

ANDRÉ FILIPE DA CUNHA MATOS

**CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NA
CENTRAL DE ENERGIA DAS ONDAS DO PICO,
AÇORES**



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologia

2015

ANDRÉ FILIPE DA CUNHA MATOS

**CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NA
CENTRAL DE ENERGIA DAS ONDAS DO PICO,
AÇORES**

Mestrado em Energias Renováveis e Gestão de Energia

Trabalho efetuado sob a orientação de:
Professor Doutor José Manuel Quintela de Brito Jacob
Doutor Eric Lionel Didier



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologia

2015

CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NA CENTRAL DE ENERGIA DAS ONDAS DO PICO, AÇORES

Declaração de autoria do trabalho

Declaro ser o(a) autor(a) deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Copyright © André Filipe Cunha Matos

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A realização e entrega desta Dissertação de Mestrado só foi possível graças à colaboração, contributo e entrega de várias pessoas às quais exprimo algumas palavras de agradecimento e profundo reconhecimento.

Quero agradecer ao meu amigo Fábio Madeira por todos os momentos de trabalho, lazer, entreajuda e inspiração vividos durante os meses de trabalho neste estudo.

Aos orientadores do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Engenheira Juana e ao Doutor Eric por toda a dedicação, disponibilidade e partilha de conhecimento que possibilitou um bom e pedagógico ambiente de trabalho.

Ao orientador da Universidade do Algarve, o Professor Doutor José Jacob por toda a ajuda no processo protocolar para a realização do estágio no LNEC e por toda a disponibilidade, compreensão e motivação demonstrados ao longo do trabalho.

Agradecer à Engenheira Liliana Pinheiro e Engenheiro Pedro Poseiro pela ajuda na obtenção dos dados necessários para o estudo, pela boa disposição e encorajamento durante todo o estágio.

Aos meus colegas estagiários e bolseiros do LNEC João Dias, Diogo Neves, Selma Gabriel, Jorge Silva, Inês Lourenço, Ricardo Bento, João Sengo e Valentim Costa e por todos os momentos de partilha e entreajuda.

À “Tia” Emília por ter disponibilizado a sua habitação ao longo do período de estágio.

Ao meu amigo Nuno Simões por toda a ajuda no software ArcGIS, por todo o companheirismo, boa disposição e momentos passados.

À minha namorada por toda ajuda, compreensão e palavras de encorajamento constantes, que sempre foram uma mais valia ao longo do estágio.

A todos os meus amigos que fizeram parte do meu caminho e que ajudaram a ser a pessoa que sou hoje.

A toda a minha família, principalmente aos meus avós, madrinha, padrinho, primos e tios por todo o apoio e ajuda constante ao longo de todo o percurso académico.

Finalmente, um enorme agradecimento e reconhecimento aos meus pais e irmãos, por toda a dedicação, esforço e apoio em todo o percurso académico, sem eles não teria sido possível chegar aqui, nem seria o que sou hoje.

Este documento foi escrito segundo as normas do Acordo Ortográfico de 1945, conforme com o Decreto nº 35 228, de 8 de Dezembro de 1945, e o Decreto-Lei nº 32/73 de 6 de Fevereiro.

Resumo

As apostas nas energias renováveis têm vindo a aumentar ao longo dos tempos, com a procura de soluções alternativas aos recursos provenientes das energias fósseis.

Os oceanos possuem um potencial energético elevado, que fazem com que as energias renováveis marinhas tenham assim uma grande importância e que possam ajudar de forma significativa a colmatar estas necessidades.

Portugal é um dos países privilegiados uma vez que a sua costa se encontra numa zona com elevado potencial para extração de energia das ondas, o único dispositivo em funcionamento para produção eléctrica dentro das energias renováveis marinhas é a Central de Energia das ondas do Pico, na Ilha do Pico no Arquipélago dos Açores, Portugal.

Esta central tem um dispositivo de aproveitamento de energias das ondas do tipo coluna de água oscilante, em que o conhecimento da agitação marítima é de grande importância para o seu funcionamento e conseqüentemente para uma melhor eficiência na extração da energia.

É com base nesta importância que este trabalho se realizou, com o objetivo de obter a caracterização da agitação marítima ao largo da Central de ondas do Pico.

Os parâmetros da onda, como a altura significativa, período de pico, período médio, direcção de pico e direcção média, importantes na caracterização da agitação marítima foram obtidos através de modelos espectrais de terceira geração, nomeadamente o WAM e o SWAN, para 36 anos de estudo, em 20 pontos ao largo da Central de energia das ondas.

Estes parâmetros foram validados pela boia ondógrafo Faial/Pico, operada pela Universidade dos Açores, através da comparação dos resultados numéricos obtidos com os dados da boia ondógrafo.

A análise destes parâmetros permitiram conhecer o estado da agitação marítima com uma ampla cobertura.

Palavras-chave: Energia Renováveis, Caracterização da Agitação Marítima, SWAN, Pico, Açores.

Abstract

There has been an overtime increase on the investment in renewable energy, with the search for alternative solutions to resources from fossil fuels.

The oceans have a high energy potential, which cause the marine renewables energies have a great importance and can help significantly to address these needs.

Portugal is one of the privileged countries since its coastline is an area with high potential for wave energy extraction, the only device in operation for electricity production within the marine renewables is the Central waves' Energy of Pico in Pico Island in the Azores, Portugal.

This plant has an energy utilization of the wave device of the oscillating water column type, wherein the knowledge of the sea waves is of great importance for its functioning and therefore to a better efficiency of energy extraction.

It is based on this importance that this paper was held in order to get the characterization of the sea waves off the Pico Central waves'.

The parameters of the wave, as the significant wave height, peak period, average period, peak direction and average direction, important in the characterization of the sea waves were obtained through spectral models of third generation, namely the WAM and SWAN, to 36 years of study, at 20 points off the wave Energy Center.

These parameters were validated by the wave rider buoy Faial/Pico, operated by the University of the Azores, by comparing the numerical results with data from the wave rider buoy.

The analysis of these parameters allowed to know the state of the sea waves with a wide coverage.

Palavras-chave: Renewable Energy, Sea Waves Characterization, SWAN, Pico, Azores.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| Declaração de autoria do trabalho | iii |
| Agradecimentos | iv |
| Resumo | vi |
| Abstract | vii |
| ÍNDICE | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | x |
| ÍNDICE DE TABELAS | xiii |
| LISTA DE SÍMBOLOS | xiv |
| ABREVIATURAS, SIGLAS E UNIDADES | xv |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Enquadramento | 1 |
| 1.2. Objectivos e metodologia | 3 |
| 1.3. Estrutura do relatório | 4 |
| 2. Modelo numérico – SWAN | 5 |
| 3. Caso de estudo | 8 |
| 3.1. Caracterização do local de estudo | 8 |
| 3.2. Dados utilizados | 12 |
| 3.2.1. Introdução | 12 |
| 3.2.2. Dados de agitação marítima do WAM..... | 12 |
| 3.2.3. Dados da boia Ondógrafo Faial/Pico | 14 |
| 3.2.4. Dados de maré e nível do mar | 15 |
| 3.2.5. Batimetria e ventos | 16 |
| 3.3. Aplicação do modelo SWAN..... | 18 |
| 3.3.1. Domínio computacional..... | 18 |
| 3.3.2. Características gerais das simulações | 19 |
| 3.3.3. Metodologia de aplicação do modelo SWAN..... | 21 |

| | |
|---|-----|
| 3.3.4. Validação do modelo SWAN | 21 |
| 4. Análise e discussão de resultados | 25 |
| 4.1. Caracterização da agitação marítima transecto longitudinal | 26 |
| 4.2. Caracterização da agitação marítima transecto latitudinal | 42 |
| 5. Conclusão | 59 |
| 6. Referências Bibliográficas..... | 62 |
| Anexos..... | 64 |
| Anexo 1 | 64 |
| Anexo 2 | 67 |
| Anexo 3 | 71 |
| Anexo 4 | 75 |
| Anexo 5 | 78 |
| Anexo 6 | 82 |
| Anexo 7 | 86 |
| Anexo 8 | 89 |
| Anexo 9 | 93 |
| Anexo 10 | 97 |
| Anexo 11 | 100 |
| Anexo 12 | 104 |
| Anexo 13 | 108 |
| Anexo 14 | 111 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1- Ilustração das várias grelhas de input que se podem usar no SWAN..... | 6 |
| Figura 2 - Arquipélago dos Açores (Brito e Melo, 2000) | 8 |
| Figura 3 - Localização da Ilha de Porto Cachorro (Brito e Melo, 2000) | 8 |
| Figura 4 - Central Europeia de energia das ondas do Pico, Açores (esquerda) e perspectiva traseira (direita). | 9 |
| Figura 5 - Esquema de funcionamento de um dispositivo do tipo CAO (Fonte: http://ecoreporter.abae.pt/public/2012/211/aveiroenergias9.jpg)..... | 10 |
| Figura 6 – Imagem aérea da Central (Paulo Henrique Silva)..... | 10 |
| Figura 7 – Localização pontos WAM. | 13 |
| Figura 8 – a) Distribuição temporal de altura significativa, período de pico, altura significativa em função do período de pico ao longo dos 36 anos de estudo..... | 14 |
| Figura 9 – Boia ondógrafo (esquerda) e Exemplo de tipo de dados obtidos (direita)(Fonte: http://www.climaat.angra.uac.pt). | 15 |
| Figura 10 – Localização dos transectos horizontais e vertical. | 17 |
| Figura 11 – Configuração dos dados de ventos utilizados no SWAN..... | 17 |
| Figura 12 – Domínio computacional utilizado no SWAN com as malhas computacionais: Main Grid e Nested Grid..... | 18 |
| Figura 13 – Localização dos pontos de estudo dentro da malha interior. | 19 |
| Figura 14 – Localização do ponto de estudo nº 20..... | 20 |
| Figura 15 – Comparação dos dados de altura significativa da boia ondógrafo com os do modelo SWAN para o mês de março de 2014..... | 22 |
| Figura 16 - Comparação dos dados de período médio da boia ondógrafo com os do modelo SWAN para o mês de março de 2014..... | 23 |
| Figura 17 – Transecto longitudinal. | 25 |
| Figura 18 – Transecto Latitudinal..... | 25 |
| Figura 19 – Histogramas Hs de P1, P4, P8, P11 para regime total..... | 26 |
| Figura 20 - Histogramas Hs de P1, P4, P8, P11 para regime Verão nos 36 anos. | 27 |
| Figura 21 - Histogramas Hs de P1, P4, P8, P11 para regime Inverno nos 36 anos..... | 28 |
| Figura 22 - Histogramas Hs de P1, P4, P8, P11 comparação regime Verão vs Inverno.29 | |
| Figura 23 - Histogramas Tm02 de P1, P4, P8, P11 para regime total. | 29 |
| Figura 24 - Histogramas Tm02 de P1, P4, P8, P11 para regime Verão nos 36 anos..... | 30 |
| Figura 25 - Histogramas Tm02 de P1, P4, P8, P11 para regime Inverno nos 36 anos. ... | 31 |

| | |
|--|----|
| Figura 26 - Histogramas Tm02 de P1, P4, P8, P11 comparação regime Verão vs Inverno. | 32 |
| Figura 27 – Histogramas Hs-TP de P1, P4, P8, P11..... | 33 |
| Figura 28 – Diagrama de direcção média nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11. | 34 |
| Figura 29 - Diagrama de direcção de pico nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11..... | 35 |
| Figura 30 - Diagrama Hs- Θ_m para regime Total nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11. | 36 |
| Figura 31 - Diagrama Hs- Θ_m para o regime de Verão nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11..... | 37 |
| Figura 32 - Diagrama Hs- Θ_m para o regime de Inverno nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11..... | 38 |
| Figura 33 - Diagrama Tm02- Θ_m para regime Total nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11. | 39 |
| Figura 34 - Diagrama Tm02- Θ_m para regime de Verão nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11..... | 40 |
| Figura 35 - Diagrama Tm02- Θ_m para regime de Inverno nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11..... | 41 |
| Figura 36 - Histogramas Hs de P15, P1, P13 para regime total. | 43 |
| Figura 37 - Histogramas Hs de P15, P1, P13 para regime de Verão. | 44 |
| Figura 38 - Histogramas Hs de P15, P1, P13 para regime de Inverno. | 44 |
| Figura 39 - Histogramas Hs de P15, P1, P13 comparação regime Verão vs Inverno. | 45 |
| Figura 40 - Histogramas Tm02 de P15, P1, P13 para regime total. | 46 |
| Figura 41 - Histogramas Tm02 de P15, P1, P13 para regime de Verão. | 47 |
| Figura 42 - Histogramas Tm02 de P15, P1, P13 para regime de Inverno..... | 47 |
| Figura 43 - Histogramas Tm02 de P15, P1, P13 comparação regime Verão vs Inverno. | 48 |
| Figura 44 - Histogramas Hs-TP de P15, P1, P13. | 49 |
| Figura 45 – Diagrama de direcção média nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13. | 50 |
| Figura 46 - Diagrama de direcção de pico nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13. | 51 |
| Figura 47 - Diagrama Hs- Θ_m para regime Total nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13. | 52 |
| Figura 48 - Diagrama Hs- Θ_m para regime de Verão nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13. | 53 |
| Figura 49 - Diagrama Hs- Θ_m para o regime de Inverno nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13. | 54 |
| Figura 50 - Diagrama Tm02- Θ_m para regime Total nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13. | 55 |

Figura 51 - Diagrama $T_{m02}-\Theta_m$ para regime de Verão nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13.
..... 56

Figura 52 - Diagrama $T_{m02}-\Theta_m$ para regime de Inverno nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13.
..... 57

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Coordenadas dos pontos do WAM..... | 13 |
| Tabela 2 – Características dos pontos de estudo. | 20 |
| Tabela 3 - Exemplo do ficheiro ‘TRANSFER’..... | 21 |
| Tabela 4 – Dados estatísticos de P1, P4, P8 e P11 para os 36 anos de estudo..... | 42 |
| Tabela 5 - Dados estatísticos de P15, P1, P13 para os 36 anos de estudo. | 57 |

LISTA DE SÍMBOLOS

- $c_{g,x}$ – Velocidade de propagação na direção x;
- $c_{g,y}$ – Velocidade de propagação na direção y;
- c_{θ} – Velocidade no espaço espectral direcional;
- c_{σ} – Velocidade de propagação no domínio da frequência relativa intrínseca;
- $E(\sigma, \theta)$ – Espectro de densidade de energia;
- H_{\max} – Altura de onda máxima;
- H_s – Altura significativa;
- $N(\sigma, \theta)$ – Espectro de acção de densidade;
- P1 – Ponto de estudo número 1;
- $S_{ds,b}(\sigma, \theta)$ – Dissipação de energia por atrito do fundo;
- $S_{ds,br}(\sigma, \theta)$ – Dissipação de energia por rebentação induzida pela profundidade;
- $S_{ds,w}(\sigma, \theta)$ – Dissipação de energia por rebentação;
- $S_{in}(\sigma, \theta)$ – Geração devido à acção do vento;
- $S_{nl}(\sigma, \theta)$ – Efeitos da interação não linear entre ondas;
- T – Período de onda;
- T_{\max} – Período de onda máxima;
- Tm02 – Período médio da onda obtido pelo SWAN;
- T_p – Período de pico da onda;
- T_z – Período de onda médio;
- θ – Direcção de onda;
- θ_m – Direcção média da onda;
- θ_p – Direcção de pico da onda;
- σ – Frequência de onda intrínseca; coeficiente de assimetria;

ABREVIATURAS, SIGLAS E UNIDADES

AEAI – Associação Para o Estudo do Ambiente Insular

CAO – Coluna de Água Oscilante

CLIMAAT – Clima e Meteorologia dos Arquipélagos Atlânticos

CLIMARCOST - Clima Marítimo e Costeiro

DIA – Discrete Interaction Approximation

DITOWEC – Desenvolvimento de uma Ferramenta Integrada para Modelação Numérica de Conversores de Energia das Ondas de tipo Coluna de Água Oscilante integrados em Quebra-mar Verticais

ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

IH – Instituto Hidrográfico

I&D – Investigação e Desenvolvimento

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LTA – Lumped Triad Approximation

MariNET – Marine Renewables Infrastructure Network

ME – Mean error ou valor médio do erro

MWh – Megawatt por hora

RMSE – Root mean square error ou valor médio do erro quadrático

SI – Scatter index ou índice de desvio

SOPRO – Sistema Operacional de Previsão da Ondulação em portos

SWAN – Simulating Waves Nearshore

UAç – Universidade dos Açores

WAM – Waves Analysis Model

WAMDI – Wave Model Development and Implementation

WavEC – Wave Energy Centre

WWIII – WAVEWATCH III

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Os desafios impostos pela necessidade de implementar políticas que assegurem um desenvolvimento sustentável são particularmente pertinentes no domínio da energia. Cada vez mais surge a exigência de encontrar nas energias renováveis uma alternativa real e fiável às formas convencionais de produção de energia eléctrica, responsáveis por sérias ameaças ao meio ambiente (Cruz e Sarmiento, 2004).

Vários esforços têm sido desenvolvidos para que as energias renováveis façam cada vez mais sentido e sejam cada vez mais importantes na sociedade. A nível legislativo estão em vigor, por exemplo, o protocolo de Quioto e a Estratégia Europa 2020.

Os oceanos, que constituem cerca de 71% da hidrosfera, contêm em si um enorme potencial energético, que até ao momento não está a ser aproveitado e/ou explorado, que poderá sustentar grande parte das necessidades energéticas.

A energia contida nos oceanos pode ter origens diferentes, o que origina diferentes classificações (Pontes e Falcão, 2001). As mais relevantes são sem dúvida a energia das marés, fruto da interacção dos campos gravíticos da lua e do sol, a energia térmica dos oceanos, consequência directa da radiação solar incidente, a energia das correntes marítimas, cuja origem está nos gradientes de temperatura e salinidade e na acção das marés e finalmente a energia das ondas, que resulta do efeito do vento na superfície do oceano (Cruz e Sarmiento, 2004).

Neste sentido, em 1991 a Comissão Europeia iniciou uma serie de acções preliminares de I&D em Energias das Ondas. Vários locais adequados foram identificados para uma central sobre a costa, sendo um deles Porto Cachorro, na ilha do Pico, Açores, Portugal. No decorrer do programa Joule foram assinados contratos para realização de estudos básicos, planeamento e construção de uma central neste local. Em 1999 foi construído em Porto Cachorro, na ilha do Pico, a Central de Energias das ondas do Pico, com a instalação de um dispositivo de energia das ondas do tipo CAO. Este dispositivo é o único em funcionamento para produção eléctrica em Portugal, tendo em 2010 uma produção anual total de 45 MWh em 1450 horas de produção que foi injectada na rede.

A caracterização da agitação marítima é de elevada importância para definir se as condições marítimas são as ideais para o aproveitamento do potencial energético.

Dados como a altura da onda, período e direcção são os factores relevantes na caracterização.

Em Portugal já foram realizados vários estudos relativamente à modelação e caracterização da agitação marítima, como o estudo de modelação da agitação marítima ao largo do Porto de Leixões (Bento et al., 2009), aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente a Pinheiro da Cruz (Sampaio,2008) e modelação da agitação marítima em zonas costeiras (Pereira, 2008).

1.2. Objectivos e metodologia

O objectivo do trabalho consistiu na caracterização da agitação marítima ao largo da Central de Energia das ondas do Pico, Açores.

A caracterização da agitação marítima deste trabalho foi realizada a partir da análise de dados obtidos por modelos numéricos, para trinta e seis anos de estudo, em vinte pontos ao largo da Central de Energia das ondas. Desta forma, a partir dos dados obtidos pelos modelos, como a altura significativa (H_s), período de pico (T_p), direcção de pico (Θ_p), período médio obtido pelo SWAN (T_{m02}), direcção média (Θ_m), para regime Total, Verão e Inverno foi possível realizar a caracterização.

Para a obtenção destes dados a partir de modelos numéricos é necessário a conjugação de dois tipos de modelos, um modelo oceânico, tal como o WAM ou o WWIII, que são modelos espectrais de terceira geração que permitem descrever a geração e a propagação de ondas desde águas profundas até águas pouco profundas onde o atrito com o fundo começa a modificar a onda, a partir desta zona utiliza-se o modelo SWAN, que é um modelo espectral de terceira geração de escala regional que incorpora todos os mecanismos físicos relevantes na geração e propagação em zonas costeiras, que utiliza os dados dos modelos anteriores, como condições de fronteira para os seus cálculos.

Neste sentido, a aplicação da metodologia para os vinte pontos consiste basicamente em:

- Com base na série de dados de agitação marítima ao largo, fornecida por um modelo de previsão à escala oceânica (neste caso, o modelo WAM, WAMDI Group, 1988) para o período de 1979 a 2014, efectuou-se a propagação dessas ondas até à Central de Energia das ondas do Pico utilizando o modelo à escala regional SWAN (Booij *et al.*, 1999, SWAN Team, 2008), na qual se recorreu ao método de malhas encaixadas para obter uma melhor resolução. Obtiveram-se, assim, os regimes de agitação.
- Em particular, com base nos 36 anos de agitação marítima do modelo WAM em 4 pontos ao largo, efectuou-se a sua transferência com o modelo SWAN para 20 pontos, pontos P1 a P20 sendo que o ponto P20 corresponde à localização da boia ondógrafo Faial/Pico na localização $38^{\circ}35'26''N/28^{\circ}32'26''W$, para o qual se efectuou a comparação dos resultados do SWAN com os dados medidos pela boia para análise do desempenho do modelo e verificação da precisão dos resultados obtidos.

1.3. Estrutura do relatório

A presente dissertação encontra-se estruturada em 6 capítulos.

No primeiro capítulo faz-se uma breve exposição introdutória do tema, dos objetivos, da metodologia e da estruturação da dissertação.

No capítulo dois é realizada uma elucidação relativamente ao modelo numérico SWAN e a explicitação dos fundamentos teóricos contemplando a equação de balanço de ação espectral que inclui os termos fonte e sumidouro.

O capítulo três é onde está apresentado o caso de estudo, os dados de estudo utilizados e a aplicação do modelo SWAN. Na apresentação do caso de estudo é feita uma descrição do Arquipélago dos Açores, do histórico e da localização da Central de Energia das ondas. Segue a exposição dos dados utilizados, incluindo informação sobre a agitação marítima fornecida pelo modelo WAM, dados da boia ondógrafo Faial/Pico, dados da maré e nível do mar e batimetria e ventos. A aplicação do modelo SWAN é descrita, apresentando-se o domínio computacional, as características gerais das simulações, a metodologia da aplicação do modelo e a validação do modelo SWAN através da comparação dos resultados numéricos obtidos com os dados da boia ondógrafo.

No quarto capítulo é realizada a análise e discussão dos resultados, nomeadamente a interpretação dos resultados obtidos pelo modelo SWAN. São apresentados histogramas, diagramas e dados estatísticos dos parâmetros da onda, como a altura significativa, período e direcção, ao longo de dois transectos, um longitudinal e um latitudinal.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões relativas ao presente estudo.

2. Modelo numérico – SWAN

O SWAN (Simulating WAVes Nearshore) é um modelo espectral desenvolvido pela Universidade de Tecnologias de Delft, de alta resolução, regional, e de terceira geração, que permite obter estimativas realistas de parâmetros de onda em zonas costeiras e lagos, tendo como *input* condições de fronteira, dados batimétricos, campos de ventos e de correntes. Toda a informação sobre a superfície do oceano está contida na variância do espectro de onda ou no espectro direccional, distribuindo energia por frequências e direcções de propagação de onda (The SWAN team, 2007).

A equação utilizada no modelo é a equação de conservação de acção da onda, aplicada a baixas profundidades, com fontes e sumidouros (Bento *et al.*, 2009).

O seu princípio físico é o mesmo de outros modelos como o WAM e o WWIII. Mas, enquanto que o WAM considera problemas em escala oceânica, o SWAN calcula a propagação das ondas desde águas profundas até à zona de rebentação. A diferença está na utilização de métodos implícitos pelo SWAN, que são mais robustos em águas pouco profundas que os explícitos, o que o torna pouco indicado para escalas oceânicas.

Os processos de propagação de ondas representados são: propagação através do espaço geográfico, refacção, difracção, empolamento, bloqueio e reflexão devido a correntes opostas e transmissão, bloqueio ou reflexão devido a obstáculos.

A geração de ondas devido ao vento, a dissipação por rebentação da crista provocada por mudanças de profundidade e por atrito do fundo, e as interacções entre ondas, são processos de geração e dissipação considerados neste modelo.

Para o funcionamento deste modelo é necessária a definição de uma grelha computacional associada a uma grelha batimétrica. A propagação da agitação recorre a esquemas numéricos implícitos. Associadas a estas grelhas definem-se ainda as condições de fronteira que poderão resultar do acoplamento com modelos de águas profundas tais como o WAM ou o WWIII que operam a uma escala oceânica (Ramos, 2014).

É ainda considerada a possibilidade de existência de grelhas dentro de grelhas, ou seja de malhas encaixadas (Figura 1). Neste caso as grelhas exteriores irão servir de condições de fronteira para as interiores e desta forma pode-se obter para as grelhas mais pequenas (interiores) maior precisão de resolução em menor tempo de computação.

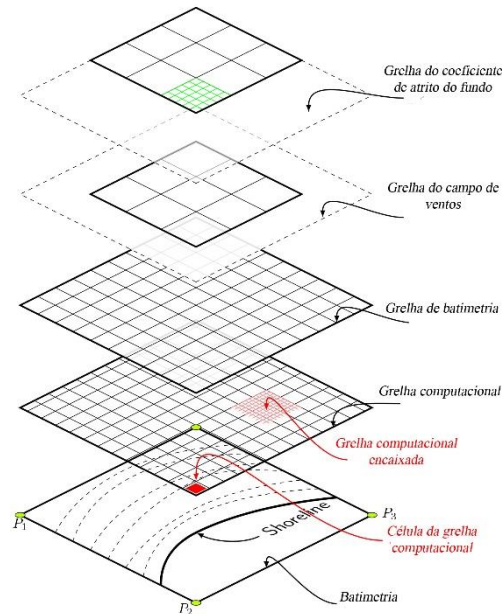


Figura 1- Ilustração das várias grelhas de input que se podem usar no SWAN.

O modelo usa o espectro de acção de densidade $N(\sigma, \theta)$ em vez do espectro de densidade de energia $E(\sigma, \theta)$, pois, na presença de correntes, a acção de densidade é conservada enquanto que a densidade de energia não o é. Como variáveis independentes tem-se a frequência relativa σ (enquadrada num sistema de referência que se move com a velocidade de propagação) e a direcção da onda θ (direcção normal à crista da onda de cada componente espectral). A acção de densidade é igual à densidade de energia dividida pela frequência relativa:

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (1)$$

A equação de balanço da acção espectral em coordenadas cartesianas que o modelo utiliza para descrever a evolução do espectro de onda é:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (2)$$

Onde o 1º termo do lado esquerdo da equação se refere à taxa local de variação da acção da densidade no tempo. O segundo e terceiro termos representam a propagação da acção no espaço geográfico (em que c_x e c_y são a velocidade de propagação em x e y respectivamente).

O quarto termo diz respeito à variação da frequência relativa devido a variações nas profundidades e nas correntes (com a velocidade de propagação c_σ no espaço σ). O quinto termo representa a refração, a profundidade e corrente induzidas (com a velocidade de propagação c_θ no espaço θ). Do lado direito da equação, S é o termo inicial no que diz respeito à densidade de energia que representa os efeitos de geração (pelo vento S_{in}), dissipação (por rebentação $S_{ds,w}$; atrito de fundo $S_{ds,b}$ e rebentação da onda induzida pela profundidade $S_{ds,br}$) e interações não lineares entre ondas (quadrupletos S_{n14} e tríades S_{n13}):

$$S = S_{in} + S_{ds,w} + S_{nl} + S_{ds,b} + S_{ds,br} \quad (3)$$

As interações quadrupletos entre ondas dominam a evolução do espectro em águas profundas, transferindo energia do pico espectral para frequências mais baixas (portanto baixando a frequência de pico) e para frequências mais altas (onde a rebentação dissipa a energia). Este tipo de interações é calculado pela Discrete Interaction Approximation (DIA).

As interações tríade entre ondas em águas pouco profundas transferem energia de frequências mais baixas para mais altas resultando muitas vezes em harmônicas mais altas. Definidas como a troca de energia entre três ondas, as interações tríade são particularmente importantes quando as ondas se encontram em águas pouco profundas.

A Lumped Triad Approximation (LTA) é utilizada pelo modelo para descrever este tipo de interação, uma vez que exemplifica bem a transferência de energia do pico primário do espectro para as harmônicas (o espectro que originalmente tem apenas um pico pode vir a ficar com vários picos à medida que as ondas entram em águas pouco profundas) (Pereira, 2008).

3. Caso de estudo

3.1. Caracterização do local de estudo

O arquipélago dos Açores (Figura 2) encontra-se situado no Atlântico Norte, a cerca de 1,500 km de Portugal Continental e 3,750 km da América do Norte. É composto por nove ilhas dispersas ao longo de 600 km de oceano que se distribuem naturalmente por três grupos distintos: o Grupo Ocidental, composto pelas Flores e Corvo; o Grupo Central onde se incluem o Faial, Pico, São Jorge, Graciosa e Terceira; e o Grupo Oriental, com Santa Maria e São Miguel (Brito e Melo, 2000).

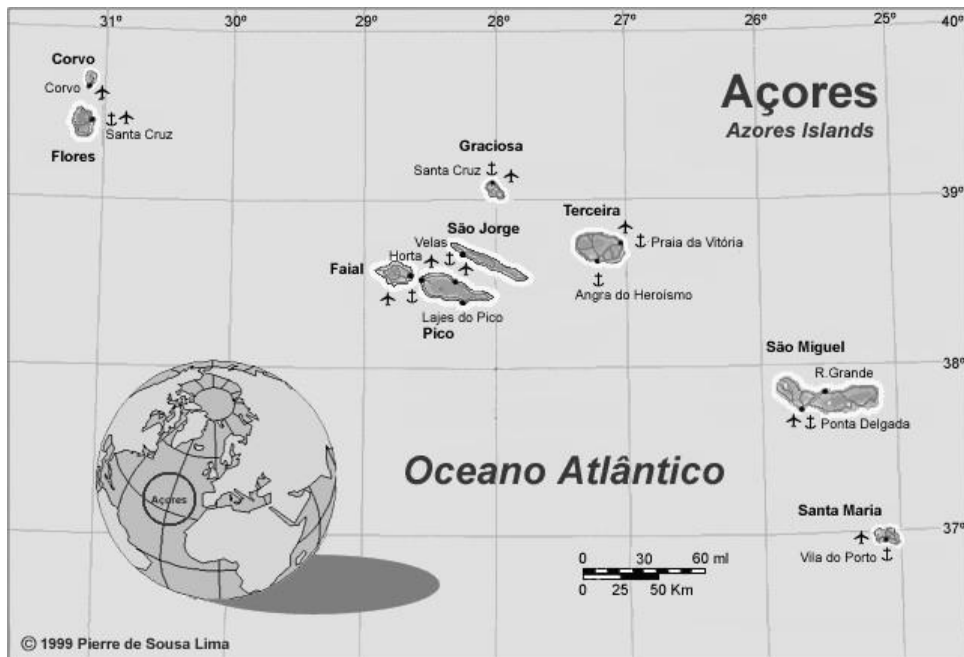


Figura 2 - Arquipélago dos Açores (Brito e Melo, 2000)

A Central de Energia das ondas do Pico encontra-se na costa Noroeste da Ilha do Pico, em Porto Cachorro (Figura 3).



Figura 3 - Localização da Ilha de Porto Cachorro (Brito e Melo, 2000)

A ideia de construção desta Central surge em 1991, onde a Comissão Europeia (programa Joule) iniciou uma série de acções preliminares de I&D em Energia das Ondas. Uma destas acções foi o estudo de uma Central Piloto Europeia (1992-1993), que foi realizado por uma equipa internacional. O estudo identificou vários locais adequados para uma central piloto sobre a costa em águas costeiras Europeias. Um deles era o Porto Cachorro, na ilha do Pico, nos Açores (Figura 3). Em 1993 e 1995, foram assinados contratos com a Comissão Europeia (programa Joule) para os estudos básicos, planeamento e construção de uma central piloto na Ilha do Pico. Isto foi realizado por uma equipa Europeia de Portugal, Reino Unido e Irlanda (Falcão, 2000).

A construção da Central de Energia das ondas do Pico surgiu no ano 1999, na Ilha de Porto Cachorro, com a instalação de um dispositivo do tipo CAO (Figura 4).



*Figura 4 - Central Europeia de energia das ondas do Pico, Açores (esquerda) e perspectiva traseira (direita).
(Brito e Melo, 2000 e Fonte <http://www.save-pico-powerplant.org>)*

Este tipo de dispositivos são do tipo Coluna de Água Oscilante (CAO), consistem basicamente em estruturas ocas parcialmente submersas, que se encontram abertas para o mar abaixo da superfície livre da água do mar. O processo de geração de electricidade (Figura 5) segue duas fases: quando uma onda entra na estrutura o ar que se encontra dentro dela é forçado a passar por uma turbina, como consequência directa do aumento de pressão na câmara de ar. Quando a onda regressa ao mar o ar passa novamente na turbina, desta vez no sentido inverso, dada a pressão inferior no interior da câmara de ar.

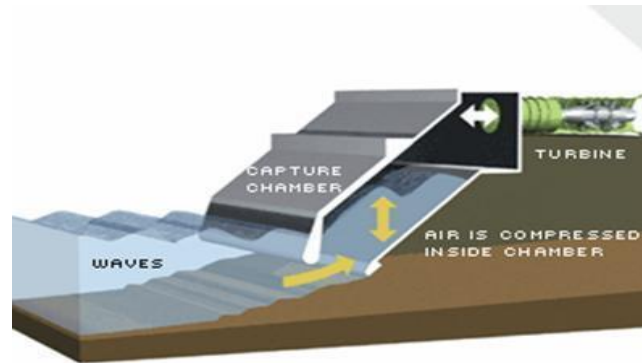


Figura 5 - Esquema de funcionamento de um dispositivo do tipo CAO (Fonte: <http://ecoreporter.abae.pt/public/2012/211/aveiroenergias9.jpg>).

Actualmente este é o único tipo de dispositivo de aproveitamento de energia das ondas em funcionamento para produção eléctrica em Portugal, que em 2010 teve uma produção anual total de 45MWh em 1450 horas de produção que foi injectada na rede.

A estrutura da central é assente no fundo, a cerca de 8 m de profundidade, com uma secção em planta de dimensões interiores ao nível médio da água de 12 x 12 m². A parede frontal apresenta uma inclinação de 30° em relação à vertical. A central fica inserida numa reentrância da costa (Figura 6), apoiada num rochedo do lado poente, tendo sido construída no local ao abrigo de uma protecção provisória.



Figura 6 – Imagem aérea da Central (Paulo Henrique Silva).

Este local está exposto à direcção dominante da agitação marítima (aproximadamente 330° N), e apresenta uma acentuada concentração natural de energia sobretudo por efeitos de difracção (Brito e Melo, 2000).

A central tem uma turbina Wells de 0.4 MW, que foi construída no âmbito do projeto Europeu: “*European wave energy pilot plant on the island of Pico, Azores, Portugal. Phase two: equipment*”. Esta turbina tem a especial característica de manter o sentido giratório das pás do rotor, independentemente do sentido do escoamento do fluxo de ar.

A situação da Central do Pico agravou-se desde 2012, ano em que terminou o projeto Europeu Wavetrain2 que suportava algumas despesas da central, incluindo parte dos recursos humanos afetos ao projeto (WavEC Offshore Renewables, 2014).

Em 2013 foi possível financiar alguns trabalhos na Central do Pico através do projeto Europeu MariNET, que reúne 40 infra-estruturas de teste Europeias relevantes para a energia dos oceanos. A central do Pico é uma das infra-estruturas que integra este grupo, reconhecida como a única central em escala real, o que significa que a sua utilização por equipas que se candidatem a executar testes na Central pode ser financiada por este projeto (WavEC Offshore Renewables, 2014).

A Central do Pico é operada desde 2004 pela WavEC.

3.2. Dados utilizados

3.2.1. Introdução

A caracterização da agitação marítima ao largo da Central do Pico é complexa. Esta complexidade prende-se com a dificuldade de obter dados por monitorização *in situ* – que se traduz na melhor técnica, mas que apresenta um reduzido número de medições e pequenos períodos de duração – que obriga à aplicação de modelos numéricos. Os modelos permitem caracterizar a agitação marítima nas zonas costeiras e portuárias para longos períodos de tempo (Rodrigues, 2014).

Devido à vasta área a modelar e à variação das profundidades na área de estudo, são utilizados modelos de propagação da agitação marítima, que permitem transferir as condições ao largo até à zona costeira em frente à central. No presente trabalho utilizou-se o modelo costeiro SWAN (Booij et al., 1999, SWAN Team, 2008), para um período de tempo de 35 anos (1 de janeiro de 1979 a 30 de dezembro de 2014).

A aplicação do modelo SWAN, implica a definição das condições de forçamento de ondas, vento e maré naquele intervalo de tempo. Os campos de ondas e ventos são por sua vez fornecidos também por modelos numéricos, neste caso através do um modelo oceânico (WAM, WAMDI Group, 1988) que fornece estimativas de agitação marítima para qualquer localização, dentro da sua grelha computacional, a uma escala regional.

Uma vez estabelecidas as condições de forçamento, os cálculos foram efetuados de forma sistemática para o período de 36 anos. Desta forma foram obtidos regimes de agitação marítima em cada um dos vinte pontos em frente à central das ondas do Pico. Para avaliar o desempenho e precisão do modelo SWAN foram comparados os resultados do modelo com dados obtidos pela boia ondógrafo Faial/Pico localizada em $38^{\circ}35'26''\text{N}/28^{\circ}32'26''\text{W}$.

Na aplicação do modelo costeiro de terceira geração SWAN, foi utilizado o programa de interface SOPRO (Pinheiro *et al.*, 2007), para uma utilização mais eficiente deste modelo, particularmente na elaboração dos ficheiros de *input*.

3.2.2. Dados de agitação marítima do WAM

Através do modelo oceânico de terceira geração WAM (WAMDI Group, 1988) foram fornecidas estimativas em 4 pontos ao redor do Grupo Central (Norte, Sul, Este e Oeste) (Figura 7).

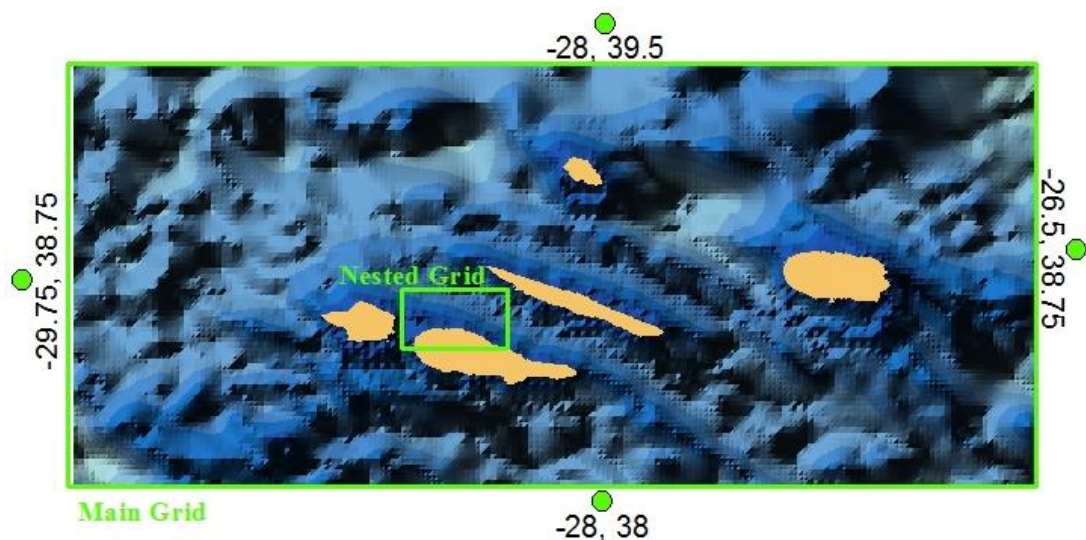


Figura 7 – Localização pontos WAM.

As coordenadas geográficas desses pontos encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos do WAM

| Pontos | Latitude | Longitude |
|--------|----------|-----------|
| N | 39.5 | -28 |
| S | 38 | -28 |
| E | 38.75 | -26.5 |
| O | 38.75 | -29.75 |

Estas estimativas são apresentadas pelos valores de H_s (altura significativa da onda), T_m (período médio da onda) e Θ_m (direcção média de propagação das ondas), para o período de 1 de janeiro de 1979 a 30 de dezembro de 2014, em intervalos de 6 horas.

Pode-se ainda salientar que estas estimativas podiam ter sido fornecidas por outro modelo numérico, tal como o modelo WAVEWATCHIII (Tolman, 1999a). A razão da escolha do modelo WAM em detrimento do modelo WWIII prende-se com o facto de estar a ser estudado um período extremamente longo (36 anos), pelo que a fonte de informação do modelo WAM (ECMWF) possui mais informação que a fonte do modelo excluído. A Figura 8 permite observar através dos dados do WAM o comportamento da altura significativa, período de pico e a altura significativa em função do período de pico, ao longo dos 36 anos de estudo.

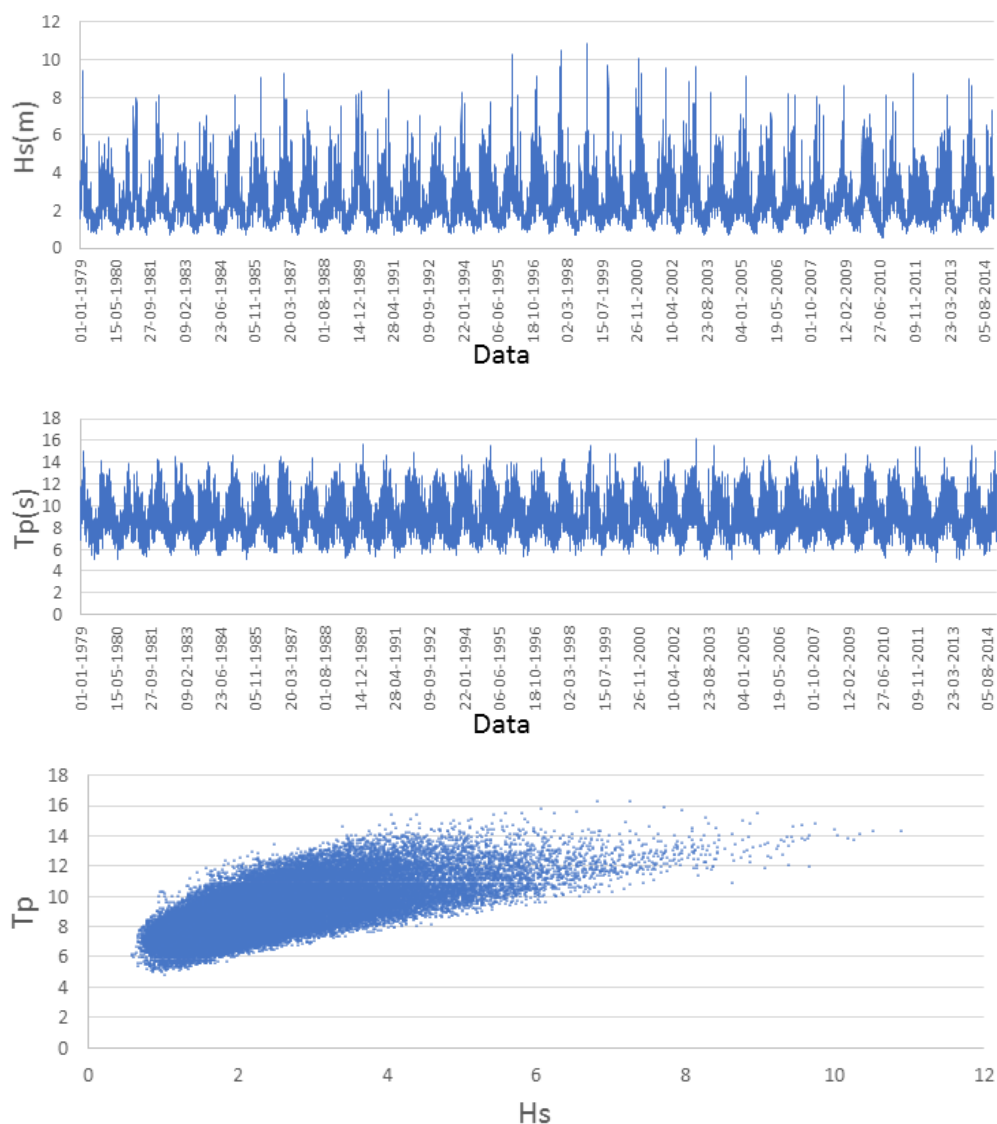


Figura 8 – a) Distribuição temporal de altura significativa, período de pico, altura significativa em função do período de pico ao longo dos 36 anos de estudo.

Através da análise da Figura 8, pode-se verificar um comportamento constante ao longo dos 36 anos de estudo e observar a existência de uma relação directa entre a altura significativa e o período de pico, quando há um aumento do período há um aumento da altura significativa.

3.2.3. Dados da boia Ondógrafo Faial/Pico

Por iniciativa do Centro do Clima, Meteorologia e Mudanças Globais da Universidade dos Açores (UAç) e no âmbito do projecto CLIMAAT (Clima e Meteorologia dos Arquipélagos Atlânticos), desenvolvido em parceria com a Associação Para o Estudo do Ambiente Insular (AEAI), e com o apoio do Governo

Regional dos Açores, Administrações Portuárias e Marinha Portuguesa, deu-se início em 2005 à implantação de um sistema de monitorização de dados meteo-oceanográficos na Região Autónoma dos Açores com a instalação de uma primeira estação ondógrafo direcional *Datawell* ao largo da Praia da Vitória, na Ilha Terceira (Azevedo & Gonçalo, 2005). Seguiu-se, ainda no mesmo ano, a instalação da estação de São Miguel, e em 2006, a das Flores. Posteriormente, em 2007, e já no âmbito do projecto CLIMARCOST (Clima Marítimo e Costeiro), foram instaladas mais três estações, a estação da Horta, entre as Ilhas do Faial e do Pico, e a de Santa Maria e da Graciosa (Esteves *et al.*, 2009).

Devido a estas parcerias as boias ondógrafo do Arquipélago dos Açores são operadas pela Universidade dos Açores, estando incluída a utilizada neste estudo – boia ondógrafo Faial/Pico (Figura 9).

Estes equipamentos permitem obter as seguintes características das ondas: altura de onda significativa (H_s), altura de onda máxima ($H_{m\acute{a}x}$), período de onda médio (T_z), período de onda máximo ($T_{m\acute{a}x}$) e direção média de propagação das ondas (θ_m). Esses registos são transmitidos por rádio para uma estação recetora em terra que descodifica, grava e controla a qualidade dos dados. Esta informação permite alimentar, calibrar e/ou validar os modelos numéricos de previsão da agitação marítima (Rodrigues, 2014).

A boia ondógrafo do Faial/Pico encontra-se na latitude $38^{\circ}35'26''N$ e longitude $28^{\circ}32'26''W$ entre a ilha do Faial e a ilha do Pico, na batimetria da ordem dos 130 metros.

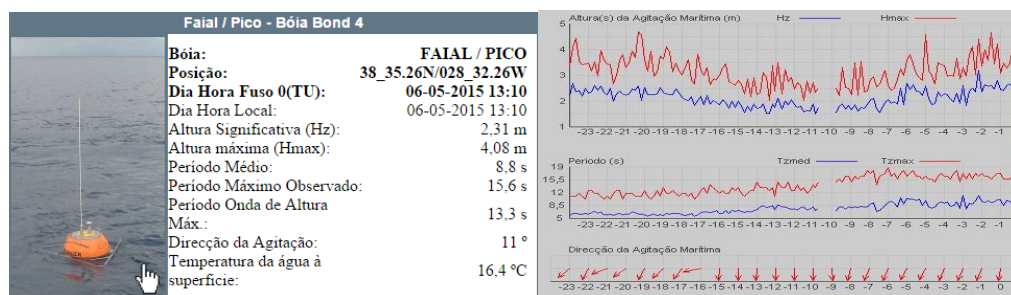


Figura 9 – Boia ondógrafo (esquerda) e Exemplo de tipo de dados obtidos (direita)(Fonte: <http://www.climaat.angra.uac.pt>).

3.2.4. Dados de maré e nível do mar

O nível do mar varia principalmente consoante a maré astronómica, que tem como causa a atracção gravitacional do Sol e da Lua, e adicionalmente devido às condições meteorológicas, como por exemplo a sobrelevação meteorológica (storm surge).

Matematicamente a maré astronómica é uma soma de sinusóides (ondas constituintes) cuja periodicidade é conhecida e depende exclusivamente de factores astronómicos. Esta é a única componente da maré que se pode prever rigorosamente, com base em análises harmónicas de séries de observações maregráficas de duração variável.

As condições meteorológicas dependem de factores, tais como a pressão atmosférica, ventos e a agitação marítima. A pressão atmosférica é o mais importante dos factores não astronómicos que influenciam a subida e descida do nível do mar; com efeito, as baixas pressões produzem um aumento do nível das águas e, inversamente, as altas pressões estão associadas a uma descida do nível do mar.

Estes dados de maré e nível do mar podem ser adquiridos de duas formas, através de marégrafos que são equipamentos que fazem a medição da maré *in situ* (onde estão incluídas a maré astronómica e a sobrelevação meteorológica do local) e através da análise harmónica de séries de observação maregráficas, que permitem conhecer a maré astronómica facilmente.

Os primeiros valores, obtidos com o marégrafo, incluem já o valor da sobrelevação meteorológica do nível do mar (storm surge).

No presente trabalho, optou-se pela 2ª via: Os valores do nível e maré, correspondem a valores calculados por estimativa de uma onda harmónica, aos quais foi posteriormente adicionado um valor constante de sobrelevação de 0.4m. Este valor foi estimado com base na média da diferença entre os valores obtidos no marégrafo e os obtidos com o software XTide, devido à dificuldade em obter a variação da sobrelevação no período considerado (Rodrigues, 2014).

3.2.5. Batimetria e ventos

A batimetria utilizada neste trabalho foi obtida através do site do Instituto Hidrográfico, sendo que é um órgão da Marinha Portuguesa, e tratado e ilustrado com o auxílio do *software* comercial ArcGIS 10.1.

Relativamente à georreferenciação, o sistema de coordenadas utilizado foi PTR08/UTM Zone 26N, que é o sistema de coordenadas que melhor se adequa à zona de estudo.

Os pontos que foram escolhidos e utilizados nos cálculos realizados através do modelo numérico SWAN, para a caracterização da agitação marítima, encontram-se em frente à central de ondas do Pico. Estes pontos estão localizados em transectos

horizontais e verticais (Figura 10), de forma a obter uma caracterização da agitação marítima mais completa e complexa. A batimetria destes pontos varia deste os 10 m até aos 250 metros de profundidade.

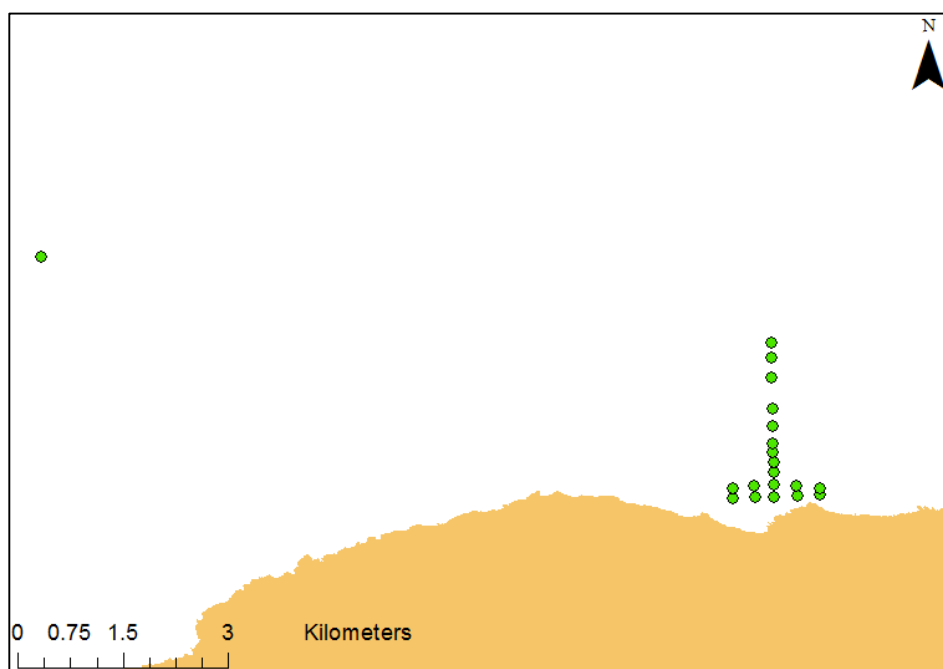


Figura 10 – Localização dos transectos horizontais e vertical.

Relativamente aos ventos, segundo Cruz (1997), estes têm uma maior proveniência do quadrante Sudoeste, contudo também exista alguma proveniência de Sul e nos meses de Verão de Nordeste.

Os dados dos ventos utilizados neste estudo, foram obtidos através do modelo atmosférico de alta resolução da ECMWF e posteriormente tratados e organizados em ficheiros com extensão .txt para servirem de input no modelo utilizado. Estes dados possuem as características apresentadas na Figura 11, em intervalos de 6 em 6 horas.

| | | |
|----------------------|---------------|---|
| <input type="text"/> | X inicial | <input type="text" value="258534.70415"/> |
| <input type="text"/> | Y inicial | <input type="text" value="4209384.1735"/> |
| <input type="text"/> | Grid rotation | <input type="text" value="0"/> |
| <input type="text"/> | nº. DX | <input type="text" value="13"/> |
| <input type="text"/> | nº. DY | <input type="text" value="6"/> |
| <input type="text"/> | DX (m) | <input type="text" value="22408"/> |
| <input type="text"/> | DY (m) | <input type="text" value="27756"/> |

Figura 11 – Configuração dos dados de ventos utilizados no SWAN.

3.3. Aplicação do modelo SWAN

A utilização do modelo SWAN requer uma adequada calibração do modelo para a zona de estudo, para tal é necessário introduzir os dados de base relativos às variáveis físicas que caracterizam a batimetria, a agitação ao largo, os ventos e as marés.

3.3.1. Domínio computacional

O domínio computacional que foi utilizado é o indicado na Figura 12, que abrange todo o Grupo Central e a zona de estudo em frente à Central das ondas do Pico.

O domínio apresentado é constituído por duas malhas computacionais: a malha exterior (Main Grid) que abrange todo o Grupo Central e apresenta dimensões de 266,5km x 150 km, com uma resolução de 500m; e a malha interior (Neste Grid), dentro da malha exterior, está centrada na zona da Central das ondas do Pico e tem como dimensões 29.3km x 19.9km, com uma resolução de 100m.

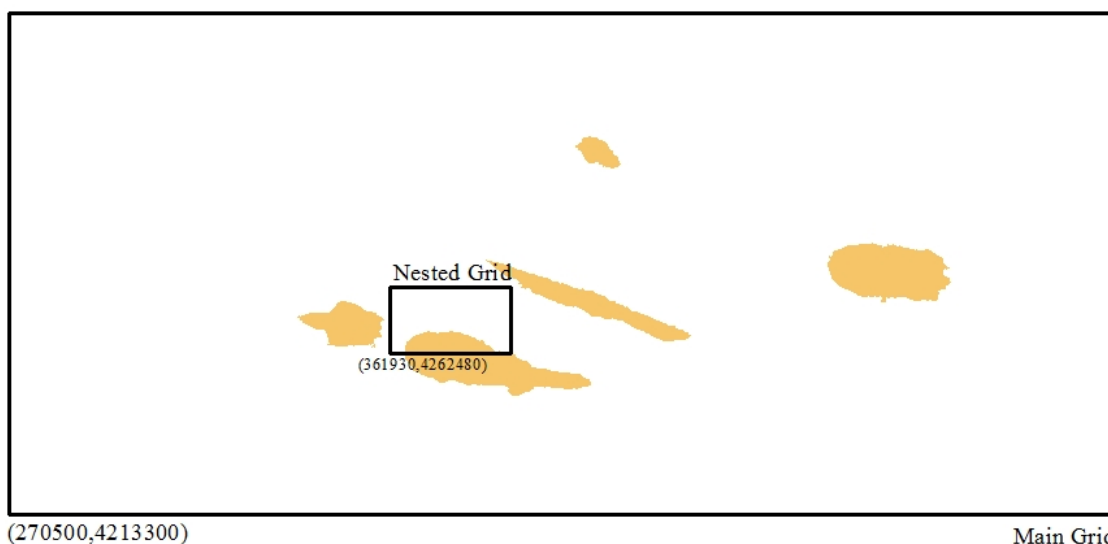


Figura 12 – Domínio computacional utilizado no SWAN com as malhas computacionais: Main Grid e Neste Grid.

A razão pela qual se utilizam este sistema de malhas encaixadas prende-se com o tempo de computação. O modelo SWAN necessita das condições de fronteira de cada malha ao efectuar os cálculos, que no caso da malha exterior correspondem às condições de agitação ao largo. Na malha interior são considerados como condições de fronteira os parâmetros calculados na malha exterior. A malha interior possui uma maior resolução para que se obtenham resultados mais precisos nos pontos desejados (P1 a P20) que, como se pode verificar na Figura 13, se encontram dentro da malha interior. Ao adoptar-se esta metodologia economiza-se tempo de computação, uma vez

que só nas partes cruciais do domínio de cálculo é que se adopta uma resolução elevada (Ramos, 2014).

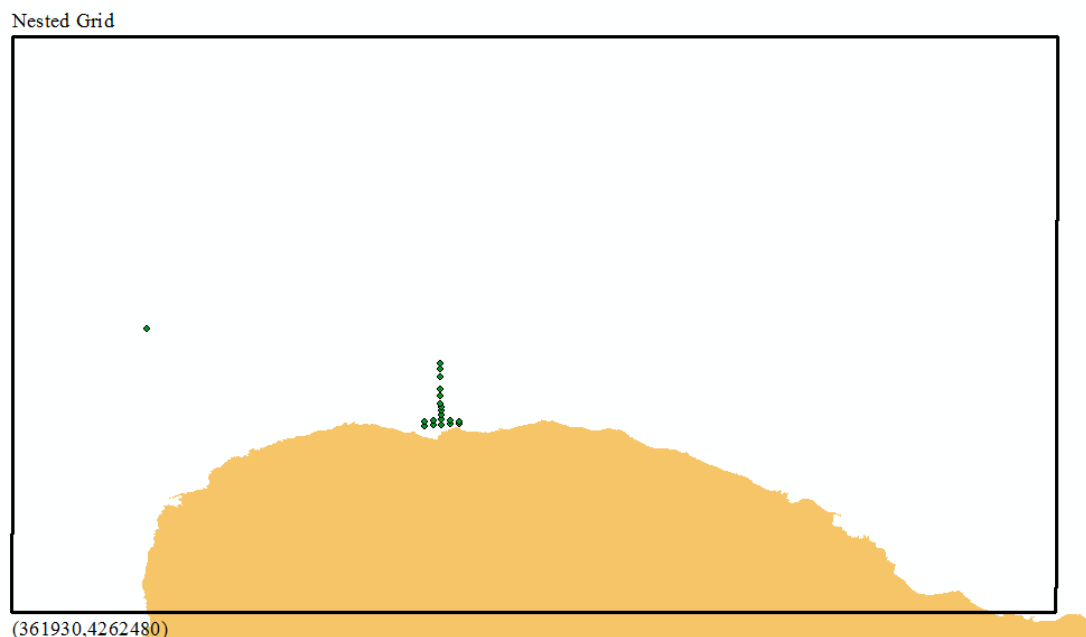


Figura 13 – Localização dos pontos de estudo dentro da malha interior.

3.3.2. Características gerais das simulações

As simulações com o modelo SWAN foram realizadas para o período de 01 de janeiro de 1979 a 30 de dezembro de 2014 em modo estacionário. As principais características das simulações foram:

- A versão SWAN 40.72, sem considerar a interação das ondas com correntes;
- O espectro direcional caracterizado por um espectro em frequência JONSWAP de 25 intervalos de 0.04 a 0.5 Hz, com distribuição logarítmica e uma discretização da direção em círculo;
- Para os fenómenos físicos, foi considerada difração, interação onda-onda tripla e quádrupla, atrito de fundo introduzido segundo a expressão semi-empírica de JONSWAP, rebentação induzida pelo fundo e rebentação parcial por excesso de declividade (whitecapping), tendo sido utilizada a formulação de van der Westhuysen et al. (2007).

O ponto 20 (P20), indicado na Figura 14, corresponde à localização da boia ondógrafo do Faial/Pico, permitindo desta forma a comparação entre os dados de altura significativa (H_s), período da onda de Pico (T_p) e direção média das ondas (θ_m) medidos por esta boia *in situ* e os dados obtidos através do modelo SWAN. Os restantes pontos encontram-se, como já referido no capítulo anterior, ao largo da Central das

ondas do Pico em transecto vertical P1 a P11 e horizontal P15 a P13 e P19 a P17, de forma a obter informações mais completas.

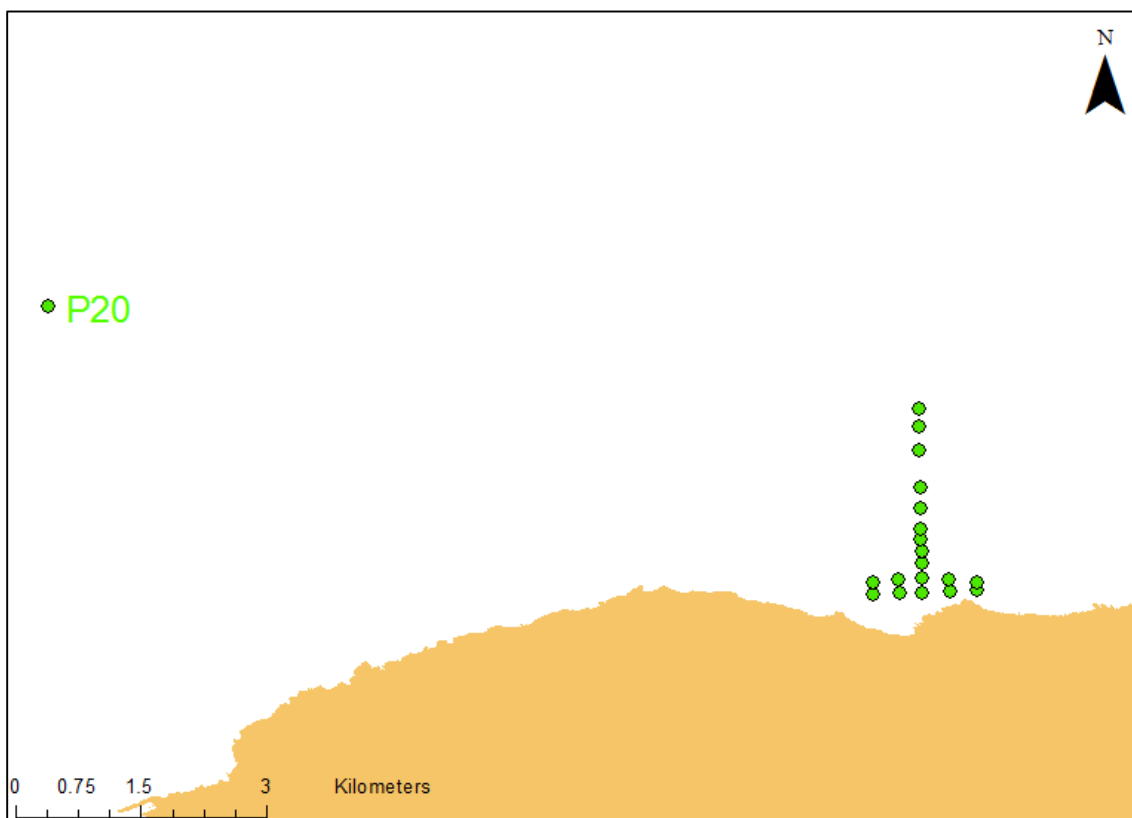


Figura 14 – Localização do ponto de estudo n° 20.

Na Tabela 2 apresentam-se as características dos referidos pontos.

Tabela 2 – Características dos pontos de estudo.

| Ponto | Profundidade (m) | Latitude (°N) | Longitude (°W) |
|----------|------------------|---------------|----------------|
| 1 | 10 | 38.559869 | -28.446601 |
| 2 | 20 | 38.561444 | -28.446632 |
| 3 | 30 | 38.563018 | -28.446664 |
| 4 | 40 | 38.564287 | -28.446689 |
| 5 | 50 | 38.565468 | -28.446713 |
| 6 | 60 | 38.566649 | -28.446736 |
| 7 | 80 | 38.568967 | -28.446783 |
| 8 | 100 | 38.571198 | -28.446828 |
| 9 | 150 | 38.575135 | -28.446907 |
| 10 | 200 | 38.577716 | -28.446958 |
| 11 | 250 | 38.579553 | -28.446995 |
| 12 | 10 | 38.56002 | -28.443659 |
| 13 | 10 | 38.560056 | -28.440736 |
| 14 | 10 | 38.559744 | -28.449101 |
| 15 | 10 | 38.559554 | -28.451821 |
| 16 | 20 | 38.561271 | -28.44375 |
| 17 | 20 | 38.560943 | -28.440754 |
| 18 | 20 | 38.561204 | -28.449197 |
| 19 | 20 | 38.560909 | -28.451914 |
| 20(Boia) | 130 | 38.5906 | -28.540596 |

3.3.3. Metodologia de aplicação do modelo SWAN

Uma vez que o período de estudo (36 anos) é um período bastante longo para a execução do modelo SWAN, é necessário adoptar uma organização e sistematização no processo de inserção dos dados no modelo.

Os dados necessários introduzir no modelo, após tratados e organizados como explica o capítulo anterior em ficheiros com a extensão .txt, são a agitação marítima ao largo para cada quadrante (norte, sul, este e oeste), batimetria, campo de ventos e pontos desejados para o estudo.

Como o modelo SWAN não possui uma interface gráfica foi utilizado o programa de interface SOPRO (Pinheiro *et al.*, 2007) desenvolvido no Laboratório de Engenharia Civil, para uma utilização mais eficiente deste modelo, particularmente na elaboração dos ficheiros de *input*.

Após construção dos ficheiros de dados de *input* por parte do modelo, e efectuados os cálculos, obtiveram-se os resultados para cada ponto P1 a P20. O ficheiro ‘TRANSFER’ (Tabela 3) obtido através do modelo SWAN revela as condições de agitação previstas para todos os pontos próximo da costa escolhidos para o estudo (neste caso, o ponto P1) e o nível de maré.

Tabela 3 - Exemplo do ficheiro ‘TRANSFER’.

| Input WAM | | | | Output SWAN | | | Output SWAN (valores médios) | | |
|-----------|------|------------|------|-------------|---------|------------|------------------------------|------------|---------|
| Hs | Tm | θ_m | NM | Hs | Tp | θ_p | Tm02 | θ_m | tm01 |
| 3.2 | 12.4 | 319 | 1.11 | 3.09412 | 15.0854 | 337.5 | 10.663 | 339.599 | 12.2069 |
| 3.14 | 11.6 | 314 | 1.88 | 2.74014 | 13.6358 | 337.5 | 8.2108 | 336.152 | 10.4018 |
| 3.19 | 10.5 | 292 | 0.99 | 0.71357 | 12.3255 | 322.5 | 3.298 | 331.319 | 4.496 |
| 3.39 | 9.7 | 258 | 1.8 | 0.44088 | 11.1411 | 307.5 | 2.4034 | 312.174 | 2.981 |
| 3.48 | 9.8 | 245 | 1.02 | 0.34808 | 12.3255 | 307.5 | 2.4347 | 330.347 | 3.172 |
| 3.53 | 10.1 | 245 | 1.96 | 0.6486 | 4.0566 | 307.5 | 2.5951 | 313.677 | 3.2154 |
| 3.58 | 10.3 | 245 | 0.94 | 0.41478 | 12.3255 | 307.5 | 2.4745 | 331.665 | 3.1872 |
| 4.04 | 9.9 | 233 | 1.85 | 0.39416 | 12.3255 | 307.5 | 2.4338 | 330.754 | 3.1665 |

Desta forma obtiveram-se 20 séries temporais de valores de altura de onda significativa, período e direção para os pontos de P1 a P20 correspondentes às características de agitação que se julga terem ocorrido de 1979 a 2014.

3.3.4. Validação do modelo SWAN

A validação do desempenho do modelo é de grande importância para a precisão, credibilidade e coerência dos resultados obtidos e do próprio estudo. Esta avaliação do modelo passa pela comparação dos resultados numéricos obtidos com os dados da boia

ondógrafo do Faial/Pico. Essa comparação é efectuada em termos, das principais variáveis que caracterizam a agitação marítima, e da análise estatística dos desvios entre as observações registadas.

Os dados da boia ondógrafo disponíveis são referentes a 2 anos (2013 e 2014) e foram cedidos pela Universidade dos Açores, Programa CLIMAAT. Devido à grande variabilidade temporal de registo estes dados tiveram que ser tratados e alvo de uma filtragem para que os valores fossem comparáveis com os obtidos pelo modelo SWAN, ou seja de seis em seis horas. A série temporal utilizada para a validação do modelo SWAN encontra-se entre o dia 07 de março de 2014 e o dia 21 de março de 2014, que se considerou ser um período ilustrativo do comportamento geral de Hs e Tm, uma vez que se tornaria inconcebível representar 2 anos de dados num só gráfico.

Na Figura 15 é possível observar as diferenças entre os valores de Hs da boia ondógrafo relativamente ao modelo SWAN.

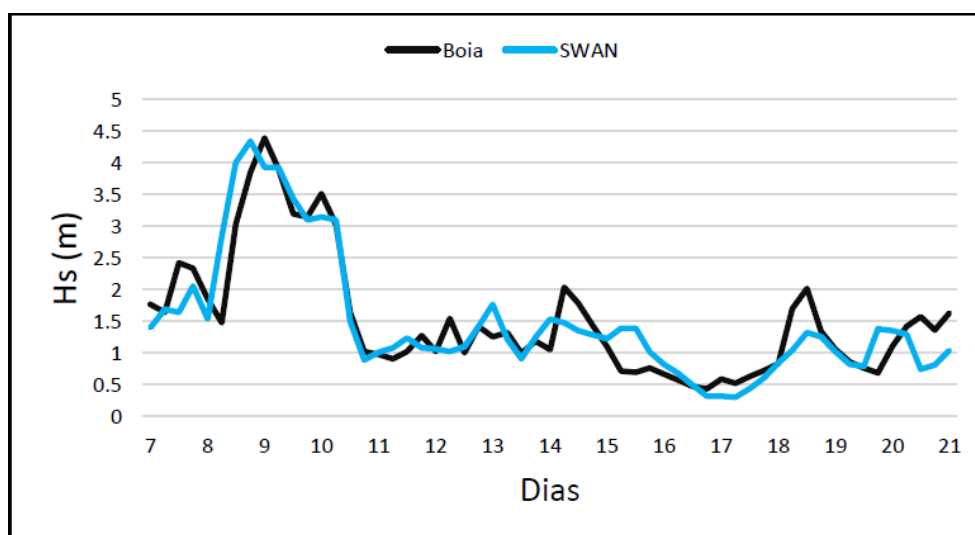


Figura 15 – Comparação dos dados de altura significativa da boia ondógrafo com os do modelo SWAN para o mês de março de 2014.

Através da análise Figura 15 é possível observar que existe um comportamento muito semelhante entre os dados apresentados, apesar de existirem algumas discrepâncias em alguns pontos. Tal comportamento permite afirmar que existe qualidade nos resultados adquiridos através do modelo. De uma forma geral, tendo em conta o período apresentado, verifica-se que a variação de Hs para a boia ondógrafo é de 0.43m a 4.39m, e para o modelo SWAN é de 0.3m a 4.34m o que, juntamente com a análise do gráfico, sugere uma representação muito satisfatória dos valores de Hs pelo SWAN.

Na Figura 16 é possível observar as diferenças entre os valores de T_m da boia ondógrafo relativamente ao modelo SWAN.

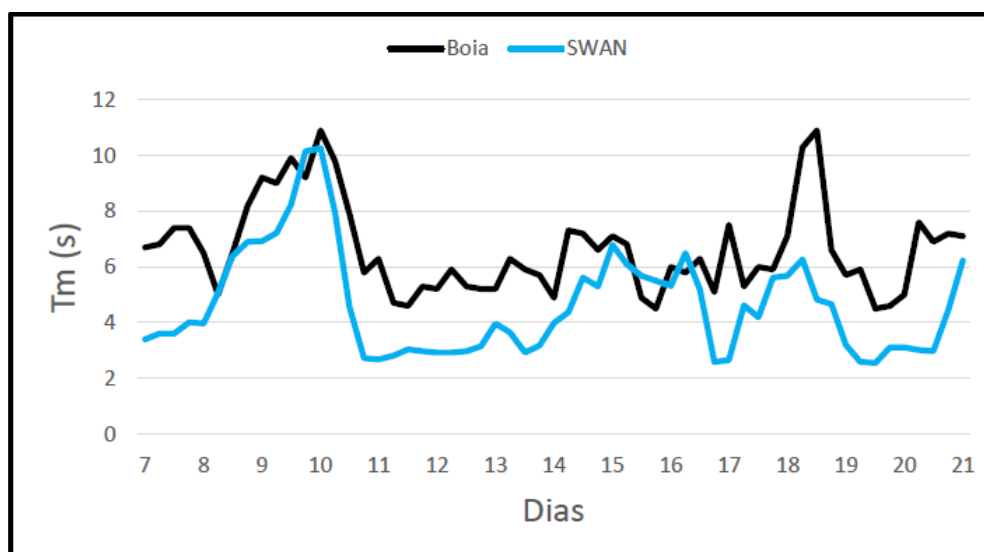


Figura 16 - Comparação dos dados de período médio da boia ondógrafo com os do modelo SWAN para o mês de março de 2014.

Da análise da Figura 16 que diz respeito à comparação dos dados de T_m da boia ondógrafo com os resultados de T_{m02} obtidos pelo modelo SWAN, verifica-se que há, tal como os dados de comparação de H_s , um comportamento semelhante entre eles, apesar de existirem algumas discrepâncias em alguns pontos e de haver uma constante subestimação dos valores pelo SWAN. De uma forma geral, observa-se uma variação de T_m para a boia ondógrafo de 4.5s a 10.9s e, para o modelo SWAN, de T_{m02} de 2.55s a 10.26s. Pode-se concluir que há uma subestimação dos valores do período médio pelo modelo numérico SWAN, apesar do comportamento similar.

Os parâmetros estatísticos escolhidos para a análise dos resultados foram: o RMSE (*Root Mean Square Error* ou valor médio do erro quadrático), o ME (*Mean Error* ou valor médio do erro) e o SI (*Scatter index* ou índice de desvio). Seguem-se as respectivas definições.

- Valor médio do erro quadrático

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N (\Delta X_i)^2} \quad (4)$$

- Índice de desvio

$$SI = \frac{RMSE}{\overline{X_0}} \quad (5)$$

- Valor médio do erro

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta X_i \quad (6)$$

onde:

- N corresponde à dimensão da amostra;
- X_C corresponde ao valor do parâmetro calculado pelo SWAN (altura significativa H_s ou período médio T_{m02});
- X_0 é o valor dos mesmos parâmetros medidos pelo aparelho AWAC;
- ΔX_i é a diferença entre os valores medidos e os calculados pelo SWAN ($X_0 - X_C$);
- $\overline{X_0}$ corresponde à média dos valores dos parâmetros registados pelo aparelho AWAC.

O ideal é que o ME se aproxime de 0, podendo ter valor positivo ou negativo, conforme se trate de uma sobrestimação ou subestimação, respetivamente, dos valores da boia pelo SWAN. Quanto ao RMSE, tem sempre valor positivo e quanto mais próximo de 0 se encontrar, maior a qualidade dos resultados do SWAN relativamente às medições da boia. O valor de SI representa o quociente entre a média dos registos totais e o valor de RMSE para essa variável, e o ideal é também aproximar-se de 0.

Relativamente a H_s obteve-se $RMSE=0.418$, $ME=0.0286$ e $SI=0.275$. Em relação ao período médio, obteve-se $RMSE= 2.465$, $ME=1.995$ (sobrestimação) e $SI=0.136$.

Note-se que é comum neste tipo de modelos numéricos obter uma melhor representação do valor de H_s , comparativamente ao período. Tal como os resultados sugerem, a tendência é, no geral, o nível de confiança ser mais elevado para o H_s do que para o período.

Pode-se então concluir-se que o modelo SWAN consegue representar de forma muito satisfatória as condições de agitação predominantes na zona, embora de forma mais satisfatória a altura significativa que o período. Esta subestimação dos valores do período pelo SWAN, para o tipo de dispositivo CAO, pode ser um problema, porque a ressonância do dispositivo esta relacionada com o período.

A disponibilidade de dados mais completos é também um fator determinante neste tipo de comparações.

4. Análise e discussão de resultados

A análise e discussão de resultados terá como foco principal a caracterização da agitação marítima de um transecto longitudinal (vertical) (Figura 17) e de um latitudinal (horizontal) (Figura 18) relativamente à posição da central do Pico. Esta caracterização será realizada através da análise de gráficos, histogramas, diagramas e dados estatísticos de parâmetros da onda, como a altura significativa, período médio, direcção média e direcção de pico ao longo dos 36 anos de estudo para regime total, regime de verão e regime de inverno.

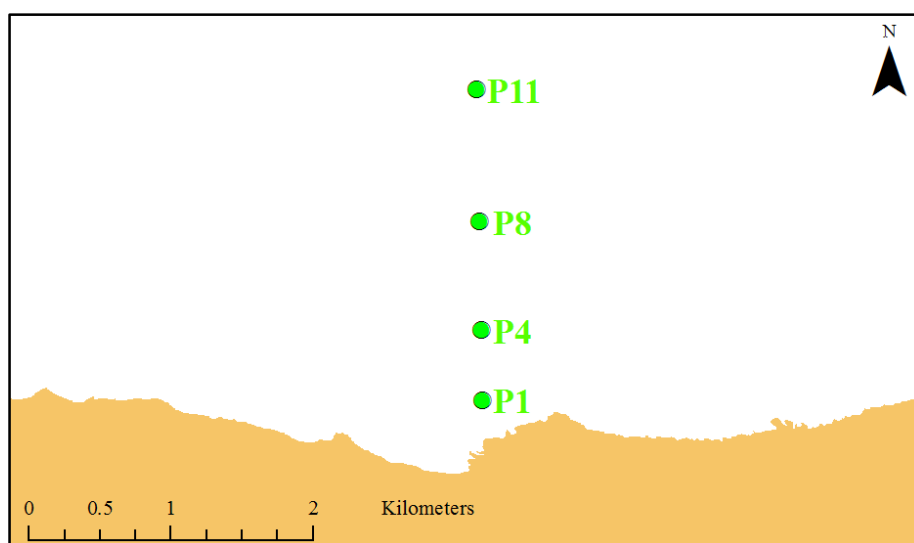


Figura 17 – Transecto longitudinal.

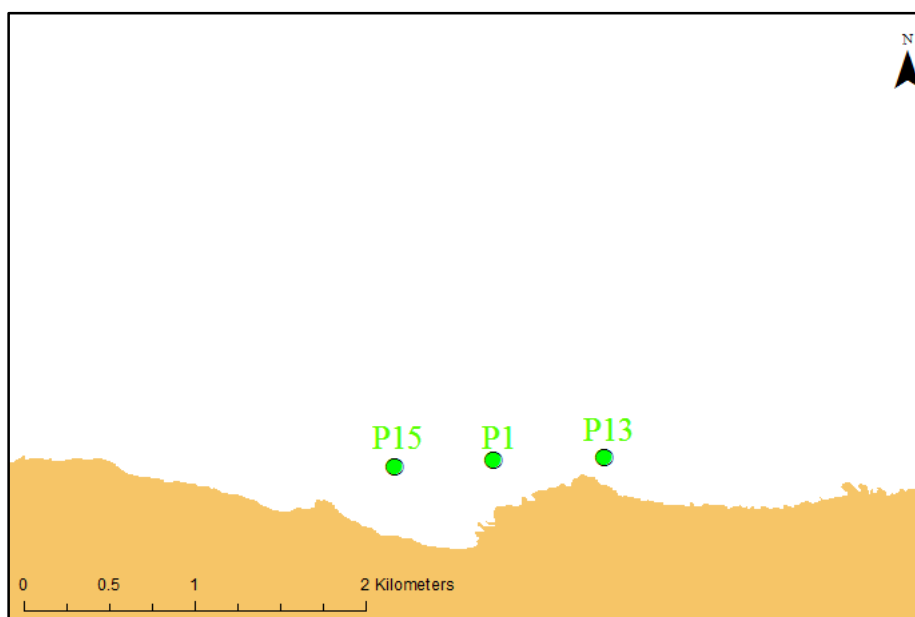


Figura 18 – Transecto Latitudinal.

4.1. Caracterização da agitação marítima transecto longitudinal

Através da observação da Figura 17 verifica-se que o transecto longitudinal é definido pelos pontos P1, P4, P8 e P11, a partir dos quais se irá realizar a análise dos parâmetros da onda. A profundidade nestes pontos aumenta com o afastamento da costa, ou seja, com o aumento da longitude.

Na Figura 19 é possível observar a variação da altura significativa para o regime total nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.

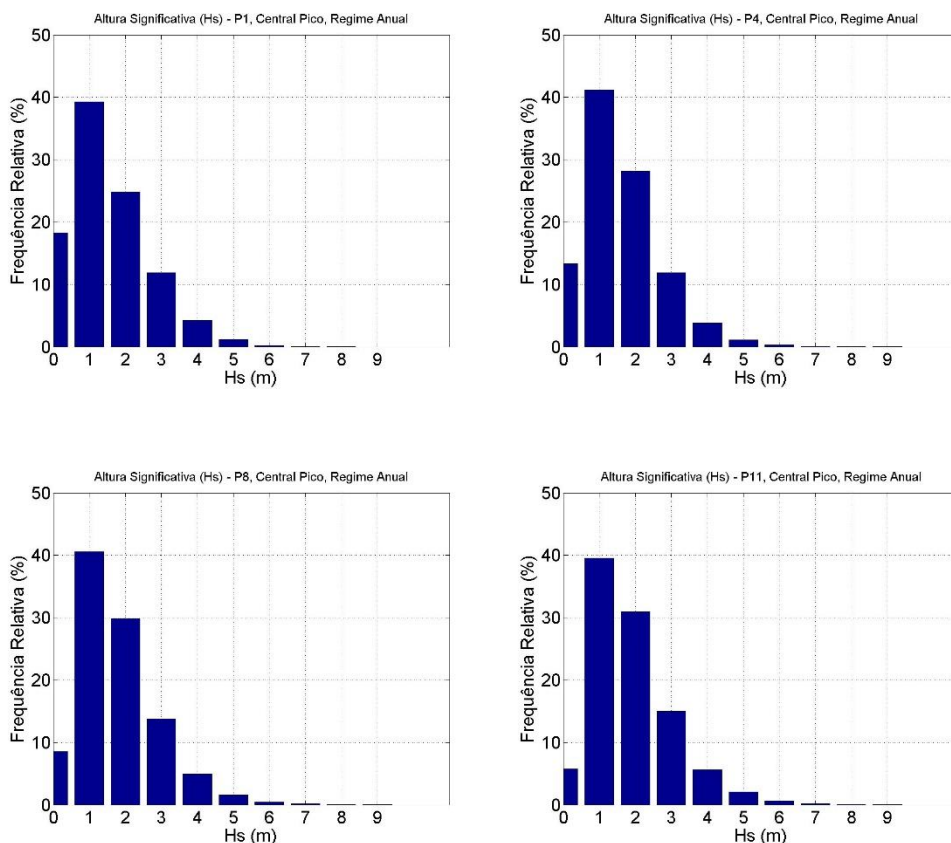


Figura 19 – Histogramas Hs de P1, P4, P8, P11 para regime total.

Através da análise da Figura 19, é possível observar alterações nas frequências relativas de algumas classes da altura significativa, numa relação directa com o aumento da longitude. Estas alterações verificam-se na diminuição de frequência relativa da classe 0 m e um aumento, mais notório, das classes 2 e 3 m de altura significativa da onda.

Na Figura 20 é possível observar a variação da altura significativa para o regime de Verão nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.

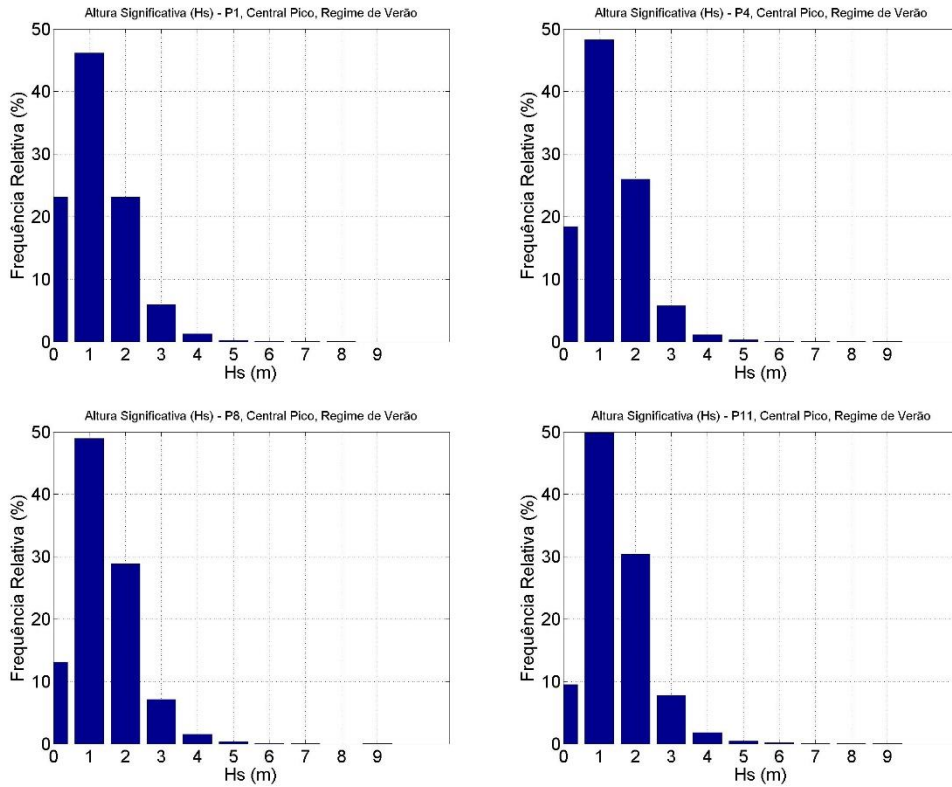
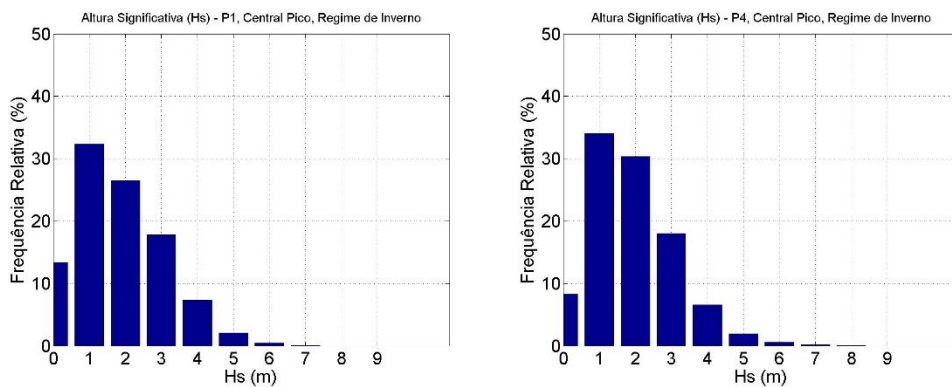


Figura 20 - Histogramas Hs de P1, P4, P8, P11 para regime Verão nos 36 anos.

Da análise da Figura 20, verifica-se para o regime de Verão nos 36 anos de estudo, uma predominância, na frequência relativa de altura de onda significativa na classe 1 m. As alterações mais notórias são uma diminuição da classe 0 m e um aumento das classes 1, 2, 3 e 4 m com o aumento da longitude.

Na Figura 21 é possível observar a variação da altura significativa para o regime de Inverno nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.



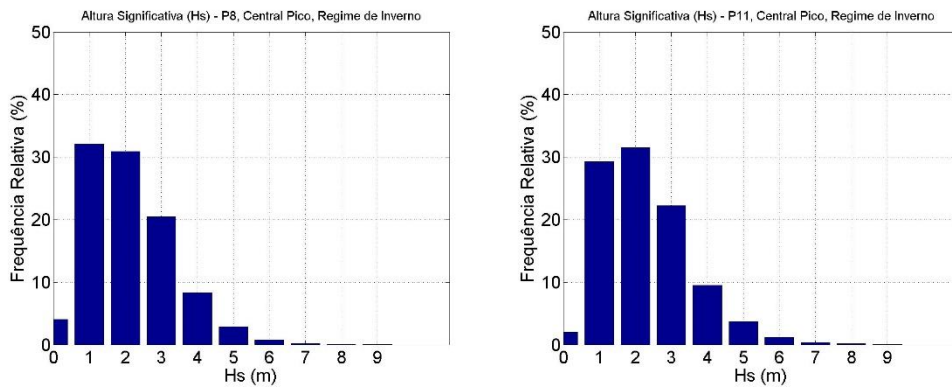
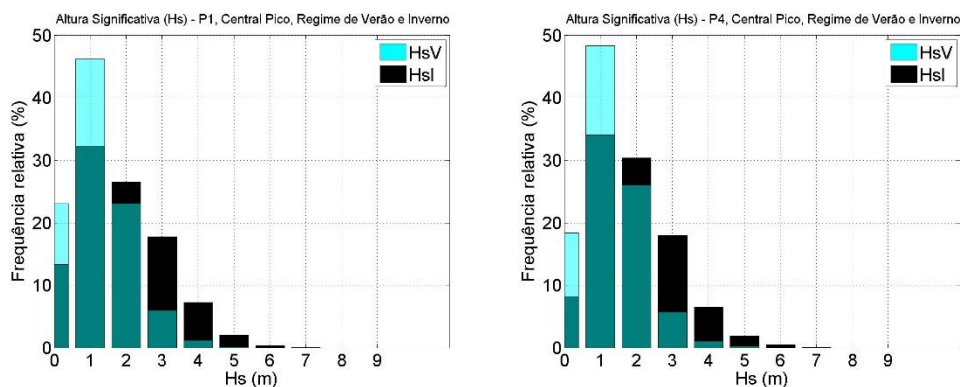


Figura 21 - Histogramas Hs de P1, P4, P8, P11 para regime Inverno nos 36 anos.

Como se pode verificar pela análise da Figura 21 para o regime de Inverno nos 36 anos de estudo, há variações notórias de frequência relativa em várias classes de altura significativa. Estas alterações são uma diminuição de frequência relativa nas classes de 0 e 1 m e um aumento das classes 2, 3, 4, 5 e 6 m, sendo que o aumento é mais acentuado nas classes 2, 3 e 4 m de altura significativa, relativamente ao ponto com menor longitude.

No geral, pela análise dos 3 regimes de altura significativa apresentados, pode-se referir que há uma diminuição acentuada da classe 0 m e um aumento das classes de 1, 2, 3 e 4 m de altura significativa da onda do ponto P1 a P11. É possível verificar ainda que há um aumento de frequência relativa predominantemente nas classes 1 e 2 m no Verão e nas classes 2, 3 e 4 m no Inverno, com o aumento da longitude.

Na Figura 22 é possível observar a diferença na frequência relativa das classes de altura de onda significativa entre o regime de Verão e Inverno.



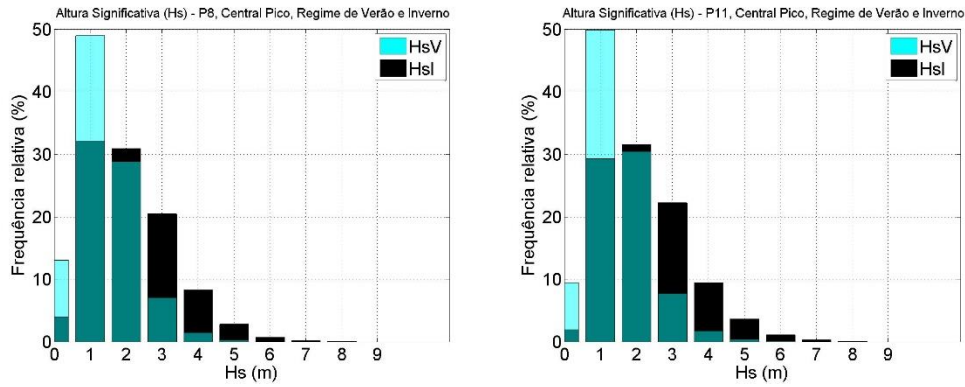


Figura 22 - Histogramas Hs de P1, P4, P8, P11 comparação regime Verão vs Inverno.

Analisando a Figura 22, pode-se referir que as classes de altura significativa da onda predominantes para o regime de Verão são as classes 1 e 2 m e para o regime de Inverno são as classes 1, 2 e 3 m. Verifica-se classes mais altas de altura significativa para o regime de Inverno do que para o regime de Verão, que estará directamente relacionado com o estado meteorológico, que provoca condições do estado do mar mais adversas.

Na Figura 23 é possível observar a variação do período médio para o regime total nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.

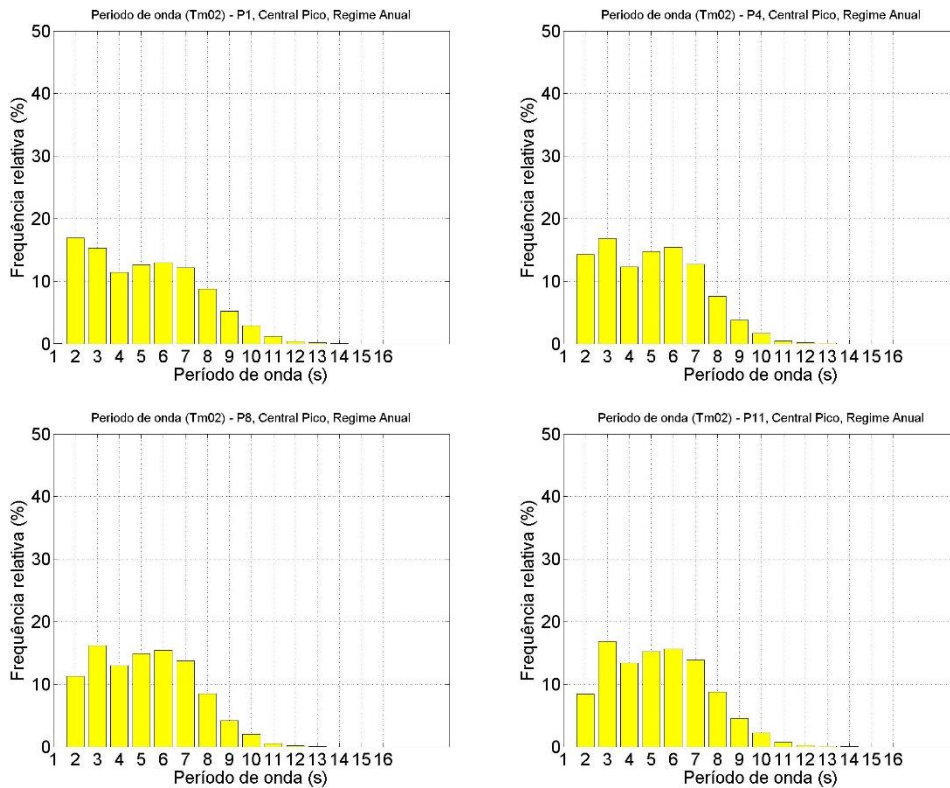


Figura 23 - Histogramas Tm02 de P1, P4, P8, P11 para regime total.

Através da análise da Figura 23, é possível observar alterações nas frequências relativas de algumas classes do período médio. Estas alterações verificam-se na diminuição de frequência relativa da classe 2 s do período médio e um aumento das classes 3, 4, 5, 6 e 7 s, com o aumento da distância à costa.

Na Figura 24 é possível observar a variação do período médio para o regime de Verão nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.

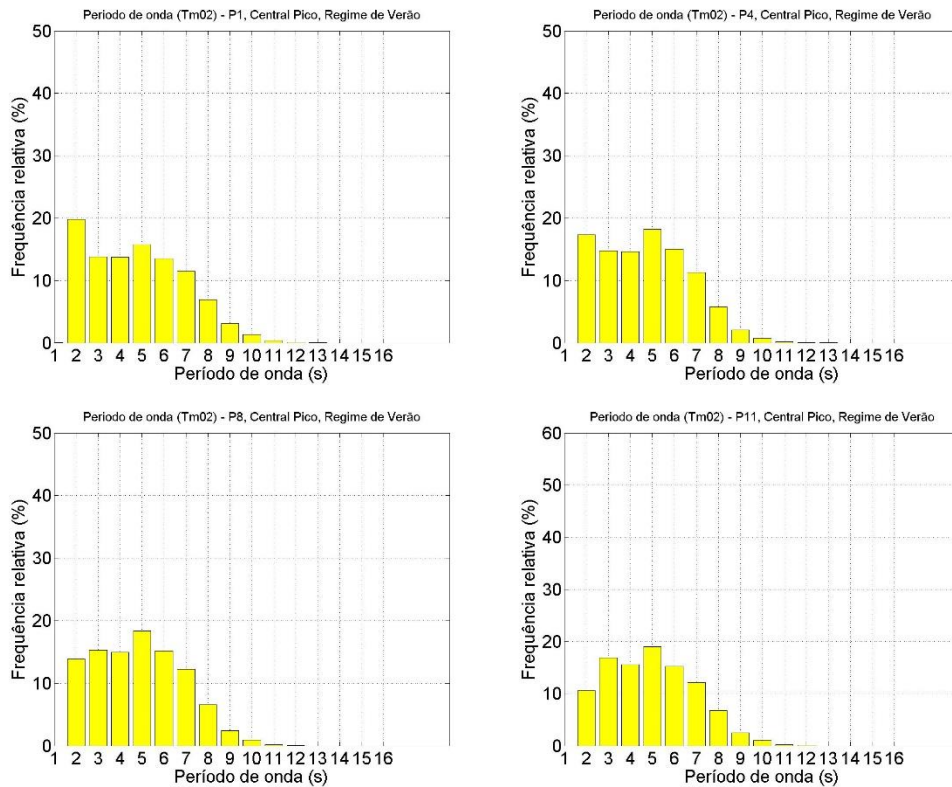


Figura 24 - Histogramas Tm02 de P1, P4, P8, P11 para regime Verão nos 36 anos.

Da análise da Figura 24, verifica-se para o regime de Verão nos 36 anos de estudo uma diminuição significativa da frequência relativa da classe 2 s e um aumento das classes 3, 4, 5 e 6 s do período médio da onda, de P1 para P11.

Na Figura 25 é possível observar a variação do período médio para o regime de Inverno nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.

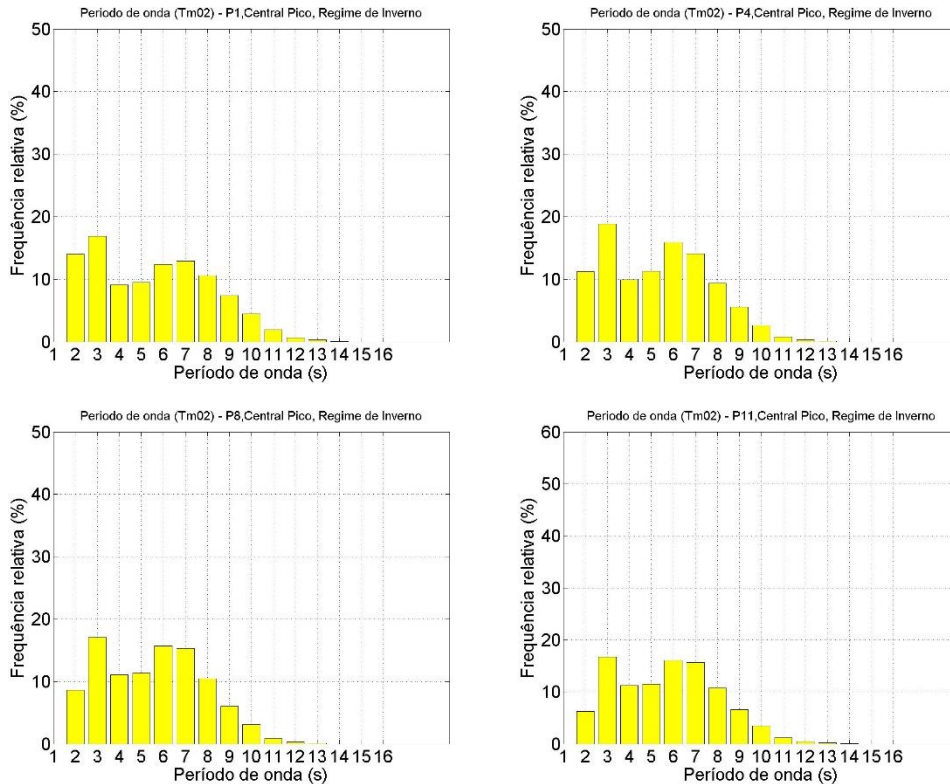
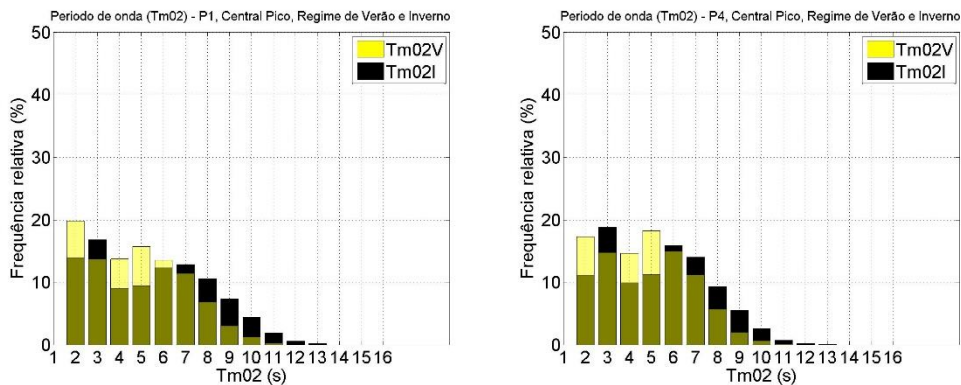


Figura 25 - Histogramas Tm02 de P1, P4, P8, P11 para regime Inverno nos 36 anos.

Como se pode verificar pela análise da Figura 25 para o regime de Inverno nos 36 anos de estudo, há variações da frequência relativa em várias classes do período médio. Estas alterações são uma diminuição de frequência relativa na classe 2 s e um aumento das classes 3, 4, 5 e 6 s do período médio da onda, com o aumento da longitude.

No geral, pela análise dos 3 regimes do período médio apresentados, pode-se referir que há uma diminuição acentuada, de P1 para P11, predominantemente na classe 2 s e um aumento predominante nas classes 3, 4, 5, 6 e 7 s do período médio da onda.

Na Figura 26 é possível observar a diferença na frequência relativa das classes do período médio da onda entre o regime de Verão e Inverno.



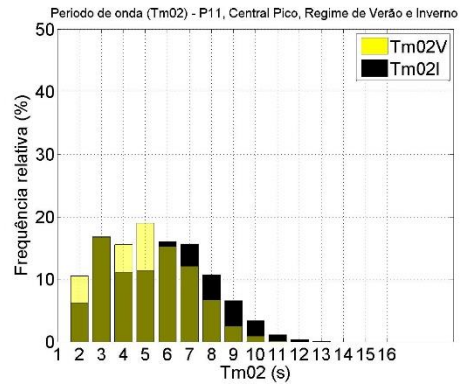
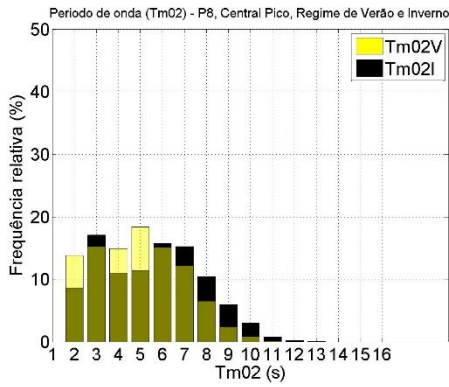
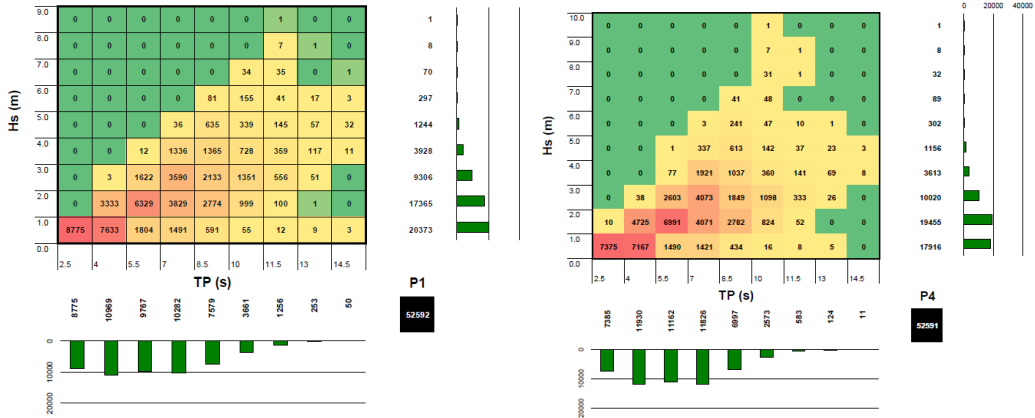


Figura 26 - Histogramas Tm02 de P1, P4, P8, P11 comparação regime Verão vs Inverno.

Analisando a Figura 26, pode-se referir que as classes do período médio da onda predominantes para o regime de Verão são as classes 3, 4, 5 e 6 s e para o regime de Inverno são as classes 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 s. Verifica-se classes mais altas do período médio para o regime de Inverno do que para o regime de Verão, que estará directamente relacionado com o estado meteorológico, nomeadamente ventos mais fortes, que intensificam o fetch.

Na Figura 27 é possível observar o comportamento da altura significativa relativamente ao período de pico nos 36 anos de estudo, para cada ponto do transecto.



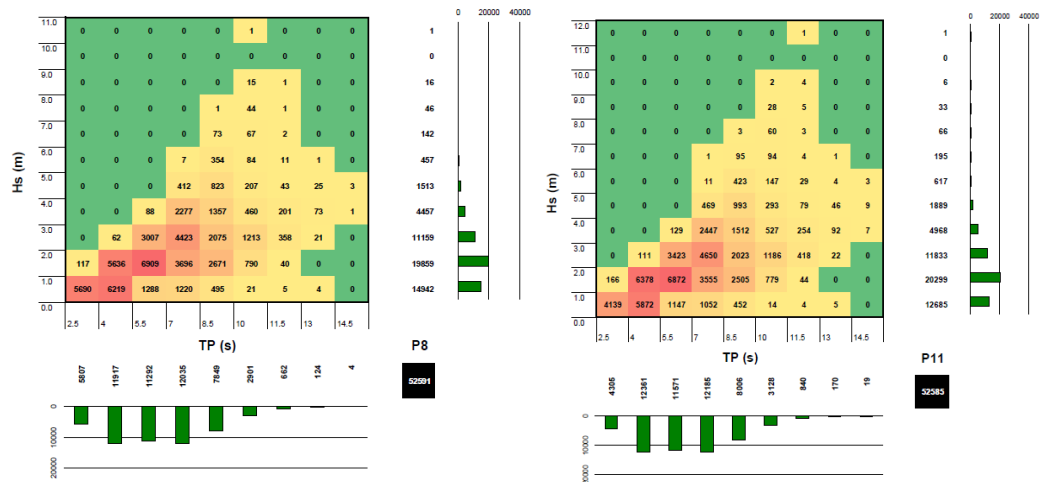
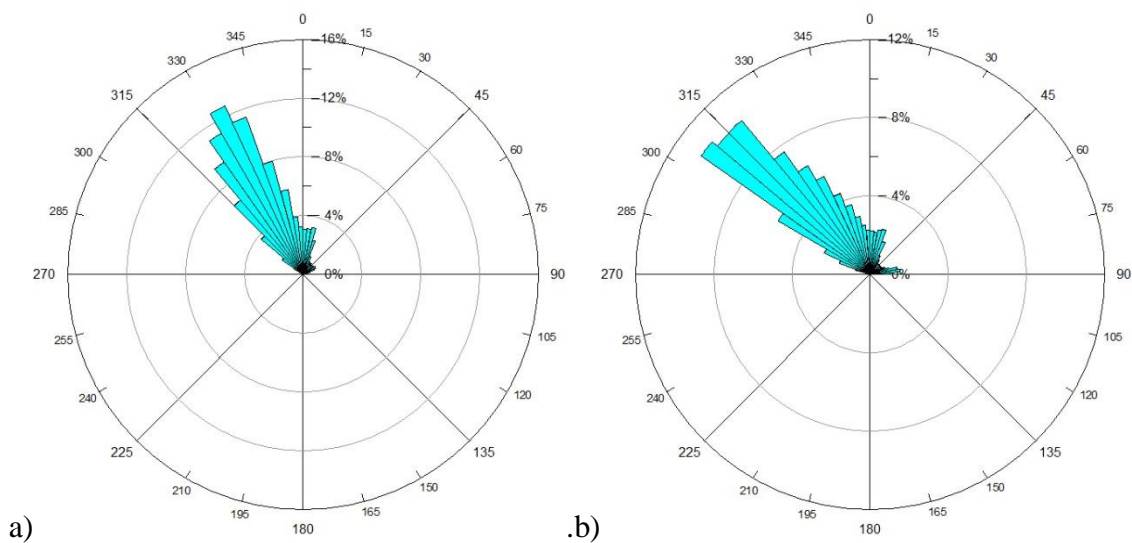


Figura 27 – Histogramas H_s -TP de P1, P4, P8, P11.

Pela análise da Figura 27, é possível verificar que há uma relação directa entre a altura significativa e o período de pico da onda, quanto maior for o período de pico da onda, maior será a sua altura significativa. Esta relação é notória no regime de Inverno e de Verão. No regime de Inverno devido às condições meteorológicas mais adversas há uma intensificação do *fetch* que por sua vez faz com que haja um período de pico maior e consequentemente uma maior altura significativa da onda, no regime de Verão devido às condições meteorológicas estarem mais calmas e o tempo mais quente, há menor intensidade do *fetch*, que faz com que haja um período de pico menor e consequentemente a altura significativa é mais baixa.

Na Figura 28 é apresentada a variação da direcção média para o regime total nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.



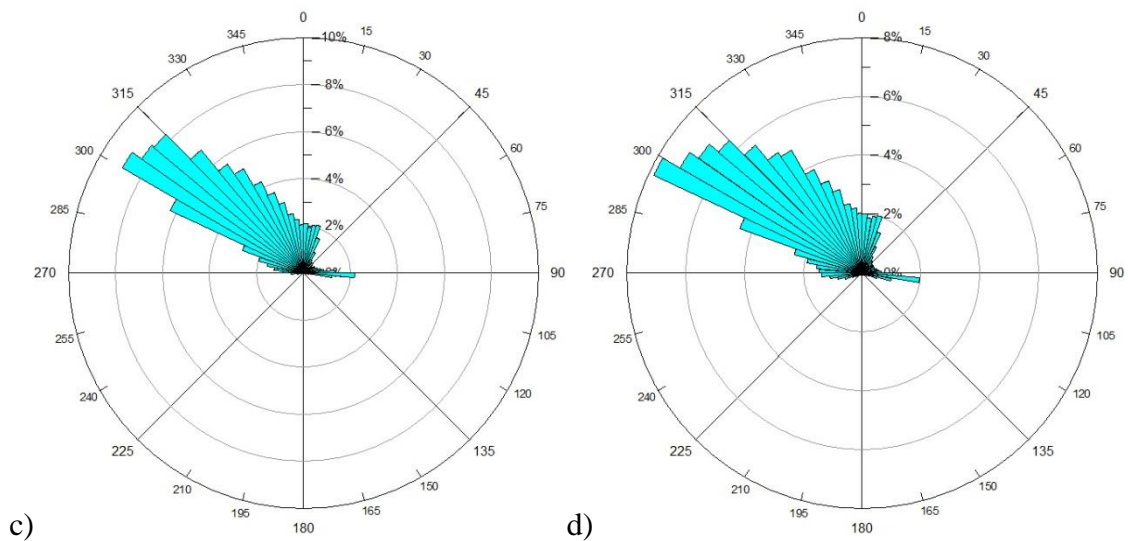
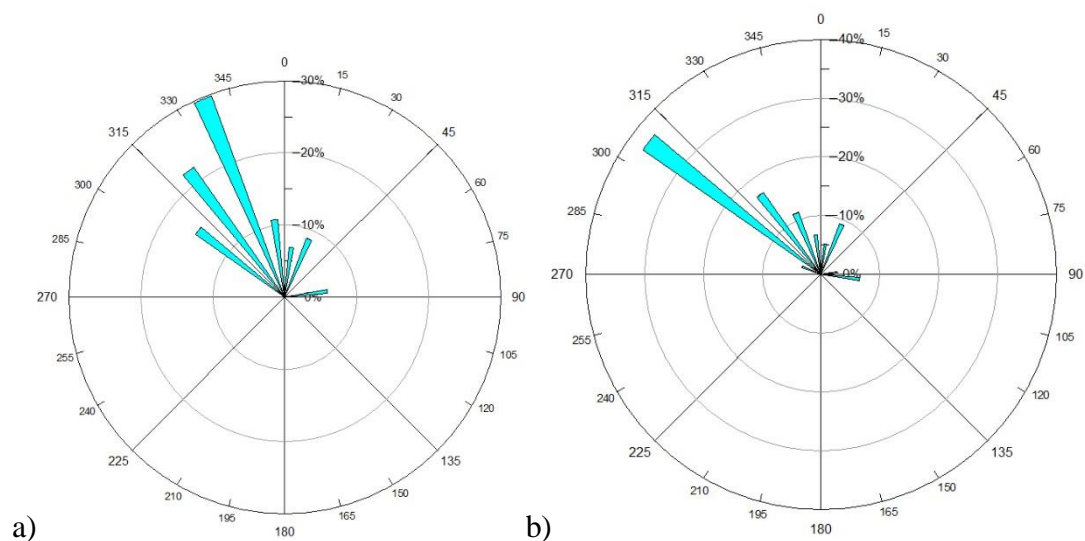


Figura 28 – Diagrama de direcção média nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11.

Através da análise da Figura 28, pode-se verificar que a direcção média dominante encontra-se entre os quadrantes Norte e Oeste, mais concretamente no quadrante Noroeste. Observa-se também uma alteração na direcção média com o aumento da longitude, sendo que a tendência é a direcção média apresentar valores mais próximos do quadrante Oeste.

Na Figura 29 é apresentada a variação da direcção de pico para o regime total nos 36 anos de estudo.



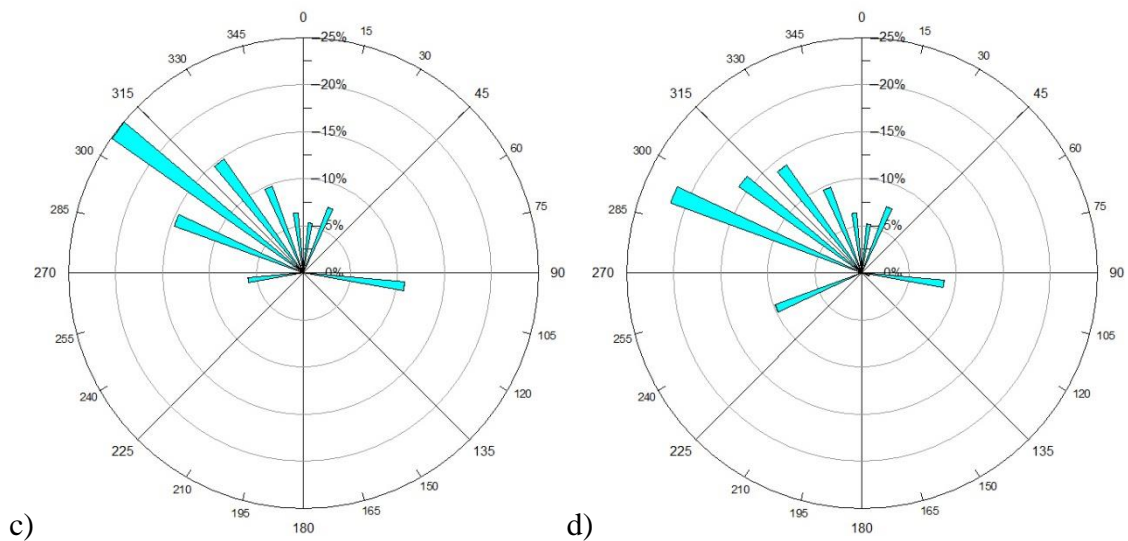
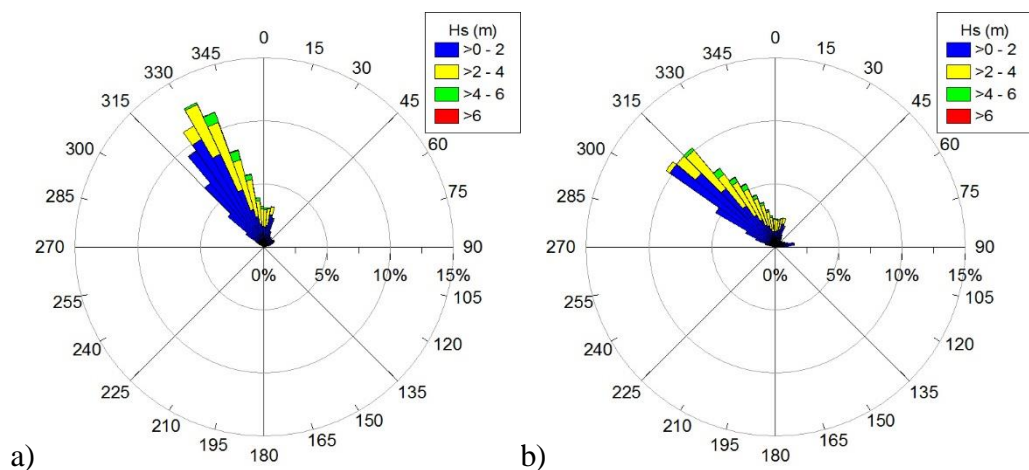


Figura 29 - Diagrama de direcção de pico nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11.

Como se pode verificar pela análise da Figura 29, a direcção de pico da onda é predominantemente de Noroeste. Pode-se observar, tal como na direcção média da onda, uma mudança subtil de direcção de pico para Oeste e também o surgimento de algumas ondas com direcção de este, com o aumento da longitude. Esta mudança na direcção de pico da onda, proveniente de Este, nos pontos mais afastados da costa, podem estar relacionados com a existência de ventos locais e/ou processos físicos.

Na Figura 30 é apresentada a variação da altura significativa relativamente à direcção média para o regime total nos 36 anos de estudo.



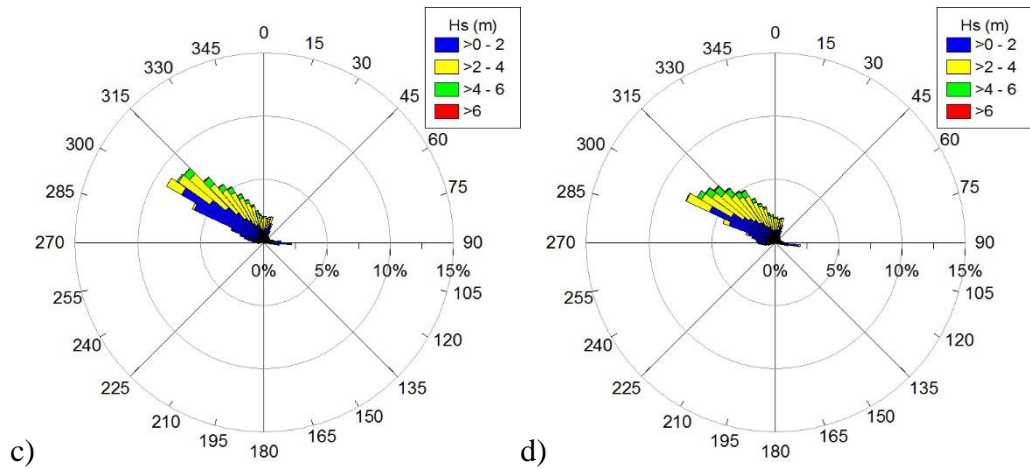
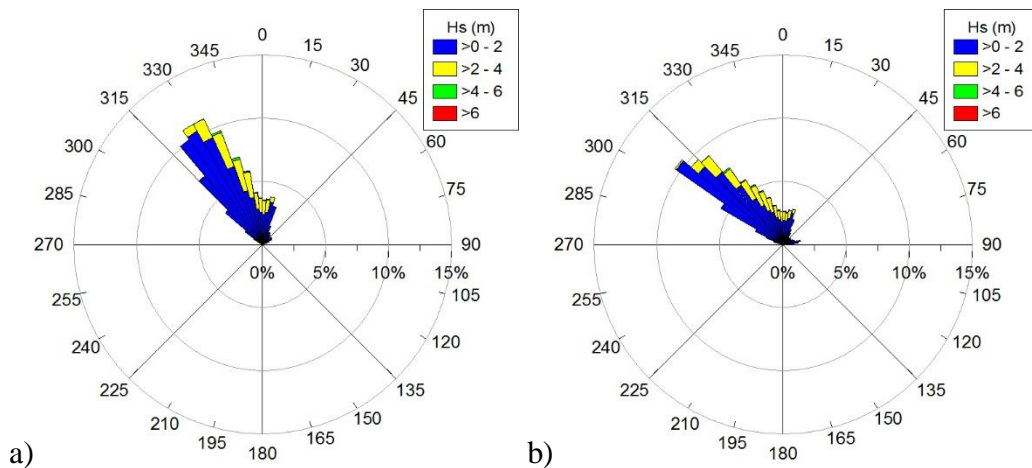


Figura 30 - Diagrama Hs- θ m para regime Total nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11.

Pela análise da Figura 30, pode-se observar que a direcção média da altura significativa é predominantemente do quadrante Noroeste, sendo que com o afastamento da costa, a tendência da direcção é surgir com valores de direcção próximos de 300°. As classes predominantes são as de 0-2 m em a) e b) e de 2-4 m em c) e d), sendo que se verifica para o ponto P11 algumas ondas com altura significativa acima de 6 m.

Na Figura 31 é apresentada a variação da altura significativa relativamente à direcção média para o regime de Verão nos 36 anos de estudo.



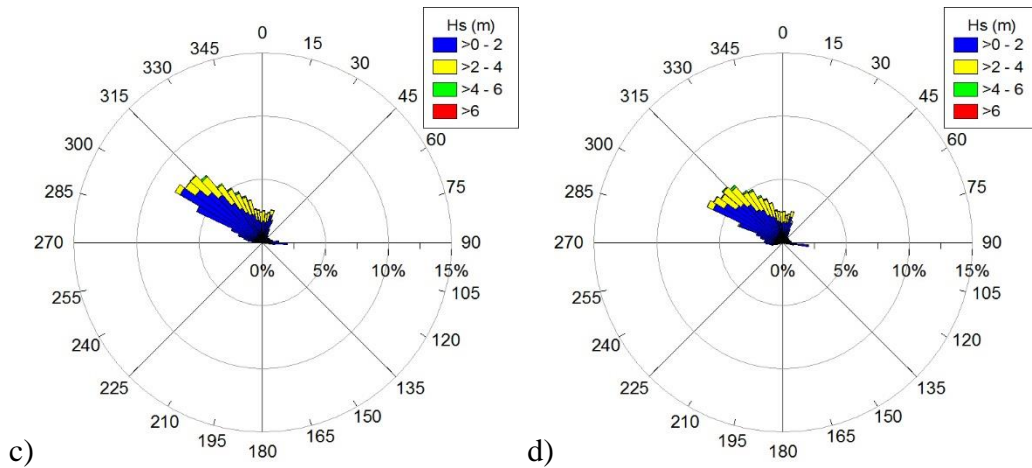
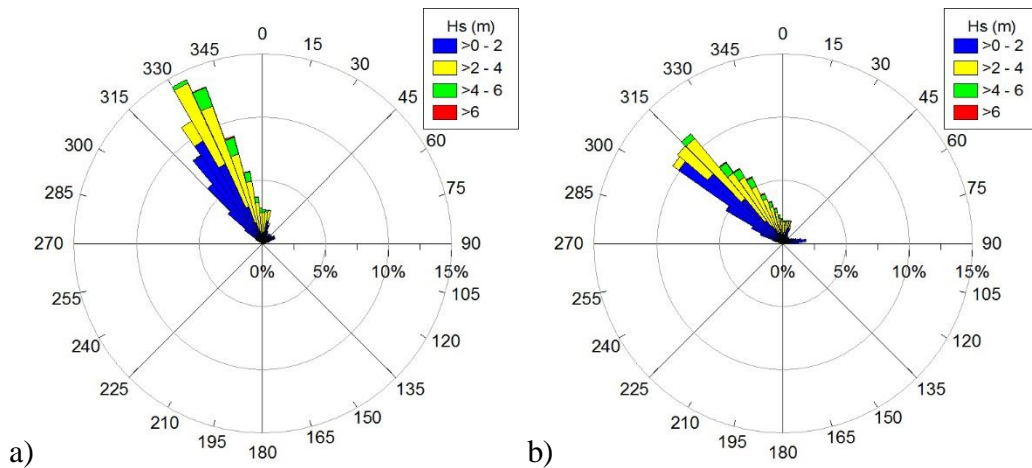


Figura 31 - Diagrama Hs- θ m para o regime de Verão nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11.

Através da análise da Figura 31, pode-se verificar que para regime de Verão a classe mais predominante de altura significativa é 0-2 em P1 e P4, com uma direcção média proveniente maioritariamente de 310-330°. Para os pontos P8 e P11 a direcção média é proveniente maioritariamente de 285-315° com classes predominantes de altura significativa de 0-2 m e 2-4 m. Esta mudança de valores de direcção média de P1 para P11, poderá estar relacionado com o efeito de refração, em que a onda tende a ficar paralela à costa devido ao atrito com o fundo.

Na Figura 32 é apresentada a variação da altura significativa relativamente à direcção média para o regime de Inverno nos 36 anos de estudo.



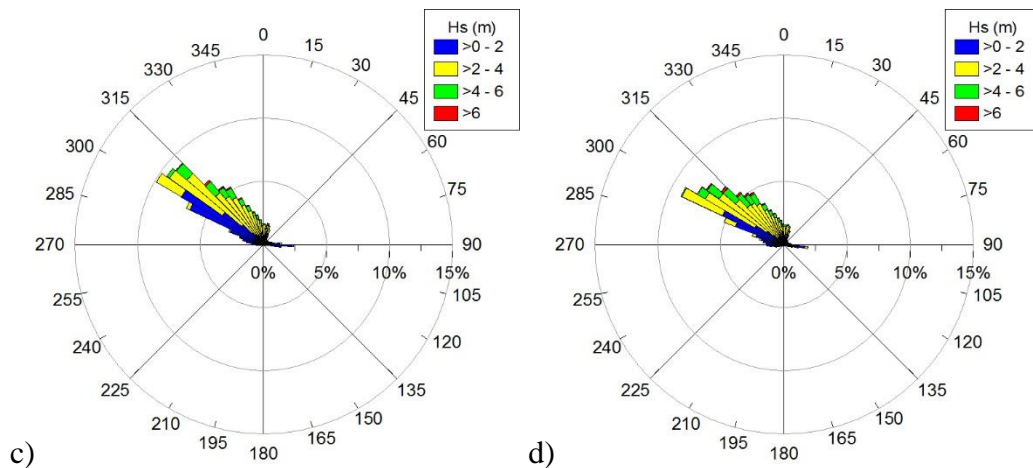


Figura 32 - Diagrama Hs- Θ m para o regime de Inverno nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11.

Como se pode verificar pela análise da Figura 32, a classe de altura significativa da onda mais predominante é 2-4 m, proveniente maioritariamente do quadrante Noroeste. Em P4, P8 e P11 verifica-se o aparecimento da classe >6 m e uma diminuição dos valores da classe 0-2 m. Tal como no regime de Verão, verifica-se que de P1 para P11 os valores de direcção média são diferentes, sendo que para P1 a direcção média é de 330-345° que estará relacionado com o efeito de refacção da onda e para P4, P8 e P11 os valores de direcção média são de 285 a 330°, porque este efeito já não se faz notar devido à profundidade ser mais elevada.

É possível concluir pela análise dos diagramas apresentados para os três regimes que a direcção média da onda é predominante de Noroeste, com valores que variam de 285° a 345°. Pode-se referir também que há uma mudança na direcção de P1 para P11 em que a direcção média predominante está próxima de 300°, devido ao menor efeito da refacção que se faz sentir mais próximo da costa. Relativamente à altura significativa é possível afirmar que no regime de Verão as classes principais são 0-2 m e no regime de Inverno é 0-2 m e 2-4 m, sendo que esta segunda classe tem maior destaque.

Na Figura 33 é apresentada a variação do período médio relativamente à direcção média para o regime total nos 36 anos de estudo.

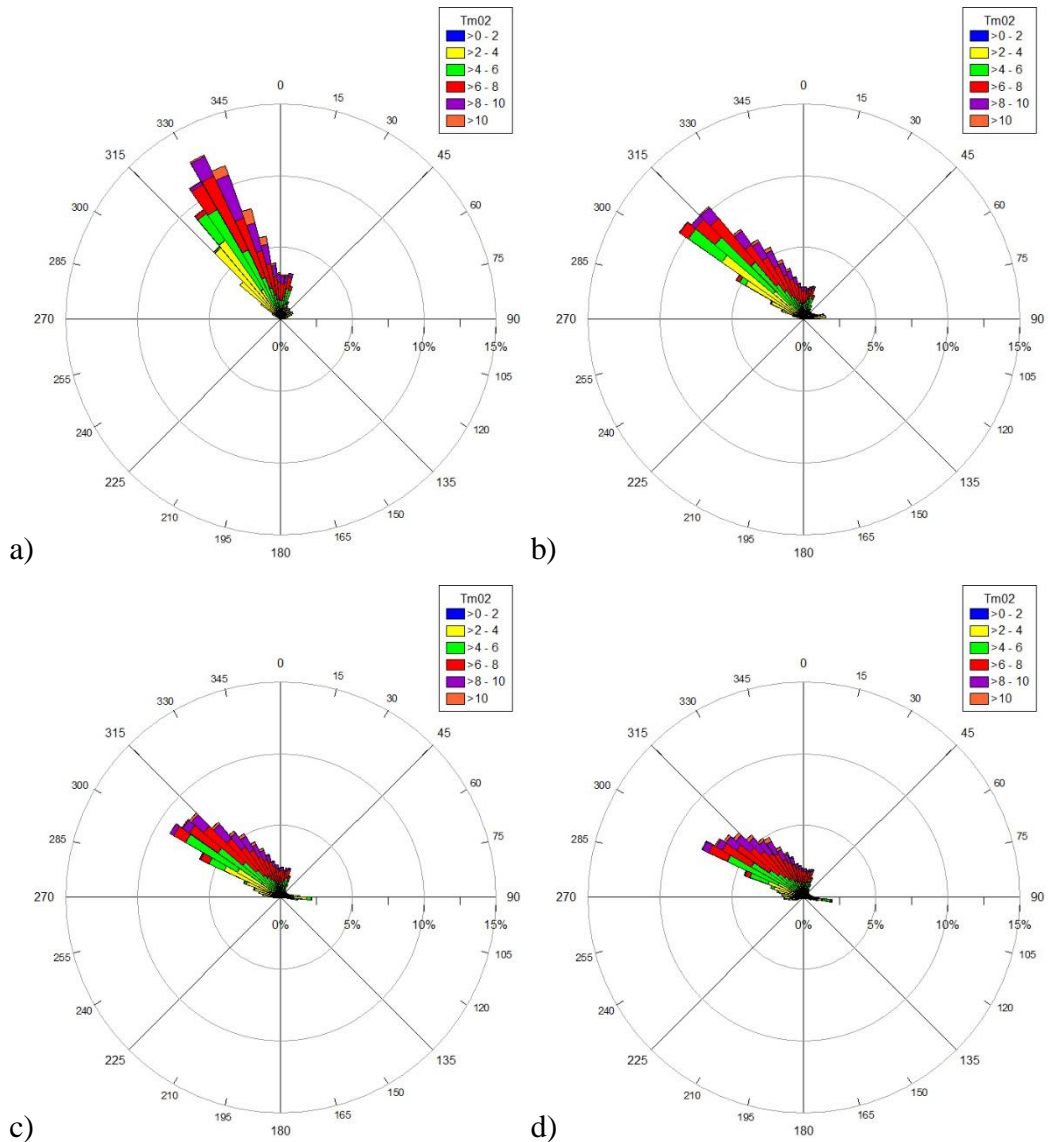


Figura 33 - Diagrama Tm02-Θm para regime Total nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11.

Pela análise da Figura 33, é possível referir que as classes do período médio mais baixas se encontram com valores de direcção média mais baixos, na ordem dos 300°-315°, e que à uma mudança de direcção média a tender para 300° com o afastamento da costa. É também possível verificar que as classes de período médio predominantes são 4-6 s, 6-8 s e 8-10 s em P1 e que com o afastamento da costa as classes predominantes são 4-6 s e 6-8 s, nomeadamente em P4, P8 e P11.

Na Figura 34 é apresentada a variação do período médio relativamente à direcção média para o regime de Verão nos 36 anos de estudo.

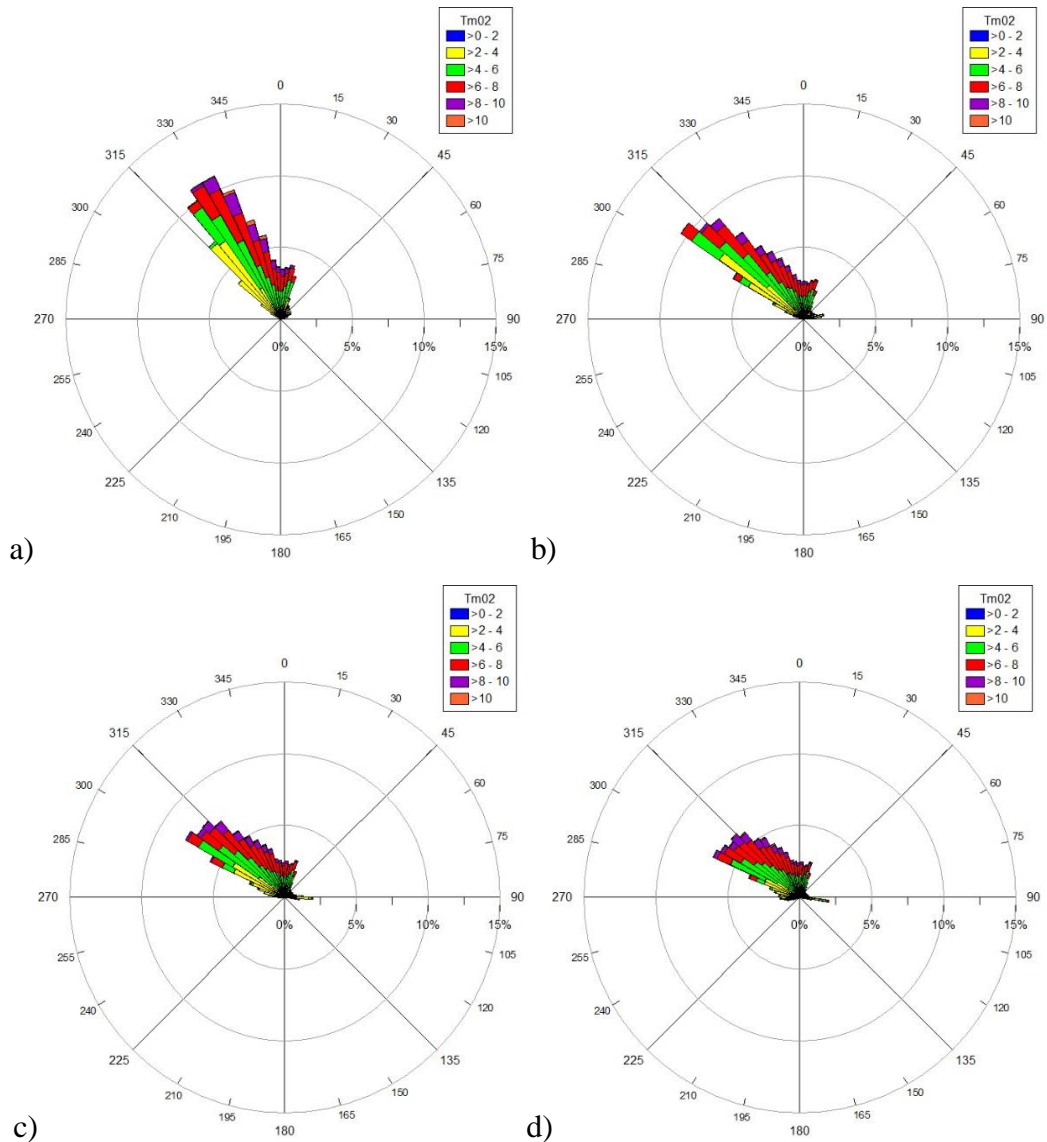


Figura 34 - Diagrama Tm02- Θ_m para regime de Verão nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11.

Através da análise da Figura 34, observa-se que as classes de período médio predominantes para o regime de Verão são 2-4 s, 4-6 s e 6-8 s, havendo ainda alguns valores para as classes 8-10 s e >10 s, mas com menor relevância relativamente às restantes classes. É possível verificar que em P1 a direcção média predominante é 330° e que há uma tendência para a direcção se aproximar de valores de 300° com o afastamento da costa, ou seja em P4, P8 e P10.

Na Figura 35 é apresentada a variação do período médio relativamente à direcção média para o regime de Inverno nos 36 anos de estudo.

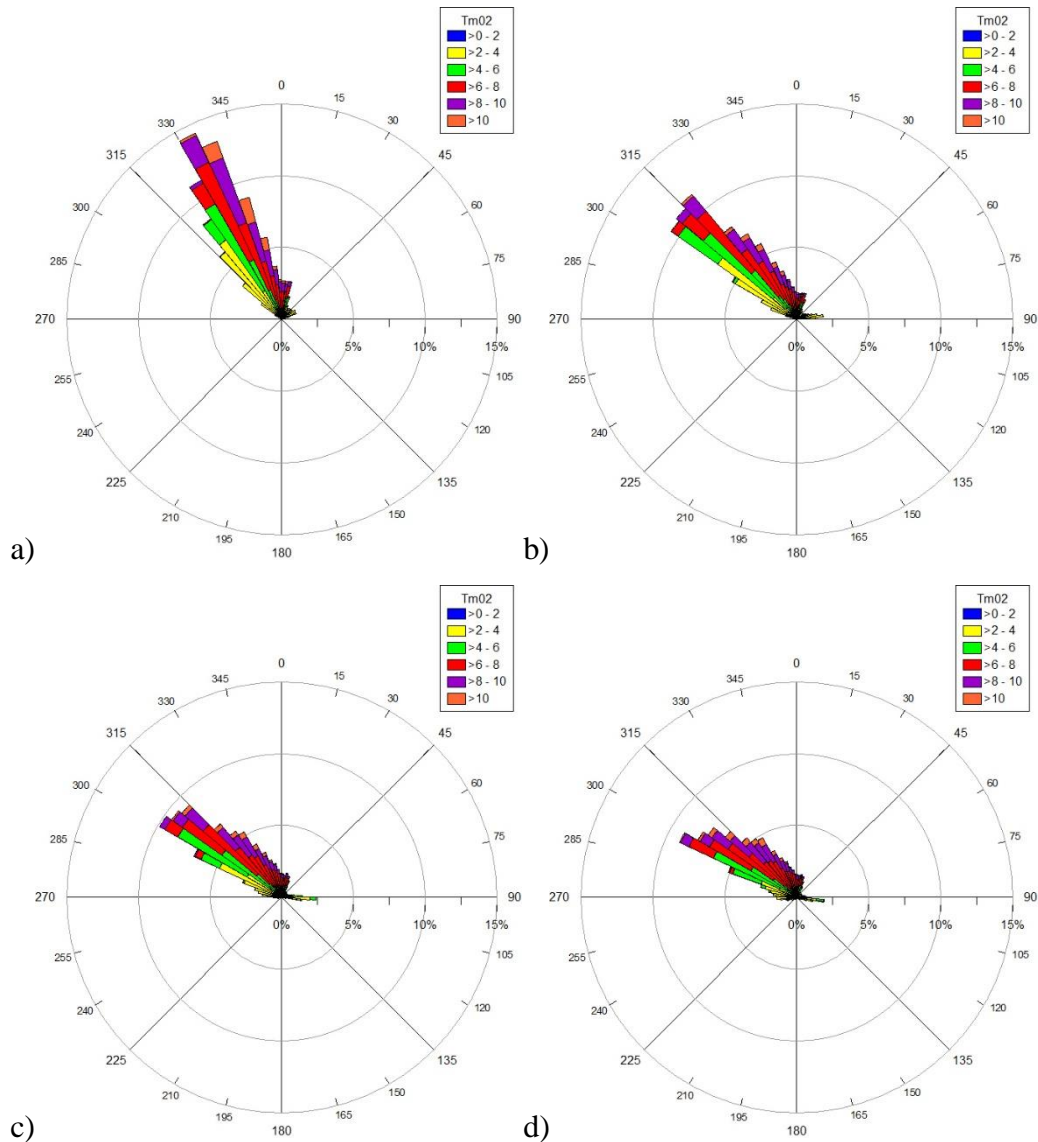


Figura 35 - Diagrama Tm02- Θ m para regime de Inverno nos 36 anos a)P1 b)P4 c)P8 d)P11.

Como se pode verificar pela análise da Figura 35, as classes de período médio predominantes para o regime de Inverno são 4-6 s, 6-8 s e 8-10 s, sendo que também apresenta valores para a classe >10 s contudo com menor relevância. Relativamente à direcção média em P1 devido ao efeitos de refacção a direcção é maioritariamente proveniente de 335° e em P4, P8 e P11 devido a este efeito não ter tanto efeito, as direcções média são provenientes de 290°-315°.

Após uma análise conjunta dos diagramas destes três regimes, pode-se concluir que no regime de Inverno as classes dominantes de período médio são mais altas que as do regime de Verão, que estará relacionado com ventos mais fortes e um maior efeito do *fetch*. Em ambos os regimes, observa-se em P1 uma quase paralelização da onda em

relação à costa, devido ao efeito de refração, e para P4, P8 e P11 direcções mais a tender para valores de direcção média mais próximos de 300°.

Na Tabela 4 são apresentados os dados estatísticos para todos os pontos do transecto nos 36 anos de estudo.

Tabela 4 – Dados estatísticos de P1, P4, P8 e P11 para os 36 anos de estudo.

| | P1 | | | | | P4 | | | | |
|---------------|-------|--------|-----------|--------|-----------|-------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.521 | 9.806 | 264.501 | 5.191 | 265.879 | 1.584 | 9.723 | 253.967 | 5.049 | 256.458 |
| Mediana | 1.300 | 10.070 | 322.500 | 5.010 | 327.900 | 1.390 | 10.070 | 307.500 | 4.950 | 312.960 |
| Desvio Padrão | 1.083 | 3.284 | 123.554 | 2.397 | 127.284 | 1.050 | 3.196 | 117.681 | 2.144 | 120.493 |
| Moda | 0.470 | 11.140 | 337.500 | 2.200 | 331.730 | 0.420 | 11.140 | 307.500 | 2.270 | 308.140 |
| Variância | 1.172 | 10.788 | 15265.551 | 5.748 | 16201.117 | 1.102 | 10.214 | 13848.890 | 4.599 | 14518.541 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 8.100 | 18.460 | 352.500 | 14.380 | 360.000 | 9.890 | 18.460 | 352.500 | 13.390 | 360.000 |
| Mínimo | 0.010 | 2.000 | 7.500 | 1.480 | 0.010 | 0.010 | 2.210 | 7.500 | 1.510 | 0.000 |
| Intervalo | 8.090 | 16.460 | 345.000 | 12.900 | 359.990 | 9.880 | 16.250 | 345.000 | 11.880 | 360.000 |

| | P8 | | | | | P11 | | | | |
|---------------|--------|--------|-----------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.740 | 10.136 | 250.787 | 5.224 | 253.871 | 1.861 | 10.213 | 249.196 | 5.343 | 252.035 |
| Mediana | 1.530 | 10.070 | 307.500 | 5.150 | 306.260 | 1.620 | 10.070 | 292.500 | 5.250 | 301.670 |
| Desvio Padrão | 1.097 | 2.764 | 113.083 | 2.135 | 115.072 | 1.142 | 2.762 | 110.483 | 2.136 | 111.705 |
| Moda | 1.310 | 10.070 | 307.500 | 2.460 | 303.580 | 1.350 | 11.140 | 292.500 | 2.330 | 299.550 |
| Variância | 1.204 | 7.640 | 12787.675 | 4.559 | 13241.550 | 1.304 | 7.627 | 12206.478 | 4.561 | 12477.947 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 10.530 | 18.460 | 352.500 | 13.280 | 360.000 | 11.150 | 18.460 | 352.500 | 13.880 | 359.990 |
| Mínimo | 0.030 | 2.210 | 7.500 | 1.570 | 0.000 | 0.030 | 2.210 | 7.500 | 1.650 | 0.000 |
| Intervalo | 10.500 | 16.250 | 345.000 | 11.710 | 360.000 | 11.120 | 16.250 | 345.000 | 12.230 | 359.990 |

Pela análise da Tabela 4, é possível verificar que os valores da média, máximo e mínimo da altura significativa da onda aumentam com o aumento da longitude. Relativamente ao período, pode-se observar que os valores da média do período de pico e do período médio descem de P1 para P4, contudo aumentam de P4 para P11. Em relação à direcção, verifica-se tanto para a direcção de pico como para a direcção média, o mesmo comportamento de P1 a P11, que é uma diminuição dos valores de direcção, permitindo concluir que há um efeito de refração da onda de P11 a P1.

4.2. Caracterização da agitação marítima transecto latitudinal

Através da observação da Figura 18 verifica-se que o transecto latitudinal é definido pelos pontos P15, P1 e P13, a partir dos quais se irá realizar a análise dos parâmetros da onda. A profundidade nos três pontos é de 10 m.

Na Figura 36 é possível observar a variação da altura significativa para o regime total nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.

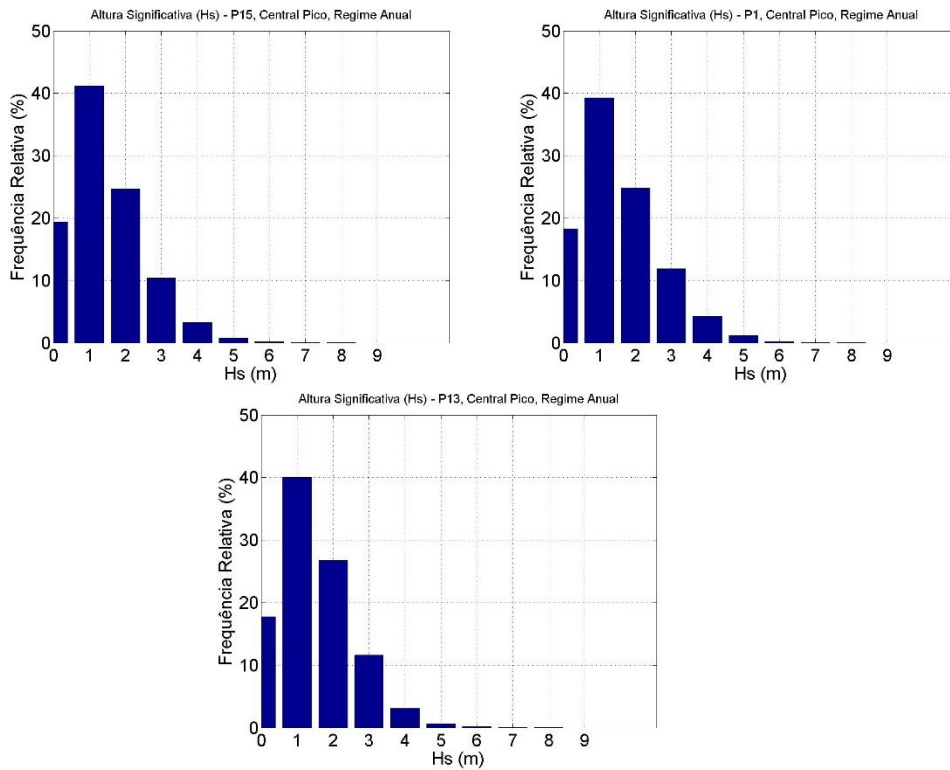
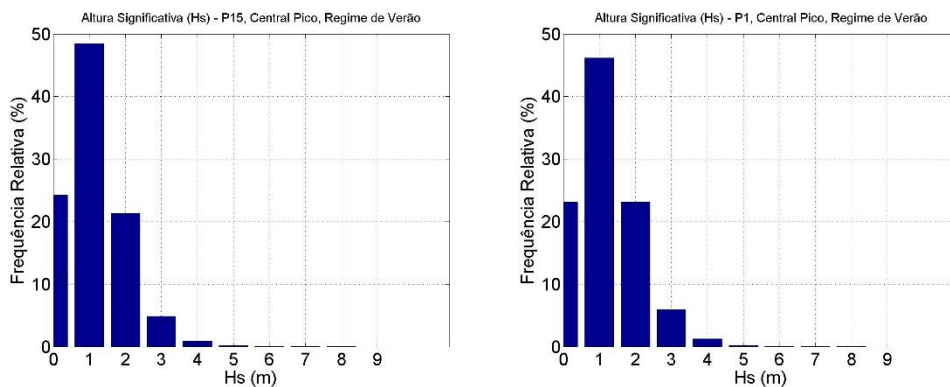


Figura 36 - Histogramas Hs de P15, P1, P13 para regime total.

Através da análise da Figura 36, é possível observar alterações nas frequências relativas de algumas classes da altura significativa. Verifica-se que em P15 a frequência relativa da classe 1 m é maior do que em P1 e P13, em P1 a frequência relativa da classe 3 m é maior que em P15 e P13 e em P13 a frequência relativa da classe 2 m é maior que em P15 e P1, contudo todas estas diferenças, de frequência relativa das classes referidas, são pequenas.

Na Figura 37 é possível observar a variação da altura significativa para o regime de Verão nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.



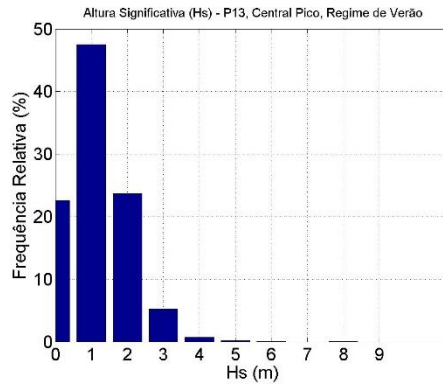


Figura 37 - Histogramas Hs de P15, P1, P13 para regime de Verão.

Da análise da Figura 37, verifica-se para o regime de Verão nos 36 anos de estudo, uma predominância, na frequência relativa de altura de onda significativa na classe 1 m, seguido das classes 0 e 2 m. As alterações mais notórias é uma diminuição da classe 1 m e um aumento das classes 2 e 3 m de P15 para P1 e P13.

Na Figura 38 é possível observar a variação da altura significativa para o regime de Inverno nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.

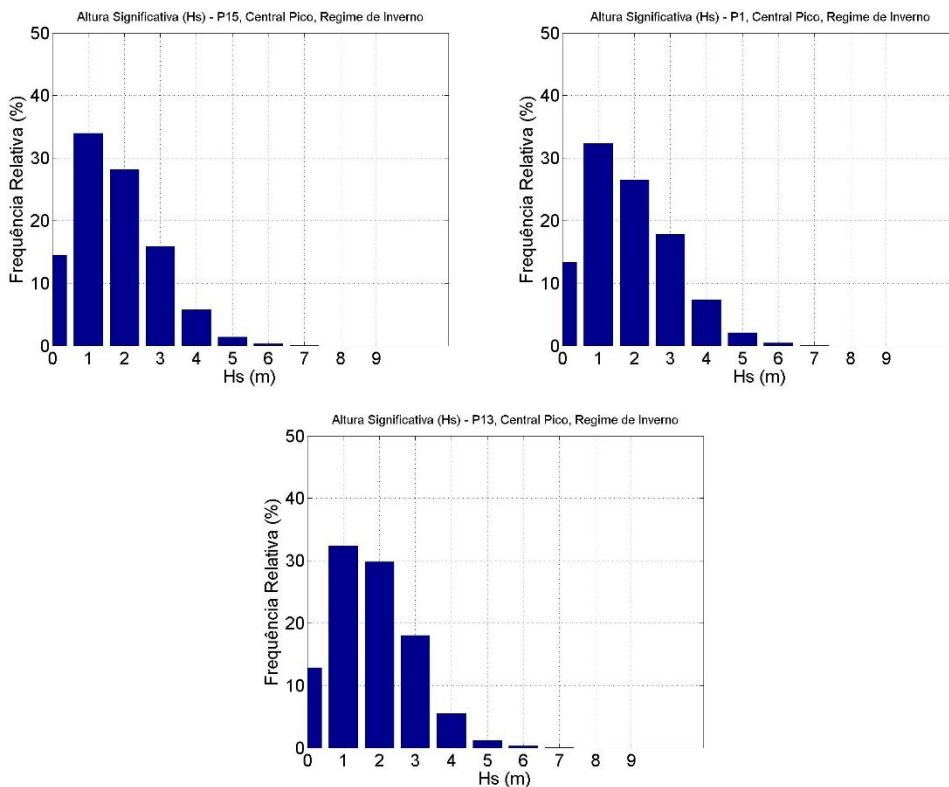


Figura 38 - Histogramas Hs de P15, P1, P13 para regime de Inverno.

Como se pode verificar pela análise da Figura 38 para o regime de Inverno nos 36 anos de estudo, há pequenas variações de frequência relativa em várias classes de altura significativa. Estas alterações são que de P15 para P1 há uma diminuição de

frequência relativa na classe de 1 e 2 m e um aumento da classe 3 e 4 m, de P1 para P13 há um aumento de frequência relativa na classe 2 m e uma diminuição na classe 4 m.

No geral, pela análise dos 3 regimes de altura significativa apresentados, pode-se referir que, para os três regimes, de P15 para P1 há uma diminuição de frequência relativa nas classes 0 e 1 m e um aumento nas classes 3 e 4 m, contudo na classe 2 m há no regime de Verão um aumento e no regime de Inverno uma diminuição. De P1 para P13, nos três regimes, não há alterações de frequência relativa na classe 0 m, há um aumento na classe 1 e 2 m e uma diminuição na classe 3 e 4 m. É ainda possível verificar uma diminuição de frequência relativa na classe 1 m e um aumento nas classes 2 e 3 m no regime de Inverno, comparativamente ao regime de Verão.

Na Figura 39 é possível observar a diferença na frequência relativa das classes de altura de onda significativa entre o regime de Verão e Inverno.

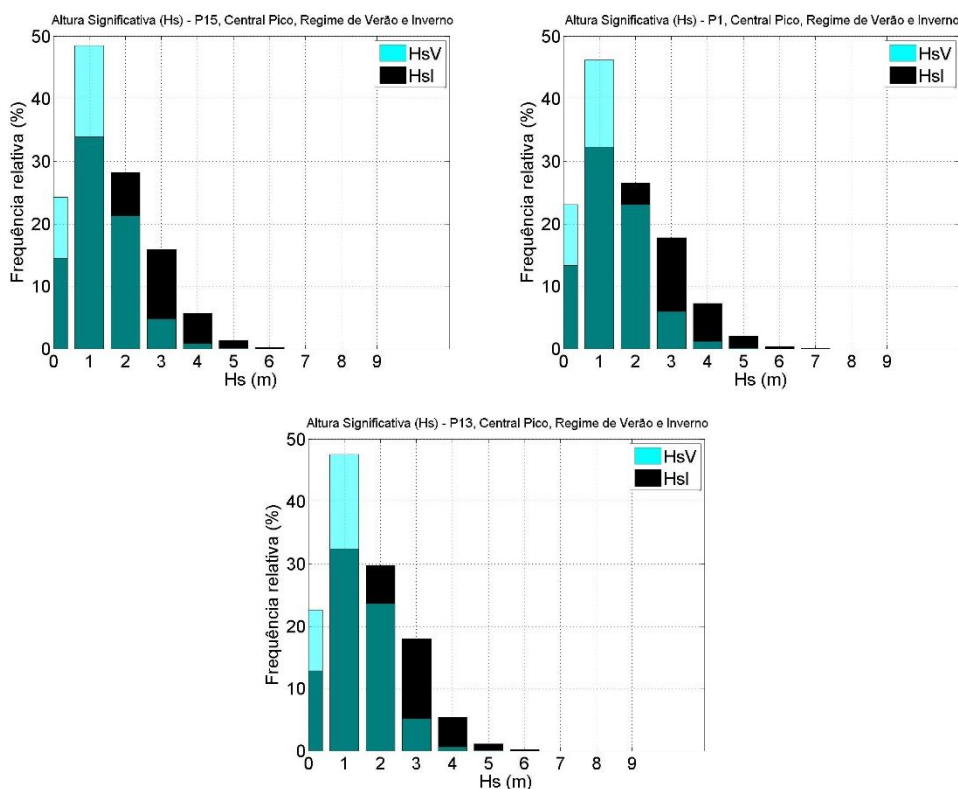


Figura 39 - Histogramas Hs de P15, P1, P13 comparação regime Verão vs Inverno.

Analisando a Figura 39, pode-se referir que as classes de altura significativa da onda predominantes para o regime de Verão são as classes 0, 1 e 2 m e para o regime de Inverno são as classes 1, 2 e 3 m. Verifica-se classes mais altas de altura significativa para o regime de Inverno do que para o regime de Verão, que estará directamente relacionado com o estado meteorológico, que provoca condições do estado do mar mais adversas.

Na Figura 40 é possível observar a variação do período médio para o regime total nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.

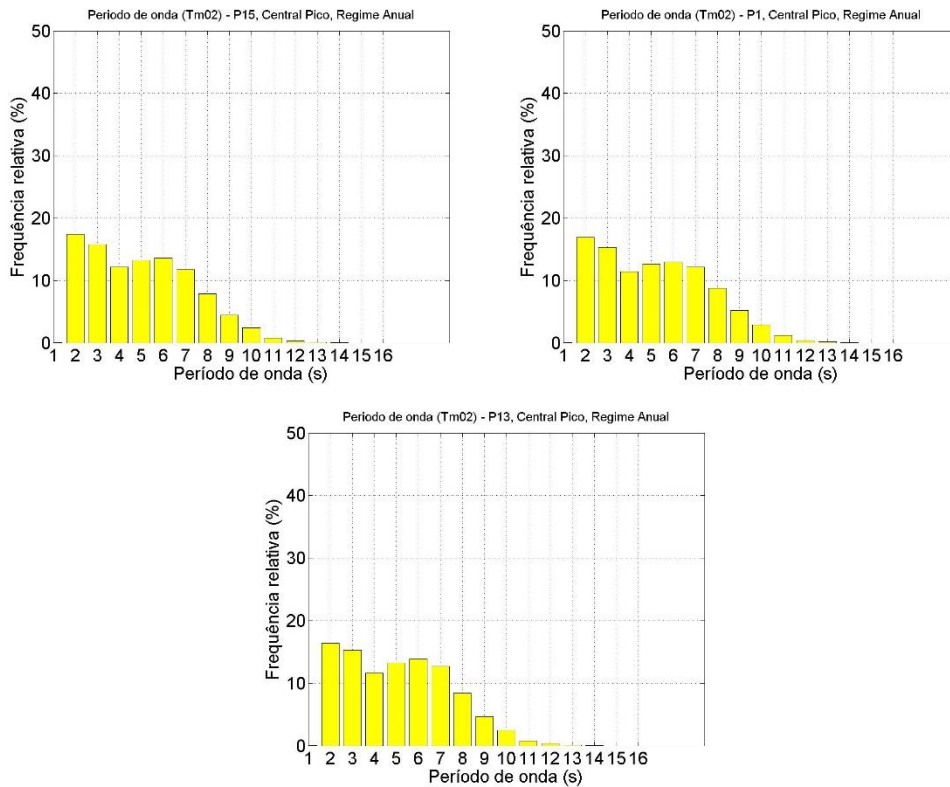
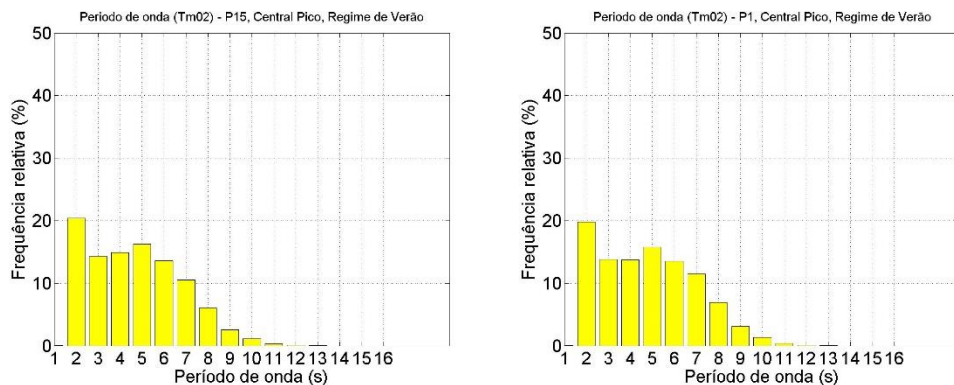


Figura 40 - Histogramas Tm02 de P15, P1, P13 para regime total.

Através da análise da Figura 40, é possível observar um comportamento similar nas frequências relativas de todas as classes do período médio de P15 para P13. Verifica-se que as classes de período médio com maior frequência relativa são as classes 2 e 3 s, contudo as classes 4, 5, 6 e 7 s apresentam valores de frequência relativa não muito distantes.

Na Figura 41 é possível observar a variação do período médio para o regime de Verão nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.



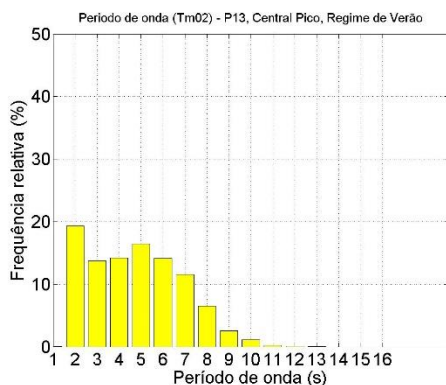


Figura 41 - Histogramas Tm02 de P15, P1, P13 para regime de Verão.

Da análise da Figura 41, verifica-se para o regime de Verão nos 36 anos de estudo uma predominância da frequência relativa da classe 2 e 5 s. Pode-se referir também que as classes 3, 4, 6 e 7 s apresentam valores de frequência relativa similares e que o comportamento das classes de período médio é idêntico de P15 para P13, com diminuição de valores de frequência relativa na classe 2 s e aumento nas classes 7 e 8 s.

Na Figura 42 é possível observar a variação do período médio para o regime de Inverno nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.

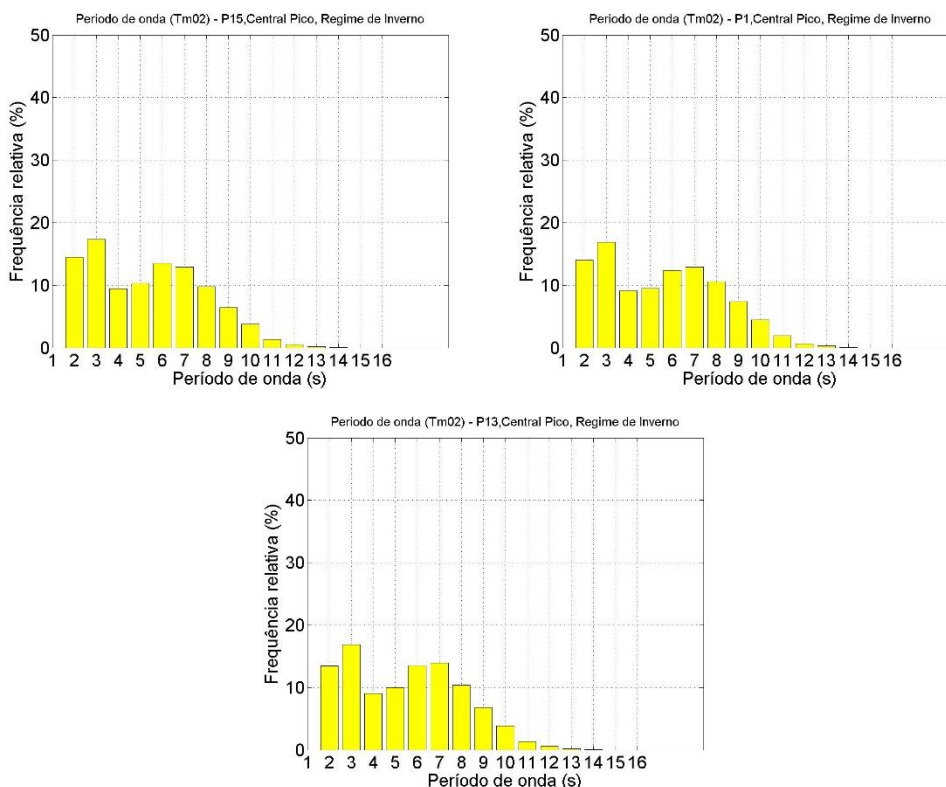


Figura 42 - Histogramas Tm02 de P15, P1, P13 para regime de Inverno.

Como se pode verificar pela análise da Figura 42 para o regime de Inverno nos 36 anos de estudo, há predominância, de frequência relativa de período médio, nas

classes 2, 3, 6 e 7 s. É possível observar um comportamento similar em todas as classes de período médio nos três pontos do transecto.

No geral, pela análise dos 3 regimes do período médio apresentados, pode-se referir que há similaridade no comportamento das classes do período médio em todos os pontos do transecto. Relativamente aos valores de frequência relativa do período médio, pode-se referir que as classes 2, 3, 6 e 7 s são de forma geral as 4 classes mais predominantes para os três regimes.

Na Figura 43 é possível observar a diferença na frequência relativa das classes do período médio da onda entre o regime de Verão e Inverno.

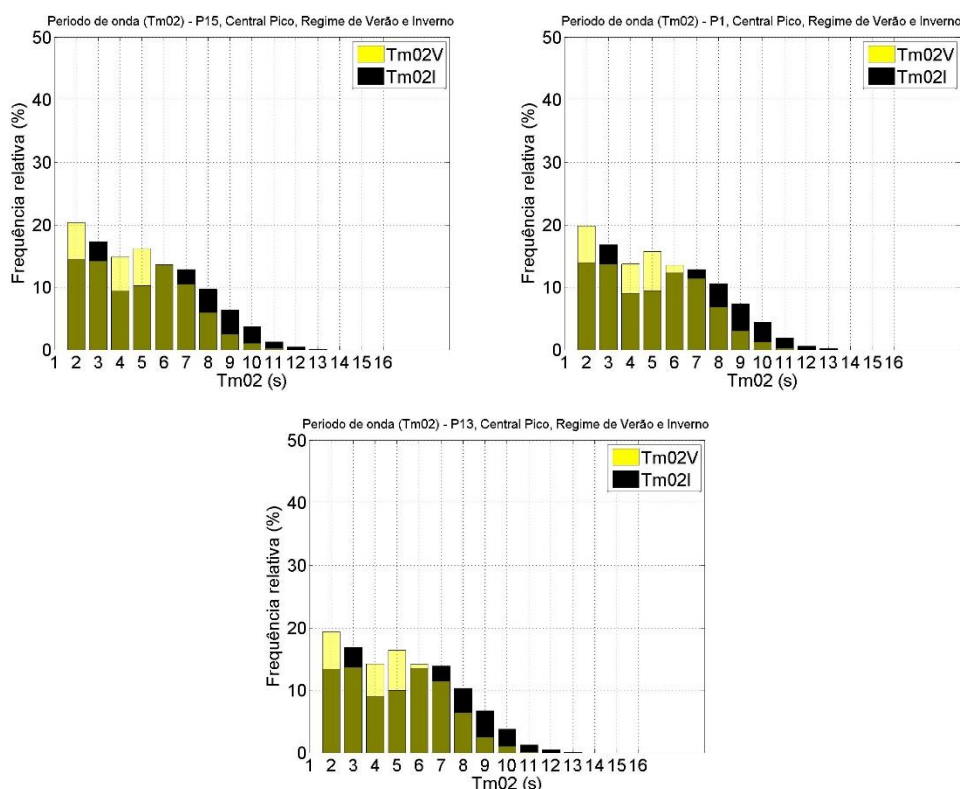


Figura 43 - Histogramas Tm02 de P15, P1, P13 comparação regime Verão vs Inverno.

Analisando a Figura 43, pode-se referir que as classes do período médio da onda predominantes para o regime de Verão são as classes 2, 3, 4, 5 e 6 s e para o regime de Inverno são as classes 2, 3, 6, 7 e 8 s. Verifica-se classes mais altas do período médio para o regime de Inverno do que para o regime de Verão, que estará directamente relacionado com o estado meteorológico, nomeadamente ventos mais fortes, que intensificam o *fetch*.

Na Figura 44 é possível observar o comportamento da altura significativa relativamente ao período de pico nos 36 anos de estudo, para cada ponto do transecto.

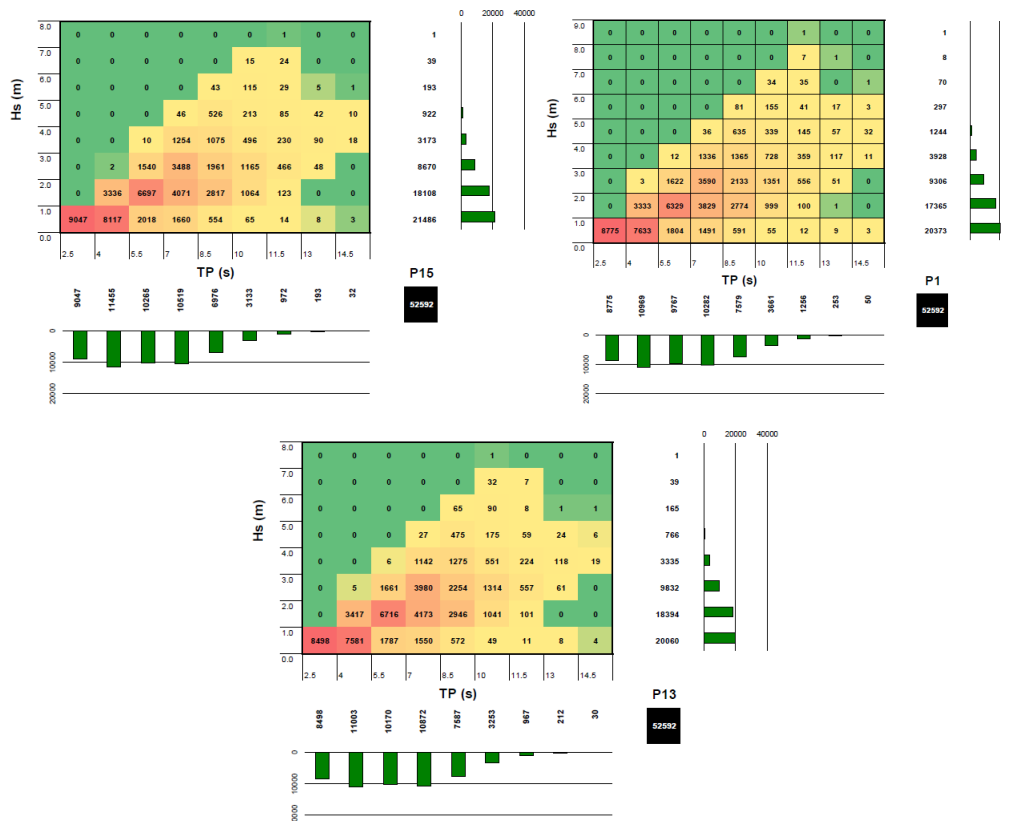


Figura 44 - Histogramas Hs-TP de P15, P1, P13.

Através da análise da Figura 44, é possível verificar que há uma relação directa entre a altura significativa e o período de pico da onda, quanto maior for o período de pico da onda, maior será a sua altura significativa. Esta relação é notória no regime de Inverno e de Verão. No regime de Inverno devido às condições meteorológicas mais adversas há uma intensificação do *fetch* que por sua vez faz com que haja um período de pico maior e consequentemente uma maior altura significativa da onda, no regime de Verão devido às condições meteorológicas estarem mais calmas e o tempo mais quente, há menor intensidade do *fetch*, que faz com que haja um período de pico menor e consequentemente a altura significativa é mais baixa. Pode-se ainda referir que o período de pico predominantes encontram-se nas classes 4, 5.5 e 7 s e que a altura significativa predominante encontra-se nas classes 1 e 2 m.

Na Figura 45 é apresentada a variação da direcção média para o regime total nos 36 anos de estudo para cada ponto do transecto.

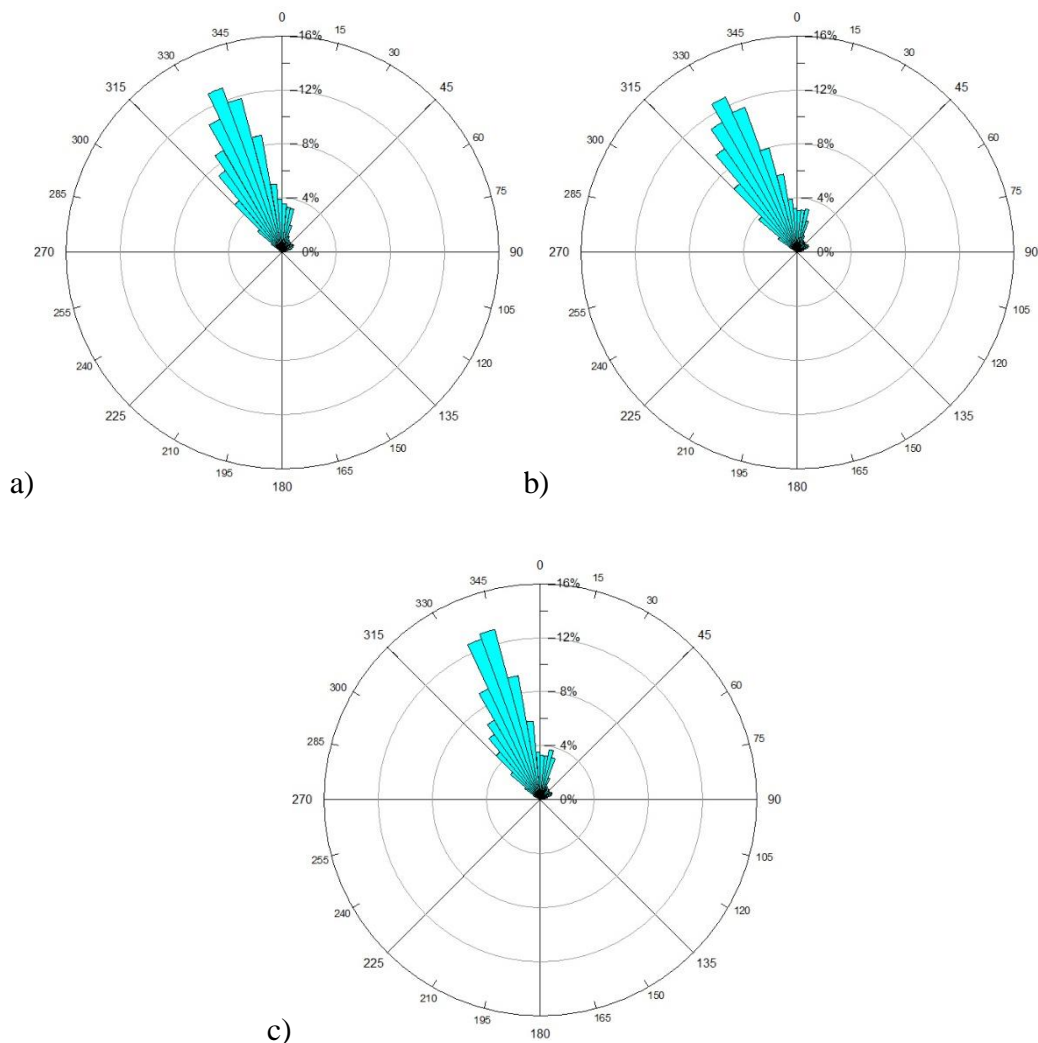


Figura 45 – Diagrama de direcção média nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13.

Através da análise da Figura 45, pode-se verificar que a direcção média dominante encontra-se entre os quadrantes Noroeste e Norte, mais concretamente em valores de direcção 330°-345°. É possível observar que em P15 a direcção média é maioritariamente proveniente de 337.5°, em P1 a direcção média predominante é de aproximadamente 330° e que em P13 é aproximadamente 340°.

Na Figura 46 é apresentada a variação da direcção de pico para o regime total nos 36 anos de estudo.

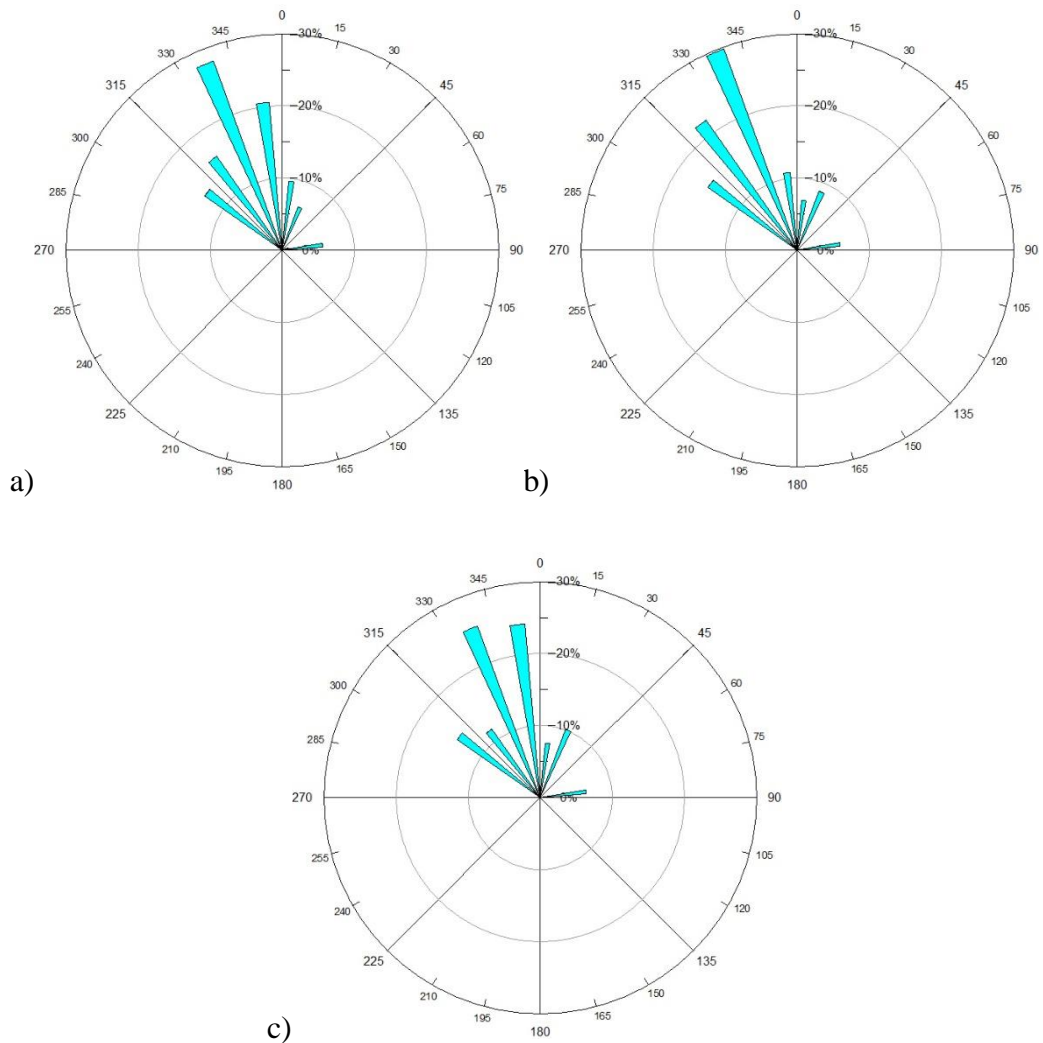


Figura 46 - Diagrama de direcção de pico nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13.

Como se pode verificar pela análise da Figura 46, a direcção de pico da onda é predominantemente de Noroeste, mais concretamente de 337.5° . Pode-se observar, que em P15 e P13 a direcção de pico é proveniente maioritariamente de 337.5° e 352.5° e em P1 a direcção de pico é proveniente de 320° e 337.5° .

Na Figura 47 é apresentada a variação da altura significativa relativamente à direcção média para o regime total nos 36 anos de estudo.

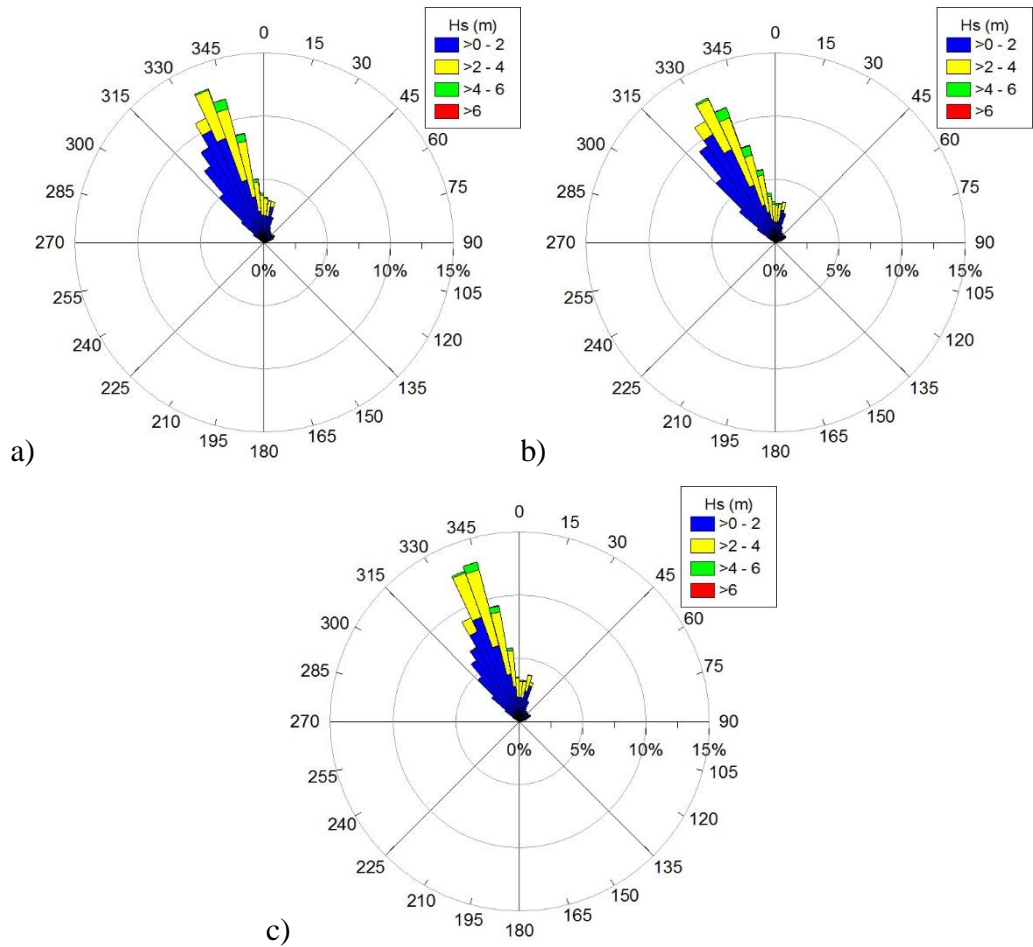


Figura 47 - Diagrama Hs- Θ m para regime Total nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13.

Pela análise da Figura 47, pode-se observar que a direcção média da altura significativa em P15 é proveniente maioritariamente de 337.5°, em P1 de 330° e em P13 de 340°. As classes predominantes são as de 0-2 m e 2-4 m), sendo que se verifica em todos os pontos algumas ondas com altura significativa na classe 4-6 m provenientes da direcção média predominante.

Na Figura 48 é apresentada a variação da altura significativa relativamente à direcção média para o regime de Verão nos 36 anos de estudo.

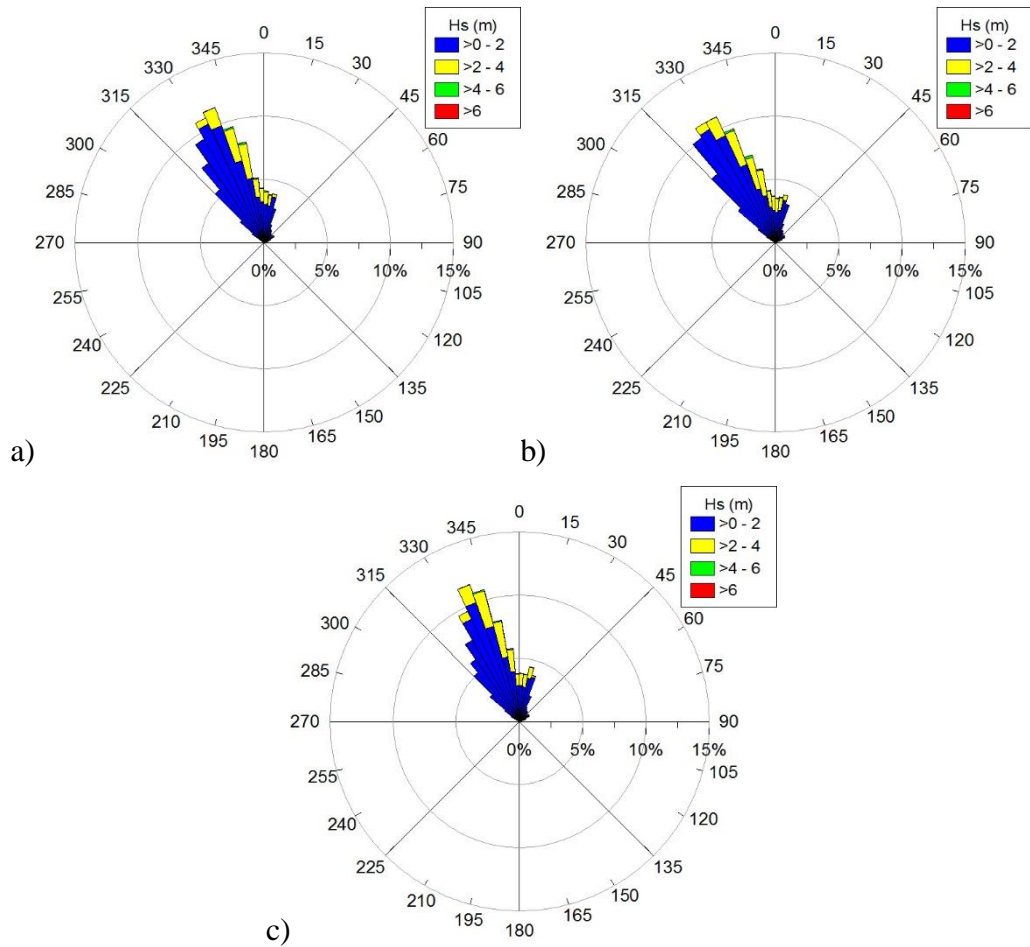
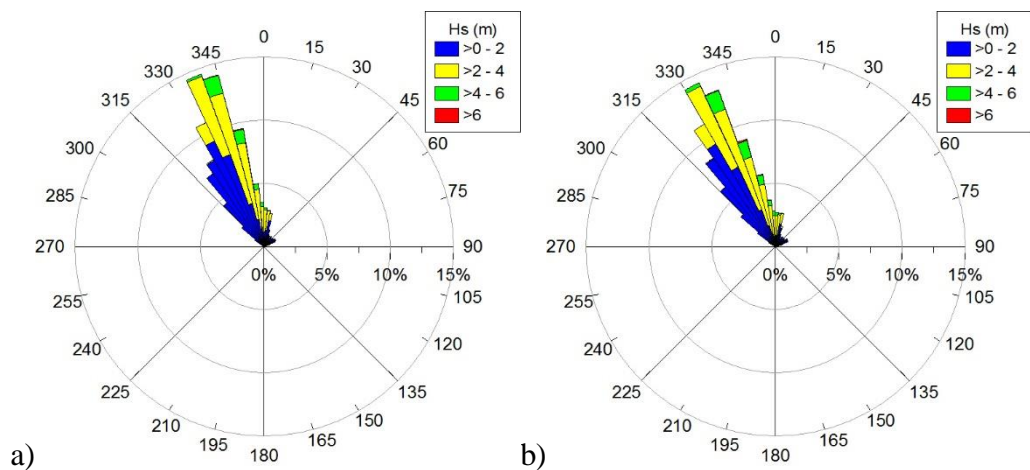


Figura 48 - Diagrama Hs- Θ m para regime de Verão nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13.

Através da análise da Figura 48, pode-se verificar que para regime de Verão a classe mais predominante de altura significativa é 0-2 em todos os pontos do transecto, com uma direcção média proveniente maioritariamente de 330-337.5°. Verifica-se ainda valores de altura significativa da classe 2-4 m, contudo com uma menor relevância.

Na Figura 49 é apresentada a variação da altura significativa relativamente à direcção média para o regime de Inverno nos 36 anos de estudo.



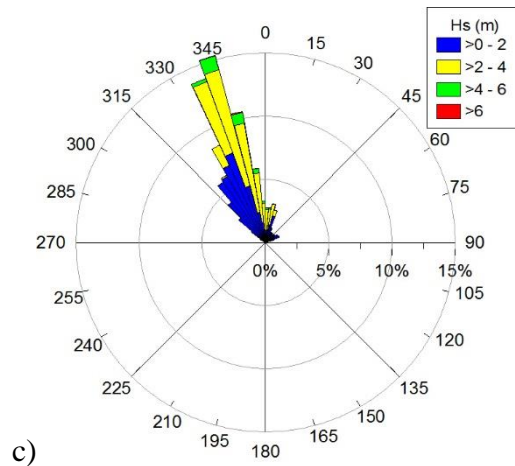
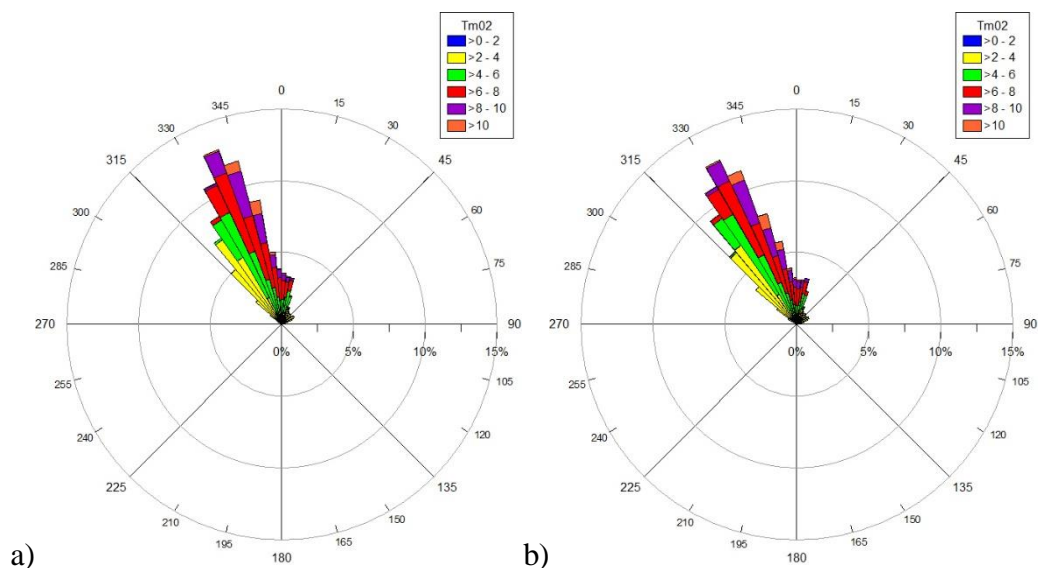


Figura 49 - Diagrama Hs- Θ m para o regime de Inverno nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13.

Como se pode verificar pela análise da Figura 49, a classe de altura significativa da onda mais predominante é 2-4 m, contudo também se observam alturas de onda significativa da classe 0-2 m e 4-6 m. A direcção média predominante é proveniente em P15 e P13 de 337.5°-345° e em P1 de 330°-337.5°.

É possível concluir pela análise dos diagramas apresentados para os três regimes que a direcção média da onda predominante é idêntica para todos os pontos nos três regimes, com valores que variam de 330° a 345°. Relativamente à altura significativa é possível afirmar que no regime de Verão as classes principais são 0-2 m e no regime de Inverno é 0-2 m e 2-4 m, sendo que esta segunda classe tem maior destaque, e que a classe 4-6 m tem uma presença mais notória no regime de Inverno, devido às condições meteorológicas que afectam directamente o estado do mar.

Na Figura 50 é apresentada a variação do período médio relativamente à direcção média para o regime total nos 36 anos de estudo.



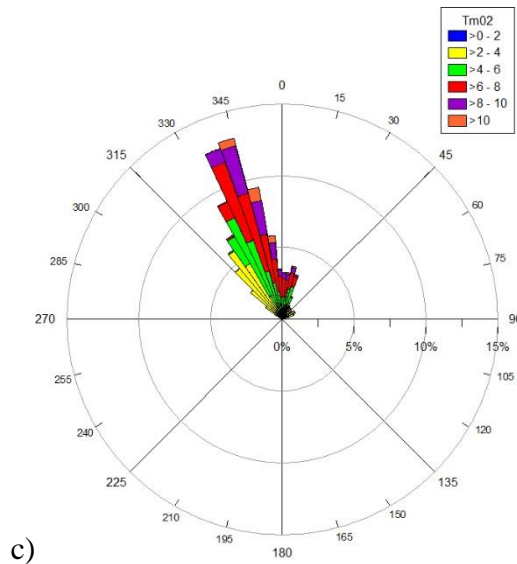
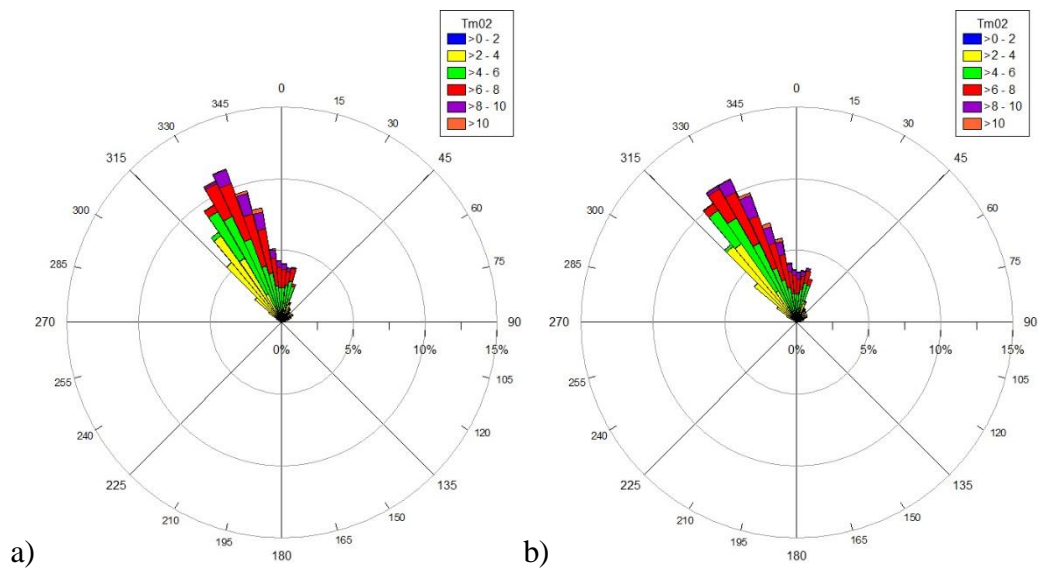


Figura 50 - Diagrama $T_{m02}-\Theta_m$ para regime Total nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13.

Pela análise da Figura 50, é possível referir que as classes do período médio predominantes em todos os pontos são 2-4 s, 4-6 s e 6-8 s, contudo também é possível verificar ondas com período médio da classe 8-10 s. A direcção média predominante para P15 e P13 é $337.5^\circ-345^\circ$ e para P1 é $330^\circ-337.5^\circ$.

Na Figura 51 é apresentada a variação do período médio relativamente à direcção média para o regime de Verão nos 36 anos de estudo.



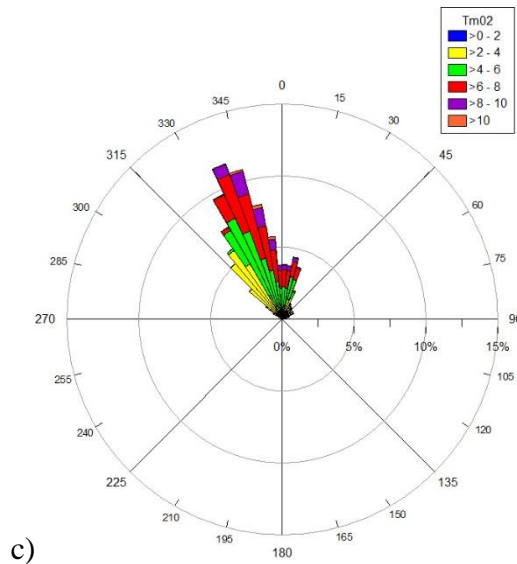
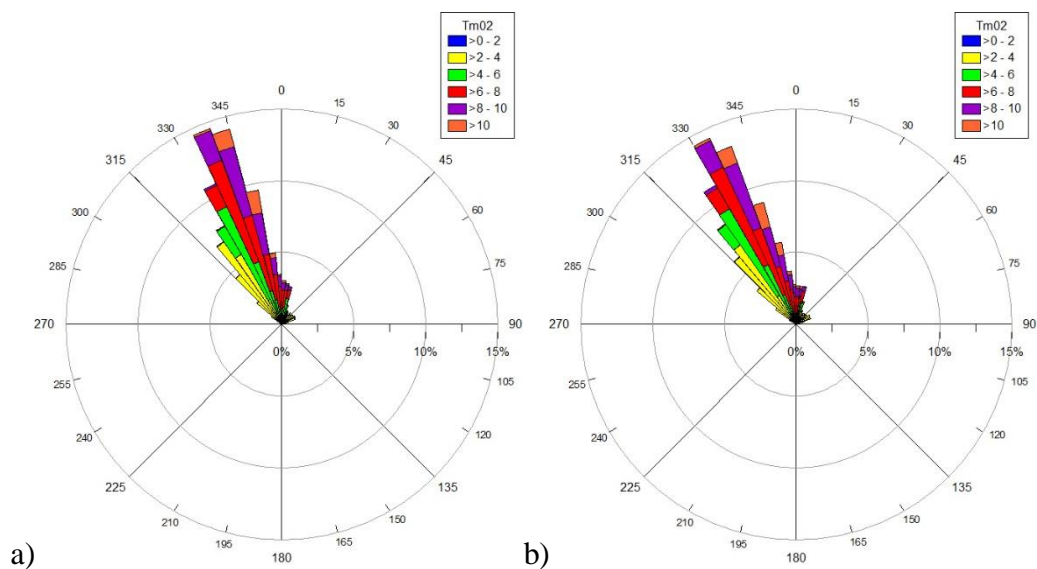


Figura 51 - Diagrama Tm02- Θ m para regime de Verão nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13.

Através da análise da Figura 51, observa-se que as classes de período médio predominantes para o regime de Verão são 2-4 s, 4-6 s e 6-8 s, havendo ainda alguns valores para as classes 8-10 s e >10 s, mas com menor relevância relativamente às restantes classes, devido muito provavelmente à quietude do estado do mar. É possível verificar que em P15 a direcção média predominante é 330°-337.5°, em P1 é 330° e em P13 é 337.5°-340°

Na Figura 52 é apresentada a variação do período médio relativamente à direcção média para o regime de Inverno nos 36 anos de estudo.



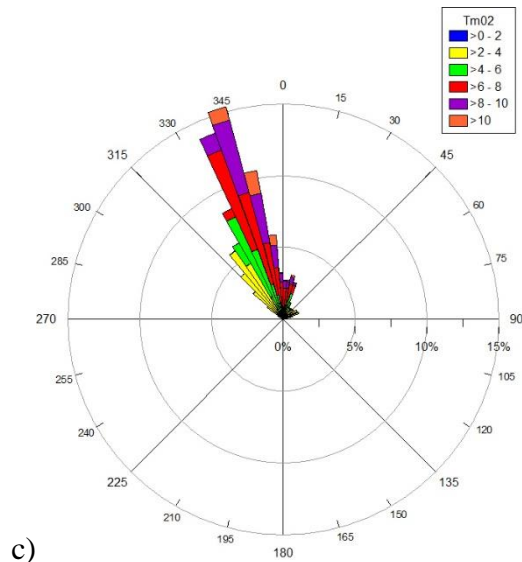


Figura 52 - Diagrama Tm02-Øm para regime de Inverno nos 36 anos a)P15 b)P1 c)P13.

Como se pode verificar pela análise da Figura 52, as classes de período médio predominantes para o regime de Inverno são 4-6 s, 6-8 s e 8-10 s, sendo que também apresenta valores para a classe >10 s contudo com menor relevância. Relativamente à direção média a predominância em P15 e P13 é de 337.5°-345° e em P1 330°-337.5°.

Após uma análise conjunta dos diagramas destes três regimes, pode-se concluir que no regime de Inverno as classes dominantes de período médio são mais altas que as do regime de Verão, que estará relacionado com ventos mais fortes e um maior efeito do *fetch*. Em ambos os regimes, observa-se direções predominantes idênticas em todos os pontos para os três regimes.

Na Tabela 5 são apresentados os dados estatísticos para todos os pontos do transecto nos 36 anos de estudo.

Tabela 5 - Dados estatísticos de P15, P1, P13 para os 36 anos de estudo.

| | P15 | | | | | P1 | | | | |
|----------------------|-------|--------|-----------|--------|-----------|-------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.428 | 9.761 | 265.950 | 5.046 | 267.159 | 1.521 | 9.806 | 264.501 | 5.191 | 265.879 |
| Mediana | 1.220 | 10.070 | 322.500 | 4.850 | 331.670 | 1.300 | 10.070 | 322.500 | 5.010 | 327.900 |
| Desvio Padrão | 1.011 | 3.323 | 126.907 | 2.311 | 129.583 | 1.083 | 3.284 | 123.554 | 2.397 | 127.284 |
| Moda | 0.380 | 11.140 | 337.500 | 2.130 | 338.120 | 0.470 | 11.140 | 337.500 | 2.200 | 331.730 |
| Variância | 1.023 | 11.044 | 16105.509 | 5.342 | 16791.827 | 1.172 | 10.788 | 15265.551 | 5.748 | 16201.117 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 7.840 | 18.460 | 352.500 | 14.090 | 359.980 | 8.100 | 18.460 | 352.500 | 14.380 | 360.000 |
| Mínimo | 0.010 | 2.000 | 7.500 | 1.490 | 0.000 | 0.010 | 2.000 | 7.500 | 1.480 | 0.010 |
| Intervalo | 7.830 | 16.460 | 345.000 | 12.600 | 359.980 | 8.090 | 16.460 | 345.000 | 12.900 | 359.990 |

| | P13 | | | | |
|----------------------|-------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.476 | 9.830 | 261.310 | 5.141 | 260.682 |
| Mediana | 1.300 | 10.070 | 322.500 | 5.000 | 332.070 |
| Desvio Padrão | 0.995 | 3.251 | 130.374 | 2.310 | 133.949 |
| Moda | 0.410 | 11.140 | 337.500 | 2.270 | 341.890 |
| Variância | 0.991 | 10.570 | 16997.428 | 5.336 | 17942.236 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 7.630 | 18.460 | 352.500 | 14.180 | 360.000 |
| Mínimo | 0.010 | 2.000 | 7.500 | 1.470 | 0.000 |
| Intervalo | 7.620 | 16.460 | 345.000 | 12.710 | 360.000 |

Pela análise da Tabela 5, é possível verificar que o valor da média e do valor máximo da altura significativa da onda aumentam de P15 para P1 e diminuem de P1 para P13. Relativamente ao período, pode-se observar que os valores da média do período de pico aumentam de P15 para P13 e que os valores da média para o período médio aumentam de P15 para P1 e diminuem de P1 para P13. Em relação à direcção, verifica-se tanto para a direcção de pico como para a direcção média, o mesmo comportamento de P15 para P13, que é uma diminuição dos valores de direcção.

5. Conclusão

O objectivo deste trabalho era a caracterização da agitação marítima ao largo da Central de Energia das ondas do Pico.

De modo a obter uma caracterização da agitação marítima mais detalhada, foi realizada a caracterização da agitação marítima para 36 anos em 20 pontos e analisados apenas 7, que foram apresentados em transectos, longitudinal e latitudinal. Os dados para a realização desta caracterização foram obtidos através de cálculos realizados por dois modelos numéricos acoplados, o WAM e o SWAN.

A validação do desempenho do modelo é de grande importância para a precisão, credibilidade e coerência dos resultados obtidos e do próprio estudo. Esta avaliação do modelo passa pela comparação dos resultados numéricos obtidos com os dados da boia ondógrafo do Faial/Pico. Na comparação dos resultados de H_s entre a boia e o SWAN, pode-se concluir que há representação muito satisfatória dos valores de H_s pelo SWAN, contudo na comparação dos resultados de período médio pode-se concluir que há uma subestimação dos valores do período médio pelo modelo numérico SWAN, apesar do comportamento similar, para o tipo de dispositivo CAO, pode ser um problema, porque a ressonância do dispositivo esta relacionada com o período.

A caracterização da agitação marítima dos transectos, no capítulo 4, demonstrou o comportamento e a distribuição dos parâmetros da onda: altura significativa, período de pico, período médio, direcção de pico e direcção media ao longo dos 36 anos de estudo.

Para o transecto longitudinal (vertical), a caracterização da agitação marítima realizada, permite concluir que os valores de altura significativa para o regime Total, de Verão e de Inverno aumentam com o aumento da longitude e que para o regime de Verão as classes de H_s predominantes são 1 e 2 m e para o regime de Inverno as classes predominantes são 1, 2 e 3m.

Relativamente ao período médio pode-se concluir que os valores aumentam com o aumento da longitude, sendo que as classes de T_{m02} predominantes para o regime de Verão são 3, 4, 5 e 6 s e para o regime de Inverno são 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 s.

Em relação à direcção a conclusão que se pode retirar é que os valores predominantes deste parâmetro se encontram entre Oeste e Norte, mais concretamente Noroeste com valores de 330° , que vai de encontro com a informação da pesquisa bibliográfica anteriormente realizada.

Pode-se concluir relativamente aos dados estatísticos para este transecto, que os valores médios de Hs aumentam com a longitude, como já suprarreferido pela análise dos histogramas, que os valores médios de TP e Tm02 diminuem de P1 para P4 e aumentam de P4 para P11 e que os valores de direcção, tanto de Dir. P como Dir. M, descem de P1 para P11 permitindo concluir que há um efeito de refacção que tende a paralelizar a onda à costa.

Para o transecto latitudinal (horizontal), a caracterização da agitação marítima realizada, permite concluir que de P15 para P1 os valores das classes 0 e 1 m de altura significativa diminuem e que os valores das classes 3 e 4 m aumentam, e que há um aumento da classe 2 m no regime de Verão e uma diminuição da mesma no regime de Inverno. De P1 para P13 os valores das classes 1 e 2 m de altura significativa aumentam e os valores das classes 3 e 4 m diminuem, sendo possível ainda concluir que para o regime de Inverno a classe 1 m diminui e as classes 2 e 3 m aumenta em comparação com o regime de Verão. As classes predominantes de altura significativa para o regime de Verão são 0, 1 e 2 m e para o regime de Inverno 1, 2 e 3m.

Relativamente ao período médio pode-se concluir que há uma similaridade no comportamento de todas as classes, sendo que as classes predominantes para o regime de Verão são 2, 3, 4, 5 e 6 s e para o regime de Inverno as classes 2, 3, 6, 7 e 8 s.

Em relação à direcção média a conclusão que se pode retirar é que os valores predominantes encontram-se nos quadrantes Noroeste e Norte, mais concretamente para valores de 330°-345°. O valor de direcção média predominante em P15 é 337.5°, em P1 é 330° e em P13 é 340°, em relação à direcção de pico os valores predominantes são de Noroeste, mais concretamente 337.5°. Os valores de direcção de pico predominantes em P15 e P13 são 337.5° e 352.5° e em P1 são 320° e 337.5°.

Pode-se concluir relativamente aos dados estatísticos para este transecto, que os valores médios de Hs aumentam de P15 para P1 e diminuem de P1 para P13, que os valores médios de TP aumentam de P15 para P13, que os valores médios de Tm02 aumentam de P15 para P1 e diminuem de P1 para P13 e que os valores de direcção, tanto de Dir. P como Dir. M, descem de P15 para P13.

É ainda possível concluir para os 2 transectos que há uma relação directa entre a altura da onda e o período, e que para o regime de Inverno os parâmetros da onda estudados apresentam classes com valores mais elevados relativamente ao Verão, devido ao estado das condições meteorológicas, que provocam condições adversas do

estado do mar e/ou um aumento da força do vento que leva também ao aumento do fetch.

Concluindo, este trabalho permitiu a realização da caracterização da agitação marítima de forma detalhada para os 36 anos de estudo nos 20 pontos de estudo apesar de terem sido demonstrados e analisados apenas 7 e permitiu tirar conclusões que vão de encontro à bibliografia consultada.

6. Referências Bibliográficas

- Azevedo, E.B. e Gonçalo, V. (2005), *O Projecto Climaat e o seu contributo para a Monitorização e caracterização da agitação Marítima no Arquipélago dos Açores*, 4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005.
- Bento, A.R., Rusu, E. e Soares, C.G. (2009), *Modelação da agitação marítima ao largo do Porto de Leixões*, 6^o Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico, Oviedo, pp. 241-244.
- Booij, N., R.C. Ris and L.H. Holthuijsen, (1999), *A third-generation wave model for coast regions*, Part I, Model description and validation, *J.Geoph.Research*, 104, C4, 7649-7666.
- Brito e Melo, A., (2000), *Modelação e Pré-Dimensionamento de Centrais de Coluna de Água Oscilante: Aplicação à Central de Energia das Ondas do Pico, Açores*, Dissertação para obtenção do Grau de Doutoramento em Engenharia Mecânica.
- Centro do clima, meteorologia e mudanças globais da Universidade dos Açores, (2015). (disponível em <http://www.climaat.angra.uac.pt>)
- Cruz, J. M. B. P. e Sarmiento, A. J. N. A., (2004), *Energia das Ondas*, Instituto do Ambiente, Alfragide.
- Cruz, J.V. (1997) - *Estudo hidrogeológico da Ilha do Pico (Açores - Portugal)*. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade dos Açores, 2 vol., Ponta Delgada, 433p.
- Esteves *et al.*, (2009), *Dados direccionais de agitação marítima nos Açores (Projecto Climaat-Clima E Meteorologia Dos Arquipelagos Atlânticos)*, 6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009.
- Falcão, A. F. de O., (2000), *The shoreline OWC wave power plant at the Azores*, 4th European Wave Energy Conference, Aalborg.
- Flater, D. (1998). *XTide Manual: Harmonic tide clock and tide predictor*. E.U.A.
- Pereira, A.I.S. (2008), *Modelação da Agitação Marítima em Zonas Costeiras*, Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Arquitectura Naval.
- Pinheiro, L., Santos, J. A., Fortes, C. J. E. M., Capitão, R. (2007). SOPRO - Pacote integrado de modelos para avaliação dos efeitos das ondas em portos. *Revista da Tecnologia da Água*, Edição I, março.
- Pontes, M. T e Falcão, A.F (2001), *Ocean Energies: Resources and Utilisation*, 18th World Energy Conference, Buenos Aires, Argentina.
- Ramos, M., (2014), *Influência das Correntes no Comportamento do Modelo SWAN na Zona de Diogo Lopes, Brasil*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.
- Rodrigues, J., (2014), *Avaliação do Risco e Aplicação do processo de Análise Hierárquica (AHP) na Avaliação das Consequências de Galgamento em Zonas*

Costeiras e Portuárias, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Especialização em Hidráulica.

Sampaio, M., (2008), *Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente a Pinheiro da Cruz*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

Support Wave Energy, (2015). (Disponível em <http://www.save-pico-powerplant.org/>)

The SWAN team (2007), *SWAN User Manual -Version 40.51AB.* , Delft University of Technology, Environmental Fluid Mechanics Section.

Tolman, H. L., (1999a), *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18*, NOAA/NWS/NCEP/OMB Technical Note 166, 110 pp.

WAMDI Group (1988). The WAM model - A third generation ocean wave prediction model. *Journal of Physical Oceanography*, 18, 1775-1810.

WaveC Offshore Renewables, (2014). (disponível em <http://www.wavec.org/>)

Anexos

Anexo 1

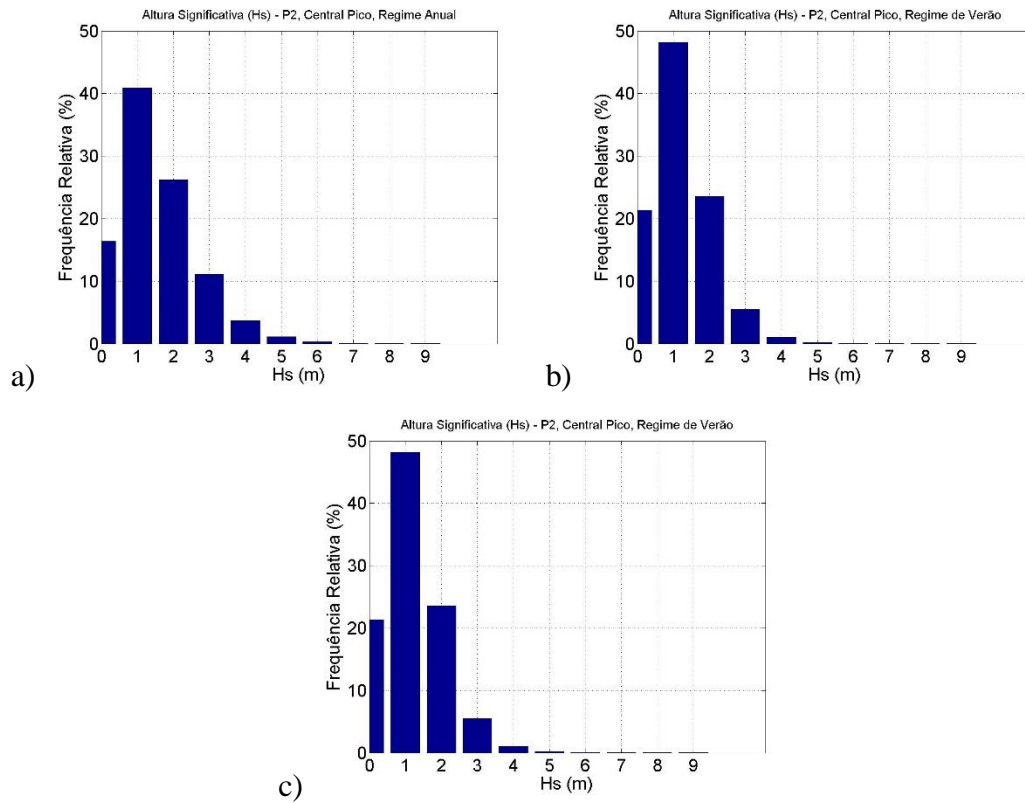


Fig. 1 - Histogramas Hs de P2 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

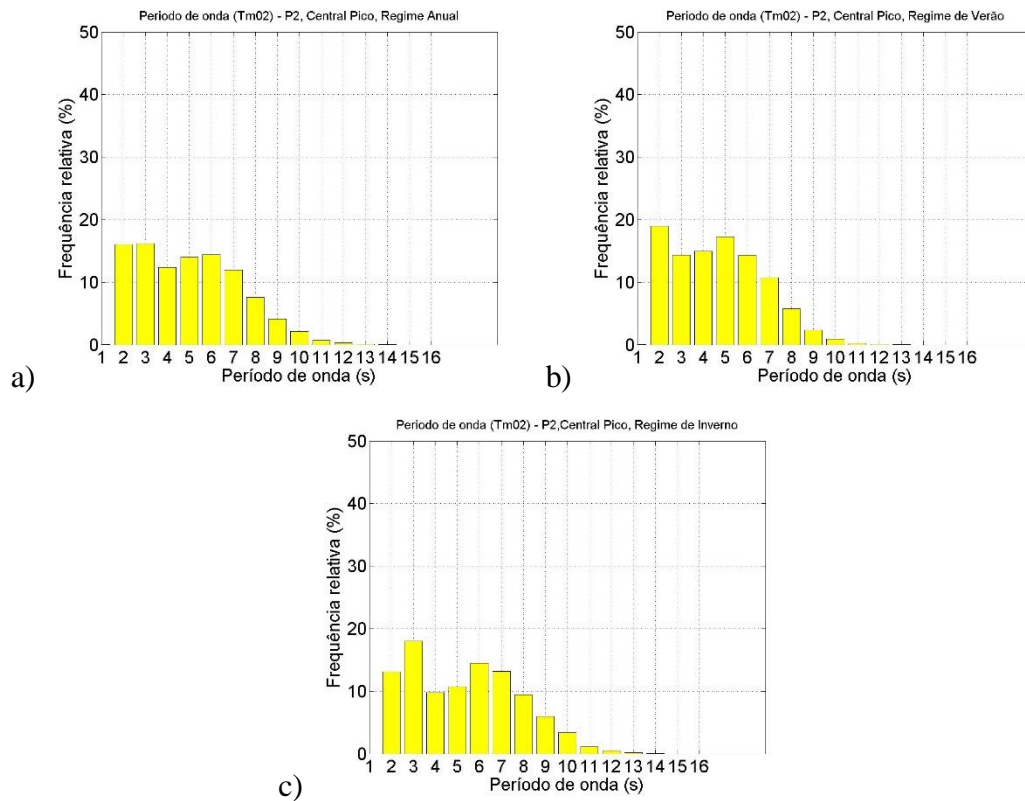


Fig. 2 - Histogramas Tm02 de P2 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

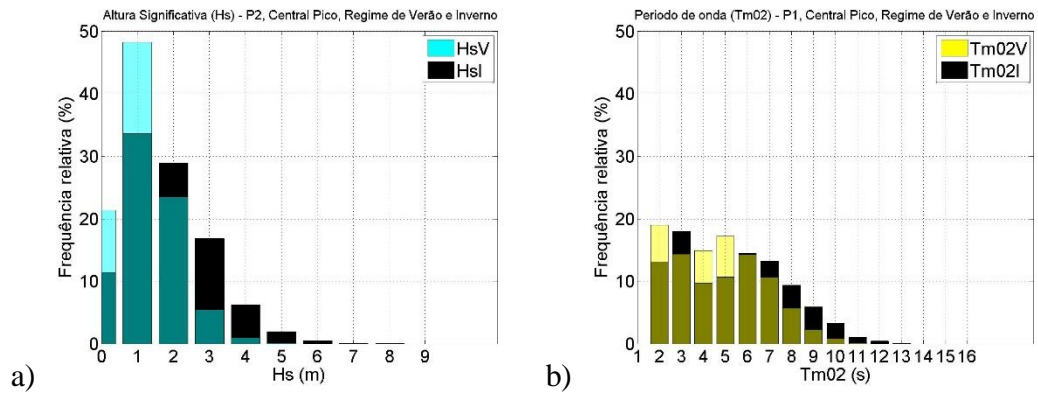


Fig. 3 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a)Hs e b)Tm02 para P2.

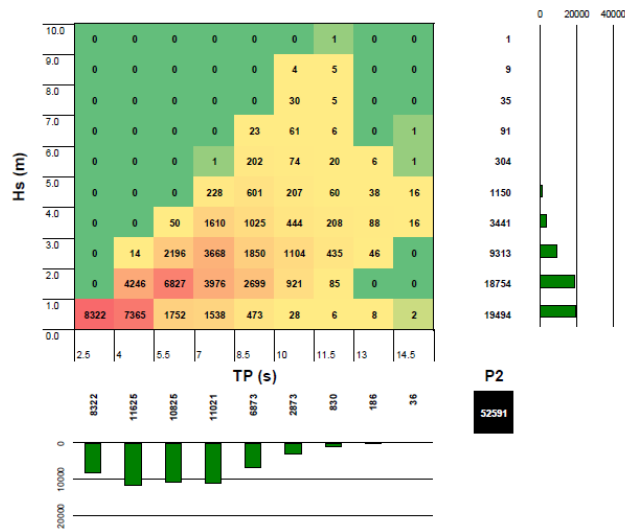


Fig. 4 - Histogramas Hs-TP para P2.

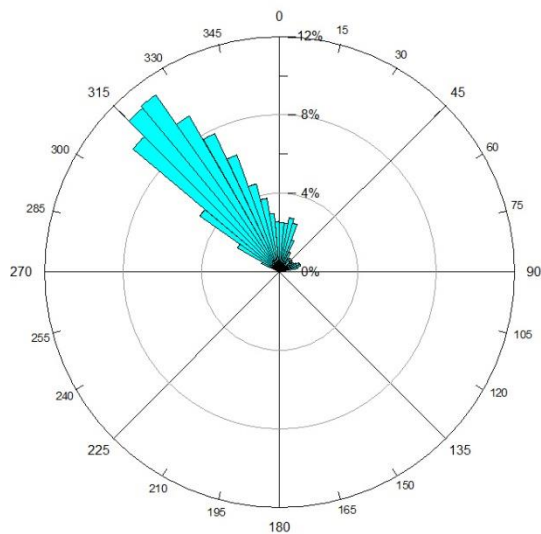


Fig. 5 - Diagrama de direcção média nos 36 anos para P2.

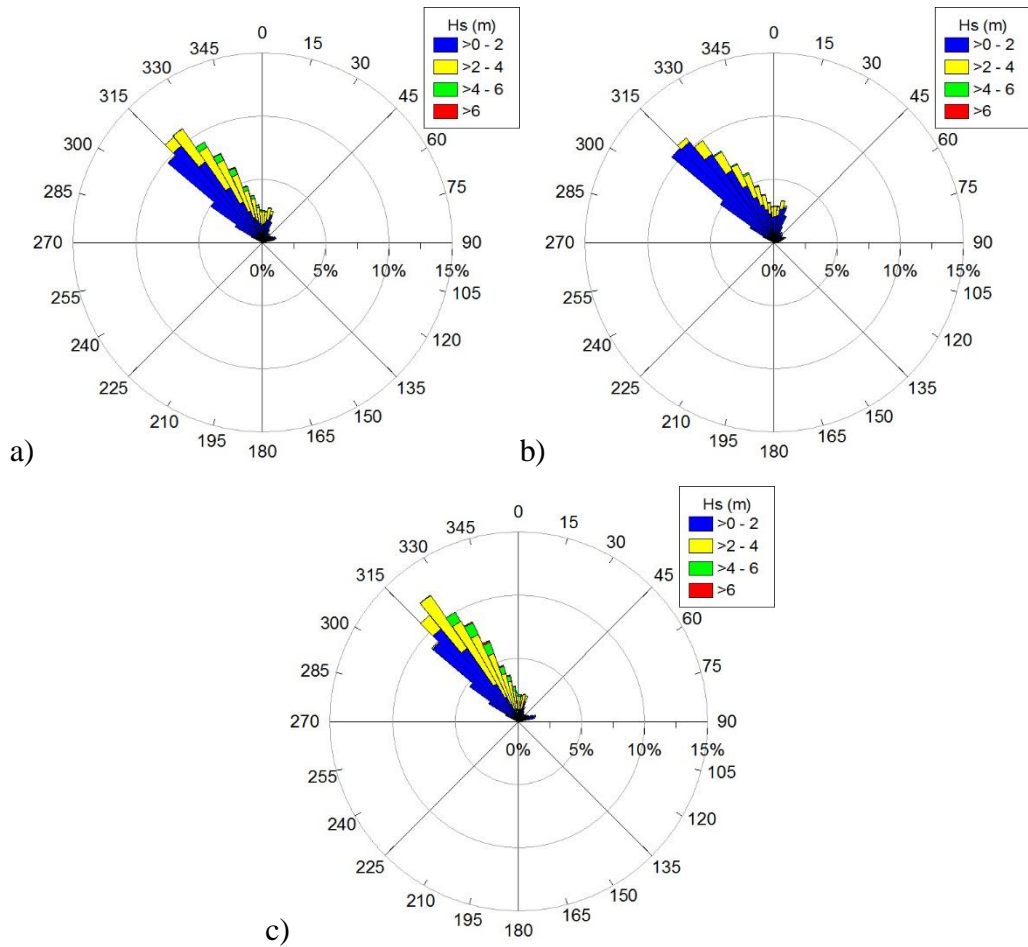
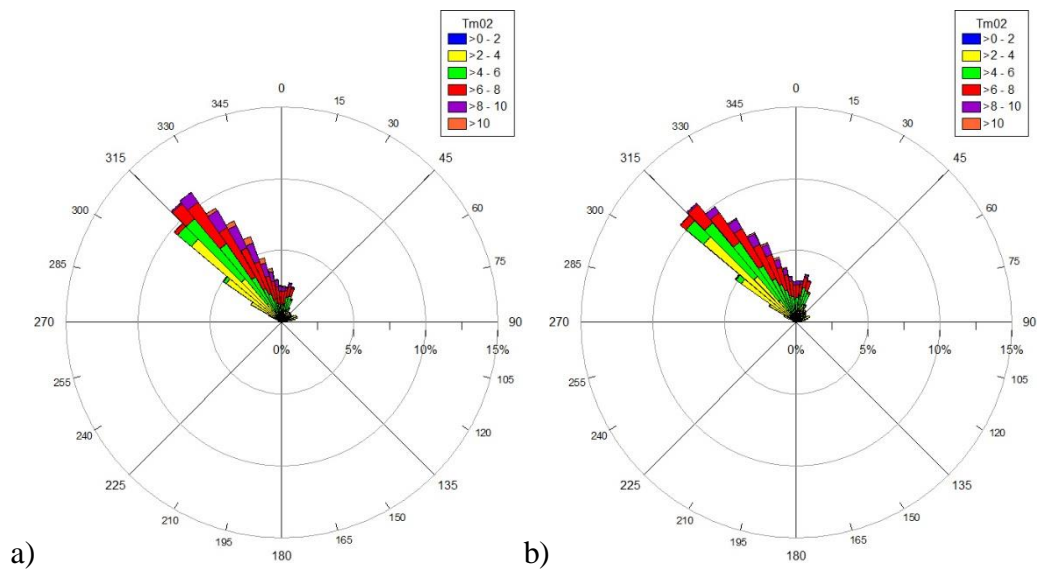


Fig. 6 - Diagrama H_s - θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P2.



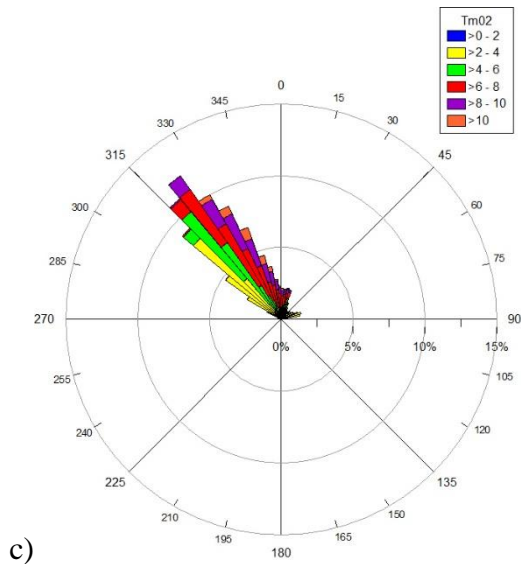
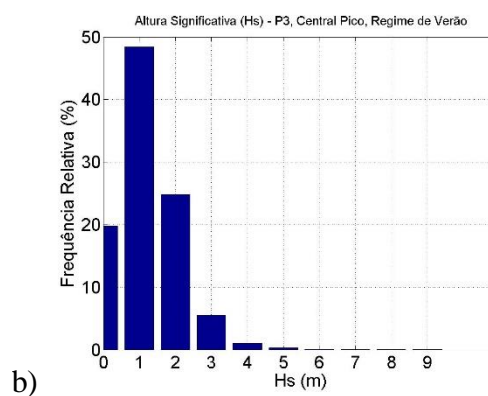
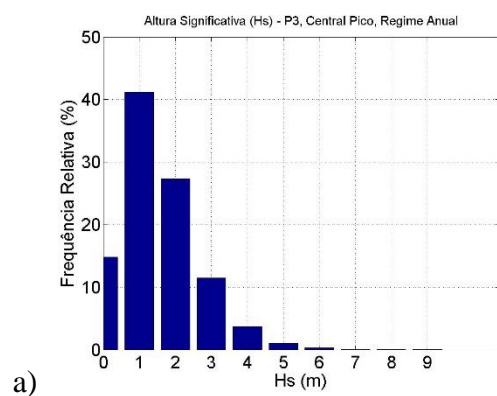


Fig. 7 - Diagrama Hs- Θ m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P2.

tabela A - Dados estatísticos de P2 para os 36 anos de estudo.

| | P2 | | | | |
|----------------------|-------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.526 | 9.715 | 258.515 | 5.044 | 260.343 |
| Mediana | 1.320 | 10.070 | 307.500 | 4.880 | 319.240 |
| Desvio Padrão | 1.065 | 3.251 | 119.997 | 2.248 | 124.020 |
| Moda | 0.470 | 11.140 | 307.500 | 2.220 | 316.420 |
| Variância | 1.135 | 10.571 | 14399.239 | 5.053 | 15380.878 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 9.670 | 18.460 | 352.500 | 13.930 | 360.000 |
| Mínimo | 0.010 | 2.000 | 7.500 | 1.490 | 0.010 |
| Intervalo | 9.660 | 16.460 | 345.000 | 12.440 | 359.990 |

Anexo 2



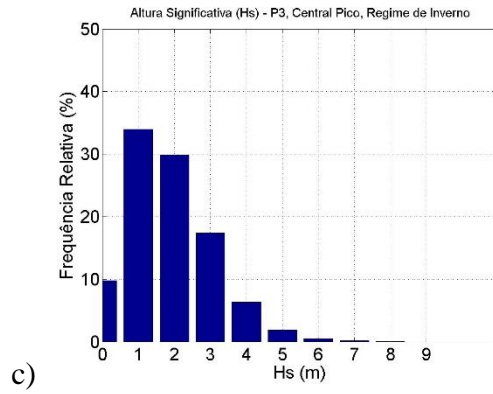


Fig. 8 - Histogramas Hs de P3 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

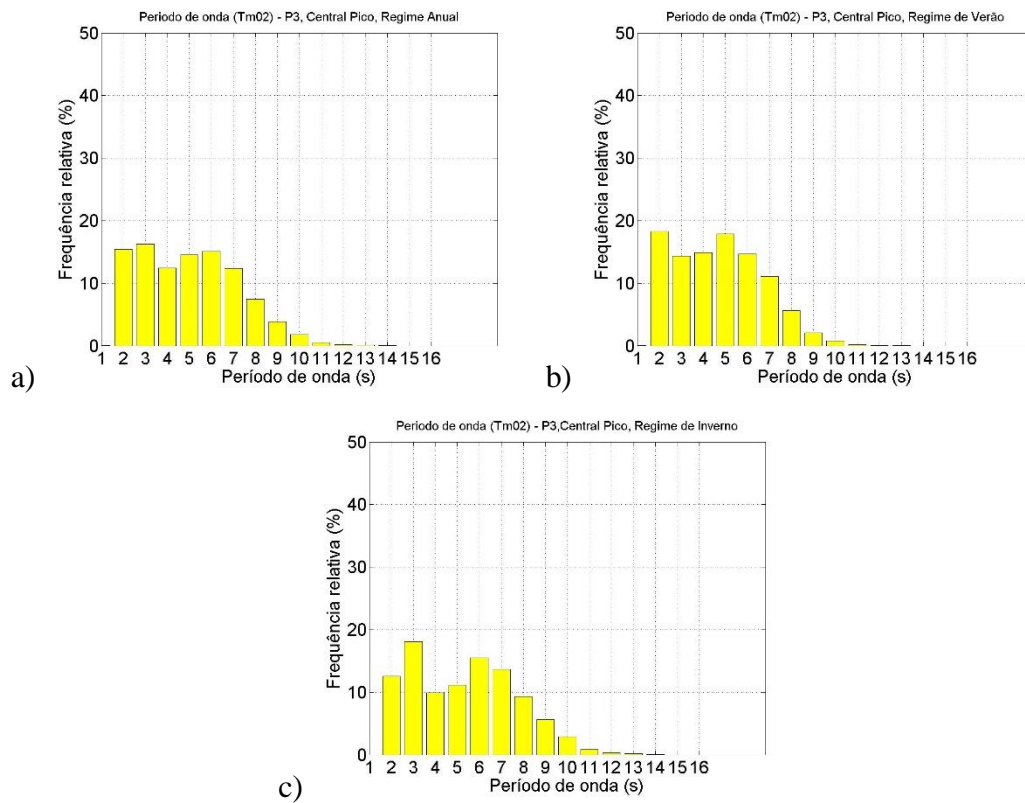


Fig. 9 - Histogramas Tm02 de P3 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

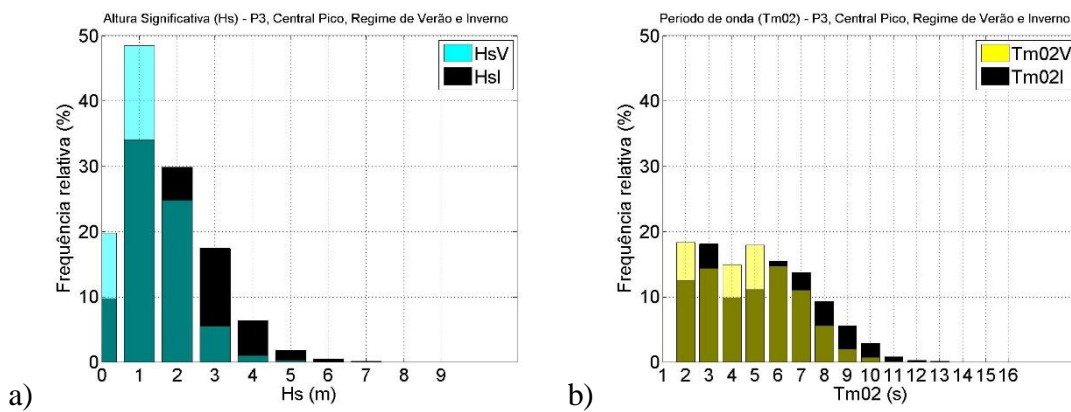


Fig. 10 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a) Hs e b) Tm02 para P3.

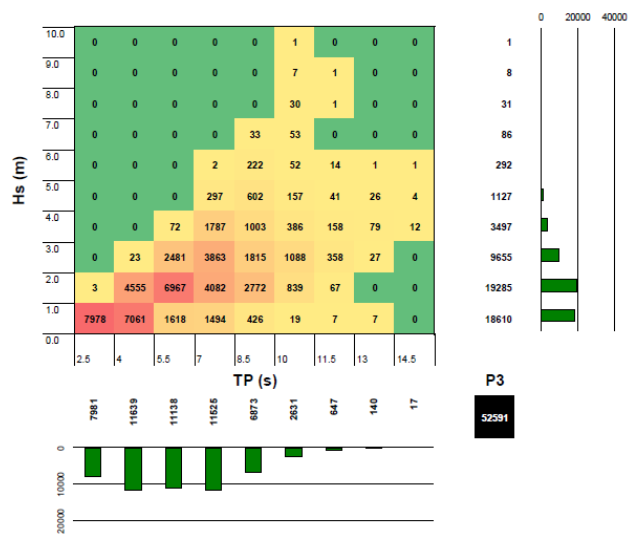


Fig. 11 - Histogramas Hs-TP para P3.

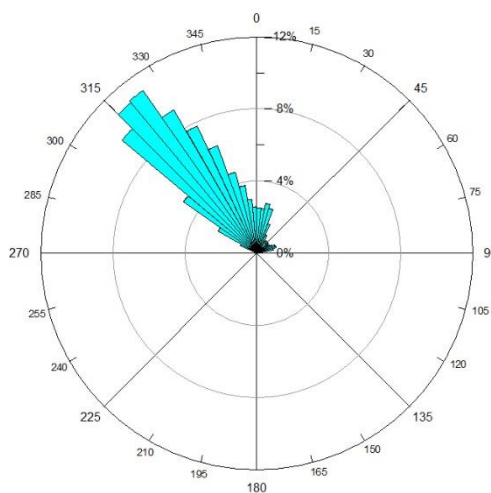
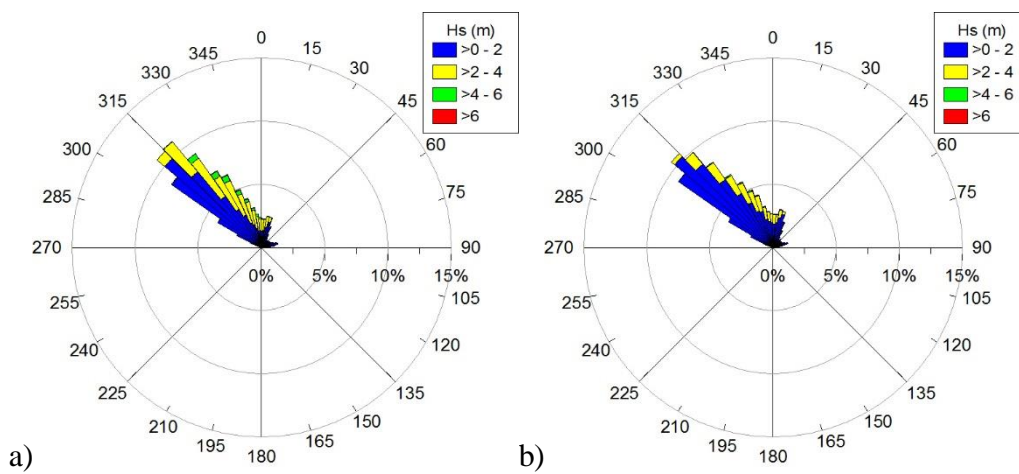


Fig. 12 - Diagrama de direcção média nos 36 anos para P3.



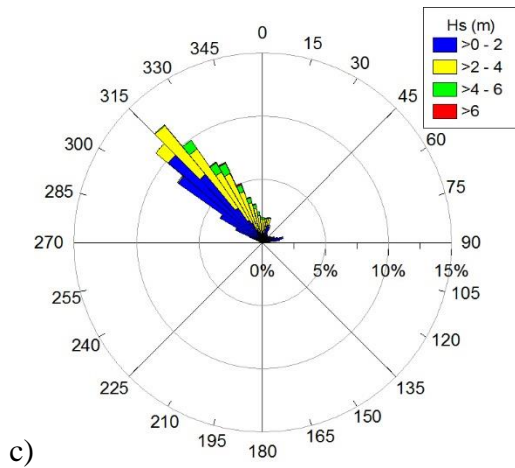


Fig. 13 - Diagrama Hs- Θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P3.

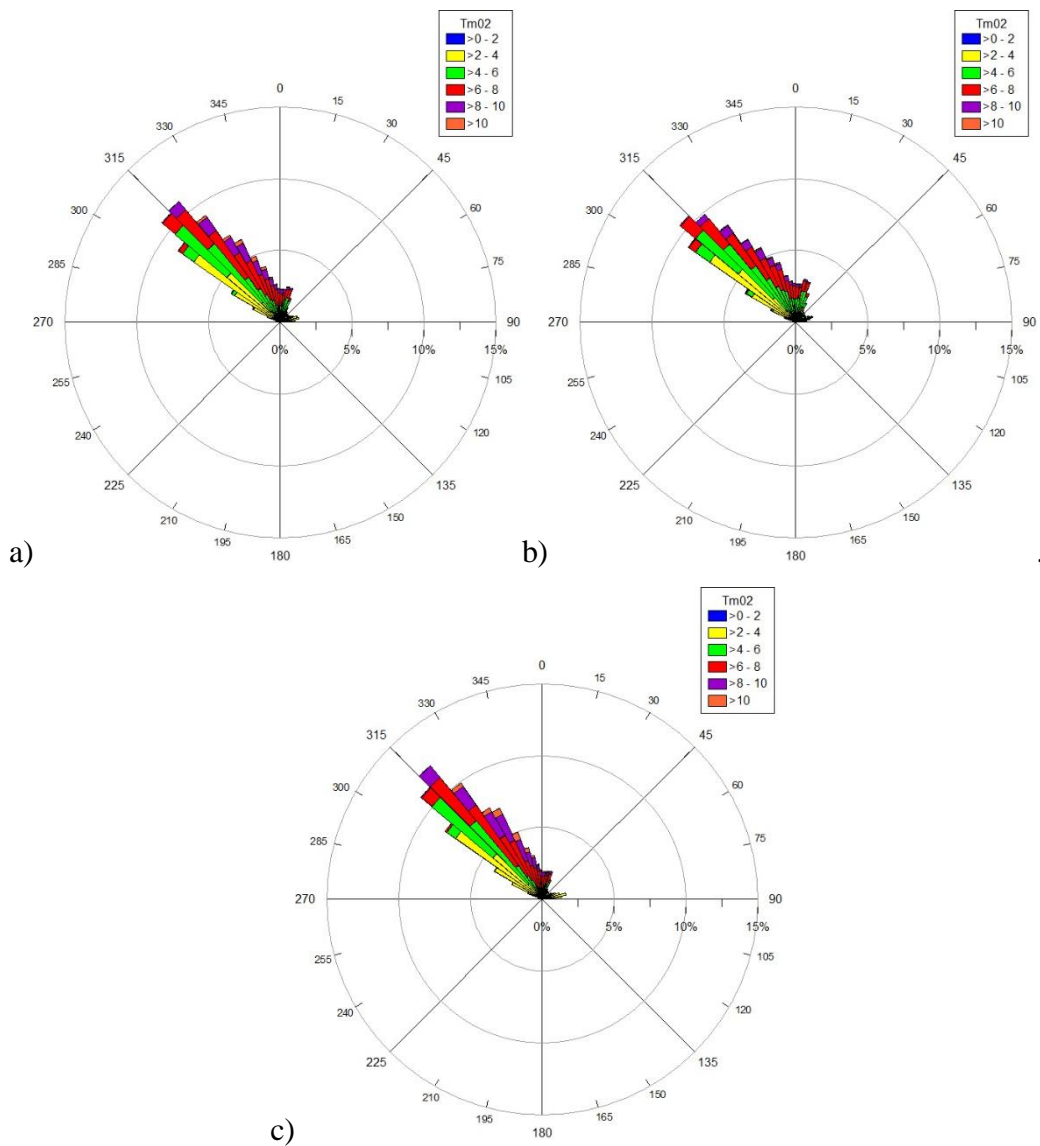


Fig. 14 - Diagrama Tm02- Θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P3.

tabela B - Dados estatísticos de P3 para os 36 anos de estudo.

| | P3 | | | | |
|---------------|-------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.551 | 9.707 | 256.059 | 5.026 | 257.834 |
| Mediana | 1.360 | 10.070 | 307.500 | 4.910 | 315.280 |
| Desvio Padrão | 1.050 | 3.227 | 118.677 | 2.177 | 121.998 |
| Moda | 0.520 | 11.140 | 307.500 | 2.300 | 316.040 |
| Variância | 1.102 | 10.411 | 14084.150 | 4.741 | 14883.496 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 9.850 | 18.460 | 352.500 | 13.590 | 360.000 |
| Mínimo | 0.010 | 2.210 | 7.500 | 1.500 | 0.010 |
| Intervalo | 9.840 | 16.250 | 345.000 | 12.090 | 359.990 |

Anexo 3

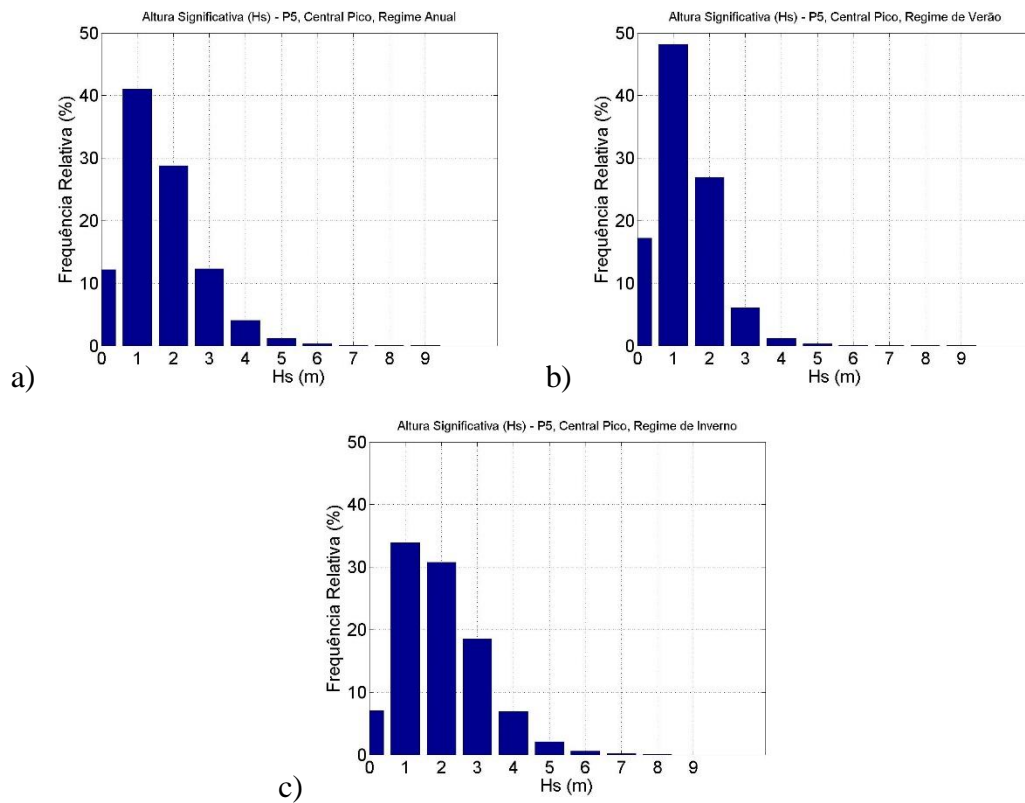
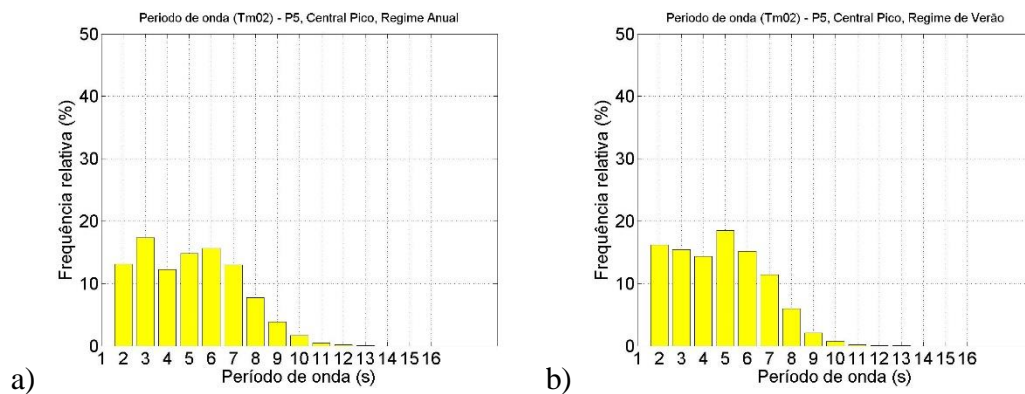


Fig. 15 - Histogramas Hs de P5 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.



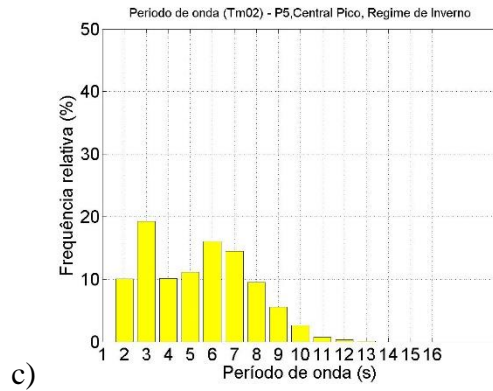


Fig. 16 - Histogramas Tm02 de P5 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

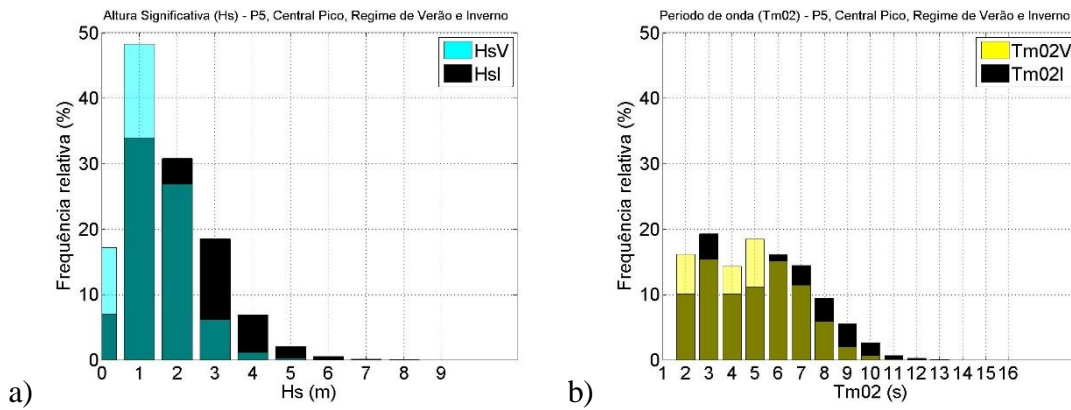


Fig. 17 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a) Hs e b) Tm02 para P5.

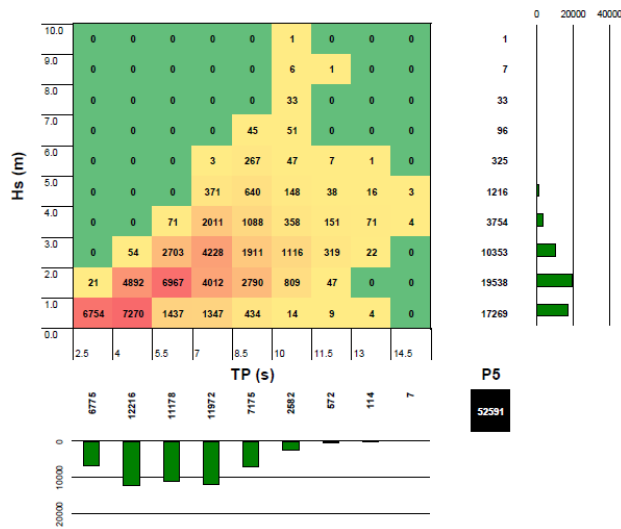


Fig. 18 - Histogramas Hs-TP para P5.

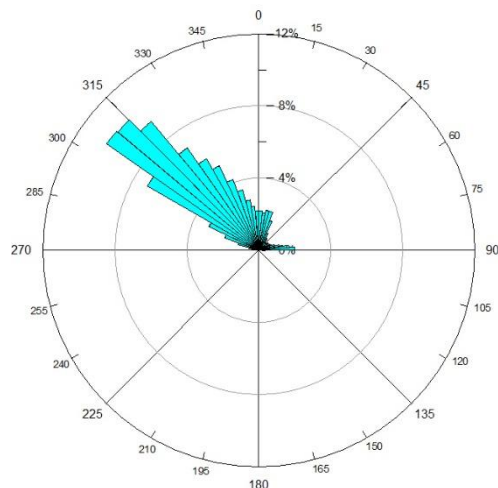


Fig. 19 - Diagrama de direcção média nos 36 anos para P5.

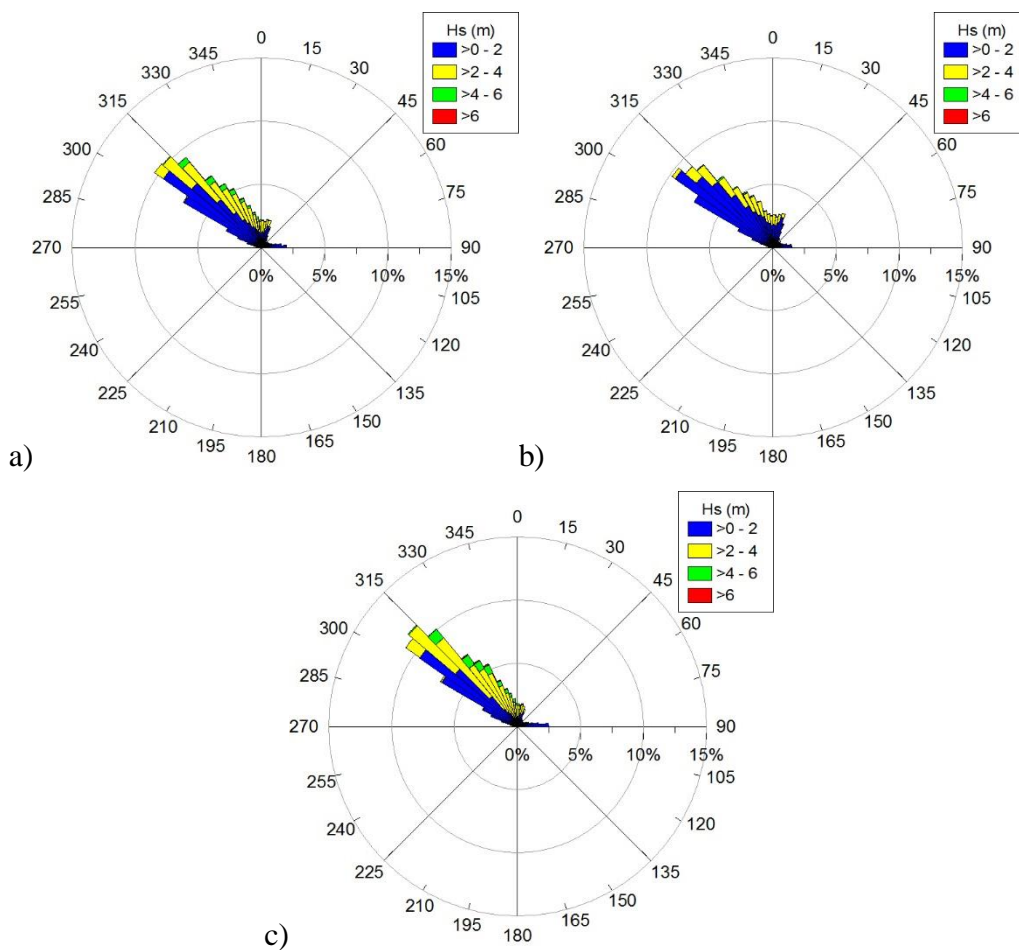


Fig. 20 - Diagrama Hs- Θ m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P5.

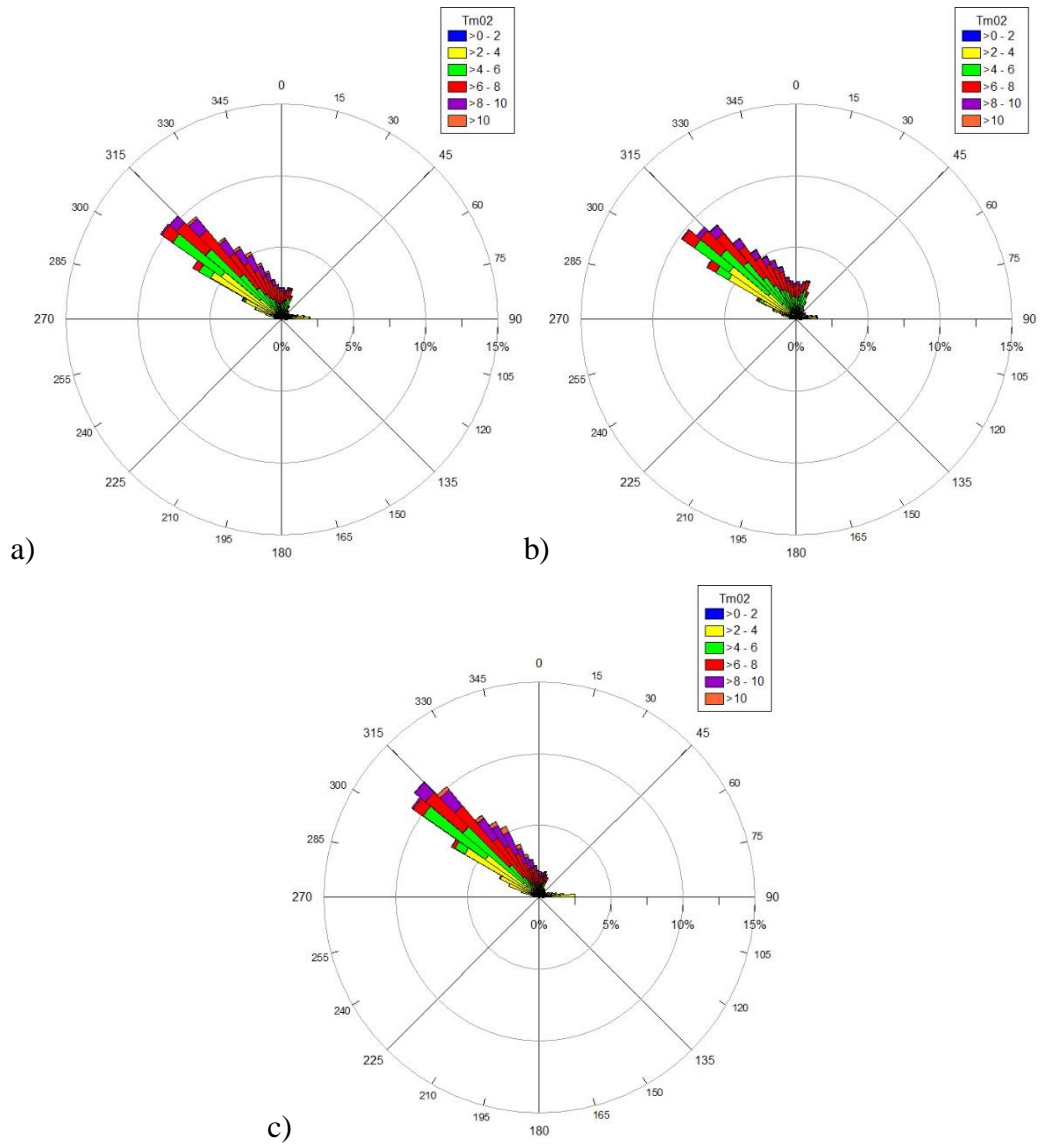


Fig. 21 - Diagrama Tm02- Θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P5.

tabela C - Dados estatísticos de P5 para os 36 anos de estudo.

| | P5 | | | | |
|----------------------|-------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.616 | 9.761 | 252.758 | 5.081 | 255.559 |
| Mediana | 1.420 | 10.070 | 307.500 | 5.000 | 311.290 |
| Desvio Padrão | 1.055 | 3.146 | 116.346 | 2.129 | 119.259 |
| Moda | 0.420 | 11.140 | 307.500 | 2.340 | 304.580 |
| Variância | 1.113 | 9.897 | 13536.491 | 4.531 | 14222.657 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 9.980 | 18.460 | 352.500 | 13.270 | 360.000 |
| Mínimo | 0.020 | 2.210 | 7.500 | 1.520 | 0.010 |
| Intervalo | 9.960 | 16.250 | 345.000 | 11.750 | 359.990 |

Anexo 4

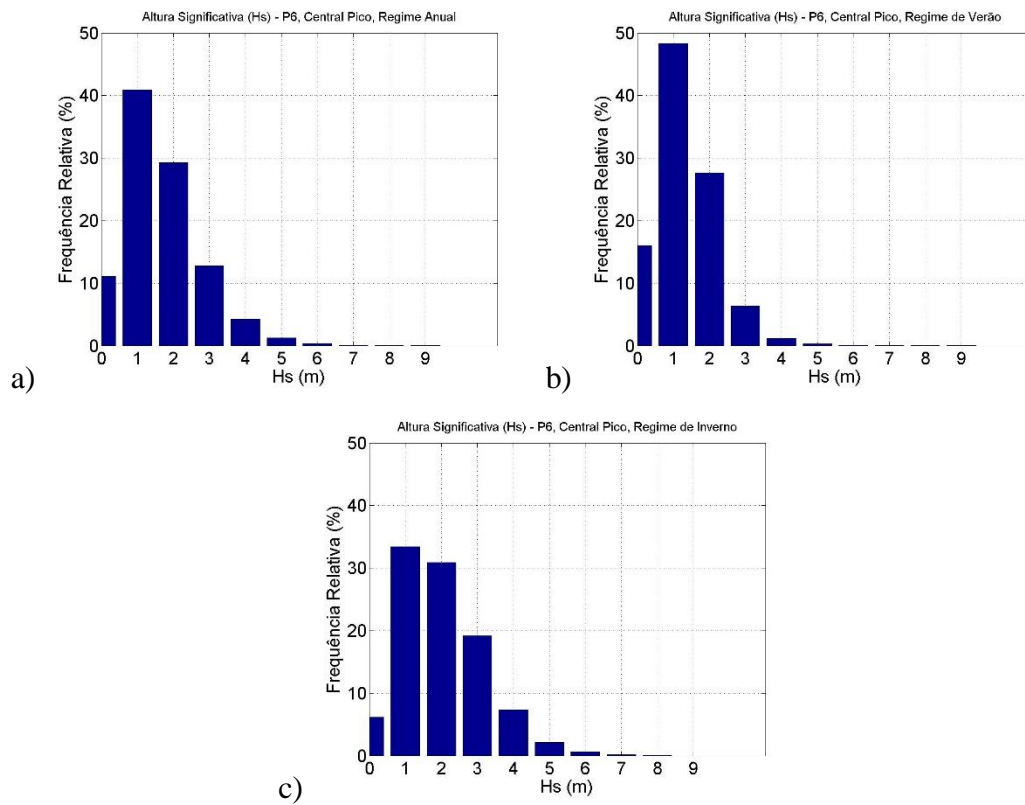


Fig. 22 - Histogramas Hs de P6 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

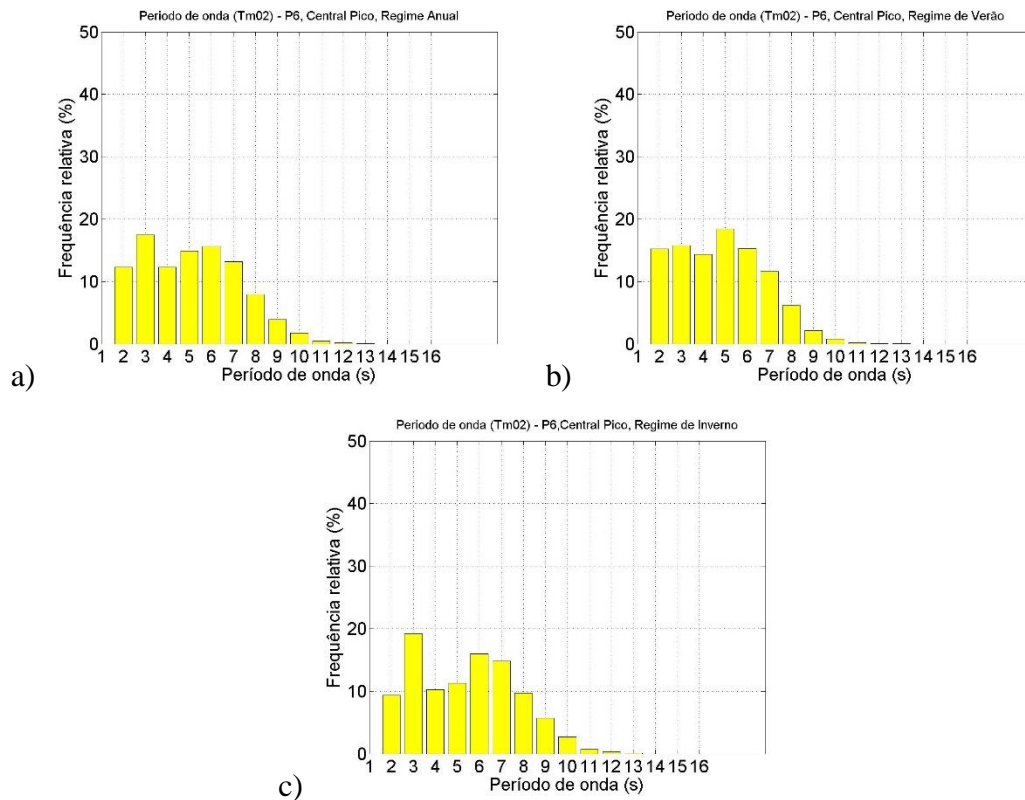


Fig. 23 - Histogramas Tm02 de P6 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

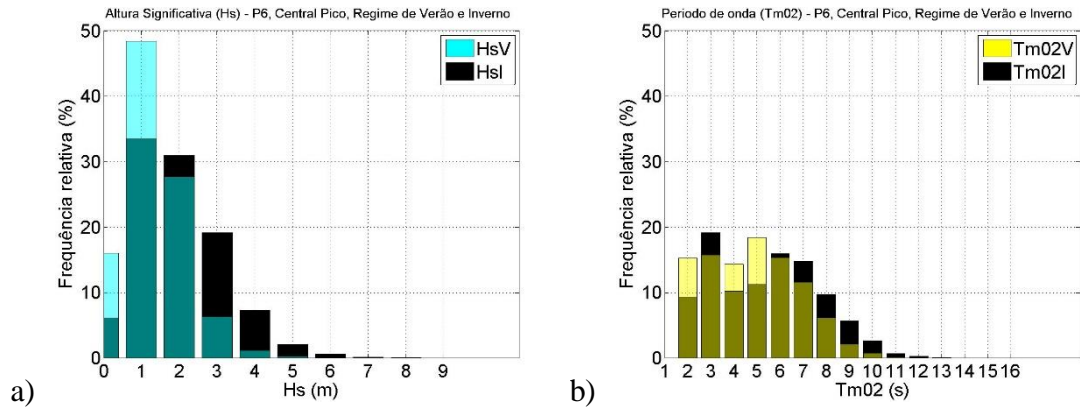


Fig. 24 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a)Hs e b)Tm02 para P6.

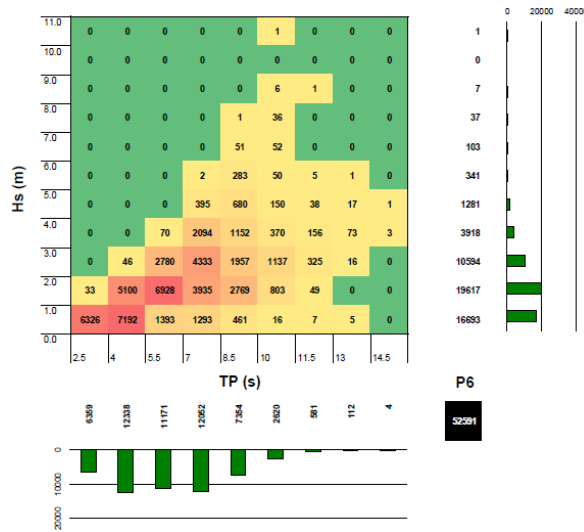


Fig. 25 - Histogramas Hs-TP para P6.

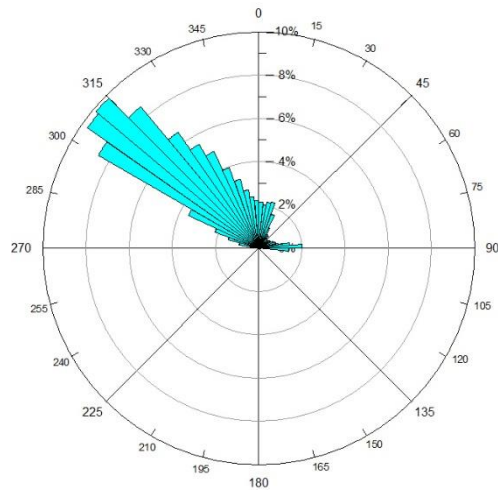


Fig. 26 - Diagrama de direcção média nos 36 anos para P6.

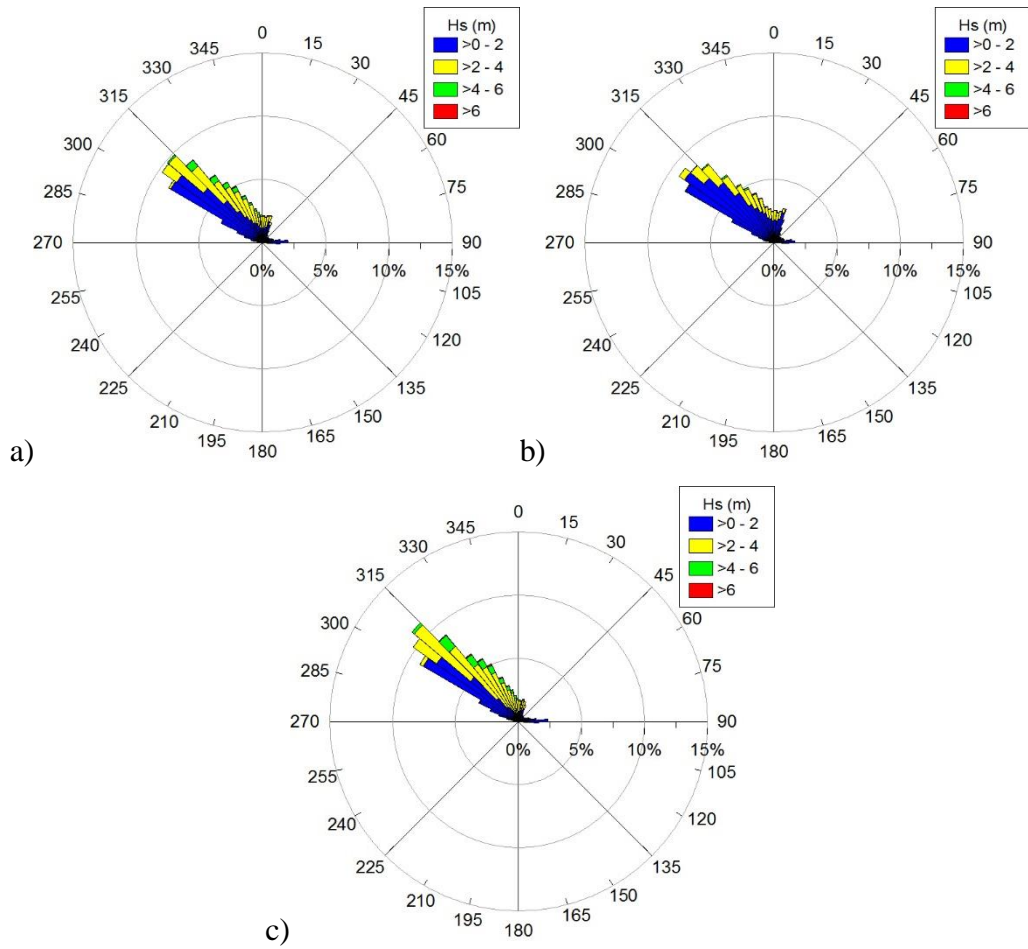
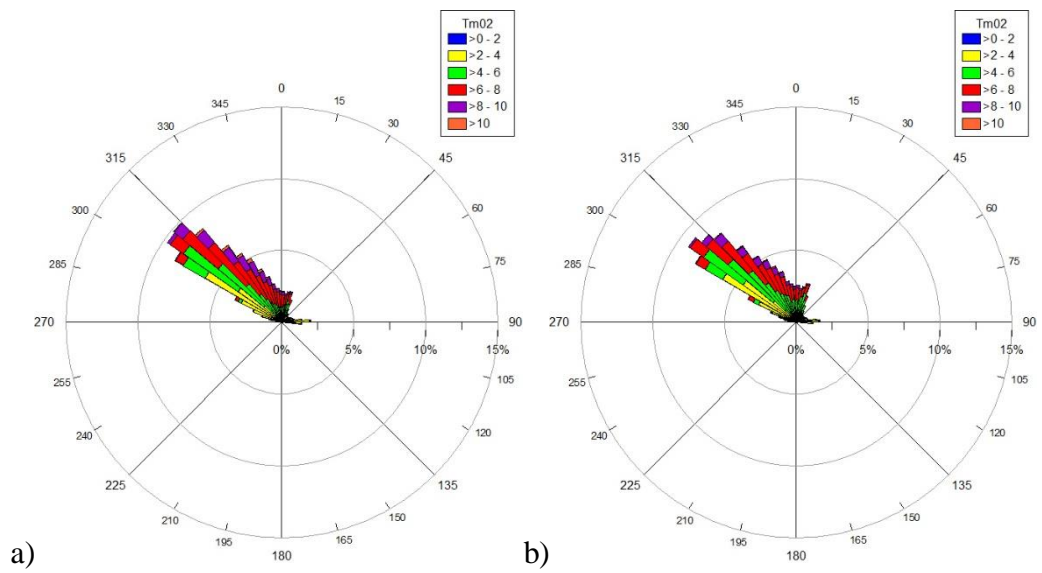


Fig. 27 - Diagrama H_s - Θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P6.



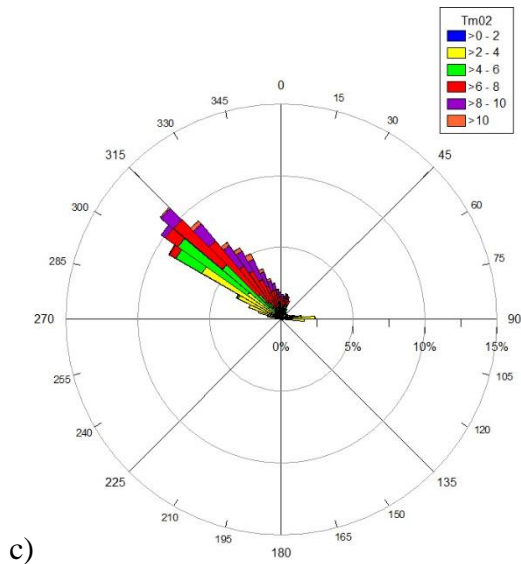
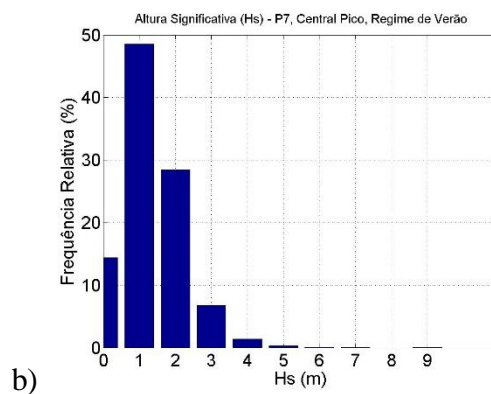
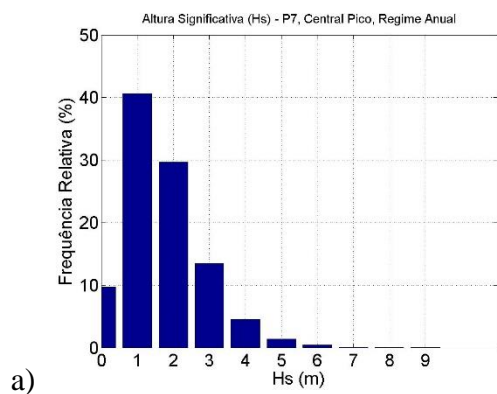


Fig. 28 - Diagrama Tm02- Θ m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P6.

tabela D - Dados estatísticos de P6 para os 36 anos de estudo.

| | P6 | | | | |
|----------------------|--------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.647 | 9.809 | 251.806 | 5.115 | 255.064 |
| Mediana | 1.450 | 10.070 | 307.500 | 5.035 | 309.990 |
| Desvio Padrão | 1.063 | 3.096 | 115.540 | 2.122 | 118.141 |
| Moda | 0.520 | 11.140 | 307.500 | 2.350 | 306.450 |
| Variância | 1.129 | 9.588 | 13349.596 | 4.503 | 13957.254 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 10.080 | 18.460 | 352.500 | 13.220 | 360.000 |
| Mínimo | 0.020 | 2.210 | 7.500 | 1.530 | 0.000 |
| Intervalo | 10.060 | 16.250 | 345.000 | 11.690 | 360.000 |

Anexo 5



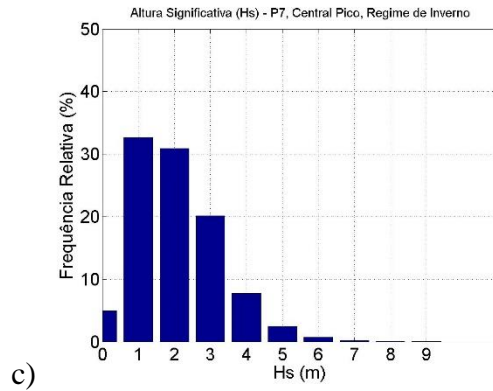


Fig. 29 - Histogramas Hs de P7 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

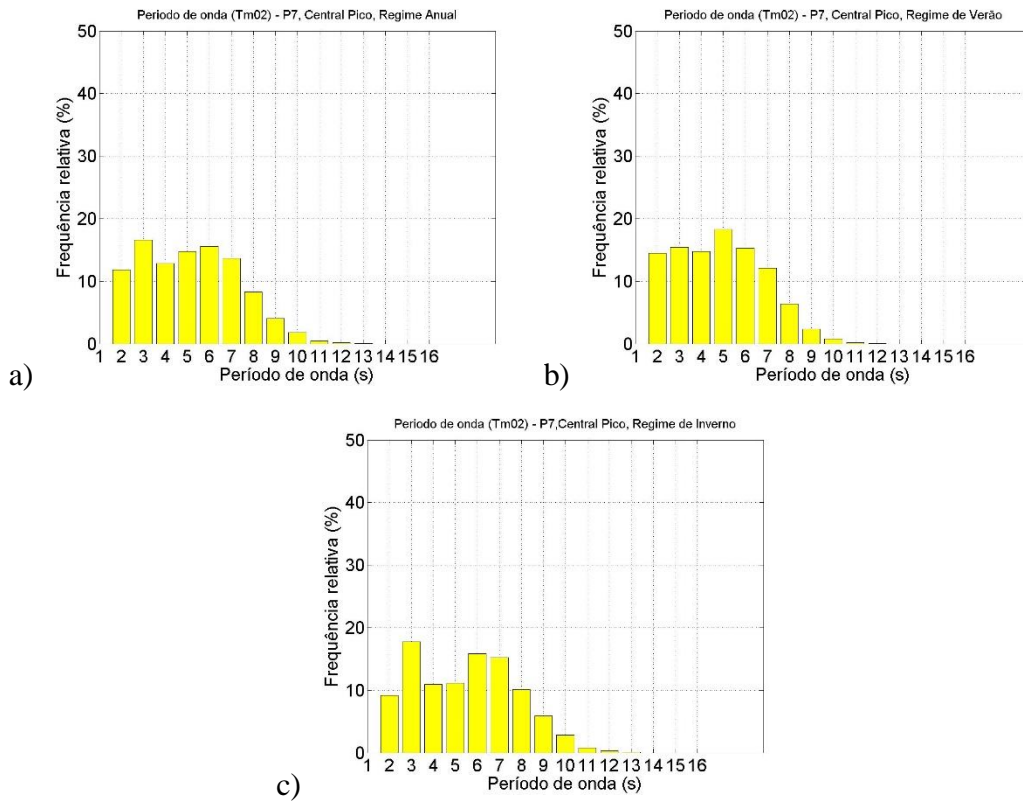


Fig. 30 - Histogramas Tm02 de P7 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

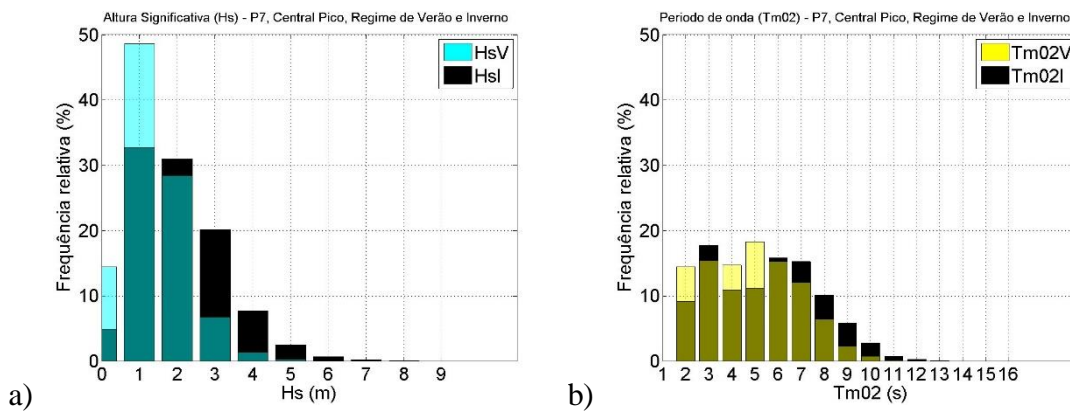


Fig. 31 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a)Hs e b)Tm02 para P7.

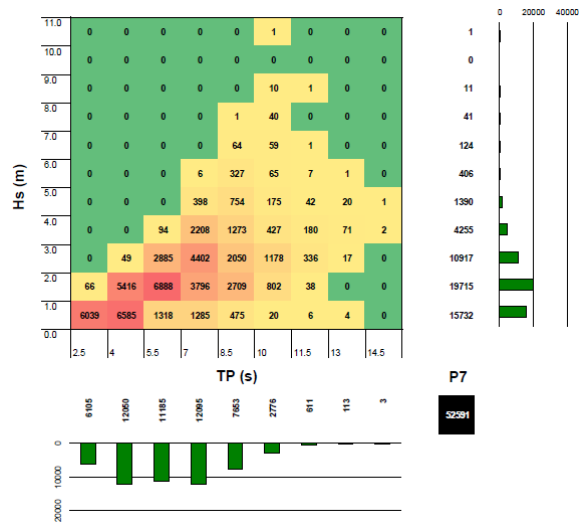


Fig. 32 - Histogramas Hs-TP para P7.

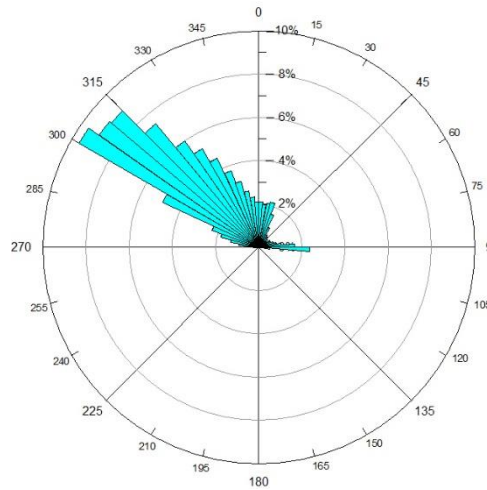
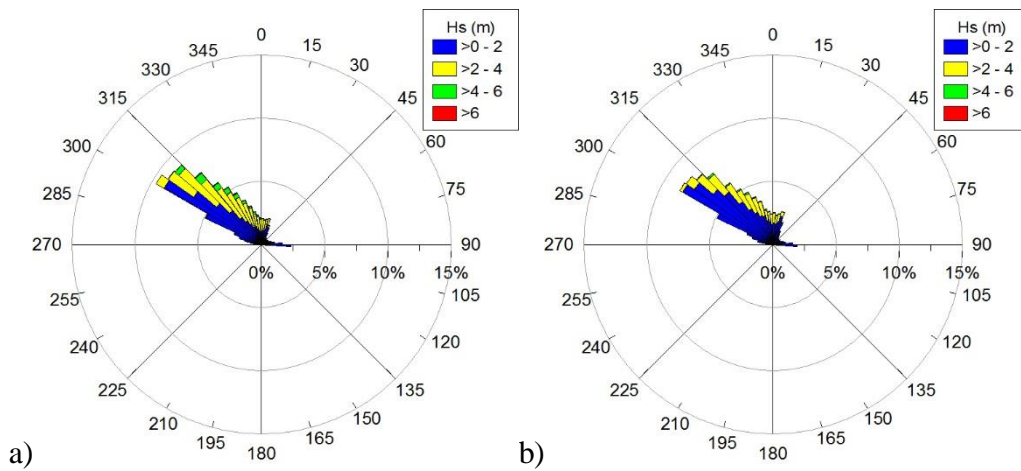


Fig. 33 - Diagrama de direcção média nos 36 anos para P7.



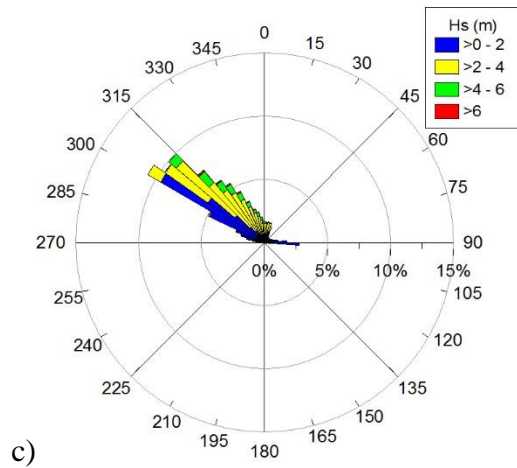


Fig. 34 - Diagrama Hs- Θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P7.

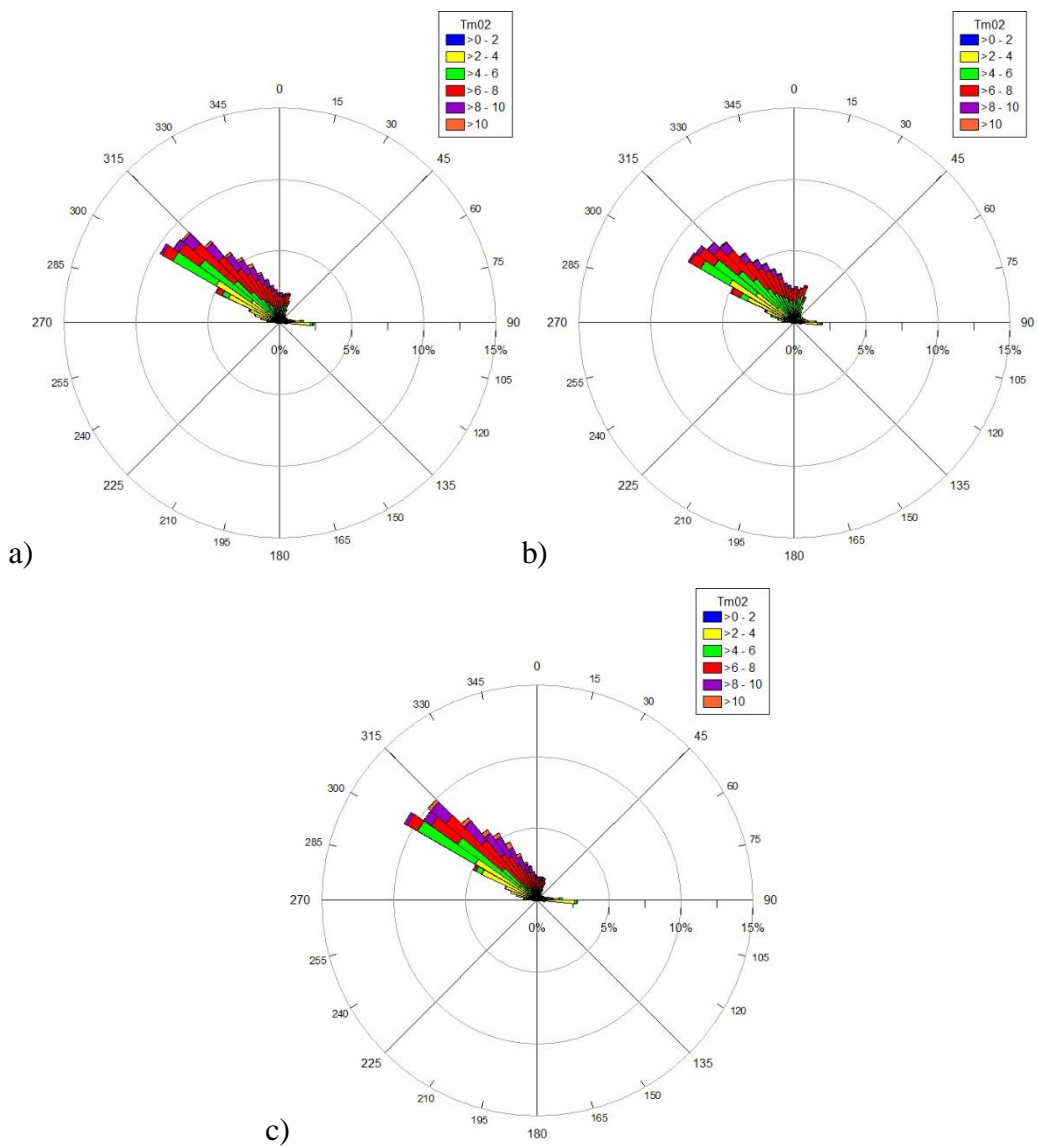


Fig. 35 - Diagrama Tm02- Θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P7.

tabela E - Dados estatísticos de P7 para os 36 anos de estudo.

| | P7 | | | | |
|---------------|--------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.699 | 9.936 | 250.921 | 5.177 | 254.390 |
| Mediana | 1.500 | 10.070 | 307.500 | 5.100 | 307.890 |
| Desvio Padrão | 1.081 | 2.974 | 114.121 | 2.126 | 116.392 |
| Moda | 0.700 | 11.140 | 307.500 | 2.380 | 314.020 |
| Variância | 1.169 | 8.845 | 13023.702 | 4.520 | 13547.191 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 10.310 | 18.460 | 352.500 | 13.220 | 359.990 |
| Mínimo | 0.020 | 2.210 | 7.500 | 1.550 | 0.000 |
| Intervalo | 10.290 | 16.250 | 345.000 | 11.670 | 359.990 |

Anexo 6

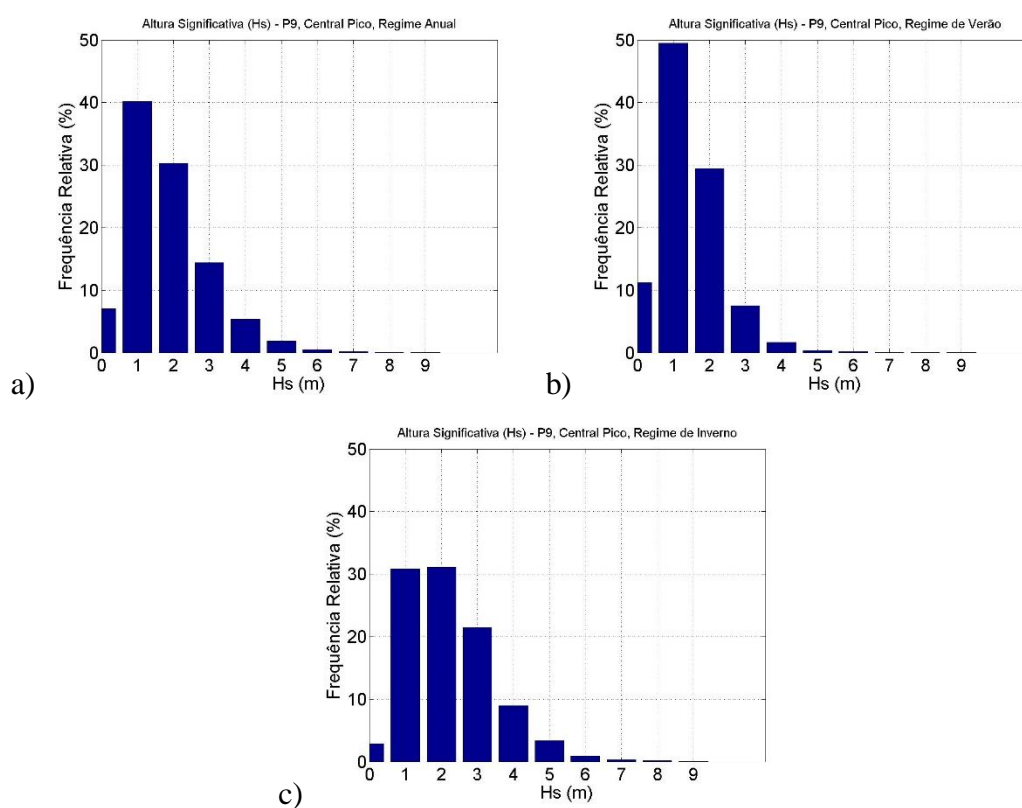
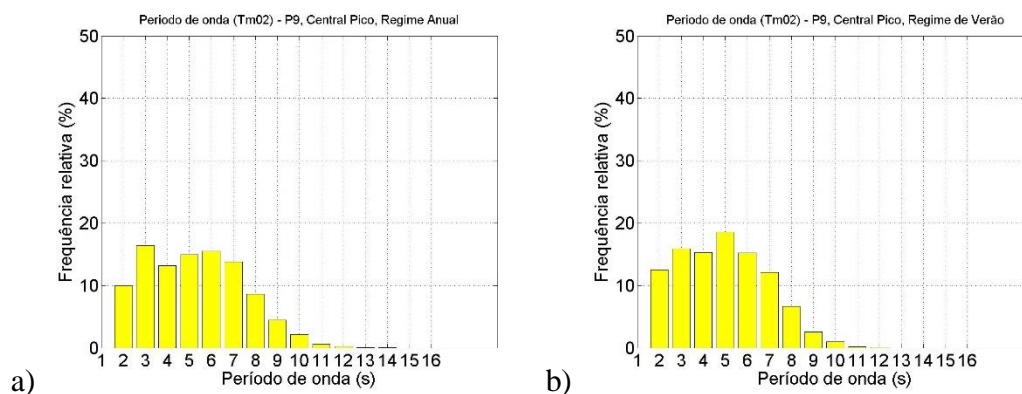


Fig. 36 - Histogramas Hs de P9 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.



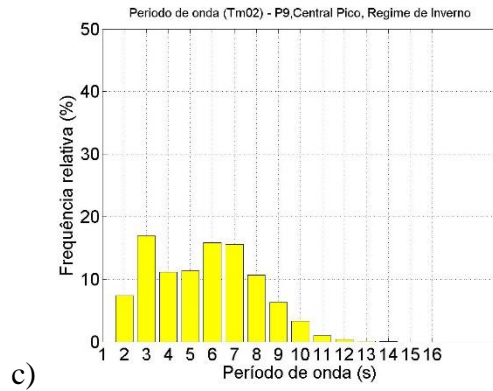


Fig. 37 - Histogramas Tm02 de P9 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

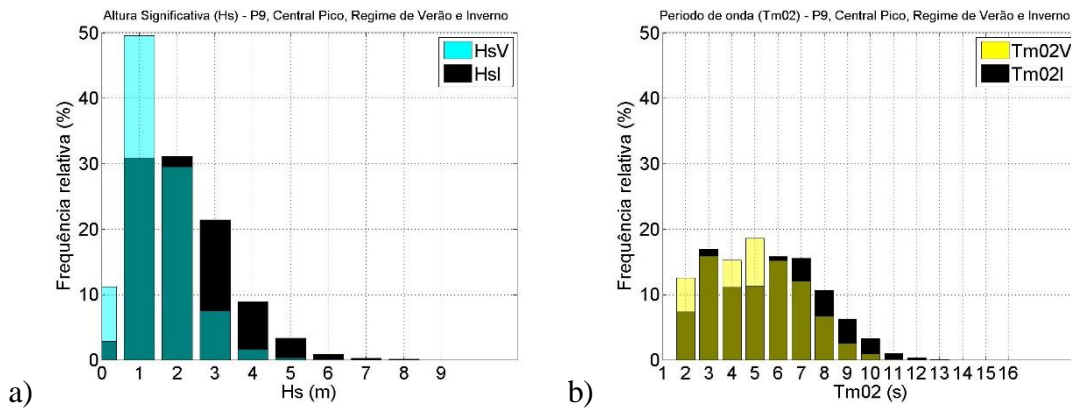


Fig. 38 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a)Hs e b)Tm02 para P9.

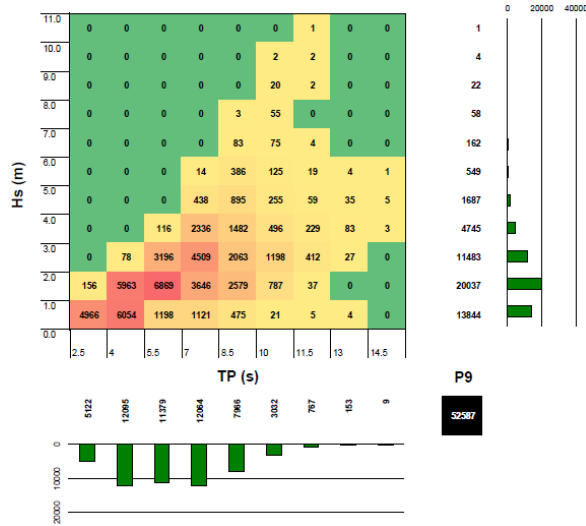


Fig. 39 - Histogramas Hs-TP para P9.

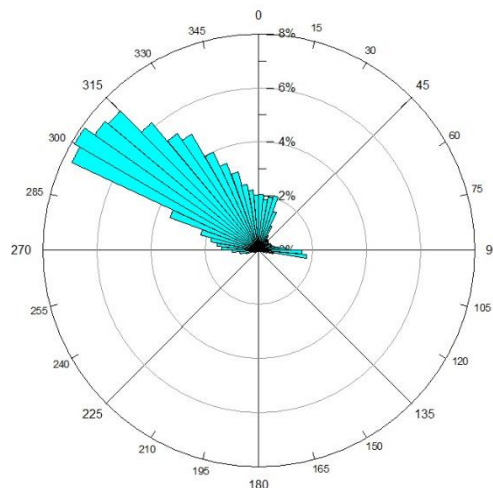


Fig. 40 - Diagrama de direcção média nos 36 anos para P9.

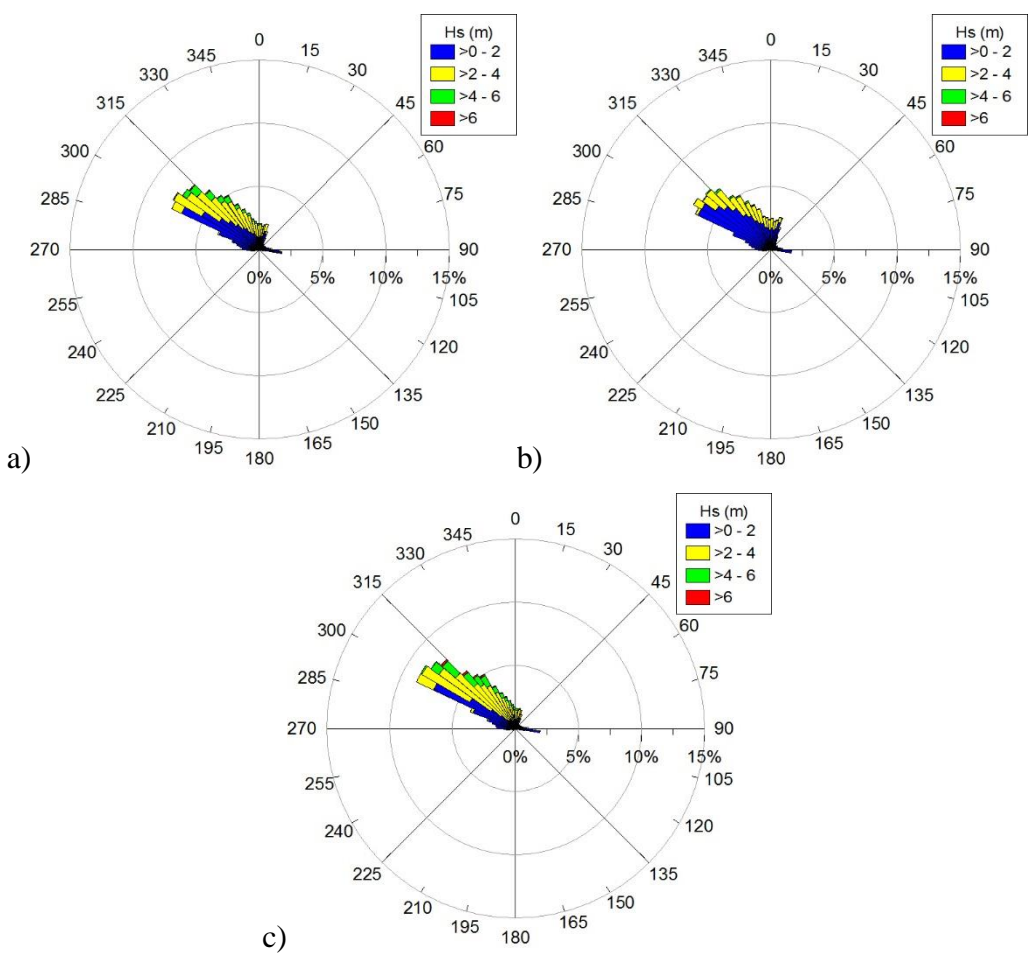


Fig. 41 - Diagrama Hs- Θ m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P9.

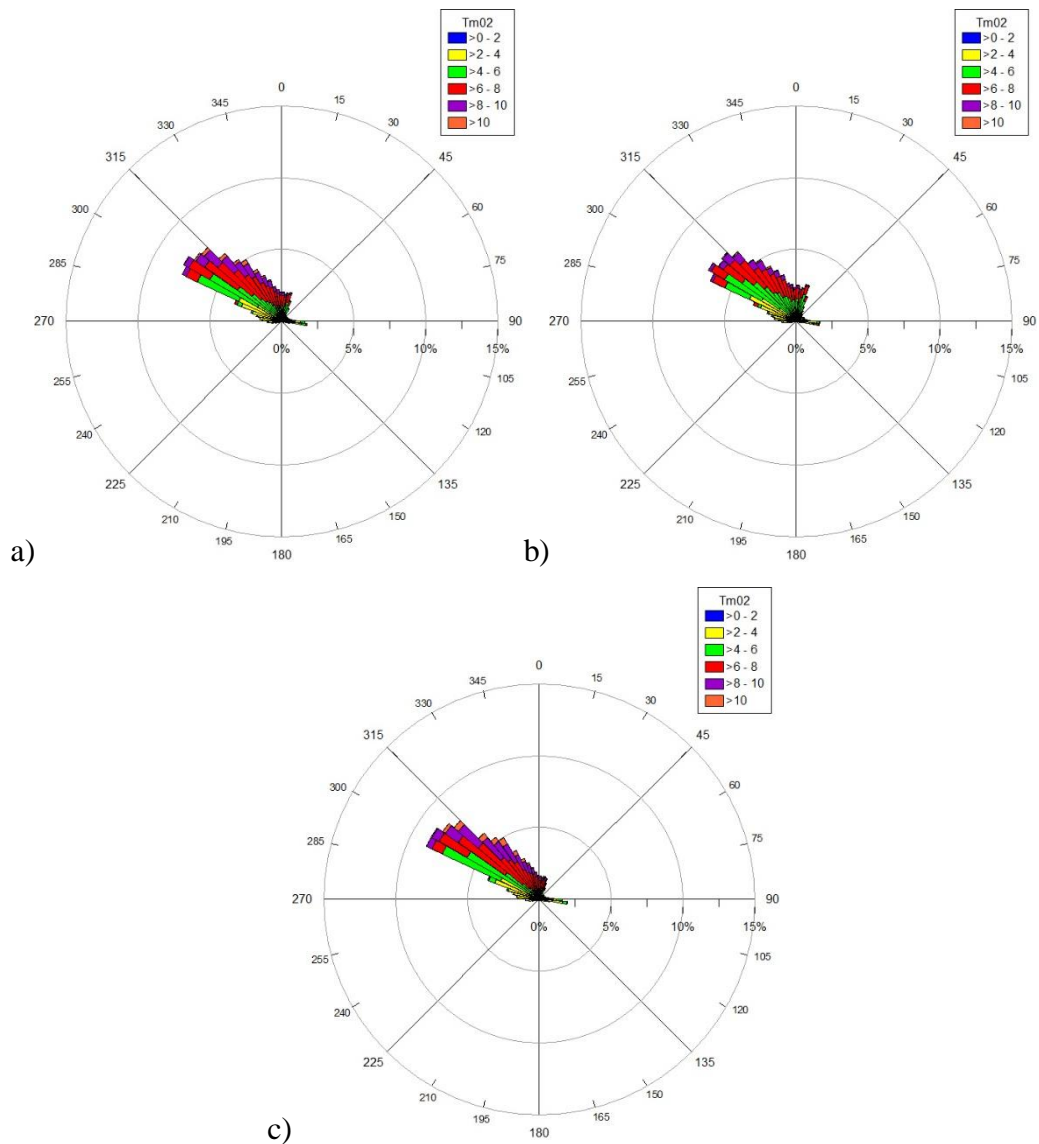


Fig. 42 - Diagrama Tm02- Θ m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P9.

tabela A - Dados estatísticos de P9 para os 36 anos de estudo.

| | P9 | | | | |
|----------------------|--------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.801 | 10.238 | 250.002 | 5.285 | 252.994 |
| Mediana | 1.580 | 10.070 | 307.500 | 5.200 | 303.835 |
| Desvio Padrão | 1.122 | 2.733 | 112.002 | 2.143 | 113.233 |
| Moda | 1.090 | 10.070 | 307.500 | 2.660 | 308.730 |
| Variância | 1.260 | 7.468 | 12544.432 | 4.593 | 12821.686 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 10.880 | 18.460 | 352.500 | 13.560 | 360.000 |
| Mínimo | 0.030 | 2.210 | 7.500 | 1.610 | 0.000 |
| Intervalo | 10.850 | 16.250 | 345.000 | 11.950 | 360.000 |

Anexo 7

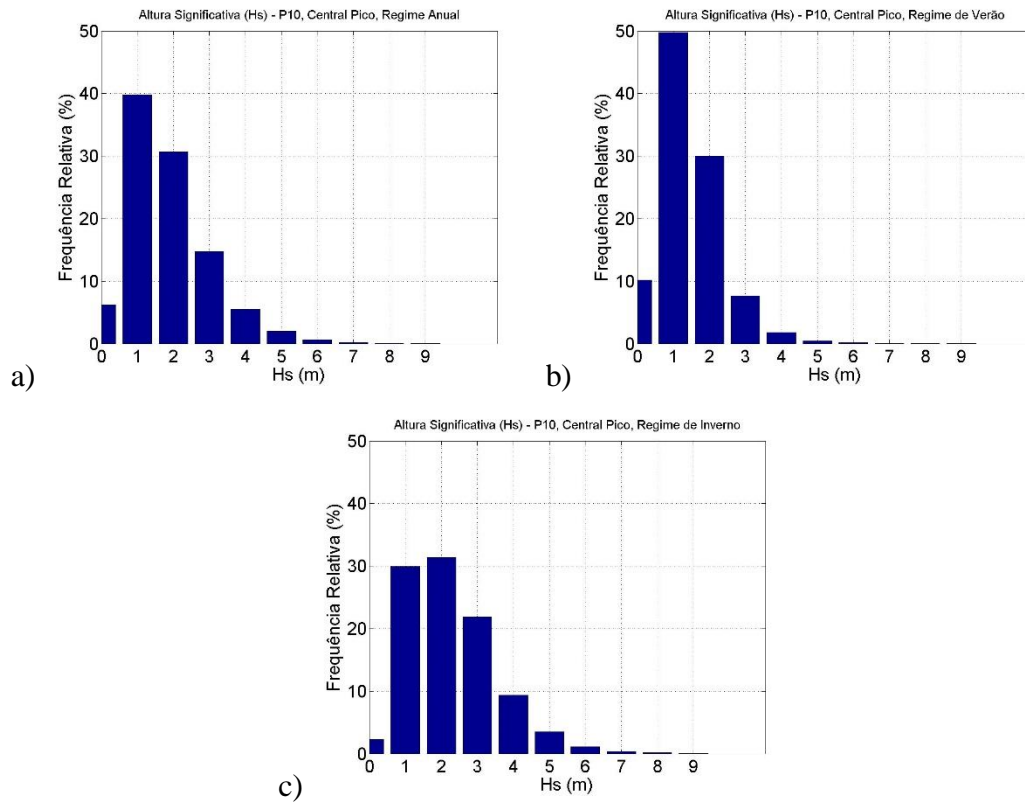


Fig. 43 - Histogramas Hs de P10 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

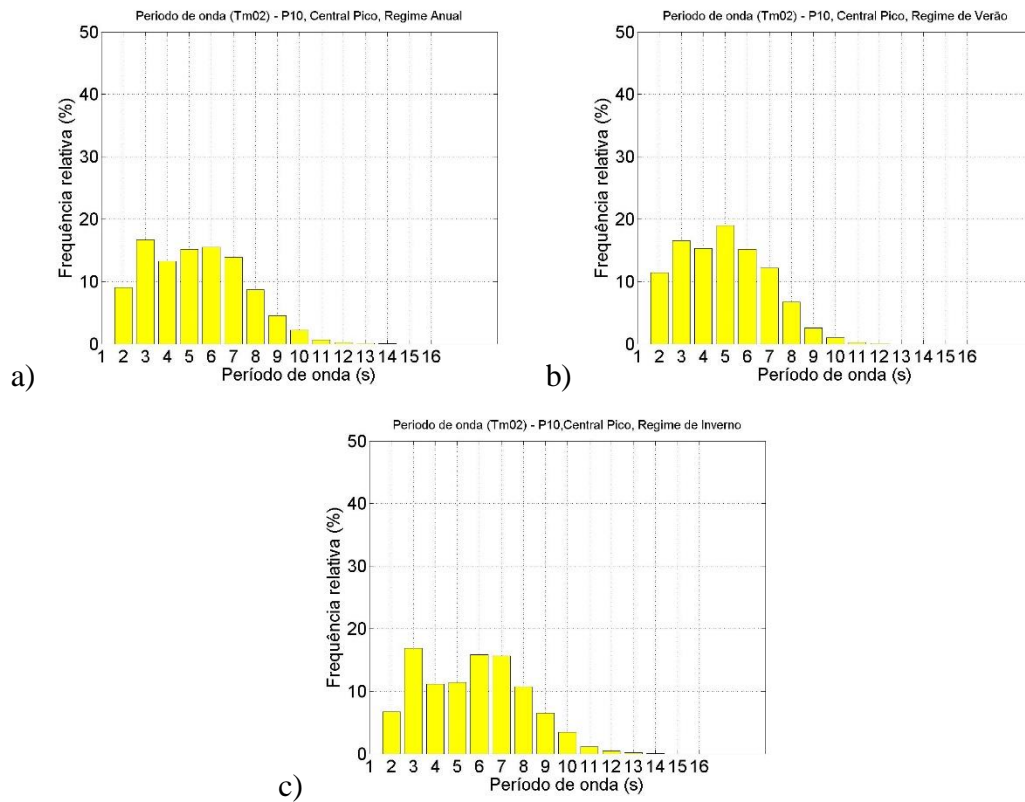


Fig. 44 - Histogramas Tm02 de P10 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

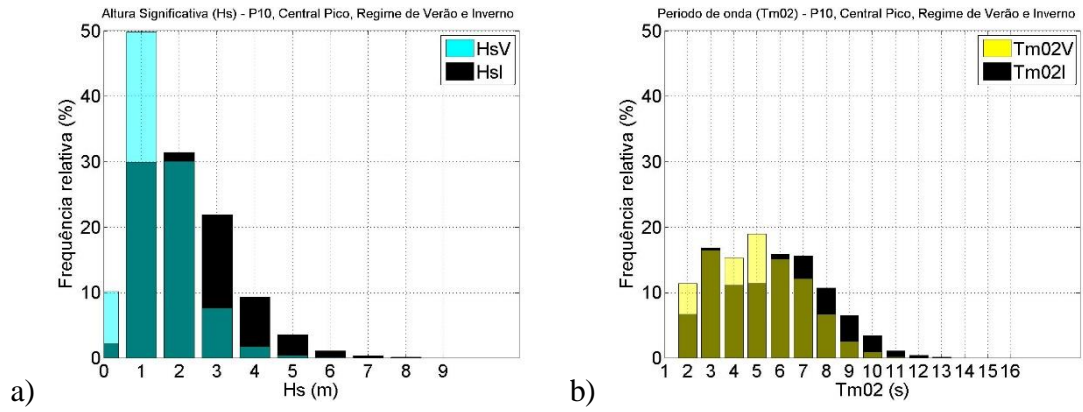


Fig. 45 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a)Hs e b)Tm02 para P10.

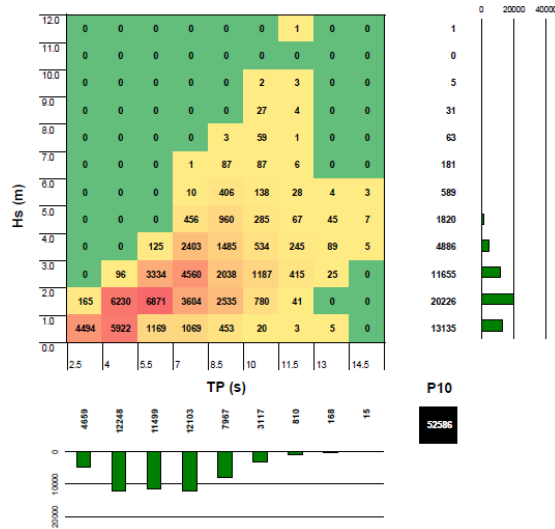


Fig. 46 - Histogramas Hs-TP para P10.

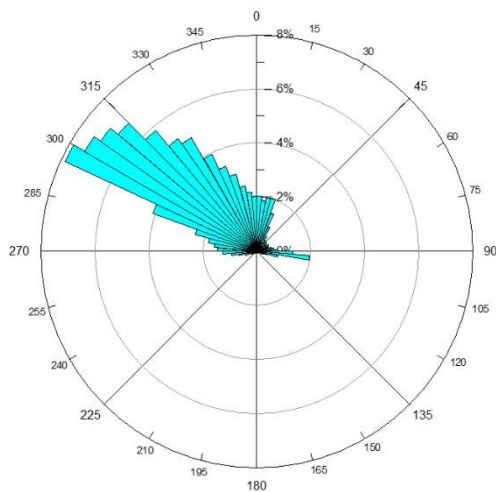


Fig. 47 - Diagrama de direcção média nos 36 anos para P10.

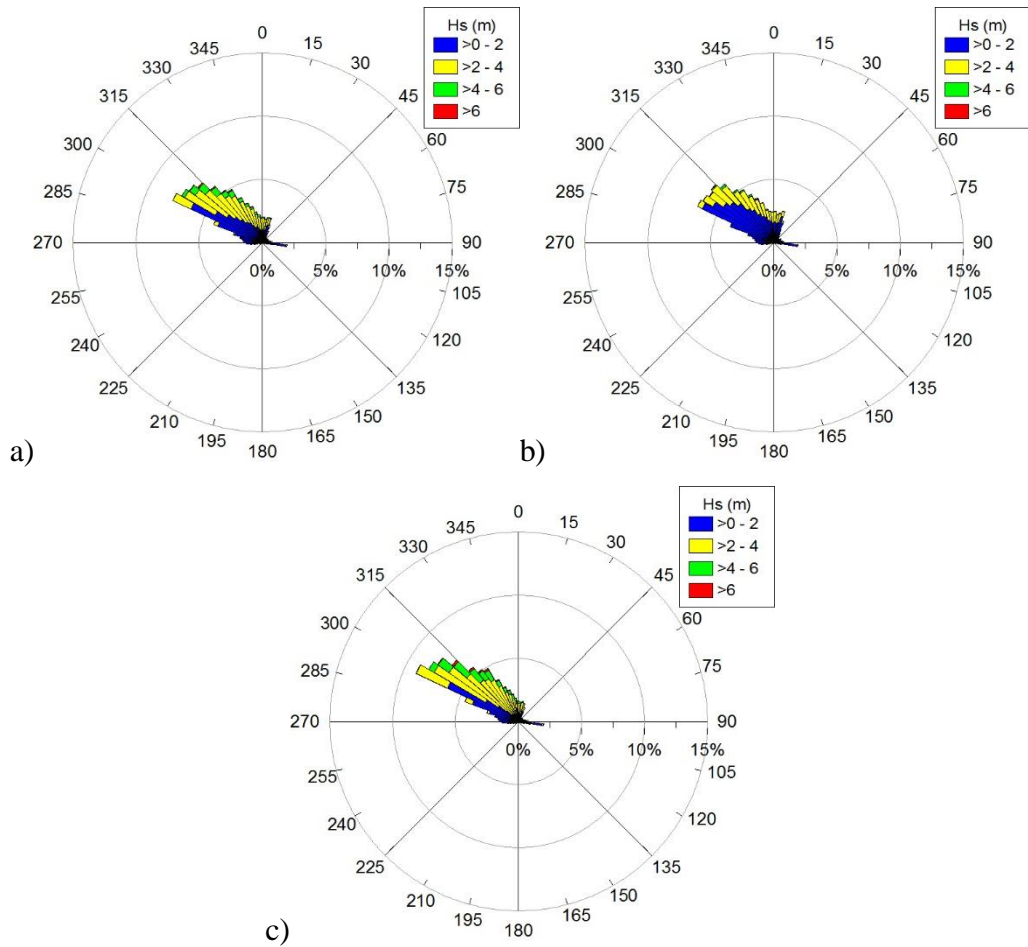
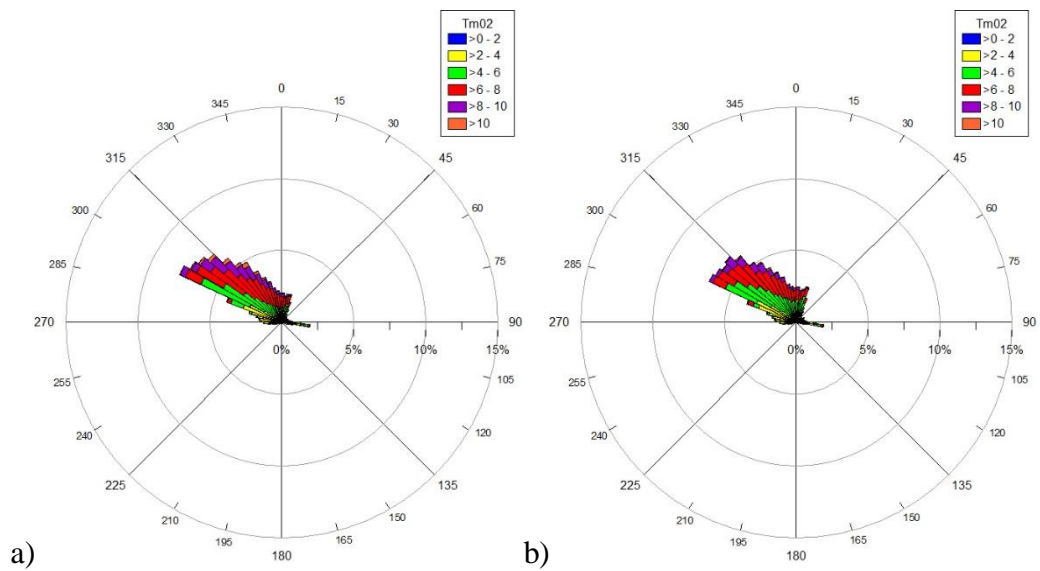


Fig. 48 - Diagrama H_s - Θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P10.



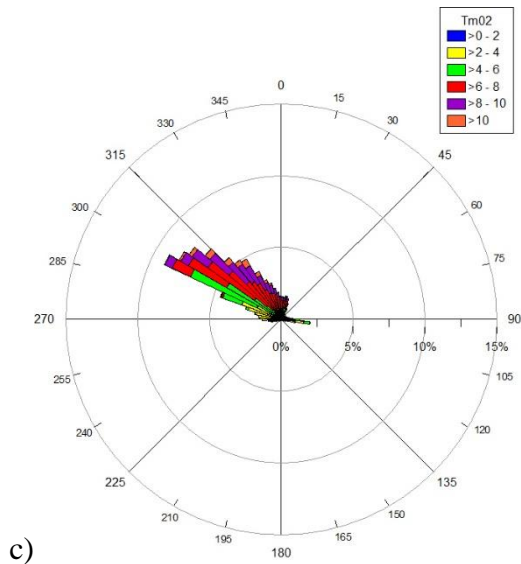
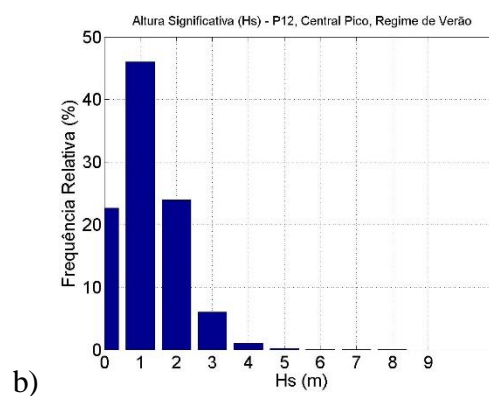
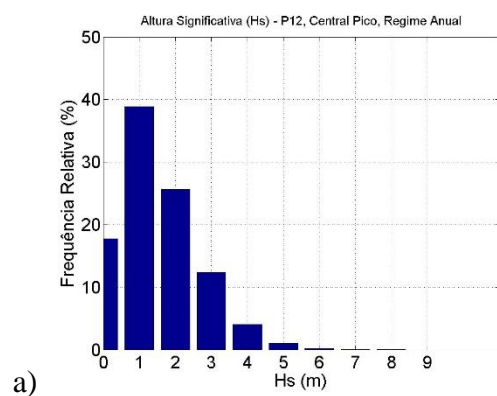


Fig. 49 - Diagrama Tm02- Θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P10.

tabela B - Dados estatísticos de P10 para os 36 anos de estudo.

| | P10 | | | | |
|----------------------|--------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.837 | 10.209 | 249.239 | 5.320 | 252.375 |
| Mediana | 1.600 | 10.070 | 292.500 | 5.230 | 302.480 |
| Desvio Padrão | 1.136 | 2.783 | 111.115 | 2.141 | 112.295 |
| Moda | 1.390 | 11.140 | 292.500 | 2.540 | 298.120 |
| Variância | 1.290 | 7.745 | 12346.623 | 4.585 | 12610.223 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 11.060 | 18.460 | 352.500 | 13.790 | 359.990 |
| Mínimo | 0.030 | 2.210 | 7.500 | 1.640 | 0.020 |
| Intervalo | 11.030 | 16.250 | 345.000 | 12.150 | 359.970 |

Anexo 8



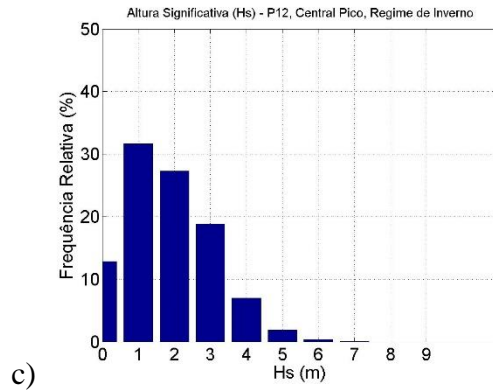


Fig. 50 - Histogramas Hs de P12 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

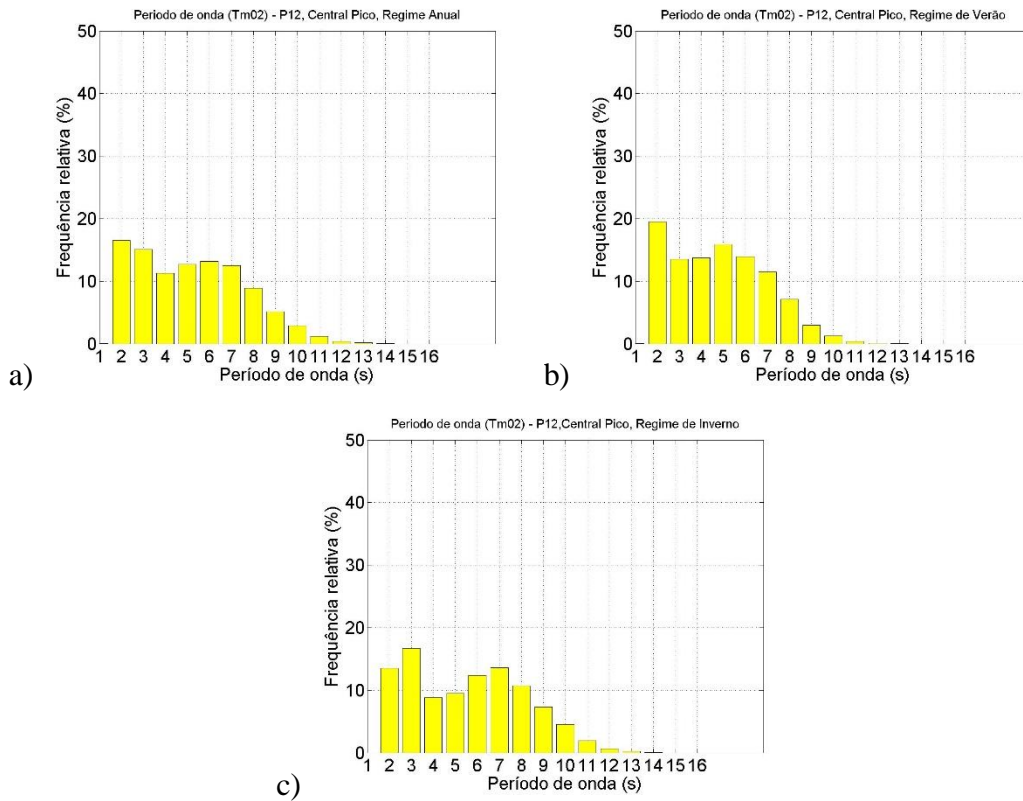


Fig. 51 - Histogramas Tm02 de P12 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

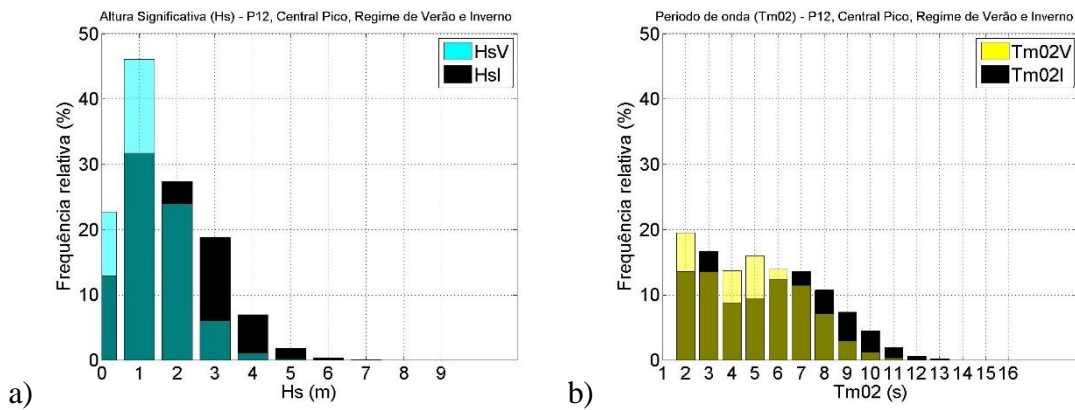


Fig. 52 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a)Hs e b)Tm02 para P12.

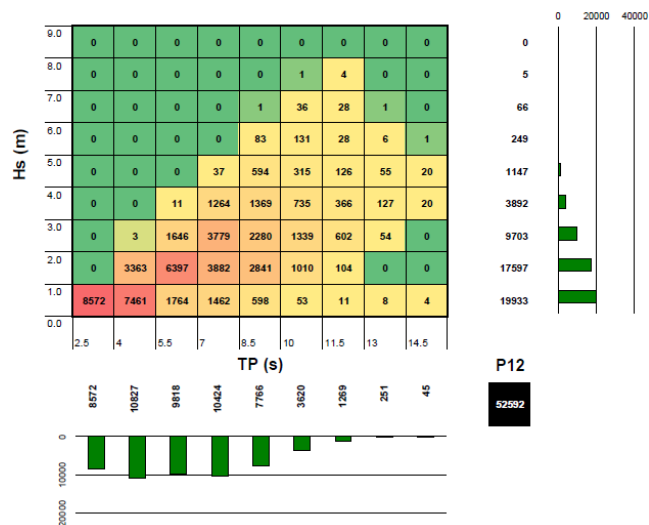


Fig. 53 - Histogramas Hs-TP para P12.

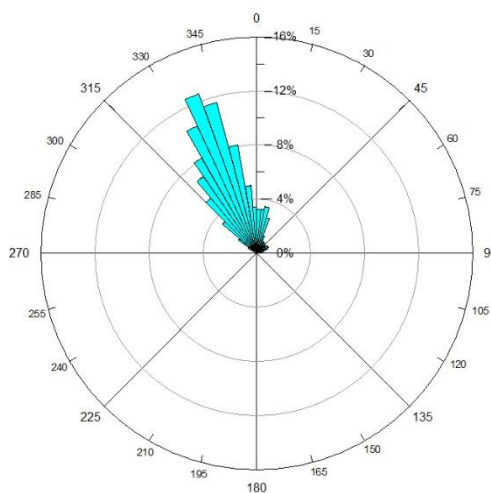
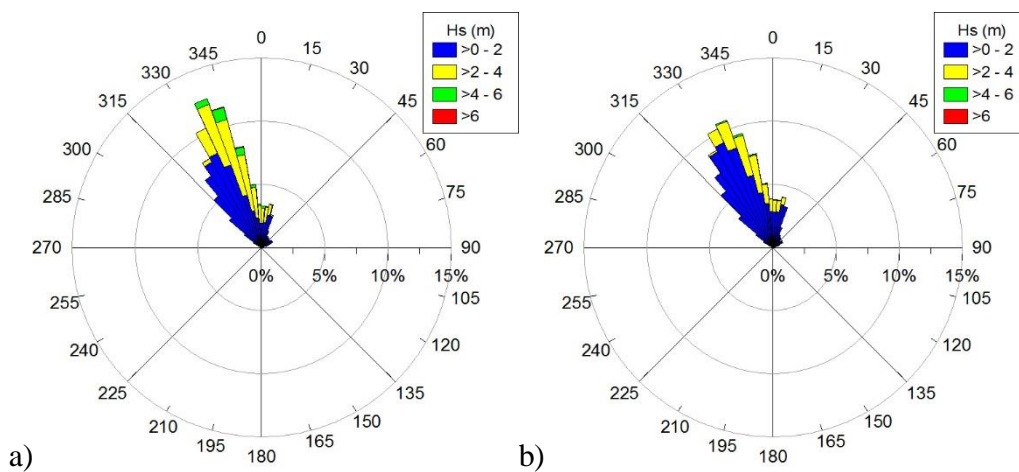


Fig. 54 - Diagrama de direcção média nos 36 anos para P12.



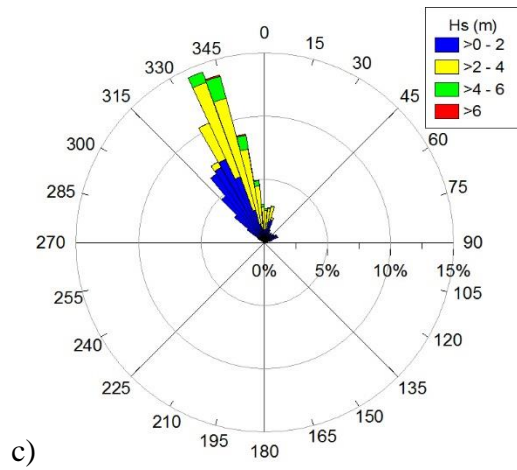


Fig. 55 - Diagrama Hs- Θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P12.

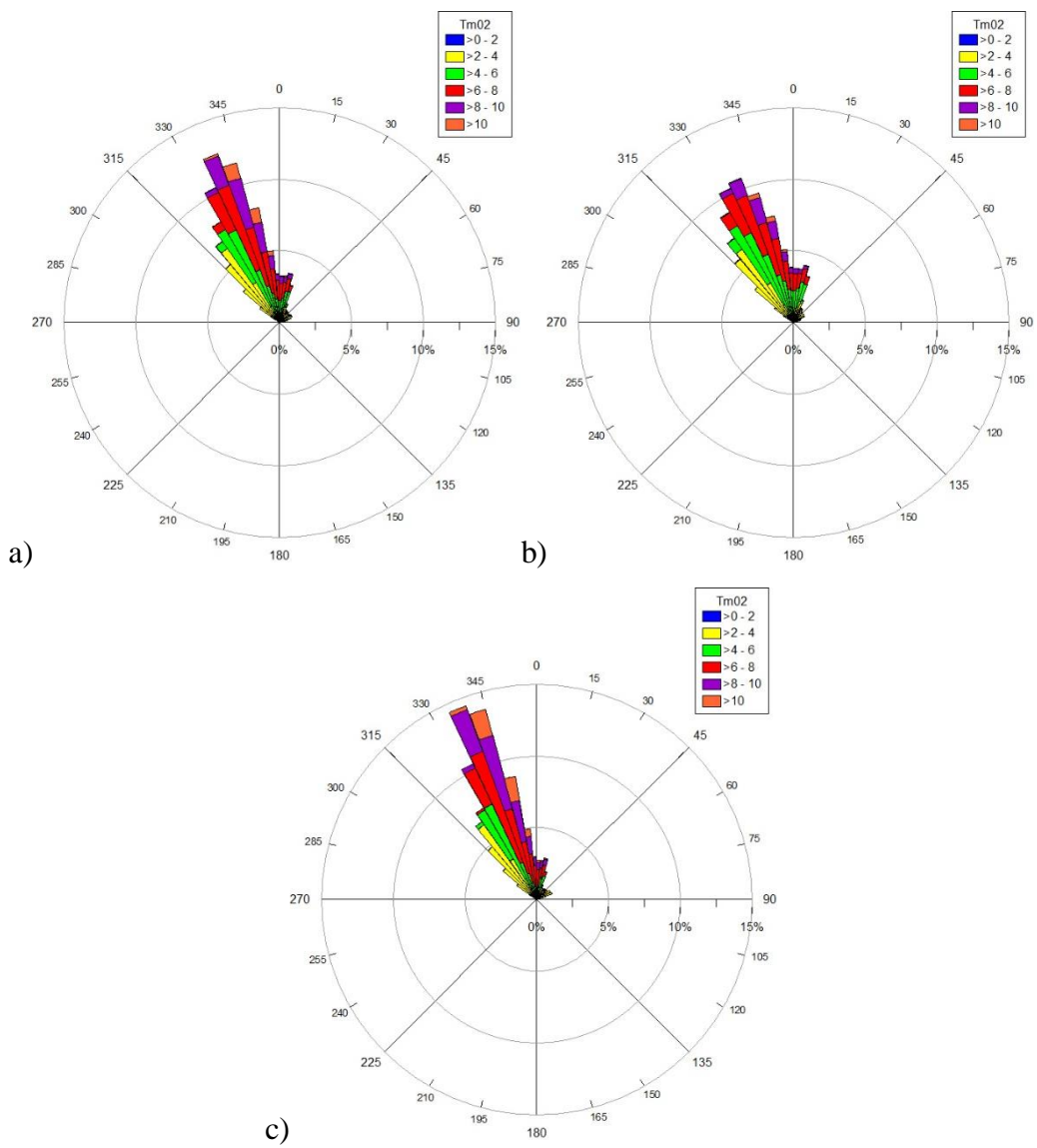


Fig. 56 - Diagrama Tm02- Θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P12.

tabela C - Dados estatísticos de P12 para os 36 anos de estudo.

| | P12 | | | | |
|---------------|-------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.528 | 9.853 | 262.584 | 5.218 | 264.153 |
| Mediana | 1.320 | 10.070 | 322.500 | 5.060 | 330.570 |
| Desvio Padrão | 1.064 | 3.256 | 128.066 | 2.388 | 130.587 |
| Moda | 0.440 | 11.140 | 337.500 | 2.140 | 335.800 |
| Variância | 1.132 | 10.600 | 16400.838 | 5.702 | 17052.917 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 7.800 | 18.460 | 352.500 | 14.400 | 360.000 |
| Mínimo | 0.010 | 2.000 | 7.500 | 1.460 | 0.010 |
| Intervalo | 7.790 | 16.460 | 345.000 | 12.940 | 359.990 |

Anexo 9

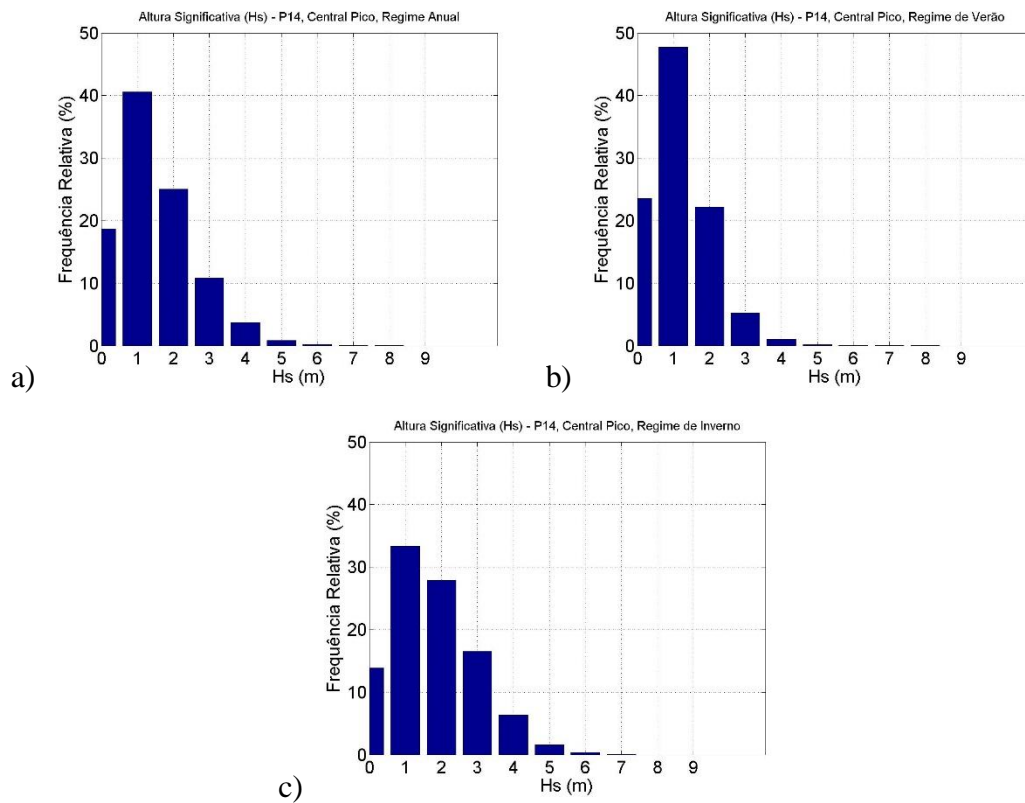
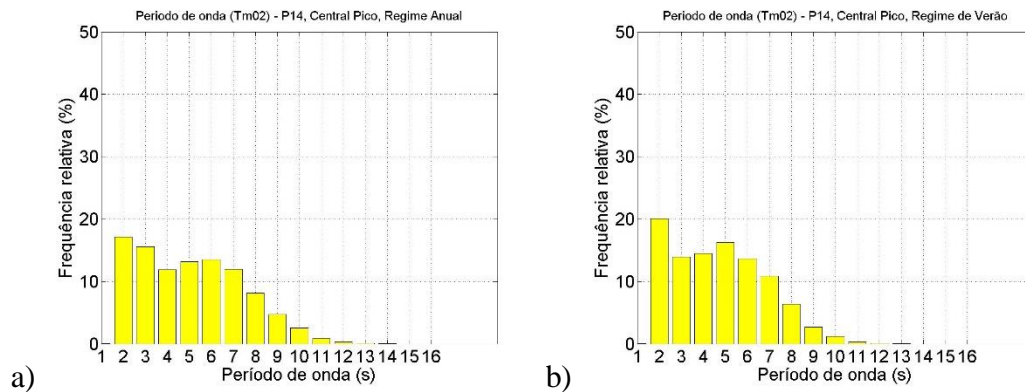


Fig. 57 - Histogramas Hs de P14 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.



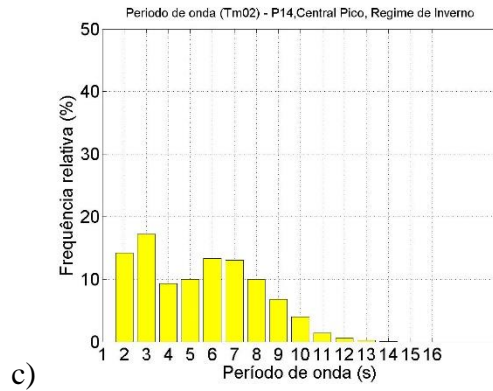


Fig. 58 - Histogramas Tm02 de P14 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

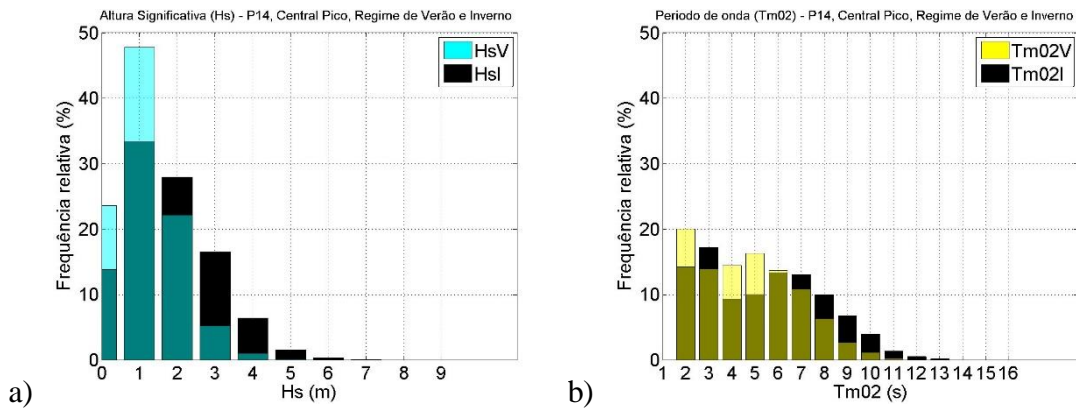


Fig. 59 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a)Hs e b)Tm02 para P14.

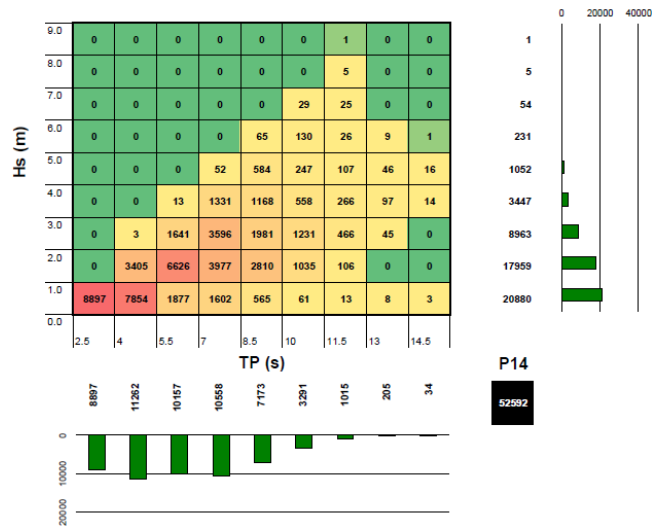


Fig. 60 - Histogramas Hs-TP para P14.

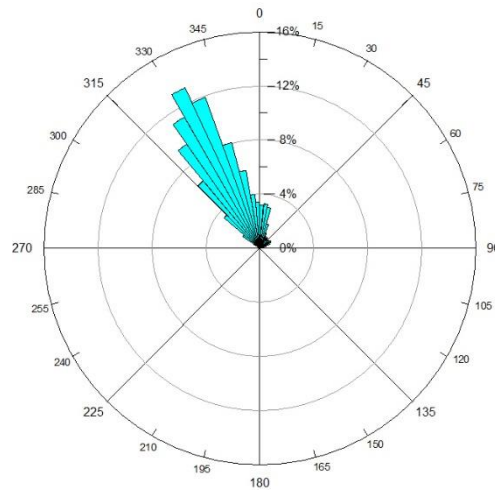


Fig. 61 - Diagrama de direcção média nos 36 anos para P14.

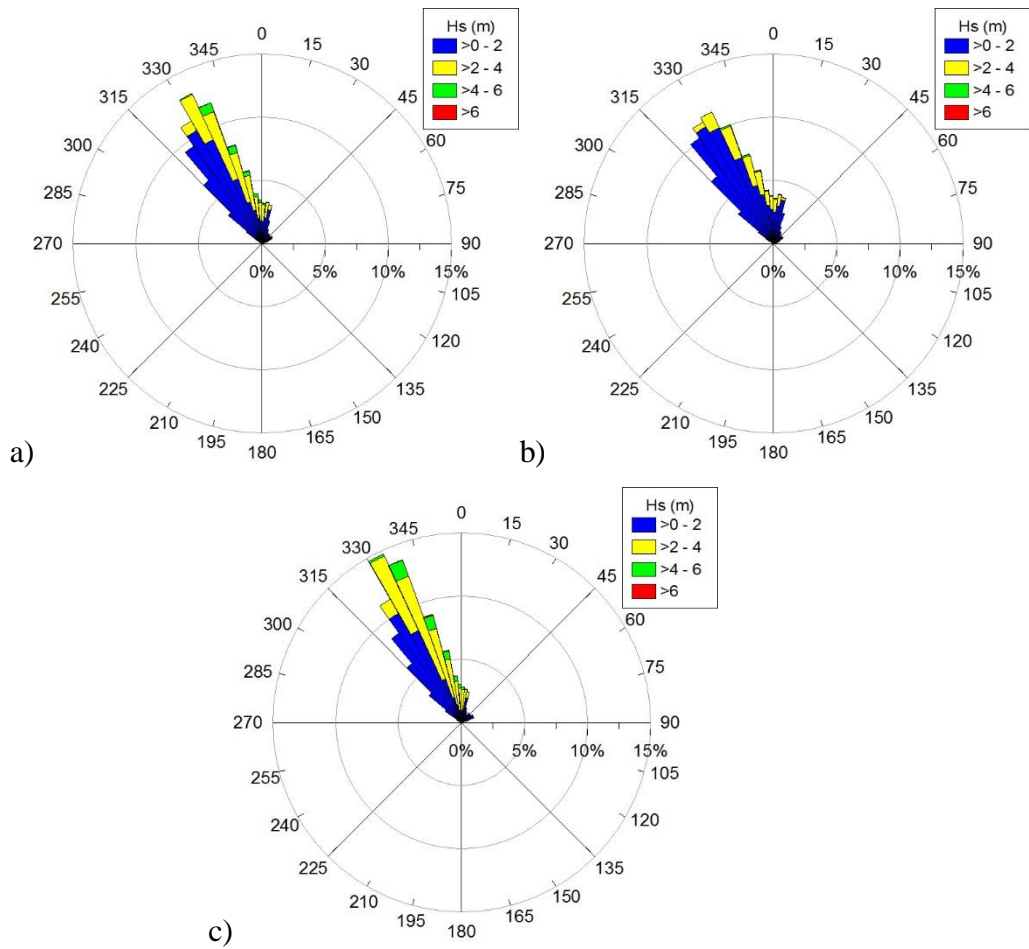


Fig. 62 - Diagrama Hs-Θm para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P14.

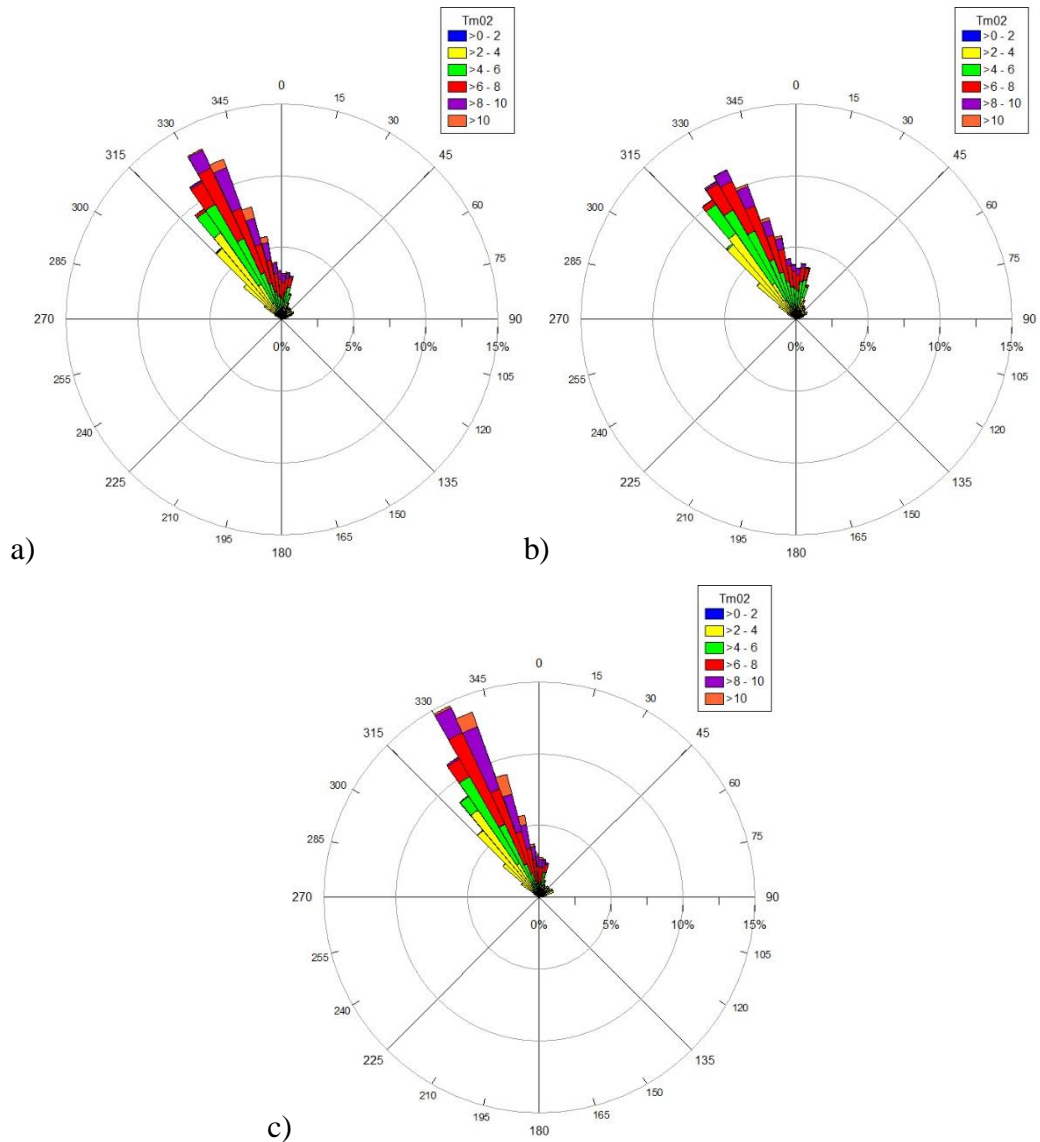


Fig. 63 - Diagrama Tm02- Θ m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P14.

tabela D - Dados estatísticos de P14 para os 36 anos de estudo.

| | P14 | | | | |
|----------------------|-------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.467 | 9.764 | 266.802 | 5.091 | 268.204 |
| Mediana | 1.260 | 10.070 | 322.500 | 4.910 | 328.480 |
| Desvio Padrão | 1.038 | 3.301 | 122.738 | 2.326 | 126.001 |
| Moda | 0.340 | 11.140 | 337.500 | 2.110 | 333.360 |
| Variância | 1.078 | 10.894 | 15064.708 | 5.412 | 15876.316 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 8.010 | 18.460 | 352.500 | 14.070 | 359.970 |
| Mínimo | 0.010 | 2.000 | 7.500 | 1.490 | 0.000 |
| Intervalo | 8.000 | 16.460 | 345.000 | 12.580 | 359.970 |

Anexo 10

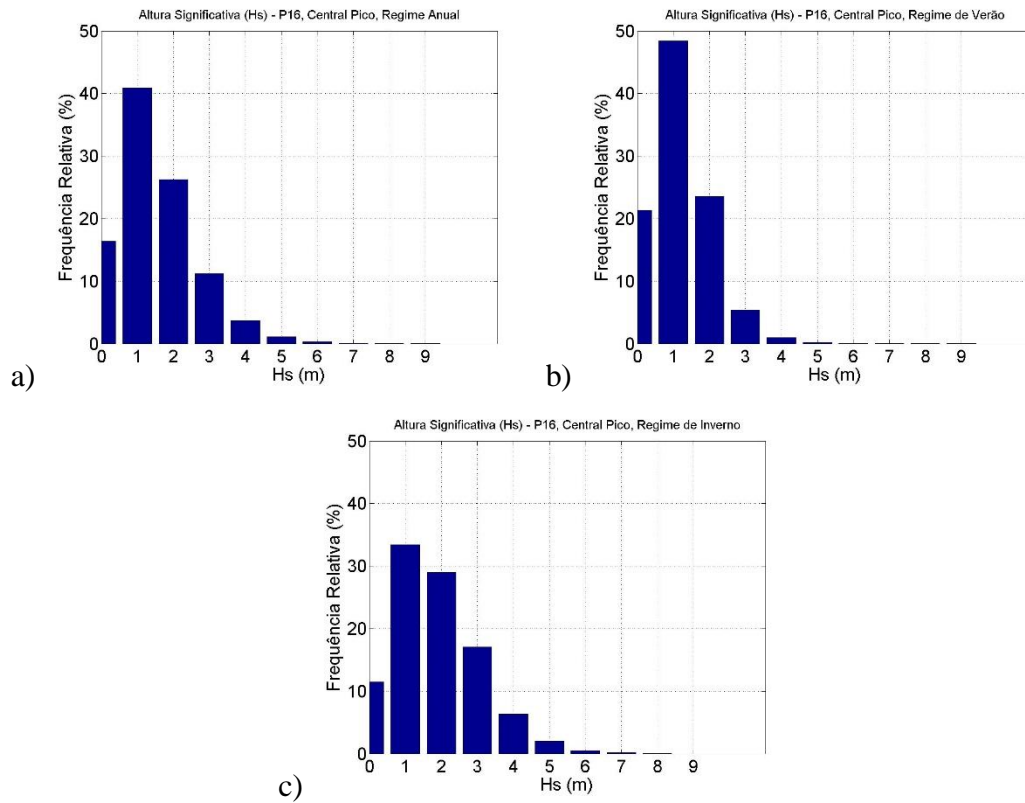


Fig. 64 - Histogramas Hs de P16 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

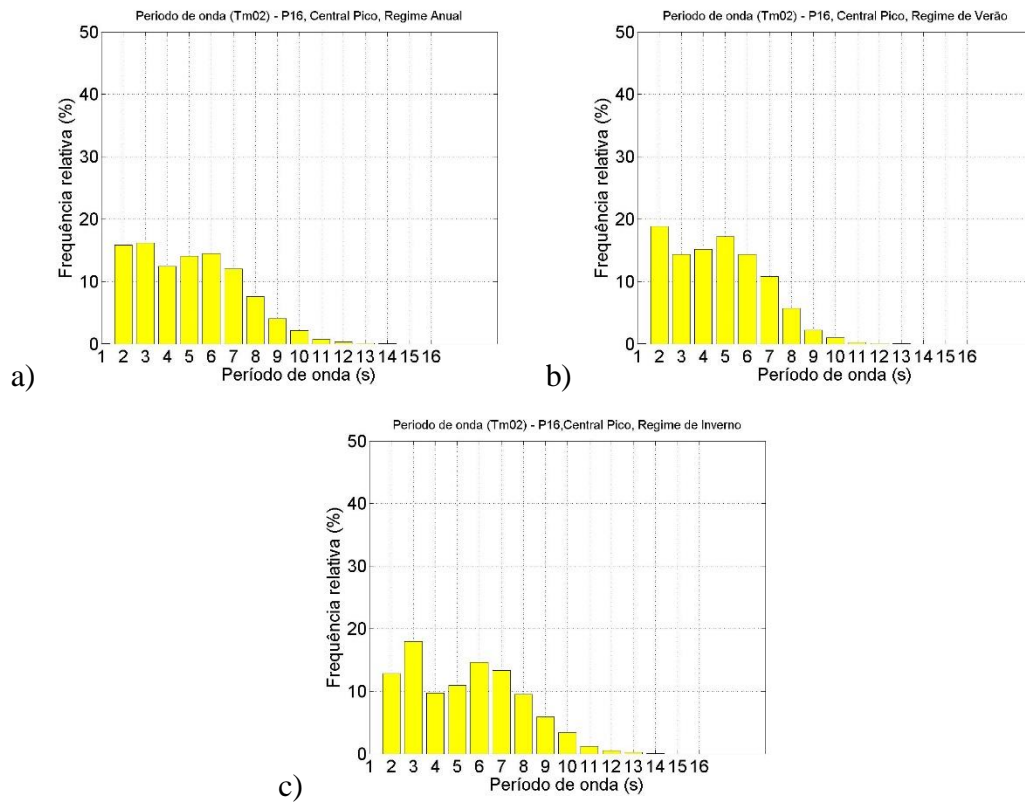


Fig. 65 - Histogramas Tm02 de P16 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

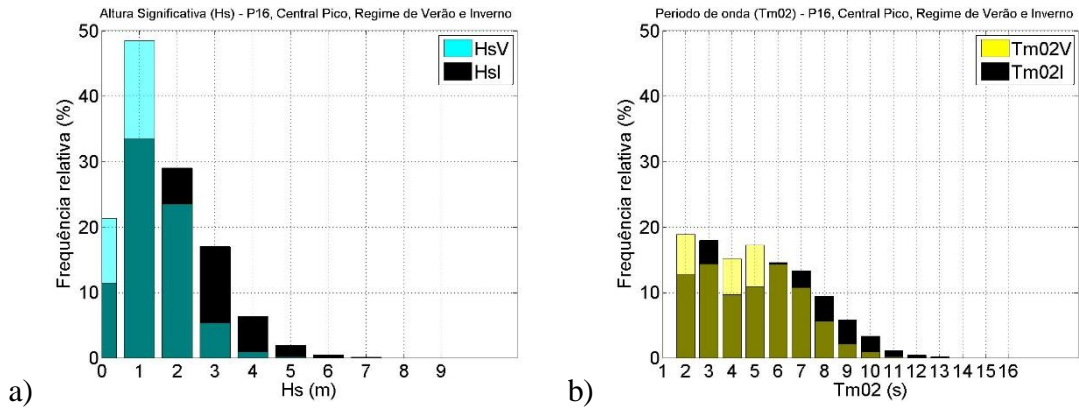


Fig. 66 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a)Hs e b)Tm02 para P16.

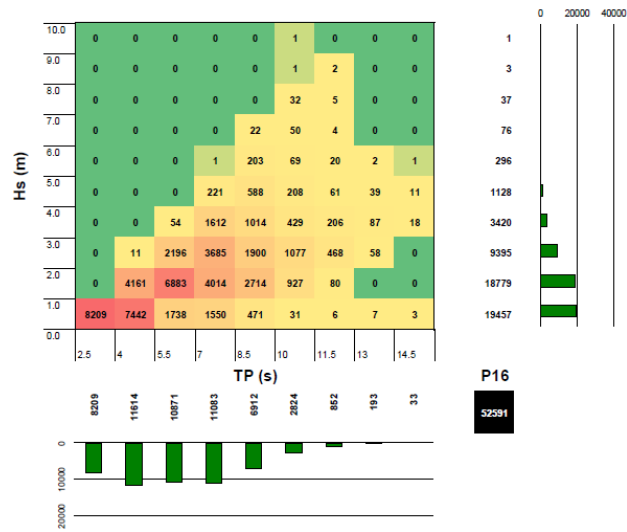


Fig. 67 - Histogramas Hs-TP para P16.

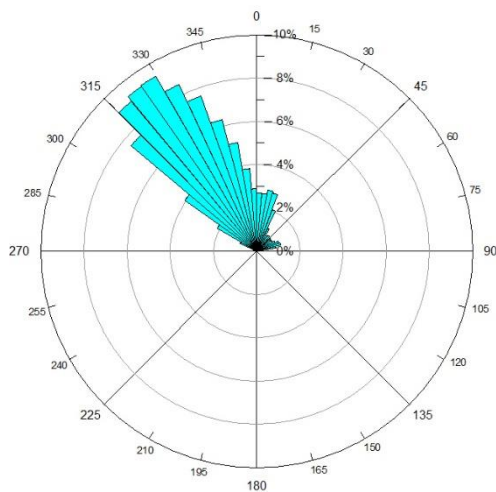


Fig. 68 - Diagrama de direcção média nos 36 anos para P16.

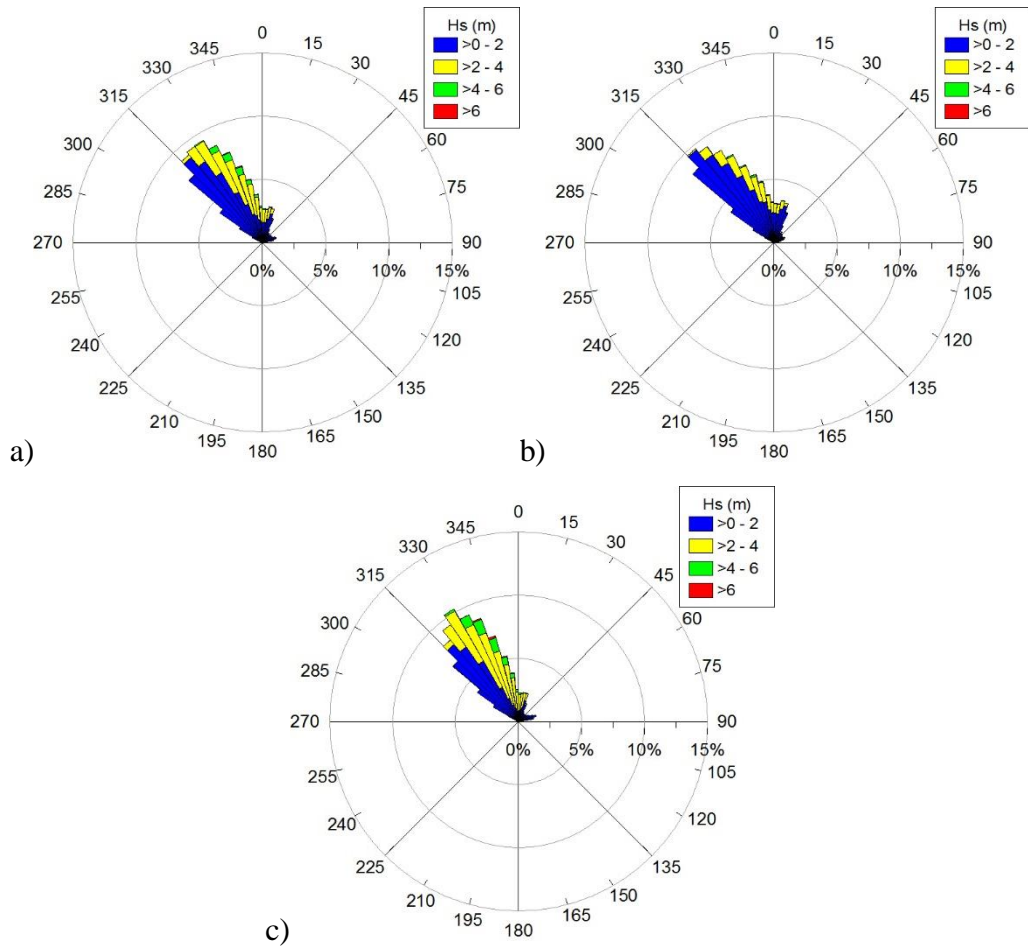
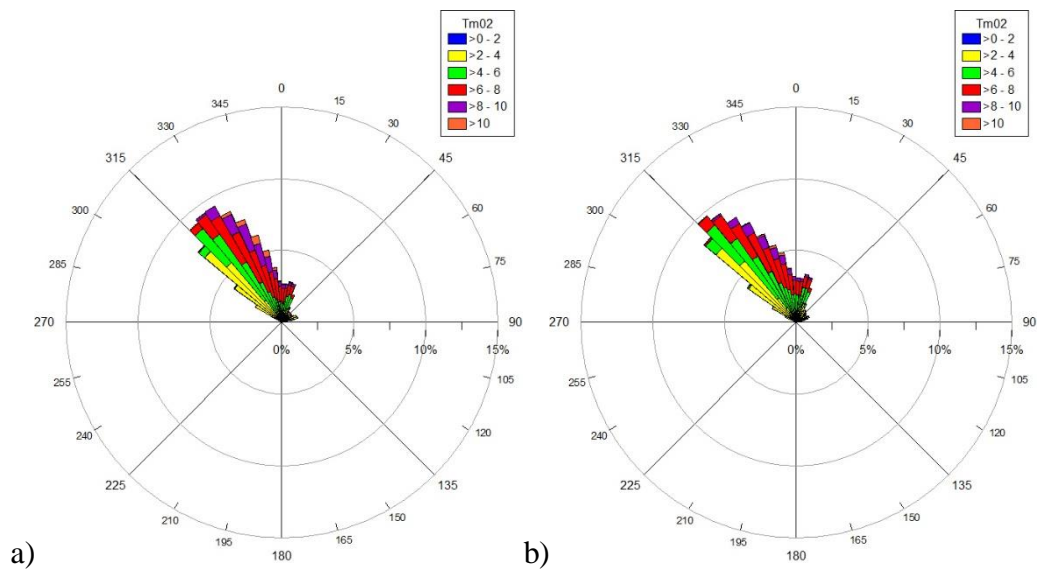


Fig. 69 - Diagrama Hs- Θ m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P16.



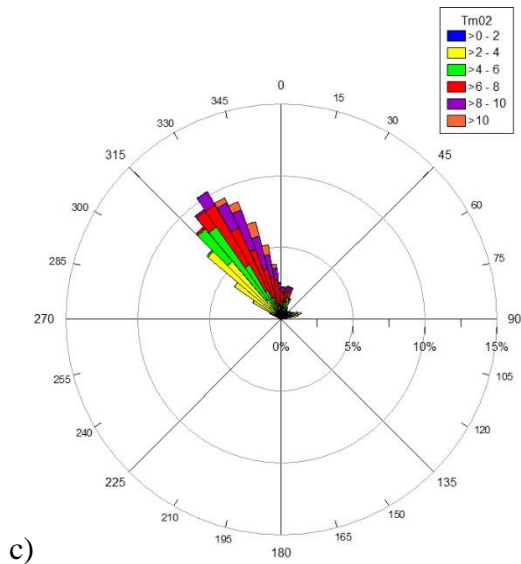
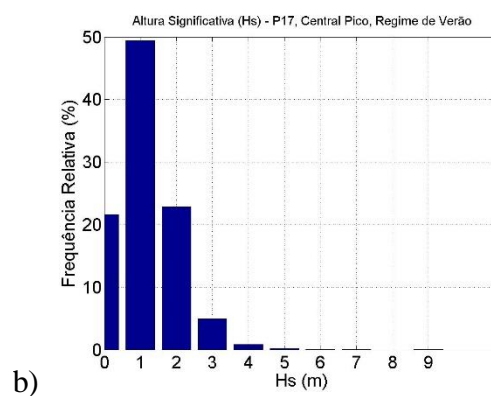
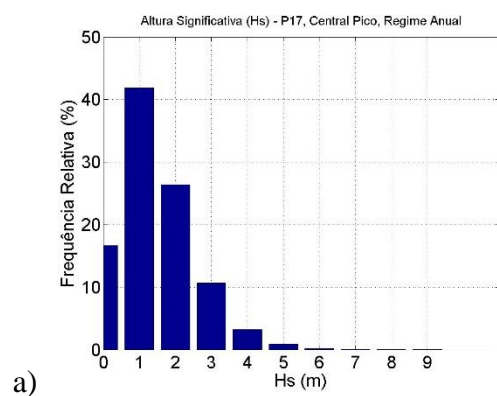


Fig. 70 - Diagrama Tm02- Θ m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P16.

tabela E - Dados estatísticos de P16 para os 36 anos de estudo.

| | P16 | | | | |
|----------------------|-------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.524 | 9.721 | 254.656 | 5.052 | 259.082 |
| Mediana | 1.320 | 10.070 | 307.500 | 4.900 | 321.570 |
| Desvio Padrão | 1.057 | 3.256 | 124.185 | 2.245 | 127.301 |
| Moda | 0.470 | 11.140 | 307.500 | 2.280 | 322.480 |
| Variância | 1.118 | 10.599 | 15421.976 | 5.038 | 16205.425 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 9.480 | 18.460 | 352.500 | 14.150 | 360.000 |
| Mínimo | 0.010 | 2.210 | 7.500 | 1.480 | 0.000 |
| Intervalo | 9.470 | 16.250 | 345.000 | 12.670 | 360.000 |

Anexo 11



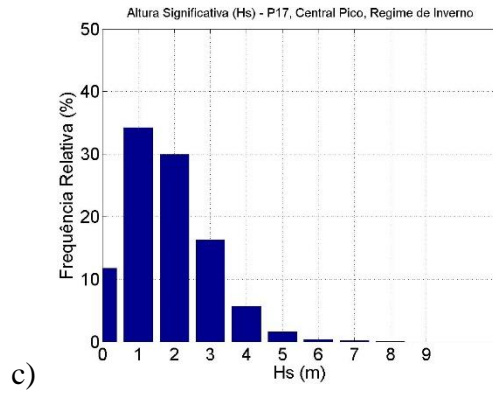


Fig. 71 - Histogramas Hs de P17 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

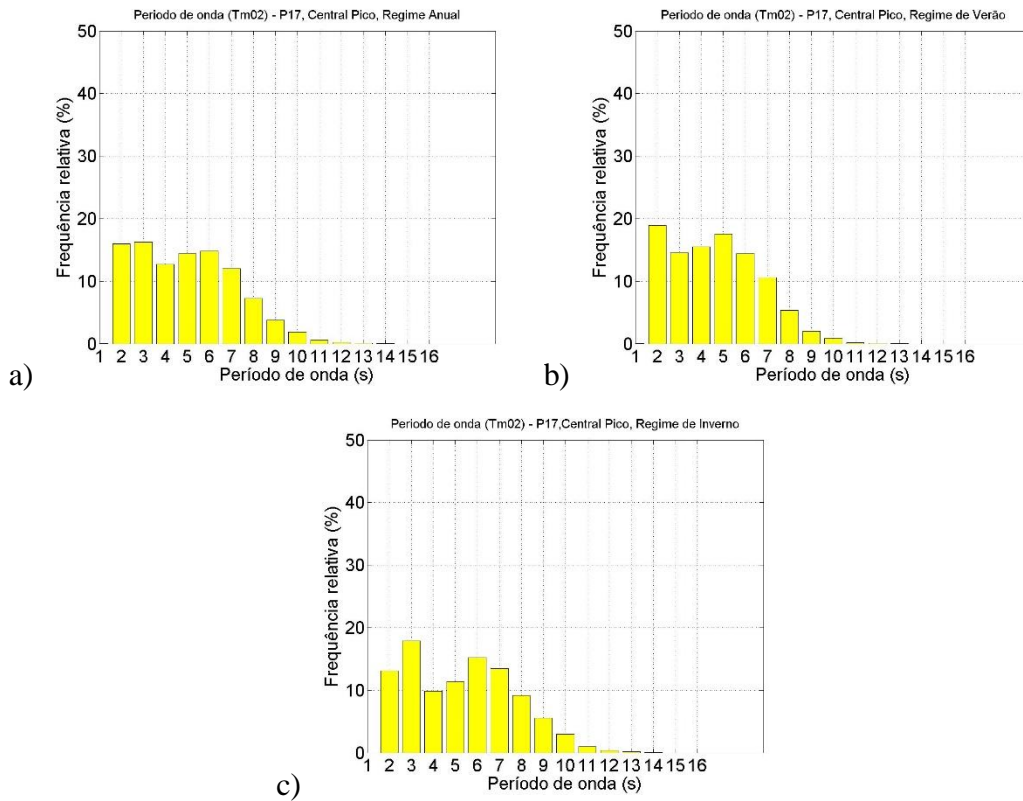


Fig. 72 - Histogramas Tm02 de P17 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

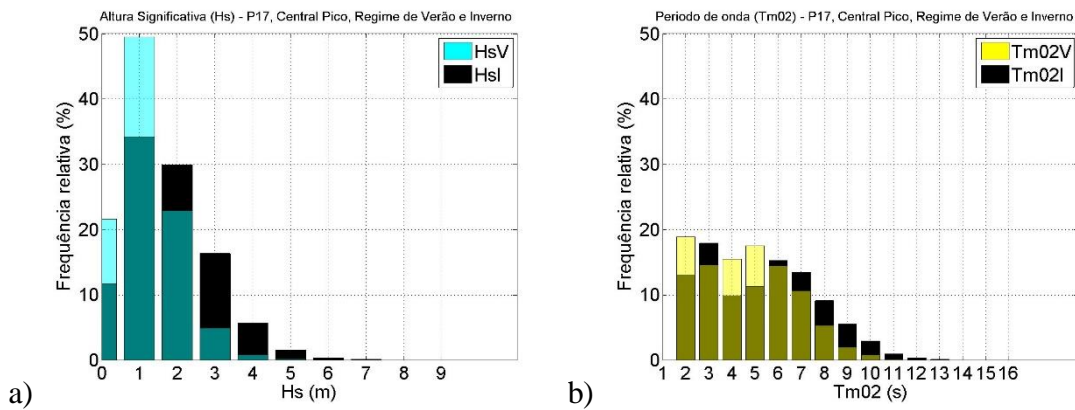


Fig. 73 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a)Hs e b)Tm02 para P17.

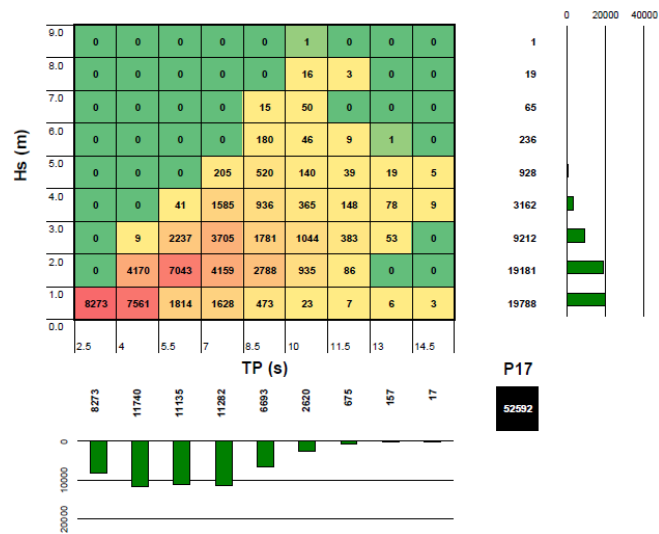


Fig. 74 - Histogramas Hs-TP para P17.

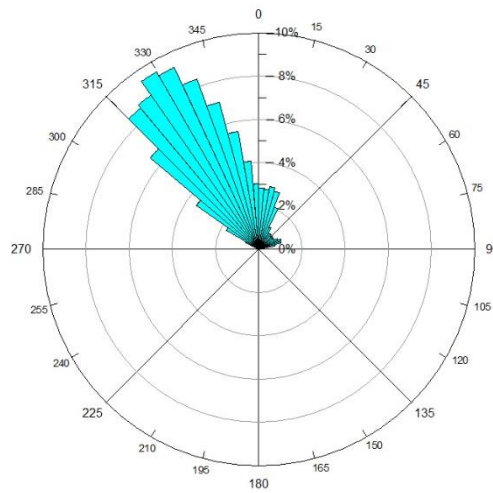
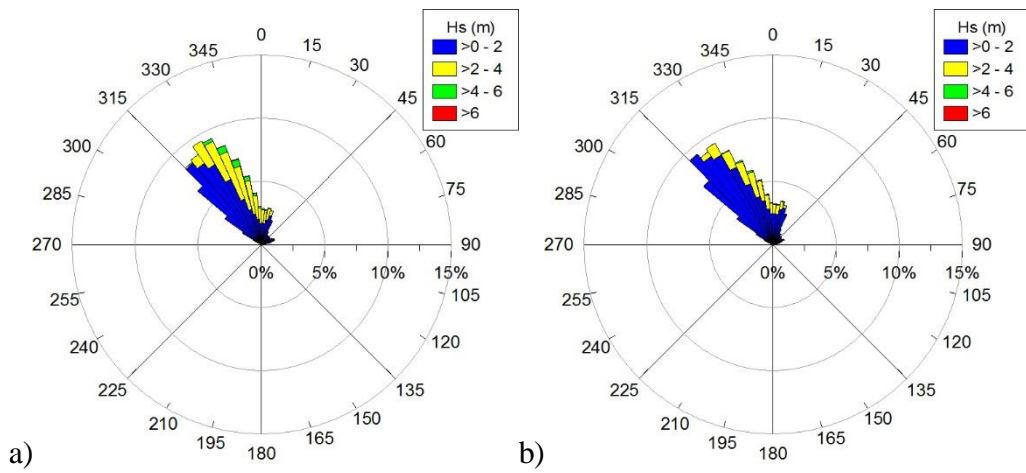


Fig. 75 - Diagrama de direcção média nos 36 anos para P17.



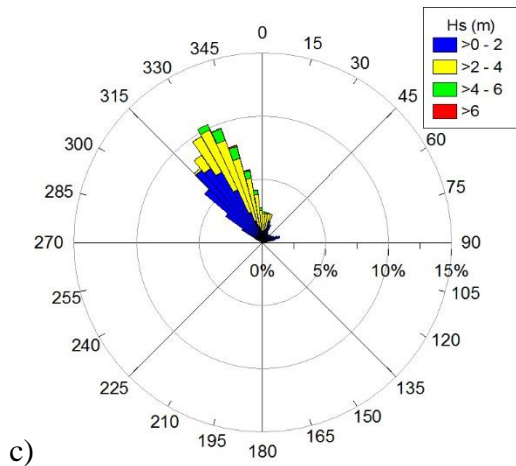


Fig. 76 - Diagrama Hs- Θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P17.

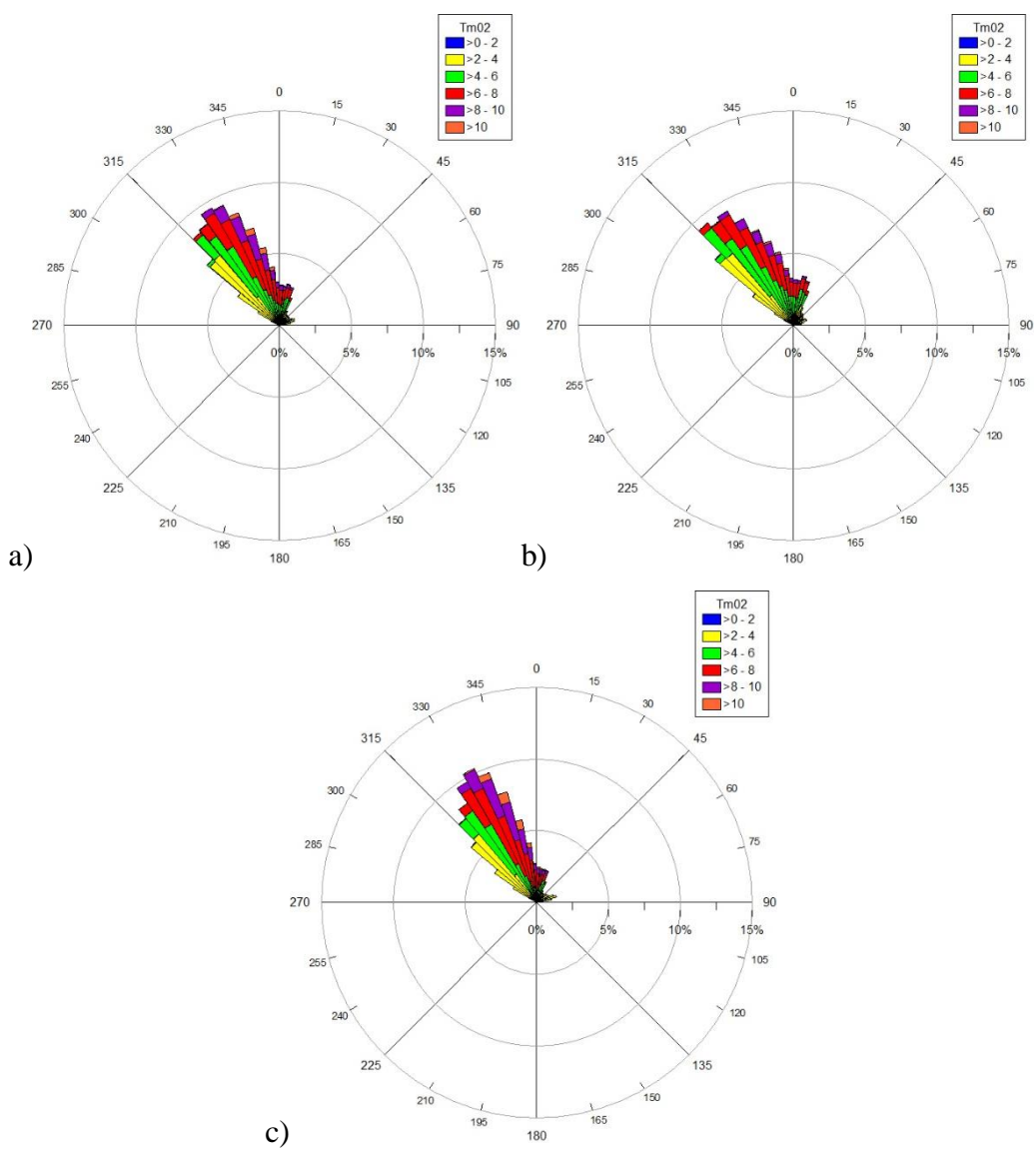


Fig. 77 - Diagrama Tm02- Θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P17.

tabela F - Dados estatísticos de P17 para os 36 anos de estudo.

| | P17 | | | | |
|---------------|-------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.483 | 9.685 | 255.990 | 4.995 | 259.336 |
| Mediana | 1.300 | 10.070 | 322.500 | 4.850 | 323.170 |
| Desvio Padrão | 1.014 | 3.276 | 124.952 | 2.190 | 128.404 |
| Moda | 0.460 | 11.140 | 307.500 | 2.220 | 333.110 |
| Variância | 1.029 | 10.735 | 15613.038 | 4.798 | 16487.550 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 8.930 | 18.460 | 352.500 | 13.940 | 360.000 |
| Mínimo | 0.010 | 2.000 | 7.500 | 1.490 | 0.000 |
| Intervalo | 8.920 | 16.460 | 345.000 | 12.450 | 360.000 |

Anexo 12

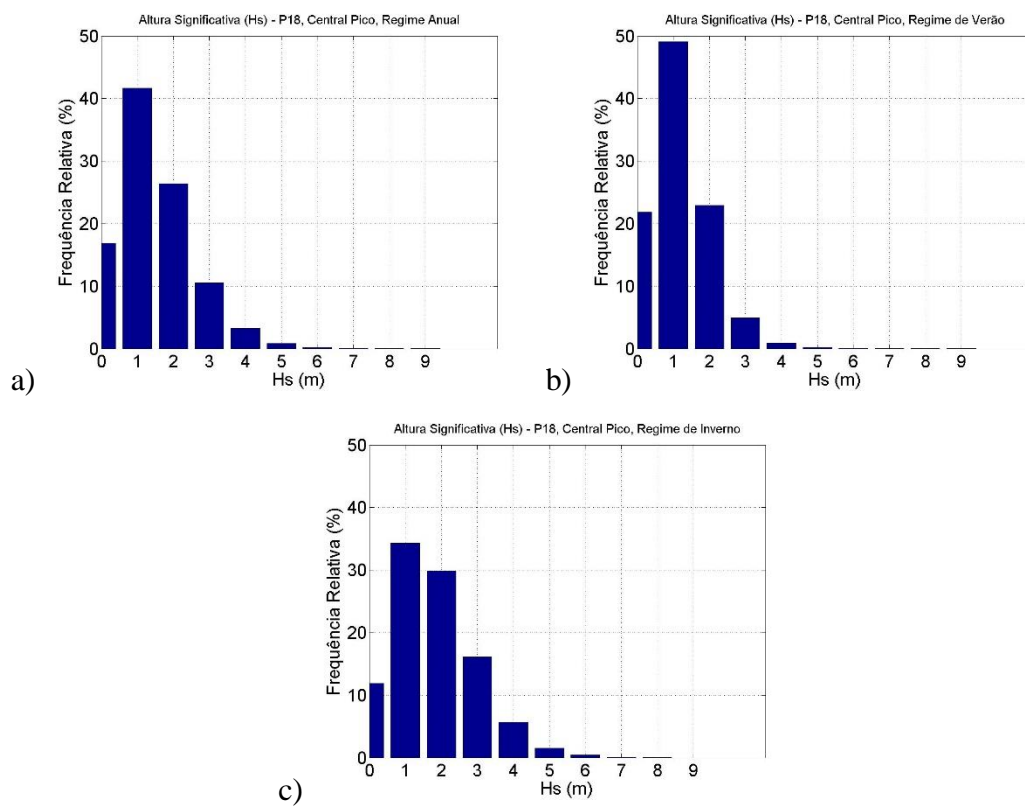
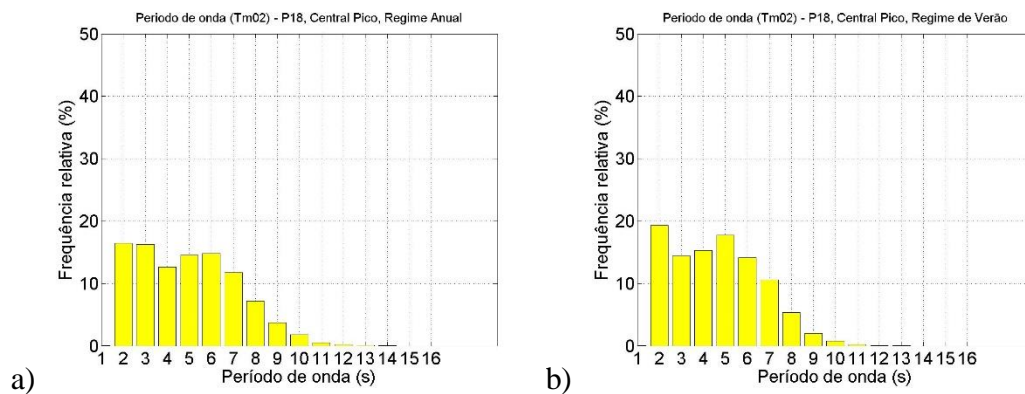


Fig. 78 - Histogramas Hs de P18 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.



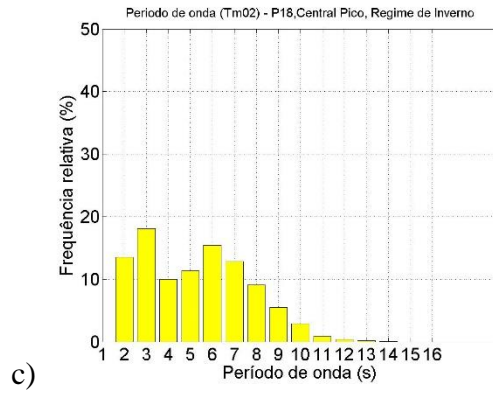


Fig. 79 - Histogramas Tm02 de P18 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

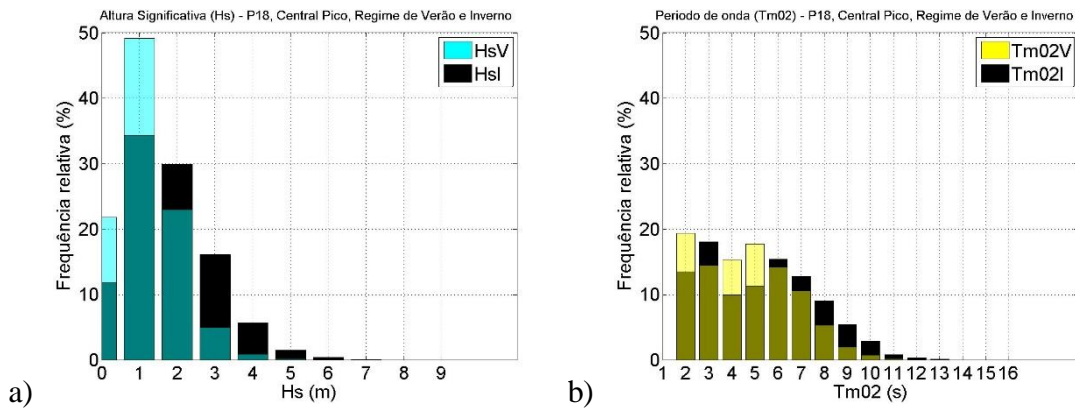


Fig. 80 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a)Hs e b)Tm02 para P18.

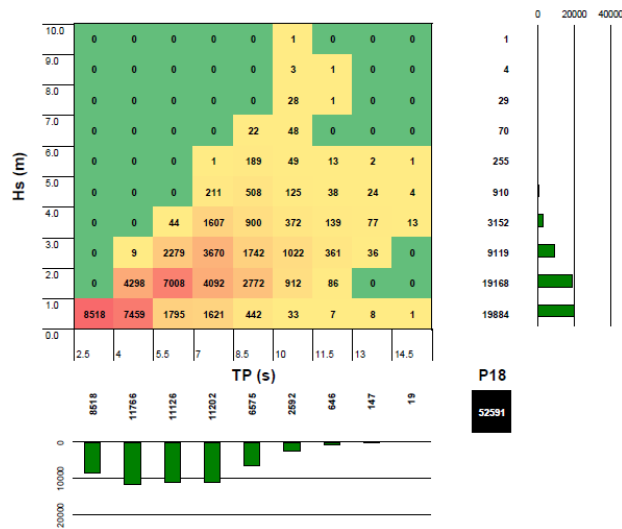


Fig. 81 - Histogramas Hs-TP para P18.

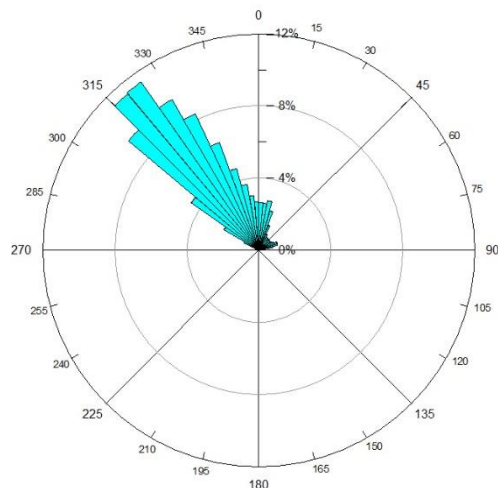


Fig. 82 - Diagrama de direcção média nos 36 anos para P18.

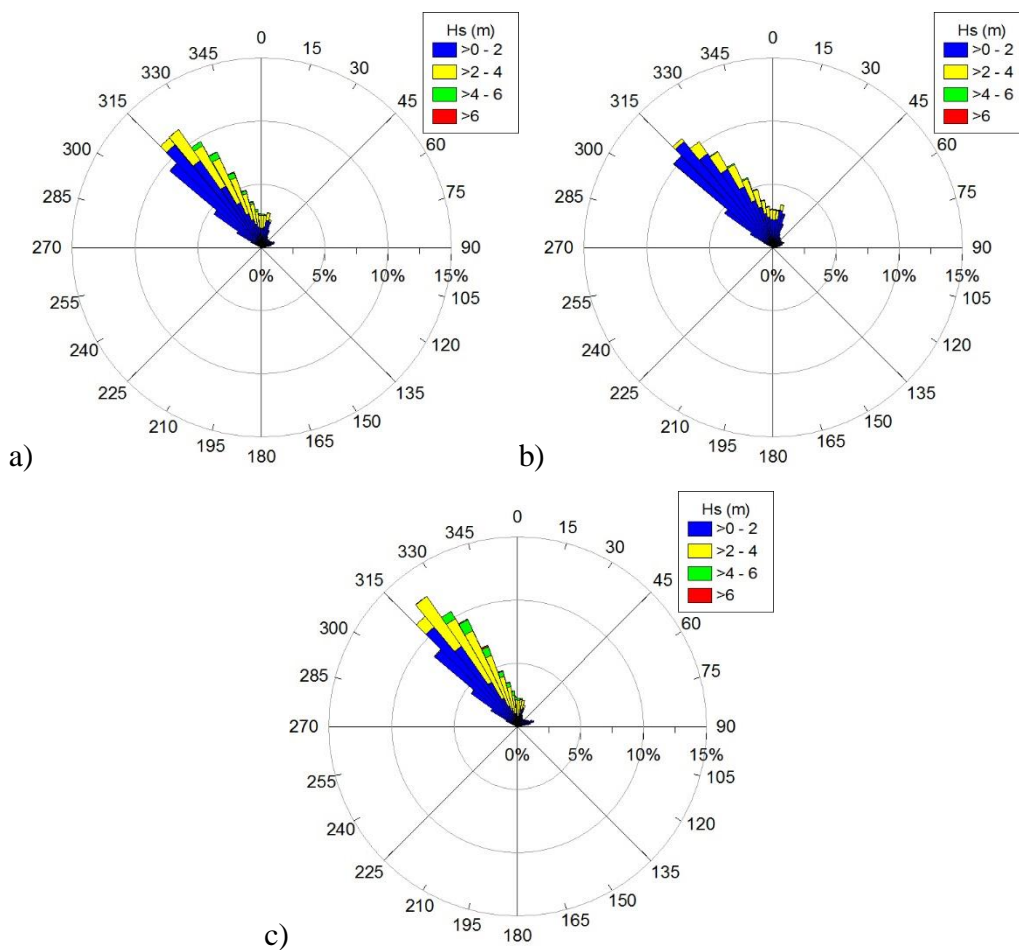


Fig. 83 - Diagrama Hs- Θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P18.

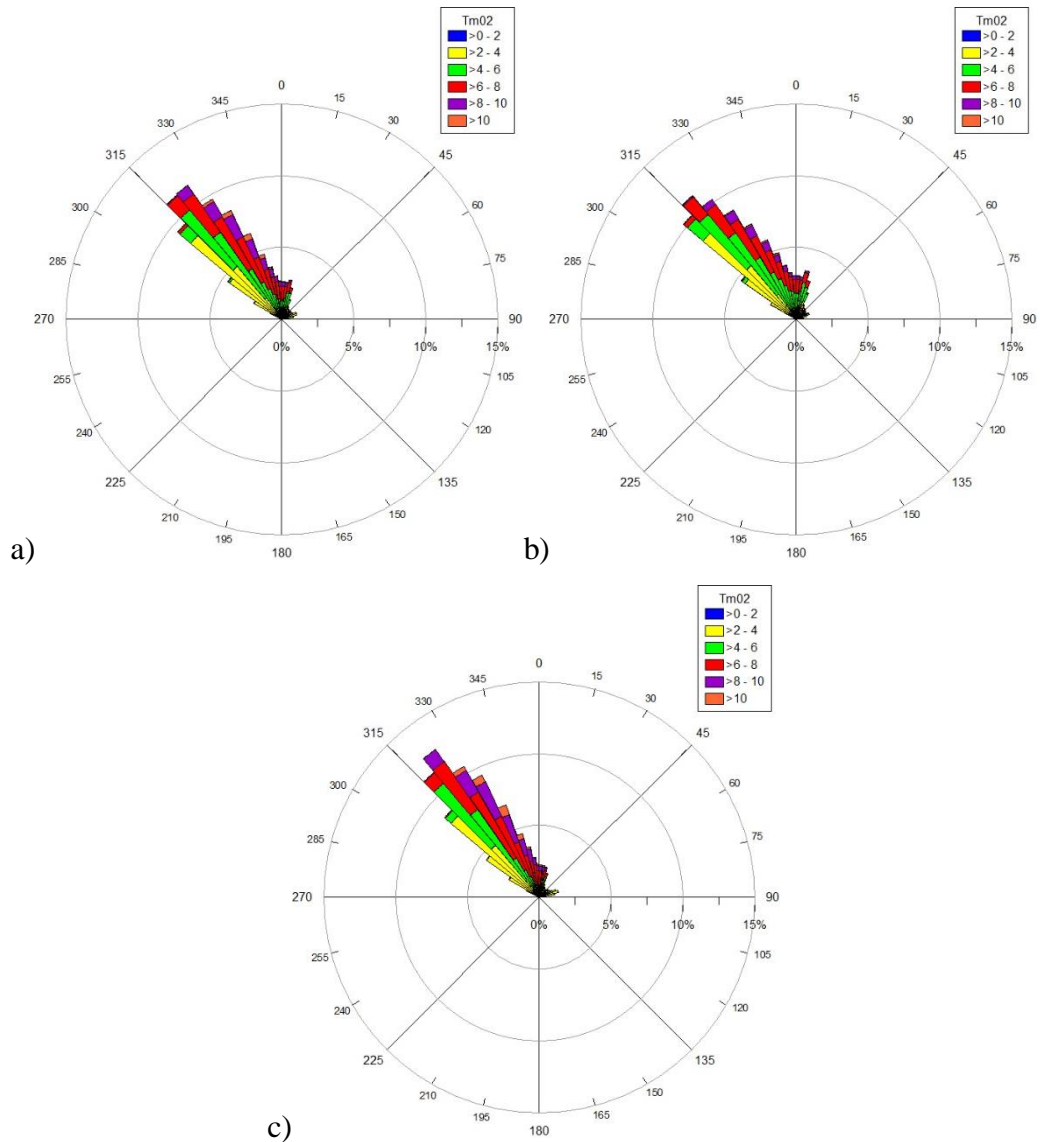


Fig. 84 - Diagrama Tm02- Θ m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P18.

tabela G - Dados estatísticos de P18 para os 36 anos de estudo.

| | P18 | | | | |
|----------------------|-------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.482 | 9.676 | 260.882 | 4.966 | 262.829 |
| Mediana | 1.290 | 10.070 | 307.500 | 4.820 | 319.940 |
| Desvio Padrão | 1.022 | 3.268 | 118.964 | 2.190 | 122.737 |
| Moda | 0.460 | 11.140 | 307.500 | 2.210 | 316.300 |
| Variância | 1.044 | 10.680 | 14152.330 | 4.796 | 15064.310 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 9.440 | 18.460 | 352.500 | 13.710 | 359.990 |
| Mínimo | 0.010 | 2.210 | 7.500 | 1.490 | 0.010 |
| Intervalo | 9.430 | 16.250 | 345.000 | 12.220 | 359.980 |

Anexo 13

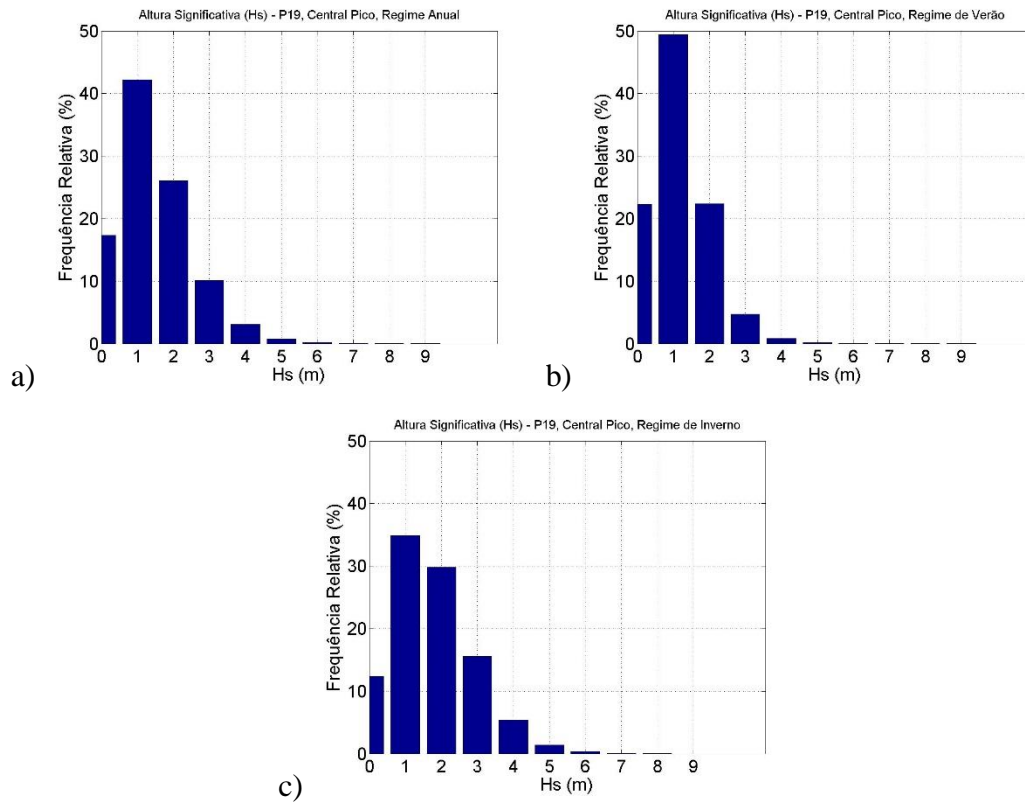


Fig. 85 - Histogramas Hs de P19 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

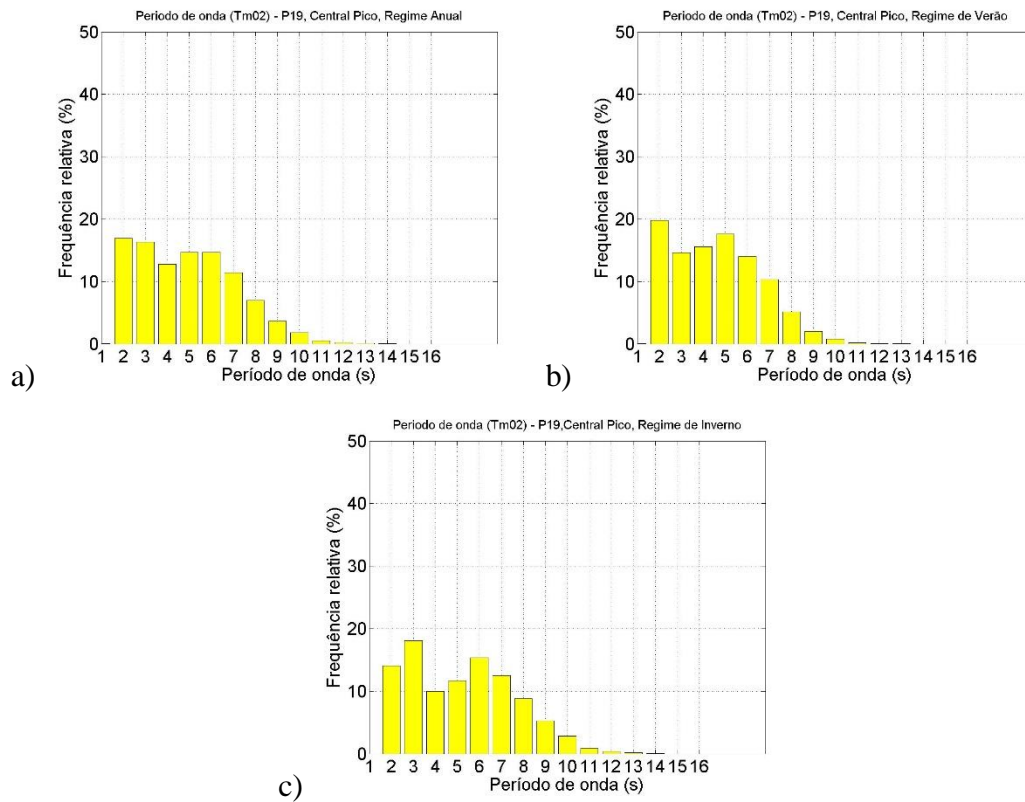


Fig. 86 - Histogramas Tm02 de P19 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

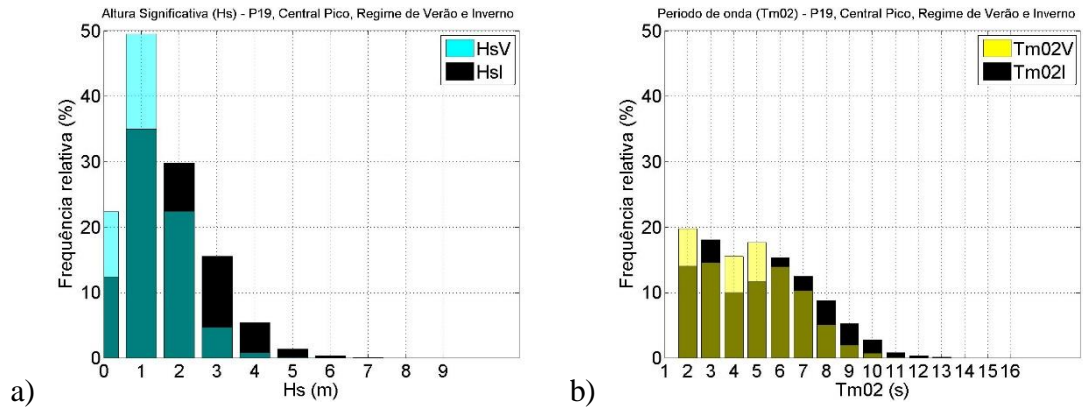


Fig. 87 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a)Hs e b)Tm02 para P19.

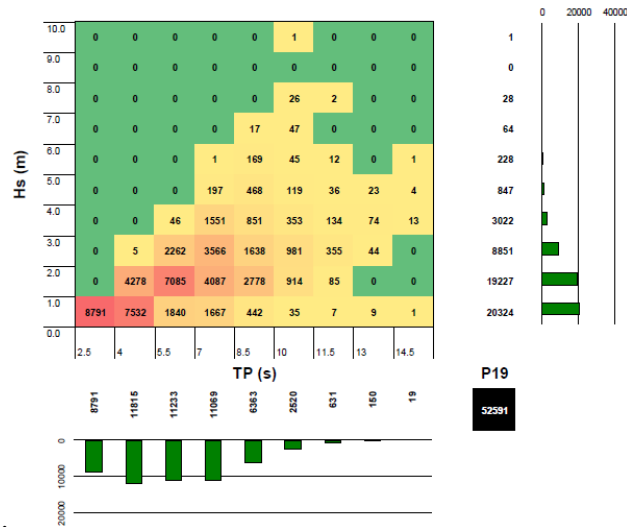


Fig. 88 - Histogramas Hs-TP para P19.

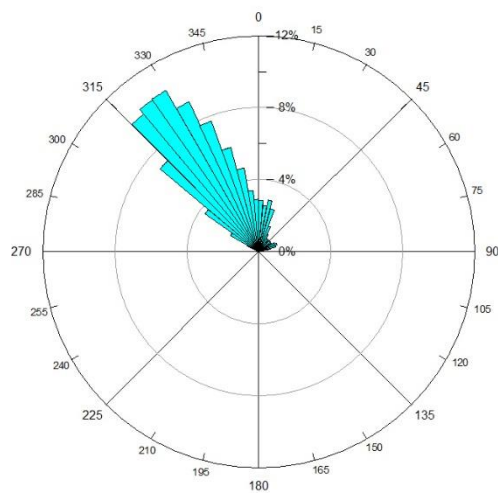


Fig. 89 - Diagrama de direcção média nos 36 anos para P19.

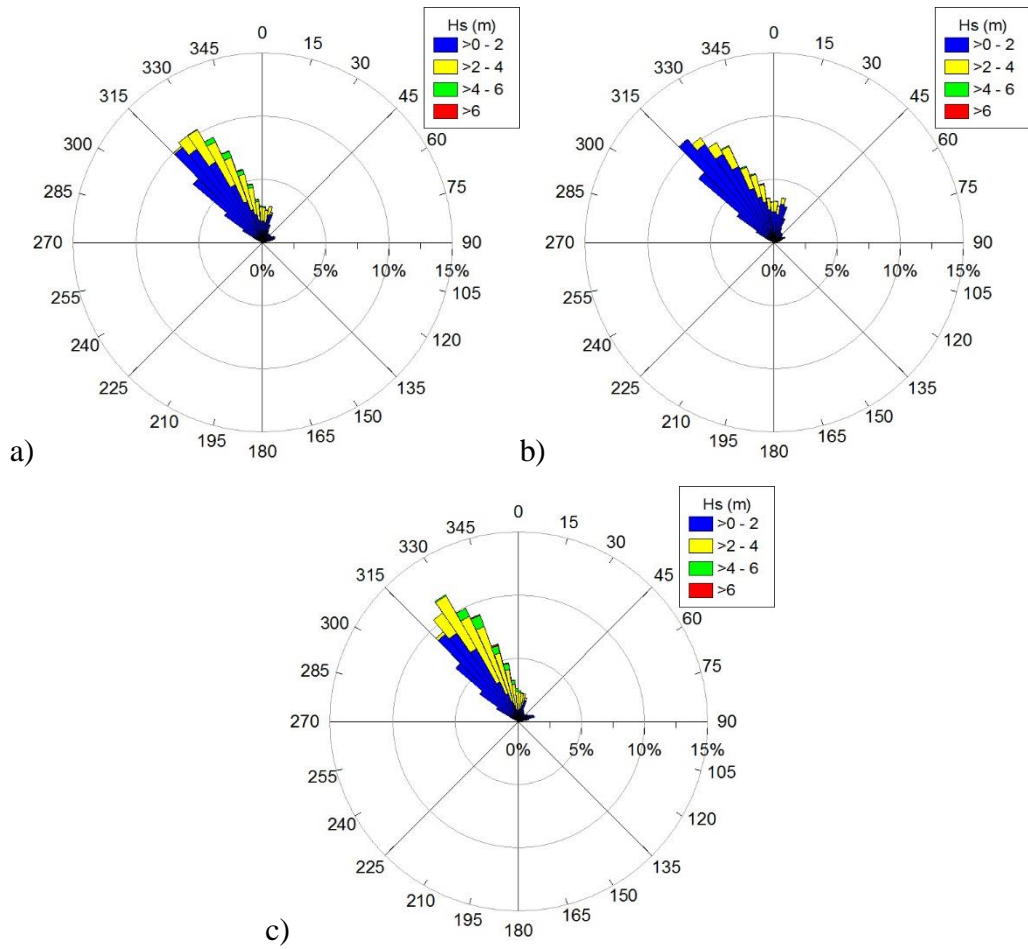
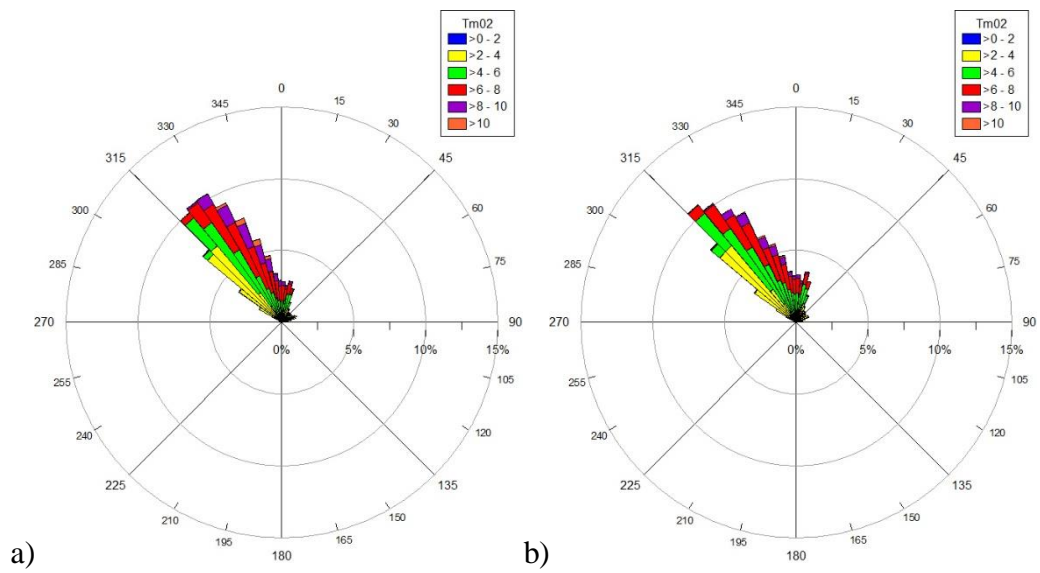


Fig. 90 - Diagrama Hs- Θ m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P19.



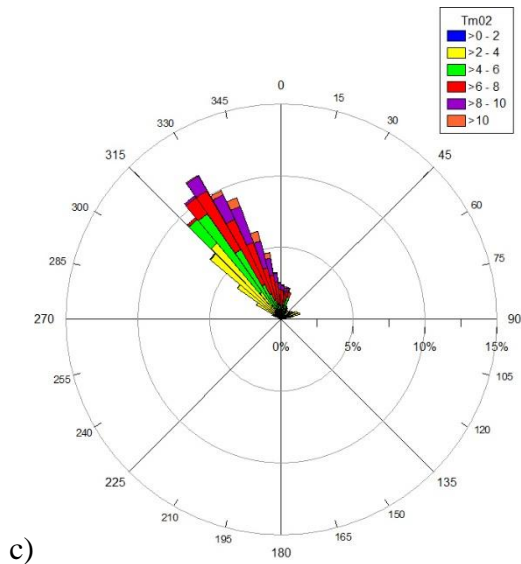
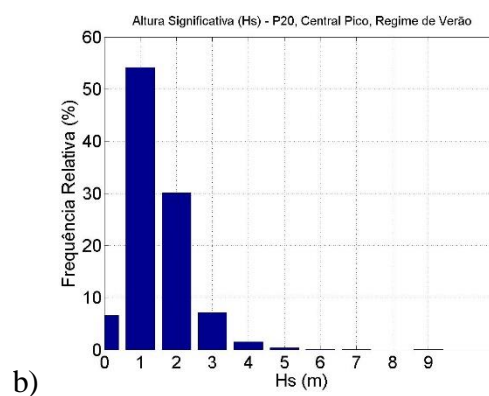
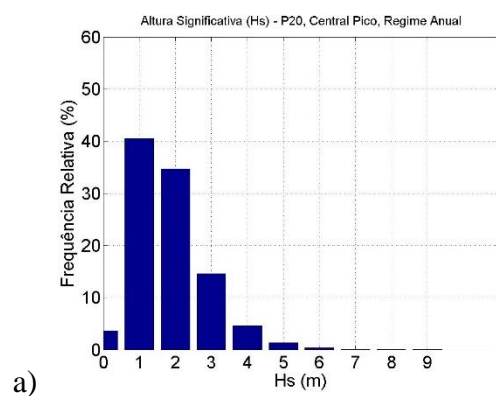


Fig. 91 - Diagrama Tm02- Θ m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P19.

tabela H - Dados estatísticos de P19 para os 36 anos de estudo.

| | P19 | | | | |
|----------------------|-------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.455 | 9.661 | 259.776 | 4.927 | 262.737 |
| Mediana | 1.270 | 10.070 | 322.500 | 4.770 | 322.230 |
| Desvio Padrão | 1.006 | 3.292 | 121.373 | 2.183 | 124.989 |
| Moda | 0.450 | 11.140 | 307.500 | 2.130 | 326.950 |
| Variância | 1.011 | 10.834 | 14731.388 | 4.768 | 15622.249 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 9.160 | 18.460 | 352.500 | 13.640 | 359.990 |
| Mínimo | 0.010 | 2.210 | 7.500 | 1.490 | 0.000 |
| Intervalo | 9.150 | 16.250 | 345.000 | 12.150 | 359.990 |

Anexo 14



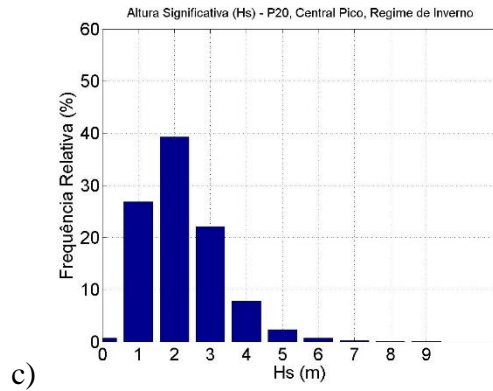


Fig. 92 - Histogramas Hs de P20 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

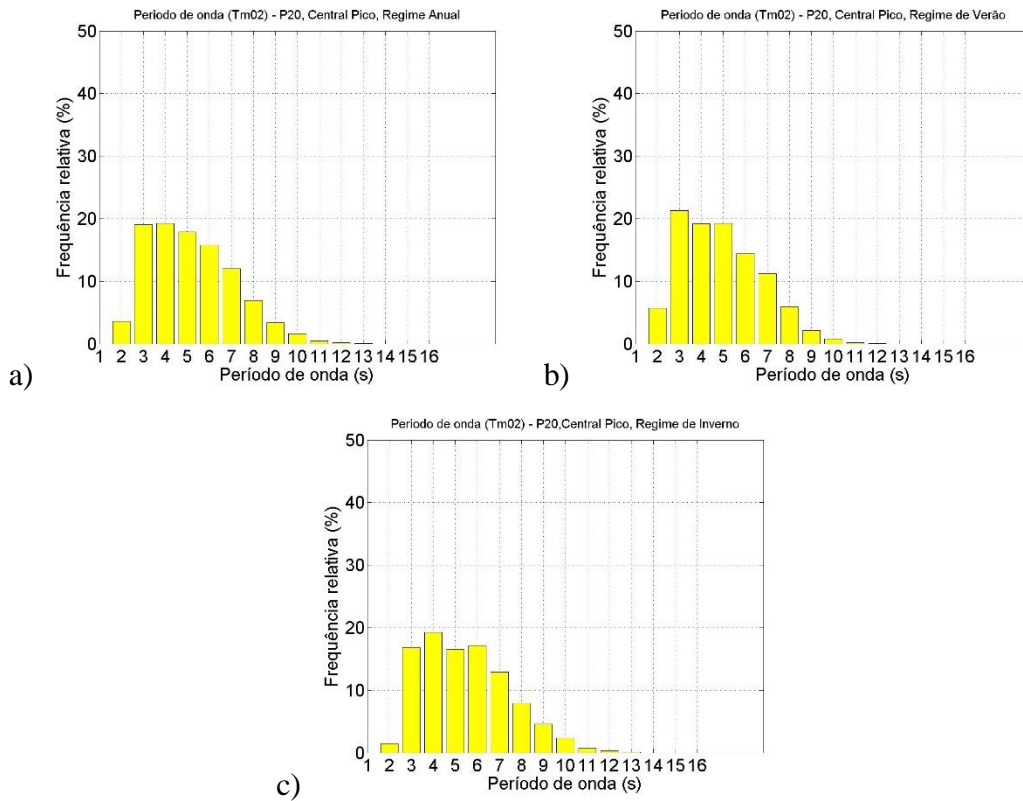


Fig. 93 - Histogramas Tm02 de P20 para a) regime Total, b) regime de Verão e c) regime de Inverno.

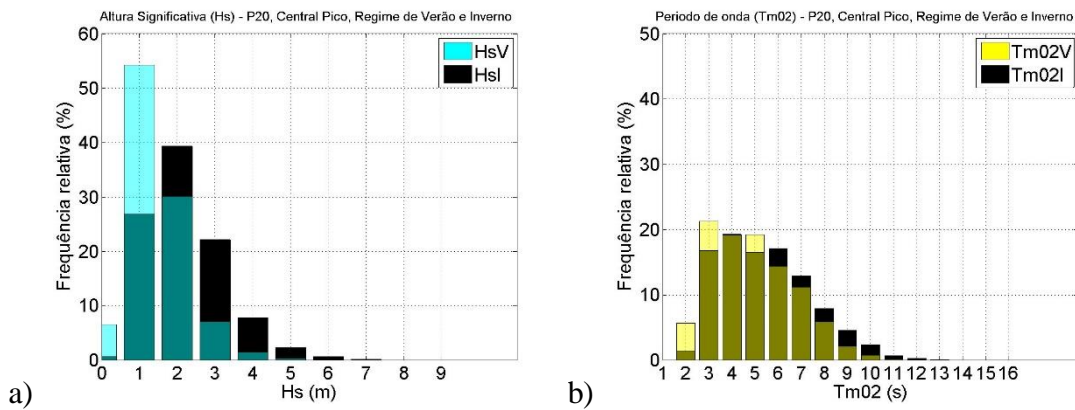


Fig. 94 - Histogramas de comparação regime Verão vs Inverno de a)Hs e b)Tm02 para P20.

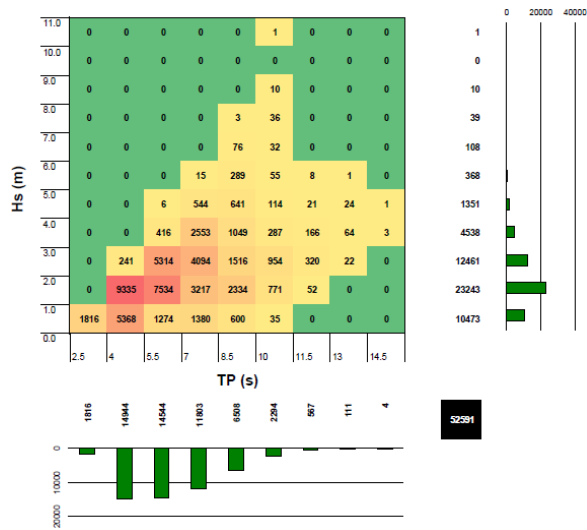


Fig. 95 - Histogramas Hs-TP para P20.

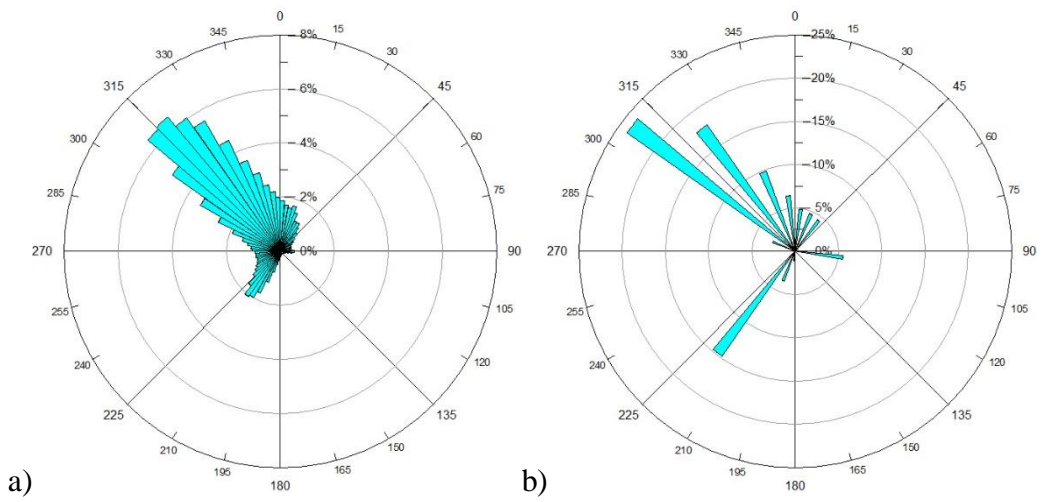
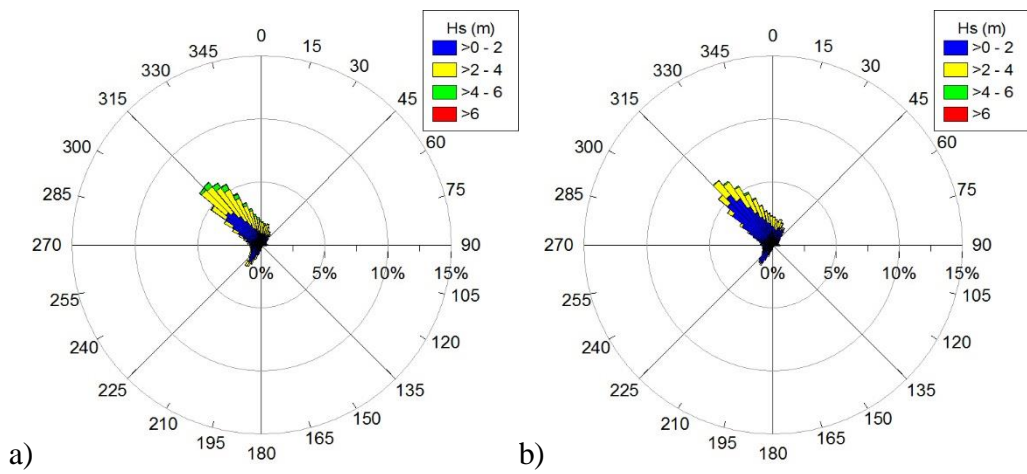


Fig. 96 - Diagrama de a) direcção média e b) direcção de pico nos 36 anos para P20.



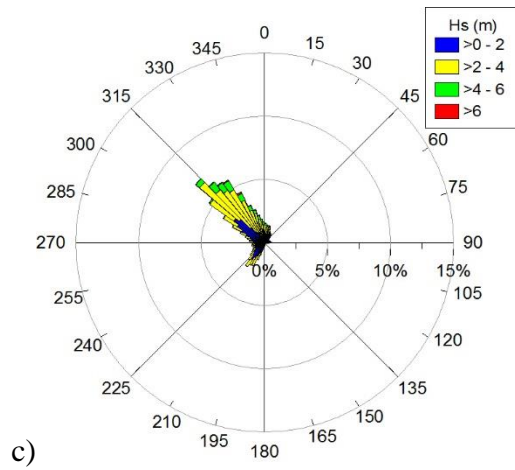


Fig. 97 - Diagrama Hs- θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P20.

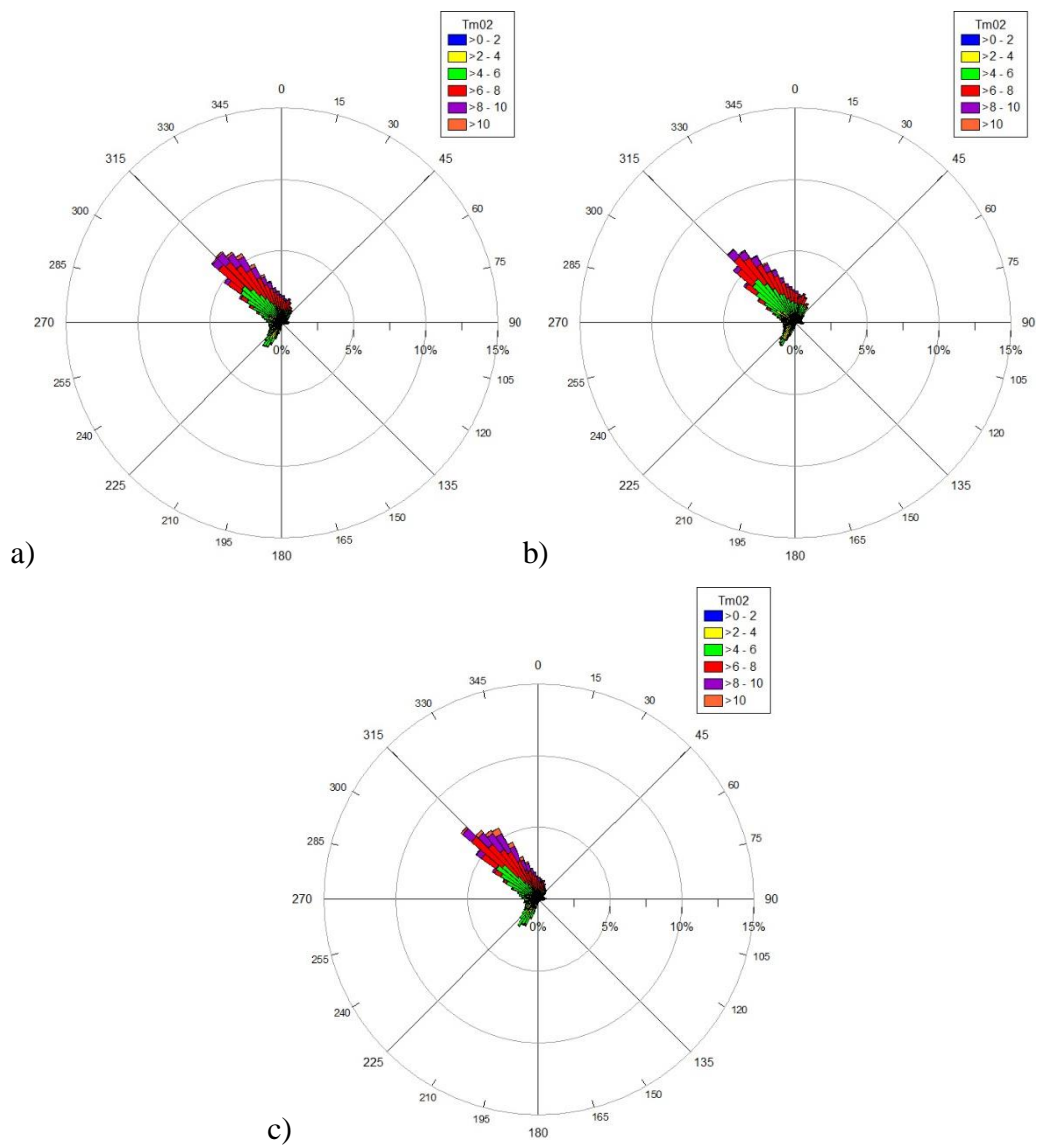


Fig. 98 - Diagrama Tm02- θ_m para regime a) Total, b) Verão e c) Inverno nos 36 anos para P20.

tabela I - Dados estatísticos de P20 para os 36 anos de estudo.

| | P20 | | | | |
|----------------------|--------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Hs | TP | Dir. P | Tm02 | Dir. M |
| Média | 1.830 | 10.280 | 244.946 | 5.185 | 244.933 |
| Mediana | 1.640 | 10.070 | 307.500 | 4.950 | 300.830 |
| Desvio Padrão | 1.004 | 2.550 | 110.103 | 1.905 | 110.543 |
| Moda | 1.280 | 10.070 | 307.500 | 4.090 | 322.020 |
| Variância | 1.008 | 6.502 | 12122.717 | 3.630 | 12219.804 |
| Contagem | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 | 52592 |
| Máximo | 10.180 | 18.460 | 352.500 | 13.120 | 360.000 |
| Mínimo | 0.090 | 2.710 | 7.500 | 1.670 | 0.000 |
| Intervalo | 10.090 | 15.750 | 345.000 | 11.450 | 360.000 |