



ANÁLISE PRELIMINAR DA ENERGIA DOS SEICHES NO LAGO TITICACA UTILIZANDO UM MODELO NUMÉRICO 2DH E EQUAÇÕES ANALÍTICAS

*Autores: Gregório Luiz Galvão Teixeira¹; e
Mario Rocha Junior²*

RESUMO

Seiches são oscilações naturais presentes em ambientes confinados, e semiconfinados causadas principalmente por gradiente de pressão no nível do mar forçado pelo vento e se propagam como ondas estacionárias. Ainda que os Seiches tendam a degenerar-se em função do tempo, efeitos hidrodinâmicos são significativos durante o período de atuação dessas ondas no ambiente. Embora existam diversos trabalhos na literatura, alguns ambientes são ainda pouco estudados, como o Lago Titicaca, situado na porção central da Bolívia. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi conduzir uma análise prévia dos modos de oscilação do Lago Titicaca, através do uso de modelagem hidrodinâmica e a equação empírica de Merian e análise do espectro de ondaletas para observar o comportamento dos principais períodos do lago. Período mais energético em torno de 2 e 4,87 horas para as principais áreas do lago, fato que está coerente com estudos anteriores.

Palavras-chave:

Seiches; Empilhamento de água pelo vento; Períodos próprios; SisBaHiA; Transformada de ondaletas.

ABSTRACT

Seiches are natural oscillations present in confined and semi-confined environments caused mainly by a pressure gradient at sea level forced by the wind and propagate as standing waves. Even though the Seiches tend to degenerate as a function of time, hydrodynamic effects are configured during the period of activity of these waves in the environment. Although there are several works in the literature, some environments are still poorly studied, such as Lake Titicaca, located in the central portion of Bolivia. Therefore, the objective of this work was to conduct a previous analysis of the oscillation modes of Lake Titicaca using hydrodynamic modeling

¹ Oceanógrafo físico. Mestre em Engenharia Ambiental pela UFES. Doutorando em Engenharia Oceânica pela COPPE/UFRJ. Professor de Oceanografia, Marés e Geologia e Geofísica do CIAARA.

² Físico Teórico. Mestre em Física com ênfase em Cosmologia e Gravitação pela UFES.



and an empirical Merian equation and analysis of the wavelet spectrum to observe the behavior of the main periods of the lake. The most energetic period around 2 e 4.87 hours was found to both main areas of lake, which is consistent with previous studies.

Keywords:

Seiches; Wind set-up; Eigen periods; SisBaHiA; Wavelet analysis.

1. INTRODUÇÃO

1.1 O Fenômeno dos Seiches

O fenômeno dos Seiches é caracterizado por uma oscilação livre, na qual ocorre em locais confinados ou semifechados. Estas oscilações comportam-se como ondas estacionárias e o gradiente de pressão causado pelo empilhamento devido ao vento é uma das principais causas (Rabinovich, 2008). A palavra Seiches vem do latim "Siccus", que significa seco ou exposto, por exporem as margens em ambientes fechados, como Lagos, com períodos que variam de minutos a algumas horas (Wilson, 1972).

Os primeiros estudos deste fenômeno estão vinculados ao Major Whiting, em 1831, que observou na Região dos Grandes Lagos que a variação do vento e da pressão atmosférica eram responsáveis pela geração dos Seiches. Anos depois, Forel (1895) foi quem explorou cientificamente a essência natural e a origem desse fenômeno, gerando interesse em muitos cientistas ao redor do mundo.

De maneira geral os períodos próprios dos Seiches são determináveis pela geometria e profundidade ao longo da bacia ou lago, sendo que as oscilações de menor frequência são denominadas "modo fundamental" (Mei, 1992).

Uma contribuição muito importante no estudo dos Seiches foi realizada por Merian (1828), que propõe uma equação

para o cálculo do período fundamental de oscilações livres em um ambiente confinado regular, dependendo apenas do comprimento do eixo principal do ambiente confinado e da celeridade média da onda longa. O modo fundamental para uma bacia regular seria estabelecido para uma onda cujo comprimento é o dobro do comprimento do eixo principal da bacia.

Wilson (1972) através de estudos e práticas sobre a aplicabilidade da equação de Merian, ressaltou que se o lago ou bacia não possui as características de ser longo e estreito, seu uso unidimensional não é apropriado.

Em uma ótica focada na propagação da onda livre, Sorensen (1993) a fim de analisar a variação de energia dos Seiches, descreve que após o nível ser perturbado de seu equilíbrio, as forças de atrito promovem o decaimento exponencial da amplitude até retornar ao nível de repouso.

Embora os Seiches tendam a degenerar-se em função do tempo, efeitos hidrodinâmicos podem ser significativos durante o período de atuação dessas ondas, principalmente em ambientes dotados de restrições, como o Lago Titicaca, localizado na Bolívia. Embora existam diversos trabalhos na literatura internacional abordando a geração e propagação destas ondas, em locais como o próprio Lago Titicaca, ainda são escassos trabalhos que analisem esse fenômeno. Dessa maneira, são importante os estudos que resultem em conhecimentos dos principais modos de oscilações naturais de corpos d'água fechado, bem como a hidrodinâmica produzida por estas ondas.

1.2 O vento como forçante do empilhamento de água em lagos

A transferência da quantidade de movimento do vento para a superfície da água depende de uma série de variáveis e, segundo Vickers & Mahrt (1997), pode ser estimada através da tensão de um vento



medido à 10 metros de altura pelo produto da densidade do ar, coeficiente de arrasto e o módulo do vento. Segundo Smith (1988), o cálculo do coeficiente de arrasto é uma tarefa difícil e é função da velocidade e da tensão do vento na superfície da água.

No caso de um lago, o transporte de massa devido ao vento será equilibrado com as forças do gradiente de nível do lago devido à retirada de água a barlavento e empilhamento a sotavento, como representado na Figura 1. O nível da água oscila em torno do centro de gravidade (Bezuyen *et al.*, 2012).

O empilhamento pelo vento é calculado pelo produto do gradiente de nível do mar pela metade do comprimento da pista.

Anteriormente, para estudos da hidrodinâmica causada pelo vento, modelos analíticos baseados em fórmulas matemáticas eram usados. Esses cálculos limitavam sua aplicabilidade a casos práticos e, além disso, os resultados apresentavam desvios significativos. Com o avanço de modelos numéricos, atualmente é possível prever efeitos como o empilhamento do nível do mar devido ao vento de maneira mais realista. Um exemplo de modelo capaz

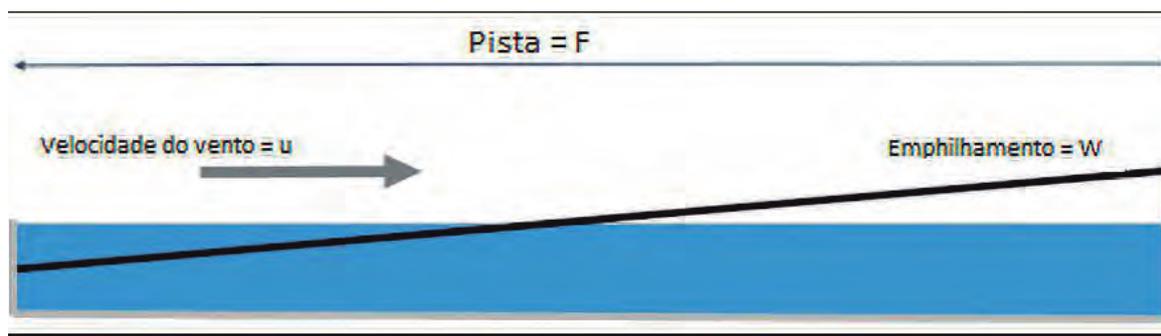


Figura 1 – Esquema para a representação do empilhamento pelo vento (*wind set-up*) em um lago, com o rebaixamento do nível a barlavento e a sobrelevação a sotavento. Adaptado de Van Risum (2015).

de representar tal processo através dos métodos de diferenças finitas é o Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental (SisBaHiA[®]) desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro (Rosman, 2019). Seiches já foram estudados na Baía de Cascais, em Portugal, através de dados observacionais e modelagem numérica, permitindo uma representação mais realista em relação às equações convencionais, além de permitir a discussão sobre as condições de ressonância (Bras, 2016).

1.3 Área de Estudo: Lago Titicaca

O Lago Titicaca ocupa a parte norte do planalto, bacia intramontana dos Andes centrais da Bolívia, Peru e Argentina. Com 8.562 km², o Lago Titicaca é considerado o lago navegável mais alto do mundo (3809 metros acima do nível do mar), também o maior lago da América do Sul (Claude e André, 1991).

O lago é composto por três regiões principais: o Lago Maior com uma área de

6450 km² e uma profundidade máxima de 285 m, o Lago Menor localizado no setor sudeste tem uma área de 2012 km² e uma profundidade máxima de 40 m e um setor de grande importância turística, recreativa e logística de navios, que é o Estreito de Tiquina, cujo comprimento é em torno de 880 m e a profundidade também da ordem de 40 m.

2012). Além disso, a região mais à oeste do lago, a região de Puno, vem sofrendo com a destruição da linha de costa, causada pelas ondas geradas pelos ventos, como por exemplo no dia 25 de julho de 2019, noticiado pelo jornal El Comercio. O prejuízo estimado foi de 9 milhões de soles (moeda peruana).

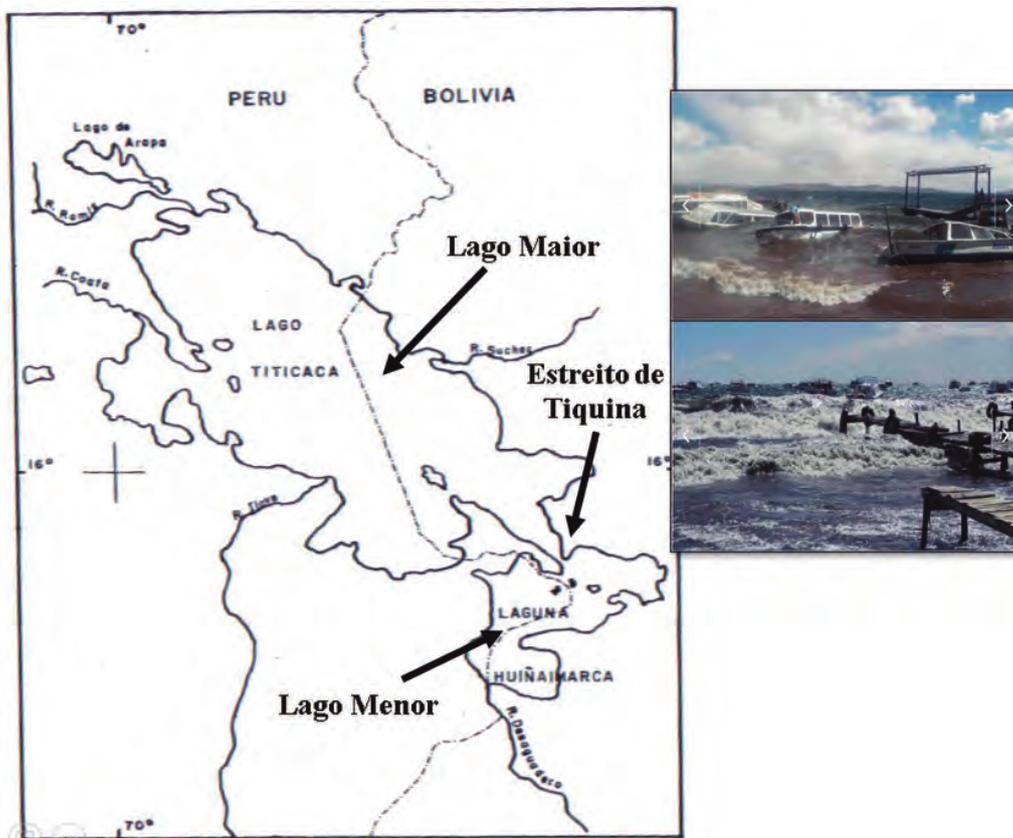


Figura 2 – Localização do Titicaca, com a linha tracejada representando os limites geográficos dos territórios peruanos e bolivianos. À direita do mapa, fotos do acidente ocorrida no Estreito de Tiquina no dia 5 de dezembro de 2012. Adaptado de Carbonel (1989). Fotos retiradas de Villa (2012), superior, e Fernandes (2019), inferior

O Estreito de Tiquina tem sido local de frequente sinistro com embarcações de esporte e recreio, como no dia 5 de dezembro de 2012, quando houve a morte de 11 pessoas e 4 desapareceram (Emol,

2. OBJETIVOS

O referido trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise espacial e temporal preliminar dos Seiches causados



pelos ventos no Lago Titicaca, utilizando equações analíticas e modelo numérico, para a caracterização destas ondas; além de estabelecer a hidrodinâmica causada por elas em três setores do lago, conforme a metodologia a seguir.

3. METODOLOGIA

Inicialmente, foram definidos os principais eixos dos lagos que serviriam como referência para a análise da variação do nível da água causada pelo vento (empilhamento) e depois a propagação dos Seiches.

3.1 Definição dos eixos de controle

Na Figura 3, observa-se em vermelho os eixos do Lago Titicaca que foram definidos para as análises. Para organizar melhor a análise, o lago foi dividido em três áreas, Alpha "A", Bravo "B" e Charlie "C", tomando como eixos as maiores distâncias de cada setor.

são os setores de Puno, Lago Maior e Lago Menor respectivamente. O círculo azul localizado ao sul de Lago Maior representa a *Isla del Sol*, ilha onde está localizada a estação meteorológica local e de onde provêm os dados de vento que foram utilizados neste trabalho.

3.2 Dados de ventos

Os dados de vento foram adquiridos do Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrografia da Bolívia (<http://senamhi.gob.bo/index.php/inicio>), onde dados históricos foram armazenados de 1980 a 2017. Estes dados foram utilizados para a caracterização dos ventos registrados pela estação meteorológica da *Isla del Sol*, localizada em -16,0178 (Lat) e -69,1715 (Lon). O vento considerado para este trabalho foi o vento médio e sua direção preferencial. Assim, foi considerado um vento de 25, proveniente do quadrante norte

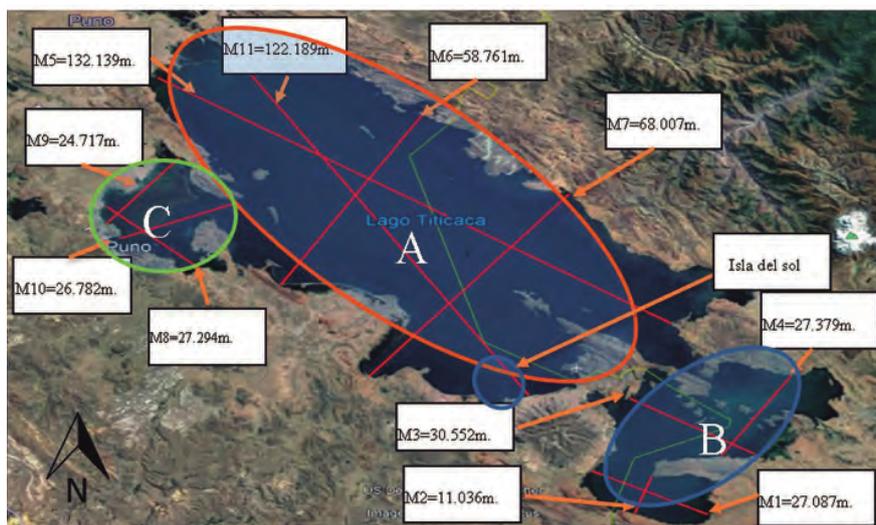


Figura 3 - Localização das subáreas de estudo e seus eixos principais.

Em vermelho, os eixos principais que foram analisados no trabalho, e seus comprimentos. Cada eixo é representado pelo nome M^n , sendo "n" o número identificador. As elipses em verde, laranja e azul

para o cálculo do empilhamento tanto na equação analítica quanto no modelo hidrodinâmico. A distribuição dos ventos pode ser verificada através da rosa dos ventos abaixo, na Figura 4.

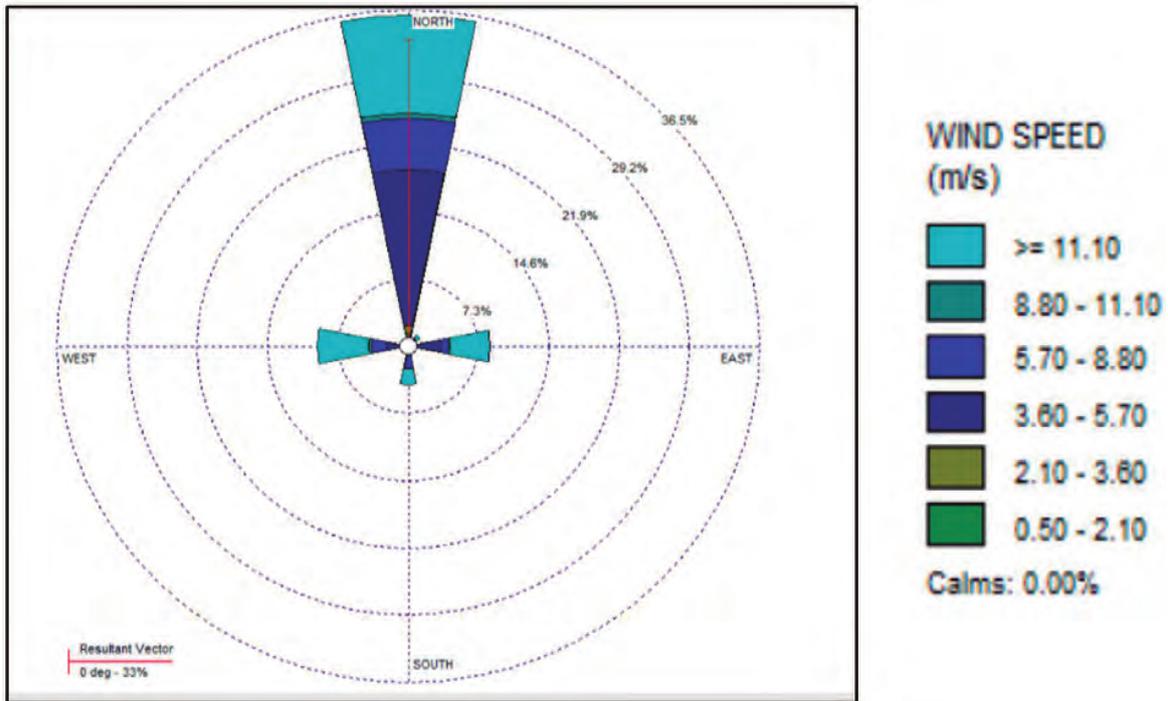


Figura 4 – Rosa dos ventos dos dados de direção e intensidade média do vento registrado pela estação meteorológica da Ilha do Sol entre 1980 e 2017.

3.3 Equação de Merian

Com base nos comprimentos dos eixos principais determinados acima, a Equação de Merian foi aplicada, para o cálculo dos períodos próprios (T_n), segundo o apresentado por Wilson (1972):

$$T_n = 2L / n \sqrt{gH} \quad (\text{Eq.1})$$

L = Comprimento (m)
 n = Número de nós (-)
 g = Aceleração da gravidade (m/s^2)
 H = Profundidade (m)

A fórmula de Merian concede dados exatos dos períodos das bacias retangulares de profundidade uniforme (Wilson, 1972).

3.4 Equação do Empilhamento de água pelo vento

Dentre as diversas equações presentes na literatura, a apresentada por Van Rinsum (2015) foi utilizada, para um vento atuante normal à linha de costa. Assim, o empilhamento foi calculado segundo a Eq. 2 a seguir.

$$W = 0.5 k \frac{u_{10}^2}{gd} F \cos \theta \quad (\text{Eq.2})$$

W = Empilhamento pelo vento (m)
 K = constante de atrito
 u_{10}^2 = Velocidade do vento a 10 metros de altura ($m.s^{-1}$)
 g = Aceleração da gravidade ($m.s^{-2}$)
 d = profundidade média (m)
 F = Pista (m)



θ = ângulo entre a terra e o vento ($^{\circ}$), valor utilizado neste trabalho é 0, atuando na direção do eixo maior do lago.

Um fator empírico importante é o coeficiente de atrito (k), uma vez que é visto como um ajuste da equação à realidade. Como o coeficiente de tensão de cisalhamento do atrito entre ar e água não pode ser calculado por uma fórmula exata, para o presente trabalho foi utilizado um k de $3,4 \cdot 10^{-6}$, como proposto por Bezuyen *et al.* (2012).

3.5 Modelo Hidrodinâmico

Além da Equação de Merian, o modelo hidrodinâmico SisBaHiA[®] foi aplicado a fim de representar de maneira mais realística os Seiches presentes no Lago Titicaca devido à atuação do vento.

A malha computacional e o domínio da modelagem estão presentes na Figura 5. Nesta figura, podemos verificar o contorno

da linha de costa que foi disponibilizado pela Diretoria Geral de Hidrografia da Armada Boliviana, à esquerda. Em azul, o espelho d'água médio e em marrom, as ilhas presentes no lago. A partir deste contorno, foi gerada a malha quadrangular de elementos finitos, à direita, composta por um total de 252 elementos e 1147 nós; a malha contempla uma área de 8002146490 m². Além disso, foram passados para o modelo os valores de profundidade média do Lago Titicaca igual a 140 m e rugosidade de 0,0030 m (Rosman, 2019), um valor que corresponde a um fundo rochoso. O modelo hidrodinâmico foi do tipo 2DH, com suas propriedades integradas na vertical e a distribuição uniforme ao longo de todo o domínio da densidade da água.

Inicialmente, o modelo com o nível da água em repouso foi forçado por um vento homogêneo e permanente até atingir um equilíbrio entre o transporte de massa causado pelo vento e a força gradiente de

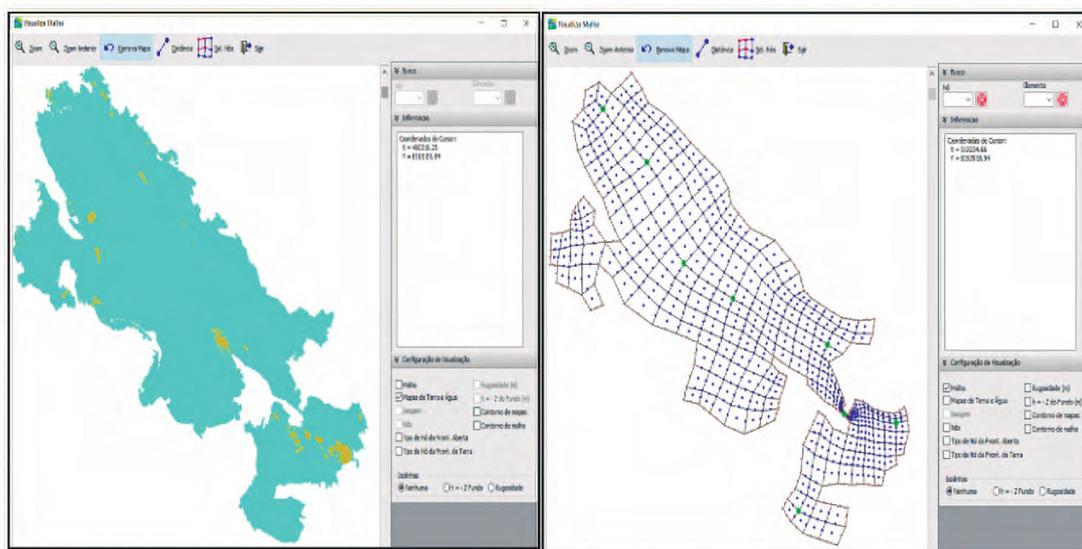


Figura 5 – Mapas do domínio de modelagem (esquerda) e da malha computacional que o modelo utilizará como base dos cálculos hidrodinâmicos (direita).



pressão. Ao atingir este estado, o vento foi extinto do modelo, e conseqüentemente, uma onda livre, o Seiches, se propagou ao longo do domínio.

O estudo dos Seiches foi feito através da análise dos espectros de energia de ondaletas, calculados a partir de séries temporais oriundas de diferentes partes do lago. O cálculo do espectro de energia foi feito com base nos trabalhos de Torrence & Compo (1991) e Weing & Lau (1994). As rodadas e saídas gráficas foram feitas todas através de códigos escritos em Python com base em pacote disponível em: <<https://github.com/chris-torrence/wavelets>>.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados aqui apresentados serão divididos entre os provenientes da aplicação das equações analíticas de Merian, do cálculo do período, e da equação de Bezuyen

et al. (2012), para o cálculo do empilhamento de água pelo vento.

4.1 Equações Analíticas

Os dados de entrada para Eq. 1 e Eq. 2 foram:

- Comprimento de cada eixo principal, que estão compilados na Tabela 1;
- Profundidade média, com o valor de 140 m.
- Aceleração da gravidade $9,81 \text{ m/s}^2$.
- Velocidade do vento uniforme e permanente com 25 m/s .
- Valor da constante k de $3,4 \times 10^{-6}$

Como resultado das equações, obteve-se os seguintes valores compilados na Tabela 1, de período e empilhamento provenientes da Eq. 1 ($n = 1$) e Eq. 2, respectivamente.

Pelos resultados da Tabela 1, é verificada primariamente a relação direta entre as variáveis

Tabela 1 – Resultados das equações analíticas para cada um dos eixos com valores de comprimento dos eixos, períodos calculados e o empilhamento de água.

Eixo	Comp. do Eixo [m]	Período [min]	Empilhamento [cm]
M1	27087	24	2,0
M2	11036	10	0,8
M3	30552	27	2,3
M4	27379	25	2,1
M5	132139	119	10,2
M6	58761	53	4,5
M7	68007	71	5,2
M8	27294	25	2,1
M9	24717	22	1,9
M10	26782	24	2,0
M11	122189	110	9,4



calculadas e o comprimento do eixo, dessa maneira, quanto maior o comprimento do eixo, maior serão os períodos dos Seiches e maior o empilhamento devido à atuação do vento. Podemos ilustrar tais resultados com gráficos de dispersão, que podem ser vistos a seguir.

Nas Figuras 6 e 7, estão presentes os gráficos de dispersão do comprimento dos eixos contra o período (Figura 6) e contra o empilhamento (Figura 7). A relação direta entre as variáveis era esperada, reforçando apenas as equações analíticas que regem o período das ondas estacionárias e do empilhamento pelo vento.

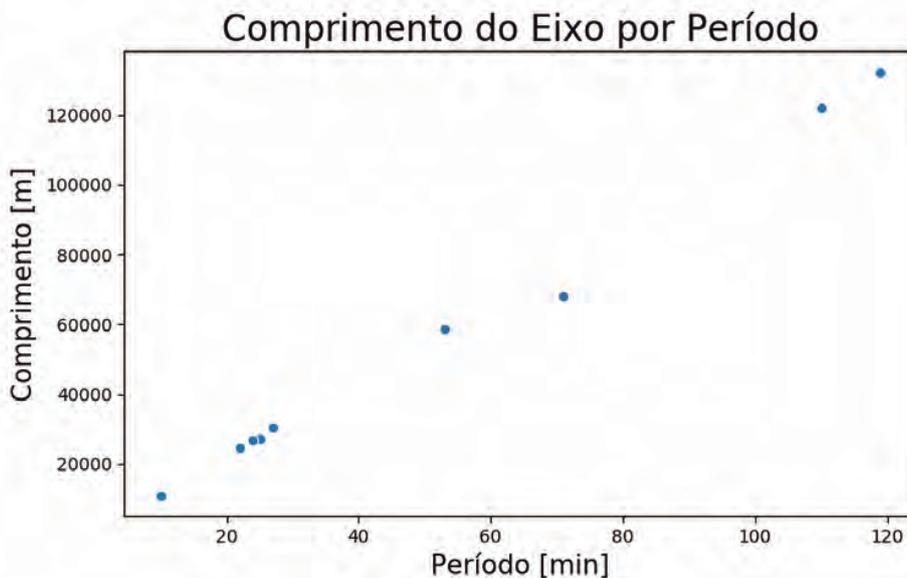


Figura 6 – Gráfico de dispersão para as variáveis comprimento do eixo e período.

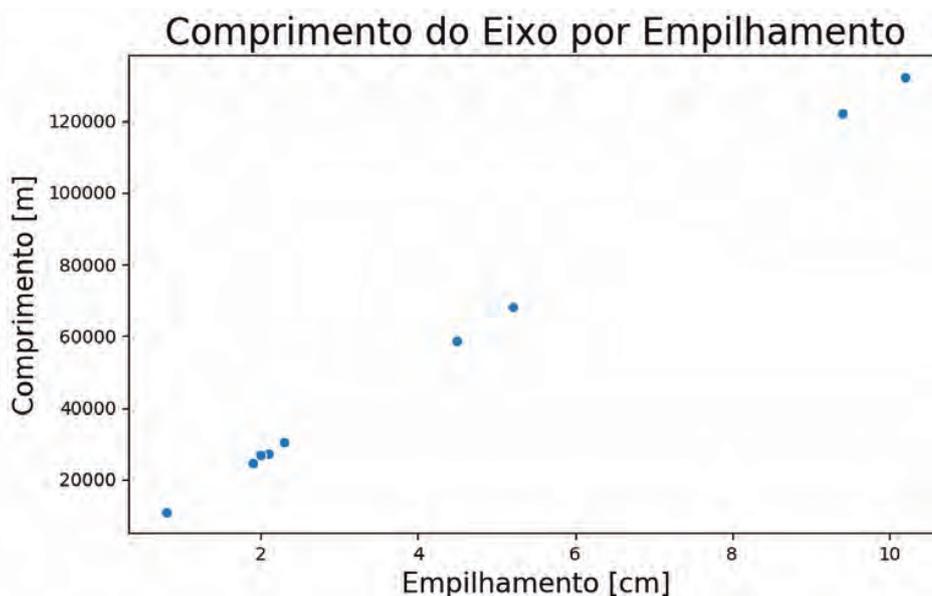


Figura 7 – Gráfico de dispersão para as variáveis comprimento do eixo e empilhamento.

4.2 Modelagem Numérica

A modelagem numérica, como apresentada na metodologia foi separada em duas partes: a primeira, com o objetivo de gerar o empilhamento da água do lago provocado pelo vento médio local e a segunda é deixar o modelo livre para a propagação dos Seiches.

4.2 Simulação do empilhamento pelo vento

A simulação do empilhamento da água do lago devido ao vento, após 48 horas, resultou em um campo de variação de nível do lago que reflete o balanço entre

o transporte devido à tensão do vento e a força gradiente de pressão provocada pelo desnível, como mostrado na Figura 8. Nesta figura, os gráficos superiores se referem às séries temporais de nível da água para a porção norte e sul do Lago Maior, A1 (à esquerda) e A2 (à direita), respectivamente. Já os gráficos inferiores representam a variação do nível da água na Área B (Lago Menor), à esquerda, e da Área C, à direita. Ambas as séries temporais C e A1 pertencem a áreas que estão a barlavento, e, portanto, a tendência é de redução do nível e as séries B e A2, por se situarem a sotavento tendem a empilharem água junto ao contorno.

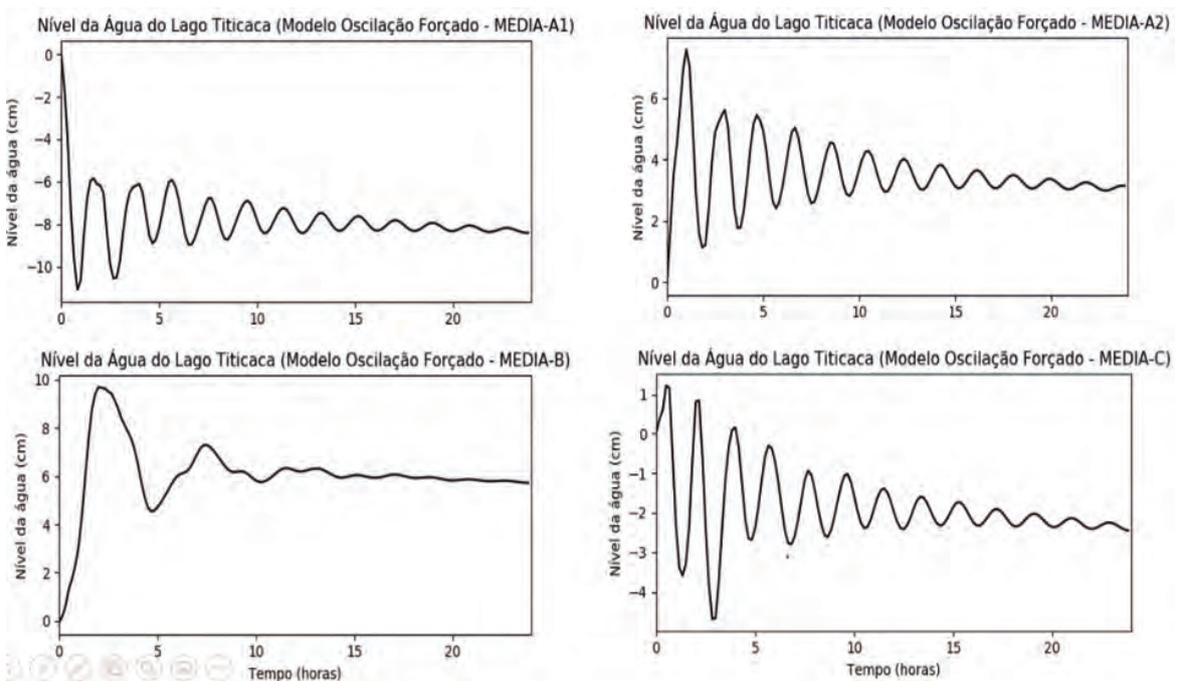


Figura 8 – Séries temporais de nível da água forçado pela atuação do vento (25 m/s, 0°) na superfície do lago.

Além disso, na Figura 8, verifica-se que após 25 horas de simulação, há um amortecimento significativo (>90%) das oscilações devido à atuação do vento, direcionando assim, o escoamento a um regime estacionário.

Para uma análise do nível ao longo do Lago Titicaca, a Figura 9 contém setas que representam a direção do escoamento da água do lago devido à ação do vento e a variação espacial do nível. O tamanho da seta representa a intensidade do fluxo/corrente. Nessa



figura, é verificada uma corrente predominantemente de sudeste no Lago Maior, enquanto no Lago menor as correntes apresentam direções variadas em função da morfologia local.

O maior valor encontrado de empilhamento foi de 0.09 m, ocorrendo na porção sul do Lago Menor, enquanto o maior valor de rebaixamento foi de -0.1 m, na porção mais ao norte do Lago Maior. Embora no Lago Menor esteja presente o maior empilhamento, o desnível presente nesta parcela foi de 0.06 m, enquanto no Lago Maior foi de 0.14 m.

De maneira qualitativa, verificamos que os vetores velocidade tem seus menores módulos próximos às margens e regiões abrigadas e as maiores velocidades estão localizadas no Estreito de Tiquina, onde ocorre uma constrição entre as regiões do Lago Maior e Lago Menor.

De posse dos resultados obtidos acima tanto para a abordagem analítica quanto para a numérica, podemos estabelecer uma comparação entre eles a fim de verificar se a ordem de grandeza destes resultados está

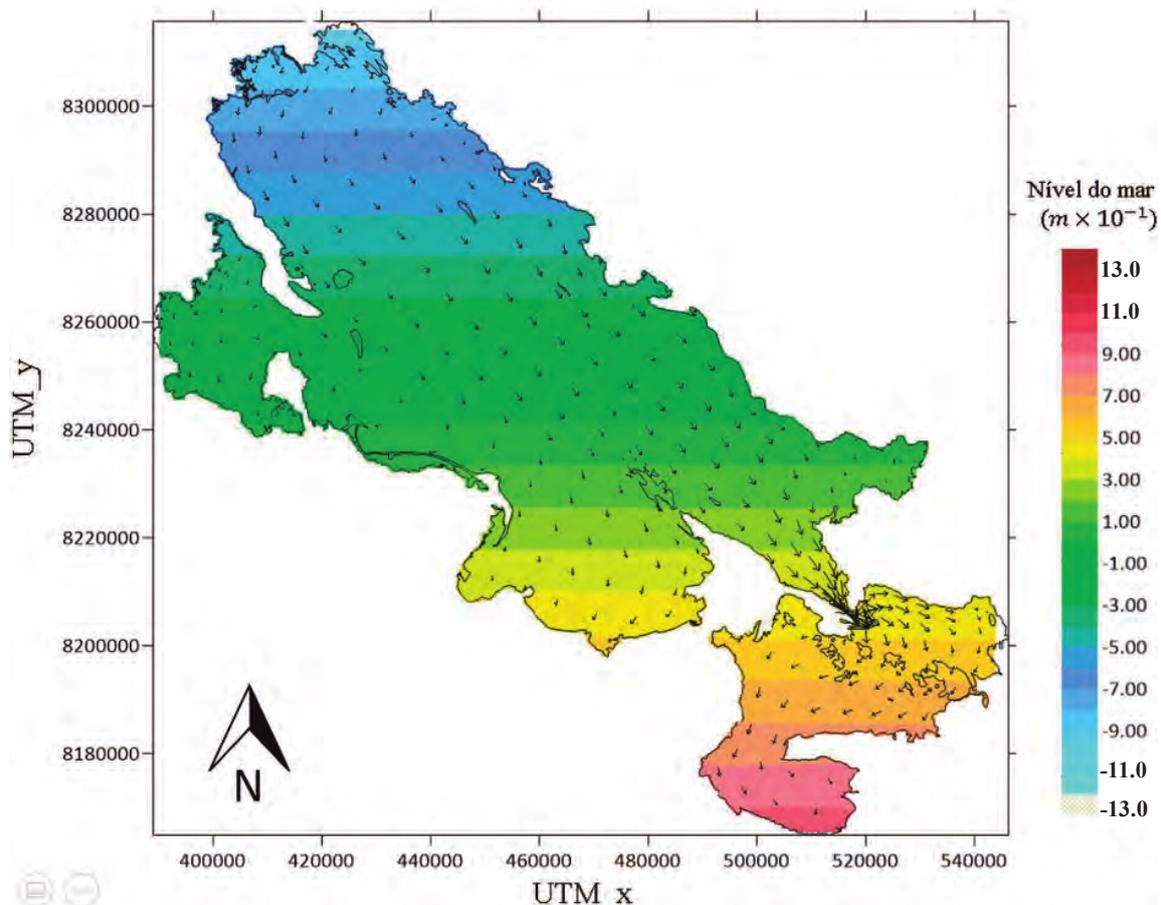


Figura 9 – Distribuição espacial do nível da água do Lago Titicaca devido à atuação do vento típico, 25 m/s e 0°, e os vetores de velocidade do escoamento do lago em regime estacionário após 48 horas.

compatível. Por este motivo, tomaremos os respectivos valores aproximados.

Para tal, iremos apresentar os resultados considerando o empilhamento máximo, em centímetros, para o Lago Maior, para o Lago Menor e para a região C, e que podem ser vistos na tabela 1 e na figura 7, respectivamente, os resultados analítico e numérico.

Tabela 2 – Comparativo dos resultados obtidos analítica e numericamente para o empilhamento da água causado pelo vento, em centímetros.

Região	Analítico	Númerico
Lago Menor	2,3	9
Lago Maior	10,2	7,39
C	2,1	1

Como visto na Tabela 2, os resultados apresentam-se bastante coerentes no que diz respeito a ordem de grandeza e, portanto, as duas maneiras de análise mostram-se compatíveis.

4.3 Simulação dos Seiches

Ao retirar a ação do vento como promotora do empilhamento, a força gradiente faz com que uma onda livre se propague. Na Figura 10, encontram-se os espectros de energia do nível do mar em 25 horas de simulação. O gráfico superior esquerdo foi obtido através da série temporal registrada no eixo M1 contido na Área B (Lago Menor), já o gráfico à direita provém do registro de nível no eixo M11 na Área A (Lago Maior), e o gráfico inferior através do registro no eixo M9 na Área C.

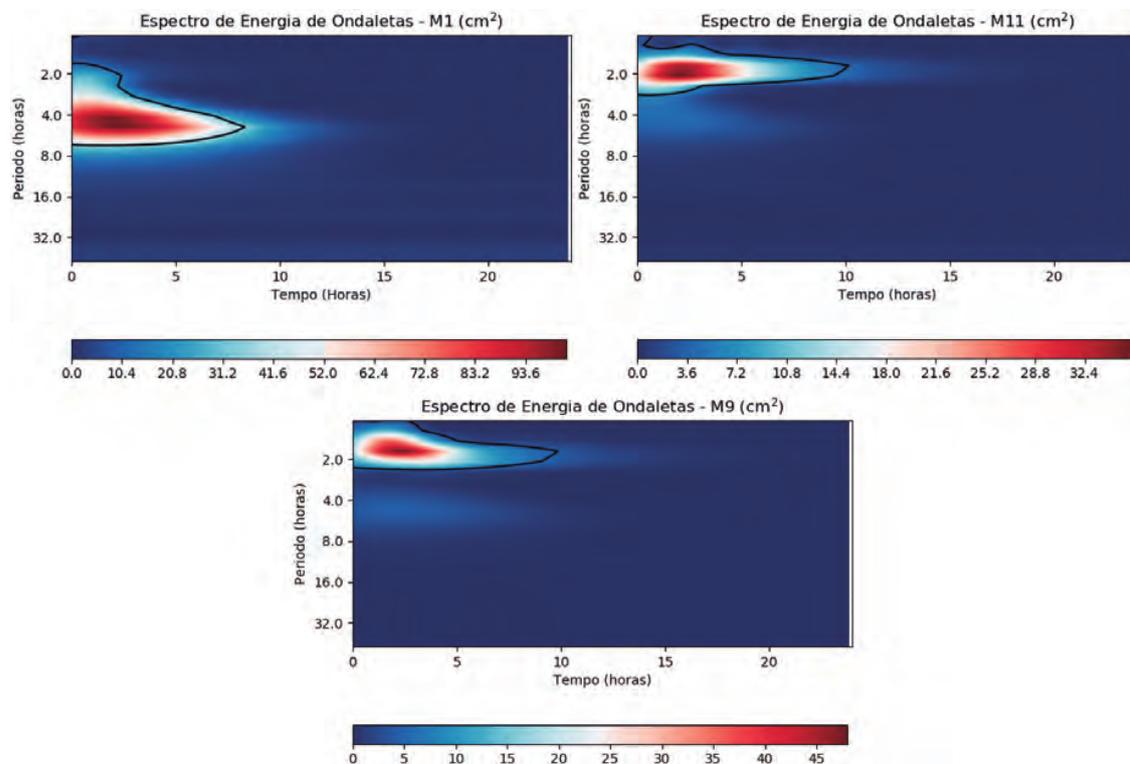


Figura 10 – Espectros de energia para os eixos M1, M9 e M11. Gráficos de períodos pelo tempo, com as barras de cor representando a energia dos Seiches em cm^2 . A maior parte da energia está concentrada nas primeiras 5 horas e em períodos entre 2 e 4 horas. A linha preta contínua representa a região onde o espectro de energia foi calculado com 95% de confiabilidade.



Em uma análise geral dos gráficos da Figura 10, tem-se que a degeneração da energia ocorre de maneira significativa nas primeiras 10 horas da simulação. No Lago Menor, eixo M1, se encontram os maiores valores de energia do sistema lacustre, acima de 90 cm^2 , cujo período é de 4,87 horas. Este valor se mostra bastante discrepante do valor encontrado analiticamente na Tabela 1 para o eixo M1 como valor de 24 minutos. Isso se deve possivelmente à complexidade geométrica da região que não é resolvida pela Eq. 1, e, portanto, equações que considerem afunilamentos e barreiras devem ser aplicadas (Kabiri, 2013).

Os gráficos dos eixos M11 e M9, contidos nas áreas A e C apresentaram valores de energia inferiores a 50 cm^2 , sendo valores muito inferiores ao da Área B. Além disso, os períodos de maior energia para as áreas A e C foram respectivamente 2,05 e 1,71 horas.

Carbonel & Pacheco (1989), analisando separadamente o Lago Maior e o Lago Menor com um modelo hidrodinâmico baseado no método de diferenças finitas, encontraram os valores 2,05 e 5,24 respectivamente para os primeiros modos de oscilação do lago, sendo assim, pode-se dizer que há uma coerência significativa entre estes e o valor encontrado na modelagem feita neste trabalho. Embora o valor encontrado para Lago Menor esteja dentro do intervalo de confiança de 95%, o resultado foi mais discrepante. Isso se deve, possivelmente, pela consideração de uma batimetria homogênea ao longo de todo o lago sendo a batimetria real desta área bem menor que a do Lago Maior. Além disso, a geometria do Lago Menor não é apropriada para a aplicação da Equação de Merian segundo o preconizado por Wilson (1972).

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Embora este trabalho não tenha representado a batimetria do lago através dos dados de cartas náutica, isso não inviabilizou o presente estudo. Sendo assim, o uso conjunto de equações analíticas e modelo numérico hidrodinâmico permitiu uma análise preliminar dos Seiches presentes no lago Titicaca, em especial, do período fundamental dos principais setores do lago.

A comparação dos resultados provenientes da equação analítica de Merian e da modelagem hidrodinâmica convergiu para o apresentado por Carbonel (1989) para o primeiro modo de oscilação em ambos os lagos. Isso nos mostra que os cálculos obtidos pela fórmula apresentam resultados satisfatórios, quando comparado com resultados numérico para condições de contorno batimétrico bastante simplificadas, como as paredes verticais e fundo plano. Neste caso, foi possível concluir que os modelos analítico e numérico se apresentaram com bastante consistência, indicando resultados compatíveis com os já conhecidos pela literatura.

Para expandir a metodologia utilizada com o objetivo de estudos, não apenas dos Seiches, mas da hidrodinâmica do lago por completa, sugere-se:

i) Solicitar à Diretoria Geral de Hidrografia do Peru, a fim de obter dados batimétricos de todo o Lago Titicaca e, assim, produzir resultados mais precisos.

ii) Aplicar equações analíticas que se ajustem às características geométricas do Lago Titicaca, em particular às características apresentadas pelo Estreito de Tiquina, por exemplo, as equações utilizadas em Kabiri (2013).



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEZUYEN, *et al.* *Inleiding waterbouwkunde*. Collegedictaat CT2320. Delft. 2012

BRAS, V. M. C. *Modelling of long waves (seches) in Cascais Bay*. Lisboa Portugal: Instituto Superior Técnico, 2016.

CARBONEL, C; PACHECO, F. *Características Oscilatorias del Lago Titicaca*. Instituto Geofísico del Perú, 1989.

CLAURE, D. Y ANDRE, I. *El Lago Titicaca, síntesis del conocimiento Limnológico actual*. La Paz-Bolivia: Hisbol, Instituto de Historia Social Boliviana 1991.

FERNANDEZ, C. (25 de julio de 2019). *Puno: fuertes vientos en el lago Titicaca generan pérdidas en criaderos de truchas*. El Comercio. Disponível em: <<https://elcomercio.pe/peru/puno/puno-fuertes-vientos-lago-titicaca-generan-perdidas-criaderos-trucha-noticia-658909-noticia/>>. Acesso em: 15 de outubro de 2019.

FOREL, F. A. *Le Lemán (collected papers)*. Lausanne, Switzerland.. 1892

KABIRI, S. Natural frequencies of seiches in a closed trapezoidal basin with internal barriers. *Journal of civil Engineering Research*, 2013.

MERIAN, J. R. *Ueber die Bewegung tropfbarer Flüssigkeiten in Gefässen*. Basel: Schweighauser, 1828.

RABINOVICH, A. B. *Seiches and Harbour Oscillations*. Sidney, Canada: Department of Fisheries and oceans, Institute of Oceans Sciences West Saanich Road, 2008.

ROSMAN, P. *Referência técnica do (SISBAHIA) Sistema de Base de Hidrodinâmica Ambiental*. Escola Politécnica e da Área de Engenharia Costeira e Oceanografia do programa de Engenharia Oceânica da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

SMITH, S.D. Coefficients for sea surface wind stress, heat flux, and wind profiles. *Journal of Geophysical research*, 1988.

SORENSEN, R. *Basic Wave Mechanics for Coastal and Ocean Engineers*. Jhon Wiley & Son, 1993.

TORRENCE, C.; COMPO, G. *Program in Atmospheric and Oceans Sciences*. University of Colorado, Colorado, 1991.

VAN RISUM, G. P. *Accuracy wind set-up formula for irregularly shaped lakes with a strong varying water depth*. Tese de Bacharelado em Engenharia Civil e Geociências. Delft University Technology. 2015.



VICKERS, D.; MARTH, L. *Fetch Limited Drag Coefficients*. College of Oceanic and Atmospheric science. Oregon State University, Corvallis, OR 97331, USA. 1997.

VILLA, M. (19 de dezembro de 2012). Nuevo naufragio en el Titicaca; rescatan a 17 personas con vida. *La Razón*. Disponível em: <http://www.la-razon.com/ciudades/Nuevo-naufragio-Titicaca-rescatan-personas_0_1745225482.html>. Acesso em: 20 de agosto de 2019.

WEING, H.; LAU, K. M. *Wavelets. Period Doubling, and Time-Frequency Localization with Application to Organization of Convection over the Tropical Western Pacific*. Laboratory for Atmospheres, NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Meryland, 1994.

WILSON, B. W. *Seiches. Advances in Hydroscience*. Pasadena, California, 8, 1-94, 1972.

