



CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA COSTEIRA DA PRAIA DE OFIR COM RECURSO A SENSORES DE PRESSÃO

MARIA CAROLINA TRINDADE TATIT

Outubro de 2018

**CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA COSTEIRA DA
PRAIA DE OFIR COM RECURSO A SENSORES DE PRESSÃO**

MARIA CAROLINA TRINDADE TATIT

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE INFRAESTRUTURAS

Orientador: Tiago André Martins de Azevedo Abreu

Co-Orientador: João Emílio Matos (ISEP) e Rolando Gaal Vadas (UPM)

OUTUBRO DE 2018

ÍNDICE GERAL

| | |
|---|------|
| Índice Geral..... | iii |
| Resumo | v |
| Abstract | vii |
| Agradecimentos..... | ix |
| Índice de Texto | xi |
| Índice de Figuras | xiii |
| Índice de Tabelas | xix |
| Abreviaturas | xxi |
| CAPÍTULO 1 Introdução | 1 |
| CAPÍTULO 2 Revisão da Literatura | 3 |
| CAPÍTULO 3 Estudo de Caso..... | 15 |
| CAPÍTULO 4 Processamento dos Dados Parte 1: Análise Comparativa das Três Técnicas Espectrais. 20 | |
| CAPÍTULO 5 Processamento dos Dados Parte 2: Análise dos Parâmetros Relativos à Assimetria das Ondas 45 | |
| CAPÍTULO 6 Considerações Finais..... | 65 |
| Referências Bibliográficas..... | 67 |

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar a dinâmica costeira, na zona da Praia de Ofir (Portugal), à luz da teoria da hidrodinâmica, entre maré baixa (baixa-mar) e maré alta (preia-mar). A análise se desenvolve através da comparação destes três métodos: Transformada de Fourier, técnica de Wavelet e Transformada de Hilbert-Huang. Os dados foram coletados a partir de sensores de pressão (PT) e processados no *software* Matlab, onde foram gerados os espectros dos respectivos métodos, para cada um dos seis PT que foram utilizados durante a coleta de dados da Campanha. Os resultados obtidos mostraram que existe uma inter-relação entre as características das ondas e a morfologia do local. Em seguida, em uma segunda parte da análise, utilizou-se filtros que permitiram decompor os sinais das ondas, em espectros com maior nível de detalhes. Assim, possibilitou averiguar, de maneira mais clara, o nível de assimetria presente nas séries de ondas.

Palavras-chave: Hidrodinâmica. Ondas marítimas. Transformada de Fourier, Wavelet e Hilbert-Huang. Processamento de sinais. Assimetria.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the behavior of sea waves in the coast of Ofir (Portugal), in the light of hydrodynamic theory, during the high tide. The analysis is developed by comparing these three methods: Fourier transform, Wavelet technique and Hilbert-Huang transform. The data was collected from pressure sensors (PT) and processed in Matlab software, which generated the method's spectra for each of the six PTs that were used during the data collection in the Campaign. The results indicate an interrelationship between the characteristics of the waves and the morphology of the place. Then, in a second part of the analysis, it was used filters that allowed to decompose the wave signals into spectra in more details. Thus, it was possible to verify, more clearly, the level of asymmetry present in the wave series.

Keywords: Hydrodynamic. Sea waves. Fourier Transform, Wavelet and Hilbert-Huang. Signal processing. MatLab. Asymmetry.

AGRADECIMENTOS

Ao meu estimado professor, orientador e engenheiro, Tiago Abreu, por ter colaborado, direta e indiretamente, no aumento de meu interesse pela área marítima e pelas demasiadas horas dispensadas em me orientar e me ensinar tudo que fosse referente à realização deste trabalho.

Aos meus pais, por toda educação, carinho e incentivo que me deram durante todos esses anos de vida.

Não menos importante, quero agradecer ao Instituto Superior de Engenharia do Porto e à Universidade Presbiteriana Mackenzie, pela oportunidade única que recebi em participar do Programa de Dupla Titulação, que foi estabelecido de comum acordo entre essas duas instituições de ensino.

ÍNDICE DE TEXTO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1.1 | Considerações Iniciais | 1 |
| 1.2 | Objetivos | 1 |
| 1.3 | Estrutura do Trabalho | 2 |
| 2.1 | Hidrodinâmica das ondas do mar | 3 |
| 2.1.1 | Geração das ondas por ação do vento | 3 |
| 2.1.2 | Geração das ondas por ação das marés | 5 |
| 2.1.3 | Propagação de ondas | 7 |
| 2.2 | Características das Ondas do Mar | 8 |
| 2.2.1 | Teoria Linear e não Linear das ondas | 8 |
| 2.2.2 | Teoria Estacionária e não estacionária | 9 |
| 2.3 | Métodos Usuais de Análise de Dados para Espectros de Ondas..... | 9 |
| 2.3.1 | Transformada de Fourier | 9 |
| 2.3.2 | Transformada de <i>Wavelet</i> (ou Onduleta)..... | 11 |
| 2.3.3 | Transformada de Hilbert-Huang (HHT)..... | 12 |
| 3.1 | Descrição da Campanha – Praia de Ofir | 15 |
| 3.1.1 | Clima da região e tempo durante o estudo de caso..... | 15 |
| 3.1.2 | Construções existentes na faixa costeira..... | 15 |
| 3.2 | Coleta de dados | 16 |
| 4.1 | Análise PT1 e PT4..... | 21 |
| 4.1.1 | Tempo 2 (12:39 às 12:59)..... | 21 |
| 4.1.2 | Tempo 3 (13:46 às 14:06)..... | 24 |
| 4.1.3 | Tempo 4 (15:05 – 15:25) | 27 |
| 4.1.4 | Tempo 5 (16:24 – 16:44) | 29 |
| 4.1.5 | Tempo 6 (17:31 – 17:51) | 31 |
| 4.2 | Análise PT2 | 33 |
| 4.2.1 | Tempo 3 (13:46 às 14:06)..... | 33 |
| 4.2.2 | Tempo 4 (15:05 – 15:25) | 34 |

| | | |
|------------|---------------------------------------|-----------|
| 4.2.3 | Tempo 5 (16:24 – 16:44) | 35 |
| 4.3 | Análise PT3 e PT5..... | 36 |
| 4.3.1 | Tempo 3 (13:46 às 14:06)..... | 37 |
| 4.3.2 | Tempo 4 (15:05 – 15:25) | 39 |
| 4.3.3 | Tempo 5 (16:24 – 16:44) | 41 |
| 4.4 | Análise PT6 | 43 |
| 5.1 | Análise PT1 | 45 |
| 5.2 | Análise PT2 | 50 |
| 5.3 | Análise PT3 | 53 |
| 5.4 | Análise PT4 | 56 |
| 5.5 | Análise PT5 | 58 |
| 5.6 | Análise PT6 | 61 |
| 6.1 | Conclusões..... | 65 |
| 6.2 | Desenvolvimentos Futuros | 66 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 – Formação de onda pela ação do vento em mar aberto..... | 3 |
| Figura 2.2 – Terminologias de onda. | 4 |
| Figura 2.3 – Efeito das marés devido às fases lunares. Fonte: Tábua de Marés | 6 |
| Figura 2.4 – Esboço do movimento orbital das partículas de ondas. Fonte: Tiago Abreu..... | 7 |
| Figura 2.5 – Sinal de onda. Fonte: Matos (2017, p.30)..... | 10 |
| Figura 2.6 – Transformada de Fourier. Fonte: Matos (2017, p.30) | 10 |
| Figura 2.7 – Transformada de <i>Wavelet</i> . Fonte: Taylor & Francis Group (2006) | 11 |
| Figura 2.8 – Transformada de <i>Wavelet</i> . Fonte: Matos (2017, p. 30)..... | 12 |
| Figura 2.9 – A: Série temporal e B: IMFs obtidas da decomposição em modos empíricos (EMD). Fonte: Huang <i>et al.</i> (1998)..... | 13 |
| Figura 2.10 – Espectros de energia (m ² /HZ): a) Análise de Fourier; b) Técnica Wavelet; c) Espectro Hilbert. Fonte: Neves et al. (2012) | 13 |
| Figura 3.1 – Vista aérea da Praia de Ofir. Fonte: Google Maps | 16 |
| Figura 3.2 – Maré Astronómica de Viana do Castelo..... | 16 |
| Figura 3.3 – Posicionamento dos instrumentos na Campanha. | 17 |
| Figura 3.4 – Perfil transversal da praia de Ofir. | 18 |
| Figura 3.5 – Fotografias registradas do PT1 em diferentes momentos na Campanha Praia de Ofir..... | 18 |
| Figura 4.1 – Curvas de profundidade de cada PT. | 20 |
| Figura 4.2 – Gráfico da profundidade do PT1 em função do tempo. | 21 |
| Figura 4.3 – Espectros de Profundidade do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 2. | 22 |
| Figura 4.4 – Espectros de Fourier do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 2. | 22 |
| Figura 4.5 – Espectros de Ôndulas do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 2..... | 23 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.6 – Espectro de Hilbert-Huang do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 2. | 24 |
| Figura 4.7 – Espectros de Profundidade do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 3. | 24 |
| Figura 4.8 – Espectros de Fourier do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 3. | 25 |
| Figura 4.9 – Espectros de Ôndulas do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 3. | 26 |
| Figura 4.10 – Espectro de Hilbert-Huang do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 3. | 26 |
| Figura 4.11 – Espectros de Profundidade do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 4. | 27 |
| Figura 4.12 – Espectros de Fourier do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 4. | 27 |
| Figura 4.13 – Espectros de Ôndulas do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 4. | 28 |
| Figura 4.14 – Espectro de Hilbert-Huang do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 4. | 28 |
| Figura 4.15 – Espectros de Profundidade do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 5. | 29 |
| Figura 4.16 – Espectros de Fourier do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 5. | 29 |
| Figura 4.17 – Espectros de Ôndulas do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 5. | 30 |
| Figura 4.18 – Espectro de Hilbert-Huang do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 5. | 30 |
| Figura 4.19 – Espectros de Profundidade do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 6. | 31 |
| Figura 4.20 – Espectros de Fourier do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 6. | 31 |
| Figura 4.21 – Espectros de Ôndulas do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 6. | 32 |
| Figura 4.22 – Espectro de Hilbert-Huang do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 6. | 32 |
| Figura 4.23 – Espectros de Profundidade e de Fourier, respectivamente, do PT2 para Tempo 3. | 33 |
| Figura 4.24 – Espectro de Ôndulas do PT2 para Tempo 3. | 33 |
| Figura 4.25 – Espectro de Hilbert-Huang do PT2 para Tempo 3. | 34 |
| Figura 4.26 – Espectros de Profundidade e de Fourier, respectivamente, do PT2 para Tempo 4. | 34 |
| Figura 4.27 – Espectro de Ôndulas do PT2 para Tempo 4. | 35 |
| Figura 4.28 – Espectro de Hilbert-Huang do PT2 para Tempo 4. | 35 |
| Figura 4.29 – Espectros de Profundidade e de Fourier, respectivamente, do PT2 para Tempo 5. | 36 |
| Figura 4.30 – Espectro de Ôndulas do PT2 para Tempo 5. | 36 |
| Figura 4.31 – Espectro de Hilbert-Huang do PT2 para Tempo 5. | 36 |
| Figura 4.32 – Espectros de profundidade do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 3. | 37 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.33 – Espectros de Fourier do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 3 | 37 |
| Figura 4.34 – Espectros de Ôndulas do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 3..... | 38 |
| Figura 4.35 – Espectro de Hilbert-Huang do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 3..... | 39 |
| Figura 4.36 – Espectros de profundidade do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 4..... | 39 |
| Figura 4.37 – Espectros de Fourier do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 4. | 40 |
| Figura 4.38 – Espectros de Ôndulas do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 4..... | 40 |
| Figura 4.39 – Espectro de Hilbert-Huang do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 4..... | 41 |
| Figura 4.40 – Espectros de profundidade do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 5..... | 41 |
| Figura 4.41 – Espectros de Fourier do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 5. | 42 |
| Figura 4.42 – Espectros de Ôndulas do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 5..... | 42 |
| Figura 4.43 – Espectro de Hilbert-Huang do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 5..... | 43 |
| Figura 4.44 – Espectros de Profundidade e de Fourier, respectivamente, do PT6 para Tempo 4. | 44 |
| Figura 4.45 – Espectro de Ôndulas do PT6 para Tempo 4..... | 44 |
| Figura 4.46 – Espectro de Hilbert-Huang do PT6 para Tempo 4..... | 44 |
| Figura 5.1 – Profundidade das ondas do PT1 | 46 |
| Figura 5.2 – Altura das ondas significativas do PT1..... | 46 |
| Figura 5.3 – Períodos de pico das ondas do PT1..... | 47 |
| Figura 5.4 – Variação do parâmetro R relativo à assimetria de velocidade do PT1. | 48 |
| Figura 5.5 – Variação do parâmetro α relativo à assimetria de aceleração do PT1. | 48 |
| Figura 5.6 – Variação do parâmetro de forma ϕ relativo à assimetria do PT1..... | 49 |
| Figura 5.7 – Índice r relativo à assimetria do PT1..... | 49 |
| Figura 5.8 – Profundidade das ondas do PT2 | 50 |
| Figura 5.9 – Altura das ondas significativas do PT2..... | 50 |
| Figura 5.10 – Períodos de pico das ondas do PT2..... | 51 |
| Figura 5.11 – Variação do parâmetro R relativo à assimetria de velocidade do PT2. | 51 |
| Figura 5.12 – Variação do parâmetro α relativo à assimetria de aceleração do PT2 | 52 |
| Figura 5.13 – Variação do parâmetro de forma ϕ relativo à assimetria do PT2..... | 52 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.14 – Índice r relativo à assimetria do PT2 | 52 |
| Figura 5.15 – Profundidade das ondas do PT3 | 53 |
| Figura 5.16 – Altura das ondas significativas do PT3 | 53 |
| Figura 5.17 – Períodos de pico das ondas do PT3..... | 54 |
| Figura 5.18 – Variação do parâmetro R relativo à assimetria de velocidade do PT3..... | 54 |
| Figura 5.19 – Variação do parâmetro α relativo à assimetria de aceleração do PT3 | 55 |
| Figura 5.20 – Variação do parâmetro de forma \emptyset relativo à assimetria do PT3 | 55 |
| Figura 5.21 – Índice r relativo à assimetria do PT3 | 55 |
| Figura 5.22 – Profundidade das ondas do PT4 | 56 |
| Figura 5.23 – Altura das ondas significativas do PT4 | 56 |
| Figura 5.24 – Períodos de pico das ondas do PT4..... | 57 |
| Figura 5.25 – Variação do parâmetro R relativo à assimetria de velocidade do PT4..... | 57 |
| Figura 5.26 – Variação do parâmetro α relativo à assimetria de aceleração do PT4 | 57 |
| Figura 5.27 – Variação do parâmetro de forma \emptyset relativo à assimetria do PT4..... | 58 |
| Figura 5.28 – Índice r relativo à assimetria do PT4..... | 58 |
| Figura 5.29 – Profundidade das ondas do PT5 | 59 |
| Figura 5.30 – Altura das ondas significativas do PT5 | 59 |
| Figura 5.31 – Períodos de pico das ondas do PT5..... | 59 |
| Figura 5.32 – Variação do parâmetro R relativo à assimetria de velocidade do PT5..... | 60 |
| Figura 5.33 – Variação do parâmetro α relativo à assimetria de aceleração do PT5 | 60 |
| Figura 5.34 – Variação do parâmetro de forma \emptyset relativo à assimetria do PT5 | 61 |
| Figura 5.35 – Índice r relativo à assimetria do PT5 | 61 |
| Figura 5.36 – Profundidade das ondas do PT6 | 62 |
| Figura 5.37 – Altura das ondas significativas do PT6 | 62 |
| Figura 5.38 – Períodos de pico das ondas do PT6..... | 63 |
| Figura 5.39 – Variação do parâmetro R relativo à assimetria de velocidade do PT6..... | 63 |
| Figura 5.40 – Variação do parâmetro α relativo à assimetria de aceleração do PT6 | 64 |

Figura 5.41 – Variação do parâmetro de forma ϕ relativo à assimetria do PT6..... 64

Figura 5.42 – Índice r relativo à assimetria do PT6..... 64

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|------------------|----|
| Tabela 3.1 | 19 |
|------------------|----|

ABREVIATURAS

α – Coeficiente de Assimetria de Aceleração

\emptyset – Parâmetro de Forma da Onda

h – Profundidade do Nível de Superfície Livre

H – Altura da Onda

L – Comprimento da Onda

PT – Transdutores de Pressão

T – Período da Onda

Ts – Período de Picos das ondas

r – Índice Assimétrico

R – Coeficiente de Assimetria de Velocidade

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A variação da dinâmica morfológica de zonas costeiras é questionada, há muito tempo, em relação as suas causas e consequências no comportamento das ondas do mar, sejam elas geradas pela ação do vento, sejam pela ação das marés.

No entanto, o Estado do Mar é um vasto campo de complexidade, o que dificulta a análise de seu comportamento e suas influências nas interações com a morfologia costeira. Sua complexidade se deve pela presença de fenômenos de marés, ventos, correntezas, tsunamis, objetos sólidos em mar aberto que interfere na propagação das ondas, profundidade de fundo, entre outros.

Todos esses fatores estão interligados, direta ou indiretamente. Por isso seu estudo requer muito conhecimento técnico e uma visão mais abrangente do cenário que quer ser analisado. Diante disso, existem técnicas espectrais que possibilitam avaliar o comportamento das ondas de forma a contemplar, cada vez mais, a dinâmica das ondas, principalmente, em zonas costeiras, onde há a preocupação de garantir estabilidade às construções existentes frente aos processos que podem vir a ocorrer: assoreamento e erosão.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho busca analisar a dinâmica costeira, utilizando para isso os dados coletados, a partir de transdutores de pressão, que foram coletados na Campanha Praia de Ofir. O intuito é verificar o nível de assimetria e o comportamento das ondas do mar, principalmente das que foram geradas pela ação do vento, que chegam e rebentam na linha da costa.

Para isso, toma-se como base as principais técnicas de análise espectral: Transformada de Fourier, Técnica de Wavelet e Transformada de Hilbert-Huang. Todas essas são capazes de decompor funções temporais (traduzidas em sinais) em ondas sinusoidais (campo das frequências), no entanto, todas apresentarem

certas limitações. Por isso, o uso dessas técnicas de maneira comparativa, ao analisar a dinâmica costeira, agrega ao trabalho detalhes que possibilitam chegar mais próximo da veracidade dos fatos.

Alem disso, também considera-se analisar e inter-relacionar a morfologia de fundo e o impacto que isso tem sobre o comportamento de propagação das ondas e a dinâmica de sedimentos.

Assim, constrói, dessa maneira, um cenário propício para futuros trabalhos no que concerne ao transporte de sedimentos, assunto esse de grande importância devido sua ligação direta com processos de assoreamento e erosão.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 6 capítulos.

O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução ao tema do trabalho, relacionando-se com o contexto no qual está imerso. Também, é identificado o objetivo do trabalho, como, também, representa a forma como ele será desenvolvido.

No segundo capítulo está a Revisão Bibliográfica, sessão importante que instiga o uso da pesquisa em prol de maior conhecimento técnico, base para o desenvolvimento de novas descobertas e soluções.

Já o terceiro capítulo descreve o Estudo de Caso, realizado na Campanha Praia de Ofir, bem como sua coleta de dados, estes que foram utilizados como base para o desenvolvimento deste trabalho.

Nos capítulos 4 e 5, são apresentados e analisados os resultados que foram processados no Excel e Matlab dos seis Transdutores de Pressão (PT) que foram posicionados na praia.

Por fim, o capítulo 6 conta com a conclusão e apresentação de possíveis trabalhos futuro, que darão continuidade aos assuntos referentes a este trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HIDRODINÂMICA DAS ONDAS DO MAR

A hidrodinâmica estuda o movimento dos fluidos. Trata-se de um estudo que busca compreender e prever o comportamento dinâmico da água em seu estado líquido e de sua interação com corpos sólidos. As ondas do mar, por exemplo, apesar de não terem carácter linear e simétrico, possuem certas características que a hidrodinâmica permiti esclarecer, desde a sua geração até o momento em que ela se arrebentará.

2.1.1 Geração das ondas por ação do vento

As ondas marítimas são geradas, principalmente, como resultado da ação do vento. Este cria forças de pressão e fricção que, ao entrar em contato com a superfície dos oceanos, resulta em seu desequilíbrio e, assim, na formação das ondas.

Ademais, já é conhecido que a geração de ondas não depende apenas da velocidade do vento, mas, também, da pista (em inglês, *fetch*) que corresponde ao local onde o vento está atuando e de sua duração, como ilustra a Figura 2.1 abaixo.

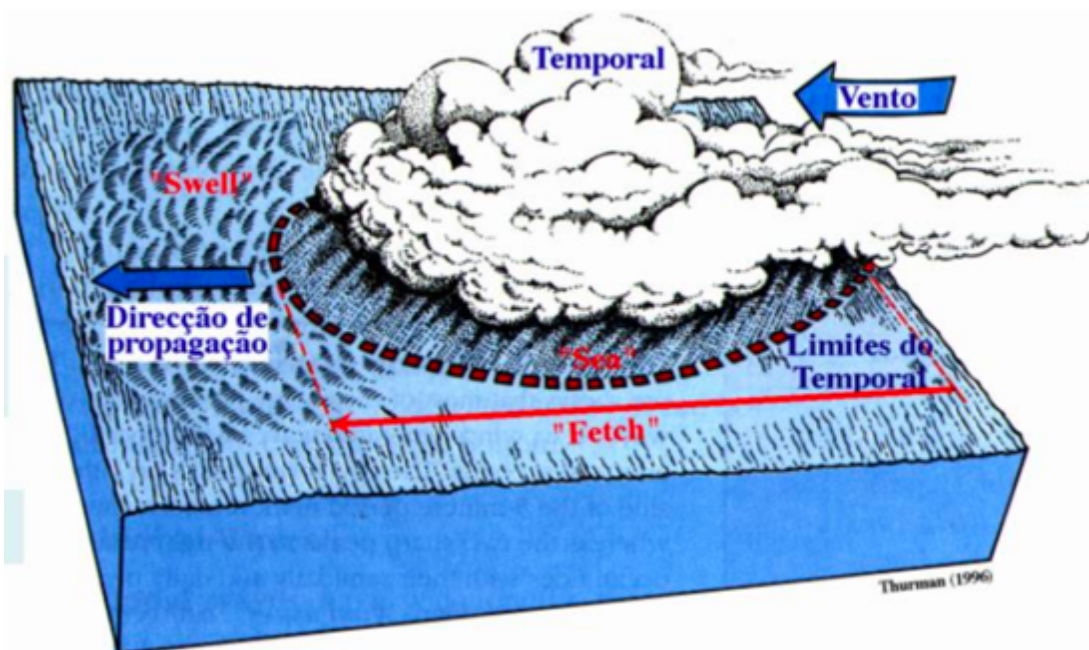


Figura 2.1 – Formação de onda pela ação do vento em mar aberto.

Lavoisier, em sua teoria de Conservação da Massa, concluiu em seu princípio que “Nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.”. Do mesmo modo, a energia encontrada nos ventos é, em parte, absorvida na superfície do mar através do processo de fricção, que ocorre entre o vento e a água.

A área da superfície perturbada se recompõe pela ação da gravidade. Com isso, as forças de pressão exercida pelo vento em conjunto com a ação da gravidade permitem a ocorrência de uma interação cíclica, que induz a propagação das ondas.

Na imagem da Figura 2.2 a seguir, nota-se que as ondas possuem um processo cíclico de formação. No entanto, devido a instabilidade dos meios causadores (vento e chuva) e da presença de corpos sólidos durante seu deslocamento, as ondas do mar são conhecidas como não lineares e não estacionárias.

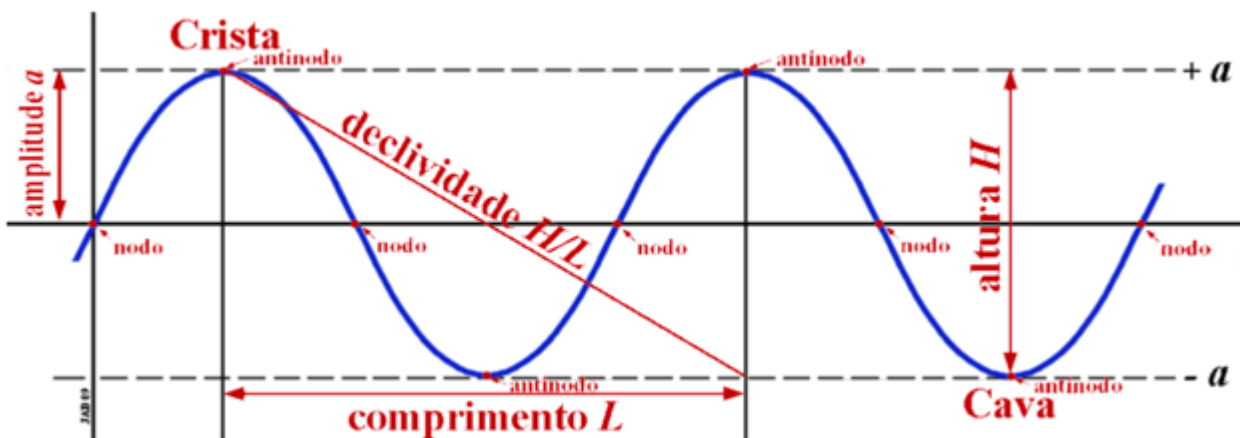


Figura 2.2 – Terminologias de onda.

O local de geração da onda encontra-se em uma zona de agitação marítima turbulenta, que ficou denominada de Vaga (“*sea*”). Neste estágio, a onda apresenta espectro irregular, períodos curtos (comprimento L pequeno) e, conseqüentemente, declividade elevada (altura H /comprimento L).

Quando a onda não se encontra mais sob influência do vento, seja pela cessação do vento ou quando as ondas avançam para outra região sem vento, recebem o nome de Ondulação (*swell* em inglês). Neste estágio, a onda possui espectro quase regular e manso, com longos períodos de onda (comprimento L grande) e baixa declividade (H/L).

No entanto, o Estado do Mar é caracterizado não apenas pelas ondas geradas pela ação do vento, mas também por outros fatores naturais como as marés astronômicas, que diferente das de vento, formam as ondas com menor intensidade de energia e, com isso, se tornam mais previsíveis e regulares.

2.1.2 Geração das ondas por ação das marés

Os fenômenos das marés, também interferem significativamente na elevação da superfície livre na zona costeira e, conseqüentemente, nos processos de erosão e deposição de sedimentos nessa área. São movimentos oscilatórios periódicos do nível do mar. Tratam-se de um fenômeno astronômico que possui como agentes principais a força gravitacional da Lua e do Sol, que é calculada a partir da lei de gravitação universal de Isaac Newton, como mostra a equação a seguir:

$$F = G \times \frac{(m_1 \times m_2)}{r^2} \quad (2.1)$$

onde,

F = força de atração gravitacional entre dois corpos;

G = constante de gravitação universal;

m = massa do corpo;

r = distância entre os centros de gravidade dos corpos.

O Sol possui valor em massa cerca de 333000 vezes a massa da Terra; já em relação a Lua este valor corresponde a 1/81 da massa da Terra. Apesar do Sol ter um valor de massa extremamente superior em relação ao da Lua, ele se localiza a uma distância que equivale aproximadamente 389 vezes a distância entre a Terra e a Lua. Com isso, a força gravitacional exercida pela Lua é de maior relevância, devido a sua proximidade com a Terra.

Há, também, agentes secundários que provocam alterações no nível do mar, como a pressão atmosférica, o vento e a chuva e a morfologia da zona costeira. Com exceção deste último, os outros são fatores imprevisíveis e, portanto, não são considerados na previsão de marés.

As marés ocorrem devido a ação das forças gravíticas da Lua e do Sol sobre às massas de água na Terra. O processo ocorre quando a Lua atrai as massas de água de um lado da Terra e, ao mesmo tempo, no lado oposto, a maré é causada pela ação centrífuga.

Na região costeira, o cenário hidráulico encontra-se em função de certas circunstâncias que interferem no movimento, alcance e altura da água que chega na zona costeira. Estas são: posição relativa da Lua e do Sol; posição geográfica do local; morfologia da praia; o contorno da orla; o tipo e granulometria do material encontrado na orla (pedra, areia, com ou sem vegetação); velocidade dos ventos e correntes nas imediações e se há tempestade em alto mar (OLIVEIRA, 2016).

As marés podem ser classificadas segundo dois fatores: altura da maré e fase da Lua (posição em que se encontra a Lua e o Sol).

Conforme a altura da maré, existe a maré alta (preia-mar) e maré baixa (baixa-mar). A primeira se caracteriza quando o nível de água é o mais elevado, durante o ciclo das marés. Ocorre ao contrário na maré baixa, onde se encontra o nível mais baixo de altura da água do mar. Normalmente, ao longo do dia, ocorrem duas preia-mar e duas baixa-mar.

Em relação a fase lunar, existem dois tipos de marés: marés vivas (ou sizígia) e marés mortas (ou quadratura). No primeiro caso, as forças gravitacionais do Sol e da Lua se encontram na mesma direção (durante as luas nova e cheia) somando, assim, suas forças e resultando nas maiores marés altas e nas menores marés baixas. Já no segundo caso, nas luas minguante e crescente, as forças gravitacionais do Sol estão em direções diferentes das da Lua (posição transversal), acabando por subtrair parte dessas forças e produzindo as marés mais baixas, ou seja, a variação do nível das águas entre uma preia-mar e baixa-mar foi a menor possível (veja Figura 2.3). O ciclo lunar completo corresponde, aproximadamente, 29 dias (tempo transcorrido entre duas luas novas consecutivas).

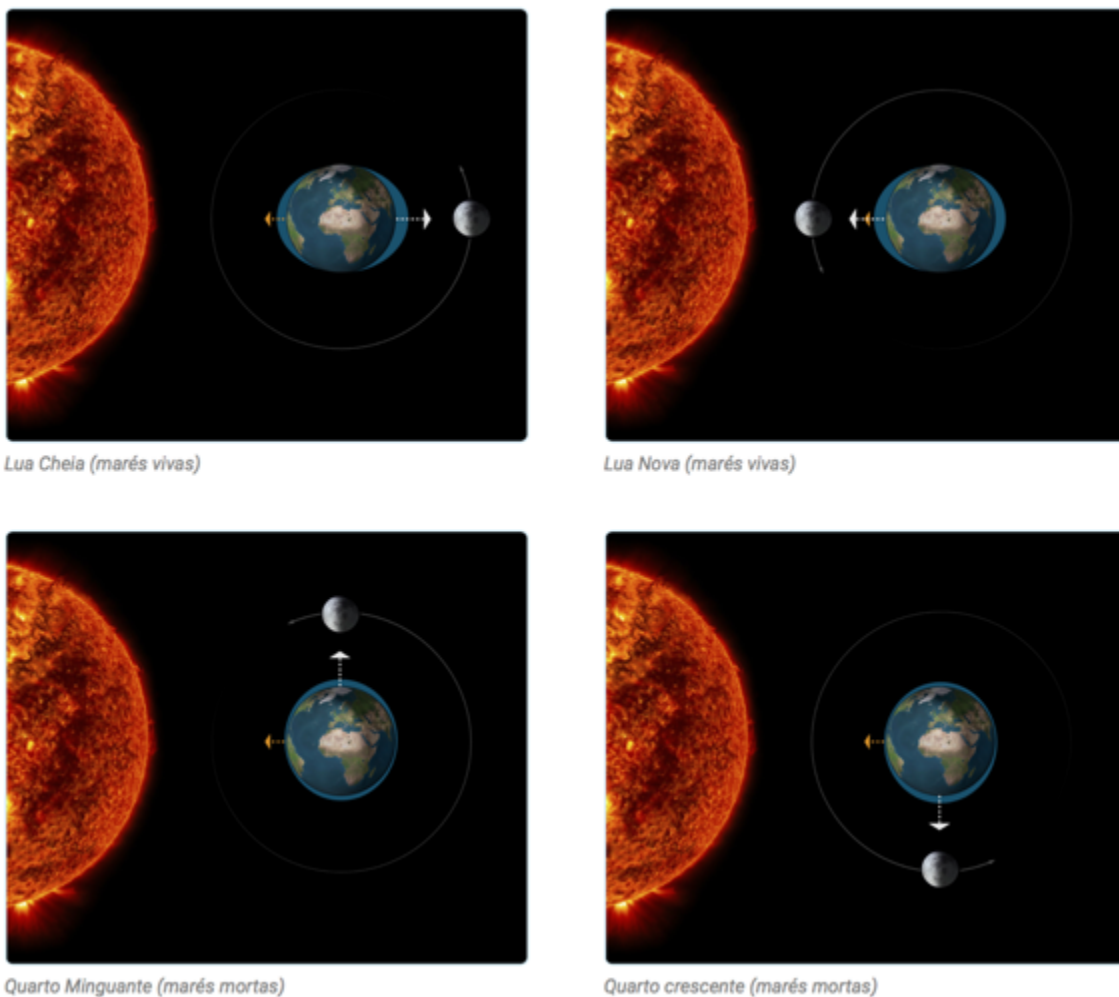


Figura 2.3 – Efeito das marés devido às fases lunares. Fonte: Tábua de Marés

A onda gerada pela ação de maré possui característica semelhante ao caso de onda gerada pela ação do vento no estágio de Ondulação (Swell), pois apresenta caráter mais regular e manso, com a diferença de apresentar uma intensidade de energia menor.

2.1.3 Propagação de ondas

As ondas do mar sofrem mudanças no seu perfil, conforme elas se propagam em direção à linha da costa. Isso ocorre, principalmente, devido aos obstáculos que se encontram ao longo do caminho e às mudanças na profundidade do oceano, causando alterações na velocidade e forma da onda.

Durante a propagação da onda, as partículas que se encontram na superfície possuem movimento elíptico, que se trata de uma combinação entre ondas longitudinais (para frente e para trás) e transversais (para cima e para baixo). Ao longo da propagação, a onda pode se apresentar com outro formato.

Por exemplo, uma agitação de ondas que se propagem em direção à uma zona costeira, sofrem modificações no movimento orbital de suas partículas, como ilustra a Figura 2.4. Após analisada, notam-se três pontos: os diferentes tamanhos e formatos das órbitas e a variação da altura da onda. Com relação ao primeiro, próximo a superfície, as órbitas possuem raios maiores que decrescem à medida que a profundidade aumenta, onde deixam de existir a uma profundidade de metade da distância entre cristas consecutivas, ou seja, metade do comprimento da onda propagada. O segundo ponto, refere-se ao formato das partículas de onda que se alteram de circular para elíptica, ao entrarem em uma zona de águas com profundidade menor que metade de seu comprimento de onda. Por último, percebe-se também que a altura da onda aumenta assim em que ela se encontra em águas mais rasas e sua agitação aumenta, transformando-se em ondas de caráter não regular.

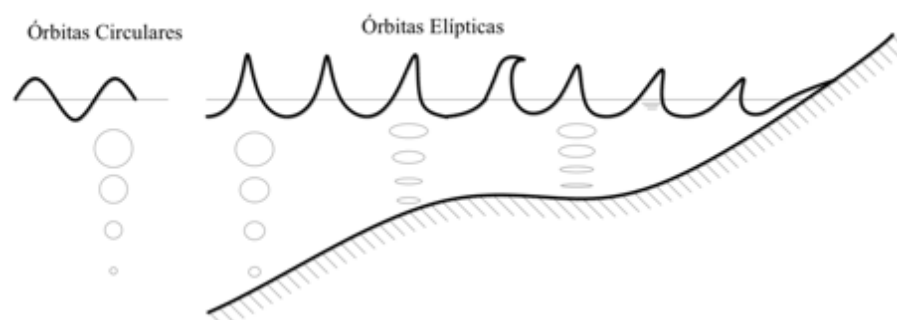


Figura 2.4 – Esboço do movimento orbital das partículas de ondas. Fonte: Tiago Abreu

Quando as ondas se aproximam de zonas de águas pouco profundas, ocorre uma alteração das características estruturais da onda, dando origem ao Empolamento. Esse processo se caracteriza pelo

aumento da altura da onda à medida que a profundidade diminui. A distância entre cristas se encurta cada vez mais (diminuição do comprimento L da onda), ocorre uma diminuição da velocidade, mesmo o período T permanecendo constante e, conseqüentemente, a amplitude da onda aumenta.

Assim, com o crescente aumento das amplitudes, proporcionalmente à medida que entra em contato com o fundo, a inclinação da onda (razão entre a altura e o comprimento da onda) chega a um valor limite de 0.142, quando, então, por não suportarem o próprio peso mais, rebenta.

Sendo assim, as características das ondas se adaptam à morfologia de fundo, ou seja, há uma relação entre a batimetria e o comportamento da onda (REEVE *et al.*, 2004 *apud* MATOS, 2017, p. 6).

2.2 CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS DO MAR

As ondas apresentam comportamentos nem sempre previsíveis. Elas, como visto anteriormente, têm caráter não linear e não estacionário, o que dificulta o estudo de seu movimento oscilatório.

2.2.1 Teoria Linear e não Linear das ondas

Segundo Abreu, Silva e Moura (2015, p.1), o caráter não linear das ondas está relacionado com a morfologia das praias, por influenciar o trânsito de sedimentos.

Para compreender melhor do que se trata o caráter não linear, torna-se mais eficiente apresentar algumas características para o diferenciar do comportamento linear, enquanto fenômenos físicos. Entre as características, nota-se três principais diferenças.

Primeiro, com relação ao movimento. Sistemas não lineares apresentam, na maioria das vezes, movimento que tende do suave ao turbulento, podendo ainda ter comportamento aleatório. Já os sistemas lineares apresentam movimentos suaves e regulares, ou seja, de caráter previsível.

Segundo, nos sistemas lineares, qualquer ação externa que produz uma perturbação na onda, causa nela uma reação suave e proporcional ao estímulo. No entanto, no sistema não linear a reação é desproporcional ao estímulo que perturbou a onda, ou seja, uma pequena variação pode causar uma enorme diferença no movimento.

Terceiro, no sistema linear ocorre o fenômeno da dispersão, que dissipa energia ao longo do tempo e o formato da perturbação vai se perdendo. Já no sistema não linear, não há uma previsão da reação do formato da onda ao longo do tempo.

Portanto, quando se trata de caráter linear, o comportamento é regular e previsível. E caráter não linear é irregular e incerto.

Sabendo disso, possuindo característica não linear, o estudo das ondas do mar se torna mais complexo e dificulta prever o formato da onda ao longo do tempo.

2.2.2 Teoria Estacionária e não estacionária

Quando uma onda apresenta uma série de oscilações e propagação de forma padronizada é chamada de onda estacionária. Já as ondas não estacionárias possuem perturbações que variam com o tempo e a distância percorrida.

A não estacionariedade das ondas está relacionada diretamente com os períodos das ondas e esse fator pode contribuir para que haja uma defasagem entre a velocidade do escoamento e a concentração de sedimentos, segundo Abreu, Silva e Moura (2015, p.1). Também, verifica-se que há possibilidade de afetar o transporte de sedimentos, “[...] através da suspensão e deposição de sedimentos.” (ABREU; SILVA; MOURA, 2015, p.1).

Diante disso, percebe-se que as ondas do mar apresentam, normalmente, formas não lineares e não estacionárias, o que dificulta sua análise.

2.3 MÉTODOS USUAIS DE ANÁLISE DE DADOS PARA ESPECTROS DE ONDAS

“A compreensão do comportamento de ondas geradas pelo vento é extremamente importante para a previsão da hidrodinâmica costeira e correta caracterização da evolução morfológica das zonas costeiras.” (MATOS, 2017, p.17).

Diante do cenário apresentado, somado com interesses de diversas outras áreas, incentivou, ao longo de aproximadamente dois séculos, a criação de métodos matemáticos que permitissem a decomposição de sinais em frequências e, posteriormente também, em amplitudes de forma instantânea, ou seja, em função do tempo. Esses métodos ficaram conhecidos como Transformadas de Fourier, técnica de Wavelet e Transformada de Hilbert-Huang (HHT).

2.3.1 Transformada de Fourier

Criada pelo matemático e físico francês, Jean Baptiste Joseph Fourier (1768 –1830), no século XVII, a Transformada de Fourier (TF) se tornou a análise espectral mais utilizada atualmente. Trata-se da decomposição de uma função temporal, traduzida em sinais (domínio de espaço), em ondas sinusoidais (domínio das frequências). Ou seja, todas as formas de ondas são a soma de sinusoides simples, porém, de diferentes frequências (energias). Supondo que a onda tenha caráter linear e estacionário (veja Figura 2.5 abaixo), o espectro de sinal captado é uniforme e previsível.

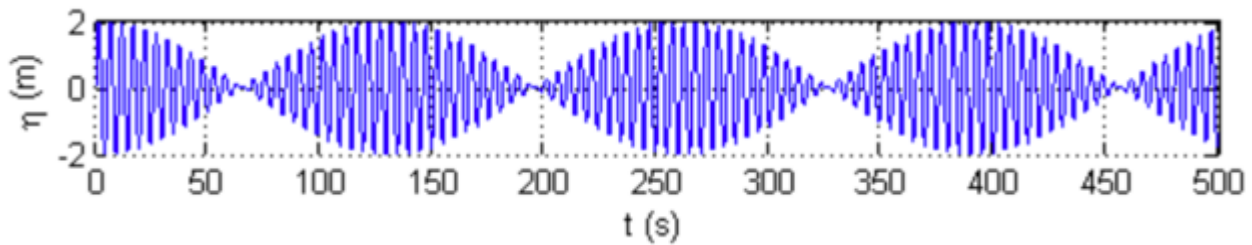


Figura 2.5 – Sinal de onda. Fonte: Matos (2017, p.30)

Devido ser mais fácil trabalhar no domínio das frequências, a Transformada de Fourier tornou seu uso de extrema importância.

No entanto, apesar de sua ampla utilização e de ser válida para diversas situações, a TF tem algumas limitações quando se trata de ondas não lineares e ondas não estacionárias, pois nestes casos, os sinais possuem características que se alteram ao longo do tempo e ela não relaciona os intervalos de tempo com as frequências.

“Para a representação de uma série temporal através de uma expansão em série de Fourier é necessário que o sistema seja linear e estacionário.”, como se assemelha na Figura 2.6 abaixo (MATOS, 2017, p. 17). A figura mostra que a o pico de maior energia se deu em um só, ou seja, é possível dizer que, independente de qualquer momento dentro de um certo tempo, não houve variação no nível de frequência. Nesse caso, sendo a frequência de valor, aproximadamente, 0,2 Hz, o período de onda é igual ao inverso da frequência, ou seja, igual a 5 segundos.

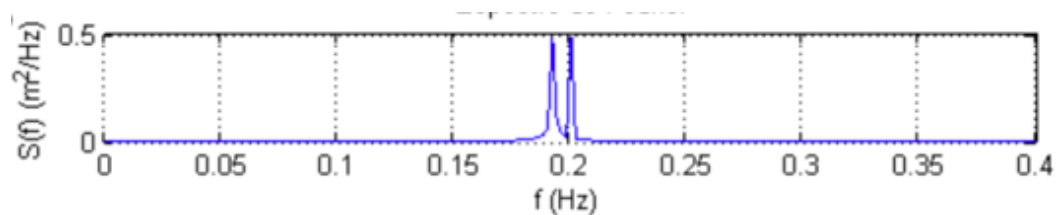


Figura 2.6 – Transformada de Fourier. Fonte: Matos (2017, p.30)

No entanto, as ondas que se encontram no mar não tendem a apresentar caráter linear e estacionário. Tendo em vista isso, a análise do comportamento das ondas encontradas em mar aberto, que este trabalho contempla, necessitam de outras técnicas de análise espectral que superem às limitações do uso da TF e atendem aos processos de ondas não estacionárias e não lineares. Dentre elas estão: Transformada de Wavelet (Ôndula) e Transformada de Hilbert-Huang (HHT). A maior vantagem delas é de computar as frequências instantâneas de um sinal.

2.3.2 Transformada de *Wavelet* (ou Onduleta)

Devido às limitações da Transformada de Fourier, estudiosos e cientistas buscaram desenvolver um método mais aprimorado, o qual pudesse atender, também, ao estudo das ondas não estacionárias.

O aprimoramento, no entanto, que teve maior relevância foi a proposta apresentada por Mallat em 1989, conhecida como Transformada de Wavelet (TW) ou Onduleta. Ela é um aperfeiçoamento da Transformada de Fourier (TF), já que “[...] tem como base uma função de duração limitada, isto é, de suporte compacto, que é uma propriedade na qual seu domínio é diferente de zero em uma extensão finita e igual a zero em todo o resto.” (BIANCHI, 2006).

Segundo Taylor e Francis Group (2006), *wavelets* são designadas por ser uma classe de funções que reescrevem uma determinada imagem ou sinal ao mesmo tempo em posição e escala, podendo ser formadas por uma função chamada “*wavelet* mãe”. Apesar de sua área ser constante, sua largura pode variar com o tempo (Figura 2.7).

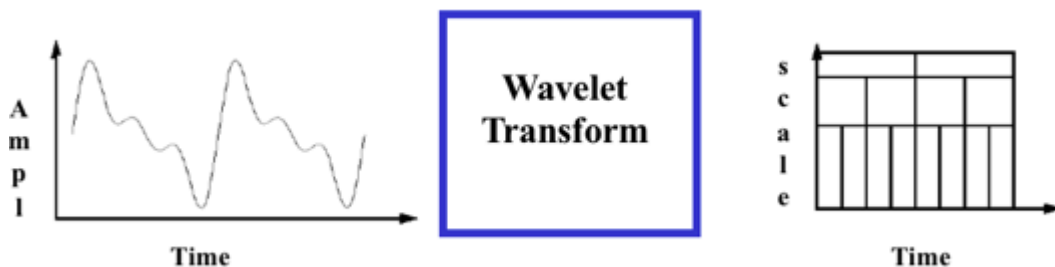


Figura 2.7 – Transformada de *Wavelet*. Fonte: Taylor & Francis Group (2006)

Com base no trabalho de Amara Graps (1995), existem similaridades e diferenças entre a Transformada de Fourier e a Transformada de Wavelet. O primeiro consiste em ambas serem operações lineares e a similaridade das propriedades matemáticas das matrizes envolvidas nas transformadas. No segundo caso, a principal diferença está no fato de as funções individuais *Wavelets* estarem localizadas no espaço, o que não ocorre com as funções senos e cossenos usadas na TF.

Além disso, a Transformada de Wavelet pode apresentar, instantaneamente, dados de tempo e frequência do sinal, como mostra a Figura 2.8 a seguir, de uma onda que apresenta comportamento regular e, provavelmente linear. Percebe-se que neste caso, a frequência da onda não se alterou ao longo do tempo (0,1 Hz), ou seja, o período de onda T (10 segundos) se manteve constante. Dessa maneira, pode-se concluir que durante a propagação da onda, não houve perda de energia, permitindo manter as mesmas características ao longo do tempo.

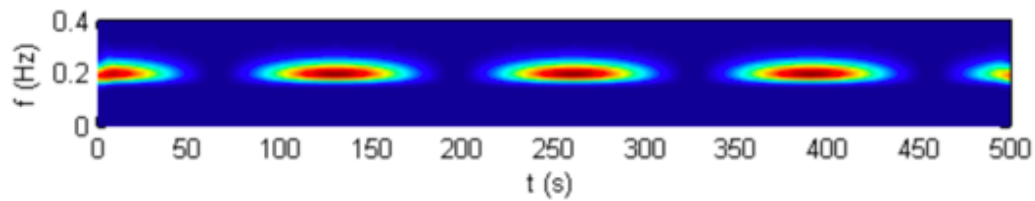


Figura 2.8 – Transformada de *Wavelet*. Fonte: Matos (2017, p. 30)

Sendo assim, as *wavelets* satisfazem o estudo com ondas não estacionárias (processamento de sinais e imagens), por serem capazes de decompor as funções tanto no domínio da frequência quanto no domínio do tempo. No entanto, ainda não atendem às ondas não lineares.

2.3.3 Transformada de Hilbert-Huang (HHT)

A Transformada de Hilbert-Huang (HHT) foi desenvolvida com a intenção de possibilitar a análise de processos (ondas) não estacionárias e não lineares, sendo mais representativas pela maior fidelidade à realidade. Segundo o trabalho de Neves *et al.* (2012), a HHT consiste numa decomposição em modos oscilatórios empíricos (EDM – *empirical mode decomposition*) do registro temporal, com o intuito de obter funções intrínsecas ao sistema (IMF – *intrinsic mode function*), a partir da aplicação da Transformada de Hilbert às IMF.

Ainda segundo Neves *et al.* (2012), ele conclui que com a utilização dessa transformada, pode-se obter informações sobre as frequências e amplitudes de cada conjunto finito de funções intrínsecas simples (IMF), de forma instantânea, ao longo do tempo. Ademais, esse método se difere das transformadas apresentadas anteriormente, por se basear em um método adaptativo de decomposição (EMD), isto é, sem a imposição de características matemáticas pré-definidas à serie temporal. Com isso, nota-se que a EMD permiti a separação de um conjunto de dados em um conjunto finito de funções intrínsecas simples (IMFs). Cada IMF deve atender duas condições:

- Ser uma simples oscilação e possuir o mesmo número de extremos e cruzamentos de zero;
- A média entre os respectivos valores de máximo e mínimo deve ser zero.

Portanto, o espectro de Hilbert se dá pelo conjunto de frequências e amplitudes instantâneas.

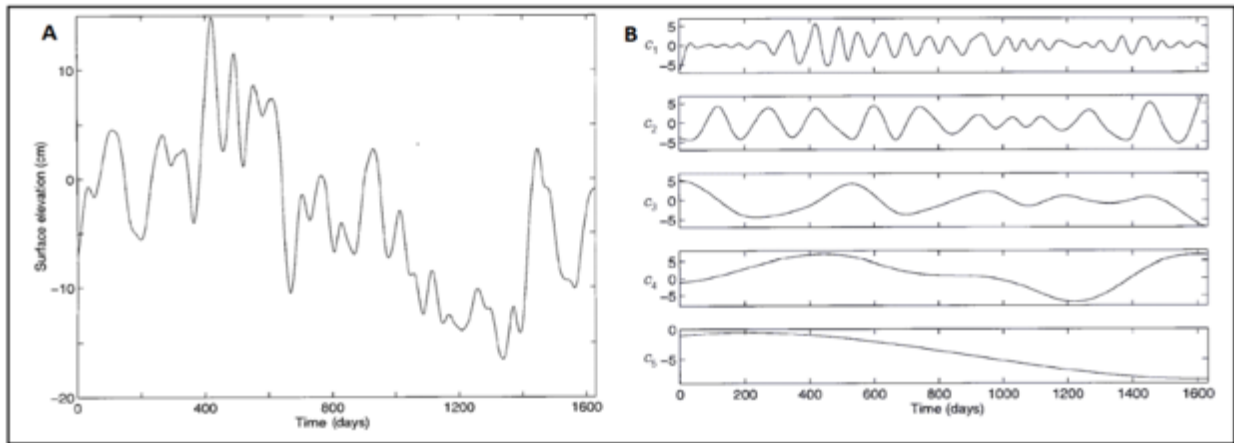


Figura 2.9 – A: Série temporal e B: IMFs obtidas da decomposição em modos empíricos (EMD).

Fonte: Huang *et al.* (1998)

Neves *et al.* (2012) constata, também, que a formação de grupos de onda é um processo não estacionário, já que se percebe que a amplitude do sinal é articulada por uma envoltória que se propaga com certa velocidade.

Para analisar os três métodos apresentados anteriormente, TF, TW e HHT, Neves *et al.* (2012) se utiliza da superposição de duas ondas senoidais que são colineares, de mesma altura e períodos de 10 e 10,2 segundos, respectivamente. Os resultados dos espectros de energia são apresentados na Figura 2.5 a seguir.

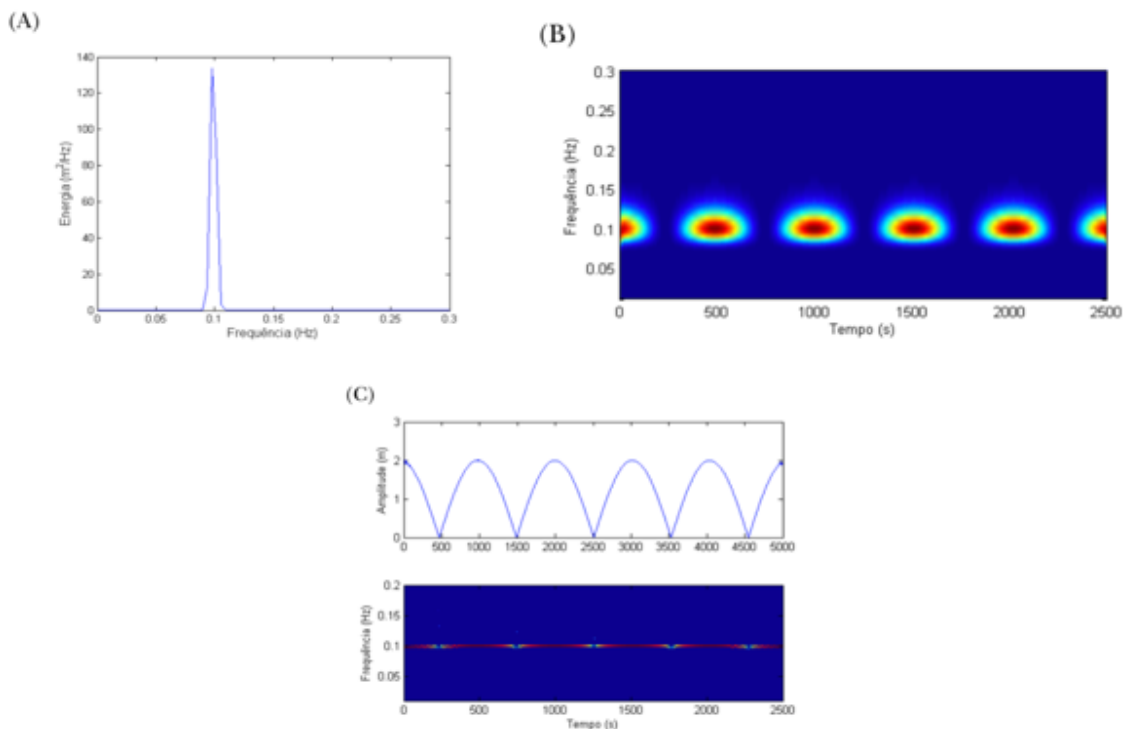


Figura 2.10 – Espectros de energia (m^2/HZ): a) Análise de Fourier; b) Técnica Wavelet; c) Espectro Hilbert. Fonte: Neves et al. (2012)

Nota-se que, devido às informações dos sinais ao longo do tempo serem perdidas nas Transformadas de Fourier, não se permite identificar a presença do grupo de ondas (Figura 2.5 - A). Já nos métodos de Wavelet e HHT, é possível notar a variação de energia ao longo do tempo e suas respectivas frequências. Também, é verificável que a HHT apresenta um resultado mais satisfatório por caracterizar a frequência e a variação da amplitude do grupo de onda ao mesmo tempo.

No entanto, neste trabalho, com relação a Transformada de Hilbert-Huang, trabalha-se somente o espectro de frequência (Hz) versus tempo (s), para ser analisada de forma comparativa o comportamento das ondas que chegam na zona costeira, entre os três métodos apresentados de análise espectral.

CAPÍTULO 3

ESTUDO DE CASO

3.1 DESCRIÇÃO DA CAMPANHA – PRAIA DE OFIR

O sítio de estudo deste trabalho se localiza na praia de Ofir, na cidade de Esposende, noroeste de Portugal. A coleta de dados ocorreu no dia 4 de outubro de 2013 das 9h00 às 21h00, entre períodos de maré alta (preia-mar) e baixa (baixa-mar). A Campanha contou com a presença de 10 investigadores das mais renomadas faculdades do país.

3.1.1 Clima da região e tempo durante o estudo de caso

A corrente de água era orientada de sul para norte, devido, principalmente, a presença de ventos de oeste (west) e sudoeste (south-west) ao longo dos últimos 7/8 dias (período de tempestade). Além disso, durante a realização da campanha, havia a presença de vento sul.

No entanto, esse foi um caso à parte, pois, geralmente a corrente de água se faz orientada de norte para sul, nessa região.

3.1.2 Construções existentes na faixa costeira

A praia de Ofir está sofrendo um forte processo erosivo, que está colocando em perigo de ruína os três edifícios que foram construídos ainda na década de 70. O constante avanço do mar sobre a praia causa grande preocupação à segurança dos trabalhadores, turistas e moradores locais.

Para contornar a situação, foi colocado um esporão a sul dos edifícios, como mostra a Figura 3.1 abaixo. Percebe-se que a norte do esporão, houve um assoreamento; em contrapartida, houve erosão a sul do esporão.

Atualmente, a baixa-mar, a largura da praia é cerca de 150 metros. Em preia-mar, o nível de água quase chega à base da duna.



Figura 3.1 – Vista aérea da Praia de Ofir. Fonte: Google Maps

Na Figura 3.2 a seguir, estão identificados as marés e o efeito de sua elevação da superfície livre de água, durante a Campanha. Nota-se que a preia-mar esteve presente por volta do momento em que a Campanha se encontrava na metade.

| Hora Legal de Verão (UTC+1) | altura(m) | |
|-----------------------------|-----------|-----------|
| Sex, 2013-10-04 09:06 | 0.66 | Baixa-mar |
| Sex, 2013-10-04 15:16 | 3.45 | Preia-mar |
| Sex, 2013-10-04 21:29 | 0.54 | Baixa-mar |

Figura 3.2 – Maré Astronômica de Viana do Castelo.

3.2 COLETA DE DADOS

Inicialmente, foram instaladas as estruturas, onde ficariam localizados os instrumentos de medição e coleta de dados, incluindo Transdutores de Pressão (PT), varetas com anilhas, correntómetro eletromagnético (ECM *Infinity*), *Acoustic Doppler Velocimeters* (ADV), OBS, entre outros.

Foram colocadas, 8 varetas com anilhas, com distância entre elas de 7,5 metros, para aferir a variação do nível de superfície da areia e permitir, para um futuro trabalho, a determinação da profundidade da camada de ativação dos sedimentos.

Também, foram posicionados 6 Transdutores de Pressão (PT), conforme Figura 3.3 a seguir, e realizou-se uma medição da distância dos sensores à areia (Tabela 3.1). Além disso, um correntómetro eletromagnético também fez parte dos equipamentos utilizados nessa Campanha. Estava presente na estrutura em tripé, que se encontrava o PT1.

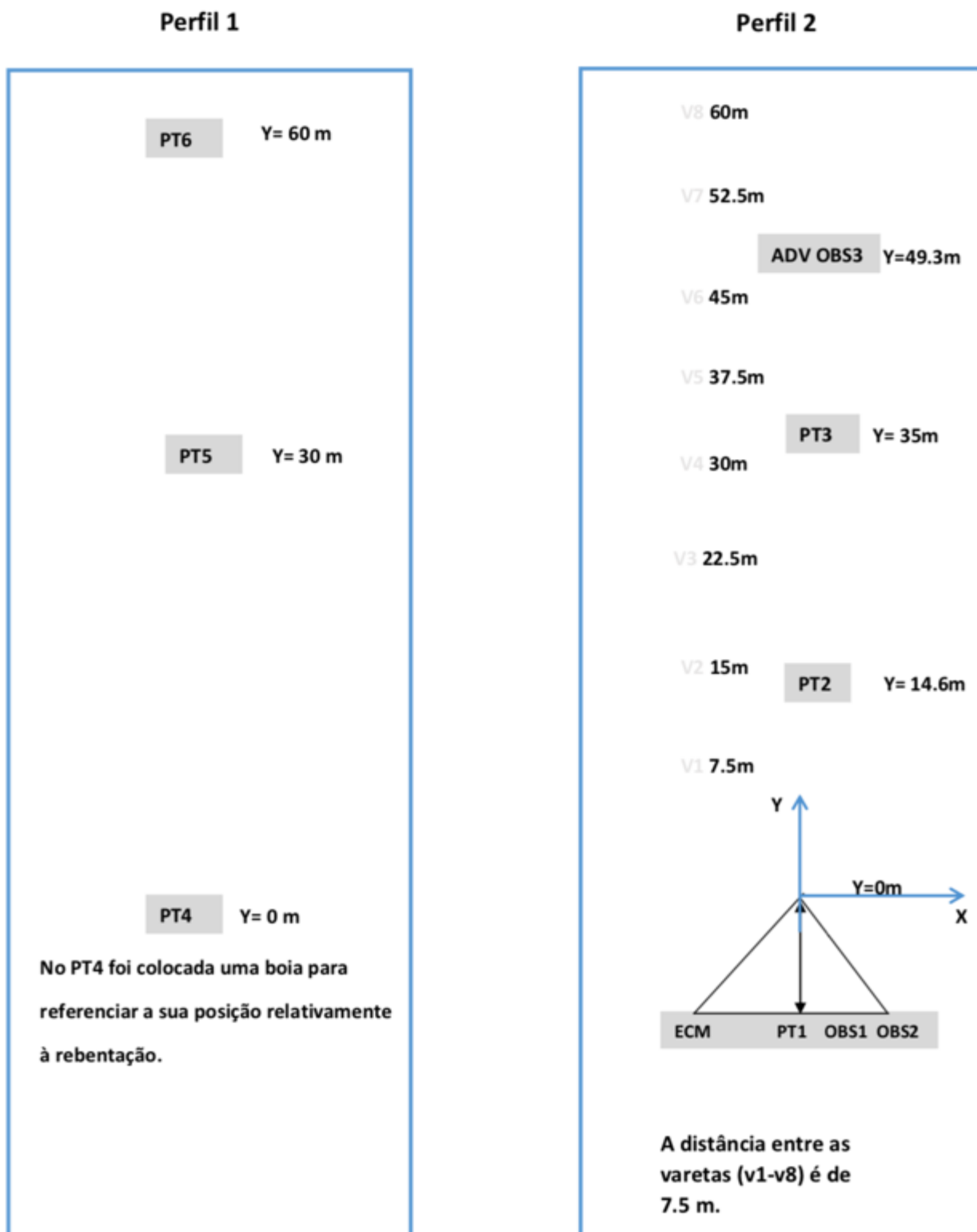


Figura 3.3 – Posicionamento dos instrumentos na Campanha.

A Figura 3.3, está em planta, com os dois conjuntos de sensores de pressão: PT4, PT5 e PT6; e PT1, PT2 e PT3 perpendiculares ao mar. Os sensores de pressão PT1 e PT4 são os que estão mais próximos ao mar e, em contrapartida, o PT6 está mais perto da costa, como ilustra a Figura 3.4, que apresenta o perfil transversal da praia.

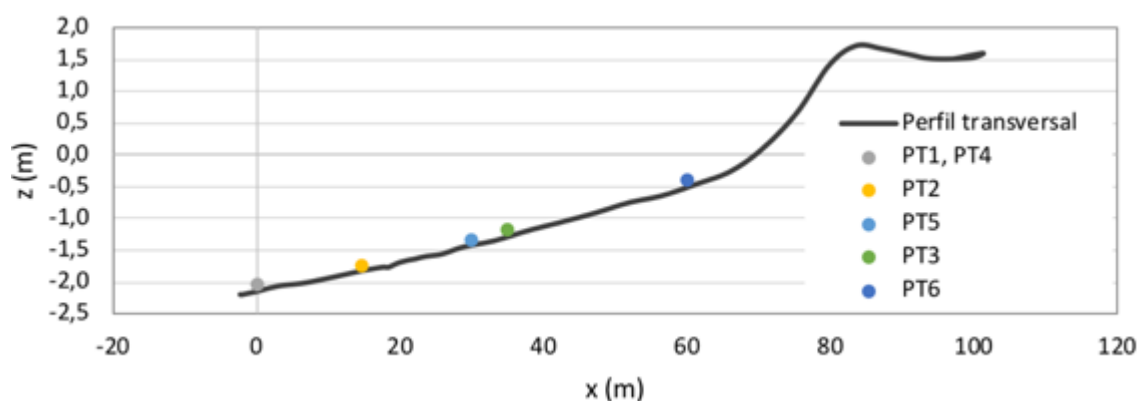


Figura 3.4 – Perfil transversal da praia de Ofir.

Sendo $z = 0$ correspondente ao nível da preia-mar do dia 4 de outubro de 2013. Percebe-se que o PT1 e PT4 se encontram praticamente no mesmo nível. Também, há uma proximidade considerável entre o PT3 e PT5. Por esse motivo, no momento da análise dos espectros no próximo capítulo, será realizada uma comparação dos resultados obtidos entre cada um desses dois pares de PT (PT1 e PT4; PT3 e PT5), junto com a análise individual do PT2 e PT6, que se encontram mais isolados.

As imagens abaixo (Figura 3.5), mostram, respectivamente a hora em que o PT1 foi posicionado e o momento em que se encontrava após quase 9 horas do início da Campanha.



Figura 3.5 – Fotografias registradas do PT1 em diferentes momentos na Campanha Praia de Ofir.

A Tabela 3.1 abaixo apresenta as alturas iniciais e finais em que os sensores de pressão (PT) se encontravam em relação à areia.

Tabela 3.1 – Altura inicial e final do PT à areia e momento em que a água chega.

| | PT1 | PT2 | PT3 | PT4 | PT5 | PT6 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Altura inicial à areia (cm) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Altura final à areia (cm) | 12 | 15 | 8 | 10 | 10 | 11,5 |
| Momento em que a água chega no instrumento | 10h45 | 11h30 | 12h30 | 11h00 | 12h15 | 14h00 |
| Momento em que a água deixa o instrumento | - | 19h00 | 18h00 | - | - | 16h50 |

Verificou-se que em alguns pontos da praia houve uma pequena alteração do nível transversal da praia, após finalizada a Campanha. Na localização do PT1, PT2 e PT6 houve uma pequena erosão. Já no PT3, houve um pequeno depósito de sedimentos. Isso atesta que o transporte de sedimentos não se dá de forma proporcional e previsível. E, pela reduzida quantidade de informação, não é possível estabelecer uma análise em função do transporte de sedimentos.

Os dados obtidos, na Campanha, consistem em medições de elevação da superfície livre, velocidades de corrente, temperatura da água do mar, diferença de pressão, entre outros. No entanto, para o presente trabalho, foram considerados apenas os dados que foram obtidos pelos Transdutores de Pressão (PT): séries temporais da elevação da superfície livre e a profundidade, obtidos do PT1

Apesar da Campanha ter sido realizada num total de 12 horas (9h às 21h), os dados relevantes para a realização da caracterização da dinâmica costeira, a partir da análise espectral das ondas do mar que chegavam à costa, foram obtidos entre às 9:45 e 19:35.

CAPÍTULO 4

PROCESSAMENTO DOS DADOS PARTE 1: ANÁLISE COMPARATIVA DAS TRÊS TÉCNICAS ESPECTRAIS.

Com os dados obtidos pelos sensores de pressão (PT), foram realizados gráficos no Excel em que mostram as manchas de curvas de profundidade que se atingiu a água nos PTs em função do tempo de duração da Campanha (Figura 4.1).

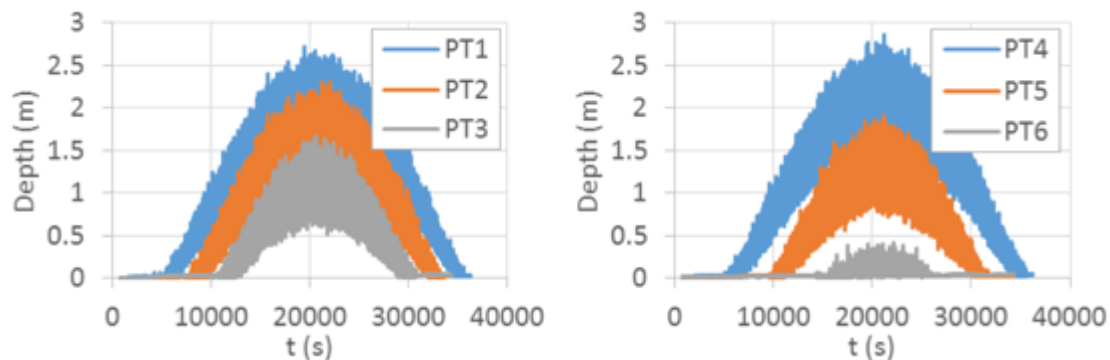


Figura 4.1 – Curvas de profundidade de cada PT.

Analisando a Figura 4.1 acima, nota-se que o PT6 não permaneceu por muito tempo submerso e tampouco teve uma elevação significativa da superfície da água, por volta de 20 centímetros. Isso deve ter ocorrido pela posição mais afastada em relação ao mar em que estava localizado o PT6. Com isso, o momento da preia-mar, que se deu por volta dos 20000 segundos (15:10) foi o único momento que o PT6 esteve em contato com a água.

Em seguida, a partir do sensor de pressão PT1, foram estipulados sete Tempos com intervalos de tempo de 20 minutos cada (Figura 4.2), para poder ser mais detalhada a análise

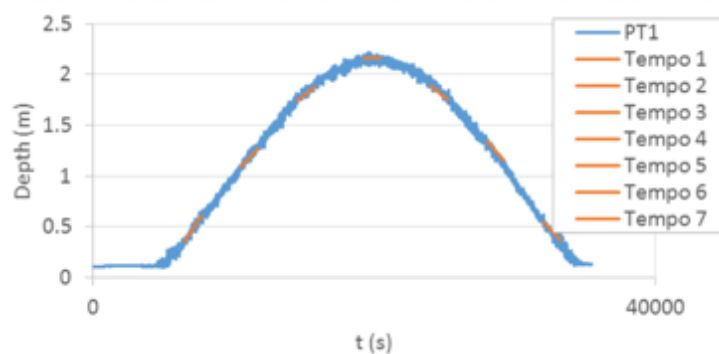


Figura 4.2 – Gráfico da profundidade do PT1 em função do tempo.

No entanto, nem todos os 7 Tempos são fidedignos de análise para cada um dos 6 PTs, já que devem-se priorizar os momentos em que o sensor de pressão esteve totalmente submerso. O único Tempo, em que praticamente todos os sensores estiveram debaixo d'água foi o Tempo 4, que se encontra, aproximadamente, na posição dos 20000 segundos, momento de preia-mar (alta maré), entre às 15h05min e 15h25min.

A partir do uso de linguagem de programação, foi preparado um programa com as fórmulas das Transformadas de Fourier, Wavelet e Hilbert-Huang. A seguir, no *software*, foram depositados os dados obtidos na Campanha. Os resultados se encontram abaixo.

4.1 ANÁLISE PT1 E PT4

O PT1 e PT4, estão posicionados praticamente na mesma posição longitudinal, como ilustra o gráfico do perfil transversal da praia (Figura 3.4), visto no capítulo anterior. Por esse motivo, para um melhor aproveitamento dos resultados, serão analisados em conjunto.

Após rodagem dos dados no Matlab, que foram captados pelos sensores de pressão durante a Campanha, observou-se que os espectros correspondentes aos intervalos de Tempos de 2 a 6 (20 minutos cada) são os mais significativos para a análise comparativa entre PT1 e PT4, pois corresponde aos momentos em que esses dois sensores de pressão estiveram continuamente submersos.

Para cada um dos Tempos (2 a 6) estudados a seguir, foram gerados os espectros de sinais, de Fourier, Wavelet e Hilbert-Huang, em função do PT1 e PT4, em intervalo de 20 minutos cada espectro.

4.1.1 Tempo 2 (12:39 às 12:59)

Estes dois primeiros espectros de Sinais abaixo (Figura 4.3) representam a profundidade em que se encontrava os PTs, num intervalo de 20 minutos (Tempo 2). Nota-se que o PT1 (esquerda) iniciou com

uma submersão de 1.1 metros e, até o final desses 20 minutos, mostrou-se submerso 1.2 metros; já o PT4, estava com 1.0 metro, no início, e passou para 1.2 metros de profundidade, no final desse intervalo de tempo.

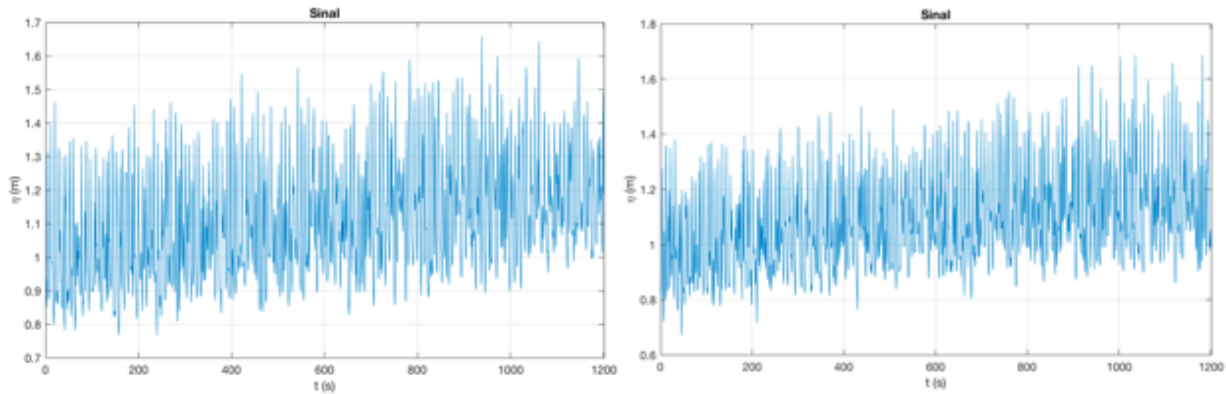


Figura 4.3 – Espectros de Profundidade do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 2.

De acordo com o espectro de sinal, o PT1 e PT4 apresentaram resultados muito próximos, sendo esperado devido estarem longitudinalmente quase na mesma linha.

Nos espectros de Fourier abaixo (Figura 4.4), é analisado a energia das ondas em função de suas frequências, como dito anteriormente.

Pode-se dizer que, no sensor de pressão PT1 (esquerda), o maior pico de energia está na frequência (f) 0.12 Hz, correspondendo a um período de onda de 8.3 segundos ($T=1/f$). Houveram grupos de ondas com picos de energia de menor intensidade, como o que se localiza próximo de 0.25 Hz (4 segundos).

No caso do PT4 (direita), as frequências com maior energia correspondem a 0.12 e 0.23 Hz, significando períodos de ondas de aproximadamente 8.3 e 4.3 segundos, respectivamente. Provavelmente, o primeiro pico de maior energia se refere ao momento de ondulação (“swell”) e o segundo pico pode indicar uma possível presença de vagas (“sea”), como, também, uma situação de rebentação de onda.

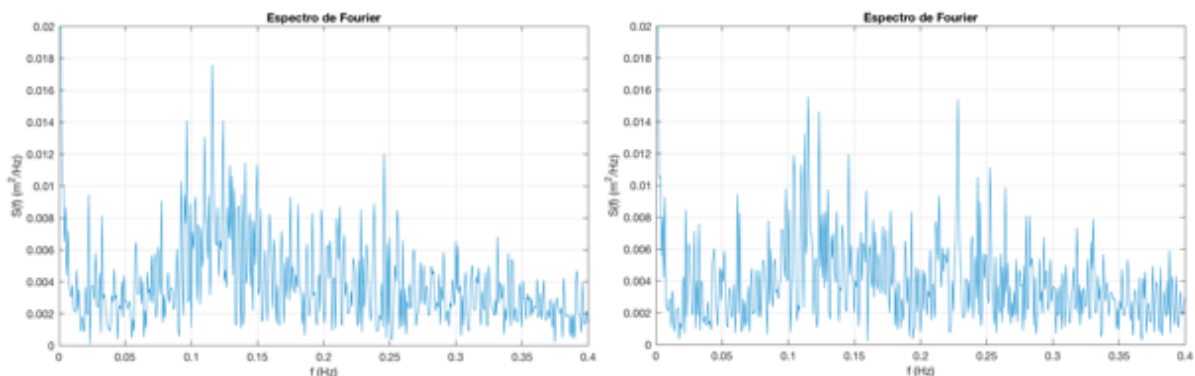


Figura 4.4 – Espectros de Fourier do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 2.

A seguir, encontram os espectros das *Wavelets* (ôndulas) do PT1 e PT4, respectivamente. Neste método, as frequências estão em função do tempo analisado (20 minutos, Tempo 2). A coloração varia do azul ao vermelho, sendo a cor vermelha correspondente ao local de maior intensidade de energia e a azul, a de menor energia (veja Figura 4.5).

Analisando o primeiro espectro abaixo, correspondente ao PT1, nota-se que a frequência em que se encontram os grupos de ondas de maior pico de energia está próximo de 0.13 Hz, representando um período de onda de aproximado de 7.7 segundos. Através do espectro de ôndulas do PT1, percebe-se também outros grupos de ondas que se sobressaem, que já foi verificado pelo espectro de Fourier anteriormente, e que condiz com uma frequência próxima de 0.25 Hz (4 segundos).

O segundo espectro, referente ao PT4, nos mostra um cenário diferente do analisado no PT1. Ocorreram menor quantidade de grupos de ondas com alta energia, principalmente até metade do tempo de 20 minutos analisado. A partir dos 10 minutos finais, começou a haver um aumento de grupos de ondas com energia mais elevada, tanto por volta de 0.12 Hz (8.3 segundos) como próximo de 0.23 Hz (4.3 segundos).

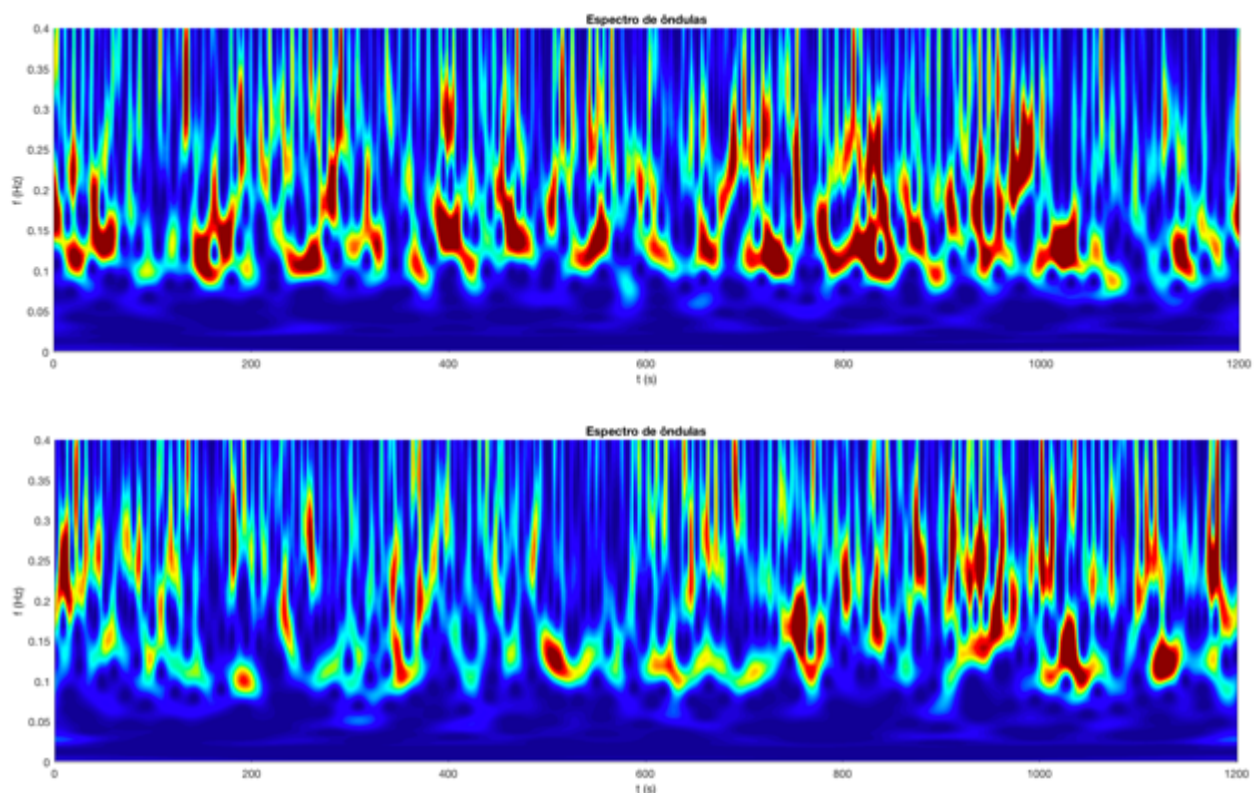


Figura 4.5 – Espectros de Ôndulas do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 2.

Já nos espectros de Hilbert-Huang (Figura 4.6), as frequências estão em função do tempo analisado também (20 minutos), porém as representações das ondas são mais nítidas, permitindo detectar a frequência instantânea de maneira mais certa, através dos picos de energia (cor que tende ao vermelho).

Nesse caso, o sensor de pressão PT1 (primeiro espectro da Figura 4.6) apresentou frequência mais significativa de 0.12 Hz (8.3 segundos) e o PT4 (segundo espectro da Figura 4.6) tendeu a uma frequência próxima de 0.12 Hz (8.3 segundos).

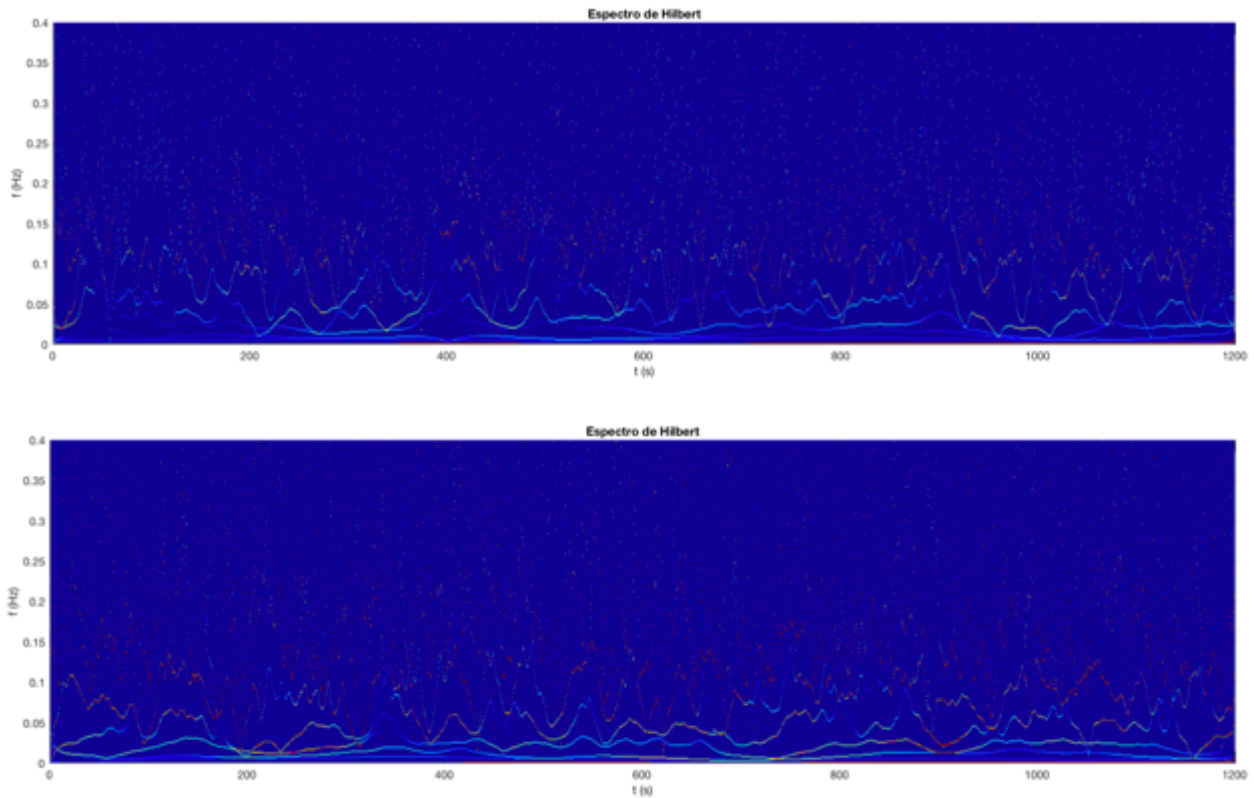


Figura 4.6 – Espectro de Hilbert-Huang do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 2.

4.1.2 Tempo 3 (13:46 às 14:06)

O espectro de Sinal (Figura 4.7) do PT1 (esquerda) esteve submerso numa média de 1.8 metros; já o PT4 (direita), 1.8 metros, também. Porém, ambos com cenário crescente, ou seja, tendendo a aumentar a profundidade (maior o nível da superfície livre).

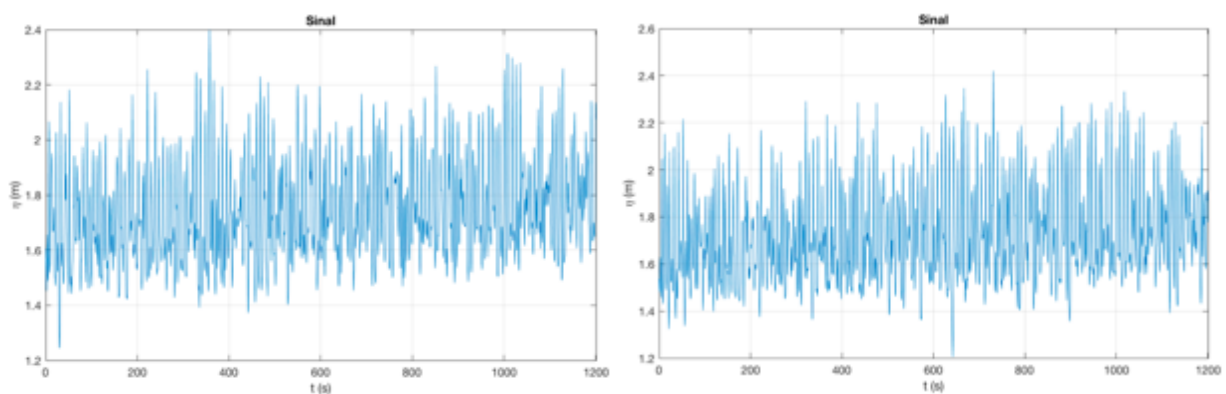


Figura 4.7 – Espectros de Profundidade do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 3.

Entre os espectros de Fourier do PT1 e PT4 (Figura 4.8), foi constatado uma exorbitante diferença.

O PT1 (esquerda) teve seu pico mais elevado de energia em torno de uma frequência de 0.11 Hz, conseqüentemente um período de onda de 9.1 segundos.

Já o PT4 (direita) apresentou uma presença maior de diferentes grupos de ondas com elevada energia. Um desses grupos tiveram as maiores energias com frequência entre 0.10 (10 segundos) e 0.13 Hz (7.7 segundos). O outro que apresentou grande energia, estava por volta de uma frequência de 0.20 Hz, correspondente a um período de onda de 5 segundos.

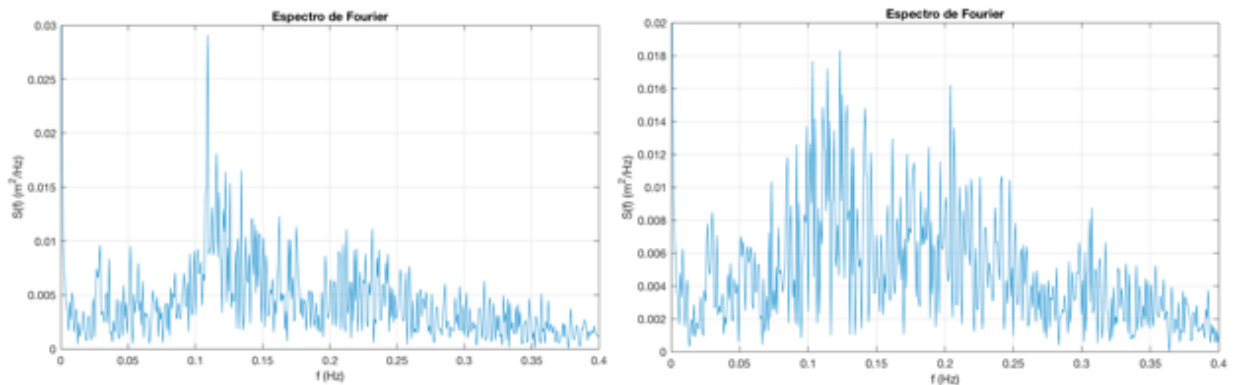


Figura 4.8 – Espectros de Fourier do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 3.

A seguir, encontram-se os espectros das Wavelets (ôndulas) do PT1 e PT4, respectivamente (Figura 4.9). Analisando os dois espectros, nota-se que para o PT1, a frequência em que se encontram as ondas de maior energia está por volta de 0.11 Hz (período de onda de 9.1 segundos).

Já para o PT4 existem dois grupos de ondas que se manteve com elevada energia, ao longo deste período de 20 minutos analisado. Um deles apresentou frequência próxima de 0.12 Hz (período da onda de 8.3 segundos). O outro está com frequência por volta de 0.21 Hz (4.7 segundos).

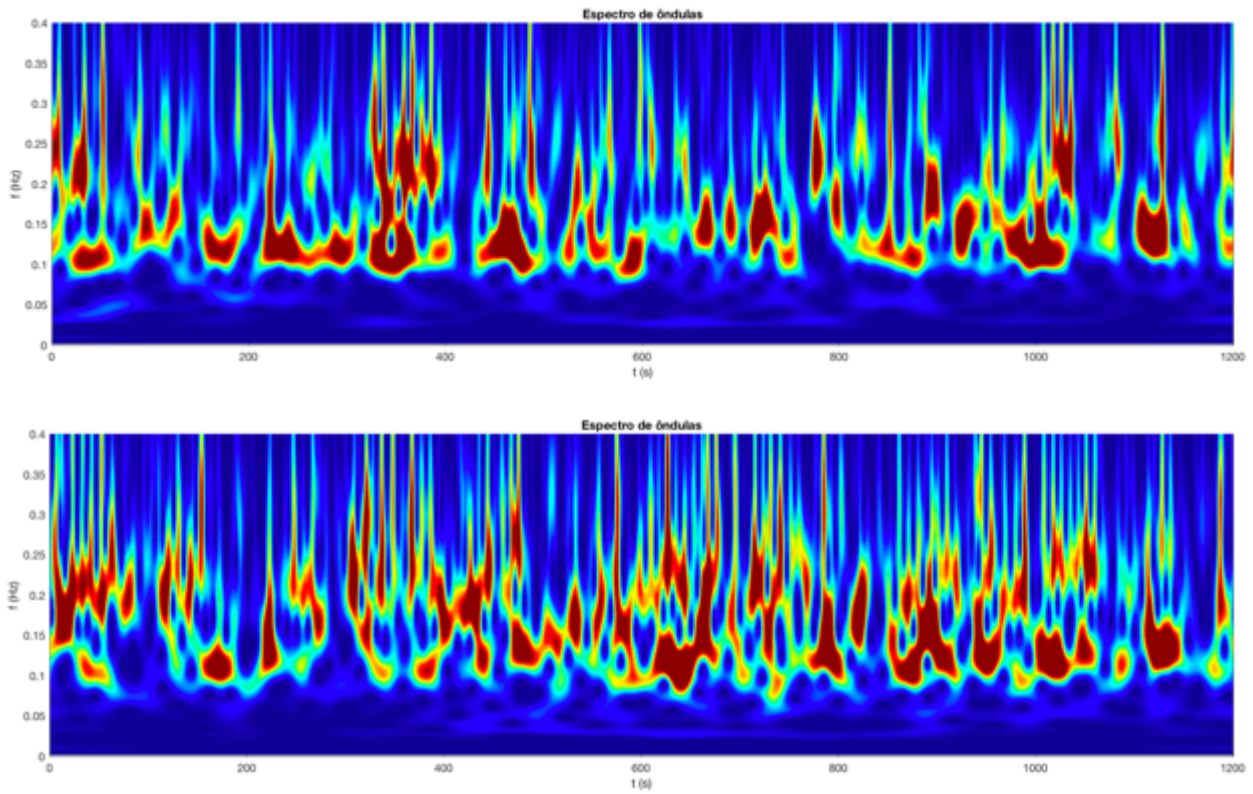


Figura 4.9 – Espectros de Ôndulas do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 3.

Nos espectros de Hilbert-Huang (Figura 4.10), o sensor de pressão PT1 apresentou frequência mais significativa de 0.11 Hz (período de onda de 9.1 segundos) e o PT4, 0.12 Hz (8.3 segundos).

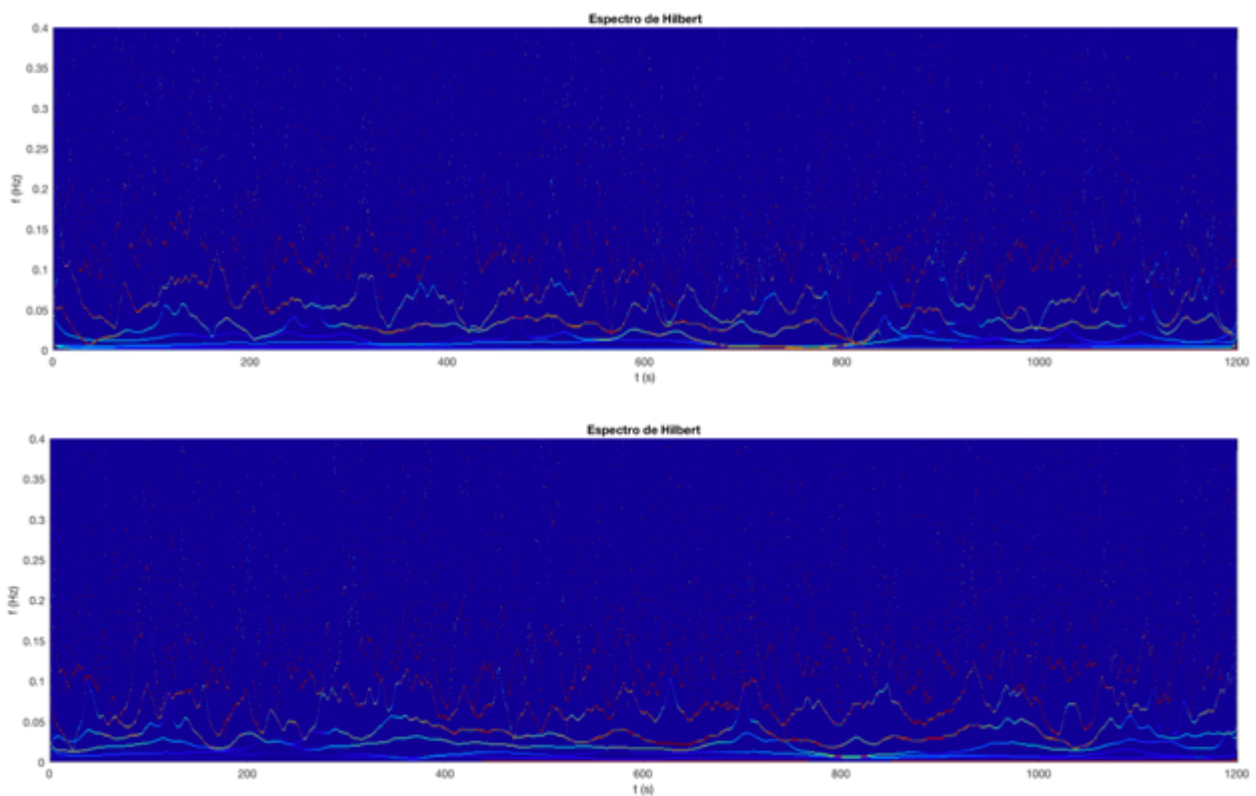


Figura 4.10 – Espectro de Hilbert-Huang do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 3.

4.1.3 Tempo 4 (15:05 – 15:25)

O espectro de Sinal (Figura 4.11) do PT1 (esquerda) esteve submerso numa média de 2.1 metros; já o PT4 (direita), 2.1 metros, também.

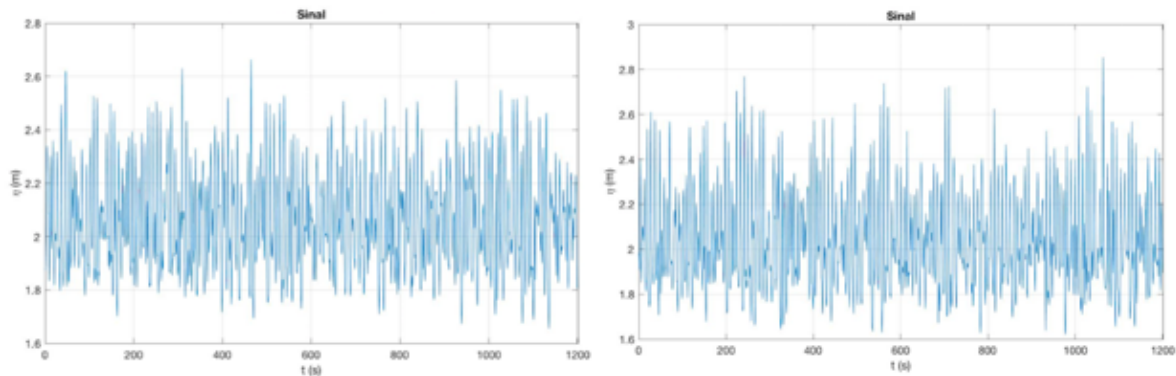


Figura 4.11 – Espectros de Profundidade do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 4.

Quanto aos espectros de Fourier do PT1 e PT4 abaixo (Figura 4.12), o sensor de pressão PT1 (esquerda), tem as maiores energias concentradas entre as frequências de 0.09 e 0.14 Hz, correspondendo a um período de onda de 11.1 e 7.1 segundos. No caso do PT4 (direita), as frequências com maior energia estão entre 0.11 e 0.13 Hz, o que corresponde a um período de onda de 9.1 e 7.7 segundos.

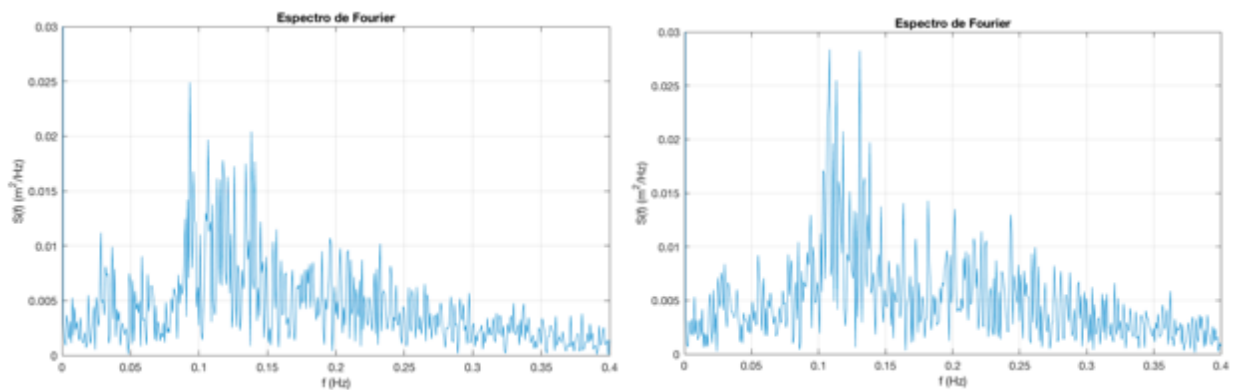


Figura 4.12 – Espectros de Fourier do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 4.

Na Figura 4.13 abaixo, os espectros das Wavelets (ôndulas) do PT1 e PT4 são representados, respectivamente. Nota-se que para o PT1, a frequência em que se encontram as ondas de maior energia está por volta de 0.13 Hz (período de onda de 7.7 segundos). O mesmo ocorre, praticamente com o PT4 que também apresenta frequência média de 0.13 Hz (período da onda de 7.7 segundos), com a diferença que há uma maior quantidade de energia envolvida, pois há uma cor de tom vermelho mais forte e denso.

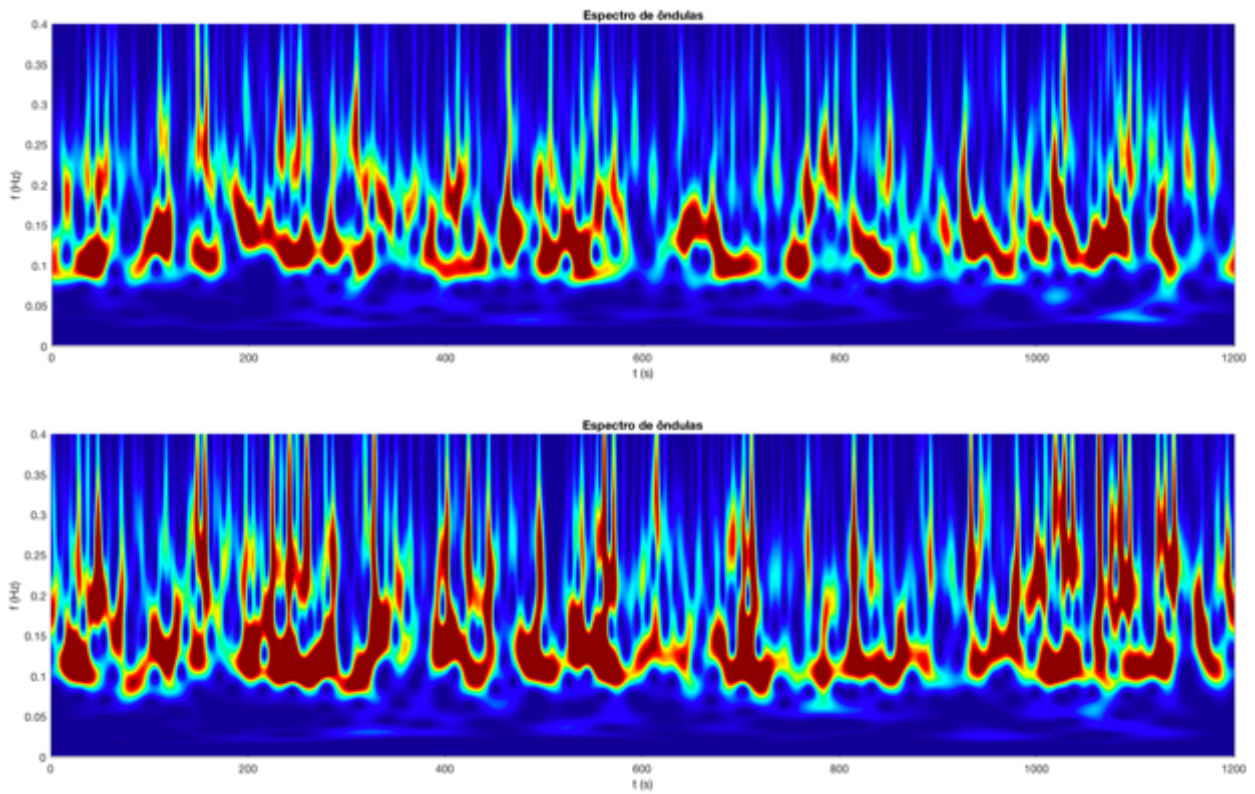


Figura 4.13 – Espectros de Ondulas do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 4.

Nos espectros de Hilbert-Huang (Figura 4.14), o sensor de pressão PT1 apresentou frequência mais significativa de 0.12 Hz (período de onda de 8.3 segundos) e o PT4, 0.12 Hz (8.3 segundos).

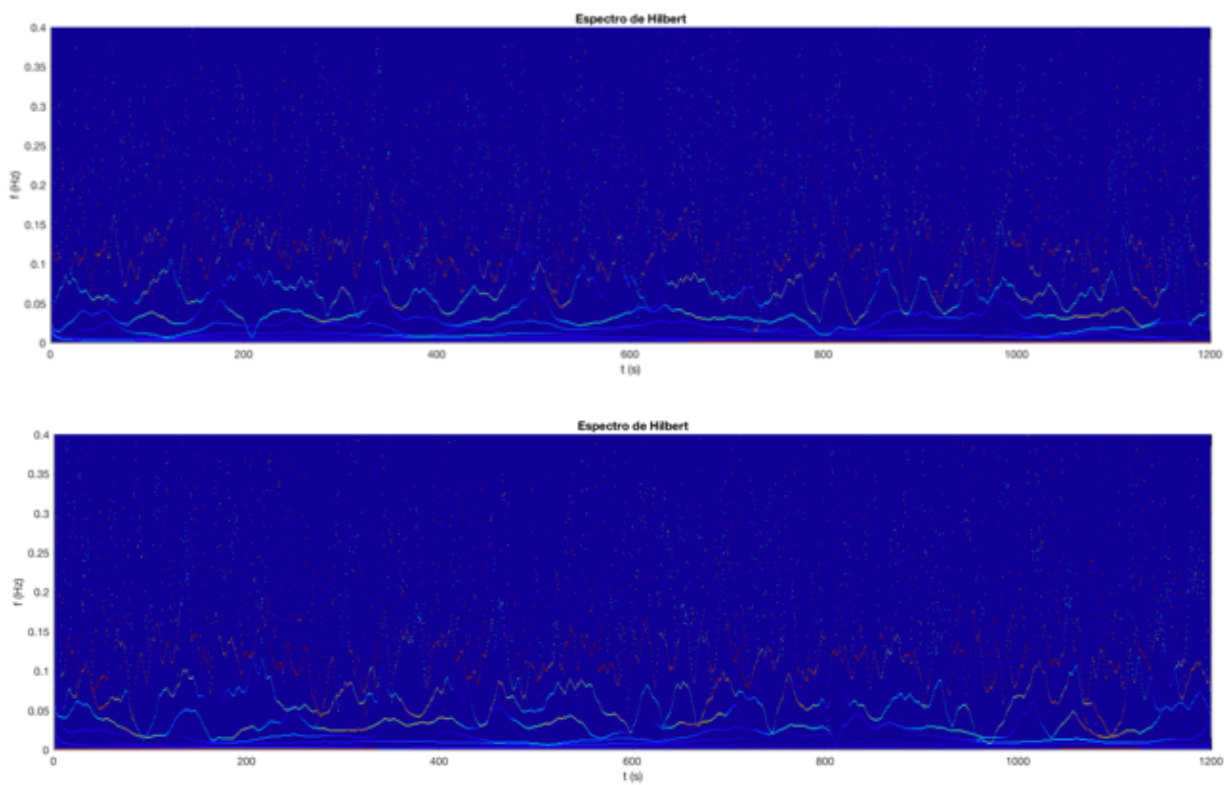


Figura 4.14 – Espectro de Hilbert-Huang do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 4.

4.1.4 Tempo 5 (16:24 – 16:44)

No espectro de Sinal (Figura 4.15), o PT1 (esquerda) iniciou submerso 1.8 metros e findou em 1.7 metros; e no PT4 (direita) ocorreu praticamente a mesma situação. Porém, percebe-se uma tendência a diminuição da profundidade ao longo do tempo (menor altura da superfície livre).

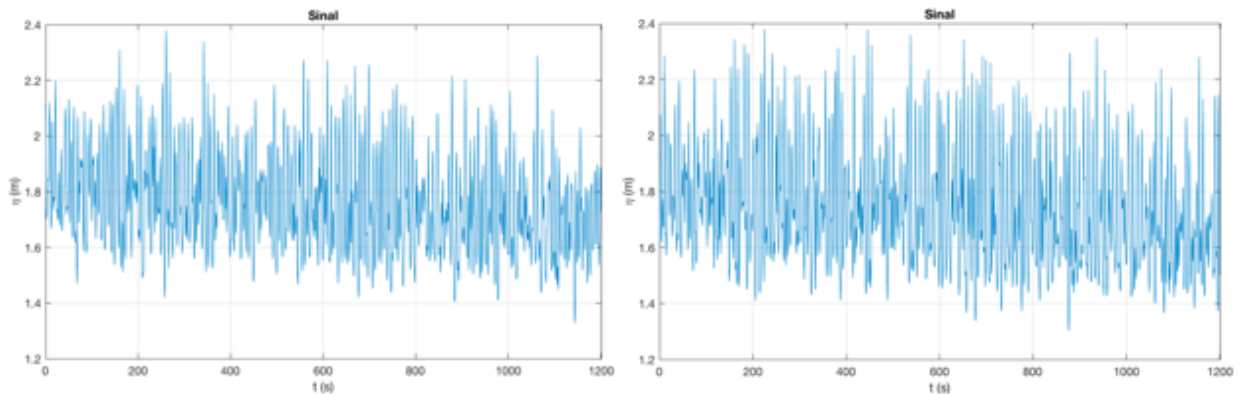


Figura 4.15 – Espectros de Profundidade do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 5.

Quanto aos espectros de Fourier do PT1 e PT4 abaixo (Figura 4.16), o sensor de pressão PT1 (esquerda), tem as maiores energias concentradas nas frequências próximas de 0.09, 0.12 e 0.15 Hz, correspondendo a períodos de onda de 11.1, 8.3 e 6.7 segundos. No caso do PT4 (direita), o pico de maior energia se faz próximo da frequência de 0.12 Hz, o que corresponde a um período de onda de 8.3 segundos.

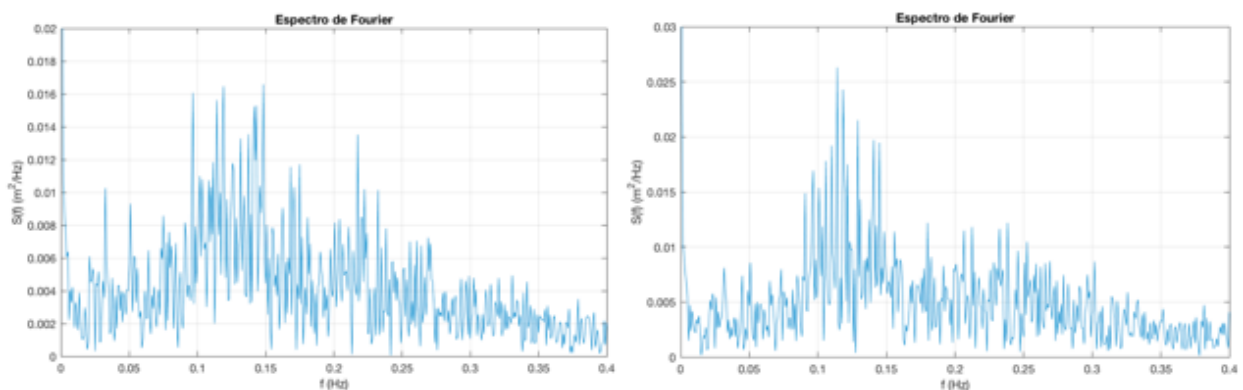


Figura 4.16 – Espectros de Fourier do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 5.

A seguir, encontram-se os espectros das Wavelets (ôndulas) do PT1 e PT4, respectivamente (Figura 4.17). O PT1 possui maior concentração e valor de energia próximo da frequência de 0.14 Hz (período de onda de 7,1 segundos). Já para o PT4 apresentou frequência próxima de 0.13 Hz (período da onda de 7.7 segundos).

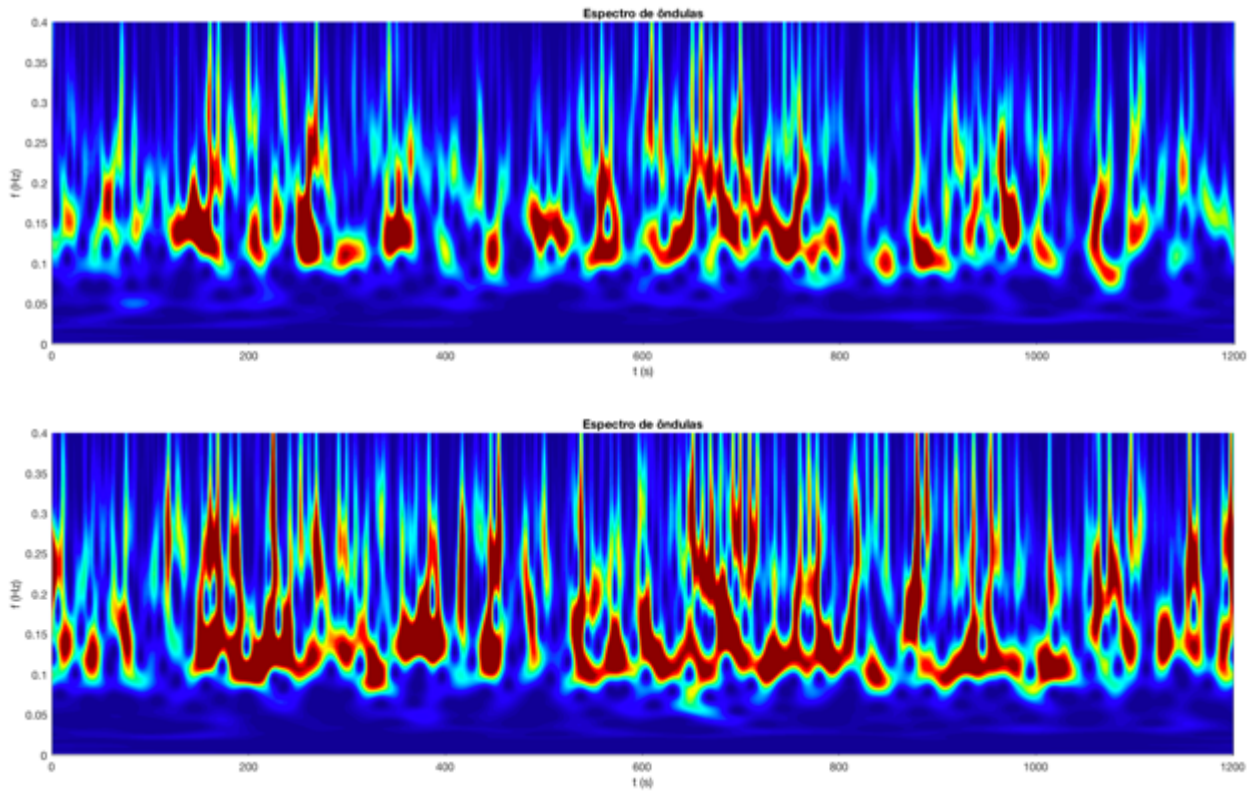


Figura 4.17 – Espectros de Ondulas do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 5.

Nos espectros de Hilbert-Huang (Figura 4.18), o sensor de pressão PT1 apresentou frequência mais significativa de 0.14 Hz (período de onda de 7.1 segundos) e o PT4, 0.13 Hz (7.7 segundos).

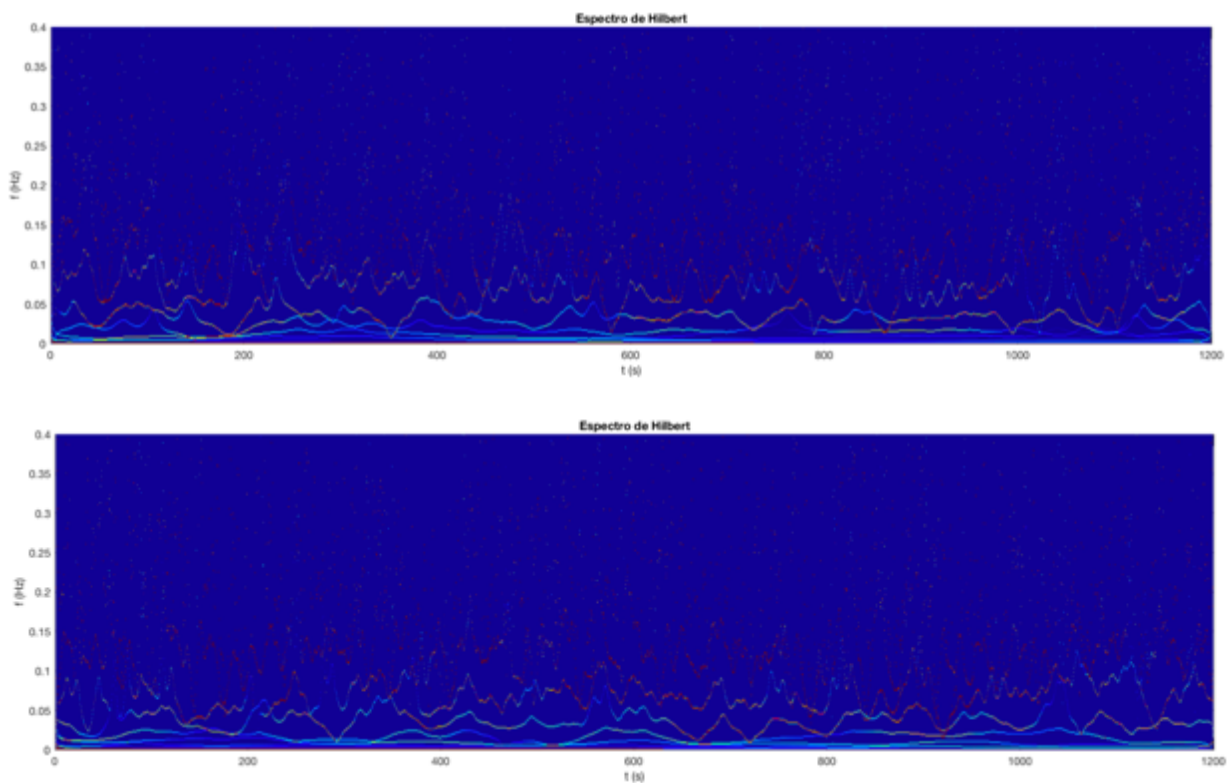


Figura 4.18 – Espectro de Hilbert-Huang do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 5.

4.1.5 Tempo 6 (17:31 – 17:51)

No espectro de Sinal (Figura 4.19), o PT1 (esquerda) iniciou submerso 1.2 metros e findou próximo de 1.0 metro; e no PT4 (direita) ocorreu praticamente a mesma situação. Nota-se uma tendência mais acentuada de declínio da profundidade, ou seja, o nível da superfície livre do mar está a diminuir.

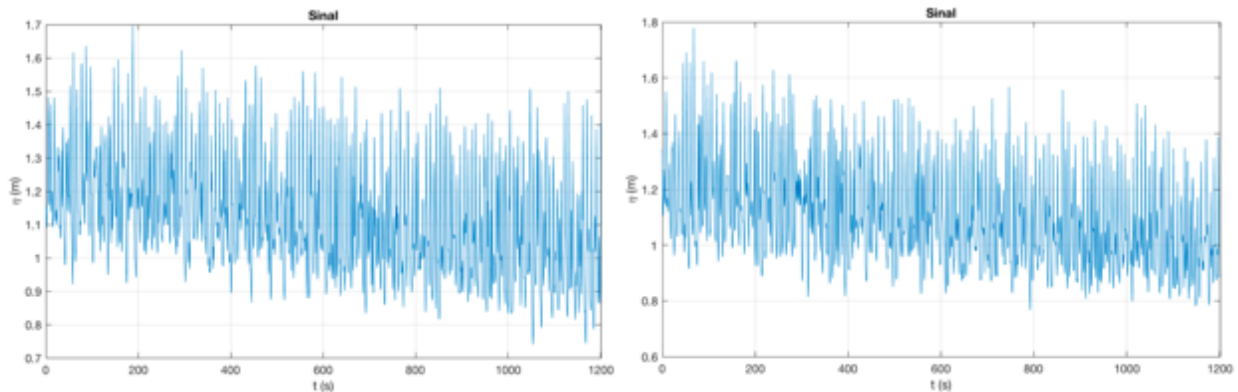


Figura 4.19 – Espectros de Profundidade do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 6.

Quanto aos espectros de Fourier do PT1 e PT4 abaixo (Figura 4.20), o sensor de pressão PT1 (esquerda), tem as maiores energias concentradas em frequência próxima de 0.11, correspondendo a um período de onda de 9.1 segundos. No caso do PT4 (direita), o pico de maior energia se faz próximo da frequência de 0.13 Hz, o que corresponde a um período de onda de 7.7 segundos.

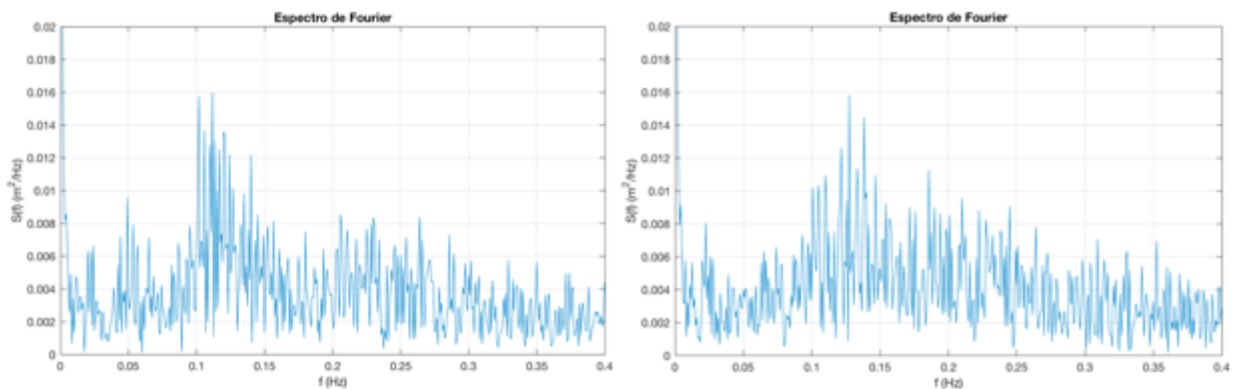


Figura 4.20 – Espectros de Fourier do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 6.

A seguir, encontram-se os espectros das Wavelets (ôndulas) do PT1 e PT4, respectivamente (Figura 4.21). O PT1 possui maior concentração e valor de energia próximo da frequência de 0.12 Hz (período de onda de 8.3 segundos). Já o PT4 apresentou frequência próxima de 0.14 Hz (período da onda de 7.7 segundos).

Nota-se presença de grupos de ondas menos energética num todo, mas, principalmente, no início do espectro do PT1 e no final do espectro do PT4. Deve-se isso, provavelmente, pela diferença, mesmo sendo pequena, da linha longitudinal em que se encontram o PT1 e o PT4.

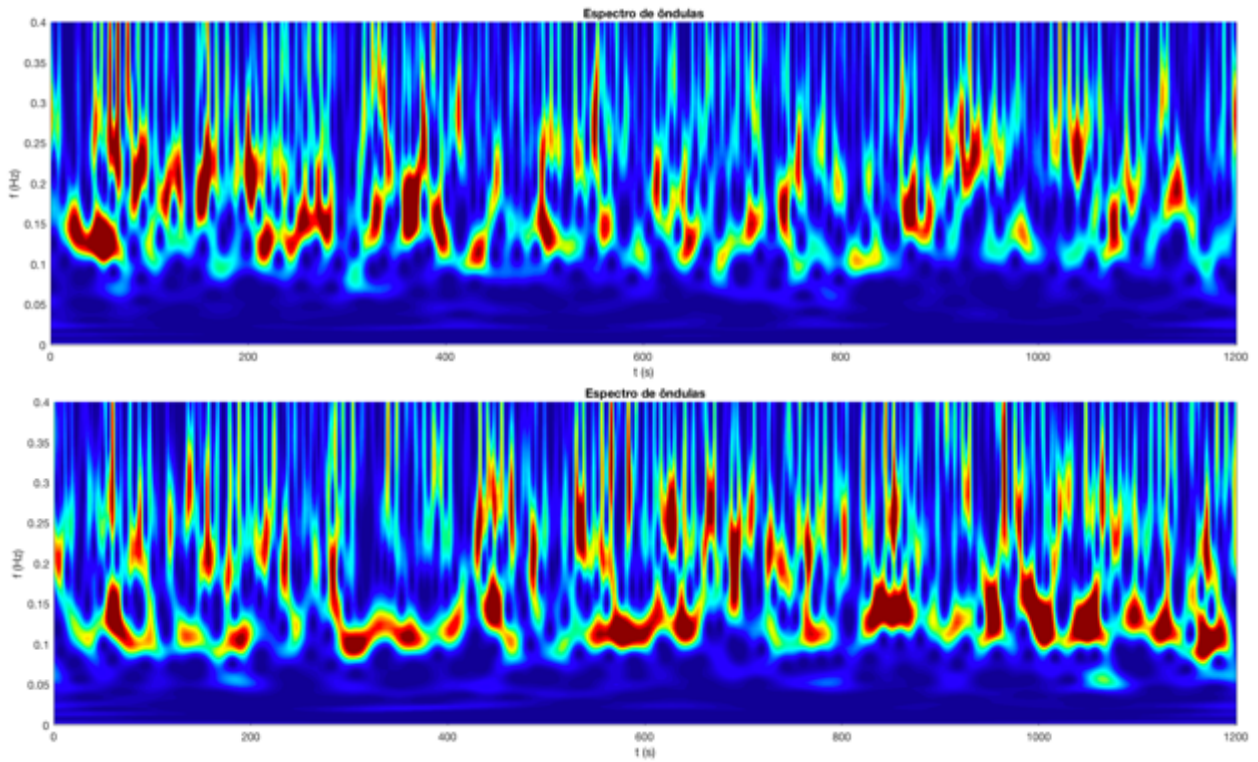


Figura 4.21 – Espectros de Ôndulas do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 6.

Nos espectros de Hilbert-Huang (Figura 4.22), o sensor de pressão PT1 apresentou frequência mais significativa de 0.12 Hz (período de onda de 8.3 segundos) e o PT4, 0.14 Hz (7.1 segundos).

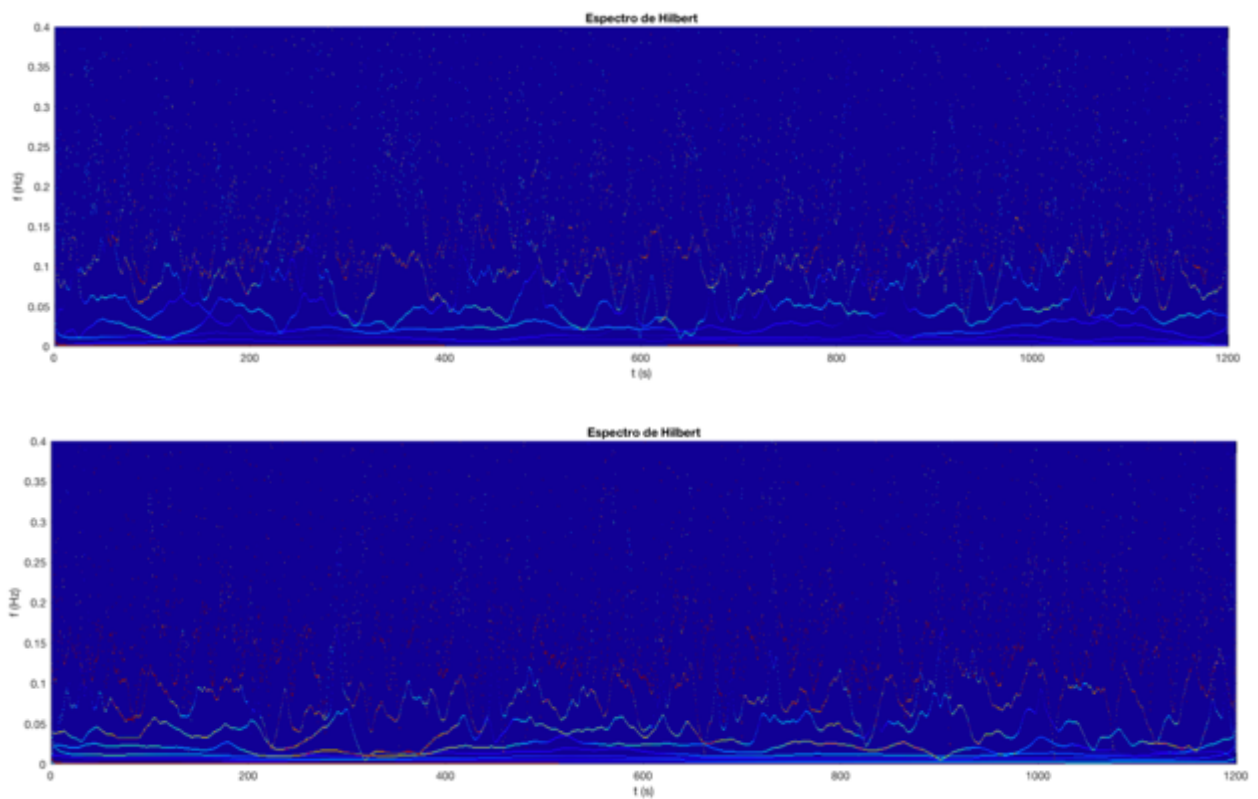


Figura 4.22 – Espectro de Hilbert-Huang do PT1 e PT4, respectivamente, para Tempo 6.

4.2 ANÁLISE PT2

Após terem sido gerados os espectros no Matlab, foi descartado os intervalos de Tempo de 20 minutos que não satisfaziam a proposta de analisar o comportamento das ondas geradas por vento, pois, em alguns casos, a água não havia chegado ao sensor de pressão e, em outros, não se encontraram totalmente submersos durante o tempo analisado.

Portanto, para o PT2, os Tempos de 3 a 5 serão contemplados neste trabalho e apresentados a seguir com seus resultados. Para cada um dos Tempos (3, 4 e 5) foram gerados os espectros de sinais, de Fourier, Wavelet e Hilbert-Huang, seguindo o modelo visto no item anterior.

4.2.1 Tempo 3 (13:46 às 14:06)

No espectro de Sinal (esquerda) abaixo (Figura 4.23), nota-se que o PT2 esteve submerso, inicialmente, a 1.2 metros e subiu, até o final desses 20 minutos, para 1.3 metros. No espectro da direita (Fourier), o pico de energia se faz próxima a frequência de 0.11 Hz (período de 9.1 segundos).

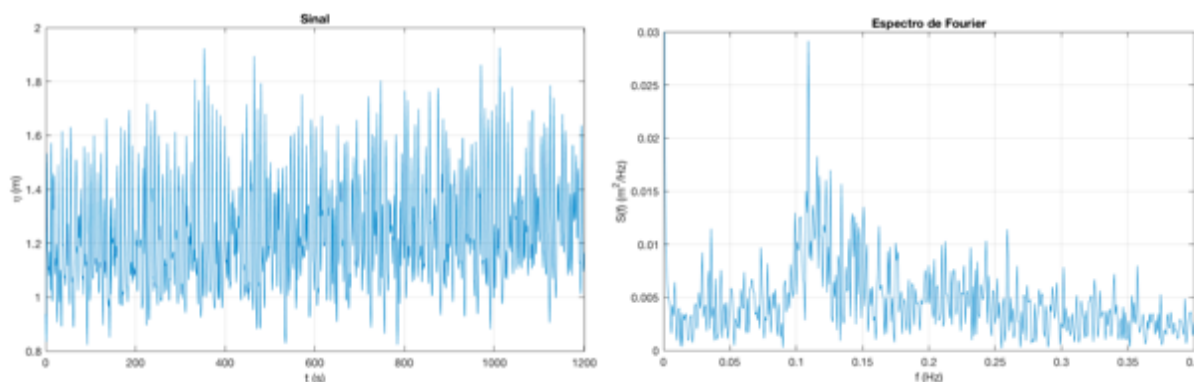


Figura 4.23 – Espectros de Profundidade e de Fourier, respectivamente, do PT2 para Tempo 3.

Já no espectro da Wavelet a seguir (Figura 4.24) do sensor de pressão PT2, a energia se mostra mais intensa em torno da frequência 0.12 Hz (período de onda de 8.3 segundos).

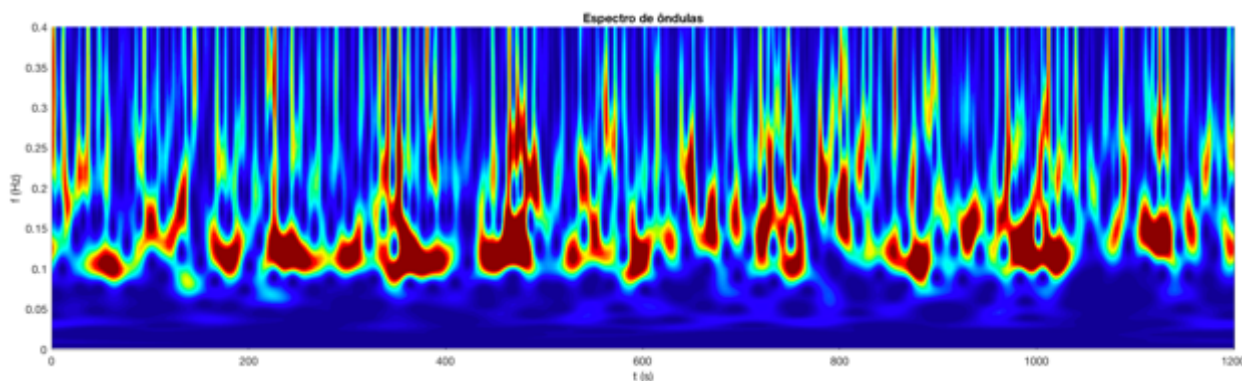


Figura 4.24 – Espectro de Ondulas do PT2 para Tempo 3.

No espectro de Hilbert-Huang, representado pela Figura 4.25 abaixo, o PT2 apresentou frequência mais significativa em torno de 0,12 Hz (período de onda de 8,3 segundos).

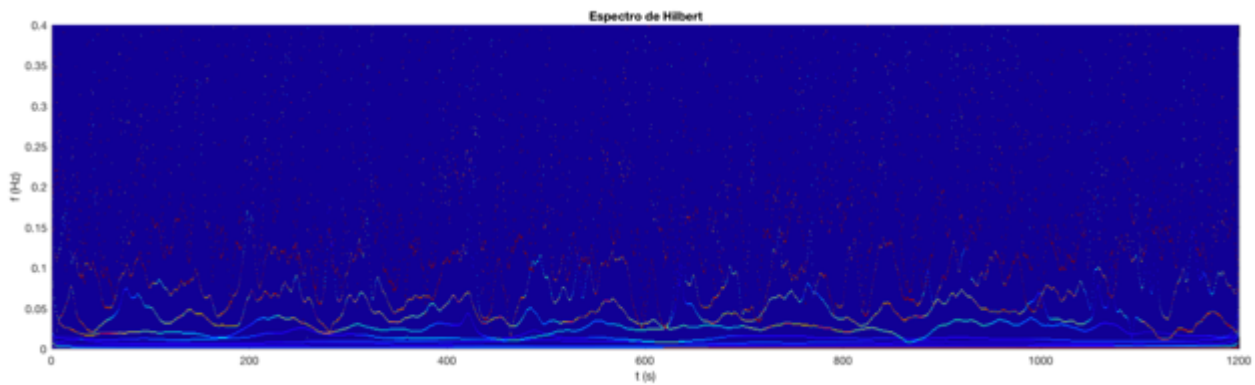


Figura 4.25 – Espectro de Hilbert-Huang do PT2 para Tempo 3.

4.2.2 Tempo 4 (15:05 – 15:25)

No espectro de Sinal abaixo (Figura 4.26, à esquerda), nota-se que o PT2 esteve submerso numa média de 1.6 metros. No espectro da direita (Fourier), a energia maior se faz por volta da frequência de 0.11 Hz (período de 9.1 segundos).

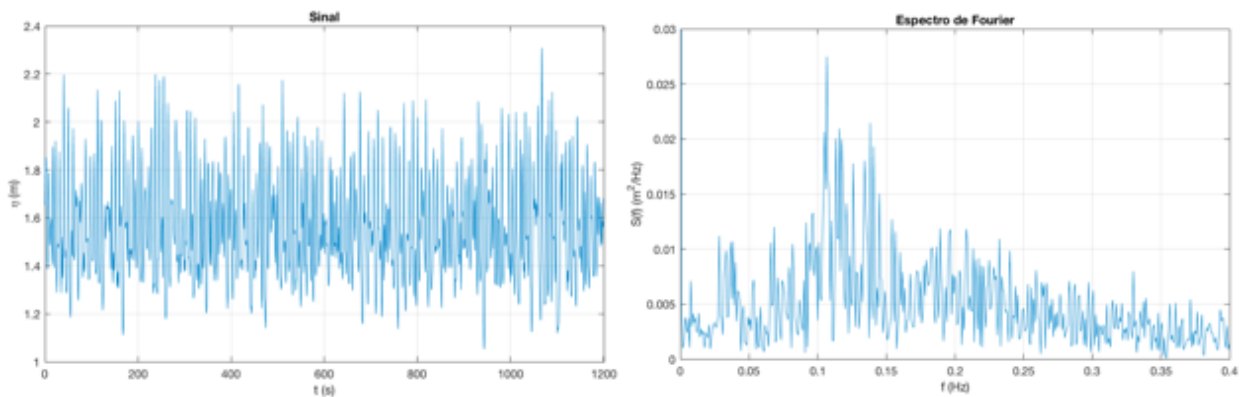


Figura 4.26 – Espectros de Profundidade e de Fourier, respectivamente, do PT2 para Tempo 4.

Já no espectro da Wavelet abaixo (Figura 4.27) do sensor de pressão PT2, a energia se mostra mais intensa em torno da frequência 0.12 Hz (período de onda de 8.3 segundos).

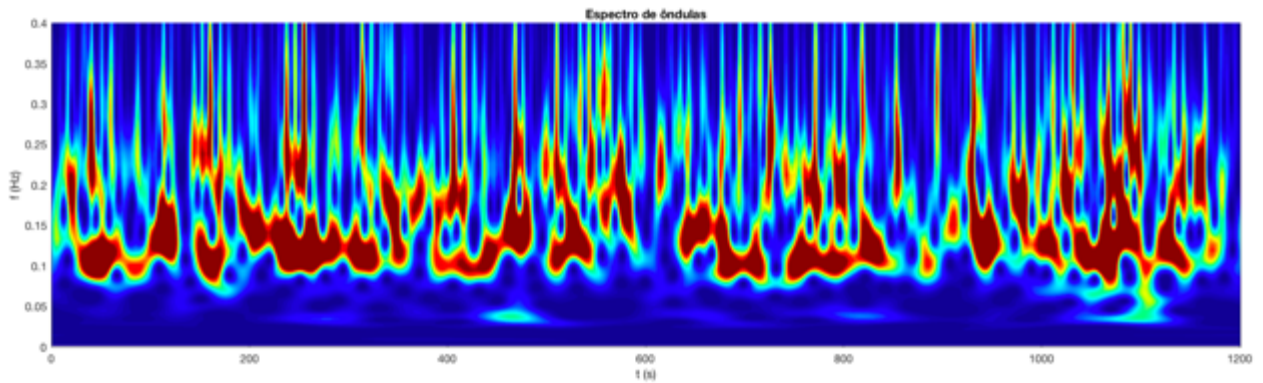


Figura 4.27 – Espectro de Ondulas do PT2 para Tempo 4.

No espectro de Hilbert-Huang, representado pela Figura 4.28 abaixo, o PT2 apresentou frequência mais significativa em torno de 0,11 Hz (período de onda de 9.1 segundos).

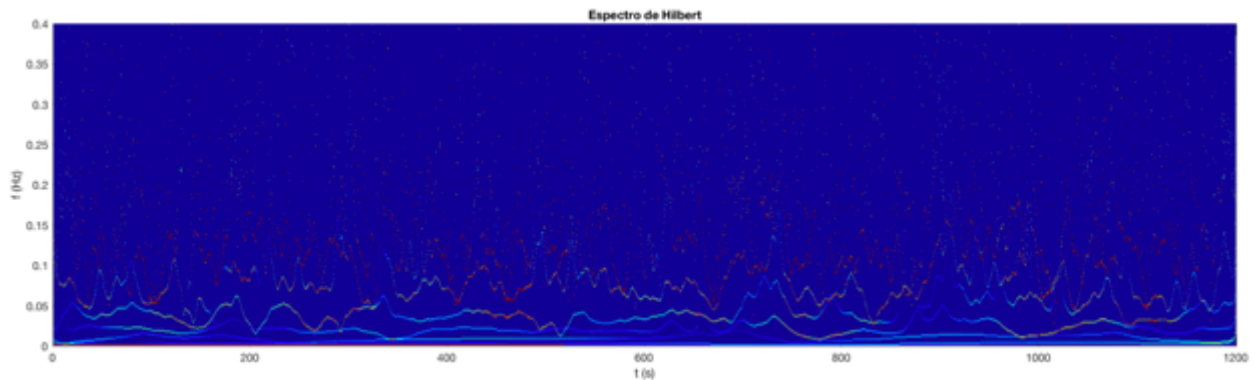


Figura 4.28 – Espectro de Hilbert-Huang do PT2 para Tempo 4.

4.2.3 Tempo 5 (16:24 – 16:44)

No espectro de Sinal abaixo (Figura 4.29, à esquerda), nota-se que o PT2 estava submerso, de início, numa profundidade de 1.4 metros e, até o fim dos 20 minutos, se encontrava à 1.2 metros. No espectro da direita (Fourier), o maior pico de energia se fez por volta de 0.10 Hz (período de 10 segundos). No entanto, há um segundo pico de energia próximo a 0.12 Hz (8.3 segundos).

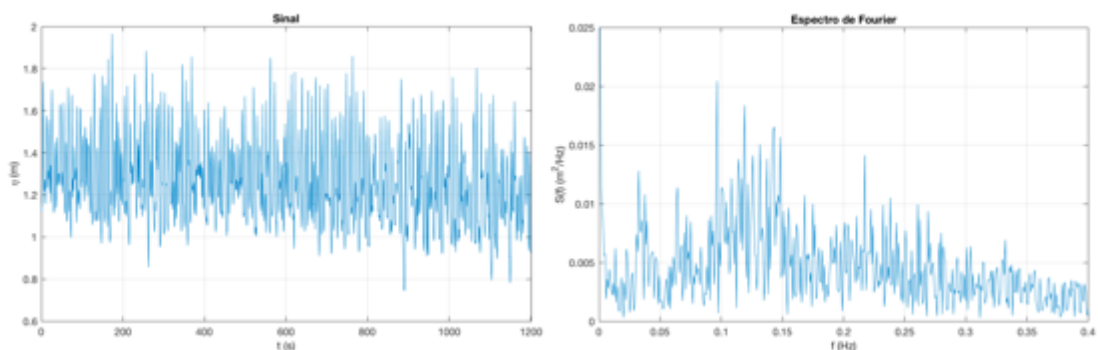


Figura 4.29 – Espectros de Profundidade e de Fourier, respectivamente, do PT2 para Tempo 5.

No espectro da Wavelet a seguir (Figura 4.30) do sensor de pressão PT2, a energia se mostra mais intensa em torno da frequência 0,13 Hz (período de onda de 7,7 segundos).

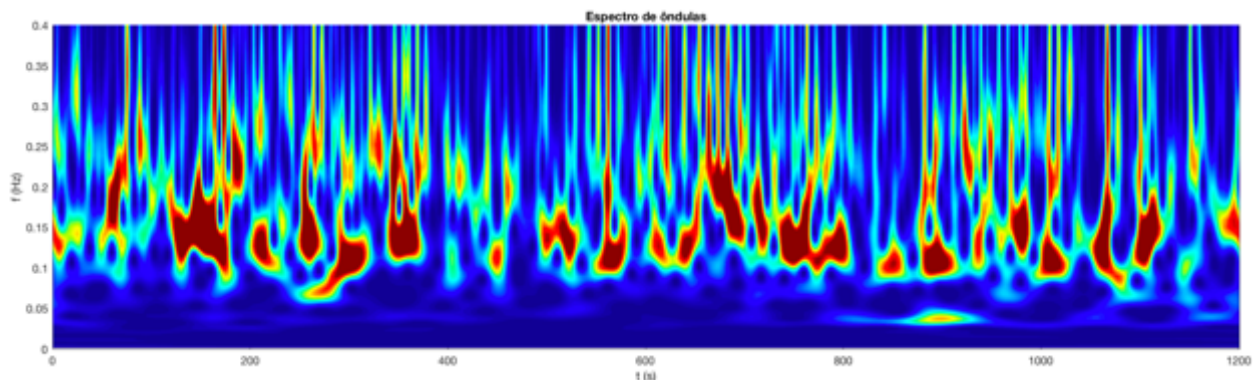


Figura 4.30 – Espectro de Ondulas do PT2 para Tempo 5.

No espectro de Hilbert-Huang, representado pela Figura 4.31 abaixo, o PT2 apresentou frequência mais significativa em torno de 0,12 Hz (período de onda de 8,3 segundos).

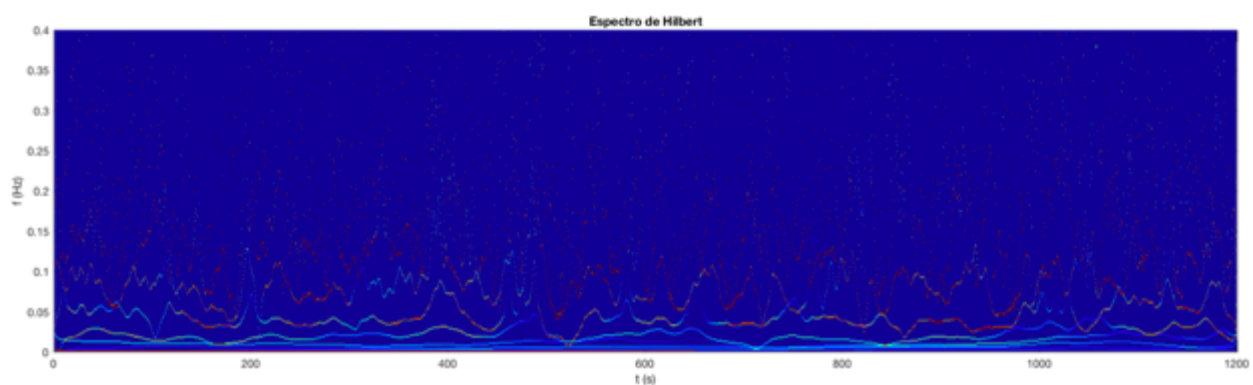


Figura 4.31 – Espectro de Hilbert-Huang do PT2 para Tempo 5.

4.3 ANÁLISE PT3 E PT5

O PT3 e PT5, estão posicionados em linha longitudinal próxima um da outra, como ilustra o gráfico do perfil transversal da praia (Figura 3.4), visto no capítulo anterior. Por esse motivo, para um melhor aproveitamento dos resultados, serão analisados em conjunto, como foi realizado com os sensores de pressão PT1 e PT4.

Após rodagem dos dados no Matlab, observou-se que os espectros correspondentes aos intervalos de Tempos de 3 a 5 (20 minutos cada) são os mais significativos para a análise comparativa entre PT3 e PT5, pois corresponde aos momentos em que esses dois sensores de pressão estiveram totalmente submersos.

Para cada um dos Tempos (3 a 5) estudados a seguir, foram gerados os espectros de sinais, de Fourier, Wavelet e Hilbert-Huang, em função do PT3 e PT5, em intervalo de 20 minutos cada espectro.

4.3.1 Tempo 3 (13:46 às 14:06)

No espectro de Sinal (Figura 4.32), o PT3 (esquerda) iniciou submerso 0.6 metros e subiu para 0.7 metros; já o PT5 (direita) iniciou com 0.8 metros de profundidade e subiu para 0.9 metros.

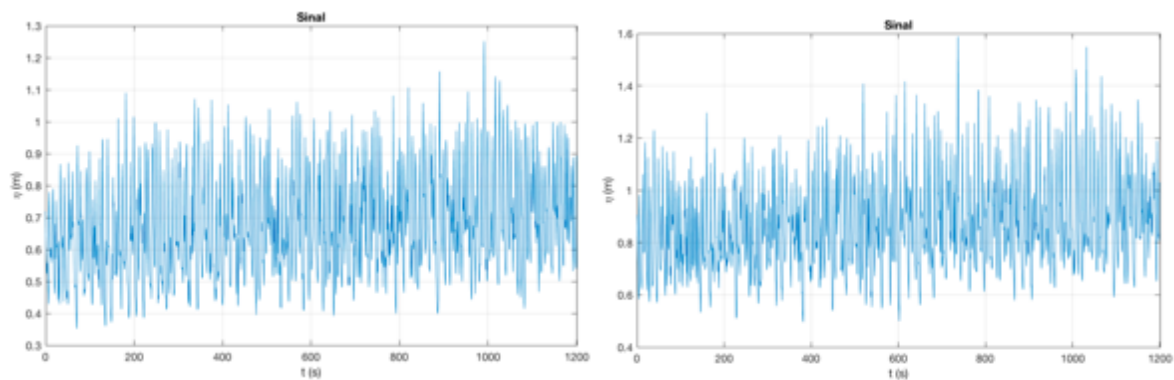


Figura 4.32 – Espectros de profundidade do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 3.

Quanto aos espectros de Fourier do PT3 e PT5 abaixo (Figura 4.33), o PT3 (esquerda) teve seu pico mais elevado de energia em torno de uma frequência de 0.12 Hz, conseqüentemente um período de onda de 8.3 segundos.

Já o PT5 (direita) apresentou diferentes grupos de ondas com elevada energia. Um desses grupos tiveram a maior energia concentrada na frequência de 0,125 (8 segundos). O outro que apresentou grande energia, esteve por volta de uma frequência de 0,05 Hz, correspondente a um período de onda de 20 segundos.

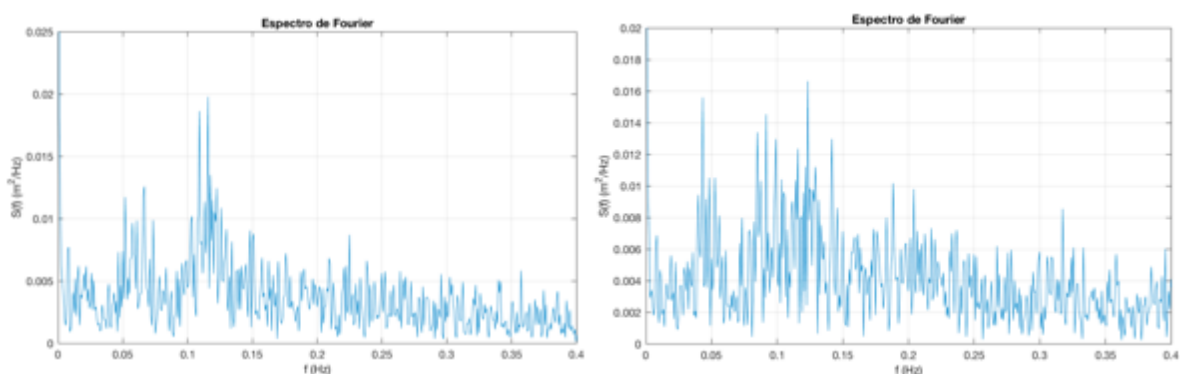


Figura 4.33 – Espectros de Fourier do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 3

Em seguida, encontram-se os espectros das Wavelets (ôndulas) do PT3 e PT5, respectivamente (Figura 4.34). Analisando os dois espectros, nota-se que para o PT3, a frequência em que se encontram as ondas

de maior energia está por volta de 0.12 Hz (período de onda de 8.3 segundos). Já para o PT5 apresentou frequência próxima de 0.1 Hz (período da onda de 10 segundos).

Entretanto, no PT5, percebe que há uma dispersão maior de energia em diferentes frequências, como já tinha sido visto no espectro de Fourier (Figura 4.33, à direita).

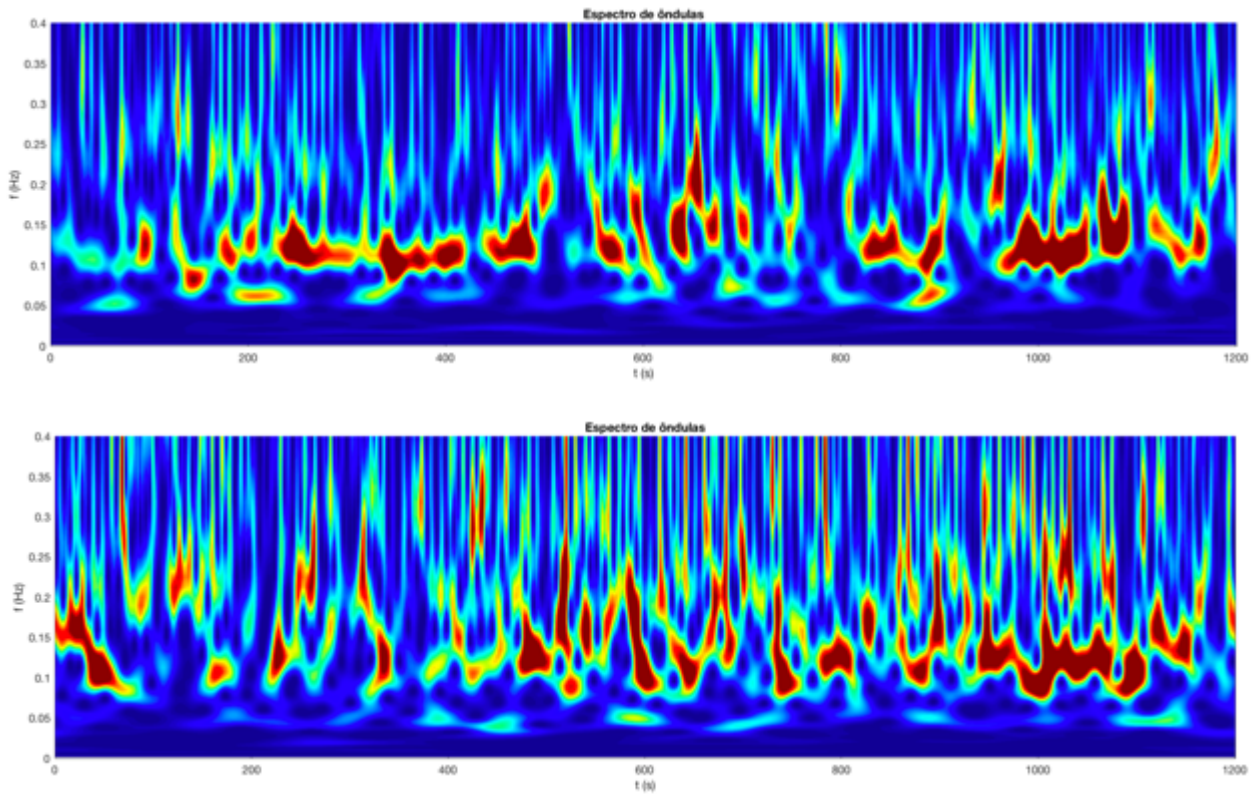


Figura 4.34 – Espectros de Ondas do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 3.

Nos espectros de Hilbert-Huang (Figura 4.35), o sensor de pressão PT3 apresentou frequência mais significativa de 0.12 Hz (período de onda de 8.3 segundos) e o PT5, 0.11 Hz (9.1 segundos).

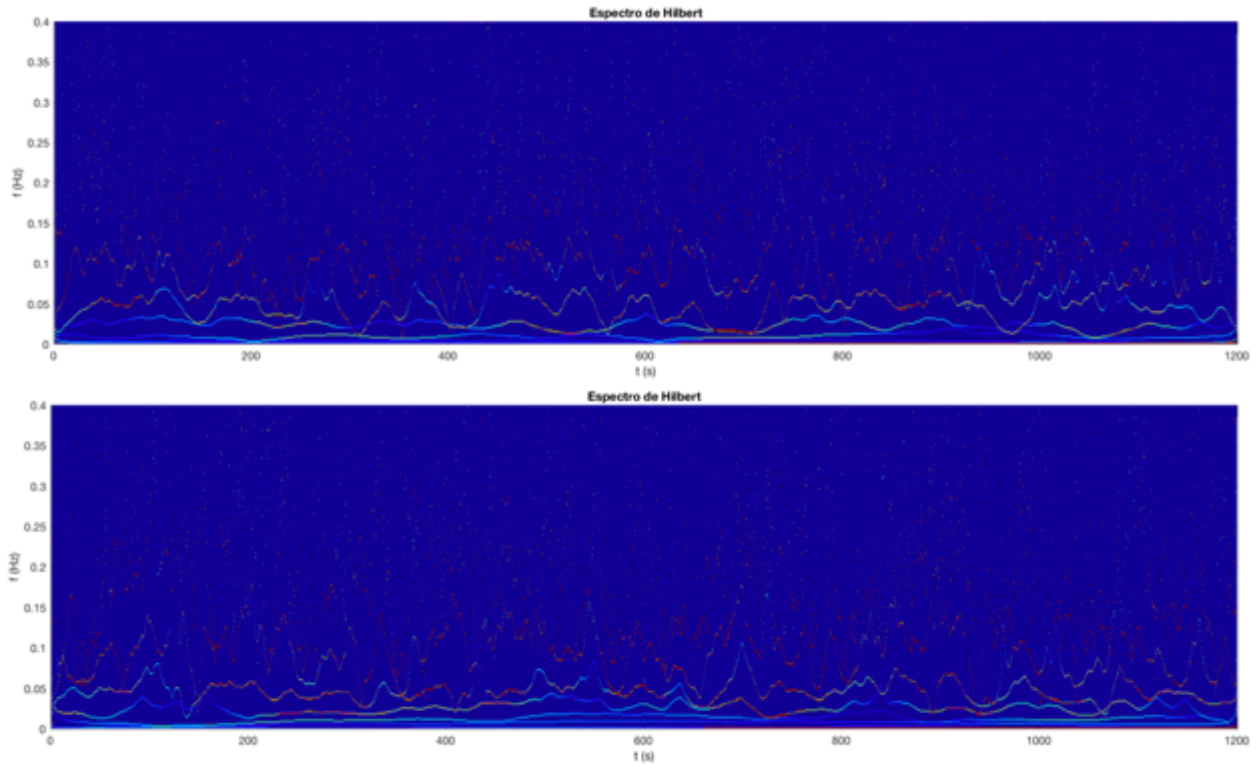


Figura 4.35 – Espectro de Hilbert-Huang do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 3.

4.3.2 Tempo 4 (15:05 – 15:25)

No espectro de Sinal (Figura 4.36), o PT3 (esquerda) esteve submerso por volta de 1.0 metro; já o PT5 (direita) ficou em 1.3 metros de profundidade. Essa diferença mais marcante se deu, devido o PT5 estar mais próximo do mar em comparação ao PT3.

Também, nota-se que não houve alteração significativa na profundidade em que se encontrava os sensores de pressão, já que o Tempo 4 representa o momento de preia-mar, que é de maior estabilidade. Ou seja, a superfície livre da água não aumentará, pelo contrário, tenderá diminuir até o fim da Campanha.

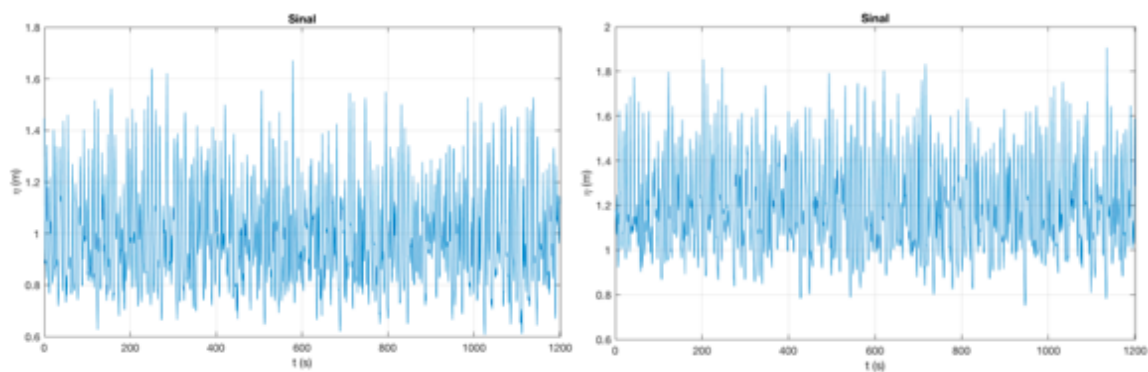


Figura 4.36 – Espectros de profundidade do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 4.

Quanto aos espectros de Fourier do PT3 e PT5 abaixo (Figura 4.37), o sensor de pressão PT3 (esquerda), tem as maiores energias concentradas entre as frequências de 0.11 e 0.14 Hz, correspondendo a um período de onda de 9.1 e 7.1 segundos. No caso do PT5 (direita), a frequência com maior energia está localizada em 0.13 Hz, o que corresponde a um período de onda de 7.7 segundos.

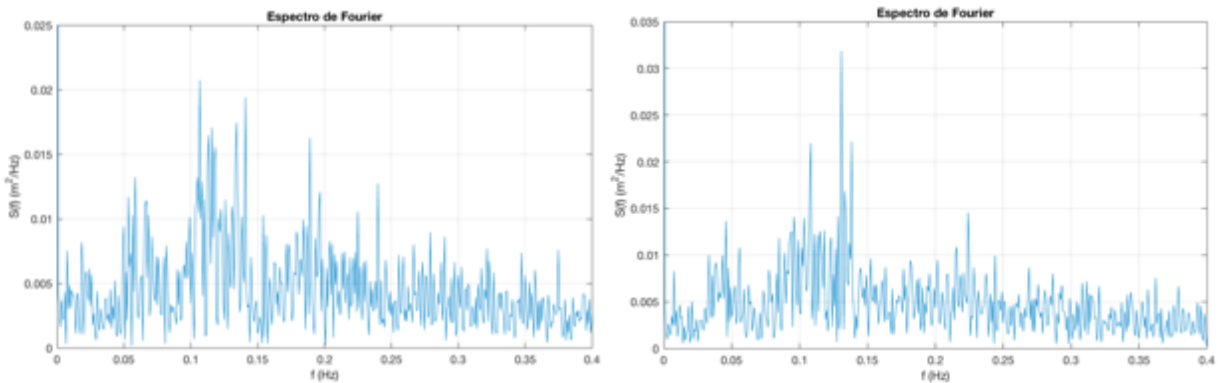


Figura 4.37 – Espectros de Fourier do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 4.

Nas Wavelets (ôndulas) do PT3 e PT5 (Figura 4.38) as frequências significativas são 0,12 Hz (período de 8,3 segundos) e 0,13 Hz (período de 7,7 segundos), respectivamente. Percebe-se que no PT3 há uma intensidade menor de energia, em comparação ao PT5, que se encontra posicionado um pouco mais próximo ao mar.

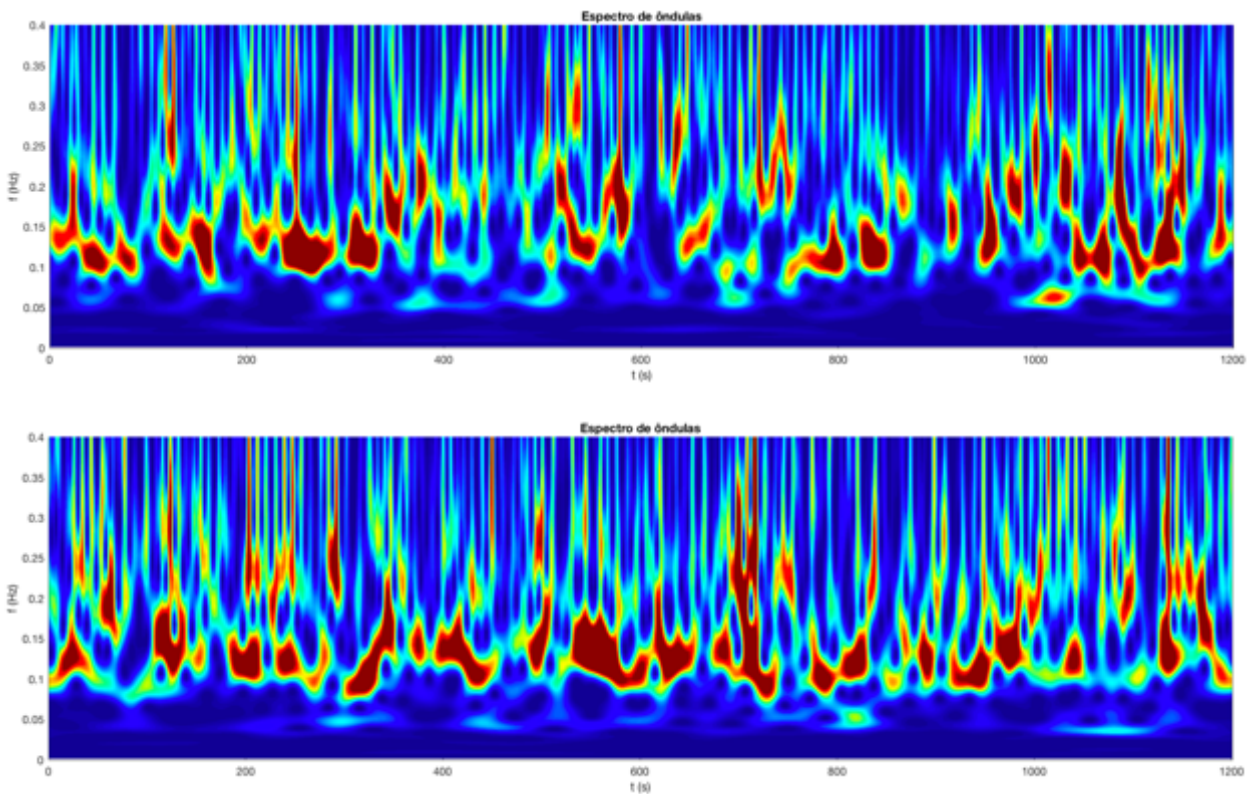


Figura 4.38 – Espectros de Ôndulas do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 4.

Já nos espectros de Hilbert-Huang (Figura 4.39), o sensor de pressão PT3 apresentou frequência mais significativa de 0,12 Hz (período de onda de 8,3 segundos) e o PT5 de 0,13 Hz (7,7 segundos), respectivamente.

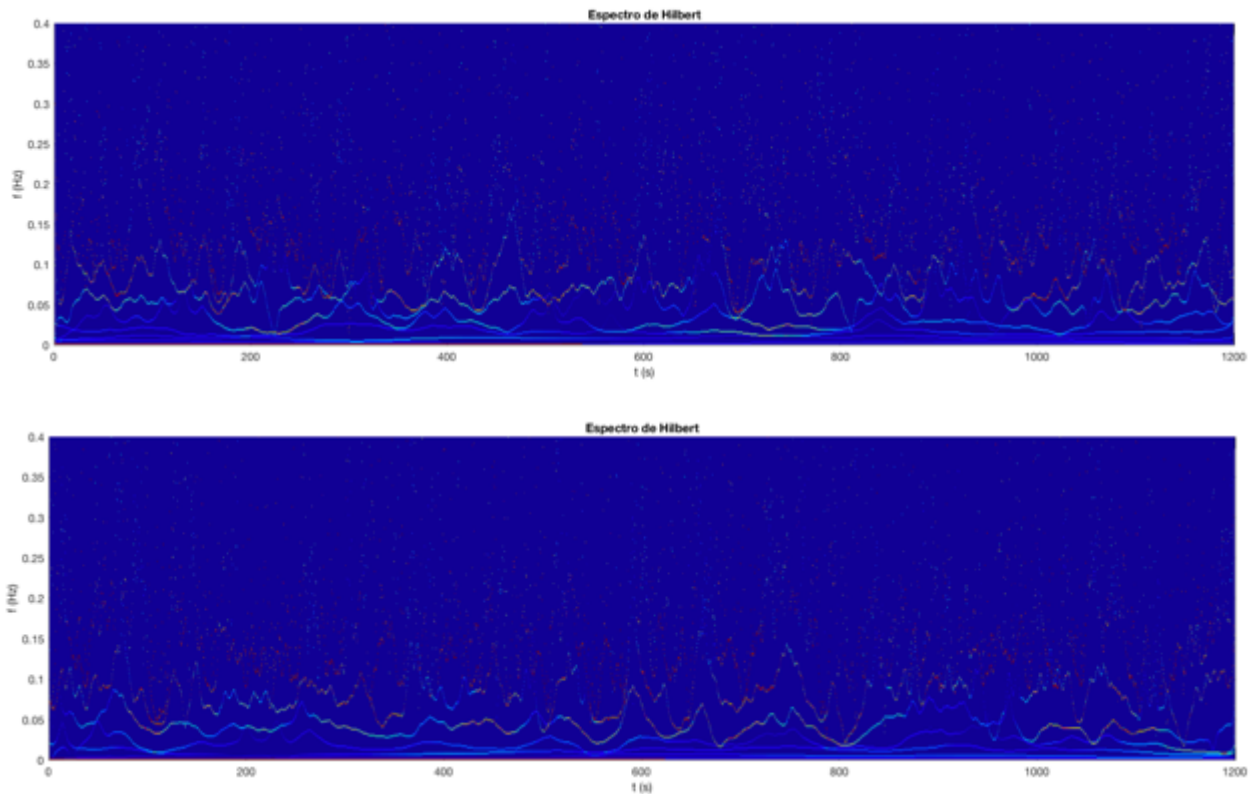


Figura 4.39 – Espectro de Hilbert-Huang do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 4.

4.3.3 Tempo 5 (16:24 – 16:44)

No espectro de Sinal (Figura 4.40), o PT3 (esquerda) iniciou submerso 0.8 metros e desceu para 0.7 metros. Já o PT5 (direita) iniciou com 1.0 metro de profundidade e terminou com 0.9 metros.

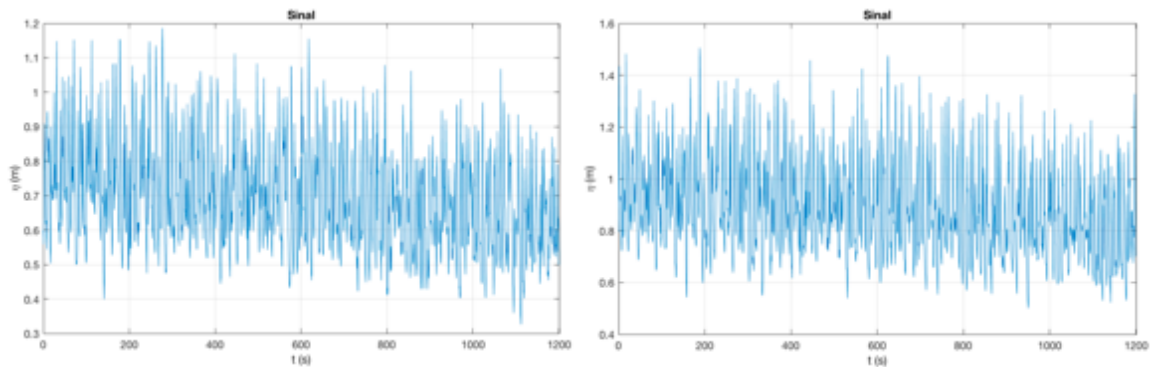


Figura 4.40 – Espectros de profundidade do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 5.

Nos espectros de Fourier a seguir (Figura 4.41), o sensor de pressão PT3 (esquerda) apresentou a maior energia na frequência 0.12 Hz, correspondendo período de onda de 8.3 segundos. No caso do PT5 (direita), a frequência com maior energia também se deu por volta de 0.12 Hz (8,3 segundos).

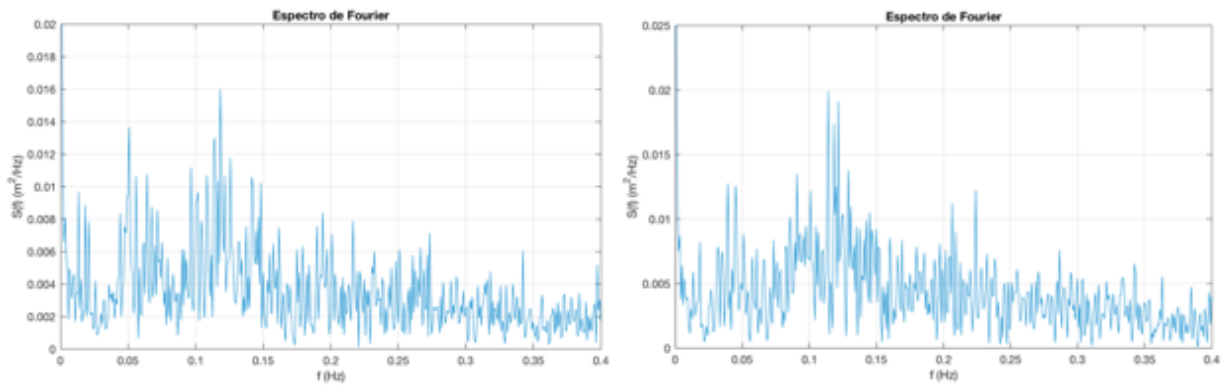


Figura 4.41 – Espectros de Fourier do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 5.

A seguir, encontram os espectros das Wavelets (Figura 4.42) do PT3 e PT5, respectivamente. Nota-se que para o PT3, a frequência em que se encontram as ondas de maior energia está por volta de 0,12 Hz (período de onda de 8.3 segundos) e para o PT5 é próximo de 0,13 Hz (período de onda de 7.7 segundos).

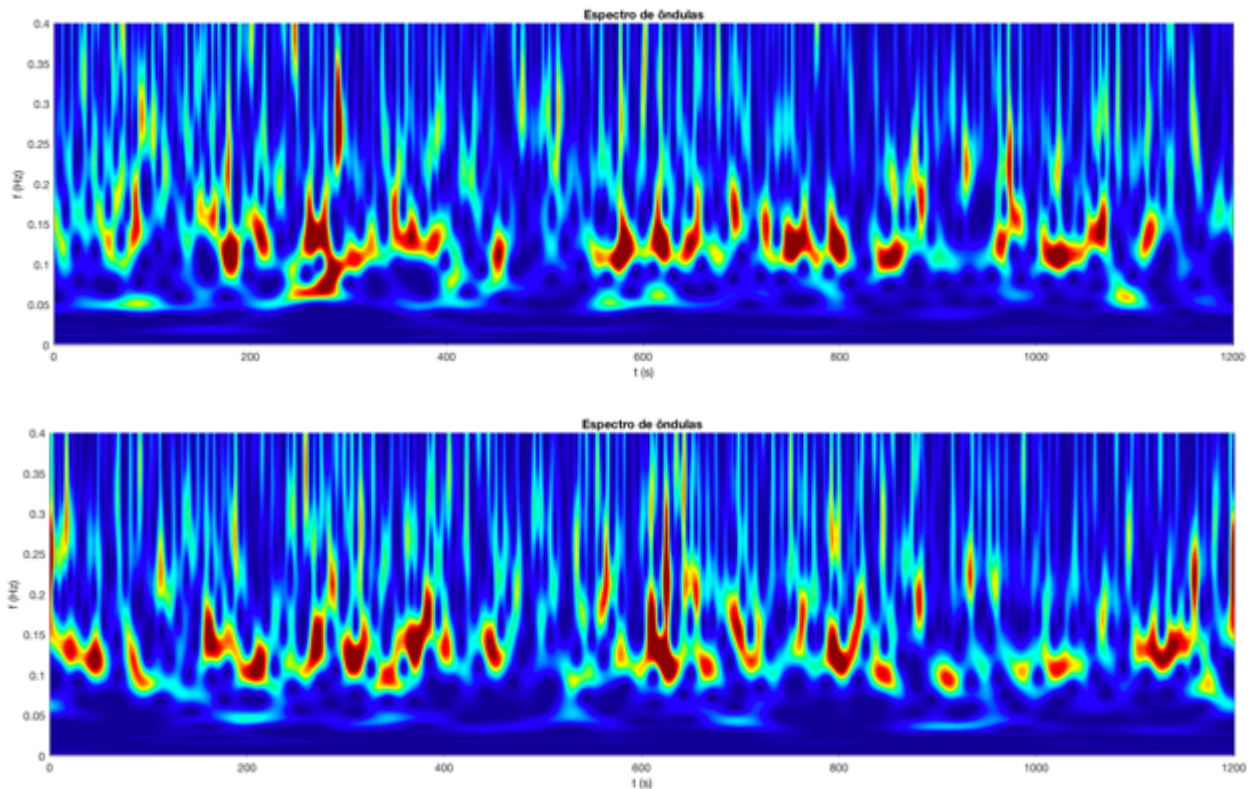


Figura 4.42 – Espectros de Ôndulas do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 5.

Já em relação aos espectros de Hilbert-Huang (Figura 4.43), o sensor de pressão PT3 apresentou frequência mais significativa de 0.12 Hz (período de onda de 8.3 segundos) e o PT4, também 0.12 Hz (8.3 segundos).

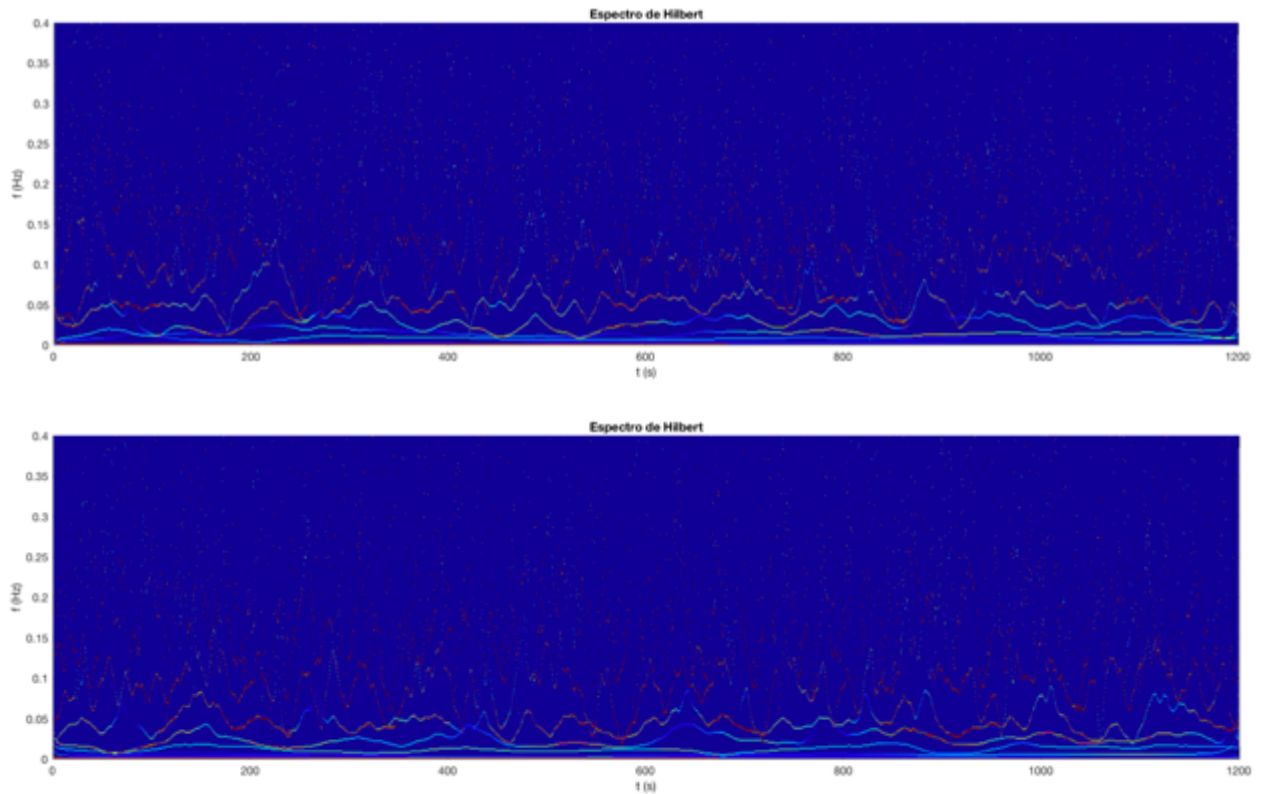


Figura 4.43 – Espectro de Hilbert-Huang do PT3 e PT5, respectivamente, para Tempo 5.

4.4 ANÁLISE PT6

O PT6, devido sua proximidade à base da duna, ou seja, ser o PT mais afastado do mar, acarretou por estar em contato com a água somente no Tempo 4, momento este em que ocorre a preia-mar (maré alta). Diante disso, a análise do PT6 será realizada somente em função do Tempo 4.

Em relação ao espectro de Sinal abaixo (Figura 4.44, à esquerda), nota-se que o PT6 esteve submerso numa média de 0,15 metros, o que faz sentido já que ele se encontra próximo a costa.

No espectro da direita da Figura 4.44 (Fourier), existem picos de energia, dando em média por volta de 0.05 Hz (período de onda de aproximadamente 20 segundos).

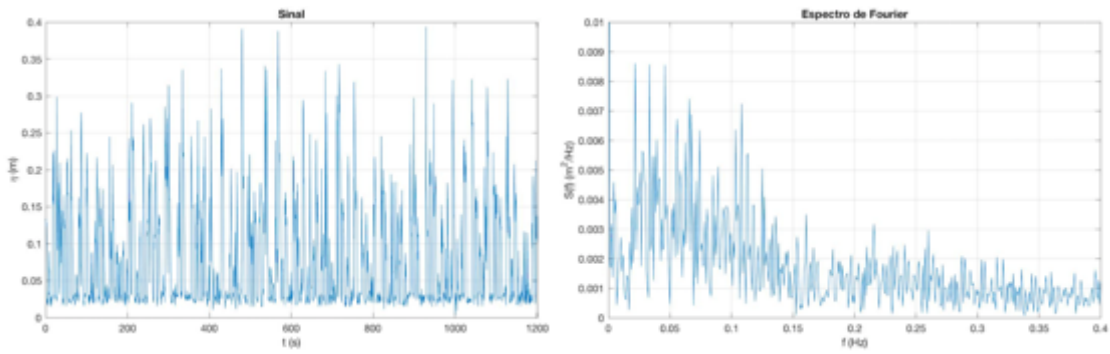


Figura 4.44 – Espectros de Profundidade e de Fourier, respectivamente, do PT6 para Tempo 4.

No espectro da Wavelet (Figura 4.45) do sensor de pressão PT6, representado abaixo, nota-se que quase não há ondas causadas pelo vento (devido a ausência de elevadas energias), ou seja, na posição onde se encontra o PT6, o nível da superfície livre se dá, praticamente, apenas pelo efeito da maré alta (preia-mar). Sua frequência fica em torno de 0,05 Hz (período de onda de 20 segundos).

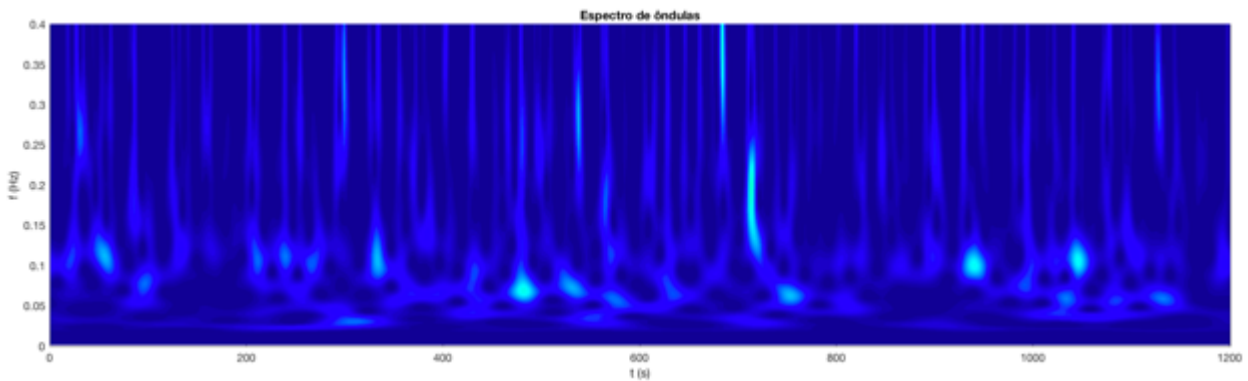


Figura 4.45 – Espectro de Ondulas do PT6 para Tempo 4.

Por último, no espectro da transformada de Hilbert-Huang, a frequência fica em torno de 0,06 Hz, correspondente a um período de onda de aproximadamente 17 segundos.

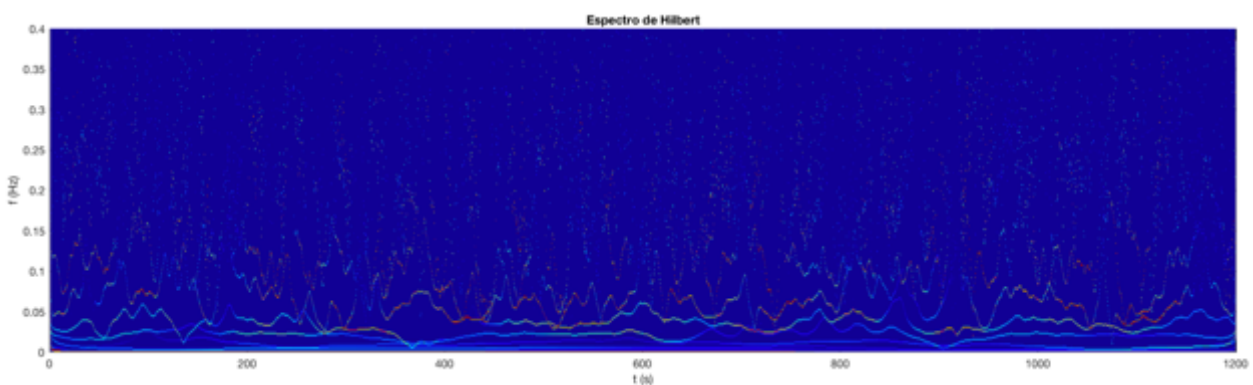


Figura 4.46 – Espectro de Hilbert-Huang do PT6 para Tempo 4.

CAPÍTULO 5

PROCESSAMENTO DOS DADOS PARTE 2: ANÁLISE DOS PARÂMETROS RELATIVOS À ASSIMETRIA DAS ONDAS

Este capítulo mostra os resultados que foram obtidos através de planilhas de Excel, tendo como base de entrada os dados obtidos em programas feitos no Matlab, para cada um dos 6 sensores de pressão (PT).

A seguir, serão analisados os resultados em relação aos parâmetros relativos à assimetria dos grupos de ondas de cada PT.

Ao analisar os gráficos das Figuras abaixo, nota-se que, às vezes, há intervalos de tempo que apresentam resultados com maior regularidade. Isso ocorre devido nem todo os momentos que durou a Campanha tiveram o sensor de pressão (PT) por todo submerso. Por isso, para a análise dos resultados serão considerados apenas os períodos mais significativos.

5.1 ANÁLISE PT1

A Figura 5.1 abaixo se refere à profundidade das ondas que o sensor de pressão PT1 captou, medida de acordo com o SI (sistema internacional de medidas). Foi utilizado dois tipos de filtros: *Butterworth* (*eta_B*) e um de nome desconhecido (*eta_H*). Os filtros podem vir, às vezes, sobrepostos, como é o caso do “*etaL*” e “*eta_B*”. Verificou-se, a partir do sinal filtrado *etaH*, um valor máximo de aproximadamente 2.1 metros de profundidade para ondas causadas pela ação da maré (*etaH*), em momento de preia-mar.

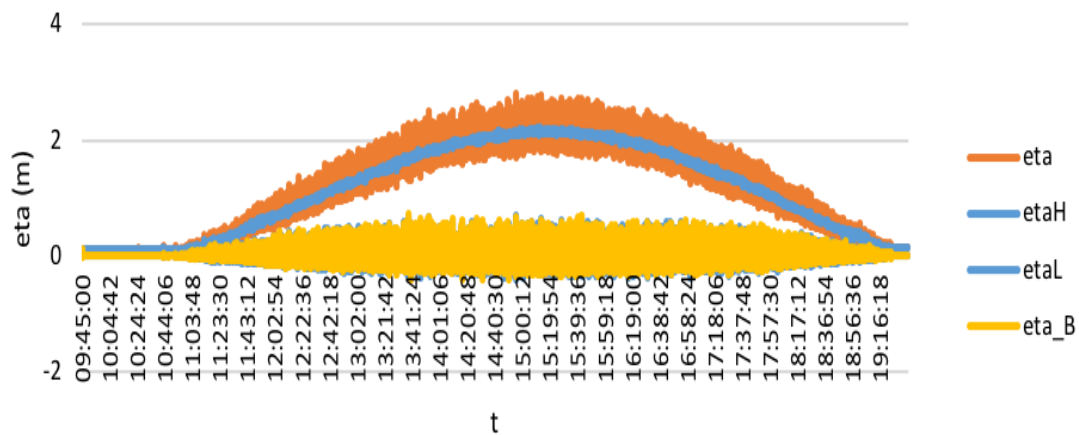


Figura 5.1 – Profundidade das ondas do PT1.

Com relação a Figura 5.2 a seguir, esta apresenta a altura das ondas significativas, medida em metros. Estão representados a profundidade da superfície livre da água (h) e a altura das ondas (H_s) ao longo de todo o tempo em que ocorreu a Campanha.

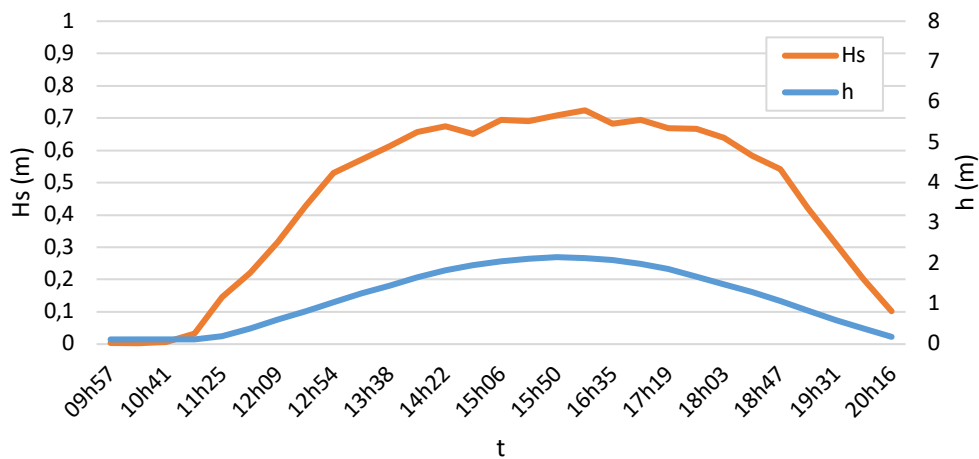


Figura 5.2 – Altura das ondas significativas do PT1.

Ainda sobre a Figura 5.2, nota-se que o PT1 esteve quase todo o tempo da Campanha submerso, o que faz sentido pelo seu posicionamento ser o mais próximo ao mar.

A curva de profundidade da superfície livre da água (h) mostra que a oscilação, de sobe e desce, se deu pelo efeito das marés. A Campanha teve início no período de baixa-mar (9:06), dando sequência a um período crescente de preia-mar (15:16) e, por fim, decrescente de baixa-mar (21:29).

Com relação a curva das alturas das ondas (H_s), foi verificado que ao se aproximar de águas pouco profundas, as ondas causadas pela ação do vento tiveram sua propagação pelo processo de Empolamento. Como visto no capítulo 2, durante esse processo, a onda sofre uma alteração em sua

forma, passando a aumentar sua altura à medida que a profundidade diminui. O período em que as ondas estiveram com suas alturas mais estabilizadas foi entre às 12:54 e 18:47.

O auge e declive que a curva da altura das ondas (H_s) teve, foi decorrente em parte, provavelmente, de força resultante. Até o momento ápice da preia-mar, tanto as ondas geradas pelo vento quanto as geradas pelo efeito da maré estavam na mesma direção, ou seja, suas forças se somam, acarretando num nível crescente de altura das ondas. Em contrapartida, assim que se encerra a preia-mar e se inicia a baixa-mar, os sentidos das forças se opõem e, dessa maneira, pela barreira natural que faz a baixa-mar, as ondas não conseguem alcançar alturas muito elevadas antes de rebentarem.

No intervalo das 14:22 às 17:41, o valor da altura média das ondas do PT1 se fez por volta de 0.70 metros, no momento de preia-mar.

O gráfico a seguir (Figura 5.3), mostra os períodos de pico das ondas em função do tempo. Dentre o intervalo das 11:47 às 18:47, o PT1 apresentou grupos de ondas com período de onda entre 8 e 9 segundos.

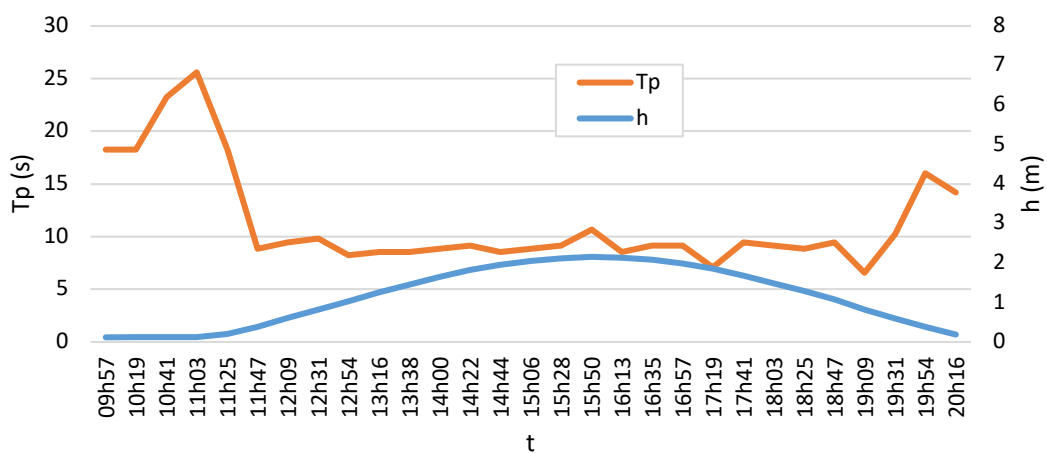


Figura 5.3 – Períodos de pico das ondas do PT1.

Nos 4 gráficos a seguir, foram estabelecidos 20 minutos para uma unidade de “t”, ou seja, quando o eixo horizontal (t) estiver no ponto igual a 5, significa que são 100 minutos em tempo real. Observando as 4 figuras a seguir, serão descartados os intervalos de extremos que não são significativos para a análise. Portanto, o intervalo analisado irá de 5 a 25.

O coeficiente de assimetria de velocidade R indica que a oscilação das ondas é simétrica em termos de velocidade orbital, se estiverem próximas ao valor de 0.50. Com valores superiores a 0.50, indica que a velocidade da crista é superior à velocidade da cava.

Diante disso, analisando os valores do coeficiente R (Figura 5.4), observou-se uma semelhança de resultados dos 2 filtros (R_1 e R_2), principalmente entre o tempo 10 e 20. Do gráfico, conclui-se que esse

grupo de ondas do PT1 possui assimetria em relação à velocidade, pois seus valores se dão acima de 0.50. Isso significa que a velocidade da crista é superior à velocidade da cava.

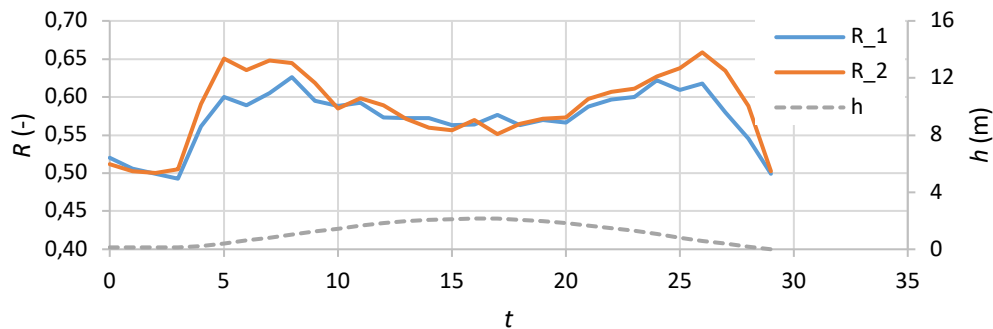


Figura 5.4 – Variação do parâmetro R relativo à assimetria de velocidade do PT1.

Quanto ao coeficiente que indica assimetria em relação à aceleração α , se seu valor corresponder a 0.50, isso representa ondas sinusoidais. Caso α tenha valor inferior a 0.50, significa que a forma da onda se inclina gradualmente para a frente, ou seja, com a face frontal da crista mais inclinada. Com isso, dada a Figura 5.5 abaixo, pode-se notar que o intervalo de 10 a 20 possui características mais sinusoidais, principalmente ao verificar o filtro α_1 .

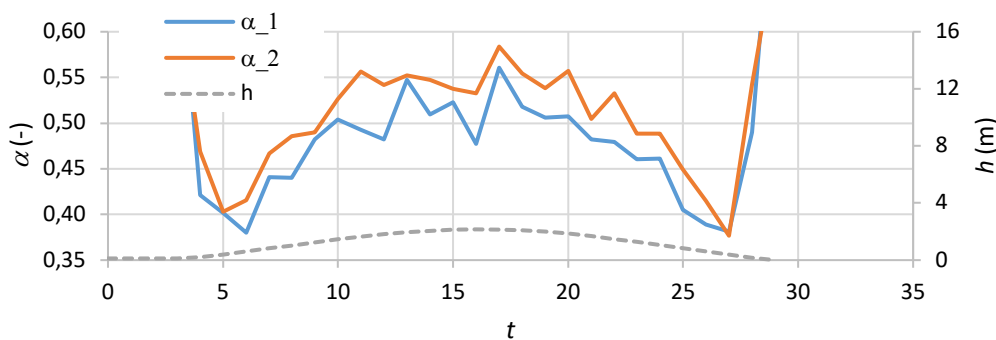


Figura 5.5 – Variação do parâmetro α relativo à assimetria de aceleração do PT1.

Os parâmetros de assimetria R de velocidade e α de aceleração podem ser convertidos em outros dois parâmetros: r e ϕ , respectivamente.

Em relação ao parâmetro de forma ϕ , quando este assume valor igual a zero, significa que se são ondas “em dentes de serra”, que apresentam assimetria apenas em relação à aceleração e, geralmente, encontradas em zonas de surf. Já quando $\phi = -\frac{\pi}{2}$ (-1.57), indica ondas que contêm assimetrias apenas em relação à velocidade, ou seja, ondas que possuem maior velocidade nas cristas do que nas cavas, porém com menor duração. Por fim, quando $\phi = -\frac{\pi}{4}$ (-0.79), as ondas possuem assimetrias tanto na velocidade quanto na aceleração, simultaneamente.

Diante disso, entre o intervalo de 5 a 25 analisado, referente ao PT1, e pelos valores de ϕ maiores que -0.79 (Figura 5.6), observou-se que ocorre assimetria somente nas velocidades das ondas. Não houve diferenças significativas entre os dois tipos de filtros usados.

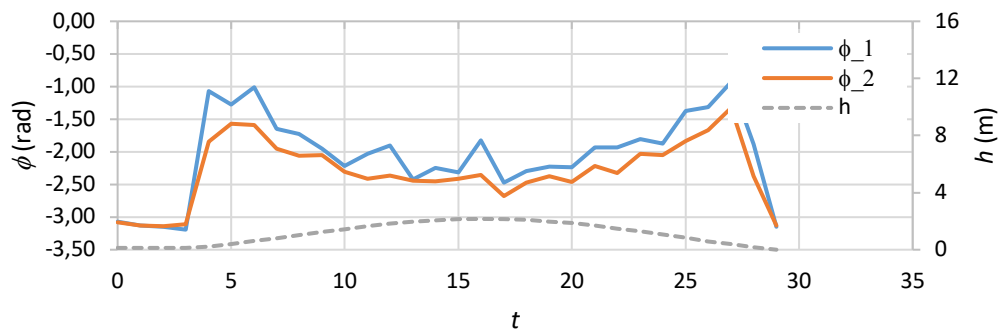


Figura 5.6 – Variação do parâmetro de forma ϕ relativo à assimetria do PT1.

O parâmetro de assimetria r , se apresentar redução de valor (em módulo), representa diminuição nas características não lineares. Caso r foi igual a zero, isso representaria uma onda sinusoidal (Teoria Linear das Ondas). No entanto, esse tipo de forma é pouco representativo em águas pouco profundas, onde, geralmente, coexistem assimetrias de velocidades e acelerações devido principalmente a diminuição da profundidade de fundo.

Diante desse fato, a Figura 5.7 abaixo, referente ao PT1, mostra que as ondas tendem ao caráter mais linear quando em momentos de preia-mar, principalmente. O Filtro r_1 apresentou um resultado mais favorável a linearidade das ondas, ou seja, apresentou valores mais próximos de zero.

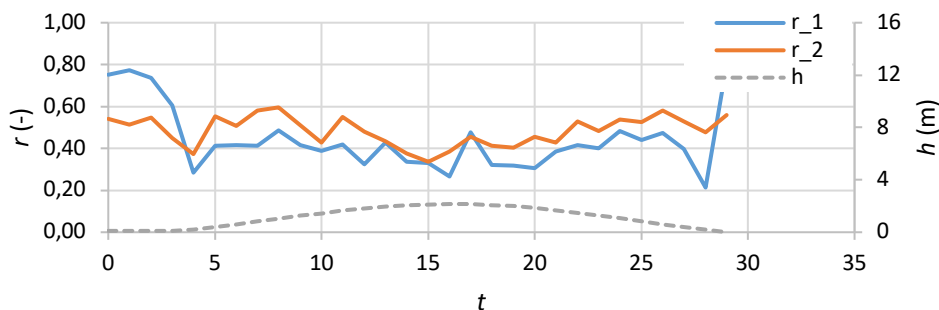


Figura 5.7 – Índice r relativo à assimetria do PT1.

5.2 ANÁLISE PT2

A partir da Figura 5.8, é possível observar dois fatos mais relevantes. O primeiro, mostra que a água iniciou seu contato com o sensor de pressão PT2 somente por volta das 11:47 e o deixou próximo das 18:40. A segunda observou-se um valor máximo de aproximadamente 1.7 metros de profundidade para ondas de maré (etaH), em momento de preia-mar.

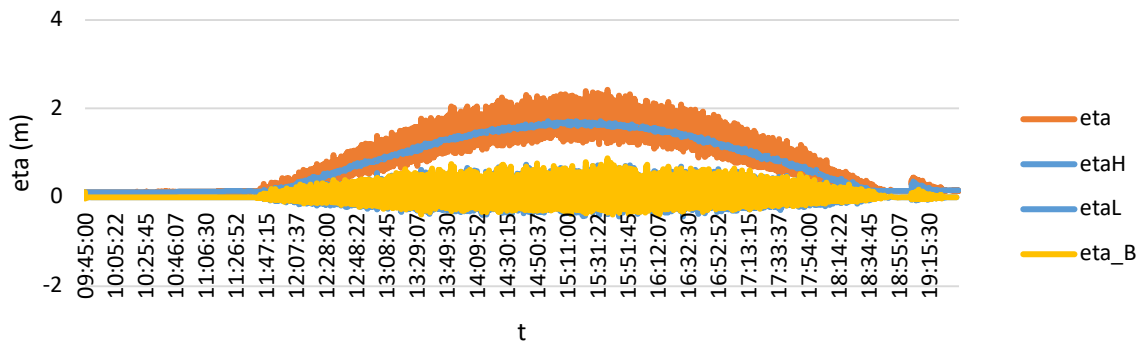


Figura 5.8 – Profundidade das ondas do PT2.

No horário próximo das 16:18, o maior valor da altura das ondas do PT2 (Figura 5.9) se fez por volta de 0.80 metros.

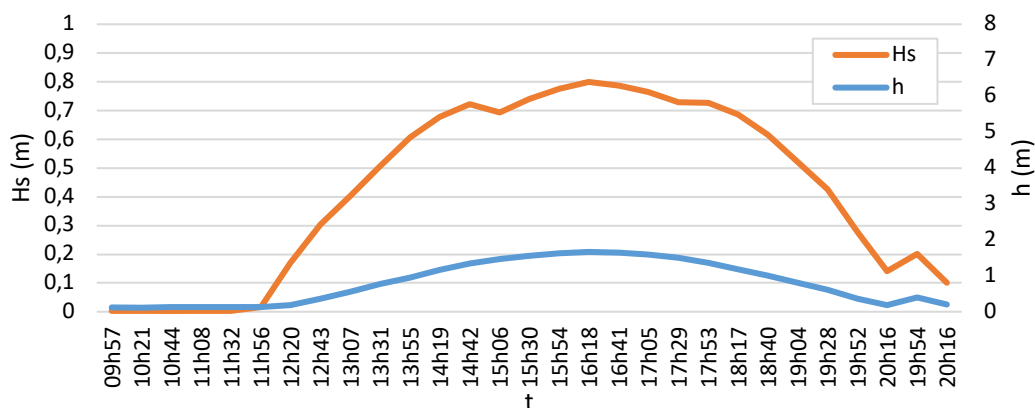


Figura 5.9 – Altura das ondas significativas do PT2.

O gráfico a seguir (Figura 5.10), mostra os períodos de pico das ondas em função do tempo. Dentre o intervalo das 13:07 às 19:52, o PT2 apresentou grupos de ondas com períodos de ondas na média de 9 segundos.

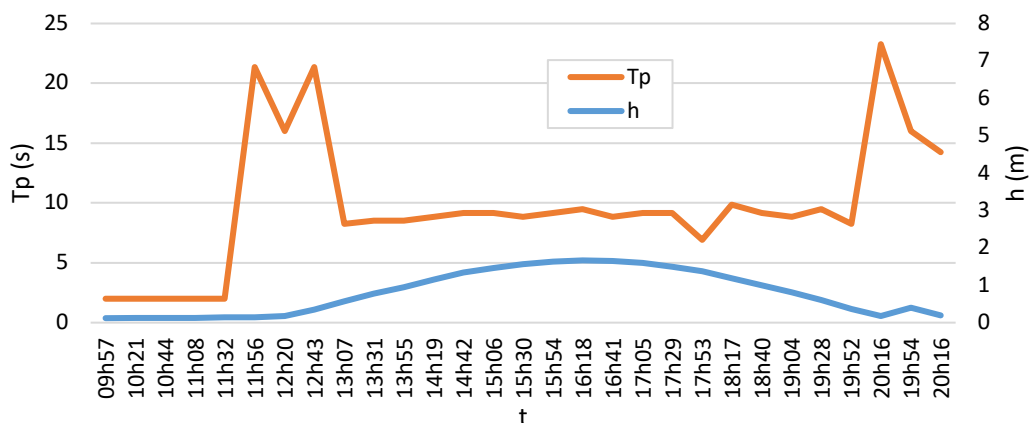


Figura 5.10 – Períodos de pico das ondas do PT2.

Observando as 4 figuras a seguir, serão descartados os intervalos de extremos que não são significativos para a análise. Portanto, o intervalo analisado irá de 10 a 20.

Do gráfico (Figura 5.11), conclui-se que esse grupo de ondas do PT2 possui assimetria em relação à velocidade, pois seus valores se dão próximos de 0.60, ou seja, acima de 0.50. Isso significa que a velocidade da crista é superior à velocidade da cava. Os filtros apresentaram resultados similares dentro do intervalo analisado (10 a 20).

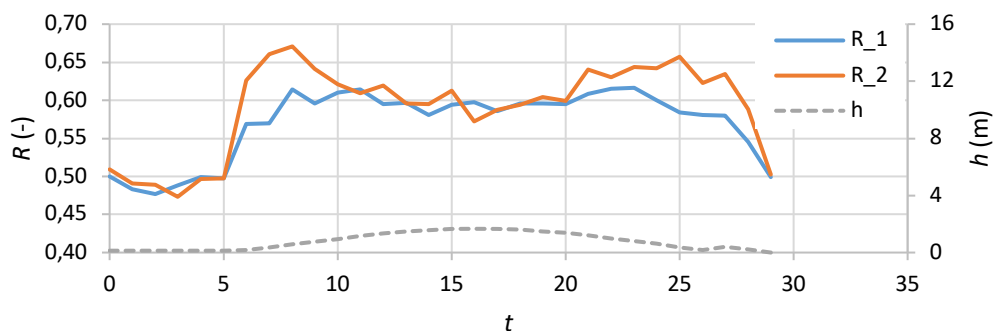


Figura 5.11 – Variação do parâmetro R relativo à assimetria de velocidade do PT2.

Lembrando que se o coeficiente que indica assimetria em relação à aceleração α tiver valor corresponder a 0.50, ele representa ondas sinusoidais. Caso α tenha valor inferior a 0.50, significa que a forma da onda do PT2 se inclina gradualmente para a frente, ou seja, com a face frontal da crista mais inclinada. Diante disso, dada a Figura 5.12 abaixo, pode-se notar que no intervalo de 10 a 20, as ondas possuem características que vão de próximas a sinusoidais para não sinusoidais, ou seja, com tendência de inclinação da parte frontal da crista, ao verificar o filtro α_1 . Percebe-se, também, que há uma semelhança na forma dos resultados dos dois filtros, com a diferença de estarem em paralelo numa distância de quase 0.05 de valor do parâmetro α .

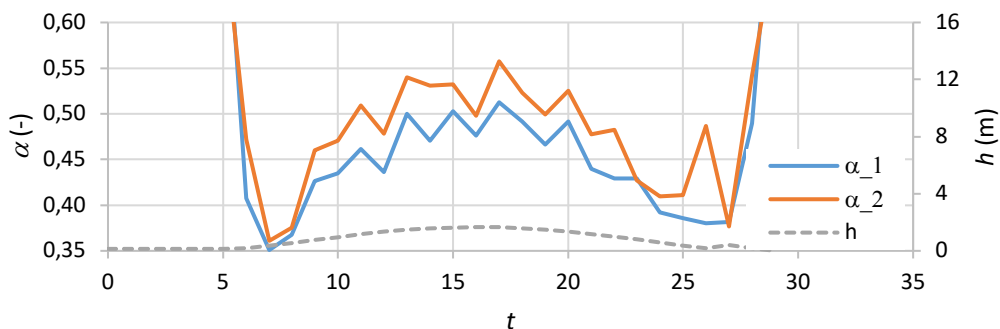


Figura 5.12 – Variação do parâmetro α relativo à assimetria de aceleração do PT2.

Entre o intervalo de 10 a 20 analisado, referente ao PT2, e pelos valores de ϕ maiores que -0.80 (Figura 5.13), observou-se que ocorre assimetria somente nas velocidades das ondas. Houve momentos em que as diferenças entre os dois tipos de filtros usados eram aproximadamente de 0.3 a 0.5 radiano. Os momentos em que tiveram menos discrepância entre os valores apresentados dos dois filtros foram nos pontos “t” igual a 13, 15, 16 e 17.

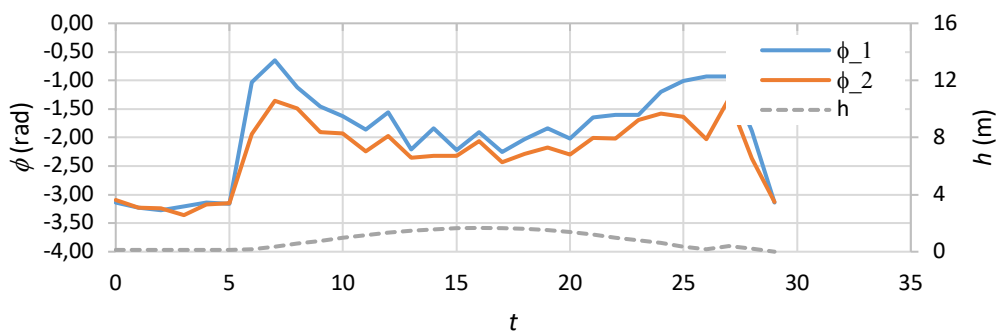


Figura 5.13 – Variação do parâmetro de forma ϕ relativo à assimetria do PT2.

Diante desse fato, a Figura 5.14 abaixo, referente ao PT2, mostra que as ondas não apresentam caráter linear, pois seu parâmetro r teve valores entre 0.40 e 0.50. O Filtro r_1 apresentou um resultado mais favorável a linearidade das ondas, ou seja, apresentou valores mais próximos de zero.

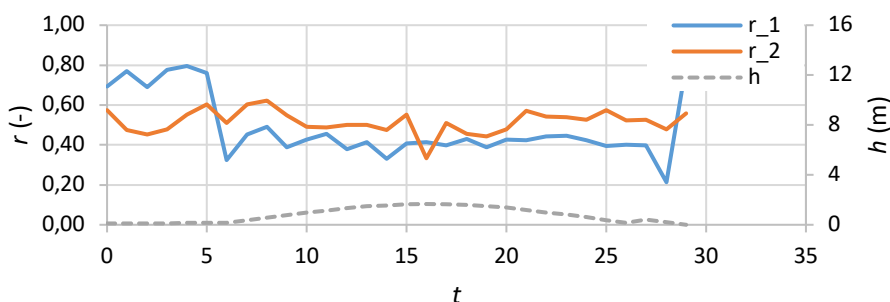


Figura 5.14 – Índice r relativo à assimetria do PT2.

5.3 ANÁLISE PT3

A partir da Figura 5.15, é possível observar dois fatos mais relevantes. O primeiro, mostra que a água iniciou seu contato com o sensor de pressão PT3 somente por volta das 12:40 e o deixou próximo das 18:05. A segunda observou-se um valor máximo de aproximadamente 1.0 metro de profundidade para ondas de maré (etaH), em momento de preia-mar.

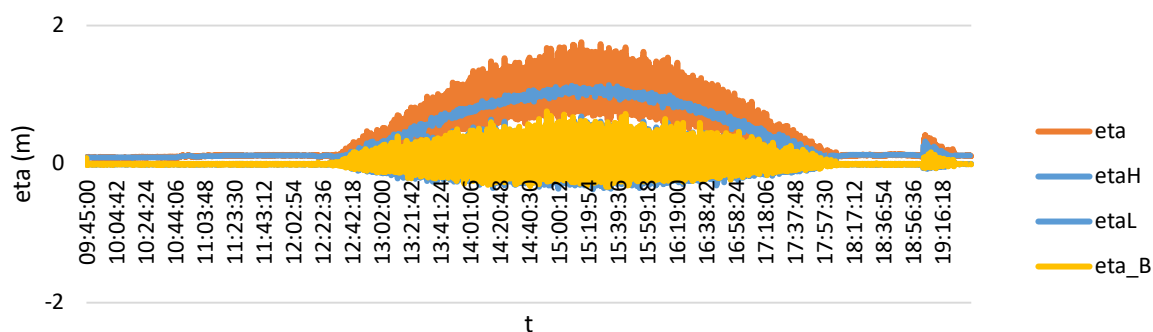


Figura 5.15 – Profundidade das ondas do PT3.

No horário próximo das 16:41, o maior valor da altura das ondas do PT3 (Figura 5.16) se fez por volta de 0.72 metros.

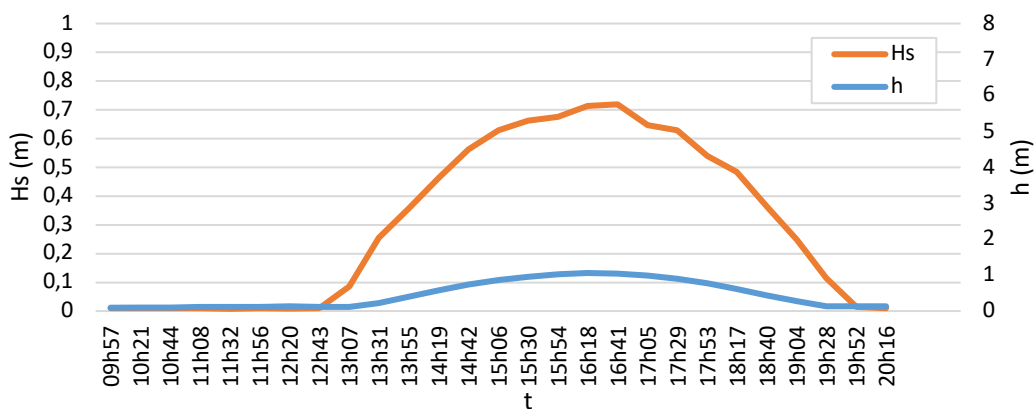


Figura 5.16 – Altura das ondas significativas do PT3.

O gráfico a seguir (Figura 5.17), mostra os períodos de pico das ondas em função do tempo. Dentre o intervalo das 14:19 às 19:04, o PT3 apresentou grupos de ondas com períodos de ondas na média de 9 segundos.

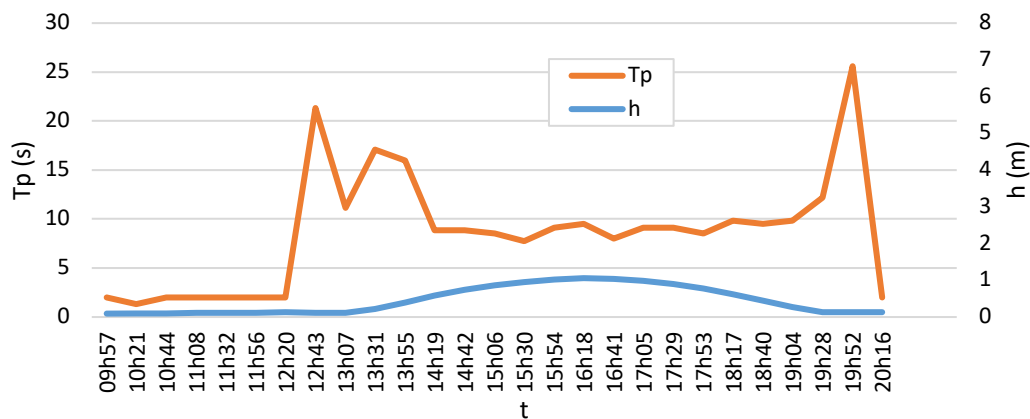


Figura 5.17 – Períodos de pico das ondas do PT3.

Observando as 4 figuras a seguir, serão descartados os intervalos de extremos que não são significativos para a análise. Portanto, o intervalo analisado irá de 10 a 20.

Do gráfico (Figura 5.18), conclui-se que esse grupo de ondas do PT3 possui assimetria em relação à velocidade, pois seus valores se dão entre 0.60 e 0.65, ou seja, acima de 0.50. Isso significa que a velocidade da crista é superior à velocidade da cava.

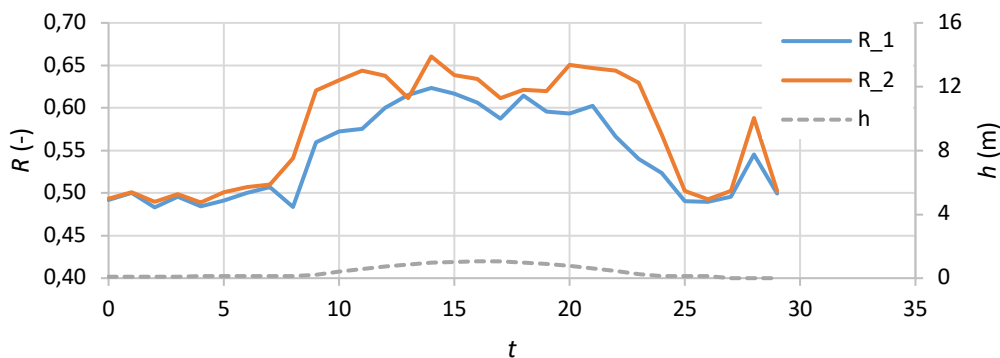


Figura 5.18 – Variação do parâmetro R relativo à assimetria de velocidade do PT3.

Dada a Figura 5.19 abaixo, referente ao PT3, pode-se notar que no intervalo de 10 a 20, as ondas possuem características não sinusoidais, com tendência de inclinação da parte frontal da crista, para mais próxima de ser lineares (verificar o filtro α_2). Percebe-se, também, que há uma semelhança na forma dos resultados dos dois filtros dentro do intervalo de 10 a 13. Nos demais tempos (13 a 20) há diferença entre os valores apresentados pelos dois filtros.

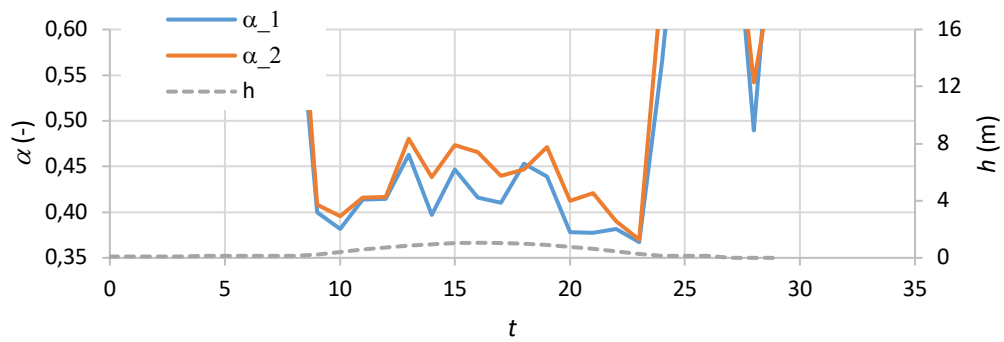


Figura 5.19 – Variação do parâmetro α relativo à assimetria de aceleração do PT3.

Entre o intervalo de 10 a 20 analisado, referente ao PT2, pelos valores de ϕ maiores que -0.80 (Figura 5.20), estando entre -2.00 e -1.50 , observou-se que ocorre assimetria somente nas velocidades das ondas. Houve momentos em que as diferenças entre os dois tipos de filtros usados eram aproximadamente de 0.3 a 0.5 radiano. Houve menos discrepância entre os valores apresentados dos dois filtros nos pontos “t” igual a 13 e 18.

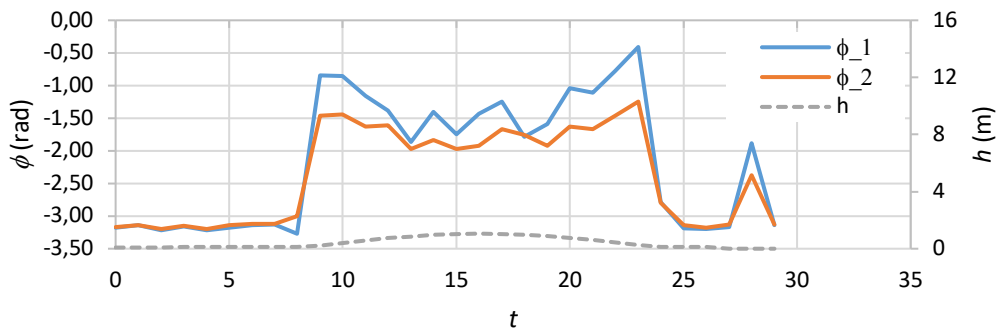


Figura 5.20 – Variação do parâmetro de forma ϕ relativo à assimetria do PT3.

Por fim, a Figura 5.21 abaixo, referente ao PT3, mostra que as ondas não apresentam caráter linear, pois seu parâmetro r teve valores entre 0.40 e 0.60. O Filtro r_1 apresentou um resultado mais favorável a linearidade das ondas, ou seja, apresentou valores mais próximos de zero.

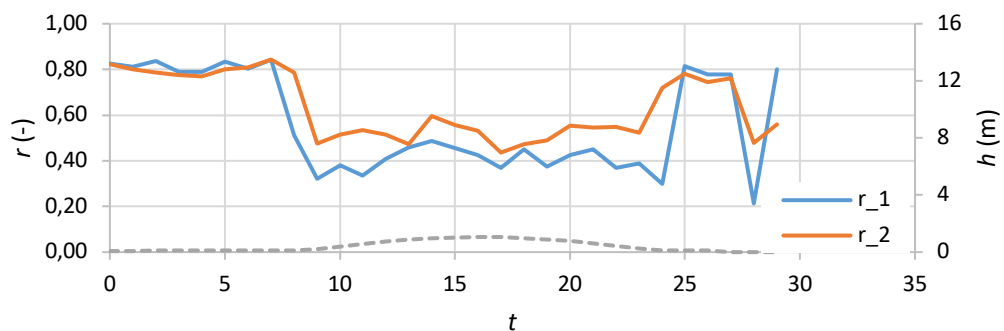


Figura 5.21 – Índice r relativo à assimetria do PT3.

5.4 ANÁLISE PT4

A partir da Figura 5.22, é possível observar dois fatos mais relevantes. O primeiro, mostra que a água iniciou seu contato com o sensor de pressão PT4 somente por volta das 11:08 e o deixou próximo das 19:20. A segunda observou-se um valor máximo de aproximadamente 2.1 metro de profundidade para ondas de maré (etaH), em momento de preia-mar.

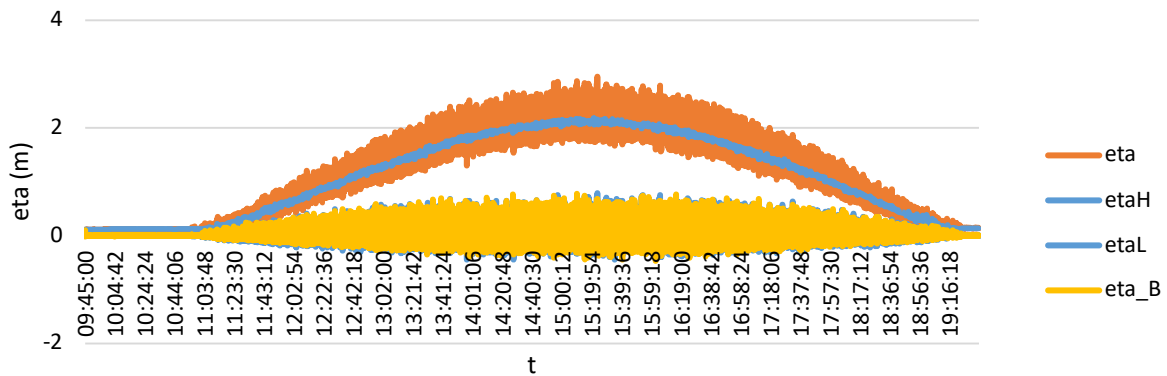


Figura 5.22 – Profundidade das ondas do PT4

No horário próximo das 16:41, o maior valor da altura das ondas do PT4 (Figura 5.23) se fez por volta de 0.82 metros.

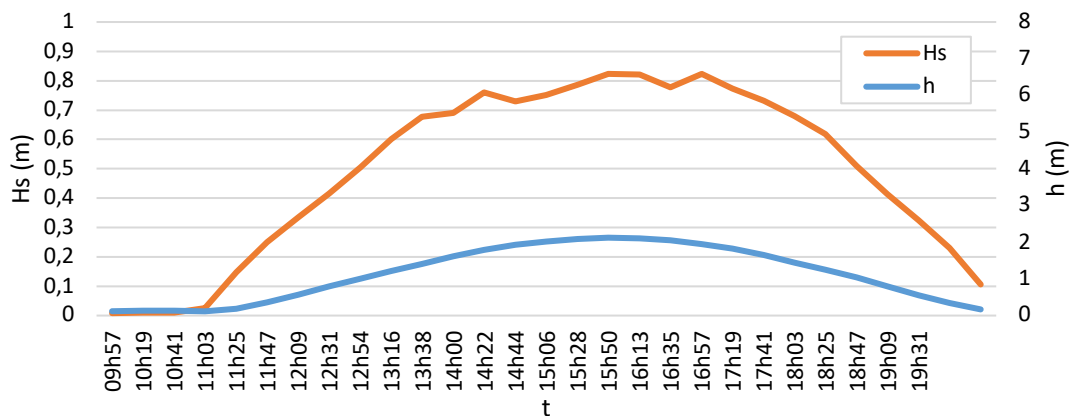


Figura 5.23 – Altura das ondas significativas do PT4

O gráfico a seguir (Figura 5.24), mostra os períodos de pico das ondas em função do tempo. Dentre o intervalo das 12:31 às 19:09, o PT4 apresentou grupos de ondas com períodos de ondas na média de 9 segundos.

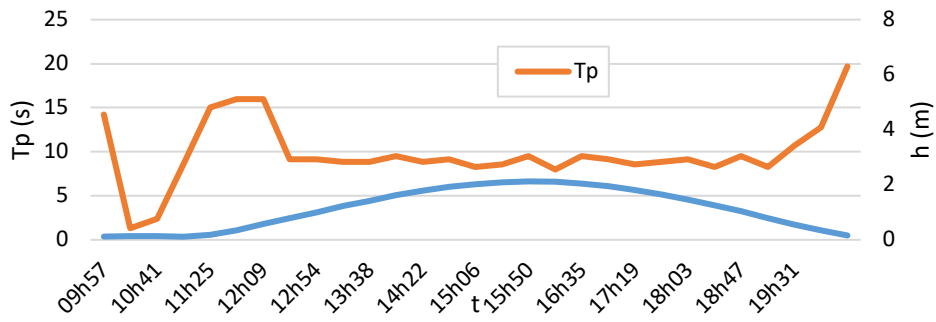


Figura 5.24 – Períodos de pico das ondas do PT4

Observando as 4 figuras a seguir, serão descartados os intervalos de extremos que não são significativos para a análise. Portanto, o intervalo analisado irá de 5 a 25.

Analisando os valores do coeficiente R (Figura 5.24), observou-se uma semelhança de resultados dos 2 filtros (R_1 e R_2), principalmente entre o tempo 10 e 20. Do gráfico, conclui-se que esse grupo de ondas do PT4 possui assimetria em relação à velocidade, pois seus valores se dão acima de 0.50. Isso significa que a velocidade da crista é superior à velocidade da cava.

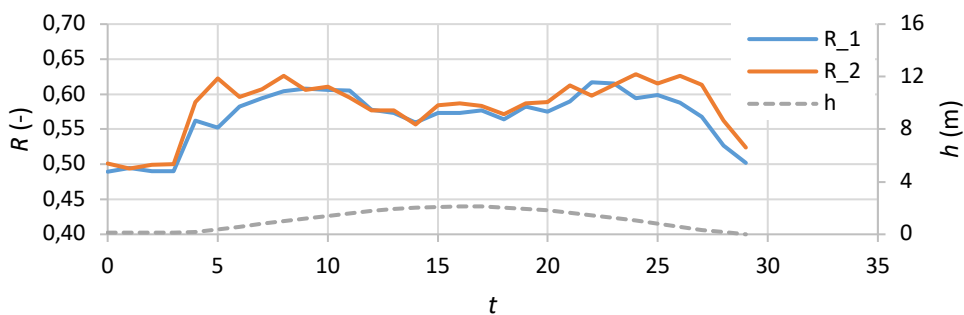


Figura 5.25 – Variação do parâmetro R relativo à assimetria de velocidade do PT4

Dada a Figura 5.26 abaixo, referente ao PT4, pode-se notar que no intervalo de 5 a 25, as ondas que o filtro α_1 possuem características mais próximas de sinusoidais; já o filtro α_2 , apresenta tendência não linear, ou seja, com inclinação da parte frontal da crista, para mais próxima de ser lineares. Percebe-se, que há uma discrepância muito grande entre os resultados dos filtros, com diferença de até 0.05.

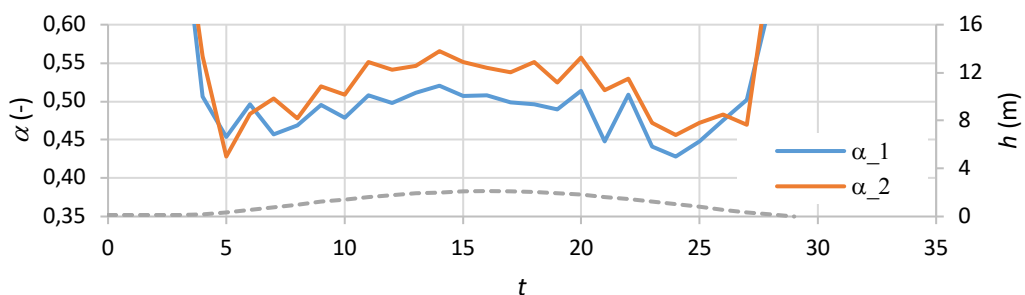


Figura 5.26 – Variação do parâmetro α relativo à assimetria de aceleração do PT4

Entre o intervalo de 5 a 25 analisado, referente ao PT4, pelos valores de ϕ maiores que -0.80 (Figura 5.27), estando entre -2.00 e -2.50 , observou-se que ocorre assimetria somente nas velocidades das ondas. Houve diferenças entre os dois tipos de filtros usados de quase 0.5 radianos em alguns pontos.

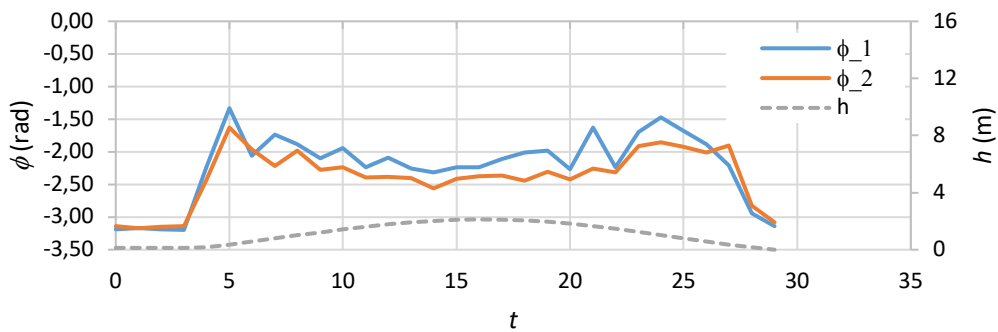


Figura 5.27 – Variação do parâmetro de forma ϕ relativo à assimetria do PT4

Por fim, a Figura 5.28 abaixo, referente ao PT4, mostra que as ondas não apresentam caráter linear, pois seu parâmetro r teve valores entre 0.30 e 0.50 . O Filtro r_1 apresentou um resultado mais favorável a linearidade das ondas, ou seja, pela sua maior proximidade ao valor igual a zero.

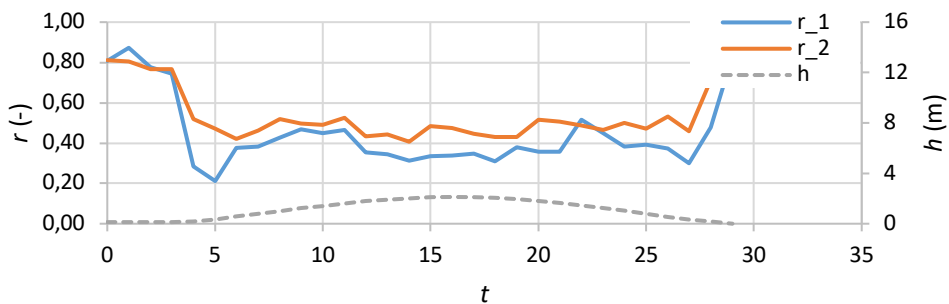


Figura 5.28 – Índice r relativo à assimetria do PT4.

5.5 ANÁLISE PT5

A partir da Figura 5.29, é possível observar dois fatos mais relevantes. O primeiro, mostra que a água iniciou seu contato com o sensor de pressão PT5 somente por volta das 12:15 e o deixou próximo das 18:21. A segunda observou-se um valor máximo de aproximadamente 1.3 metros de profundidade para ondas de maré (ηH), em momento de preia-mar.

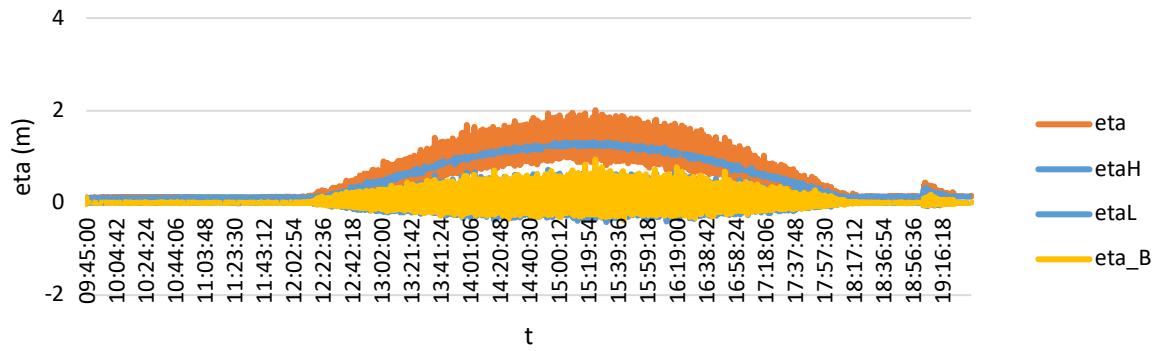


Figura 5.29 – Profundidade das ondas do PT5.

No horário próximo das 16:41, o maior valor da altura das ondas do PT5 (Figura 5.30) se fez por volta de 0.78 metros.

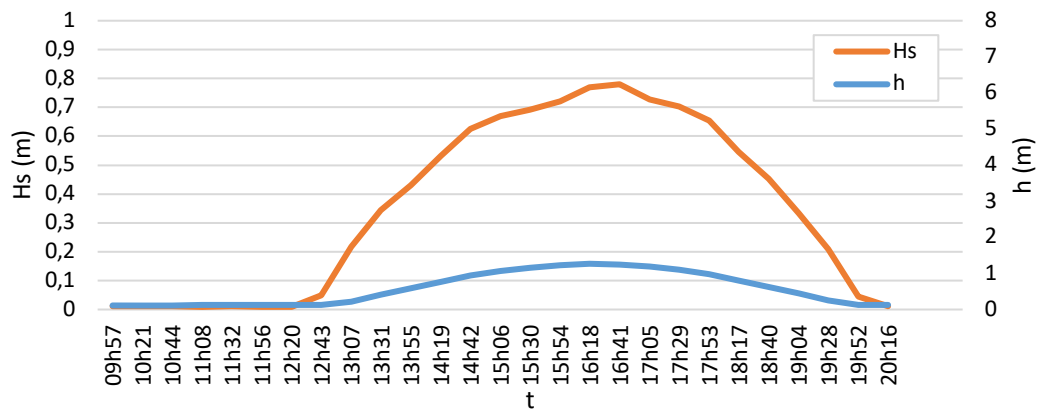


Figura 5.30 – Altura das ondas significativas do PT5.

O gráfico a seguir (Figura 5.31), mostra os períodos de pico das ondas em função do tempo. Dentre o intervalo das 14:19 às 18:40, o PT5 apresentou grupos de ondas com períodos de ondas na média de 8.3 segundos.

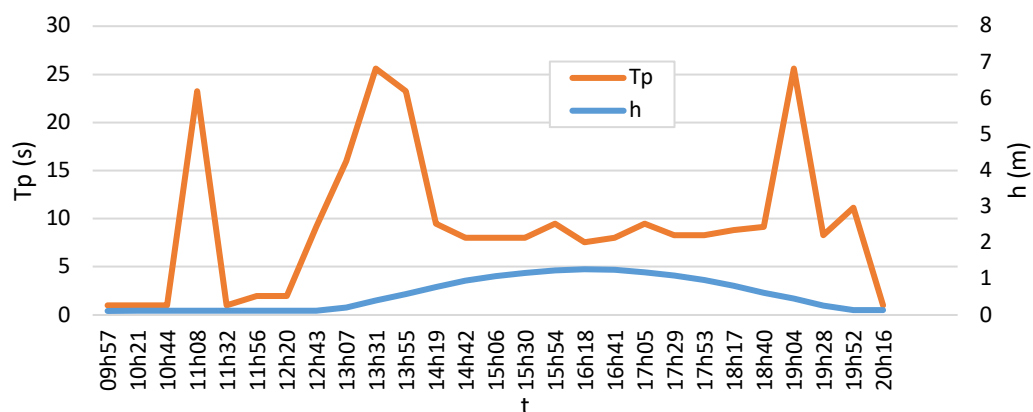


Figura 5.31 – Períodos de pico das ondas do PT5.

Observando as 4 figuras a seguir, serão descartados os intervalos de extremos que não são significativos para a análise. Portanto, o intervalo analisado irá de 10 a 20.

Analisando os valores do coeficiente R (Figura 5.32), observou-se uma diferença significativa nos resultados dos 2 filtros (R_1 e R_2). Do gráfico, segundo o filtro R_2 , o grupo de ondas de vento do PT5 possui tendência simétrica, pois seus valores oscilam entre 0.5. Já para o filtro R_1 (ondas de maré), apresentou comportamento quase constante em torno de 0.6, o que indica que a velocidade da crista é superior à da cava.

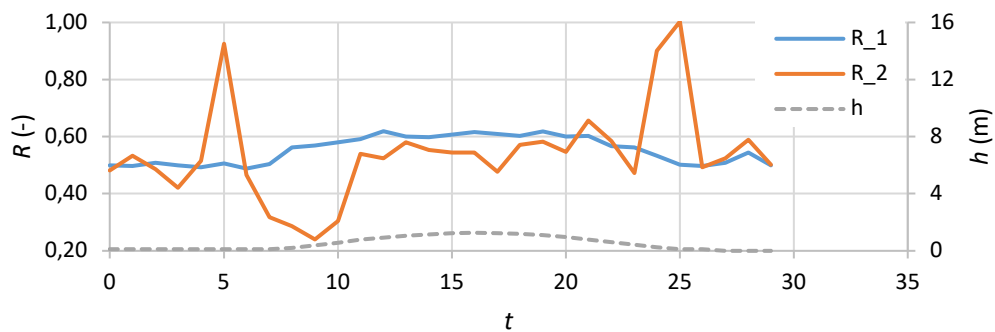


Figura 5.32 – Variação do parâmetro R relativo à assimetria de velocidade do PT5.

Dada a Figura 5.33 abaixo, referente ao PT5, percebe-se uma discrepância muito grande entre os resultados dos filtros, com diferença de até quase 1.0. O grupo de ondas representado por α_1 (ondas de maré) possui caráter quase sinusoidal ($\alpha = 0.50$). Já o do filtro α_2 (ondas geradas pela ação do vento), apresenta ondas não sinusoidais.

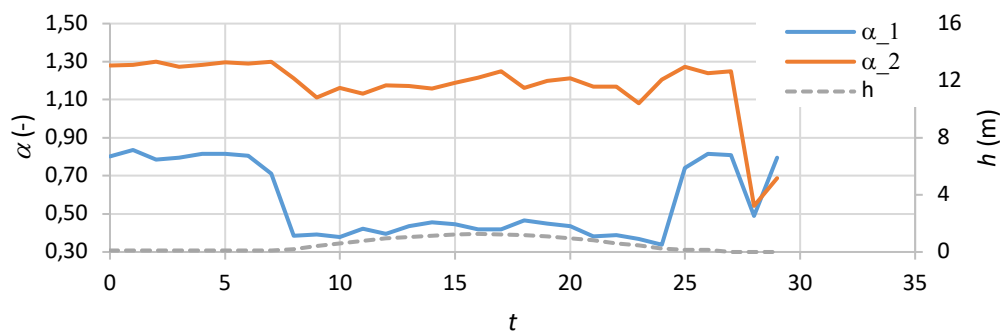


Figura 5.33 – Variação do parâmetro α relativo à assimetria de aceleração do PT5.

Entre o intervalo de 10 a 20 analisado, referente ao PT5, os resultados da Figura 5.34 mostram que os filtros tiveram comportamentos muito diferentes. O filtro ϕ_1 está em torno do valor -2.00 , já o filtro ϕ_2 oscila em muitas posições maiores (em módulo) que -4.00 .

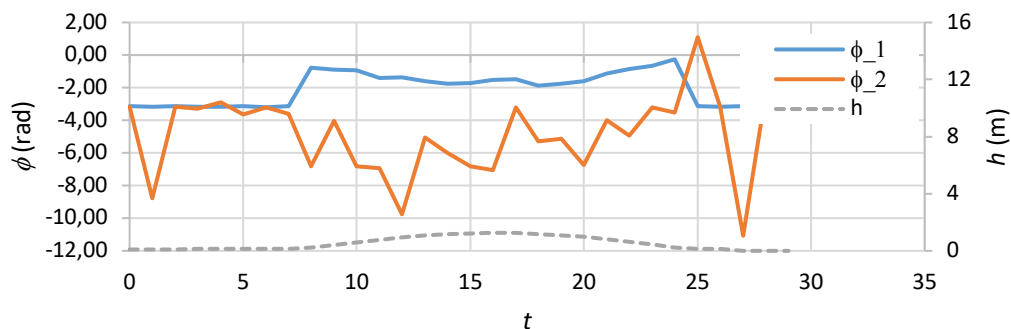


Figura 5.34 – Variação do parâmetro de forma ϕ relativo à assimetria do PT5.

Por fim, a Figura 5.35 abaixo, referente ao PT5, durante o intervalo de 10 a 20, mostra que as ondas de maré apresentam caráter mais linear em comparação às ondas geradas pela ação do vento. Isso ocorre devido ao parâmetro r ter valores próximo de 0.50, no filtro r_1 . Para o filtro r_2 , os valores oscilaram entre 2.00 e, bruscamente, perto do ponto 17, desceu para 0.80, voltando a subir para 2.00 em seguida.

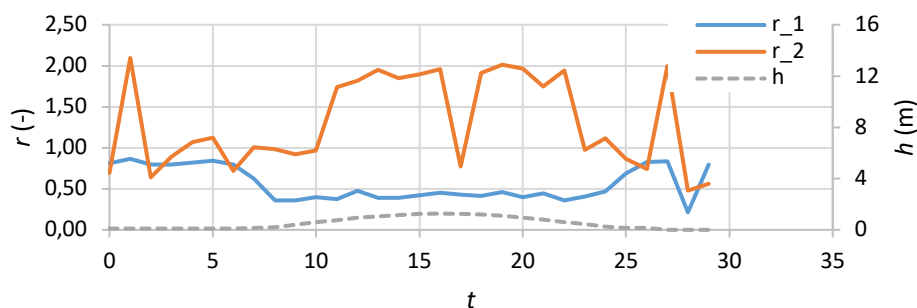


Figura 5.35 – Índice r relativo à assimetria do PT5.

5.6 ANÁLISE PT6

A partir da Figura 5.36, é possível observar três fatos mais relevantes. O primeiro, mostra que a água iniciou seu contato com o sensor de pressão PT6 somente por volta das 14:20 e o deixou próximo das 16:19. A segunda, observou-se um valor máximo de aproximadamente 0.15 metros de profundidade para ondas de maré (η_H), em momento de preia-mar. Terceiro, percebe-se que as alturas de ondas de marés e de vento são muito próximas.

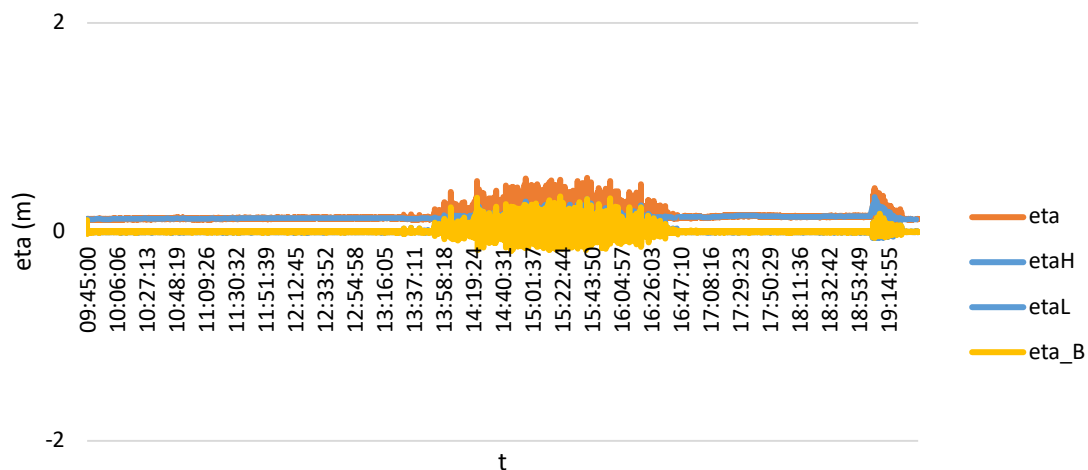


Figura 5.36 – Profundidade das ondas do PT6.

No horário próximo das 16:18, o maior valor da altura das ondas do PT6 (Figura 5.37) se fez por volta de 0.26 metros.

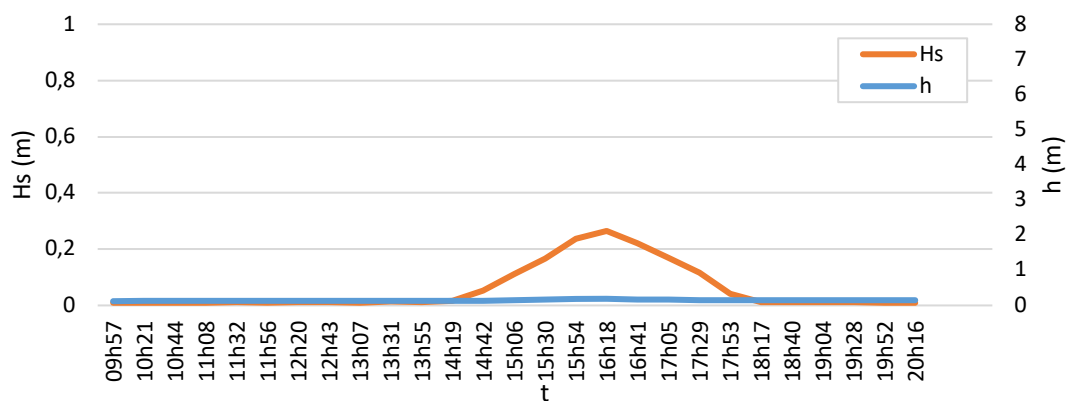


Figura 5.37 – Altura das ondas significativas do PT6.

O gráfico a seguir (Figura 5.38), mostra os períodos de pico das ondas em função do tempo. Dentre o intervalo das 14:42 às 18:17, o PT6 apresentou grupos de ondas com períodos de ondas que oscilava entre 10 e 20 segundos. Provavelmente devido a presença de ondas de maré que ia e voltava ao sensor de pressão, sem manter o PT6 submerso o tempo todo.

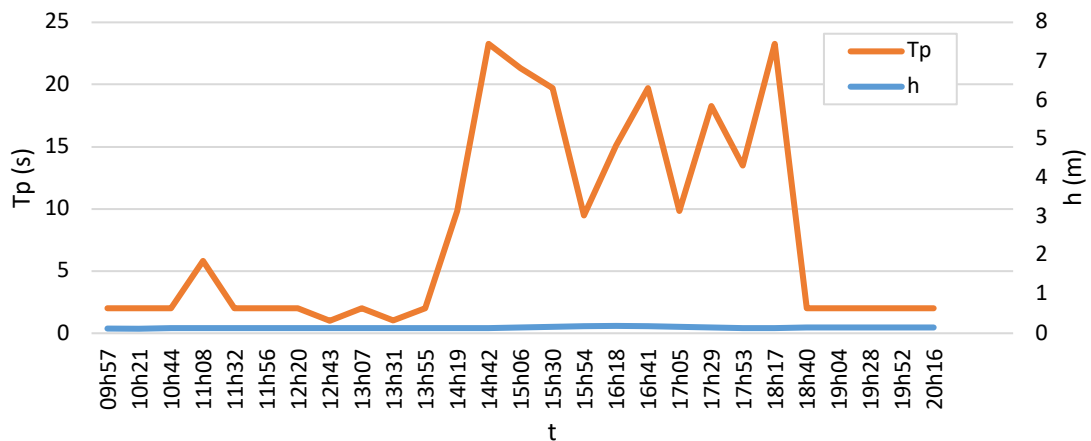


Figura 5.38 – Períodos de pico das ondas do PT6.

Observando as 4 figuras a seguir, serão descartados os intervalos de extremos que não são significativos para a análise. Portanto, o intervalo analisado irá de 10 a 20.

Analisando os valores do coeficiente R (Figura 5.39), não se observou uma diferença significativa nos resultados dos 2 filtros (R_1 e R_2). Os dois filtros apresentaram resultados próximos de 0.6, o que indica que a velocidade da crista é superior à da cava e as ondas são assimétricas.

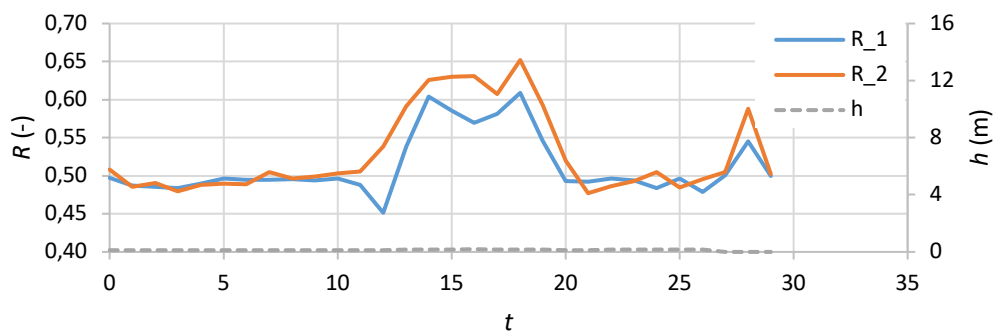


Figura 5.39 – Variação do parâmetro R relativo à assimetria de velocidade do PT6.

Dada a Figura 5.40 abaixo, referente ao PT6, percebe-se uma discrepância muito grande entre os resultados dos filtros, com diferença de até quase 0.20. O grupo de ondas representado por α_1 (ondas de maré) e o do filtro α_2 (ondas geradas pela ação do vento), apresenta ondas não sinusoidais, por se afastaram do valor de 0.50, que corresponde ao título de onda sinusoidal em relação a aceleração da onda.

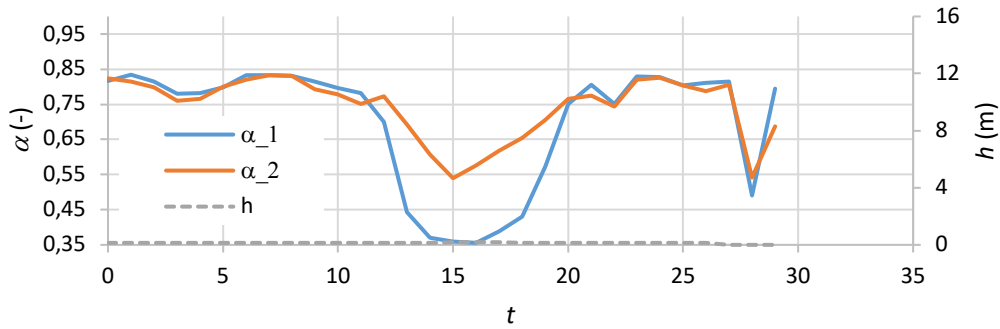


Figura 5.40 – Variação do parâmetro α relativo à assimetria de aceleração do PT6.

Entre o intervalo de 10 a 20 analisado, referente ao PT6, os resultados da Figura 5.41 mostram que os filtros tiveram comportamentos muito diferentes. O filtro ϕ_1 está em torno do valor $-1,00$, já o filtro ϕ_2 em torno de $-2,50$. Com isso, as ondas de maré do filtro ϕ_1 apresentam assimetria na velocidade e na aceleração. Já as ondas de vento, filtro ϕ_2 , apresentam assimetria apenas na velocidade, ou seja, a velocidade apresenta maior magnitude na crista do que nas cavas, porém com menor duração.

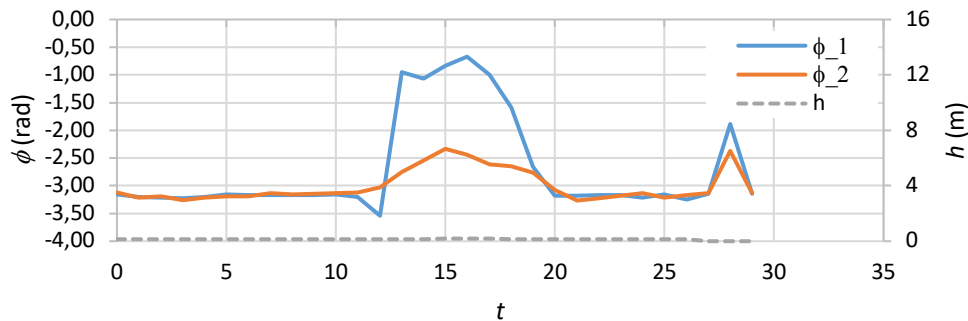


Figura 5.41 – Variação do parâmetro de forma ϕ relativo à assimetria do PT6.

Por fim, a Figura 5.42 abaixo, referente ao PT6, durante o intervalo de 10 a 20, mostra que as ondas de maré apresentam caráter mais uniforme em comparação às ondas geradas pela ação do vento. Para o filtro r_1 , o valor vai de 0,70 a 0,20, bruscamente, depois sobe e se estabiliza um pouco por volta do 0,40, antes de voltar rapidamente para 0,70, novamente. Já o filtro r_2 , se mantém entre 0,70 e 0,80. Portanto, ambos apresentam problemas de simetria, pela distância a zero.

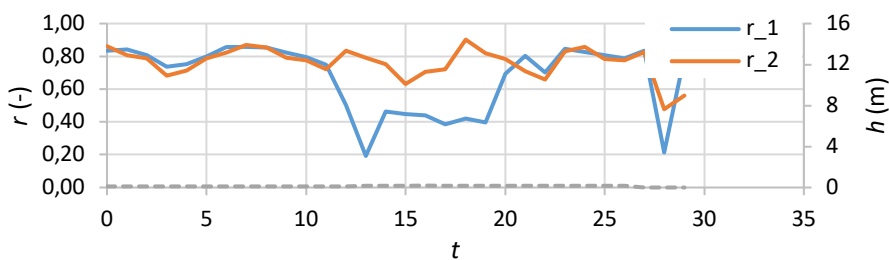


Figura 5.42 – Índice r relativo à assimetria do PT6.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

Em comparação aos três métodos de análise espectral (Transformada de Fourier, Wavelet e Hilbert-Huang), a grosso modo, os resultados obtidos foram próximos. Porém, houve menor precisão e maior dificuldade em encontrar os períodos de onda no espectro de Fourier, devido a impossibilidade de analisá-lo em função do tempo. Já em relação aos espectros de Wavelet e Hilbert-Huang, esses representarem melhor o comportamento das ondas, através da análise de suas frequências instantâneas.

De acordo com os resultados dos espectros apresentados na Parte 1 (análise comparativa das três técnicas de análise espectral) e do posicionamento de cada um dos sensores de pressão (PT), foi constatado que os períodos de ondas se tornaram cada vez menores ao passo que a onda se dirigiu a costa. Com exceção do PT6, que apresentou período de onda maior, por contar, praticamente, com ondas de maré, ou seja, com característica que tende a linearidade.

Isso ocorreu, porque a forma das partículas orbitais de ondas está relacionada com a profundidade da zona costeira, que entra em contato com elas. Ao entrarem em contato com o fundo, essas partículas perdem espaço para se locomoverem na vertical, se tornando órbitas achatadas (ou elípticas). Consequentemente, isso provoca uma elevação na altura da onda e diminuição do comprimento da onda, até o momento que a onda atinge uma inclinação de 0.143 (altura/comprimento) e, por não aguentar o peso próprio, ela rebenta. Isso ocorre devido ao processo de Empolamento.

Portanto nos casos do PT1 ao PT5, por conta da diminuição da distância entre a superfície livre da água e o fundo do mar (águas rasas), fez com que a propagação das ondas sofresse certa perturbação (maior agitação e energia), causada, principalmente, pelo encontro de obstáculos sólidos (contato com a areia). Isso gerou frequências maiores e, consequentemente, períodos de ondas menores.

No entanto, no caso do PT6, isso não se procedeu, provavelmente, devido as ondas de superfícies (geradas pelo vento) terem se arrebatado antes de chegarem na posição desse PT. Dessa forma, verificou na posição do PT6 apenas a presença das ondas geradas pela maré alta (preia-mar). Essas ondas se

caracterizam por serem ondas de caráter mais linear e estacionário, pois apresentam movimentos mais suaves (regulares) e possuem pouca alteração em sua periodicidade (período da onda).

Com relação aos espectros de sinais de profundidade dos 6 sensores de pressão (PT), observou-se que até o Tempo 4 (preia-mar), os espectros têm forma crescente, aumentando assim sua profundidade ao longo do tempo. Assim que chega no Tempo 4, os espectros se apresentam de maneira constante, quase linear. Já a partir do Tempo 5 ao 7, os espectros apresentam uma declinação da profundidade. Esse acontecimento já era de certo esperado, devido ter iniciado e findado a Campanha num momento de baixa-mar, com uma preia-mar no meio desse tempo, tornando assim, praticamente, uma função de segundo grau com concavidade para baixo (coeficiente angular negativo).

A partir dos resultados da Parte 2, referente aos parâmetros relativos à assimetria das ondas, notou-se que as ondas geradas pela influência do vento apresentam maior grau de assimetria. A não linearidade das ondas está intrinsecamente relacionado com o transporte de sedimentos. Com isso, pode-se afirmar que as ondas geradas pelo vento se tornam as mais responsáveis pela dinâmica sedimentar da costa, podendo acarretar em um processo de assoreamento ou erorão.

Ademais, a utilização dos filtros colaborou muito na análise da dinâmica costeira, de forma que os resultados obtidos apresentaram maiores detalhes que permitiram compreender e verificar a relação que existem entre as ondas de maré e de vento. Até o momento da preia-mar, as ondas de vento tinham alturas de onda maiores, já na transição de preia-mar para baixa-mar, há uma declividade na altura das ondas.

Também, verificou-se que em águas pouco profundas, os resultados se mostram diferentes e as ondas apresentam caráter assimétrico.

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Infelizmente, não foi possível analisar a tendência do comportamento do transporte de sedimentos, apesar de três dos seis PTs apresentarem em seus pontos caráter erosivo.

Para dar continuidade ao trabalho, haveria a necessidade de se realizar, em uma futura pesquisa, uma coleta maior dos dados para caracterizar a dinâmica de sedimentos da costa, que é responsável pela variação morfológica em zonas costeiras. Esse aprofundamento é de extrema importância para técnicos e gestores dessas zonas, além de envolver a segurança de moradores, trabalhadores e turistas locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Tiago; SILVA, Paulo A.; MOURA, Ana. **Análise Espectral De Ondas Sintéticas Não Lineares E Não Estacionárias**. In: **Conferência Sobre Morfodinâmica Estuarina E Costeira**, 3., 2015, Algarve. Anais. Algarve: Universidade do Algarve, 2015. p. 1 - 2.

ABREU, Tiago; SANCHO, Francisco; SILVA, Paulo A.. **Ondas Assimétricas em Praias com Barra**. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-266_Abreu.pdf>. Acesso em: 03 out. 2018.

BIANCHI, Marcelo Franceschi de. **Extração de características de imagens de faces humanas através de wavelets**, PCA e IMPCA. 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18133/tde-10072006-002119/pt-br.php>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

HUANG N. E.; Z. SHEN; S.R. LONG; M. C. WU, 1998. **The empirical mode decomposition and the Hilbert spec- trum for nonlinear and non-stationary time series analysis**. Proc. R. Soc. London, Ser. A, 454, p. 903- 995. Disponível em: < <http://tec.earth.sinica.edu.tw/research/report/paper/20070711HHT.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2018.

GRAPS, Amara. **An Introduction to Wavelets**. 1995. IEEE *Computational Science and Engineering*, Vol. 2, no 2.

MATOS, José Miguel Martins Beira de. **Estudo Da Hidrodinâmica Costeira Com Recurso A Diferentes Técnicas Espectrais**. 2017. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Ramo de Infraestrutura, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2017. Disponível em: <http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/10519/1/DM_JoseMatos_2017_MEC.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2018.

NAJARIAN, SPLINTER. *Biomedical Signal and Image Processing CRC Press - Taylor & Francis Group*, 2006.

NEVES, C. F.; MOURA, T.G.R.; FORTES, C.J. **Aplicação da Transformada de Hilbert - Huang para Caracterização da Dinâmica Costeira. Parte 1: Grandezas Escalares**. RBRH - Brazilian Journal of Water Resources, 17 (2), 143 - 156. (2012). Disponível em: <http://132.248.9.34/hevila/Revistabrasileiraderecursos_hidricos/2012/vol17/no2/12.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2018.

OLIVEIRA, Samuel Rocha de. **Marés, Ciclovia e Clima**. 2016. Disponível em: <<http://www.ime.unicamp.br/~samuel/mares-ciclovia-e-clima/>>. Acesso em: 15 maio 2018.

ONDA oceânica de superfície. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Onda_oceânica_de_superfície>. Acesso em: 10 jun. 2018.

ONDAS Geradas pelo Vento. Disponível em: <http://www.lamma.ufrj.br/sites/spo/atlasul/documentos/curiosidades/ondas_vento.html>. Acesso em: 05 maio 2018.

TÁBUA de Marés. Disponível em: <<https://tabuademares.com>>. Acesso em: 05 maio 2018.

PINCELI, Carlos Ricardo. Lavoisier, **Antoine Laurent (1743-1794)**. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/person/lavoisie.htm>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

