as direções de vento de 45°, 90°, 135°, 180°, 270° e 225° e para cada direção dois valores de velocidade (7.055 e 14.11 m/s). As características da vegetação corresponderam a: 2 valores para a altura da vegetação (ah), 4.3 e 5.5 metros; quatro valores para a largura (diâmetro) de caule (b_v), 0.015, 0.2, 0.7 e 0.01 metros; três valores para a densidade (N), 60, 258 e 10 plantas/m² e dois valores para o coeficiente de arrasto (C_D) 0.8 e 1. Estes valores correspondem a cinco valores diferentes de parâmetros de vegetação (V_f): 0.72, 3.096, 9.60, 18.06, 0.10 plantas/m. Os resultados, em termos de altura significativa, foram obtidos em cada uma das malhas de cálculo e em 9 pontos representados na Figura 4.

Tabela 1: Casos testados para batimetria constante.

Caso	Velocidade do vento [m/s]	ah [m] (altura)	b_v [m] (largura do caule)	N [plantas/m ²] (densidade)	C_D ⁻¹ (Coeficiente de arrasto)	V_f [plantas/m] (Parâmetro de vegetação)	Detalhes da vegetação	Outras notas
1	7.055	-	-	-	-	-	Nenhuma	-
2	7.055	4.3	0.015	60	0.8	0.72	Submersa (0.7m abaixo)	-
3	7.055	4.3	0.015	258	0.8	3.096	Submersa (0.7m abaixo)	-
4	7.055	4.3	0.2	60	0.8	9.6	Submersa (0.7m abaixo)	-
5	7.055	4.3	0.07	258	1	18.06	Submersa (0.7m abaixo)	-
6	7.055	5.5	0.015	60	0.8	0.72	Emersa (0.5m acima)	-
7	7.055	5.5	0.015	258	0.8	3.096	Emersa (0.5m acima)	-
8	7.055	5.5	0.2	60	0.8	9.6	Emersa (0.5m acima)	-
9	7.055	5.5	0.07	258	1	18.06	Emersa (0.5m acima)	-
10	14.11	-	-	-	-	-	Nenhuma	Caso 1, dobro da velocidade
11	14.11	5.5	0.07	258	1	18.06	Emersa (0.5m acima)	Caso 9, dobro da velocidade
12	14.11	5.5	0.01	10	1	0.1	Emersa (0.5m acima)	90% wgpr
13	7.055	5.5	0.01	10	1	0.1	Emersa (0.5m acima)	90% wgpr
14	7.055	5.5	0.01	10	1	0.1	Emersa (0.5m acima); svdv	90% wgpr; só para 45°
15	14.11	5.5	0.01	10	1	0.1	Emersa (0.5m acima); svdv	90% wgpr; só para 45°

*wgpr - wet grid points requirement

*svdv - sem vento dentro da vegetação

Para os pontos P1, P6 e P9, obtiveram-se as alturas de onda (H_s) para a malha 3, cujos valores se encontram representados para cada direção de vento na Figura 5, Figura 6 e Figura 7. Estes pontos foram escolhidos por estarem alinhados pela dimensão maior do lago e estão incluídos em todas as três grelhas. Todos os testes são comparados com os resultados (caso1) sem vegetação.

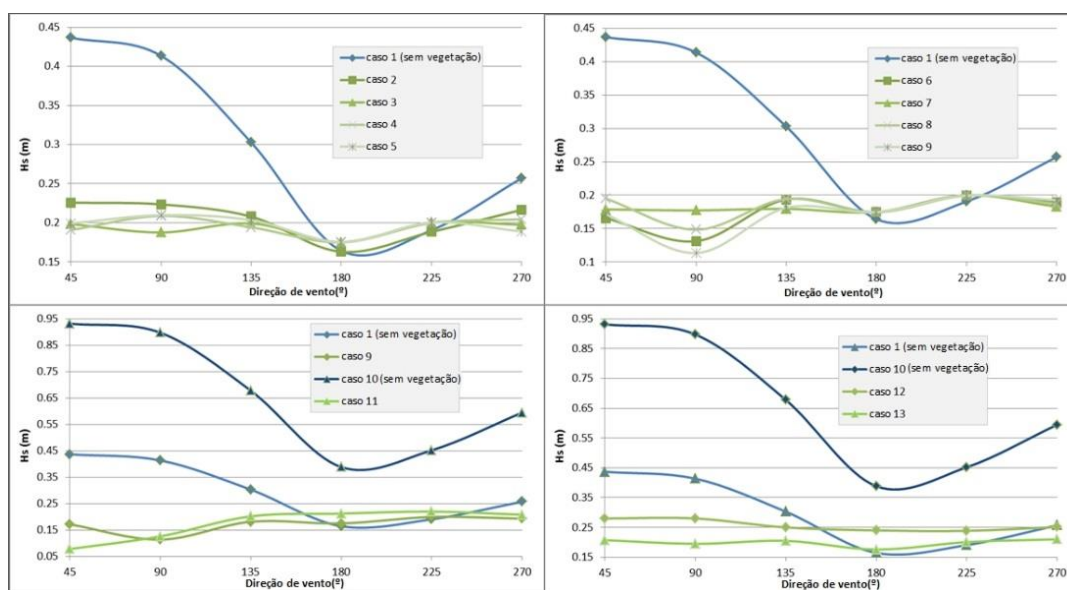


Figura 5: Batimetria Constante – Comparação dos casos para o ponto P1.

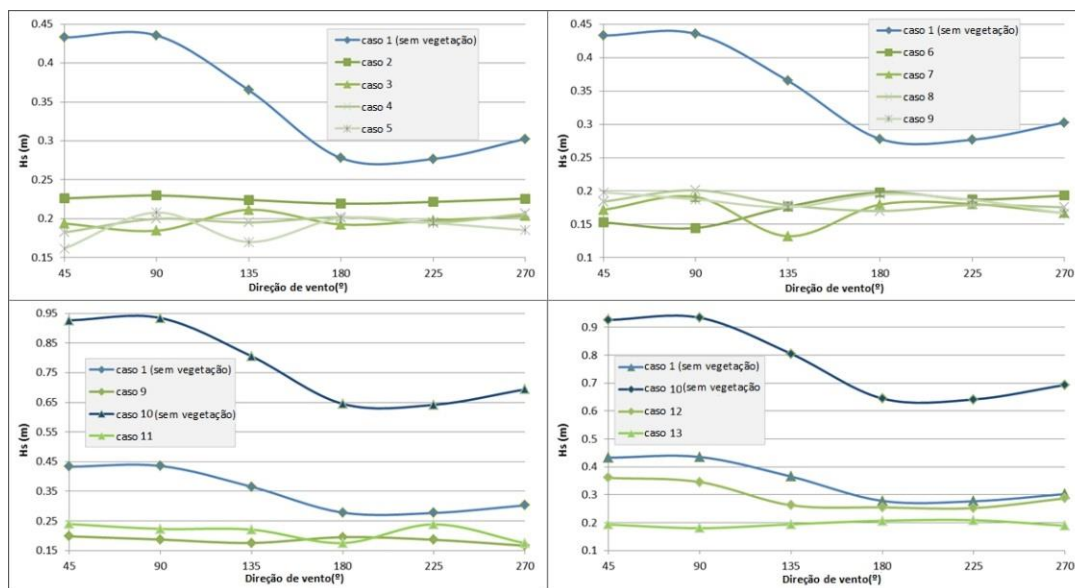


Figura 6: Batimetria Constante – Comparação dos casos para o ponto P6.

Para os pontos P1 e P6 dentro da área de vegetação, observa-se, como esperado, que as alturas de onda obtidas com vegetação sejam mais baixas do que aquelas sem vegetação. Esta diferença é ainda mais evidente nos casos em que a velocidade do vento é maior. Nos casos em que a vegetação se encontra emergida, as alturas de onda são mais elevadas do que quando está submersa.

A variação de altura de onda com a direção de onda não é notória nos pontos P1 e P6 para os casos com vegetação, como acontece para os casos sem vegetação. Com efeito, no caso sem vegetação, H_s é maior para as direções de onda entre 45° e 135° e é significativamente menor para as outras direções, devido a um fetch bem mais limitado. Tal fato não foi possível verificar nos casos com vegetação.

Observa-se também que a variação de H_s não é significativa com o parâmetro de vegetação (V_f), ainda que a densidade de planta seja elevada. Os valores de H_s do ponto P6 são maiores do que em P1, este mais próximo à zona de rebentação.

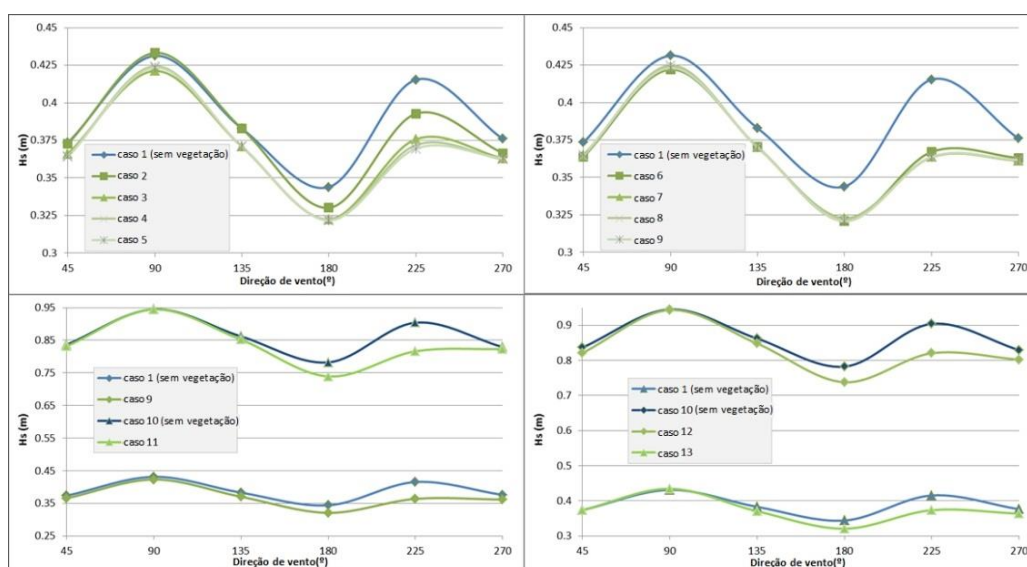


Figura 7: Batimetria Constante – Comparação dos casos para o ponto P9.

Para P9, Figura 7, os valores H_s não são significativamente afetados pela presença de vegetação, exceto para as direções 180° a 270° , devido ao menor *fetch*.

4.3 Batimetria Real

A batimetria real bem como as áreas consideradas para o domínio de cálculo e para as zonas de vegetação são mostradas na Figura 8. Todas as áreas com profundidades iguais ou superiores a 0.7 m foram considerados como tendo vegetação. Os cálculos foram feitos usando as malhas anteriormente descritas para o caso de batimetria constante.

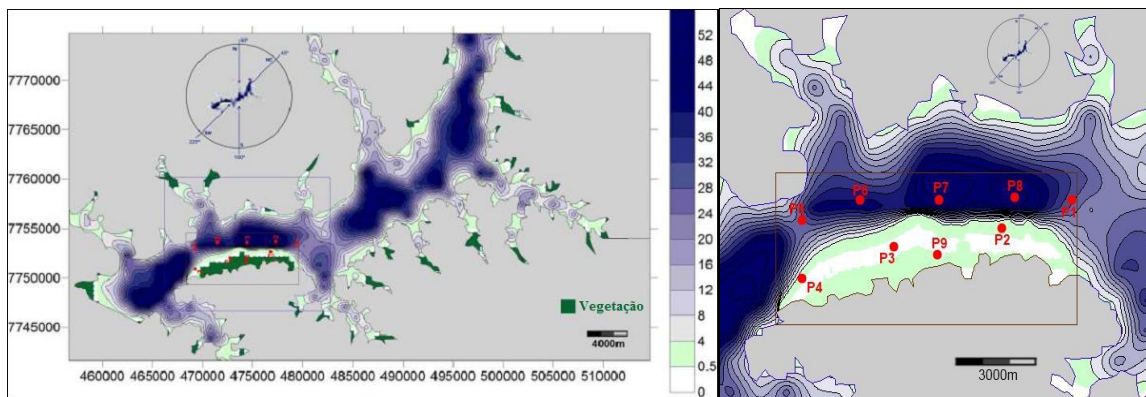


Figura 8: Batimetria Real com vegetação e grelhas. Pontos P1 a P9. Escalas verticais e horizontais em UTM.

Quanto às condições de vento, foram consideradas as direções de vento de 45° , 90° , 180° e 225° e quatro valores para as velocidades de vento (3.53, 7.055, 10.58 e 14.11 m/s).

Devido à falta de informações sobre as características da vegetação da área, foram efetuados os mesmos testes usados para a batimetria constante, com o intuito de analisar a influência da batimetria real nas características da onda. A visita às margens do lago permitiu também analisar *in situ* a vegetação e assim também se considerou um teste adicional, como uma tentativa de reproduzir estas características observadas.

Assim, as características da vegetação utilizadas nos testes corresponderam a: uma única altura da vegetação (ah) estudada foi 0.7 m, como foi observado *in situ*, cinco valores de largura (diâmetro) do caule (b_v), 0.015, 0.2, 0.7, 0.01 e 0.006 m, quatro valores de densidade (N), 10, 60, 258 e 1000 plantas/ m^2 e três coeficientes de arrasto (C_D) de 0.8, 1 e 0.6. Estes levam a valores de seis diferentes parâmetros de vegetação (V_f): 0.10, 0.72, 3.096, 9.60, 18.06 e 3.6 plantas/m, conforme Tabela 2. Os resultados dos cálculos foram obtidos para as várias malhas e, mais especificamente, em 9 pontos, Figura 8.

Para os pontos P7 e P9, obtiveram-se as alturas de onda (H_s) para a malha 3, cujos valores se encontram representados para cada direção de vento na Figura 9 e Figura 10. Todos os testes são comparados com e sem vegetação.

Tabela 2: Condições dos casos para batimetria real.

Casos	sh [m] (altura)	b_v [m] (largura do caule)	N [plantas/ m^2] (densidade)	C_D^{-1} (Coeficiente de arrasto)	V_f [plantas/m] (Parâmetro de vegetação)
1	-	-	-	-	-
2	0.7	0.01	10	1	0.1
3	0.7	0.015	60	0.8	0.72
4	0.7	0.015	258	0.8	3.096
5	0.7	0.2	60	0.8	9.6
6	0.7	0.07	258	1	18.06
7	0.7	0.006	1000	0.6	3.6

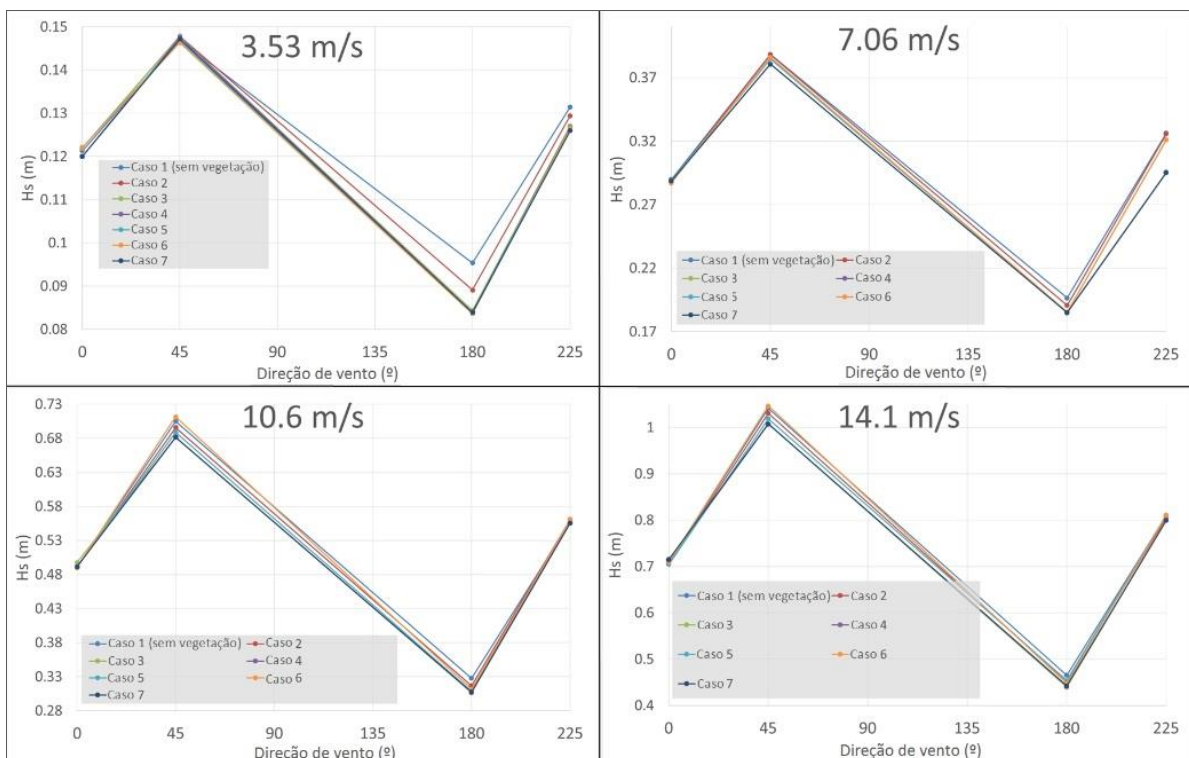


Figura 9: Batimetria Real - Comparação dos casos para o ponto P7.

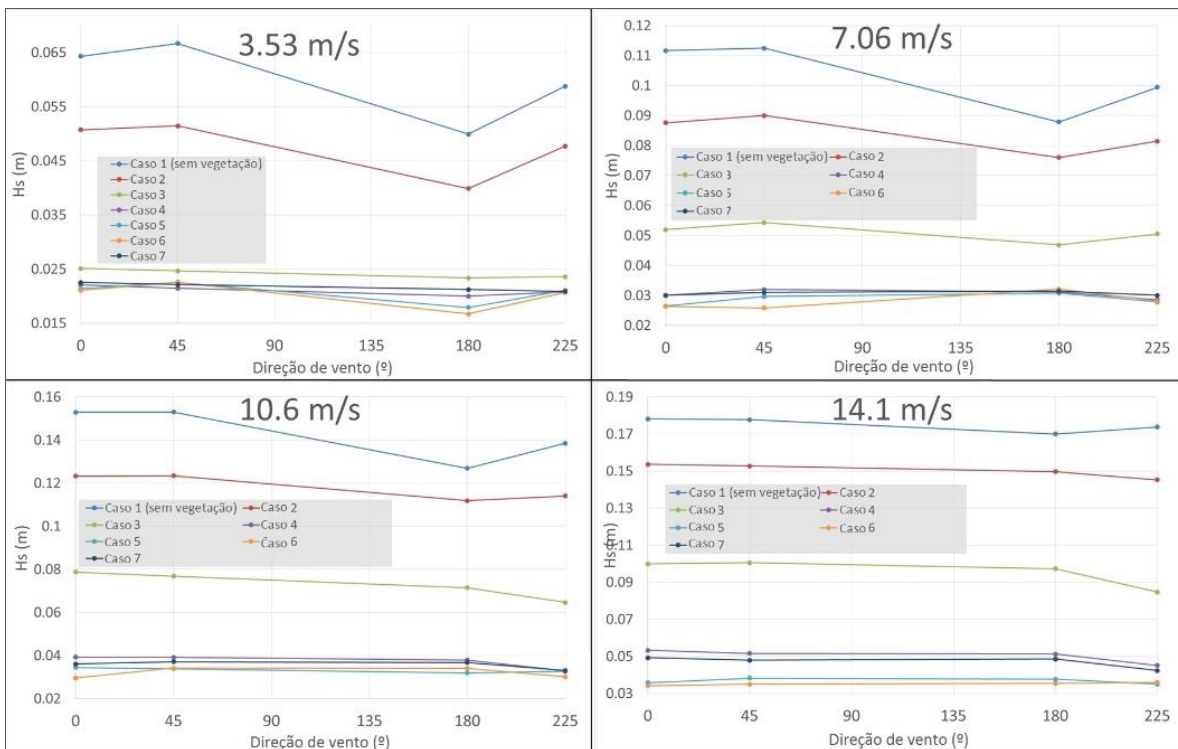


Figura 10: Batimetria Real - Comparação dos casos para o ponto P9.

Os resultados apresentados para a batimetria real mostram que há uma redução significativa de H_s em casos de teste com vegetação e no ponto (P9) dentro da área de vegetação. A variação de direção das ondas não afeta de forma significativa a redução de H_s . Com o aumento da velocidade de vento, os valores de H_s nos pontos de fora da área de vegetação

também aumentam, conferindo H_s menor em pontos localizados dentro da área com vegetação.

5. CONCLUSÕES

Este documento apresenta a aplicação do modelo SWAN-VEG, SWAN (Team 2014), ao lago da barragem de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. O modelo foi usado para simular as ondas geradas por vento no reservatório, na presença de vegetação.

Alguns testes de sensibilidade foram primeiramente realizados para a zona em estudo considerando uma batimetria de profundidade constante, variando as características do vento e da vegetação. Verificou-se que existe uma redução significativa, quando uma área de vegetação é considerada e para os pontos dentro ou perto dessa área. Isto é mais evidente nos casos em que a velocidade do vento é maior. Além disso, verificou-se que não há uma variação significativa de H_s com a direção das ondas nos casos com vegetação.

Posteriormente, foram realizados testes considerando a batimetria real da zona em estudo e verificou-se que as conclusões foram as mesmas, embora a redução nas alturas de onda seja menos evidente do que a verificada no caso de batimetria constante.

A caracterização da vegetação real no lago de Ilha Solteira e comparações com medições *in situ* constitui tema de trabalho que dará sequência a este estudo e que deve ser investido, dada sua importância nos processos erosivos permanentes junto as margens do reservatório.

REFERENCIAS

BOOIJ, N., RIS, R.C., HOLTHUIJSEN, L.H.. 1999. *A Third-generation Wave Model for Coastal Regions, Part I, Model Description and Validation*. Journal Geophysical Research, 104 (C4), pp. 7649-7666.

DALRYMPLE, R.A., KIRBY, J.T., HWANG, P.A., 1984. *Wave diffraction due to areas of energy dissipation*. J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng. 110, 67–79.

FORTES, C.J.E.M., PINHEIRO, L.V., SANTOS, J.A., NEVES, M.G., CAPITÃO, R., 2006. *SOPRO – Pacote integrado de modelos de avaliação dos efeitos das ondas em portos*. Tecnologias da Água, Edição I, March, pp. 51-61.

KOBAYASHI, N., RAICHLE, A.W., ASANO, T., 1993. *Wave attenuation by vegetation*. J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng. 119, 30–48.

MACIEL, G.F. et al.. 2009. *Alerta de ventos e ondas para a segurança da navegação*. Proc. 6º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior. Rio de Janeiro, 21 and 22 October.

MENDEZ, F.M., LOSADA, I.J., 2004. *An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields*. Coastal Engineering 51, 103–118.

MORAIS, V.S., CUNHA, E.F., MACIEL, G F., 2009. *Medição, Previsão e Análise Numérica dos Mecanismos de Geração de Ondas a Partir da Cinética de Ventos e Dissipação de Ondas na Presença de Fundos com Vegetação, em Lagos de Barragens*, Proc. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande - Mato Grosso do Sul - Brasil: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

SUZUKI, T., ZIJLEMA, M., BURGER, B., MEIJER, M.C., NARAYAN, S., 2011. *Wave dissipation by vegetation with layer schematization in SWAN*. Coastal Engineering 59, 64–71.

SWAN Team, 2014. *SWAN scientific and technical documentation*. SWAN Cycle III version 41.01. Report. Delft University of Technology.

UNESP 1997, 2008. *ONDISA Project*. Project support by FAPESP and FINESP Brazilian agencies.

VIEIRA, A.S., MACIEL G.F., FORTES, C.J.E.M., MINUSSI, C.R., SOBRINHO, M. DALL'AGLIO, 2013. *Comparative analysis of the SWAN numerical model predictions and of the pressure sensor measurements at the Ilha solteira Lake*. Proc. 6th SCACR – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research, 4-7 June, LNEC, Lisbon.