

**RELATÓRIO TÉCNICO**  
**RELATÓRIO DE LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO**  
**BAÍA DE SÃO MARCOS – MA**

**UMI 海 SAN RT 110 19**

**PERÍODO DO LEVANTAMENTO: 10/05/2019 a 29/05/2019**

**AUTORIZAÇÃO: 094/19**

**ENTIDADE CONTRATANTE:**

**EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO  
PORTUÁRIA (EMAP)**  
Av. dos Portugueses,s/n, São Luís – MA - Brasil  
CEP: 65085-370



# RELATÓRIO DE LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO

## BAÍA DE SÃO MARCOS E DE SÃO JOSÉ – MA

UMI 海 SAN RT 110 19

PP 002 16

Rev	Descrição	Preparado	Verificado	Aprovado	Data
0	Interno	Kaio Lacerda	Thiago Nascimento	Kaio Lacerda	26 junho 2019

## APRESENTAÇÃO

Este relatório apresenta os resultados do Levantamento Hidrográfico (correntometria), respaldado pela autorização nº 094 2019 do Centro de Hidrografia da Marinha – CHM (ANEXO 01), de Categoria “B” realizado pela UMI SAN - Serviços de Apoio à Navegação e Engenharia Ltda, para a Empresa Maranhense de Administração Portuária (EMAP), no estado do Maranhão.



**Thiago Freitas do Nascimento**

Responsável Técnico

**ENTIDADE EXECUTANTE DO LH**

Inscrição CHM nº. 135

UMI SAN – Serviços de Apoio à Navegação e Engenharia Ltda. CNPJ 03.290.647/0001-93

Rodovia do Sol, nº 2200, Praia de Itaparica, Vila Velha –ES - CEP 29.122-250

Fone: (27) 3075-9450

E-mail: umisan@umi.com.br

**EQUIPE TÉCNICA ENVOLVIDA NOS TRABALHOS DE CAMPO E GABINETE****CHEFE DA EQUIPE HIDROGRÁFICA E O RESPECTIVO PERÍODO DE CHEFIA****Áureo A. Manente Filho**

Oceanógrafo

Diretor da Empresa: UMI SAN Serviços de Apoio à Navegação e Engenharia Ltda.

Período: A partir de 01/06/2016.

**EQUIPE TÉCNICA EXECUTANTE DOS TRABALHOS DE CAMPO E GABINETE**

<b>Hugo Pozzolini</b> Oceanógrafo	Trabalhos de campo
<b>Ivanilson Luis</b> Oceanógrafo	Trabalhos de campo
<b>Jéssica Venturini</b> Oceanógrafa, MSc Oceanografia Ambiental	Trabalhos de gabinete
<b>Kaio Lacerda</b> Oceanógrafo, MSc Engenharia Ambiental	Trabalhos de campo e de gabinete
<b>Larissa Neves</b> Oceanógrafa	Gestora do contrato
<b>Thiago Nascimento</b> Oceanógrafo, MSc Engenharia Ambiental	Gerente de Processamento

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO .....	19
3	METODOLOGIA.....	20
4	RESULTADOS .....	25
4.1	ADCP EC-2.....	26
4.1.1	Sizígia.....	26
4.1.2	Quadratura.....	29
4.1.3	Análise integrada EC-2: sizígia e quadratura. ....	32
4.1.4	Análise integrada EC-2 sizígia: levantamento anterior (fev./2018).....	35
4.1.5	Análise integrada EC-2 quadratura: levantamento anterior (jan./2018).....	37
4.2	ADCP EC-1.....	39
4.2.1	Sizígia.....	39
4.2.2	Quadratura.....	43
4.2.3	Análise integrada EC-1: sizígia e quadratura. ....	46
4.2.4	Análise integrada EC-1 sizígia: levantamento anterior (nov./2016).....	49
4.2.5	Análise integrada EC-1 quadratura: levantamento anterior (nov./2016).....	51
4.3	ADCP PI-C2.....	53
4.3.1	Sizígia.....	53
4.3.2	Quadratura.....	57
4.3.3	Análise integrada PI-C2: sizígia e quadratura. ....	60
4.3.4	Análise integrada PI-C2 sizígia: levantamento anterior (out./2016).....	63
4.3.5	Análise integrada PI-C2 quadratura: levantamento anterior (out./2016).....	66
4.4	ADCP PI-C1.....	67
4.4.1	Sizígia.....	67
4.4.2	Quadratura.....	72
4.4.3	Análise integrada PI-C1: sizígia e quadratura. ....	75
4.4.4	Análise integrada PI-C1 sizígia: levantamento anterior (out./2016).....	78
4.4.5	Análise integrada PI-C1 quadratura: levantamento anterior (out./2016).....	80
4.5	ADCP PI-C7.....	82
4.5.1	Sizígia.....	82
4.5.2	Quadratura.....	86
4.5.3	Análise integrada PI-C7: sizígia e quadratura. ....	89
4.6	ADCP SM-3.....	92
4.6.1	Sizígia.....	92

4.6.2	Quadratura.....	95
4.6.3	Análise integrada SM-3: sizígia e quadratura.....	98
4.6.4	Análise integrada SM-3 sizígia: levantamento anterior (set./2017).....	101
4.6.5	Análise integrada SM-3 quadratura: levantamento anterior (set./2017).....	103
4.7	ADCP AF-7 .....	105
4.7.1	Sizígia.....	105
4.7.2	Quadratura.....	109
4.7.3	Análise integrada AF-7: sizígia e quadratura. ....	112
4.8	ADCP AF-6 .....	115
4.8.1	Sizígia.....	115
4.8.2	Quadratura.....	118
4.8.3	Análise integrada AF-6: sizígia e quadratura. ....	121
4.9	ADCP AF-4B .....	124
4.9.1	Sizígia.....	124
4.9.2	Quadratura.....	127
4.9.3	Análise integrada AF-4B: sizígia e quadratura.....	130
4.10	ADCP AF-5 .....	133
4.10.1	Sizígia.....	133
4.10.2	Quadratura.....	136
4.10.3	Análise integrada AF-5: sizígia e quadratura. ....	139
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	142
6	REFERÊNCIAS .....	145

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização dos pontos de medição com ADCP. Em cada ponto foram realizados levantamentos correntométricos durante momentos de enchente e vazante da maré, tanto em período de sizígia quanto de quadratura. ....22

Figura 2: Estrutura utilizada na instalação do ADCP na borda do barco em (a) e instalação realizada em (b). ....24

Figura 3: Calibração de campo realizada com o ADCP para compensar influências magnéticas. ....25

Figura 4: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP EC-2. ....26

Figura 5: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-2. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. ....27

Figura 6: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-2. ....28

Figura 7: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-2. ....29

Figura 8: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP EC-2. ....30

Figura 9: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-2. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. ....30

Figura 10: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-2. ....31

Figura 11: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-2. ....32

Figura 12: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP PI-C8. ....34

Figura 13: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta EC-2 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2. ....36

Figura 14: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia e quadratura na Campanha 1 do ponto EC-2. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui. ....37

Figura 15: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia e quadratura na Campanha 2 do ponto EC-2. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui. ....	37
Figura 16: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta EC-2 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	38
Figura 17: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP EC-1.....	40
Figura 18: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-1. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.....	40
Figura 19: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-1. ....	42
Figura 20: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-1....	43
Figura 21: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP EC-1.....	44
Figura 22: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-1. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.....	44
Figura 23: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-1.....	45
Figura 24: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-1. ....	46
Figura 25: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP EC-1. ....	48
Figura 26: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta EC-1 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	50
Figura 27: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia e quadratura na Campanha 1 do ponto EC-1. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui. ....	51
Figura 28: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia e quadratura na Campanha 2 do ponto EC-1. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui. ....	51
Figura 29: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta EC-1 no período de	

quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	53
Figura 30: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP PI-C2. ....	54
Figura 31: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C2. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. ....	54
Figura 32: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C2. ....	56
Figura 33: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C2. ....	57
Figura 34: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C2. ....	58
Figura 35: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C2. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. ....	58
Figura 36: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C2. ....	59
Figura 37: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C2. ....	60
Figura 38: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP PI-C2. ....	62
Figura 39: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta PI-C2 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	64
Figura 40: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia e quadratura na Campanha 1 do ponto PI-C2. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui. ....	65
Figura 41: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia e quadratura na Campanha 2 do ponto PI-C2. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui. ....	65
Figura 42: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta PI-C2 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	67
Figura 43: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1. ....	69

Figura 44: Variação da elevação da coluna d’água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. ....69

Figura 45: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1. ....71

Figura 46: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1...72

Figura 47: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d’água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1. ....73

Figura 48: Variação da elevação da coluna d’água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. ....73

Figura 49: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1. ....75

Figura 50: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1. ....75

Figura 51: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP PI-C1. ....77

Figura 52: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d’água no ponto de coleta PI-C1 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2. ....79

Figura 53: Variação da elevação da coluna d’água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia e quadratura na Campanha 1 do ponto PI-C1. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui. ....80

Figura 54: Variação da elevação da coluna d’água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia e quadratura na Campanha 2 do ponto PI-C1. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui. ....80

Figura 55: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d’água no ponto de coleta PI-C1 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2. ....82

Figura 56: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d’água durante o período de coleta de sizígia do ADCP PI-C7. ....83

Figura 57: Variação da elevação da coluna d’água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C7. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar

da previsão de maré do DHN. ....84

Figura 58: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C7. ....85

Figura 59: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C7...86

Figura 60: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d’água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C7. ....87

Figura 61: Variação da elevação da coluna d’água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C7. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. ....87

Figura 62: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C7. ....88

Figura 63: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C7. ....89

Figura 64: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP PI-C7. ....91

Figura 65: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d’água durante o período de coleta de sizígia do ADCP SM-3.....92

Figura 66: Variação da elevação da coluna d’água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SM-3. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. ....93

Figura 67: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SM-3. ....94

Figura 68: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SM-3. ...95

Figura 69: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d’água durante o período de coleta de quadratura do ADCP SM-3.....96

Figura 70: Variação da elevação da coluna d’água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SM-3. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. ....96

Figura 71: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP

SM-3.....	97
Figura 72: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SM-3. .....	98
Figura 73: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP SM-3. ....	100
Figura 74: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta SM-3 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	102
Figura 75: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia e quadratura na Campanha 1 do ponto SM-3. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.....	103
Figura 76: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia e quadratura na Campanha 2 do ponto SM-3. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.....	103
Figura 77: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta SM-3 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	104
Figura 78: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP AF-7.....	106
Figura 79: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-7. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. ....	106
Figura 80: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-7. .....	108
Figura 81: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-7. .	109
Figura 82: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP AF-7. ....	110
Figura 83: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-7. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. ....	110
Figura 84: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-7.....	111
Figura 85: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-7. .....	112

Figura 86: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP AF-7..... 114

Figura 87: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d’água durante o período de coleta de sizígia do ADCP AF-6..... 115

Figura 88: Variação da elevação da coluna d’água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-6. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. .... 116

Figura 89: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-6. .... 117

Figura 90: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-6. . 118

Figura 91: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d’água durante o período de coleta de quadratura do ADCP AF-6. .... 119

Figura 92: Variação da elevação da coluna d’água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-6. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. .... 119

Figura 93: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-6..... 120

Figura 94: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-6. .... 121

Figura 95: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP AF-6..... 123

Figura 96: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d’água durante o período de coleta de sizígia do ADCP AF-4b..... 124

Figura 97: Variação da elevação da coluna d’água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-4b. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. .... 125

Figura 98: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-4b. .... 126

Figura 99: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-4B.

..... 127

Figura 100: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b. .... 128

Figura 101: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. .... 128

Figura 102: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b. .... 129

Figura 103: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b. .... 130

Figura 104: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP AF-4B. .... 132

Figura 105: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP AF-5. .... 133

Figura 106: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-5. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. .... 134

Figura 107: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-5. .... 135

Figura 108: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-5. .... 136

Figura 109: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP AF-5. .... 137

Figura 110: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-5. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN. .... 137

Figura 111: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-5. .... 138

Figura 112: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-5. .... 139

Figura 113: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP AF-5..... 141

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Período de levantamento realizado em cada ponto de coleta.....	25
Tabela 2: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-2 durante o período de sizígia .....	27
Tabela 3: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP EC-2 no período de quadratura.....	32
Tabela 4: Período dos levantamentos realizados no ponto de medição.....	35
Tabela 5: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-2 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	36
Tabela 6: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.....	38
Tabela 7: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-2 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	39
Tabela 8: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-1 durante o período de sizígia.....	41
Tabela 9: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP EC-1 no período de quadratura.....	46
Tabela 10: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.....	49
Tabela 11: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-1 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	50
Tabela 12: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.....	52
Tabela 13: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-1 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	52
Tabela 14: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C2 durante o período de sizígia.....	55
Tabela 15: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP PI-C2 no período de quadratura.....	60
Tabela 16: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.....	63
Tabela 17: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C2 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	64
Tabela 18: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.....	66

Tabela 19: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C2 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	67
Tabela 20: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C1 durante o período de sizígia. ....	70
Tabela 21: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP PI-C1 no período de quadratura. ....	75
Tabela 22: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta. ....	78
Tabela 23: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C1 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	79
Tabela 24: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta. ....	81
Tabela 25: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-1 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	81
Tabela 26: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C7 durante o período de sizígia. ....	84
Tabela 27: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP PI-C7 no período de quadratura. ....	89
Tabela 28: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta SM-3 durante o período de sizígia. ....	93
Tabela 29: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP SM-3 no período de quadratura. ....	98
Tabela 30: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta. ....	101
Tabela 31: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta SM-3 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	102
Tabela 32: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta. ....	104
Tabela 33: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta SM-3 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.....	104
Tabela 34: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta AF-7 durante o período de sizígia. ....	107
Tabela 35: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP AF-7 no período de quadratura. ....	112
Tabela 36: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta AF-6 durante o	

período de sizígia .....	116
Tabela 37: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP AF-6 no período de quadratura .....	121
Tabela 38: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta AF-4b durante o período de sizígia .....	125
Tabela 39: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP AF-4b no período de quadratura .....	130
Tabela 40: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta AF-5 durante o período de sizígia .....	134
Tabela 41: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP AF-5 no período de quadratura .....	139

## 1 INTRODUÇÃO

A UMI SAN - Serviços de apoio a Navegação e Engenharia Ltda realizou um Levantamento Hidrográfico (Correntometria) - Categoria B, Baía de São Marcos, São Luís - MA, conforme a PP 002 16, para fins de caracterização das correntes dos locais de coleta.

No presente documento estão apresentados os aspectos técnicos dos seguintes serviços executados no período de 10 de maio de 2019 a 26 de junho de 2018:

- Planejamento do Levantamento Hidrográfico (LH);
- Mobilização de embarcação, sistema e equipe;
- Levantamento Correntométrico em Quadratura;
- Levantamento Correntométrico em Sizígia;
- Processamento dos dados;
- Elaboração do relatório técnico.

## 2 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

O Levantamento correntométrico foi realizado na baía de São Marcos, com medições realizadas na região marinha adjacente ao Porto do Itaqui, do Terminal de Porto Grande no Estreito dos Coqueiros, e nas áreas de fundeio número 4, 5, 6 e 7 na baía de São Marcos.

A baía de São Marcos compreende um complexo sistema estuarino, abrangendo baías, estuários, estreitos, igarapés, enseadas, ilhas, falésias, pontais rochosos, manguezais, dunas, planícies de maré e praias quartzozas (MOCHEL *et al.*, 2004).

A região da baía de São Marcos é caracterizada pela ocorrência de macromarés (4-6 m) semidiurnas (período de 12.4h), onde a média das preamares (baixa-mares) de sizígia – MHWS (MLWS) - alcançaram alturas de 6.3 (0.6) m acima do NR local em Itaqui, 6.0 (0.6) m em Ponta da Madeira e 6.1 (0.6) m em Alumar, enquanto na quadratura – MHWN (MLWN) - foram de 5.0 (1.8) m em Itaqui, 4.8 (1.7) m em Ponta da Madeira e 5.0 (1.8) m em Alumar, conforme consta nos dados das estações maregráficas da região (FEMAR, 2017). Assim, constata-se que as amplitudes médias de maré na baía de São Marcos variam em torno de 3 m na quadratura e 5.5 m na sizígia. Além disso, as maiores amplitudes da região ocorrem em março e setembro, meses de ocorrência do equinócio, com amplitudes de até 7.1 m (FURTADO, 2007).

O regime de macromarés, das baías de São Marcos e de São José, é responsável pela formação de correntes

de maré que exercem trabalho decisivo na morfodinâmica litorânea, determinando as formas de deposição de sedimentos nos ciclos de enchente e vazante.

Na região do Golfão Maranhense são observadas velocidades de corrente de maré de até 3.8 m/s a partir das cartas de correntes do local (CHM, 2004), onde a maior velocidade ocorreu durante um momento de vazante de sizígia (4h depois da preamar de São Luís) na região da foz da baía de São Marcos. No interior das baías do Golfão tende a ocorrer velocidades maiores que na região oceânica adjacente em função do aumento da amplitude da maré, conforme constatado por Pereira e Harari (1995) para as baías de São Marcos e de São José. Os resultados desses autores indicam correntes maiores que 1.5 m/s na região do canal principal das baías, o qual exerce grande influência nas correntes de maré, sendo as maiores velocidades obtidas durante a vazante e com as direções alinhadas com o canal principal (SO-NE).

O canal principal da Baía de São Marcos está orientado no sentido SO-NE desde a foz da baía até a Ilha dos caranguejos, onde a baía bifurca. As maiores profundidades da baía ocorrem na região central da baía entre as cidades de São Luís e Alcântara, alcançando valores de até 97 m abaixo do nível de redução (NR, CN 410).

O estado do Maranhão apresenta clima tropical megatérmico, com período chuvoso entre janeiro e julho, concentrando mais de 90% do total anual precipitado e um período seco entre agosto e dezembro, caracterizado por deficiências hídricas (RIBEIRO Jr, 2005).

Em relação ao regime dos ventos, predominam as direções de NE e E, a primeira predominante no período de setembro a março e a segunda entre abril e agosto. Predominam os ventos classificados como moderados, segundo a escala de Beaufort, de velocidade média 6 m/s, registrando-se até 12.5 m/s nos períodos mais secos (UFMA, 2009).

Segundo os resultados obtidos por Pereira e Harari (1995), em condições meteorológicas típicas a circulação estuarina na baía de São Marcos é basicamente forçada pelos efeitos da maré astronômica, com a contribuição meteorológica não chegando a atingir 0.2% da circulação total, o que não é necessariamente o esperado em períodos de condições atípicas de vento e pressão no local.

### **3 METODOLOGIA**

Os dados de elevação da superfície do mar, magnitude e direção das correntes foram medidos a partir de perfiladores acústicos de correntes por efeito Doppler (*Acoustic Doppler Current Profilers – ADCP*). Os equipamentos utilizados correspondem ao modelo Workhorse Sentinel 600 kHz, da fabricante Teledyne RD (especificação técnica - ANEXO 02).

A coleta dos dados foi realizada com o ADCP em modo estacionário, onde o equipamento é fixado em uma haste de inox que permanece instalada na borda da embarcação durante toda a medição (Figura 2). Após mobilização do equipamento na borda do barco, a imersão dos sensores do ADCP fica cerca de 1 m abaixo do nível da água, com os sensores voltados para o leito marinho. O barco utilizado deve permanecer em uma posição fixa no local de coleta, o que é realizado a partir de um sistema de ancoragem com três âncoras. Movimentações do barco em função do giro da popa ao longo do ciclo de enchente e vazante da maré são esperadas, o que pode resultar em variações da profundidade abaixo do equipamento durante a medição.

Na campanha do presente relatório, os dados foram medidos em 10 locais distintos (Figura 1), em amostragens realizadas com o objetivo de englobar cerca de 13h de levantamento, compreendendo um período de maré semi-diurna (12.4h), de forma registrar as velocidades ao longo de ao menos um intervalo de vazante e um de enchente. Essa amostragem foi realizada duas vezes em cada ponto, uma em período de sizígia e outra em período de quadratura. Os locais em que foram realizados os levantamentos (Figura 1) são identificados como: (i) EC-2, localizado na região marinha adjacente ao Porto Grande, nas proximidades do Terminal da Alumar; (ii) EC-1, localizado no início do acesso ao Estreito dos Coqueiros pela baía de São Marcos; (iii, iv e v) PI-C2, PI-C1 e PI-C7, localizados nas adjacências do Porto do Itaqui; (vi) SM-3, localizado próximo ao meio da baía, a cerca de 6 km do Porto do Itaqui; (vii, viii, ix e x) AF-7, AF-6, AF-4b e AF-5, localizados na região das áreas de fundeio número 7, 6, 4 e 5, representadas na Carta Náutica 41101. As coordenadas de fundeio de cada ponto estão representadas na Figura 1.

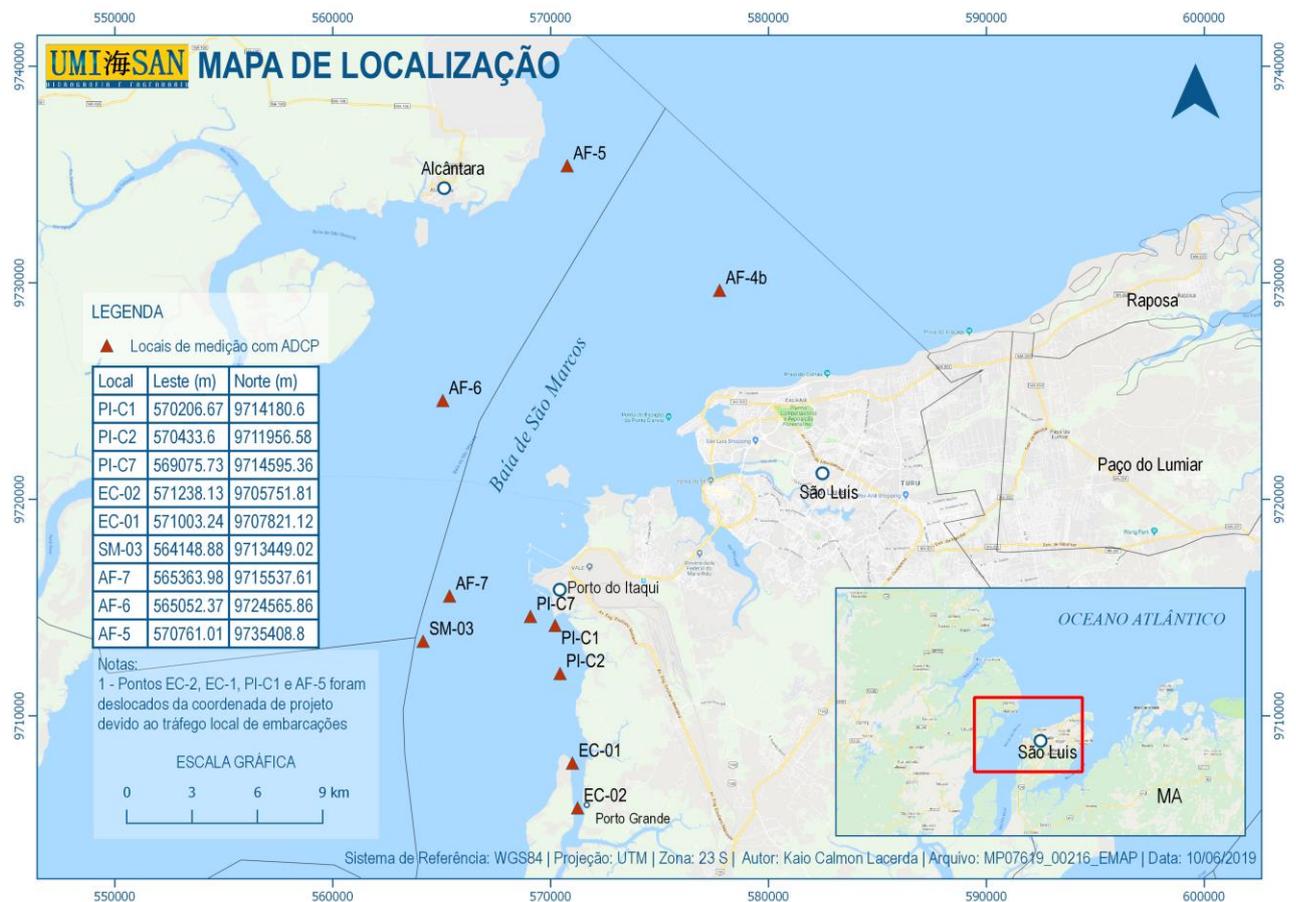


Figura 1: Localização dos pontos de medição com ADCP. Em cada ponto foram realizados levantamentos correntométricos durante momentos de enchente e vazante da maré, tanto em período de sizígia quanto de quadratura.

O *Acoustic Doppler Current Profile* (ADCP) é muito utilizado para medir a velocidade das correntes ao longo da coluna d'água e fundamenta-se no efeito Doppler, no qual o equipamento emite pulsos acústicos (*beams*) com frequências conhecidas a partir de quatro transdutores. A diferença entre a frequência dos sons emitidos pelos sensores e refletidos pelo plâncton, bolhas e pequenas partículas de sedimento em suspensão é proporcional à velocidade relativa entre o equipamento e essas partículas presentes na água. Como as partículas refletoras de pequena dimensão tendem a se mover junto com a água, a velocidade e a direção do escoamento ao longo da coluna d'água é determinada pela combinação dos dados de quatro *beams* e o conhecimento da orientação relativa dos transdutores.

A velocidade registrada pelo ADCP é medida em múltiplas áreas na vertical (*bin*), sendo obtido um perfil vertical (*ensemble*) de velocidade ao longo da profundidade. Devido à interferência acústica e possíveis velocidades inválidas criadas pelo próprio ADCP, o topo e o fundo da coluna de água não podem ser medidos apropriadamente, sendo muitas vezes estimados para fins de medição e vazão. A espessura destas camadas não medidas depende da distância do ADCP até o alvo final (coluna de água ou fundo), da frequência do ADCP e da forma como o ADCP foi programado para a aquisição dos dados. A interferência do fundo nos dados

adquiridos pelo ADCP começa em torno de 85% da profundidade para um *beam* com ângulo de 30° (FIRING; HUMMON, 2010).

Os registros de elevação e de magnitude e direção da velocidade foram, na maioria dos casos, registrados em intervalos de 1 min e células de 0.5 m. As medições em período de quadratura nos pontos PI-C2 e EC-1 tiveram um intervalo de amostragem de 10 min.

A série de elevação obtida é estimada de forma indireta com base no método acústico, uma vez que, com o equipamento acoplado ao barco não é possível utilizar o sensor de pressão para esse fim, pois o equipamento se desloca na vertical juntamente com o barco ao longo do ciclo de maré. Assim, para registrar durante todo o levantamento a distância do equipamento ao fundo, é utilizado o modo de rastreamento do fundo (*bottom track*) disponível no equipamento. Por meio desse modo de operação, em cada amostragem a distância do equipamento até o fundo é medida, sendo que, a série de profundidade é obtida somando-se a essa distância o valor da imersão do equipamento (*draft*), obtendo-se assim, a série temporal de elevação da coluna d'água. A partir dessa série temporal é realizada a subtração da média de toda a série de cada valor de elevação, e, assim, obtêm-se a curva estimada de maré.

No entanto, a curva de maré obtida pode apresentar distorções devido a variações na série de profundidade ocasionadas por outros fatores além da maré. Quando não há deslocamentos da embarcação na horizontal, nem variações morfológicas do fundo (e.g. erosão ou deposição de sedimento) logo abaixo da embarcação, a profundidade abaixo do equipamento varia apenas em função da maré. Porém, as profundidades registradas também podem variar em função de fatores diferentes da maré, seja em função de uma movimentação eventual da embarcação (e.g. em função da virada da maré ou manobra de navios no porto), da variação do leito devido ao transporte de sedimentos como carga de fundo ou ainda devido à interferência do fundo nos dados. Dessa forma, a série de elevação obtida a partir desse método pode não ser representativa de oscilações apenas devido à maré, o que será indicado no texto quando tal limitação for evidente.



(a)



(b)

Figura 2: Estrutura utilizada na instalação do ADCP na borda do barco em (a) e instalação realizada em (b).

Antes do início do levantamento, a bússola interna do ADCP foi calibrada a partir da realização de um giro completo em torno de si, de modo a compensar interferências eletromagnéticas (Figura 3). A declinação magnética para a região de levantamento, de 20°54' O, foi obtida a partir do programa GeoMag, utilizando o modelo *World Magnetic Model 2015* (WMM2015, CHULLIAT *et al.*, 2015) e considerada durante o processamento dos dados. Os documentos de configuração e calibração de campo dos ADCPs são apresentados no APÊNDICE B.

Após a correção da declinação magnética a direção dos dados passa a ter como referência o norte geográfico. Dados de corrente são representados de forma que a direção do dado indica o sentido para onde o fluido se desloca, onde o ângulo de zero grau corresponde a uma corrente indo para norte (0° - N) e noventa graus a uma corrente indo para leste (90° - L), com as demais direções seguindo essa mesma convenção (180° - S, 270° - O).



Figura 3: Calibração de campo realizada com o ADCP para compensar influências magnéticas.

## 4 RESULTADOS

Nas seções 4.1 a 4.10 são representados os resultados obtidos a partir das medições realizadas nos dez (10) pontos de coleta realizados com o barco fundeado ao longo de períodos mínimos de 13h: EC-2, EC-1, PI-C2, SM-3, PI-C1, PI-C7, AF-7, AF-6, AF-4B e AF-5, respectivamente. O período de levantamento realizado em cada ponto se encontra na Tabela 1 e os dados brutos e processados se encontram no APÊNDICE C.

Tabela 1: Período de levantamento realizado em cada ponto de coleta.

Ponto	SIZÍGIA			QUADRATURA		
	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)
EC-2	18/05/2019 9:20	18/05/2019 22:20	13:00	26/05/2019 2:51	26/05/2019 16:35	13:44
EC-1	18/05/2019 8:55	18/05/2019 23:31	14:36	10/05/2019 7:23	10/05/2019 22:43	15:20
PI-C2	19/05/2019 0:29	19/05/2019 17:30	17:01	10/05/2019 8:58	10/05/2019 23:58	15:00
SM-3	20/05/2019 13:25	21/05/2019 6:46	17:21	11/05/2019 1:29	11/05/2019 16:56	15:27
PI-C1	19/05/2019 0:50	19/05/2019 17:11	16:21	11/05/2019 1:59	11/05/2019 17:48	15:49
PI-C7	19/05/2019 18:36	20/05/2019 11:42	17:06	11/05/2019 2:18	11/05/2019 19:24	17:06
AF-7	19/05/2019 20:34	20/05/2019 11:30	14:56	28/05/2019 23:44	29/05/2019 13:30	13:46
AF-6	21/05/2019 13:42	22/05/2019 6:26	16:44	13/05/2019 3:14	13/05/2019 18:01	14:47
AF-4B	20/05/2019 14:59	21/05/2019 6:16	15:17	13/05/2019 1:56	13/05/2019 18:03	16:07
AF-5	21/05/2019 17:05	22/05/2019 6:29	13:24	13/05/2019 23:06	14/05/2019 12:46	13:40

## 4.1 ADCP EC-2

### 4.1.1 Sizígia

O levantamento teve início no dia 18/05/2019 09h20 (UTC) e se estendeu até 22h20 (UTC), totalizando cerca de 13h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.5 m/s na região superficial da coluna d'água, a 1.7 m de 10.2 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima foi registrada durante o período de estofa de baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste levantamento ocorreram durante a vazante entre 2 e 3 horas de coleta (Figura 4), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.4 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo à superfície (máximo de 1.5 m/s), reduzindo pouco em direção ao fundo (máximo de 1.3 m/s), como se observa na Figura 4, Figura 6 e Figura 7.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre 8 e 10 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 0.9 m/s, o que representa uma redução de 40% em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 6 e Figura 7), com direções de vazante entre NNO - N (337° - 360°) e de enchente em torno de SE – SSE (135° - 157°), seguindo o alinhamento do canal principal na região de medição. Essa característica do escoamento evidencia a maré como forçante predominante do escoamento local no período, o que é corroborado pelas velocidades baixas durante os períodos de estofa da maré.

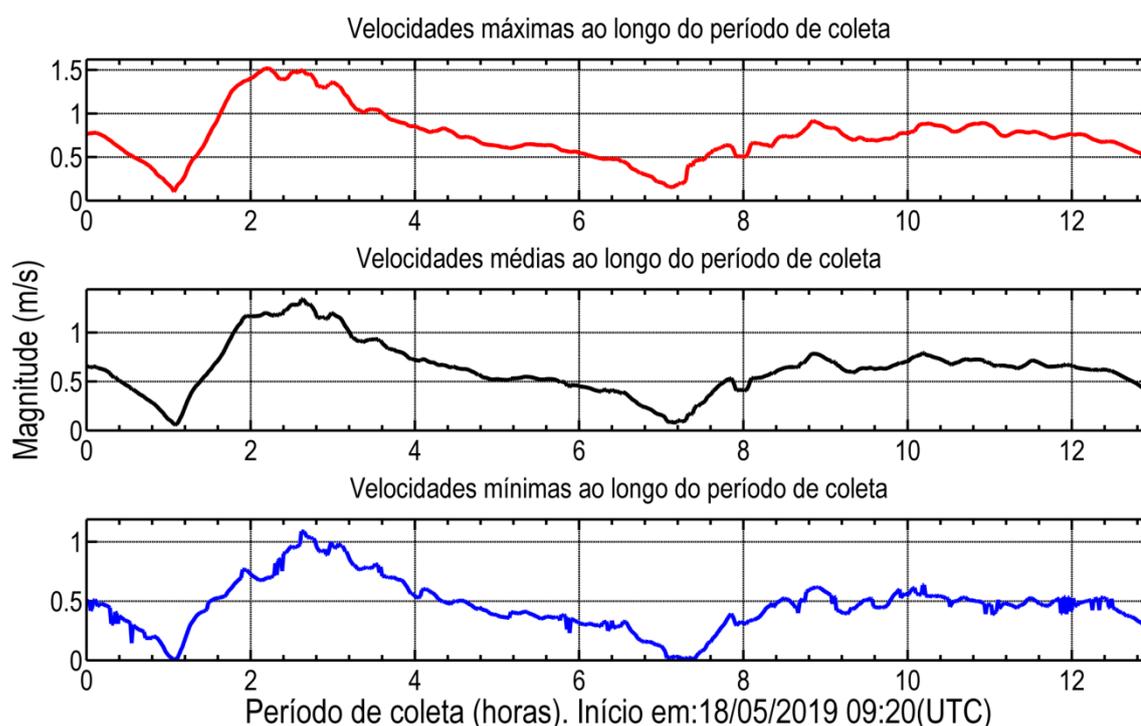


Figura 4: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do

ADCP EC-2.

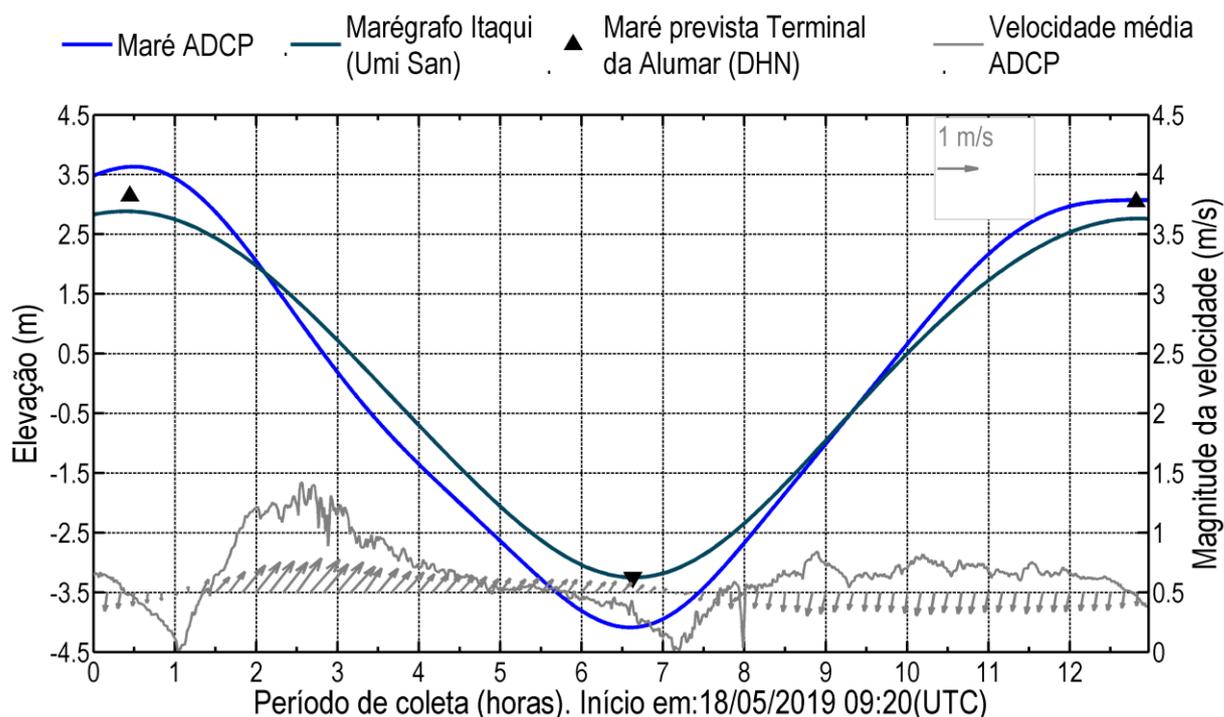


Figura 5: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-2. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

A Tabela 2 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta EC-2 durante o período de sizígia.

Tabela 2: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-2 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.5	0.008
Direção	352.4	169.3
Período	Meio da vazante	Estofa de baixa-mar
Hora de coleta	2.2	7.3
Data (UTC)	18/05/2019 11:33	18/05/2019 16:39
Profundidade (m) da medida	1.7	2.2
Profundidade da coluna de água (m)	10.2	5.2

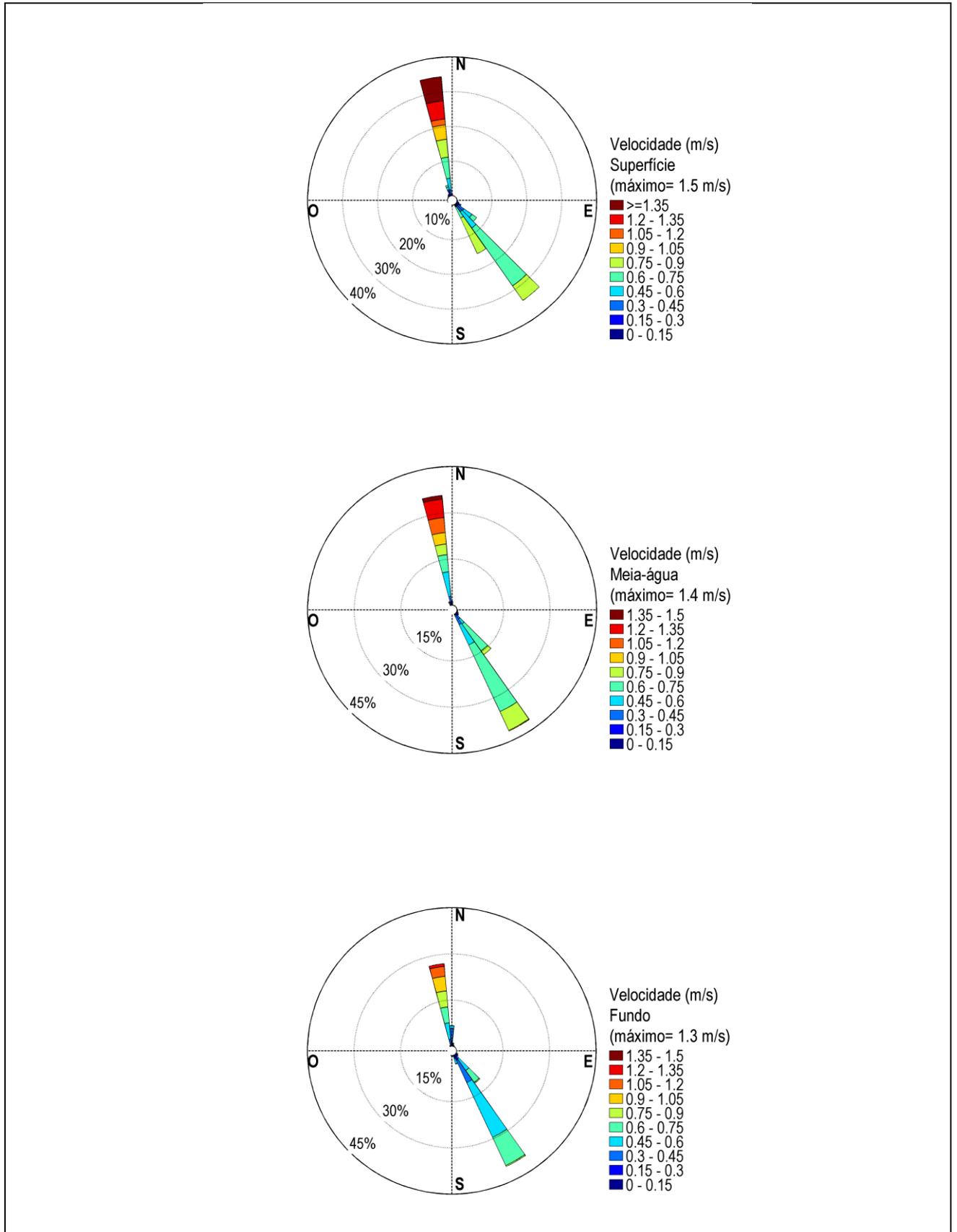


Figura 6: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-2.

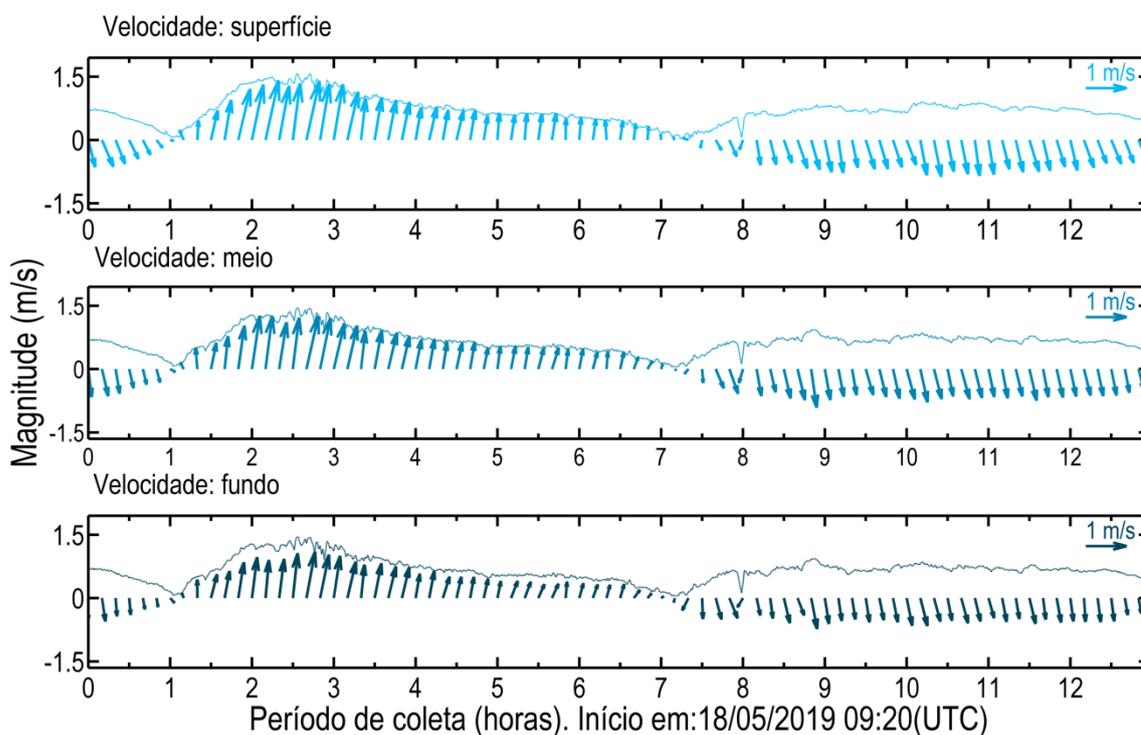


Figura 7: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-2.

#### 4.1.2 Quadratura

O levantamento teve início 26/05/2019 2h55 (UTC) e se estendeu até 16h35 (UTC), totalizando cerca de 14h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 0.62 m/s na região próxima ao fundo, a 6.6 m de 8.1 m de profundidade, durante o meio da enchente, enquanto a mínima foi registrada próximo à superfície, também durante o meio da enchente. Esse padrão é atípico para a região da baía de São Marcos e pode estar relacionado com uma possível corrente contrária à predominante no local, sendo a comunicação do estreito dos coqueiros com a baía de São José uma possível explicação para tal evento, com a convergência de águas da baía de São Marcos e da baía de São José na região durante o período de enchente da maré.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de enchente, entre 9 e 10 horas de coleta (Figura 8, Figura 9), quando as maiores velocidades variaram em torno de 0.6 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 9, Figura 10 e Figura 11), com direções de vazante entre NNO e N ( $337^\circ - 360^\circ$ ) e de enchente em torno de SSE – S ( $135^\circ - 180^\circ$ ), seguindo o alinhamento da baía na região do ponto de coleta.

Ao longo do período de vazante as máximas velocidades variaram em torno de 0.5 m/s entre 3 h e 4 h de medição, com um máximo de 0.55 m/s (Figura 8 e Figura 9), o que representa uma redução de apenas 8 % em relação ao máximo registrado na enchente. Assim, diferente do observado na sizígia, as maiores velocidades ocorreram durante a enchente e com diferenças menos expressivas em relação ao obtido na sizígia (40 %).

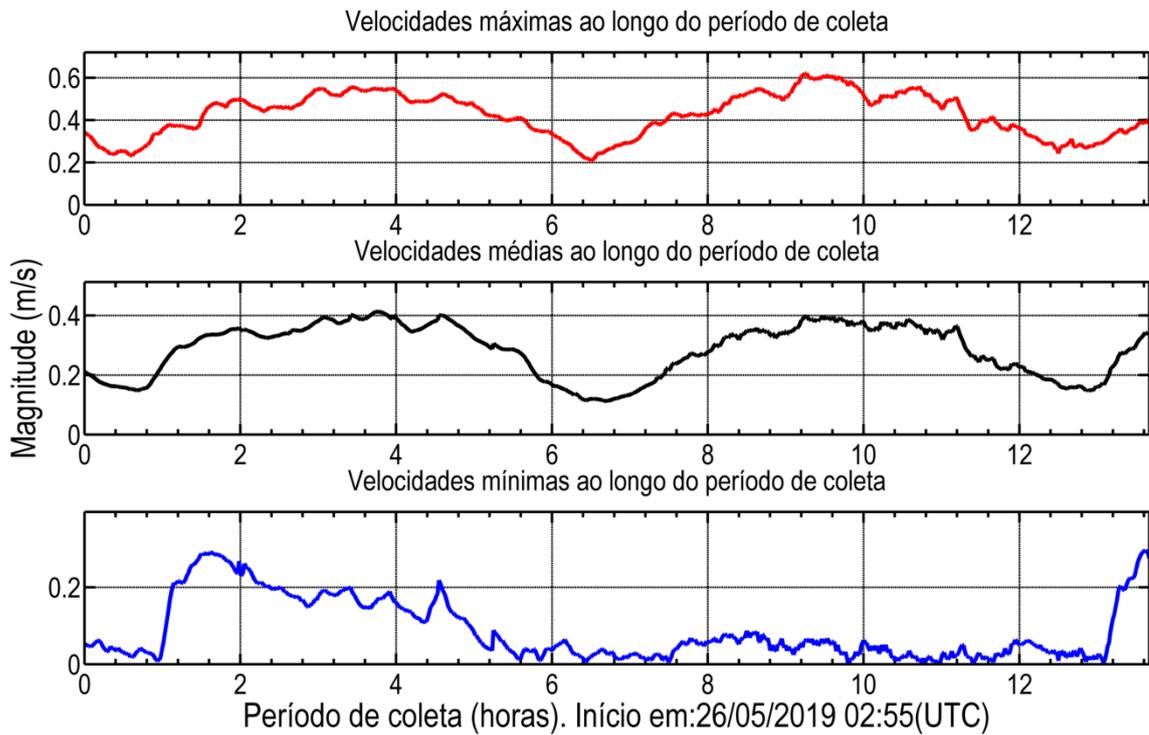


Figura 8: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP EC-2.

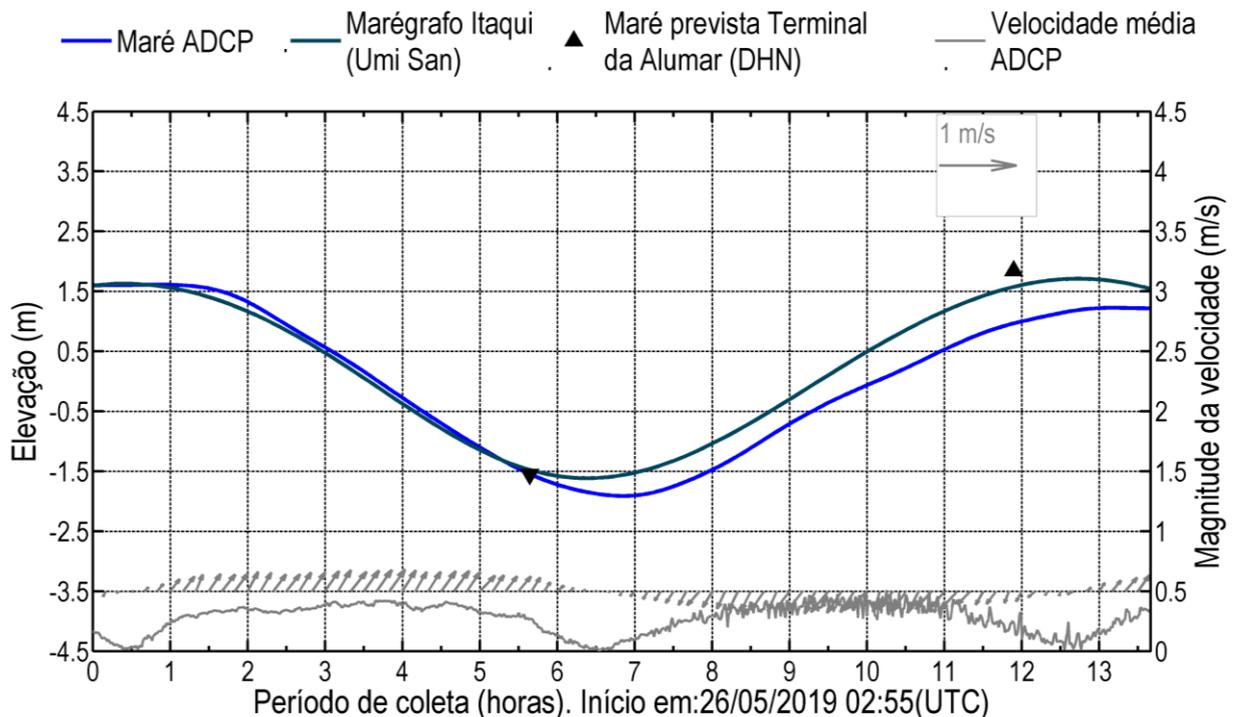


Figura 9: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-2. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

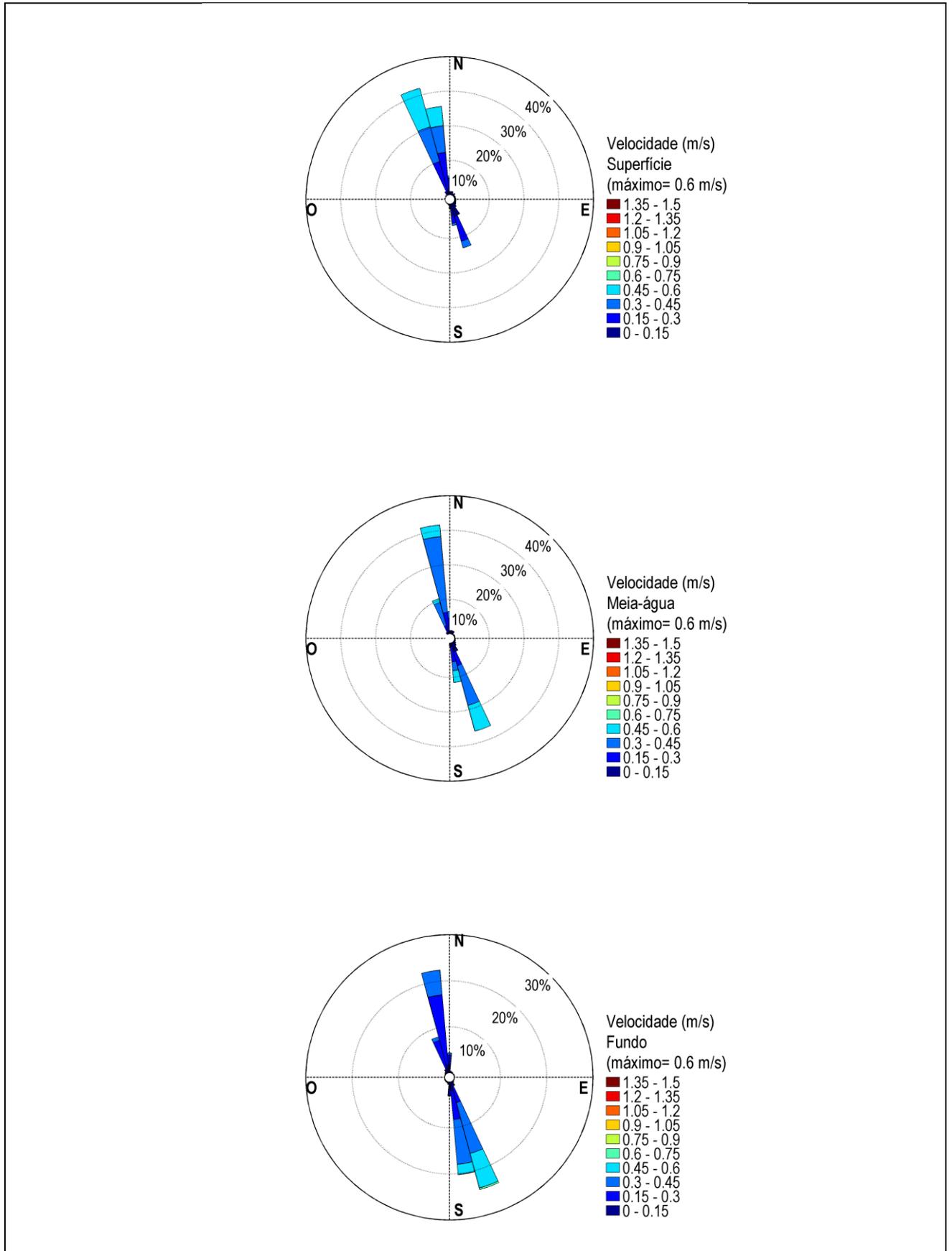


Figura 10: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-2.

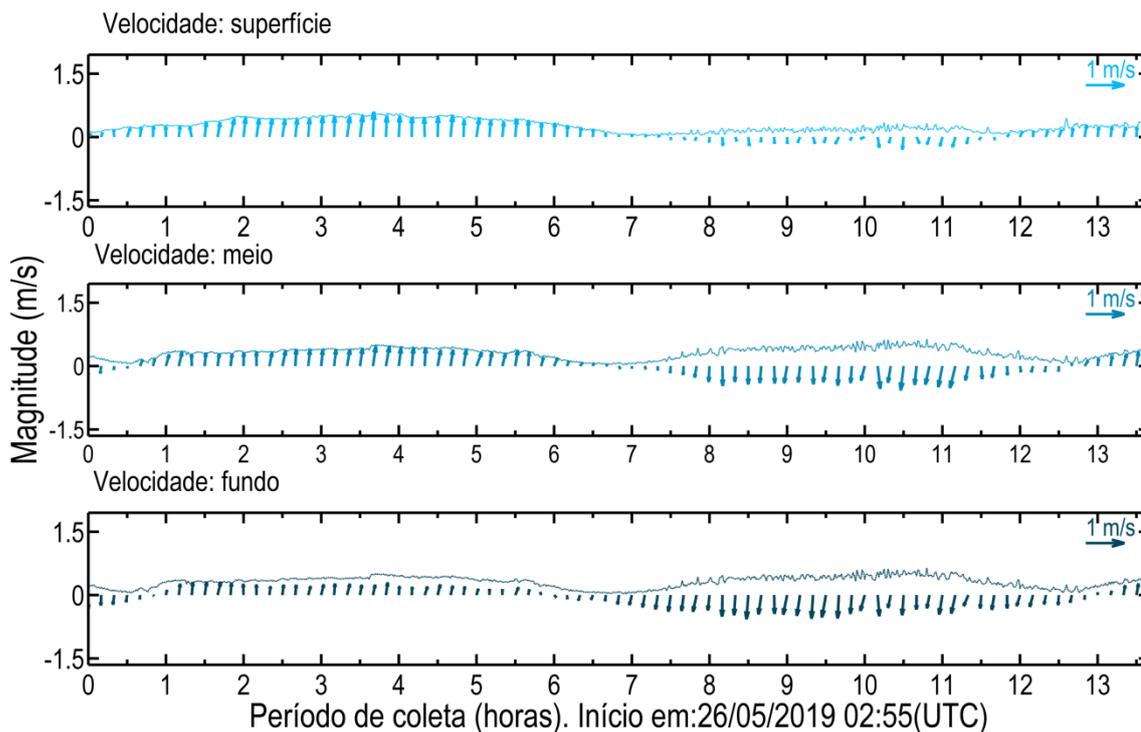


Figura 11: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-2.

A Tabela 3 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta EC-2 durante o período de quadratura.

Tabela 3: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP EC-2 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	0.620694053	0.000979121
Direção	164.611182	250.0014095
Período	Meio da enchente	Meio da enchente
Hora de coleta	9.3	9.8
Data (UTC)	26/05/2019 12:10	26/05/2019 12:43
Profundidade (m) da medida	6.6	2.1
Profundidade da coluna de água (m)	8.1	8.6

#### 4.1.3 Análise integrada EC-2: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1.5 m/s e direção 352.4 (N). Na quadratura o máximo registrado foi de 0.62 m/s, porém, registrado durante a enchente. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 41% da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de

0.88 m/s.

Apenas na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças expressivas, com uma diferença 0.9 m/s, o que representou uma redução de 40 %, enquanto na quadratura foi de 8%. Assim, durante a sizígia observa-se um padrão característico de locais com correntes com dominância de vazante.

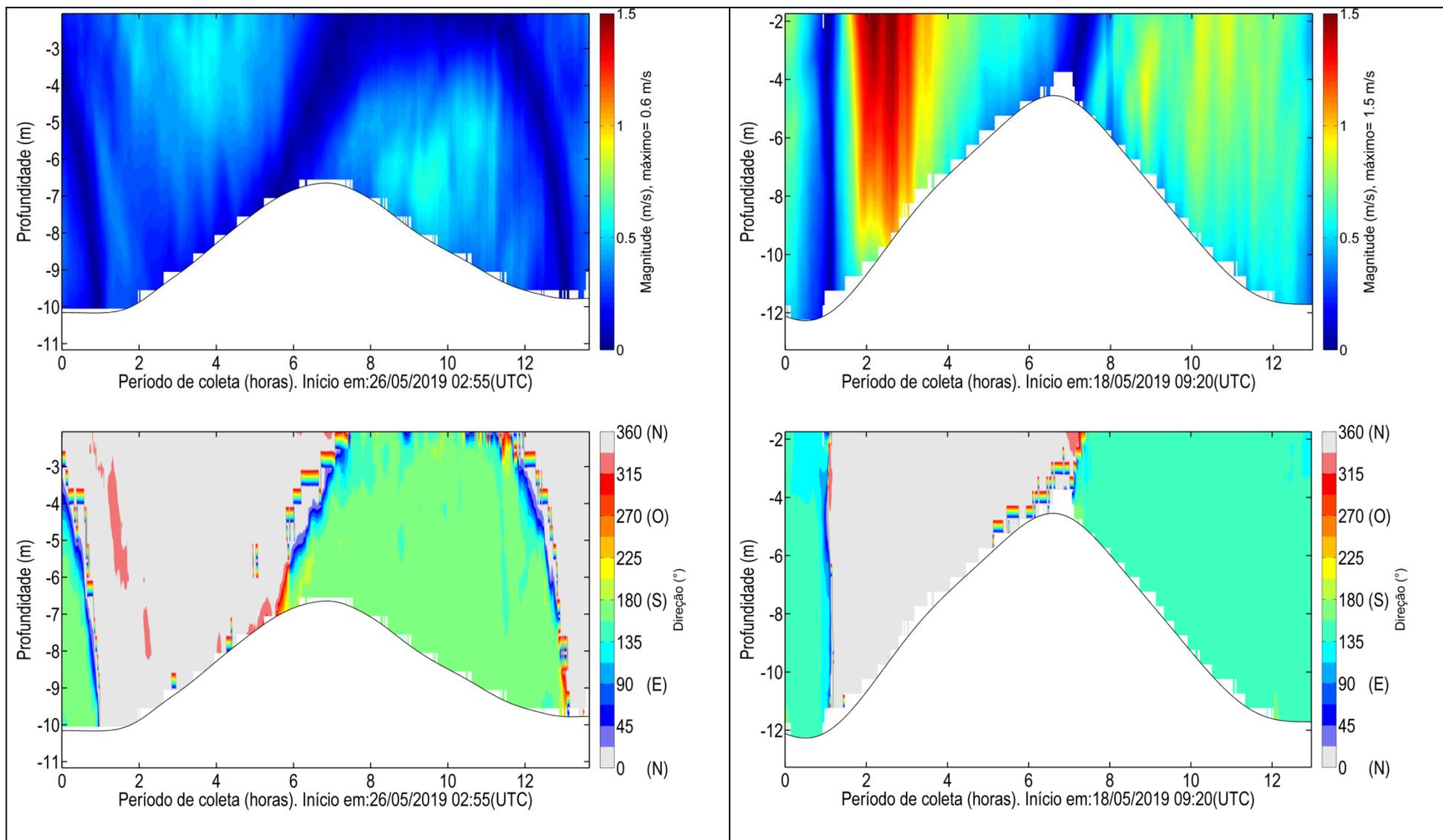


Figura 12: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP PI-C8.

#### 4.1.4 Análise integrada EC-2 sizígia: levantamento anterior (fev./2018).

Nesta seção são comparados os resultados obtidos a partir das medições realizadas no ponto de coleta EC-2 durante o período de sizígia em duas campanhas distintas, identificadas como campanha 1 (fev./2018), referente ao RT 44 18, e campanha 2 (maio/2019), relatório atual, como identificado na Tabela 4.

Tabela 4: Período dos levantamentos realizados no ponto de medição.

Ponto	CAMPANHA 1 (RT 44 18)			CAMPANHA 2 (RT 110 19)		
	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)
EC-2	02/02/2018 11:15	03/02/2018 00:25	13:10	18/05/2019 09:20	18/05/2019 22:20	13:00

Os resultados das campanhas são comparados na Figura 13 utilizando como referência horária a preamar mais próxima do início de cada levantamento (hora 0), assim, os resultados de velocidades podem ser comparados para os diferentes períodos com base nos momentos de maré. As máximas e mínimas velocidades registradas em cada levantamento são identificadas na Tabela 5.

Na Figura 14 e Figura 15 são representados os períodos de levantamento de cada campanha na série de maré prevista para o Porto de Itaqui, o que permite identificar algumas características do regime de maré associado às medições, como a amplitude de maré após a preamar de referência (PM-BM).

A partir dos resultados obtidos, observa-se que as velocidades da campanha 1 (máximo de 1.54 m/s) foram ligeiramente maiores que na campanha 2 (máximo de 1.52 m/s), o que ocorre associado a uma maior amplitude de maré no período da campanha 1 (6.7 m) em relação à campanha 2 (6.4 m). Os resultados indicam uma redução da máxima velocidade de 0.02 m/s (1.3% do máx.) associada a uma redução da amplitude de maré de 0.3 m (4.5% do máx.) da campanha 2 (maio/2019) em relação à campanha 1 (fev./2018).

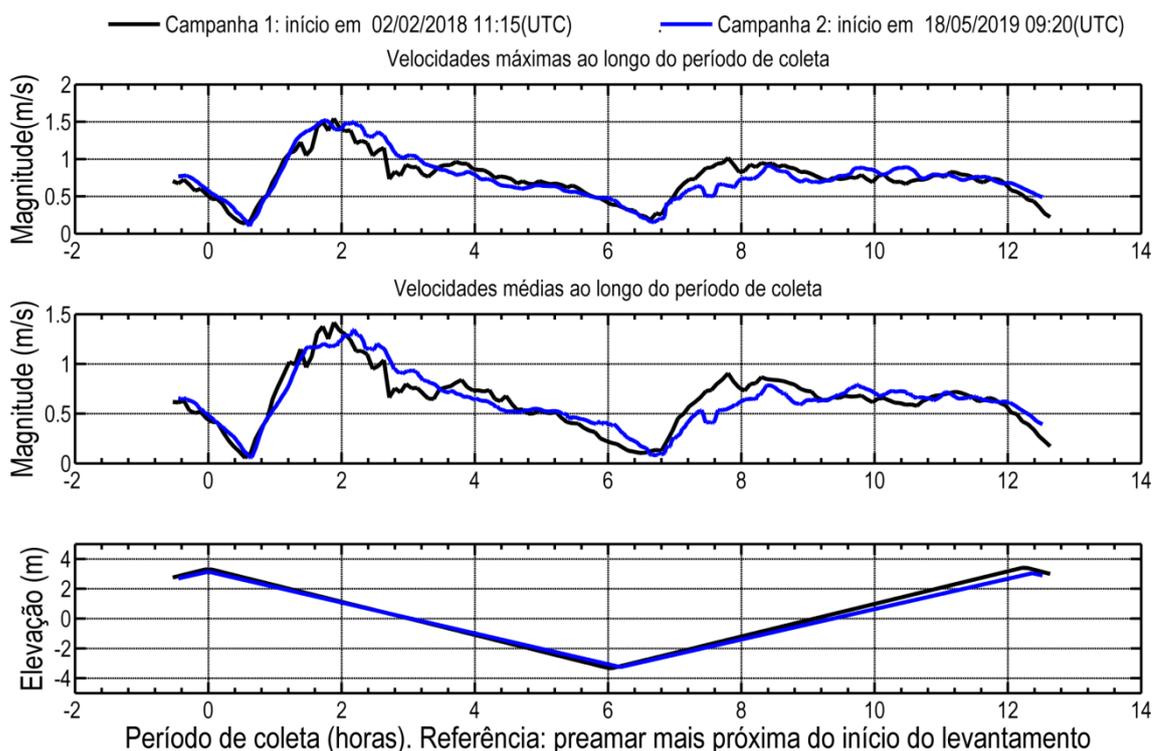


Figura 13: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta EC-2 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

Tabela 5: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-2 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

	SIZIGIA			
	EC-2   CAMPANHA 1		EC-2   CAMPANHA 2	
	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.54	0.003	1.52	0.01
Direção	1.2	114.1	352.4418664	169.28
Período	Meio da vazante	Estofo de baixa-mar	Meio da vazante	Estofo de baixa-mar
Hora de coleta	2.4	6.9	2.2	7.3
Data (UTC)	02/02/2018 13:40	02/02/2018 18:10	18/05/2019 11:33	18/05/2019 16:39
Profundidade (m) da medida	3.1	5.6	2.2	2.7
Profundidade da coluna de água (m)	14.1	14.1	13.2	13.2

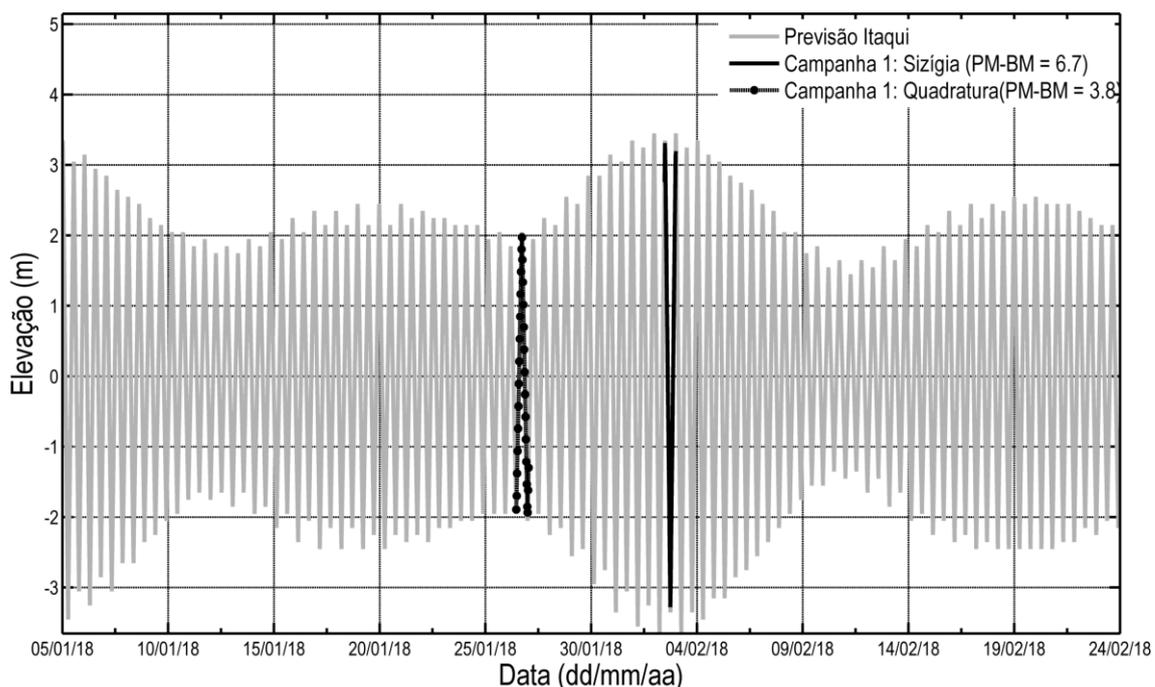


Figura 14: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sизigia e quadratura na Campanha 1 do ponto EC-2. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

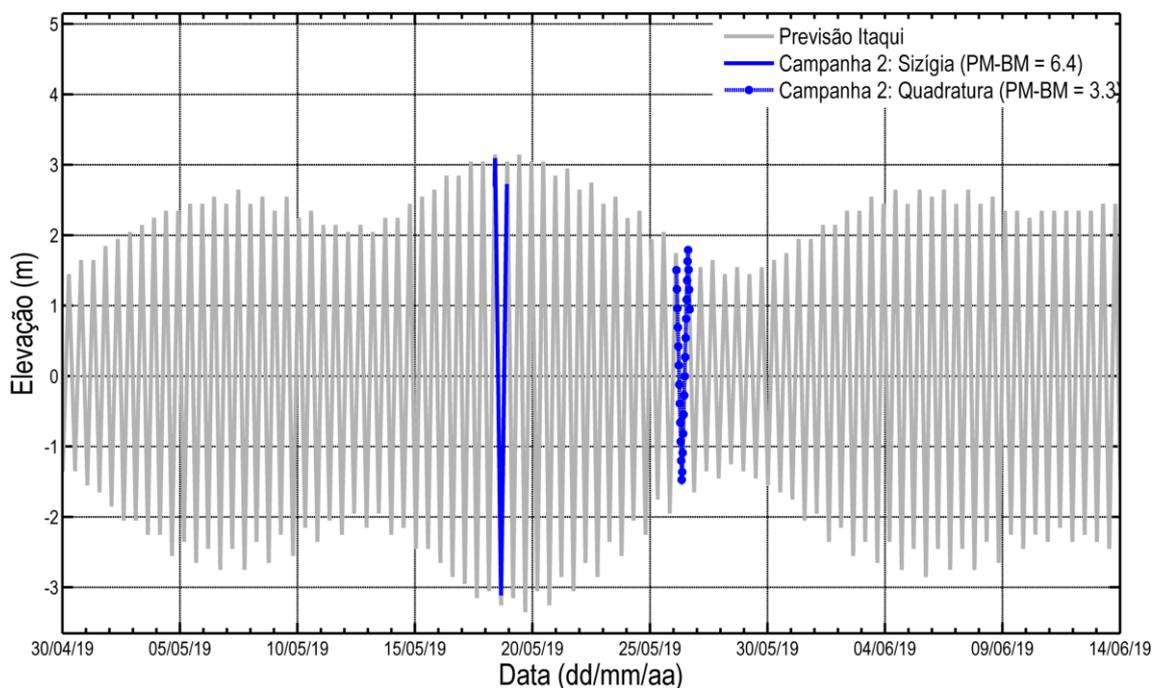


Figura 15: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sизigia e quadratura na Campanha 2 do ponto EC-2. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

#### 4.1.5 Análise integrada EC-2 quadratura: levantamento anterior (jan./2018).

A seguir são comparados os resultados obtidos a partir das medições realizadas no ponto de coleta EC-2 durante o período de quadratura em duas campanhas distintas, identificadas como campanha 1 (jan./2018),

referente ao RT 44 18, e campanha 2 (maio/2019), relatório atual, como identificado na Tabela 6.

Tabela 6: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.

Ponto	CAMPANHA 1 (RT 44 18)			CAMPANHA 2 (RT 110 19)		
	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)
EC-2	26/01/2018 10:54	27/01/2018 01:19	14:25	26/05/2019 02:55	26/05/2019 16:35	13:40

Os resultados das campanhas são comparados na Figura 16 utilizando como referência horária a preamar mais próxima do início de cada levantamento (hora 0). As máximas e mínimas velocidades registradas em cada levantamento são identificadas na Tabela 7.

Na Figura 14 e Figura 15 são identificadas algumas características do regime de maré associado às medições, como a amplitude de maré após a preamar de referência (PM-BM).

A partir dos resultados obtidos, nota-se que as velocidades da campanha 1 (máximo de 0.71 m/s) foram ligeiramente maiores que na campanha 2 (máximo de 0.62 m/s), o que ocorre associado a uma maior amplitude de maré no período da campanha 1 (3.8 m) em relação à campanha 2 (3.3 m). Os resultados indicam uma redução da máxima velocidade de 0.09 m/s (13 % do máx.) associada a uma redução da amplitude de maré de 0.5 m (13 % do máx.) da campanha 2 (maio/2019) em relação à campanha 1 (jan./2018).

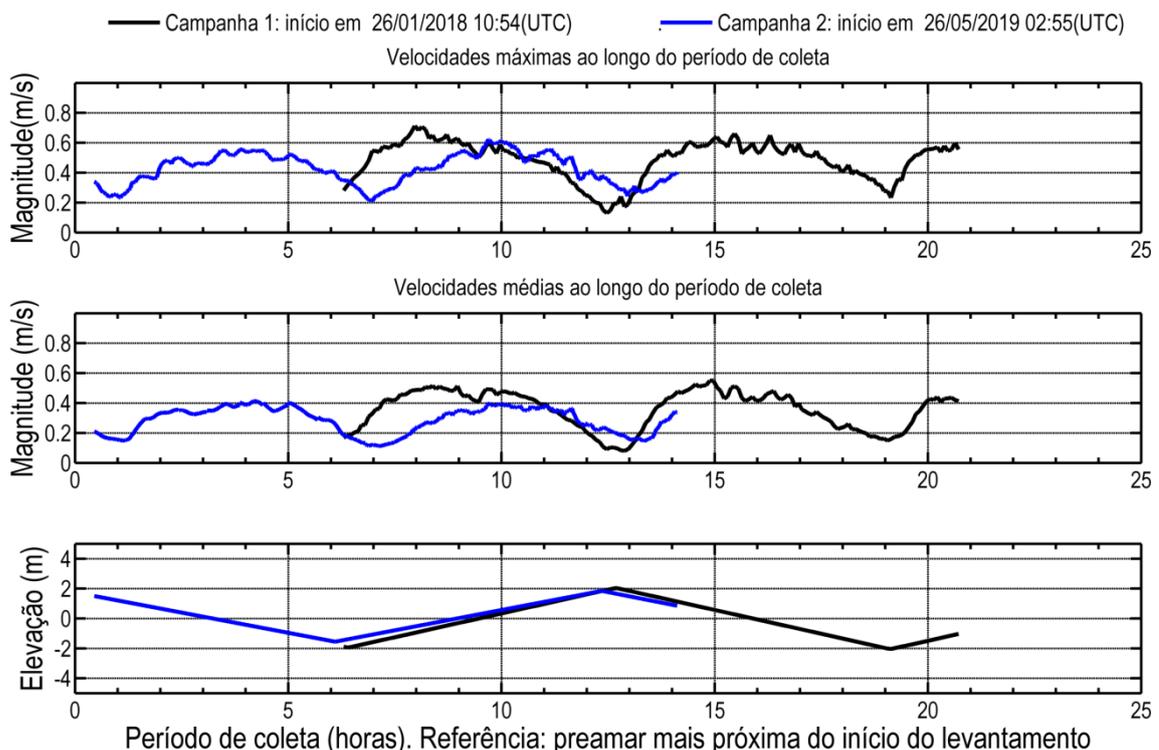


Figura 16: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta EC-2 no período de quadratura

durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

Tabela 7: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-2 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

	QUADRATURA			
	EC-2   CAMPANHA 1		EC-2   CAMPANHA 2	
	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	0.71	0.005	0.62	0.00
Direção	165.9	249.1	164.6	250.0
Período	Enchente	Estofo de baixa-mar	Meio da enchente	Meio da enchente
Hora de coleta	1.7	0.1	9.3	9.8
Data (UTC)	26/01/2018 12:34	26/01/2018 10:59	26/05/2019 12:10	26/05/2019 12:43
Profundidade (m) da medida	7.0	5.0	7.1	2.6
Profundidade da coluna de água (m)	12.0	12.0	10.6	10.6

## 4.2 ADCP EC-1

### 4.2.1 Sizígia

O levantamento teve início 08h55 (UTC) e se estendeu até 23h31 (UTC) do dia 18/05/2019, totalizando cerca de 15h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.57 m/s na região superficial da coluna d'água, a 2.4 m de 10.4 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima de 0.004 m/s foi registrada durante o estofo de baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 2 e 3 horas de coleta (Figura 21), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.5 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo à superfície (máximo de 1.6 m/s), reduzindo em direção ao fundo (máximo de 1.2 m/s), como se observa na Figura 19, Figura 20 e Figura 25.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre 10 e 11 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 1.25 m/s, o que representa uma redução de 20% em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 19 e Figura 20), com direções de vazante entre ONO-N (292° – 360°) e de enchente em torno de SSE-S (157° - 180°), seguindo o alinhamento do canal principal da baía na região de medição. Essa característica do escoamento evidencia a maré como forçante predominante do escoamento local no período, o que é corroborado pelas velocidades baixas durante os períodos de estofo da maré.

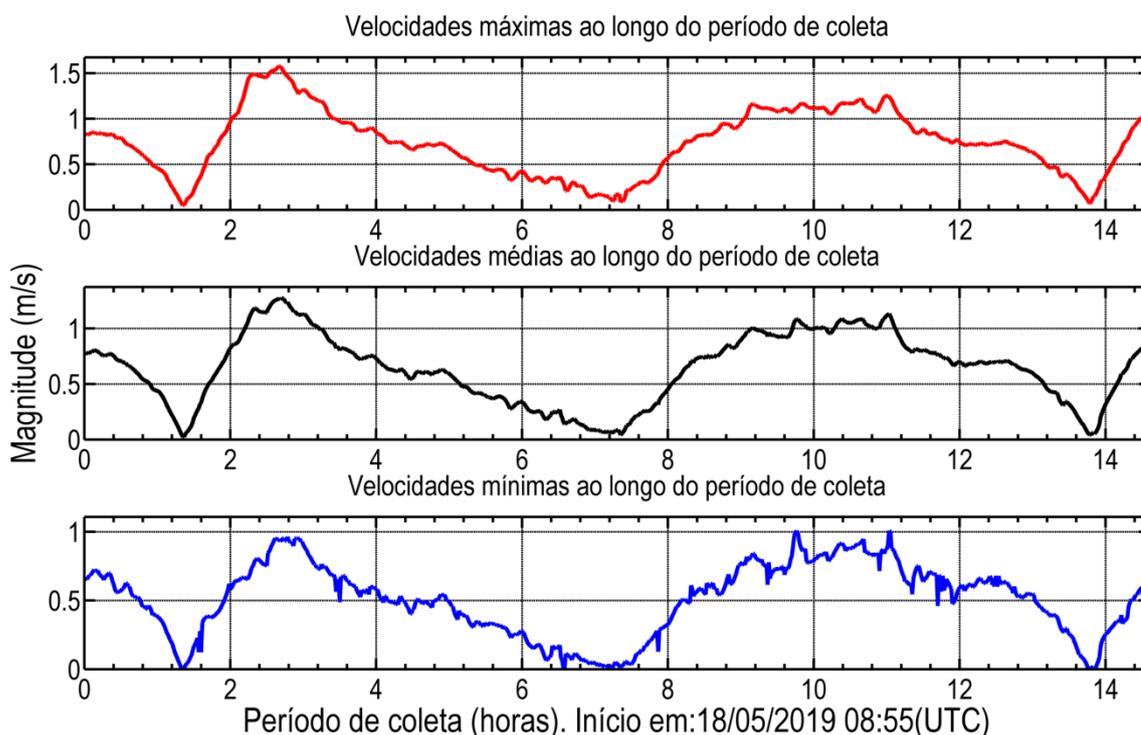


Figura 17: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP EC-1.

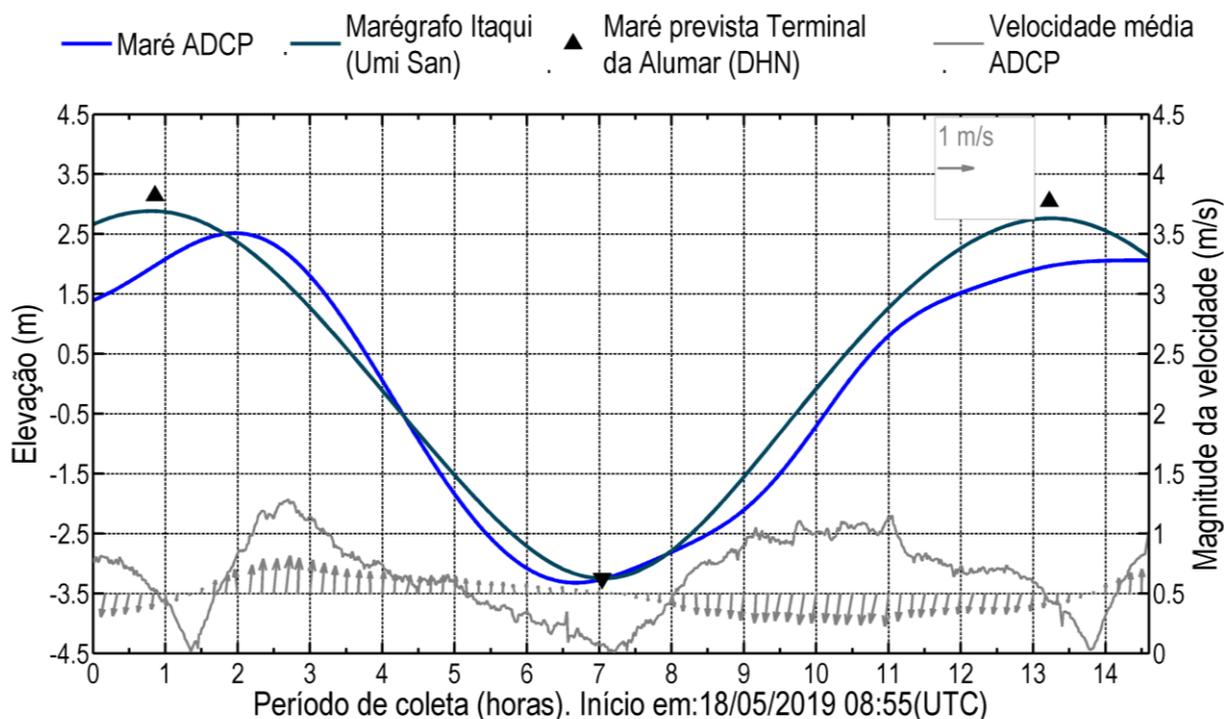


Figura 18: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-1. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

A Tabela 8 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta EC-1

durante o período de sizígia.

Tabela 8: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-1 durante o período de sizígia.

	<b>Velocidade Máxima</b>	<b>Velocidade Mínima</b>
<b>Magnitude (m/s)</b>	1.57	0.004
<b>Direção</b>	322°	228°
<b>Período</b>	Meio da vazante	Estofo de baixa-mar
<b>Hora de coleta</b>	2.7	6.6
<b>Data (UTC)</b>	18/05/2019 11:35	18/05/2019 15:29
<b>Profundidade (m) da medida</b>	2.4	5.4
<b>Profundidade da coluna de água (m)</b>	10.4	5.4

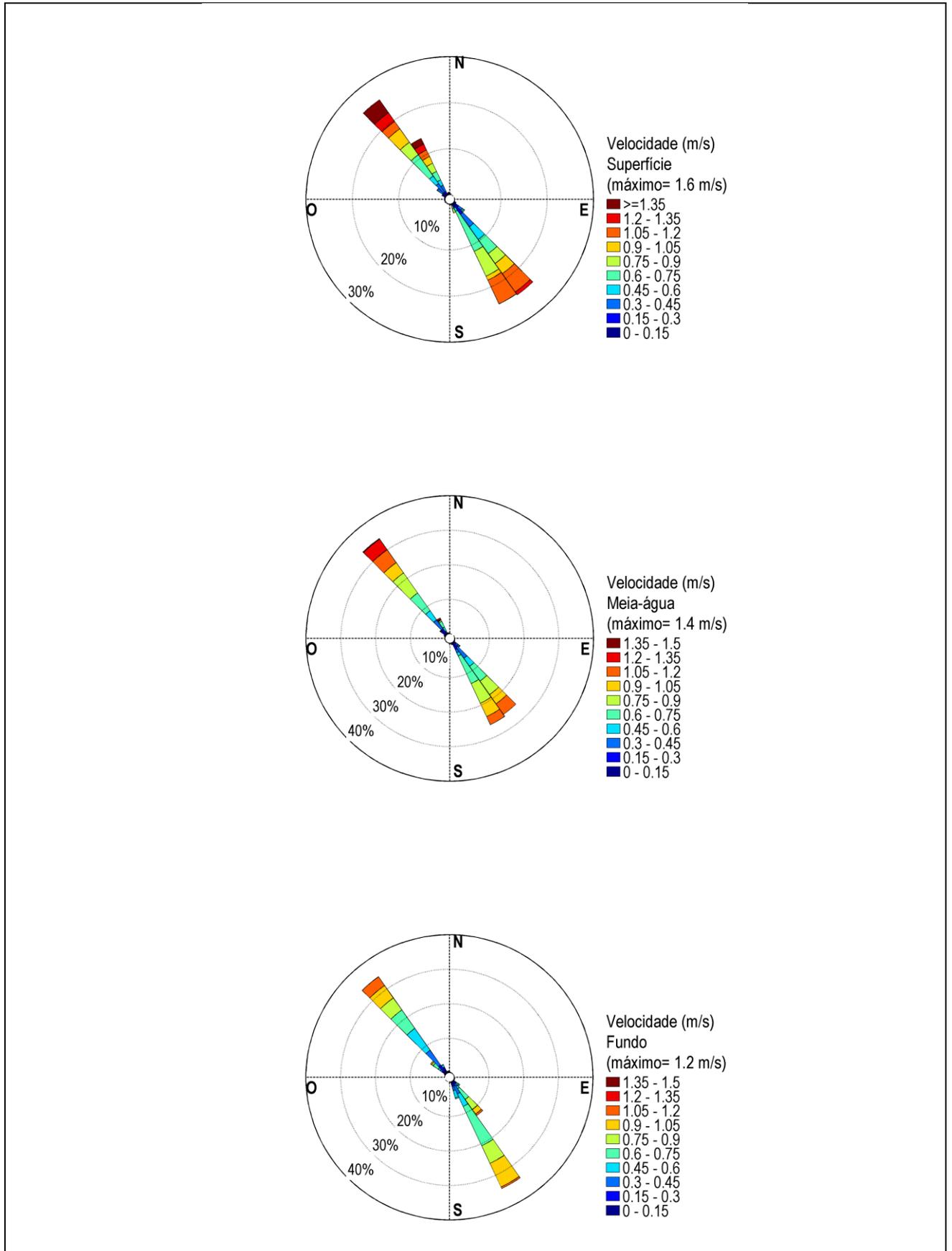


Figura 19: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-1.

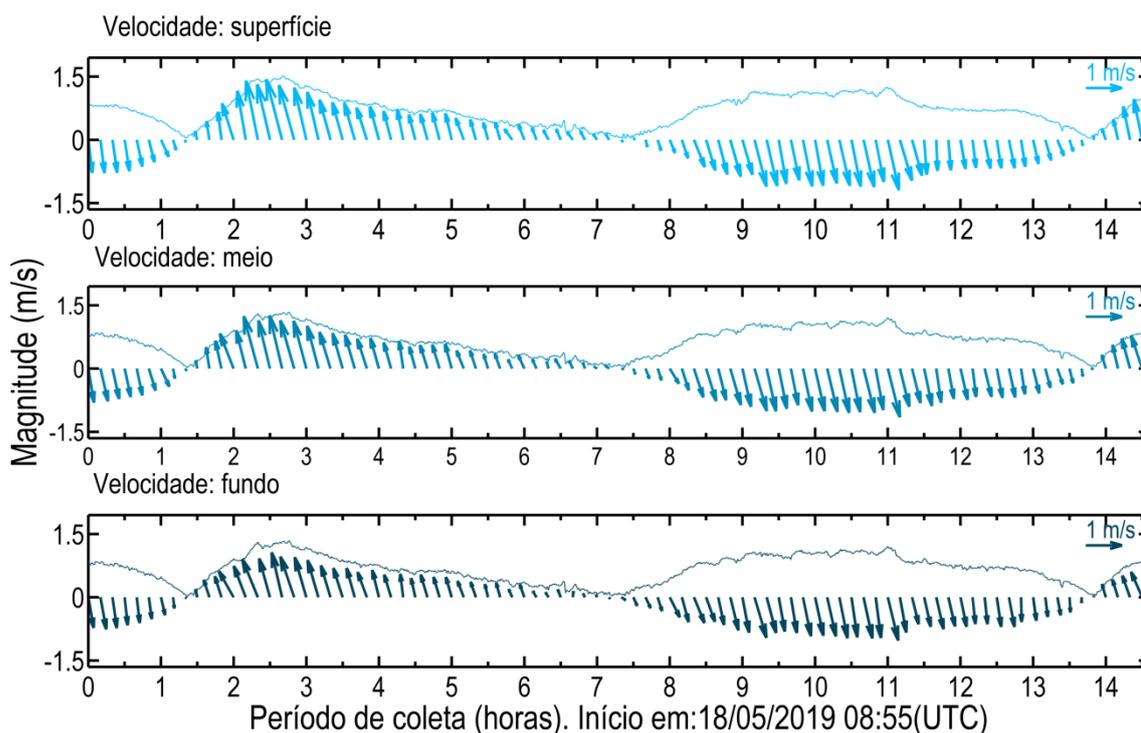


Figura 20: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-1.

#### 4.2.2 Quadratura

O levantamento teve início 10/05/2019 07h23 (UTC) e se estendeu até 22h43 (UTC), totalizando cerca de 15h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1 m/s na região superficial da coluna d'água, a 1.5 m de 9.5 m de profundidade, durante a vazante, enquanto a mínima registrada foi de 0.009 m/s, medida próximo a superfície durante o estofa de preamar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período de vazante, entre 7.7 e 8.7 horas de coleta (Figura 21, Figura 22), quando as maiores velocidades variaram em torno de 0.96 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 23), com direções de vazante entre ONO-N (292 - 360) e de enchente em torno de SSE-S (157 - 180), seguindo o alinhamento do canal principal da baía na região do ponto.

Ao longo do período de enchente as máximas velocidades variaram em torno de 0.9 m/s entre 3h e 4h, com um máximo de 0.96 m/s (Figura 21, Figura 22), o que representa uma redução de apenas 4% em relação ao máximo registrado na vazante. Assim, de maneira similar ao observado na sizígia, as maiores velocidades ocorreram durante a vazante, porém, com diferenças menores em relação ao obtido na sizígia (20%).

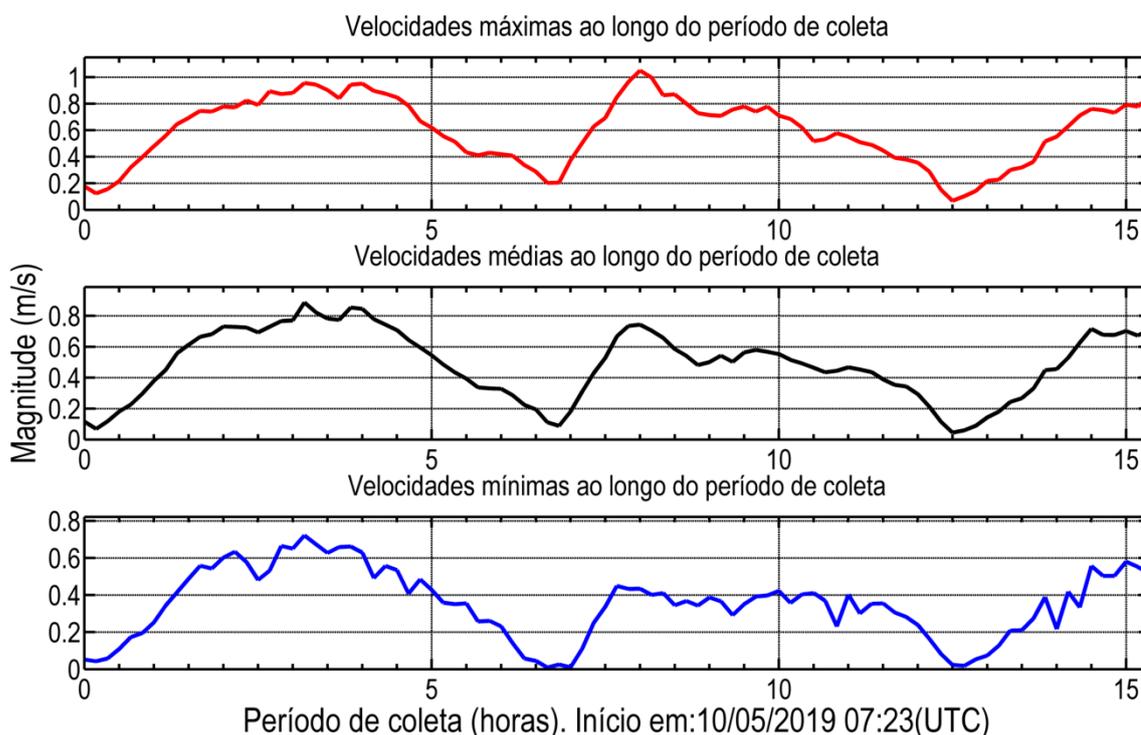


Figura 21: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP EC-1.

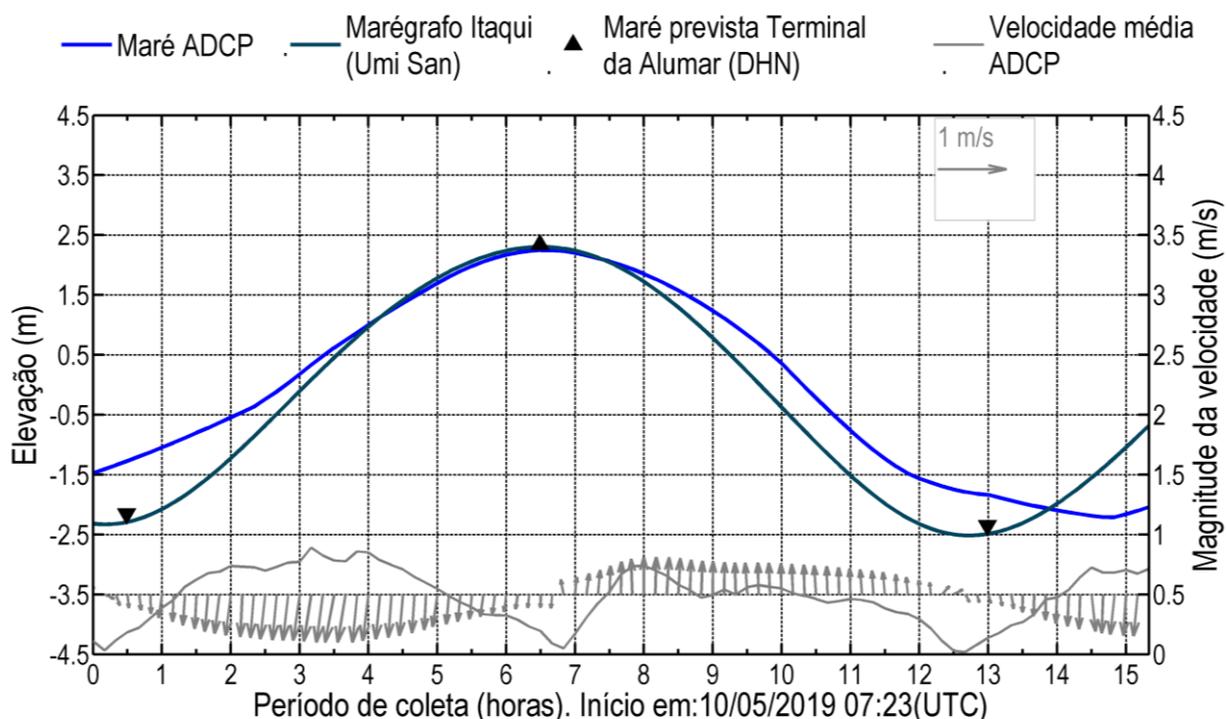


Figura 22: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-1. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

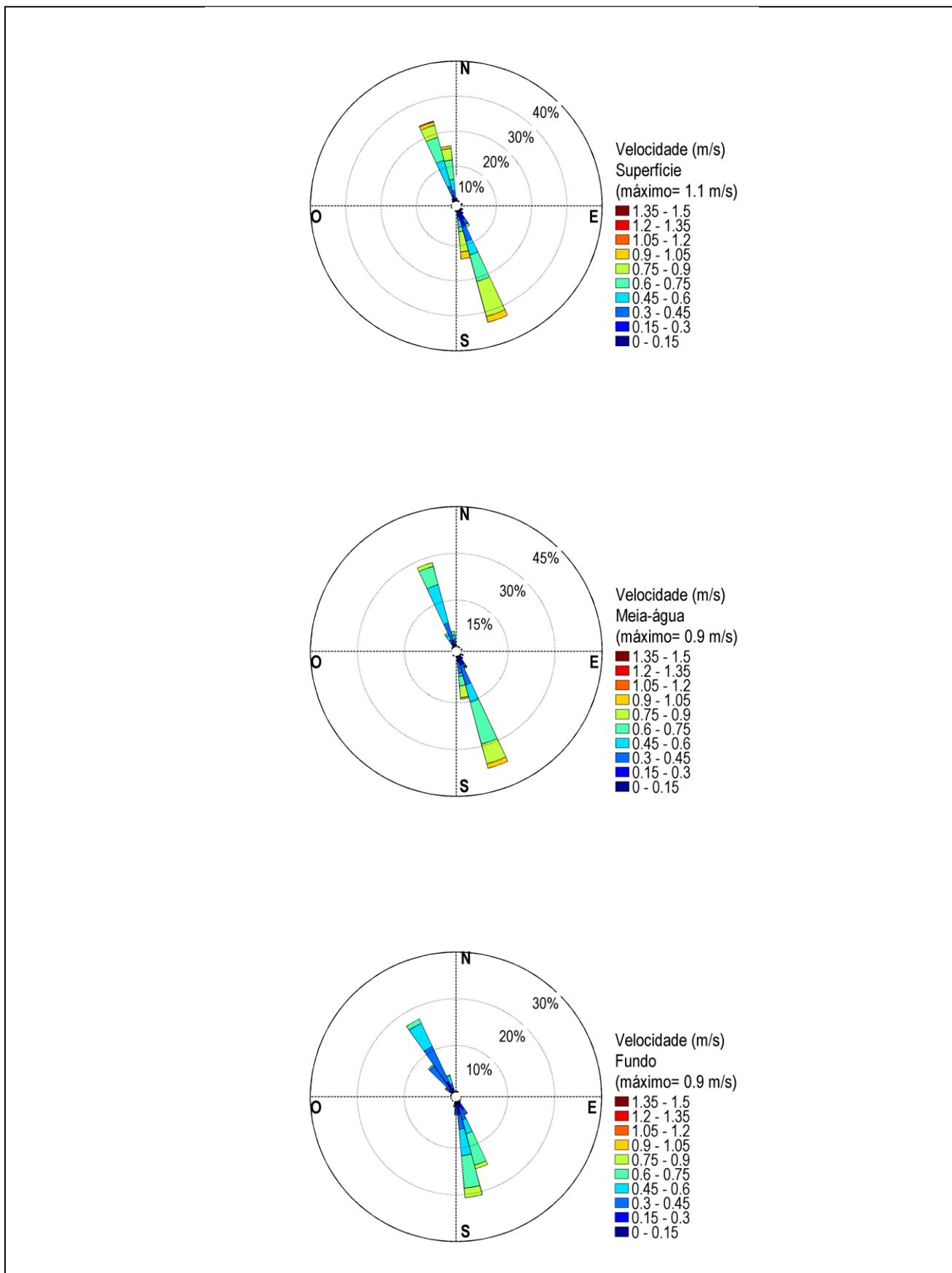


Figura 23: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-1.

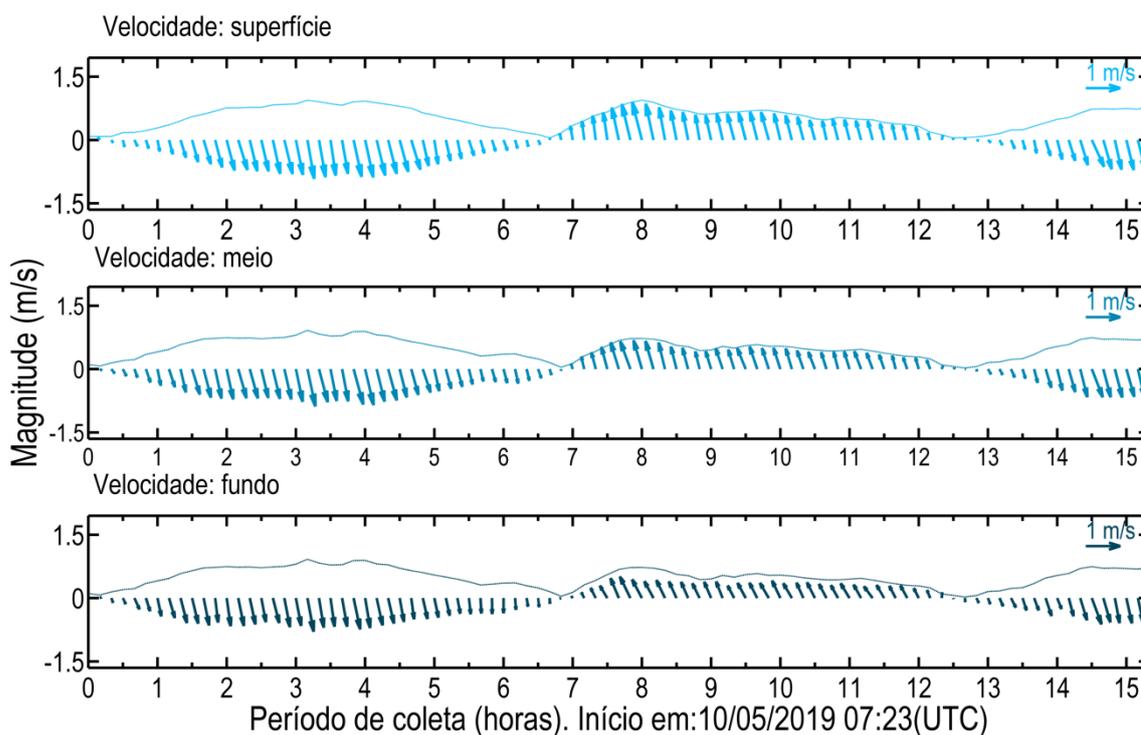


Figura 24: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-1.

A Tabela 9 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta EC-1 durante o período de quadratura.

Tabela 9: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP EC-1 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.05	0.009
Direção	343.9	281.1
Período	Vazante	Estofa de preamar
Hora de coleta	8.0	6.7
Data (UTC)	10/05/2019 15:23	10/05/2019 14:03
Profundidade (m) da medida	1.5	2.5
Profundidade da coluna de água (m)	9.5	9.5

#### 4.2.3 Análise integrada EC-1: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1.57 m/s e direção 322°(NO-NNO). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.05 m/s, também registrado durante a vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 33 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença

de 0.52 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças, com a maior diferença observada na sizígia, de 20%, enquanto na quadratura foi de apenas 4%. Padrão característico de locais com correntes com dominância de vazante.

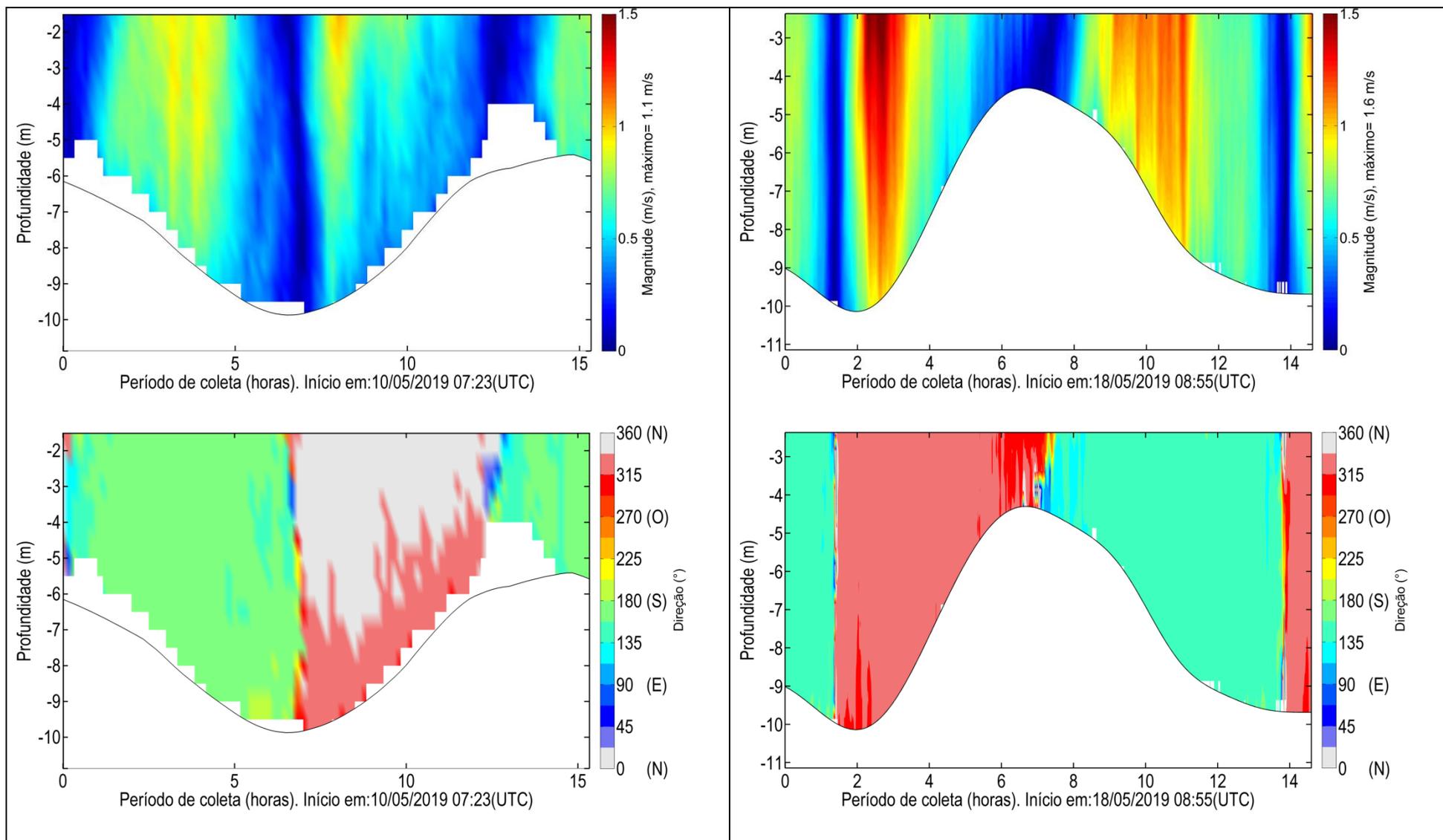


Figura 25: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP EC-1.

#### 4.2.4 Análise integrada EC-1 sizígia: levantamento anterior (nov./2016).

Nesta seção são comparados os resultados obtidos a partir das medições realizadas no ponto de coleta EC-1 durante o período de sizígia em duas campanhas distintas, identificadas como campanha 1 (nov./2016), referente ao RT 187 16 e campanha 2 (maio/2019), relatório atual, como identificado na Tabela 10.

Tabela 10: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.

Ponto	CAMPANHA 1 (RT 187 16)			CAMPANHA 2 (RT 110 19)		
	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)
EC-1	01/11/2016 09:18	01/11/2016 23:30	14	18/05/2019 08:55	18/05/2019 23:31	14:36

Os resultados das campanhas são comparados na Figura 26 utilizando como referência horária a preamar mais próxima do início de cada levantamento (hora 0), assim, os resultados de velocidades podem ser comparados para os diferentes períodos com base nos momentos de maré. As máximas e mínimas velocidades registradas em cada levantamento são identificadas na Tabela 11.

Na Figura 27 e Figura 28 são representados os períodos de levantamento de cada campanha na série de maré prevista para o Porto de Itaqui, o que permite identificar algumas características do regime de maré associado às medições, como a amplitude de maré após a preamar de referência (PM-BM).

A partir dos resultados obtidos, observa-se que as velocidades da campanha 1 (máximo de 1.05 m/s) foram menores que na campanha 2 (máximo de 1.57 m/s), o que ocorre associado a uma menor amplitude de maré no período da campanha 1 (5.1 m) em relação à campanha 2 (6.4 m). Os resultados indicam uma redução da máxima velocidade de 0.5 m/s (33% do máx.) associada a uma redução da amplitude de maré de 1.3 m (20% do máx.) da campanha 1 (nov./2016) em relação à campanha 2 (maio/2019).

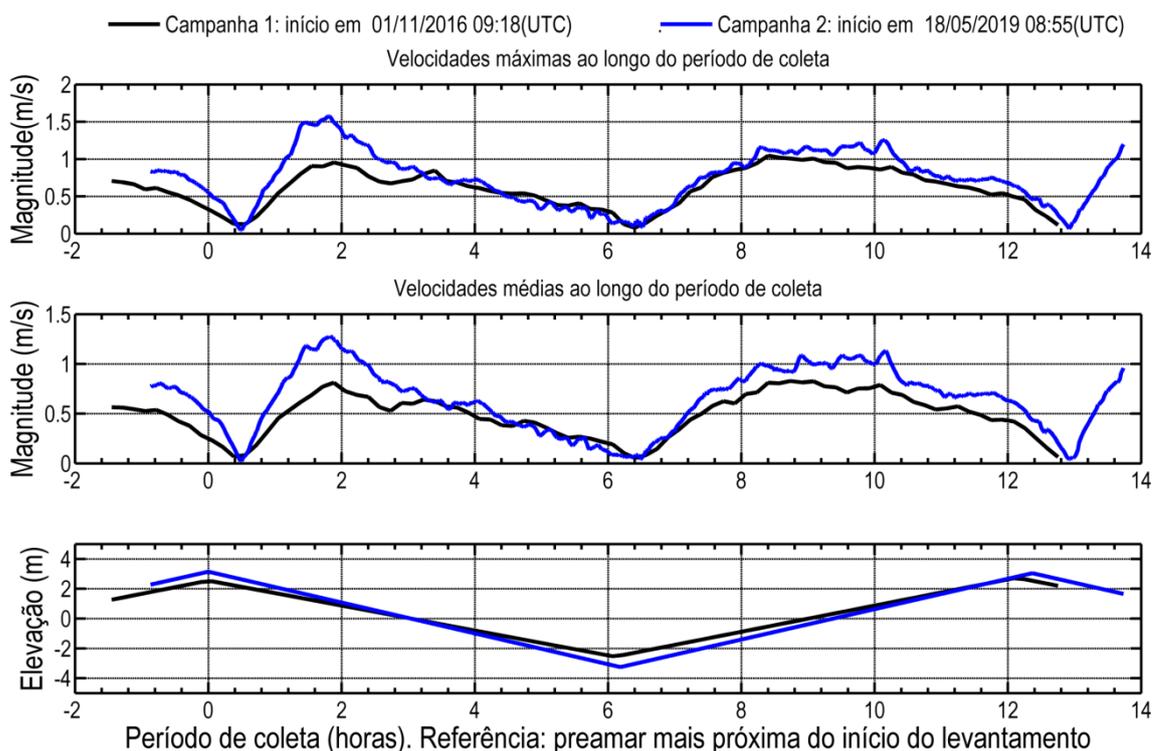


Figura 26: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta EC-1 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

Tabela 11: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-1 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

	SIZIGIA			
	EC-1   CAMPANHA 1		EC-1   CAMPANHA 2	
	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.05	0.004	1.57	0.00
Direção	153.8°	125.4°	321.8°	228.2°
Período	Meio da enchente	baixa-mar	Vazante	baixa-mar
Hora de coleta	9.9	6.0	2.7	6.6
Data (UTC)	01/11/2016 19:09	01/11/2016 15:19	18/05/2019 11:35	18/05/2019 15:29
Profundidade (m) da medida	1.8	1.3	2.9	5.9
Profundidade da coluna de água (m)	6.8	6.3	10.9	10.9

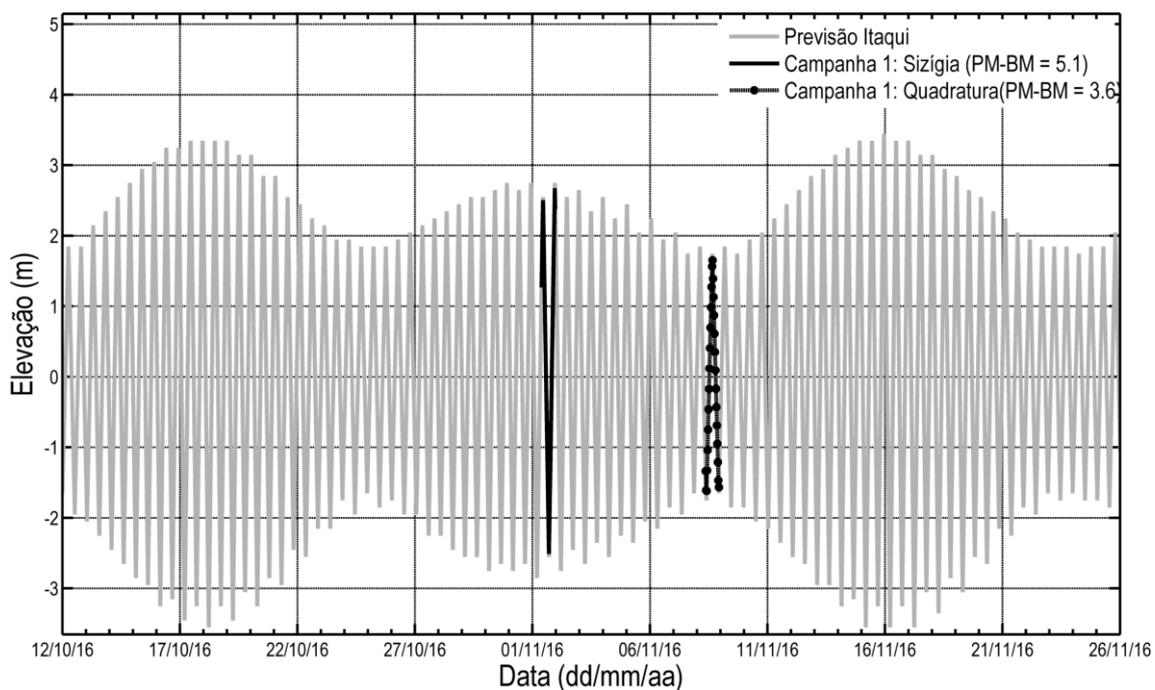


Figura 27: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia e quadratura na Campanha 1 do ponto EC-1. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

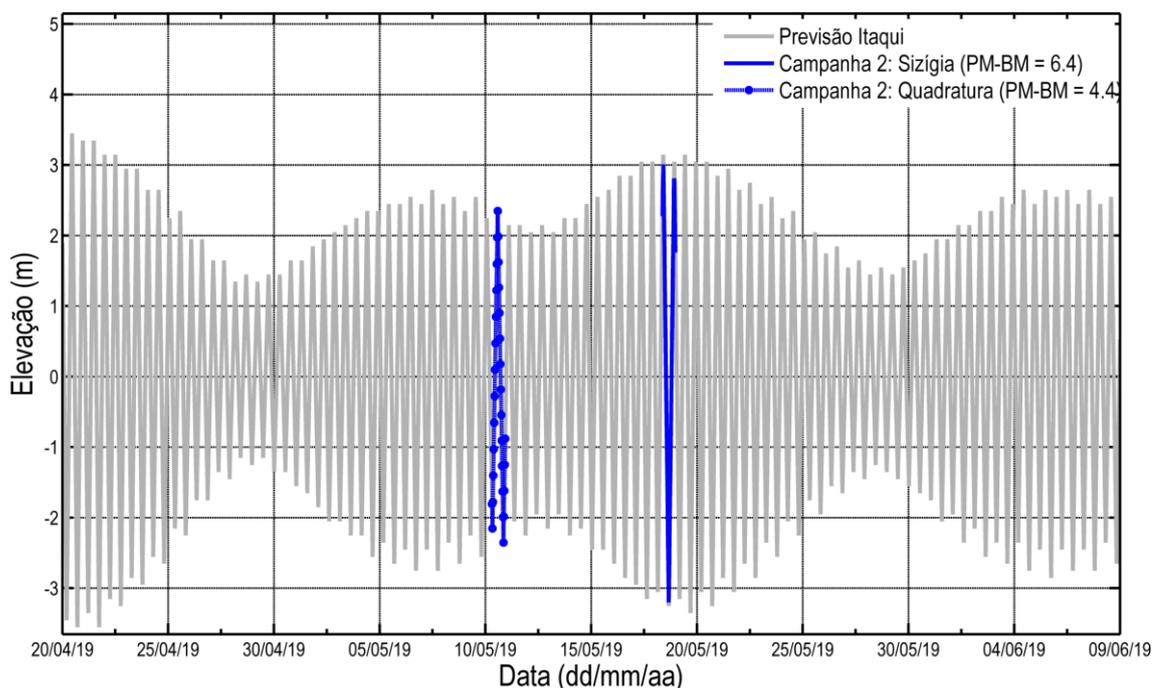


Figura 28: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia e quadratura na Campanha 2 do ponto EC-1. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

#### 4.2.5 Análise integrada EC-1 quadratura: levantamento anterior (nov./2016).

A seguir são comparados os resultados obtidos durante o período de quadratura em duas campanhas distintas, campanha 1 (nov./2016), RT 187 16, e campanha 2 (maio/2019), relatório atual, como identificado na Tabela

12.

Tabela 12: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.

Ponto	CAMPANHA 1 (RT 187 16)			CAMPANHA 2 (RT 110 19)		
	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)
EC-1	08/11/2016 08:50	08/11/2016 22:32	14	10/05/2019 07:23	10/05/2018 22:43	15

Os resultados das campanhas são comparados na Figura 29 utilizando como referência horária a premar mais próxima do início de cada levantamento (hora 0). As máximas e mínimas velocidades registradas em cada levantamento são identificadas na Tabela 13.

Na Figura 27 e Figura 28 são identificadas algumas características do regime de maré associado às medições, como a amplitude de maré após a premar de referência (PM-BM).

A partir dos resultados obtidos, nota-se que as velocidades da campanha 1 (máximo de 0.6 m/s) foram menores que na campanha 2 (máximo de 1.05 m/s), o que ocorre associado a uma menor amplitude de maré no período da campanha 1 (3.6 m) em relação à campanha 2 (4.4 m). Os resultados indicam uma redução da máxima velocidade de 0.45 m/s (43% do máx.) associada a uma redução da amplitude de maré de 0.8m (18% do máx.) da campanha 1 (nov./2016) em relação à campanha 2 (maio/2019).

Tabela 13: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-1 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

	QUADRATURA			
	EC-1   CAMPANHA 1		EC-1   CAMPANHA 2	
	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	0.60	0	1.05	0.01
Direção	155.7°	339.1°	343.9°	281.10°
Período	Meio da enchente	Estofo de preamar	Vazante	Estofo de preamar
Hora de coleta	4.8	5.5	8.0	6.7
Data (UTC)	08/11/2016 13:40	08/11/2016 14:21	10/05/2019 15:23	10/05/2019 14:03
Profundidade (m) da medida	2.3	1.3	2.0	3.0
Profundidade da coluna de água (m)	7.8	8.3	10.5	10.5

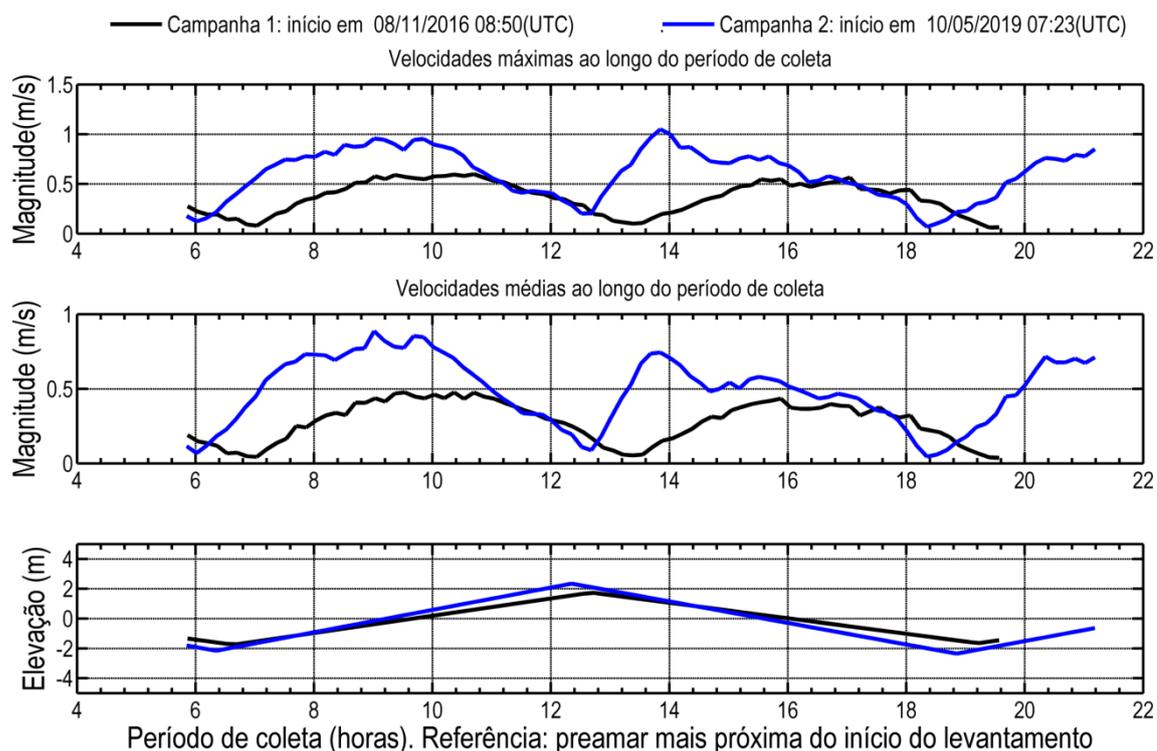


Figura 29: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta EC-1 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

### 4.3 ADCP PI-C2

#### 4.3.1 Sizígia

O levantamento em PI-C2 teve início 00h29 (UTC) e se estendeu até 17h30 (UTC) do dia 19/05/2019, totalizando cerca de 17h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.8 m/s na região superficial da coluna d'água, a 1.7 m de 26.2 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima de 0.003 m/s foi registrada durante o estófo de baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 12 e 14 horas de coleta (1.7), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.7 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo à superfície (máximo de 1.8 m/s), reduzindo pouco em direção ao fundo (máximo de 1.3 m/s), como se observa na Figura 32, Figura 33 e Figura 38.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram em torno das 6 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 1.68 m/s, o que representa uma redução de apenas 7% em relação à máxima da vazante.

O escoamento no ponto foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 32 e Figura 33), com direções de vazante entre NNO-N (337°-360°) e de enchente em torno de SE (135°), direções condicionadas pelo alinhamento da baía no local (vazante) e pela geometria da baía a montante (enchente).

Essa característica do escoamento evidencia a maré como forçante predominante do escoamento local no período o que é corroborado pelas velocidades baixas durante os períodos de estofa da maré.

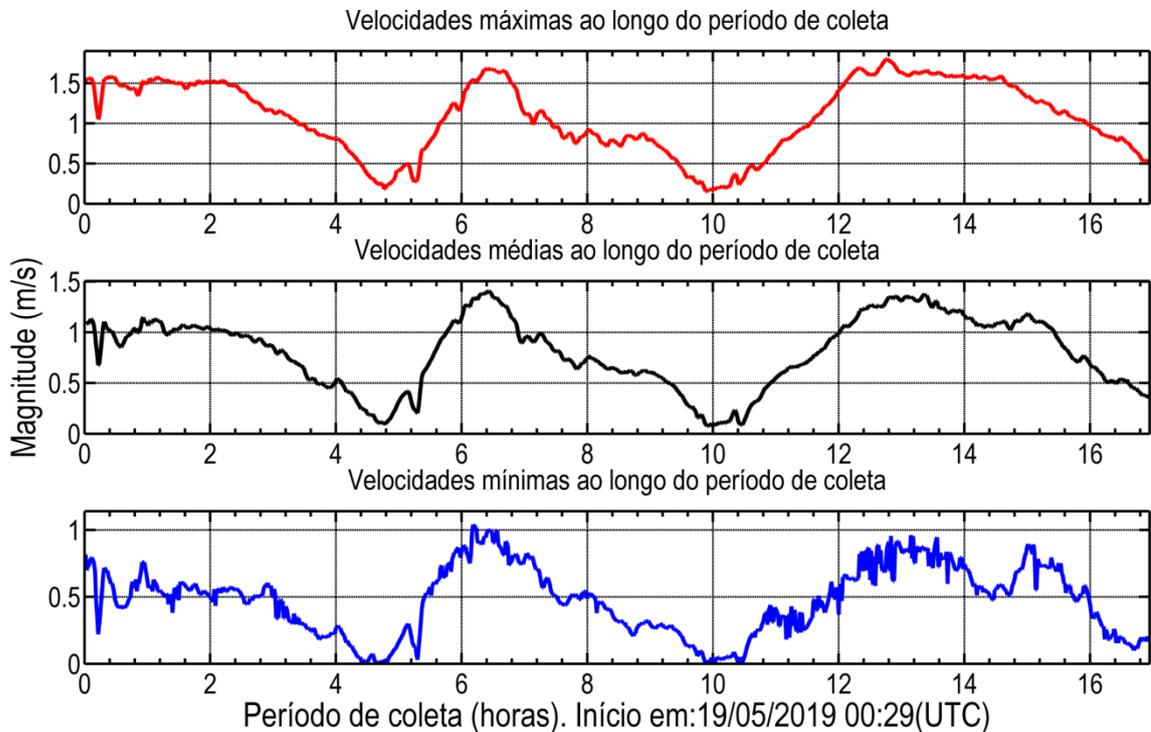
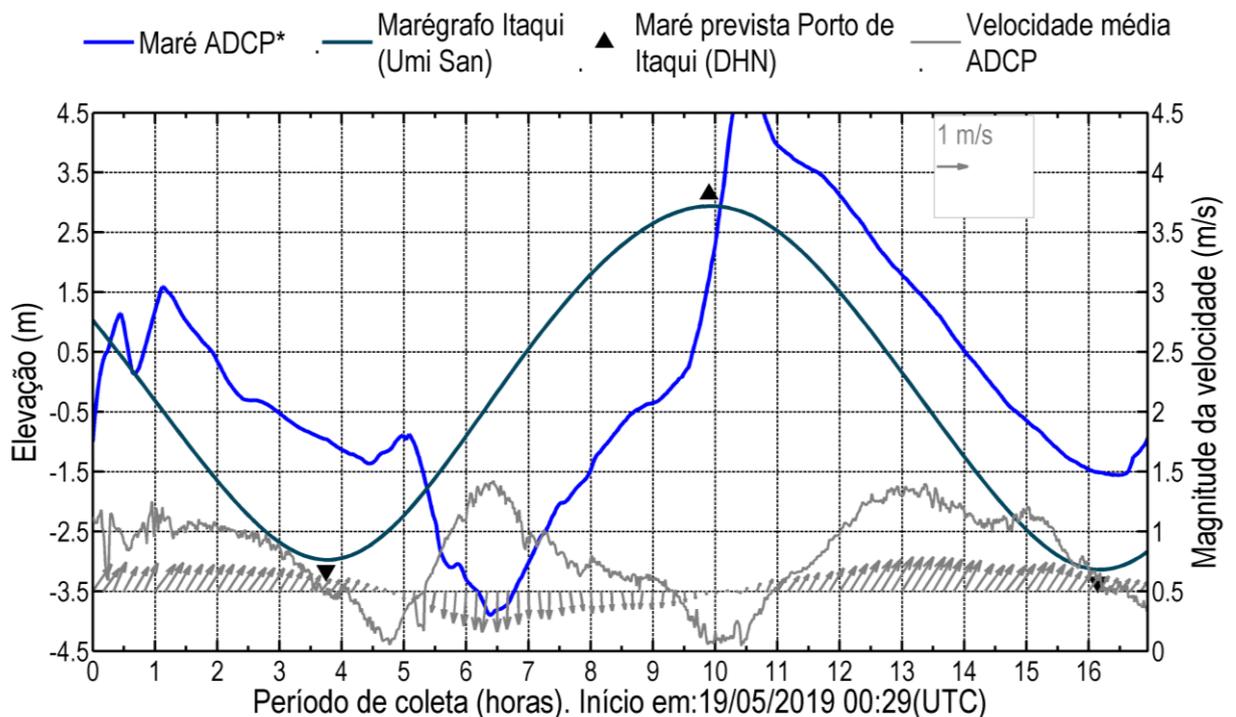


Figura 30: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP PI-C2.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 31: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta

de sizígia do ADCP PI-C2. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

A Tabela 14 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta PI-C2 durante o período de sizígia.

Tabela 14: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C2 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.80	0.003
Direção	345°	341°
Período	Meio da vazante	Estofo de baixa-mar
Hora de coleta	12.8	4.7
Data (UTC)	19/05/2019 13:15	19/05/2019 5:09
Profundidade (m) da medida	1.7	20.2
Profundidade da coluna de água (m)	26.2	23.2

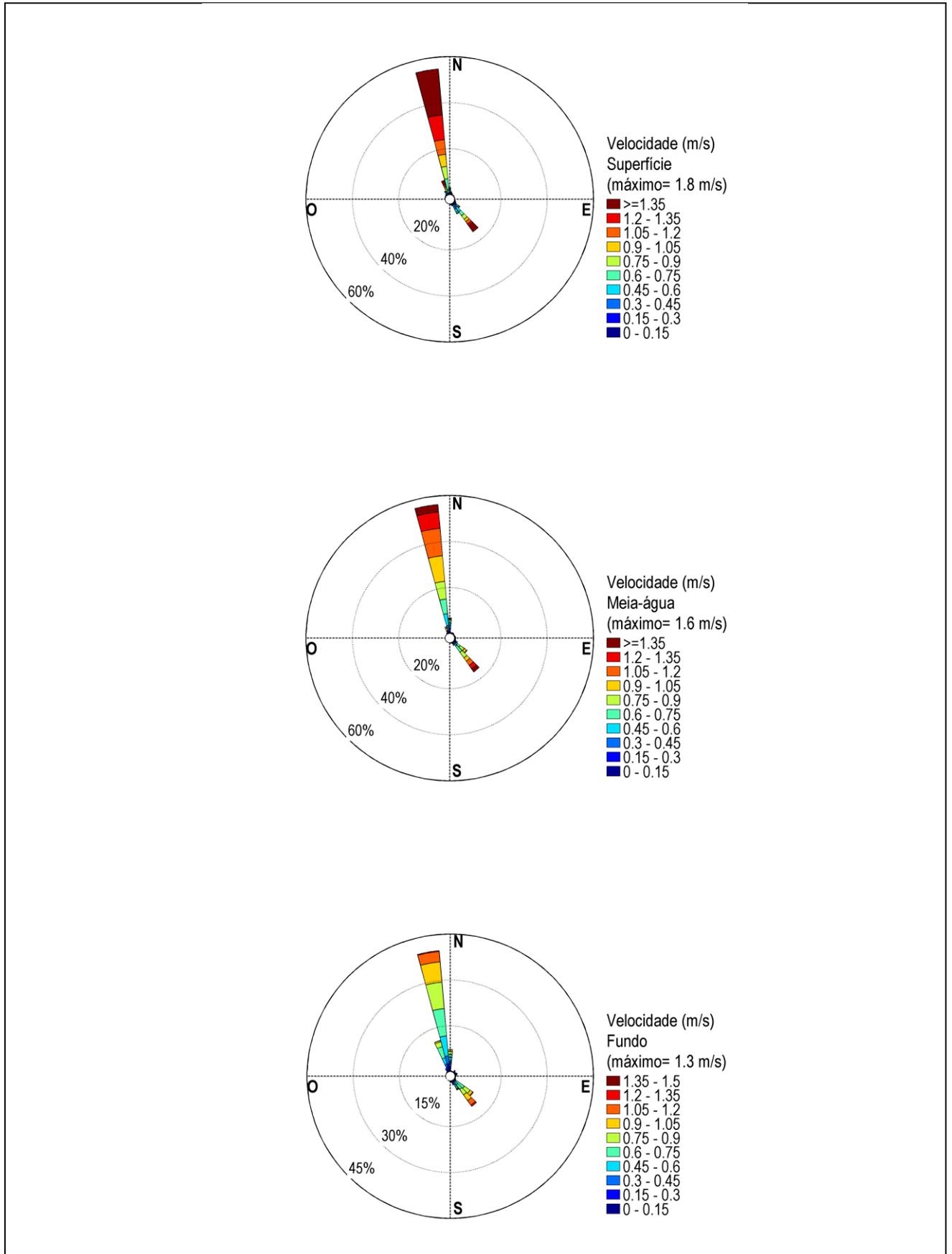


Figura 32: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C2.

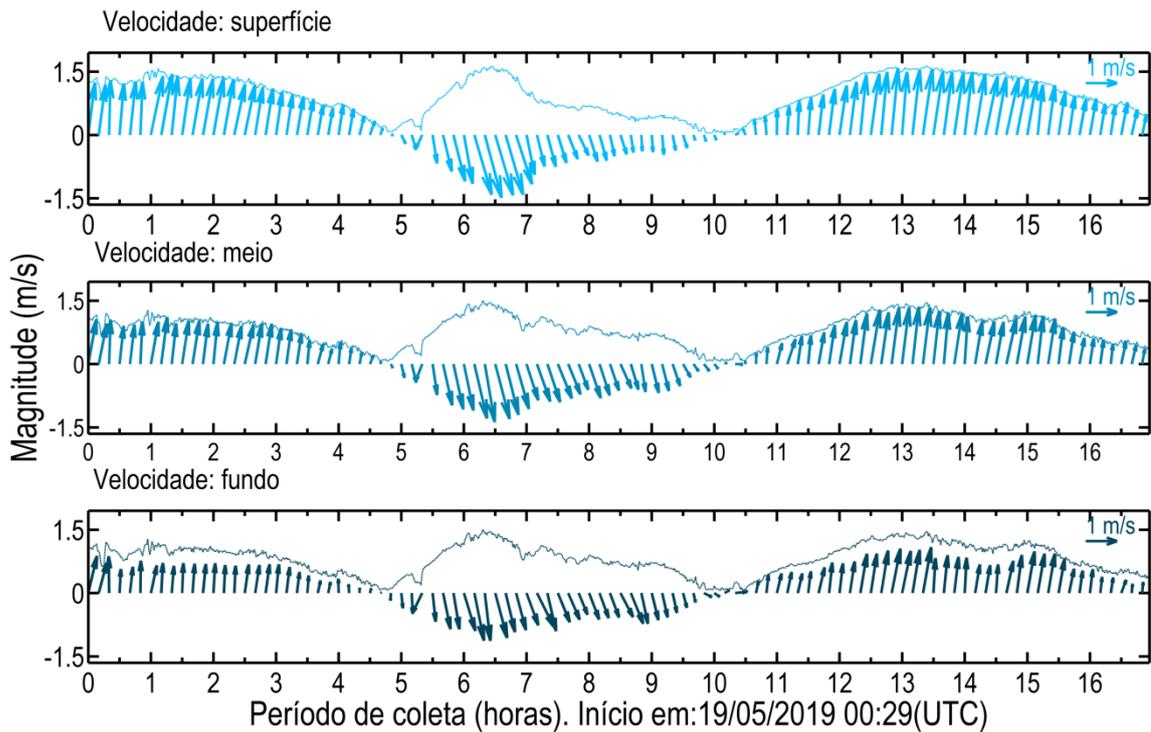


Figura 33: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C2.

#### 4.3.2 Quadratura

O levantamento teve início 10/05/2019 8h58 (UTC) e se estendeu até 23h58 (UTC), totalizando cerca de 15 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.52 m/s na região superfície da coluna d'água, a 3.6 m de 13.6 m de profundidade, durante a vazante, enquanto a mínima registrada foi de 0.007 m/s, medida próximo à superfície durante o estofa de baixa-mar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de vazante, entre 7 e 9 horas de coleta (Figura 34, Figura 35), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.4 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 36, Figura 37), com direções de vazante entre N-NNE ( $0^\circ - 22.5^\circ$ ) e de enchente em torno de SE-S ( $135^\circ - 180^\circ$ ), direções condicionadas pelo alinhamento da baía no local (vazante) e pela geometria da baía a montante (enchente).

Ao longo do período de enchente as máximas velocidades variaram em torno de 1.28 m/s entre 1h e 2h, com um máximo de 1.35 m/s (Figura 34, Figura 35), o que representa uma redução de 11 % em relação ao máximo registrado na vazante. Assim, de maneira similar ao observado na sizígia, as maiores velocidades ocorreram durante a vazante, com diferenças também pouco expressivas, mas maior que o obtido na sizígia (7 %).

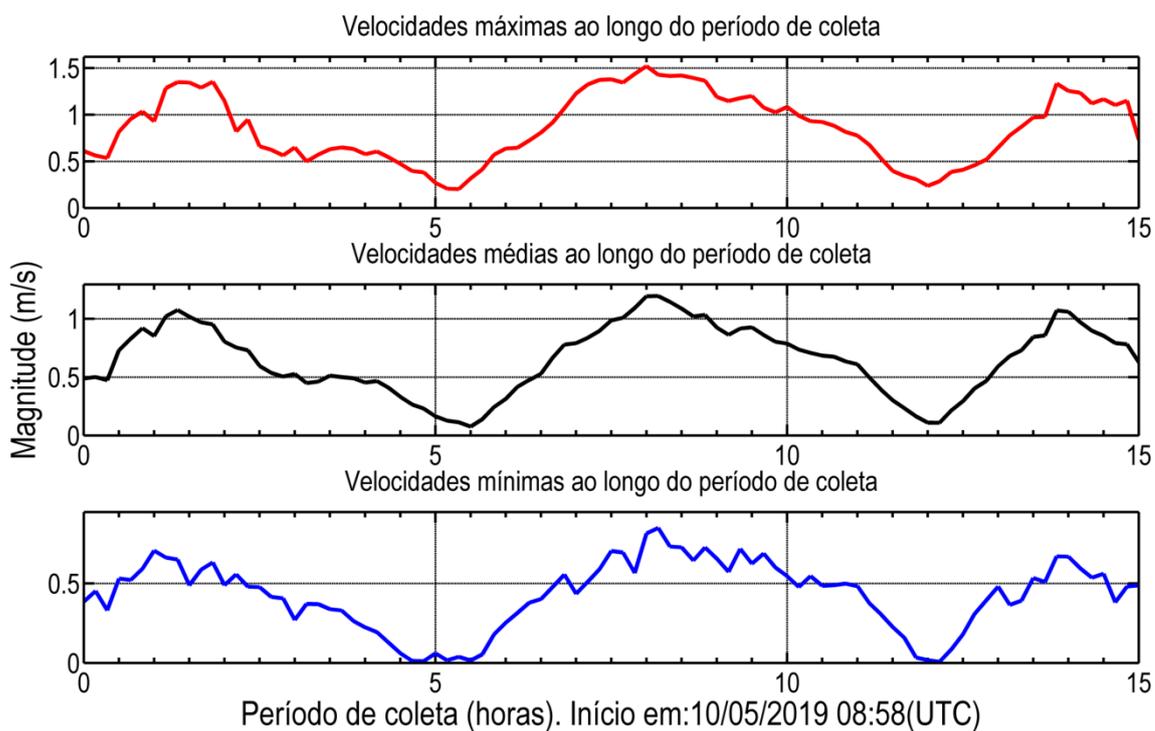
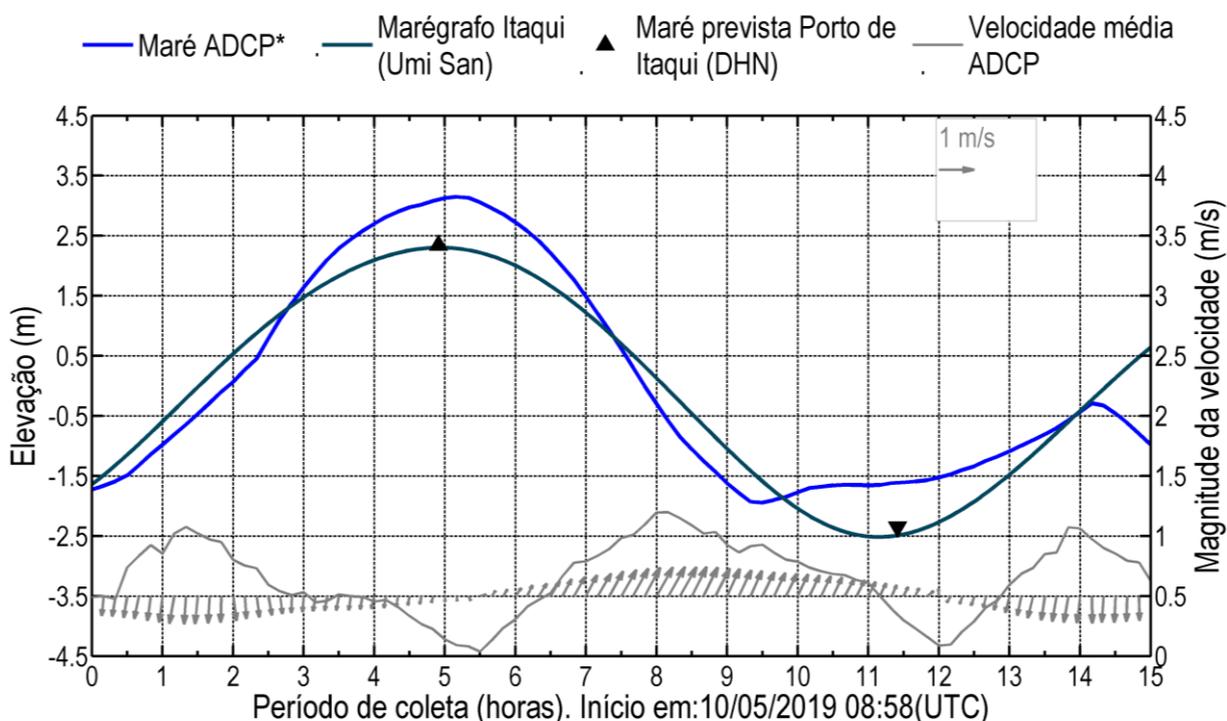


Figura 34: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C2.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 35: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C2. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

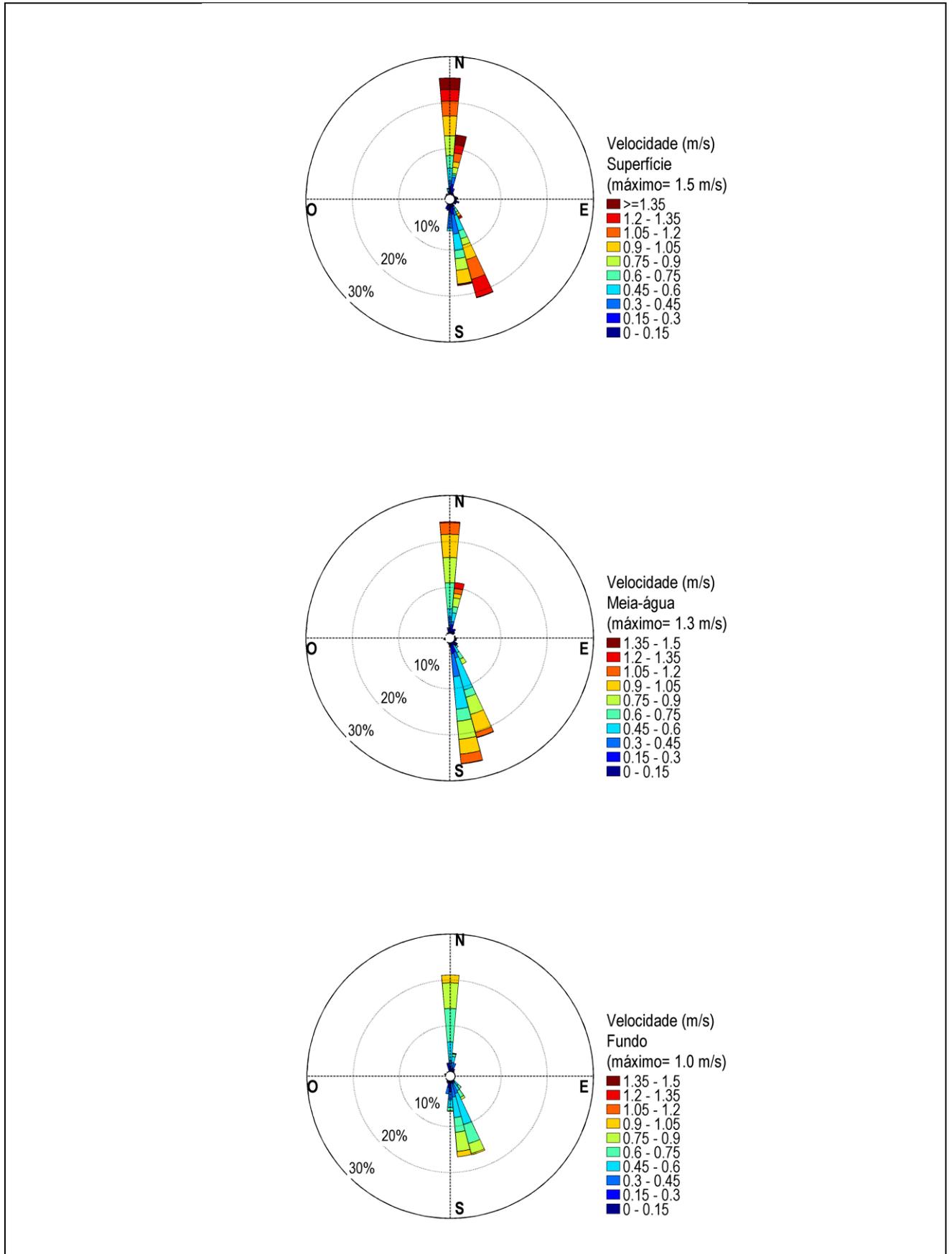


Figura 36: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C2.

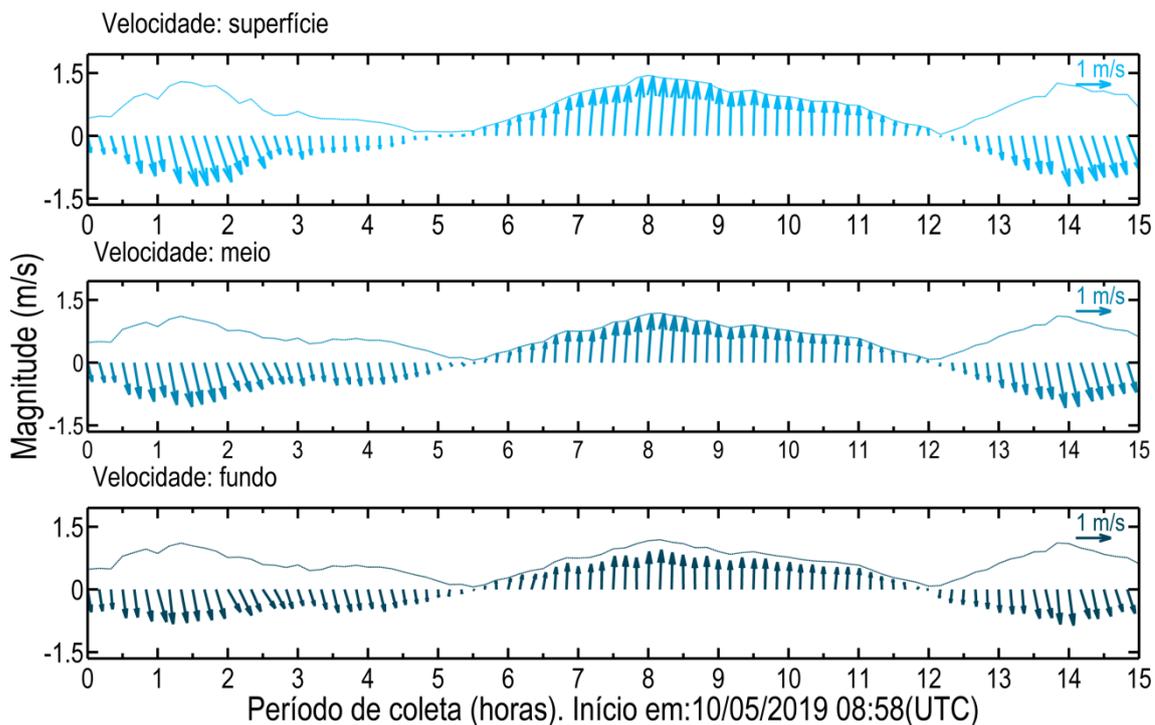


Figura 37: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C2.

A Tabela 15 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta PI-C2 durante o período de quadratura.

Tabela 15: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP PI-C2 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.519	0.007
Direção	6.2°	305.4°
Período	Vazante	Estofa de baixa-mar
Hora de coleta	8.0	12.2
Data (UTC)	10/05/2019 16:58	10/05/2019 21:08
Profundidade (m) da medida	3.6	5.1
Profundidade da coluna de água (m)	13.6	17.1

#### 4.3.3 Análise integrada PI-C2: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1.8 m/s e direção NNO (345°). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.52 m/s, também registrado durante a vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 15.6 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença

de 0.28 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças pouco expressivas, com a maior diferença observada na quadratura, de 11 %, enquanto na sizígia foi de 7 %.

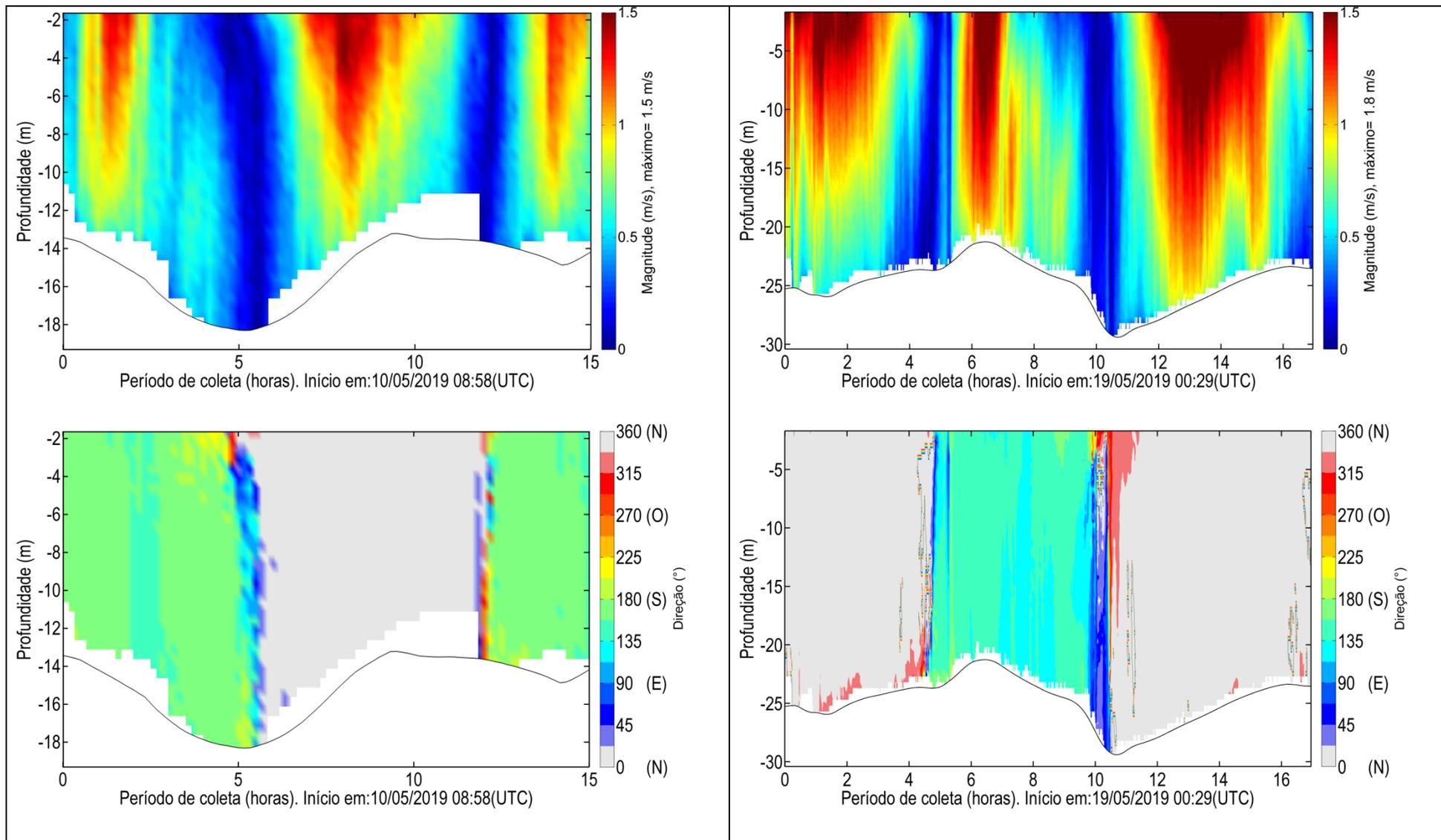


Figura 38: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP PI-C2.

#### 4.3.4 Análise integrada PI-C2 sizígia: levantamento anterior (out./2016).

Nesta seção são comparados os resultados obtidos a partir das medições realizadas no ponto de coleta PI-C2 durante o período de sizígia em duas campanhas distintas, identificadas como campanha 1 (out./2016), referente ao RT 184 16, e campanha 2 (maio/2019), relatório atual, como identificado na Tabela 16.

Tabela 16: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.

Ponto	CAMPANHA 1 (RT 184 16)			CAMPANHA 2 (RT 110 19)		
	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)
PI-C2	17/10/2016 10:35	17/10/2016 23:16	13	19/05/2019 00:29	19/05/2019 17:30	17

Os resultados das campanhas são comparados na Figura 39 utilizando como referência horária a preamar mais próxima do início de cada levantamento (hora 0), assim, os resultados de velocidades podem ser comparados para os diferentes períodos com base nos momentos de maré. As máximas e mínimas velocidades registradas em cada levantamento são identificadas na Tabela 17.

Na Figura 40 e Figura 41 são representados os períodos de levantamento de cada campanha na série de maré prevista para o Porto de Itaqui, o que permite identificar algumas características do regime de maré associado às medições, como a amplitude de maré após a preamar de referência (PM-BM).

A partir dos resultados obtidos, observa-se que as maiores velocidade da campanha 1 (máximo de 1.7 m/s) foram menor que as da campanha 2 (máximo de 1.8 m/s), apesar das variações das velocidades serem similares entre as campanhas. A partir dos resultados, observam-se amplitudes de maré também similares entre as campanhas, sendo que, a amplitude de maré no período da campanha 1 (6.6 m) foi ligeiramente maior que na campanha 2 (6.5 m, calculada com base na segunda PM-BM da Figura 39). Os resultados indicam uma redução da máxima velocidade de apenas 0.1 m/s (5.5% do máx.).

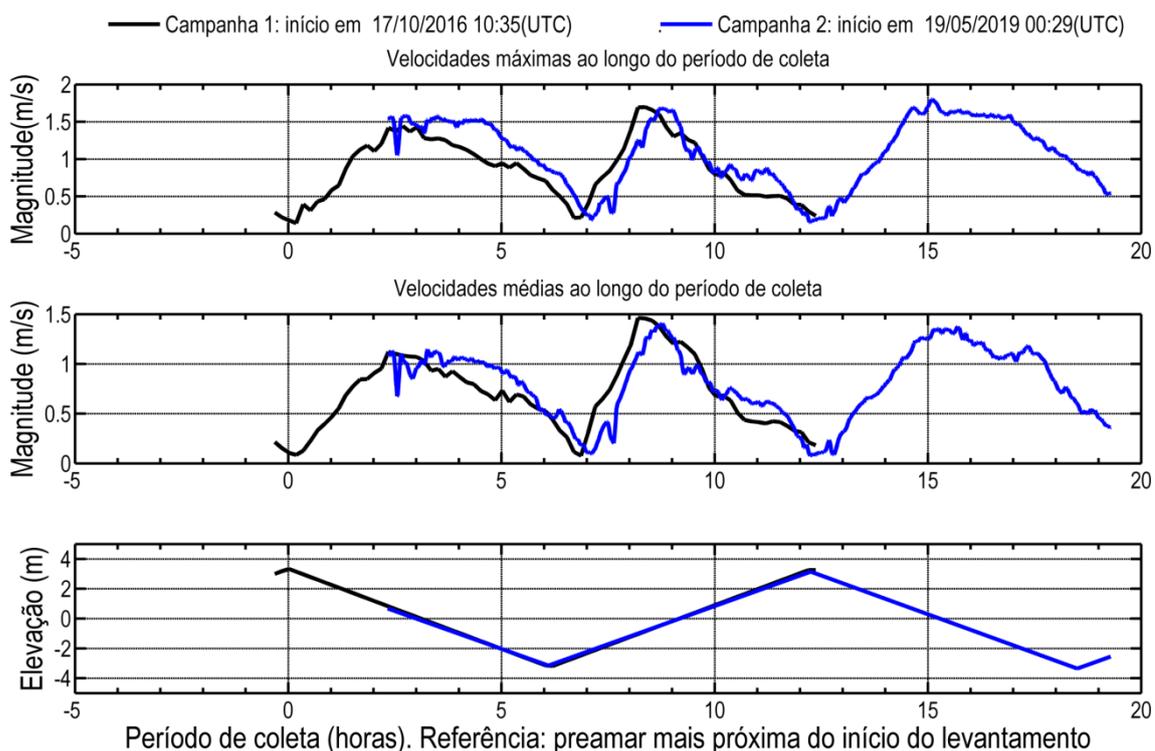


Figura 39: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d’água no ponto de coleta PI-C2 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

Tabela 17: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C2 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

	SIZIGIA			
	PI-C2   CAMPANHA 1		PI-C2   CAMPANHA 2	
	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.70	0.013	1.80	0.00
Direção	162.6°	291.1°	345.3°	340.8°
Período	Meio da enchente	Estofo de baixa-mar	Meio da enchente	Estofo de baixa-mar
Hora de coleta	8.7	7.2	12.8	4.7
Data (UTC)	17/10/2016 19:16	17/10/2016 17:46	19/05/2019 13:15	19/05/2019 5:09
Profundidade (m) da medida	2.8	4.8	2.2	20.7
Profundidade da coluna de água (m)	15.8	17.8	29.7	29.7

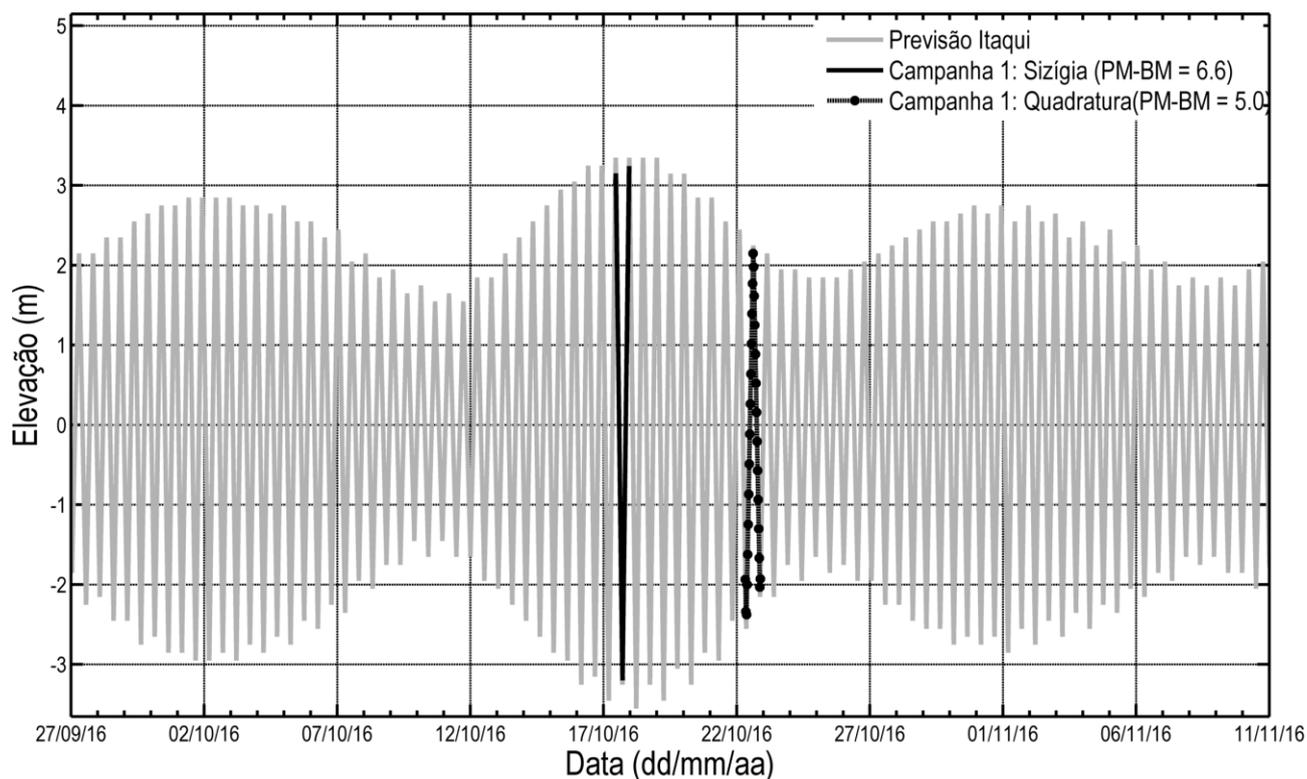


Figura 40: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sízgia e quadratura na Campanha 1 do ponto PI-C2. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

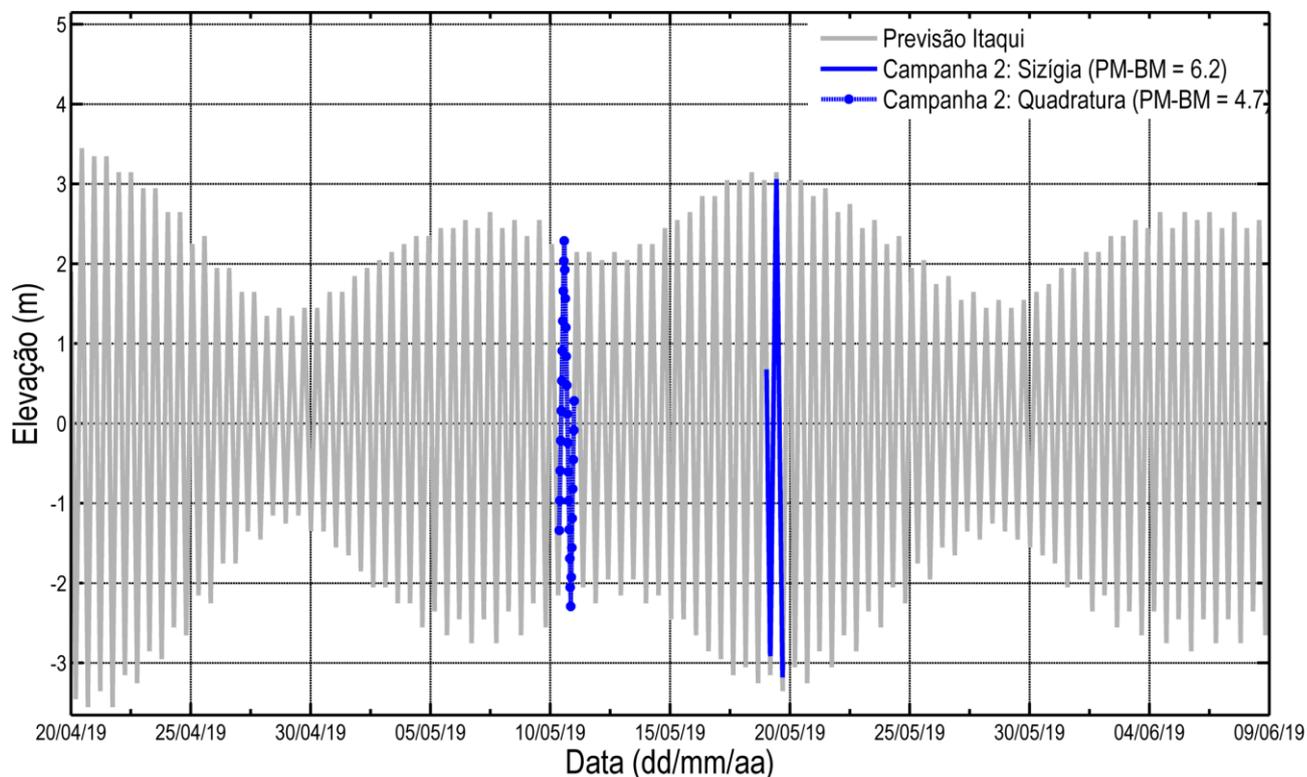


Figura 41: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sízgia e quadratura na Campanha 2 do ponto PI-C2. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

#### 4.3.5 Análise integrada PI-C2 quadratura: levantamento anterior (out./2016).

A seguir são comparados os resultados obtidos a partir das medições realizadas no ponto de coleta PI-C2 durante o período de quadratura em duas campanhas distintas, identificadas como campanha 1 (out./2016), referente ao RT 184 16, e campanha 2 (maio/2019), relatório atual, como identificado na Tabela 18.

Tabela 18: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.

Ponto	CAMPANHA 1 (RT 137 16)			CAMPANHA 2 (RT 110 19)		
	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)
PI-C2	22/10/2016 07:48	22/10/2016 21:20	13	10/05/2019 08:58	10/05/2019 23:58	15

Os resultados das campanhas são comparados na Figura 42 utilizando como referência horária a preamar mais próxima do início de cada levantamento (hora 0). As máximas e mínimas velocidades registradas em cada levantamento são identificadas na Tabela 19.

Na Figura 40 e Figura 41 são identificadas algumas características do regime de maré associado às medições, como a amplitude de maré após a preamar de referência (PM-BM).

A partir dos resultados obtidos, nota-se que as velocidades da campanha 1 (máximo de 1.37 m/s) foram menores que na campanha 2 (máximo de 1.52 m/s), o que, no entanto, ocorre associado a uma maior amplitude de maré no período da campanha 1 (5 m) em relação à campanha 2 (4.7 m). Os resultados indicam uma pequena redução da máxima velocidade de 0.15 m/s (10% do máx.), o que, no entanto, não é explicado pelas amplitudes de maré.

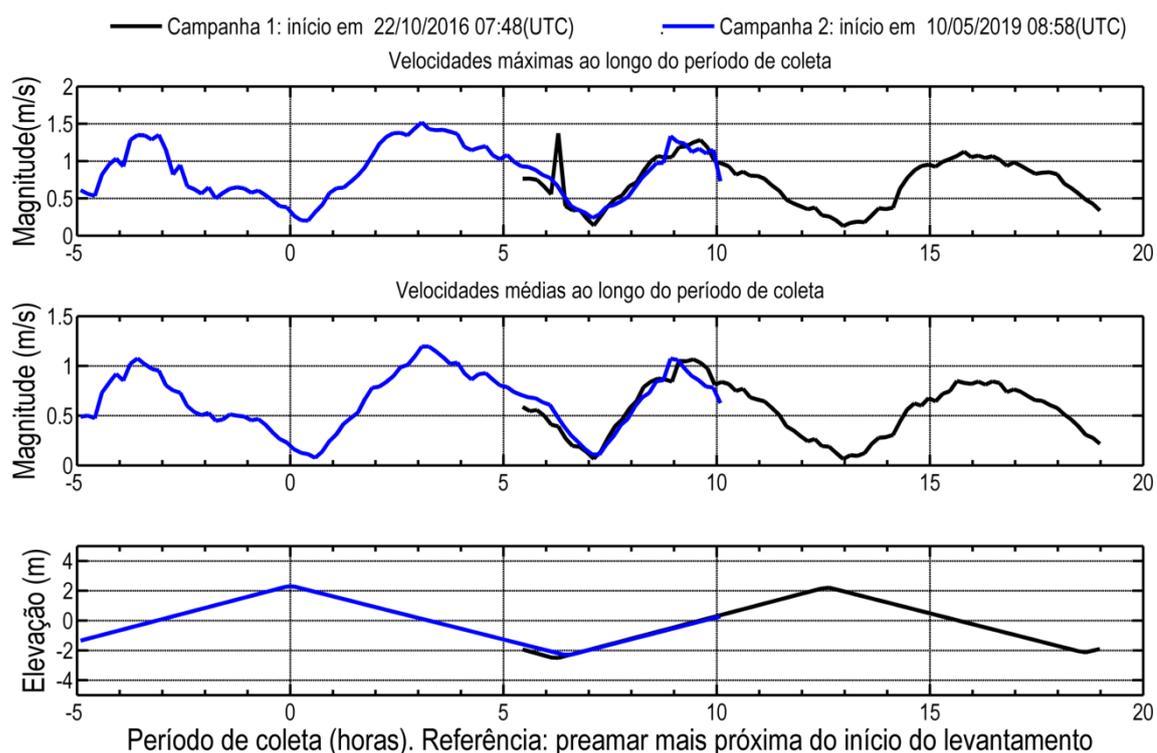


Figura 42: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta PI-C2 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

Tabela 19: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C2 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

	QUADRATURA			
	PI-C2   CAMPANHA 1		PI-C2   CAMPANHA 2	
	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.37	0.001	1.52	0.01
Direção	201.5°	69.1°	6.2°	305.40°
Período	Meio da vazante	Estofo de baixa-mar	Meio da vazante	Estofo de baixa-mar
Hora de coleta	0.8	1.7	8.0	12.2
Data (UTC)	22/10/2016 8:38	22/10/2016 9:28	10/05/2019 16:58	10/05/2019 21:08
Profundidade (m) da medida	16.2	7.2	4.1	5.6
Profundidade da coluna de água (m)	16.2	16.7	21.6	21.6

## 4.4 ADCP PI-C1

### 4.4.1 Sizígia

O levantamento teve início 19/05/2019 0:50 (UTC) e se estendeu até 17h11 (UTC), totalizando cerca de 16h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.62 m/s na região superficial da coluna d'água, a 2 m de 19 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima de 0.001 m/s foi

registrada durante o estofo de baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 11.5 e 13.5 horas de coleta (Figura 43, Figura 44), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.4 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo à superfície (máximo de 1.6 m/s), reduzindo em direção ao fundo (máximo de 1.2 m/s), como se observa na Figura 45, Figura 46 e Figura 51.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre 4.5 e 5.5 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 1 m/s, o que representa uma expressiva redução de 39% em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 45 e Figura 46), com direções de vazante em torno de NO (315°) e de enchente em torno de SE (135°), seguindo o alinhamento da baía na região medida. Essa característica do escoamento evidencia a maré como forçante predominante do escoamento local no período o que é corroborado pelas velocidades baixas durante os períodos de estofo da maré.

A partir da Figura 43 a Figura 46 fica evidente a predominância das correntes de vazante na região do PI-C1, onde as correntes com direção de vazante (NO) ocorrem em maior frequência e intensidade. Esse padrão é típico da região de levantamento, como foi observado a partir de levantamentos em anos anteriores realizados na região (p. ex.: PI-C1, PI-C2, PI-C5, da campanha outubro/2016, PI-C4 da campanha janeiro/2017, PI-C3 da campanha de março/2017 e PI-C3, CI-C6 e PI-C4 da campanha de set. e out. de 2017), o que foi associado ao abrigo dessa área às correntes de enchente, sendo essa predominância das correntes de vazante mais expressiva nos pontos mais próximos da costa, como é o caso do PI-C1.

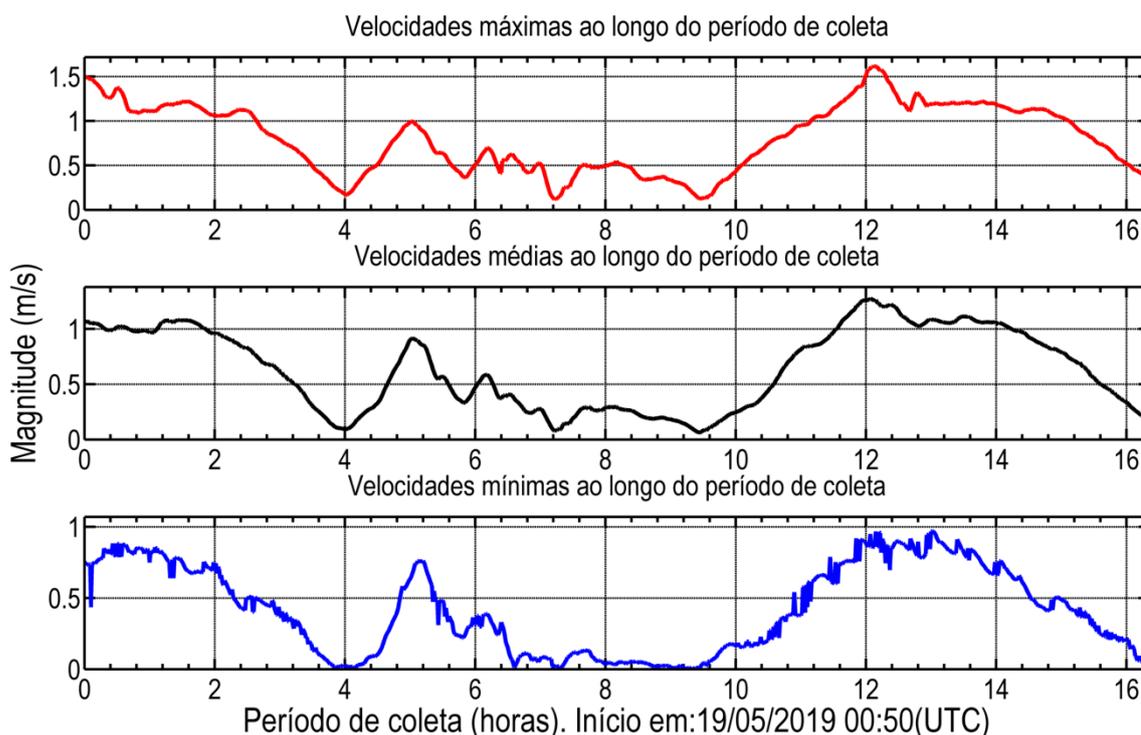


Figura 43: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1.

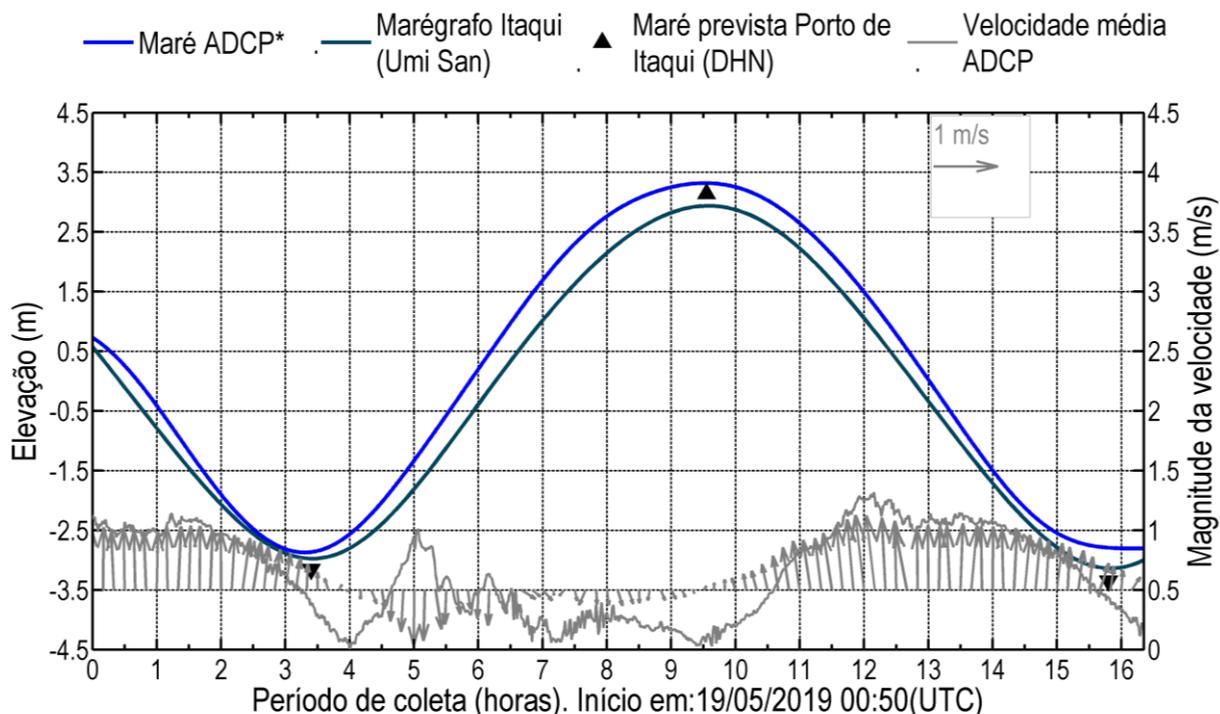


Figura 44: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaquí, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DNH.

A Tabela 20 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta PI-C1

durante o período de sizígia.

Tabela 20: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C1 durante o período de sizígia.

	<b>Velocidade Máxima</b>	<b>Velocidade Mínima</b>
<b>Magnitude (m/s)</b>	1.62	0.001
<b>Direção</b>	313°	122°
<b>Período</b>	Meio da vazante	Estofo de baixa-mar
<b>Hora de coleta</b>	12.1	3.8
<b>Data (UTC)</b>	19/05/2019 12:59	19/05/2019 4:41
<b>Profundidade (m) da medida</b>	1.9	11.9
<b>Profundidade da coluna de água (m)</b>	18.9	15.4

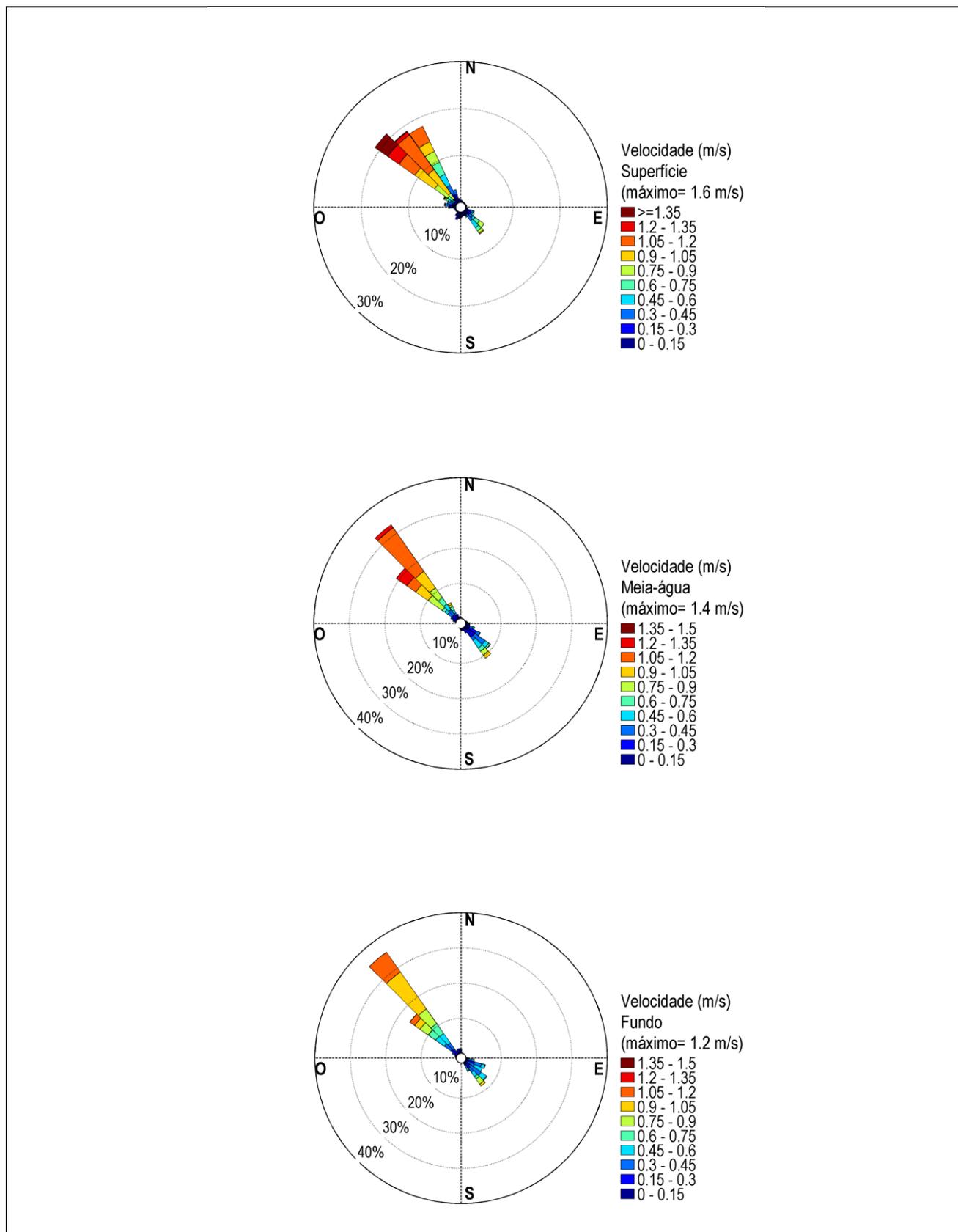


Figura 45: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1.

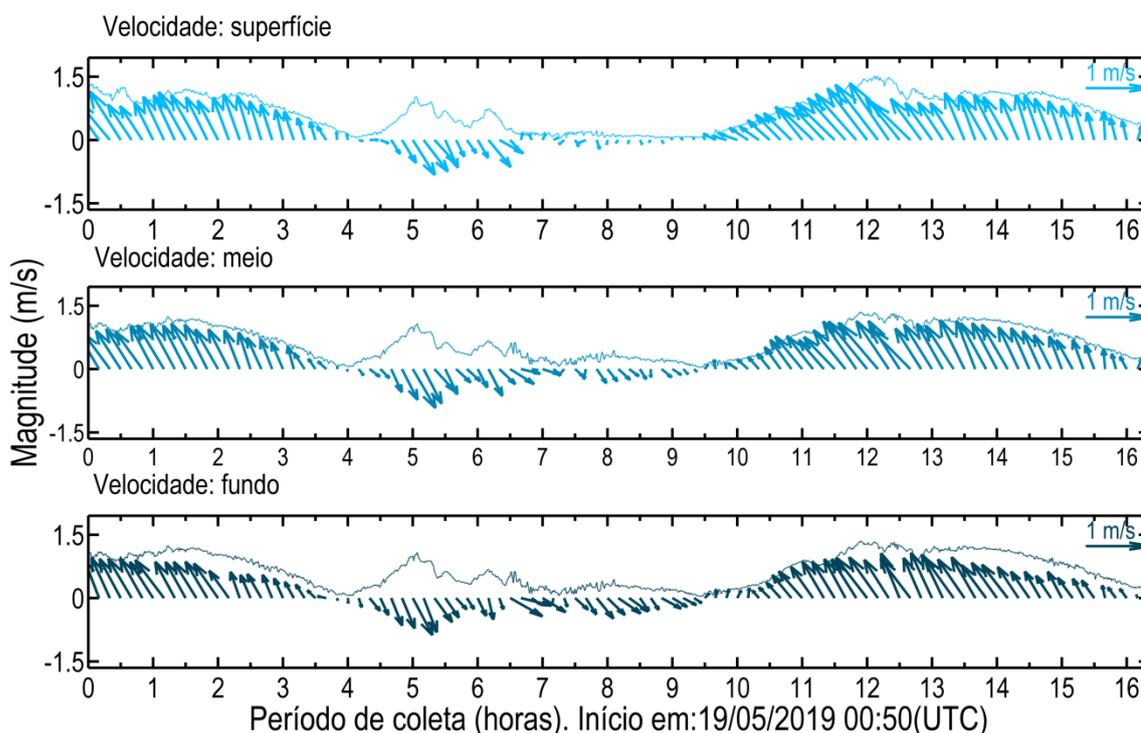


Figura 46: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1.

#### 4.4.2 Quadratura

O levantamento teve início 11/05/2019 1:59 (UTC) e se estendeu até 17:48 (UTC), totalizando cerca de 16 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.35 m/s na região superficial da coluna d'água, a 1.7 m de 16.2 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima registrada foi de 0.001 m/s, medida próximo ao fundo durante o estófo de baixa-mar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de vazante, entre 3 e 5 horas de coleta (Figura 47, Figura 48), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.2 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 49, Figura 50 e Figura 51), com direções de vazante em torno de NO e de enchente em torno de SE, seguindo o alinhamento da baía na região do ponto de medição.

Ao longo do período de enchente as máximas velocidades variaram em torno de 0.74 m/s entre 8 h e 9 h, com um máximo de 0.83 m/s (Figura 47, Figura 48), o que representa uma redução de 39 % em relação ao máximo registrado na vazante. Assim, de maneira similar ao observado na sizígia, as maiores velocidades ocorreram durante a vazante, com diferenças na mesma proporção do obtido na sizígia (39%).

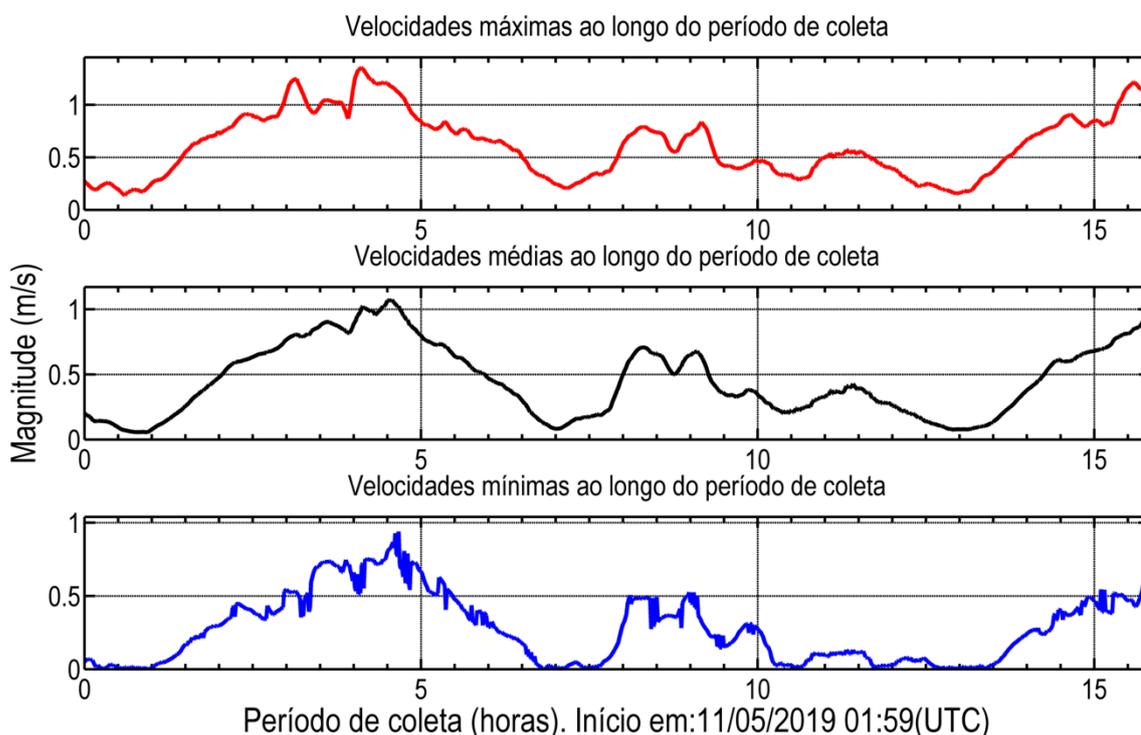
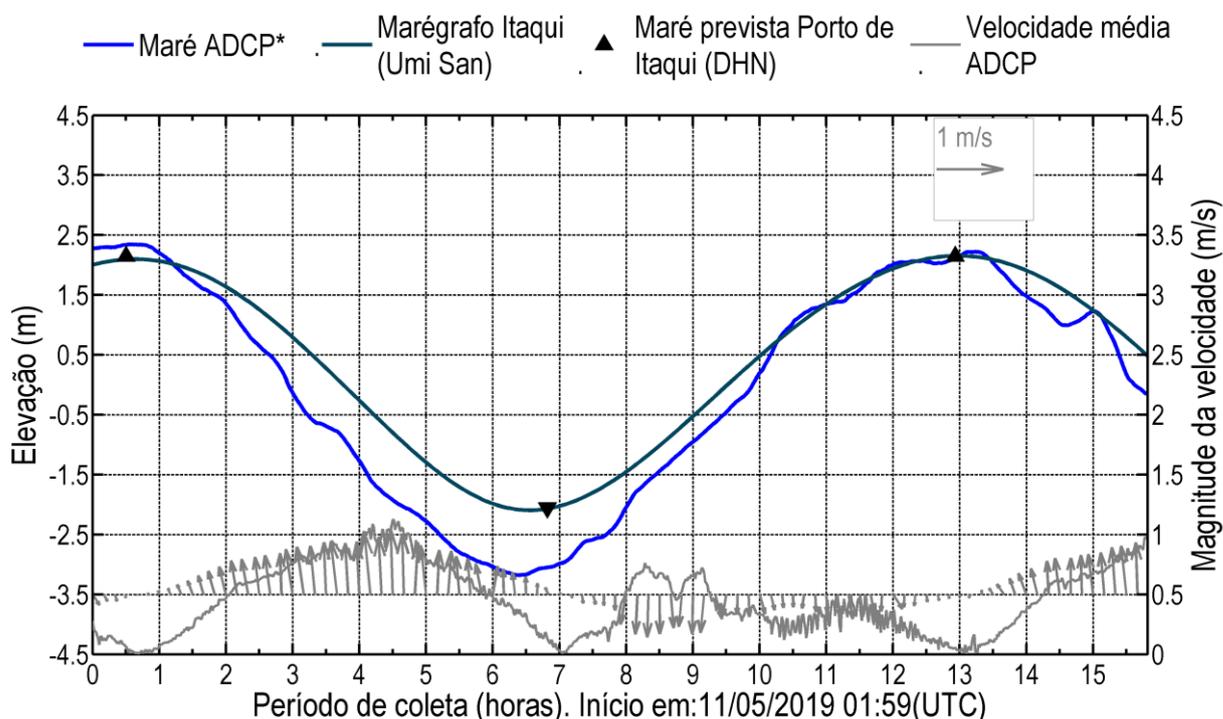


Figura 47: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 48: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

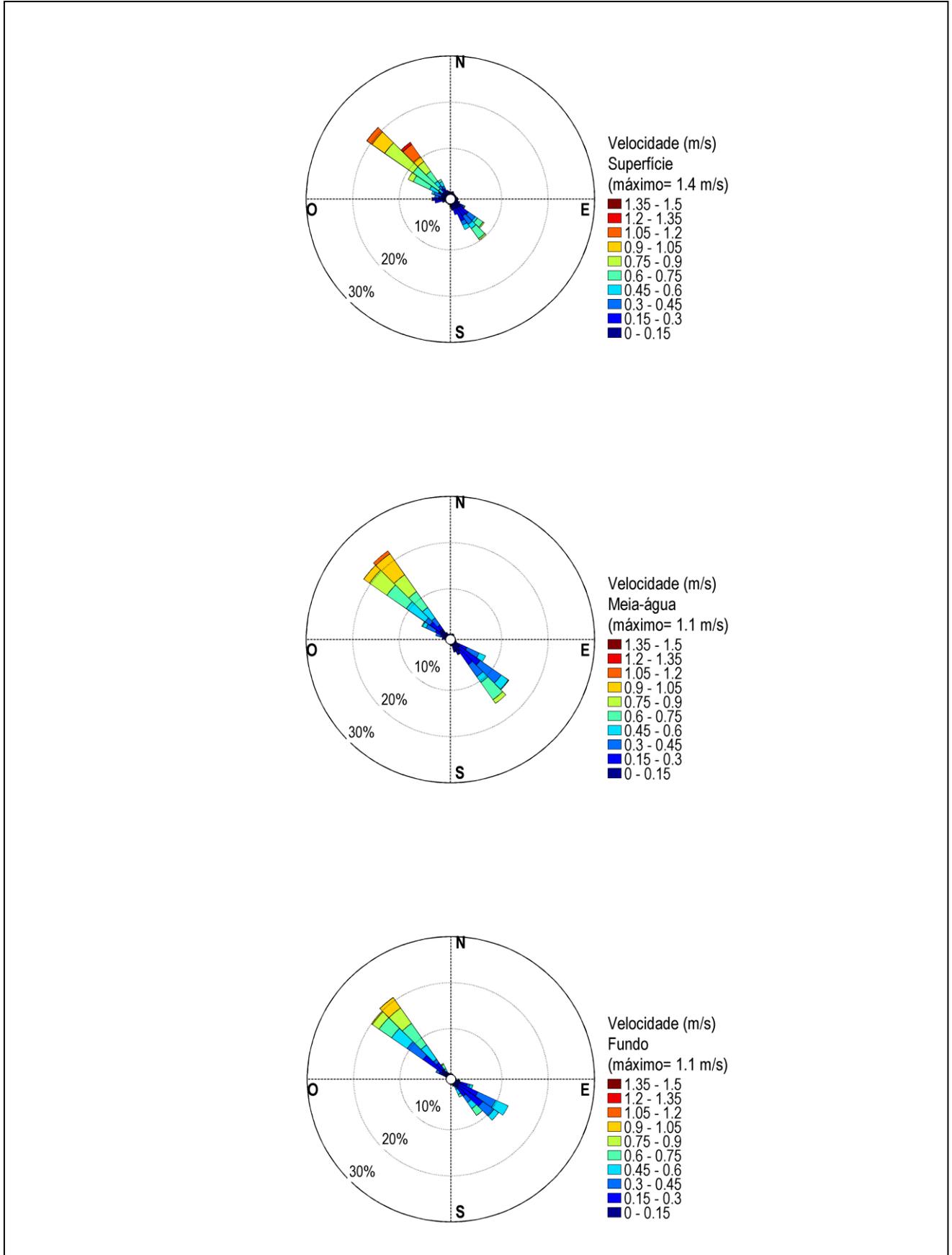


Figura 49: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1.

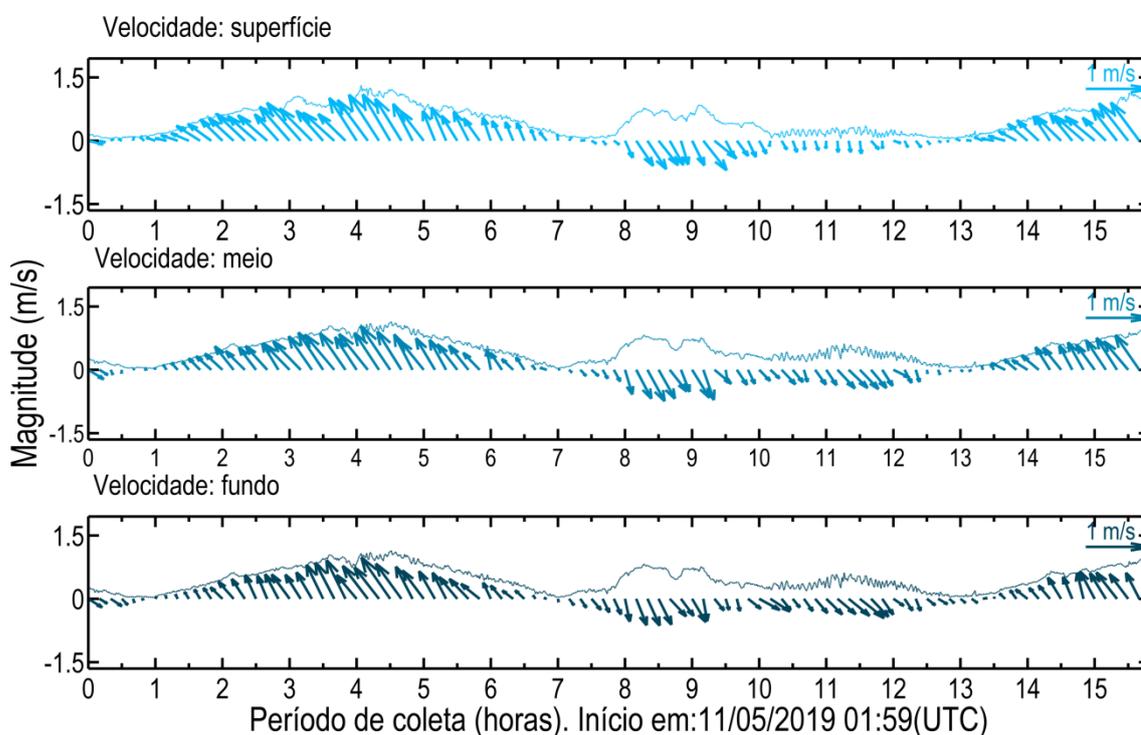


Figura 50: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1.

A Tabela 21 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta PI-C1 durante o período de quadratura.

Tabela 21: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP PI-C1 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.35	0.001
Direção	318	302
Período	Meio da vazante	Estofo de baixa-mar
Hora de coleta	4.1	6.8
Data (UTC)	11/05/2019 6:06	11/05/2019 8:49
Profundidade (m) da medida	1.7	15.2
Profundidade da coluna de água (m)	16.2	15.2

#### 4.4.3 Análise integrada PI-C1: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1.62 m/s e direção 313° (NO). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.35 m/s, também registrado durante a vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na

sizígia indicam uma redução de 17 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 0.27 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças expressivas, com a maior diferença observada na sizígia, de 0.62 m/s (39%), enquanto na quadratura foi de 0.52 m/s (39%). Padrão característico de locais com correntes com dominância de vazante, porém intensificado nesta região devido à geometria da baía na região.

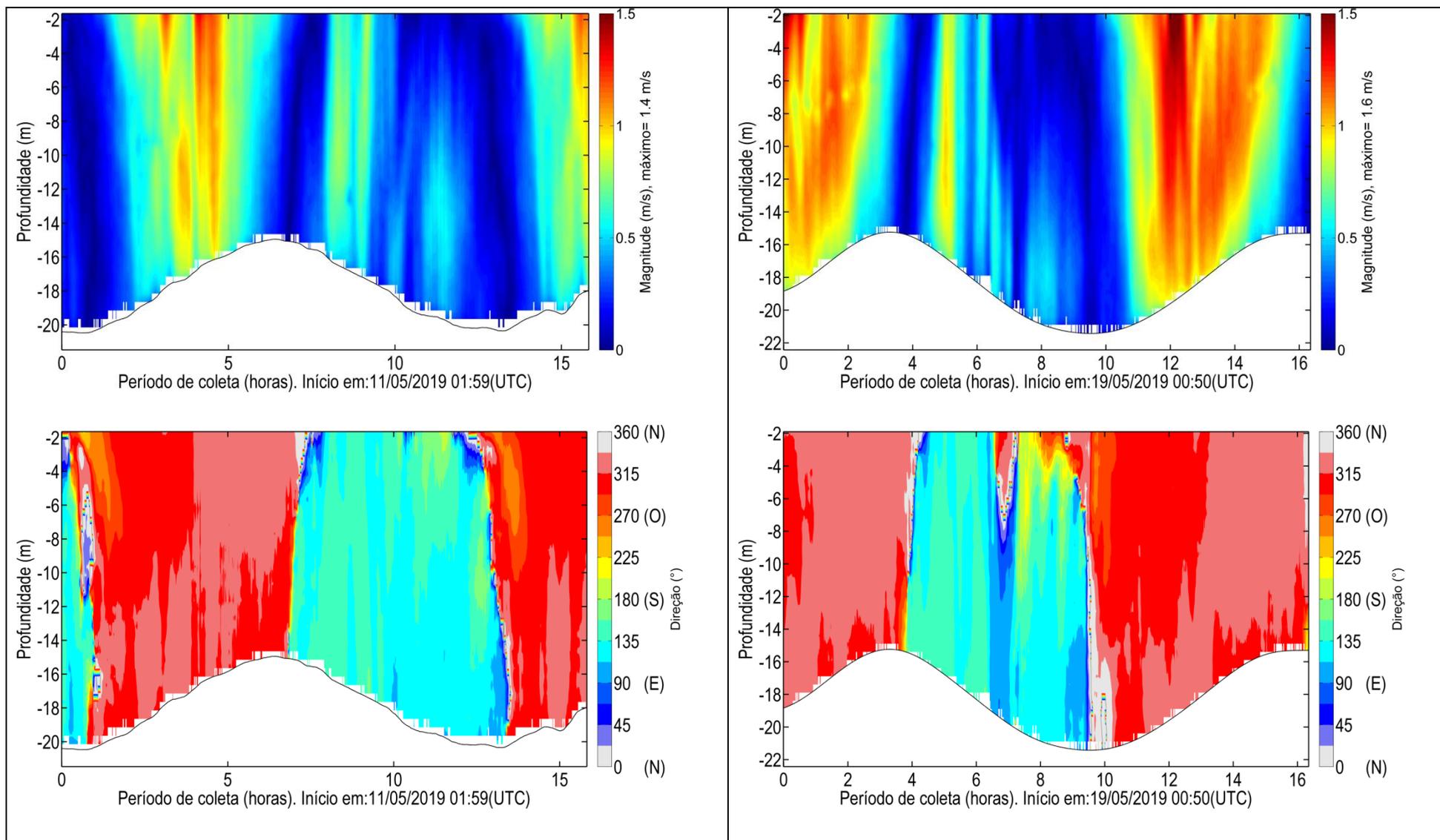


Figura 51: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP PI-C1.

#### 4.4.4 Análise integrada PI-C1 sizígia: levantamento anterior (out./2016).

Nesta seção são comparados os resultados obtidos a partir das medições realizadas no ponto de coleta PI-C1 durante o período de sizígia em duas campanhas distintas, identificadas como campanha 1 (out./2016), referente ao RT 184 16, e campanha 2 (maio/2019), relatório atual, como identificado na Tabela 22.

Tabela 22: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.

Ponto	CAMPANHA 1 (RT 184 16)			CAMPANHA 2 (RT 110 19)		
	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)
PI-C1	19/10/2016 10:54	20/10/2016 00:56	14	19/05/2019 00:50	19/05/2019 17:11	16

Os resultados das campanhas são comparados na Figura 52, utilizando como referência horária a preamar mais próxima do início de cada levantamento (hora 0), assim, os resultados de velocidades podem ser comparados para os diferentes períodos com base nos momentos de maré. As máximas e mínimas velocidades registradas em cada levantamento são identificadas na Tabela 23.

Na Figura 53 e Figura 54 são representados os períodos de levantamento de cada campanha na série de maré prevista para o Porto de Itaqui, o que permite identificar algumas características do regime de maré associado às medições, como a amplitude de maré após a preamar de referência (PM-BM).

A partir dos resultados obtidos, observa-se que as velocidades da campanha 1 (máximo de 1.61 m/s) foram muito similares às da campanha 2 (máximo de 1.62 m/s), o que ocorre associado a amplitudes também similares da campanha 1 (6.2 m) e campanha 2 (6.2 m). Assim, os resultados indicam padrões similares de elevação e corrente entre as campanhas.

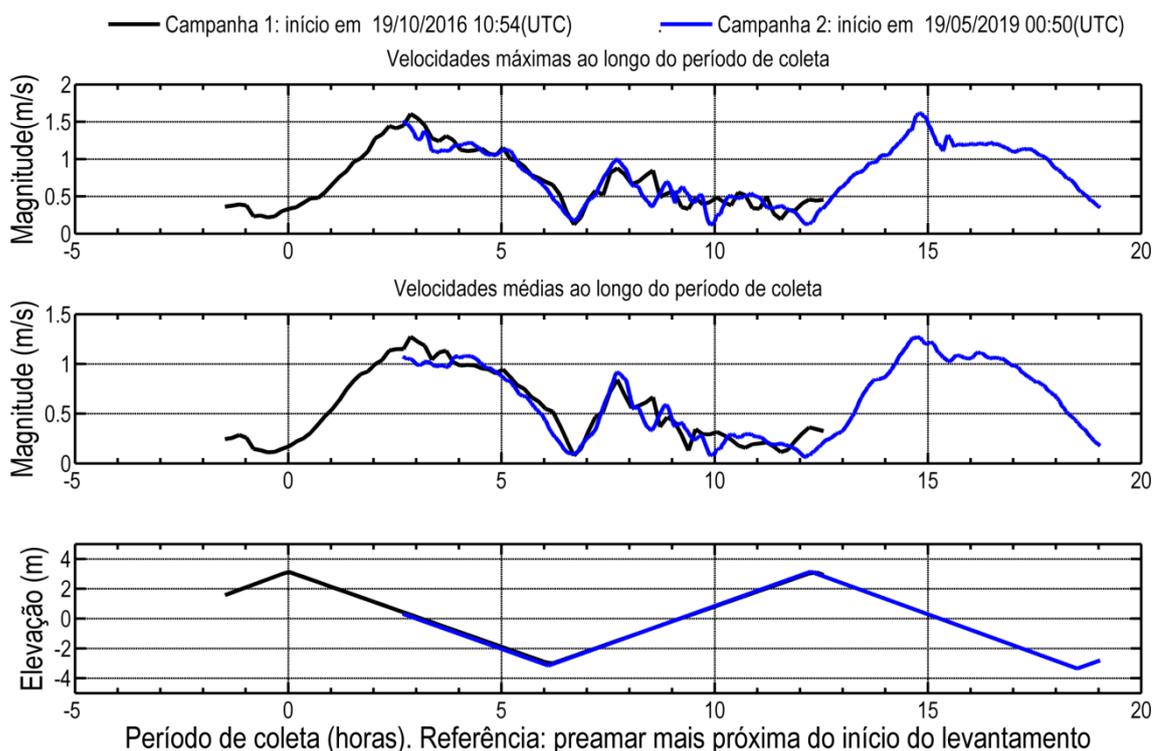


Figura 52: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d’água no ponto de coleta PI-C1 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

Tabela 23: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C1 no período de sizígia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

	SIZIGIA			
	PI-C1   CAMPANHA 1		PI-C1   CAMPANHA 2	
	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.61	0.004	1.62	0.00
Direção	353.8°	24.1°	313°	121.5°
Período	Meio da vazante	Estofo de preamar	Meio da vazante	Estofo de baixa-mar
Hora de coleta	4.3	0.8	12.1	3.8
Data (UTC)	19/10/2016 15:15	19/10/2016 11:44	19/05/2019 12:59	19/05/2019 4:41
Profundidade (m) da medida	2.2	1.2	2.4	12.4
Profundidade da coluna de água (m)	22.7	24.2	21.9	21.9

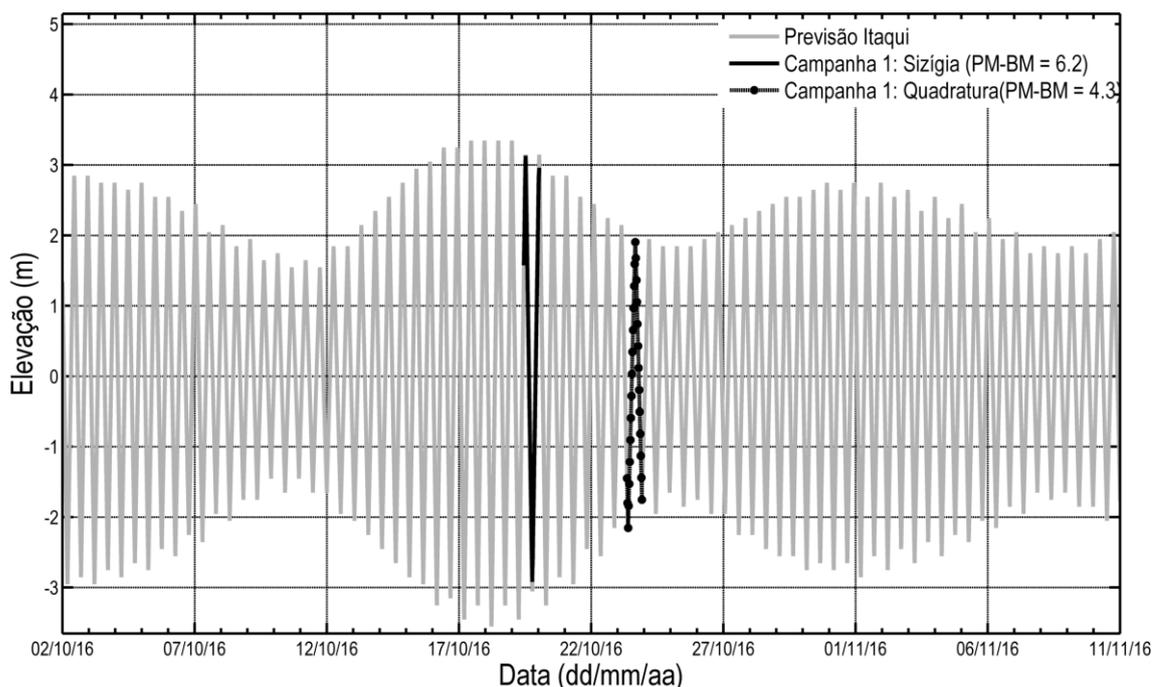


Figura 53: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sízigia e quadratura na Campanha 1 do ponto PI-C1. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

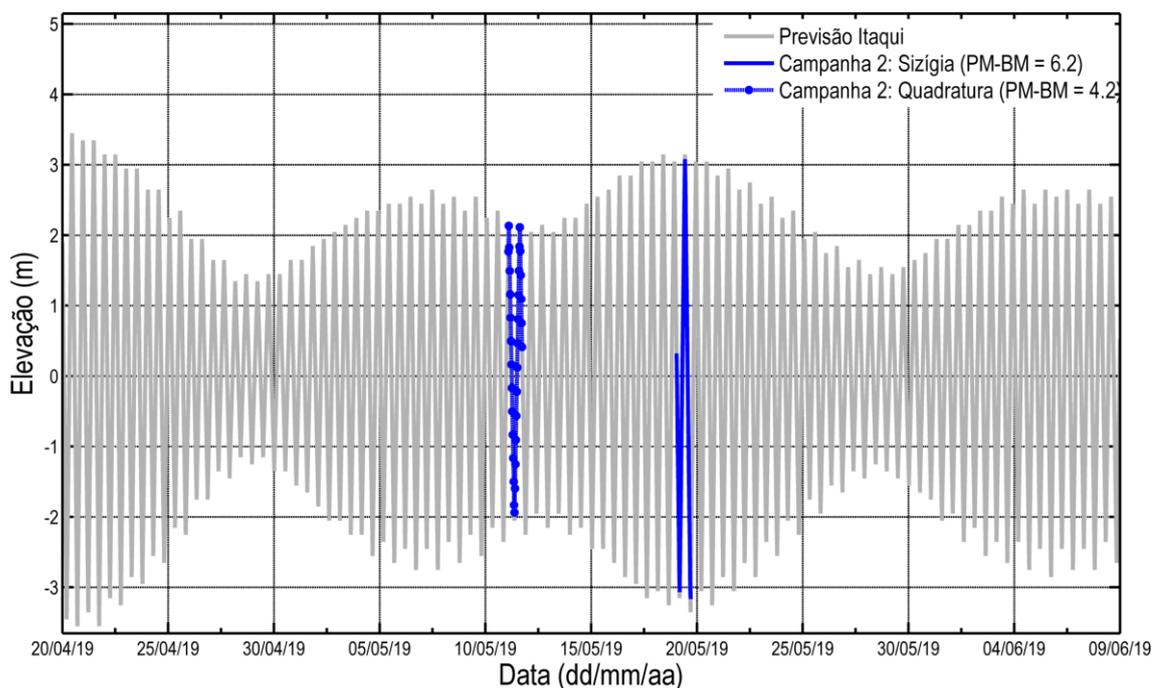


Figura 54: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sízigia e quadratura na Campanha 2 do ponto PI-C1. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

#### 4.4.5 Análise integrada PI-C1 quadratura: levantamento anterior (out./2016).

A seguir são comparados os resultados obtidos a partir das medições realizadas no ponto de coleta PI-C1 durante o período de quadratura em duas campanhas distintas, identificadas como campanha 1 (out./2016),

referente ao RT 184 16, e campanha 2 (maio/2019), relatório atual, como identificado na Tabela 24.

Tabela 24: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.

Ponto	CAMPANHA 1 (RT 184 16)			CAMPANHA 2 (RT 110 19)		
	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)
PI-C1	23/10/2016 08:30	23/10/2016 22:22	14	11/05/2019 1:59	11/05/2019 17:48	16

Os resultados das campanhas são comparados na Figura 55 utilizando como referência horária a preamar mais próxima do início de cada levantamento (hora 0). As máximas e mínimas velocidades registradas em cada levantamento são identificadas na Tabela 25.

Na Figura 53 e Figura 54 são identificadas algumas características do regime de maré associado às medições, como a amplitude de maré após a preamar de referência (PM-BM).

A partir dos resultados obtidos, nota-se que as velocidades da campanha 1 (máximo de 1.2 m/s) foram ligeiramente menor que na campanha 2 (máximo de 1.35 m/s), já a amplitude de maré no período da campanha 1 (4.3 m) foi 0.1 m menor na campanha 2 (4.2 m). Os resultados indicam uma redução da máxima velocidade de 0.1 m/s (2% do máx.), o que, no entanto, não é explicado pelas amplitudes de maré.

Os resultados indicam padrões similares de elevação e corrente entre as campanhas, com máximas velocidades entre 1.2 e 1.35 m/s e amplitudes de maré de 4.3 e 4.2 durante o período de quadratura, para as campanhas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 25: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-1 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

	QUADRATURA			
	PI-C1   CAMPANHA 1		PI-C1   CAMPANHA 2	
	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
<b>Magnitude (m/s)</b>	1.20	0.008	1.35	0.00
<b>Direção</b>	354.1	256.2	317.5720101	302.25
<b>Período</b>	Vazante	baixa-mar	Meio da vazante	baixa-mar
<b>Hora de coleta</b>	11.9	3.3	4.1	6.8
<b>Data (UTC)</b>	23/10/2016 20:22	23/10/2016 11:50	11/05/2019 6:06	11/05/2019 8:49
<b>Profundidade (m) da medida</b>	2.3	1.3	2.2	15.7
<b>Profundidade da coluna de água (m)</b>	20.3	19.3	20.7	20.7

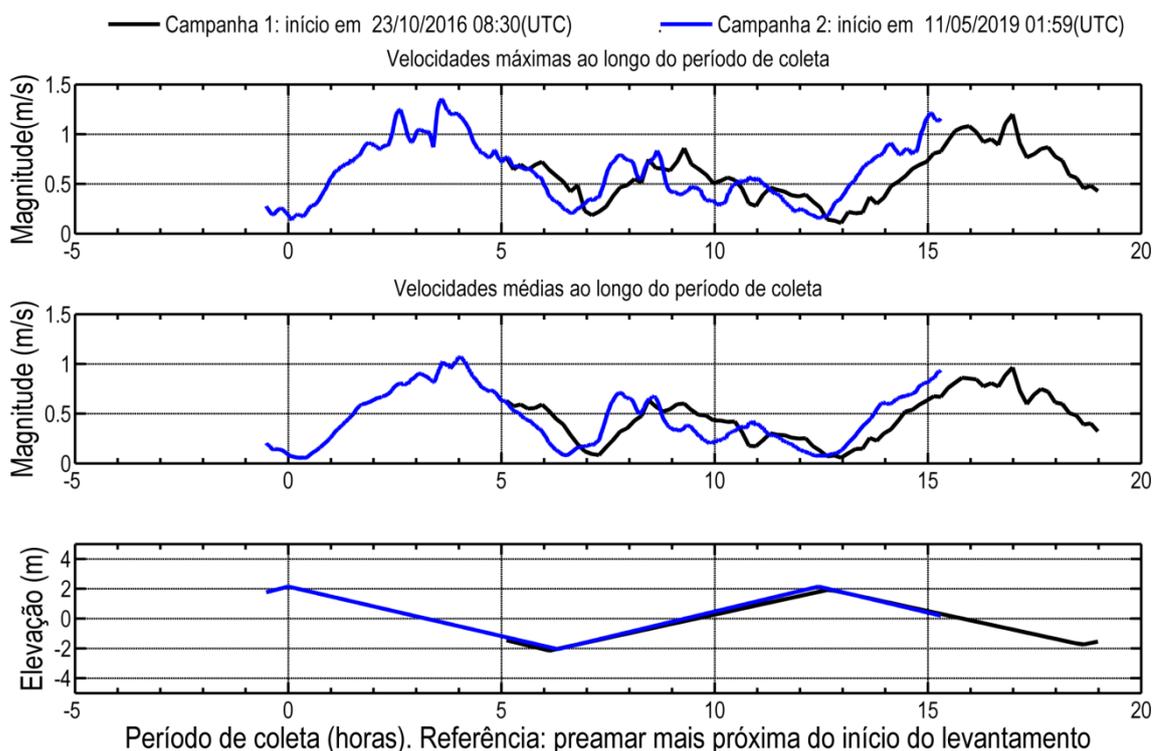


Figura 55: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta PI-C1 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

## 4.5 ADCP PI-C7

### 4.5.1 Sizígia

O levantamento teve início 19/05/2019 18:36 (UTC) e se estendeu até 11h42 (UTC) do dia 20/05/2019, totalizando cerca de 17h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 2.4 m/s na região superficial da coluna d'água, a 1.6 m de 14.6 m de profundidade, durante o meio da enchente, enquanto a mínima de 0.003 m/s foi registrada durante o estofio de baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante as enchentes, com o máximo ocorrendo entre 0.8 e 1.6 horas de coleta (Figura 56), quando as maiores velocidades variaram em torno de 2.3 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo à superfície (máximo de 2.4 m/s), reduzindo em direção ao fundo (máximo de 1.8 m/s), como se observa na Figura 58, Figura 59 e Figura 64.

Durante a vazante as maiores velocidades ocorreram entre 6 e 8 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 2.1 m/s, o que representa uma redução de 12% em relação à máxima da enchente.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 58 e Figura 59), com direções de vazante em torno de NO (315°) e de enchente em torno de SE (135°), seguindo o alinhamento da baía na região medida. Essa característica do escoamento evidencia a maré como força predominante do

escoamento local no período, o que é corroborado pelas velocidades baixas durante os períodos de estofa da maré.

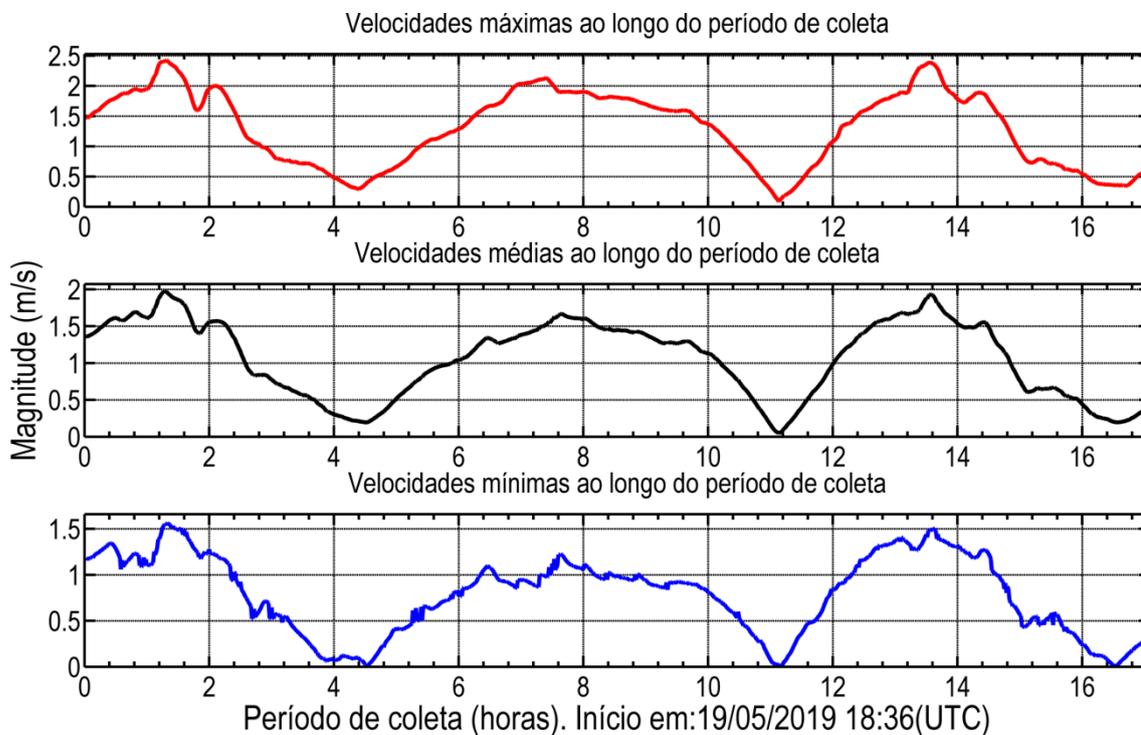
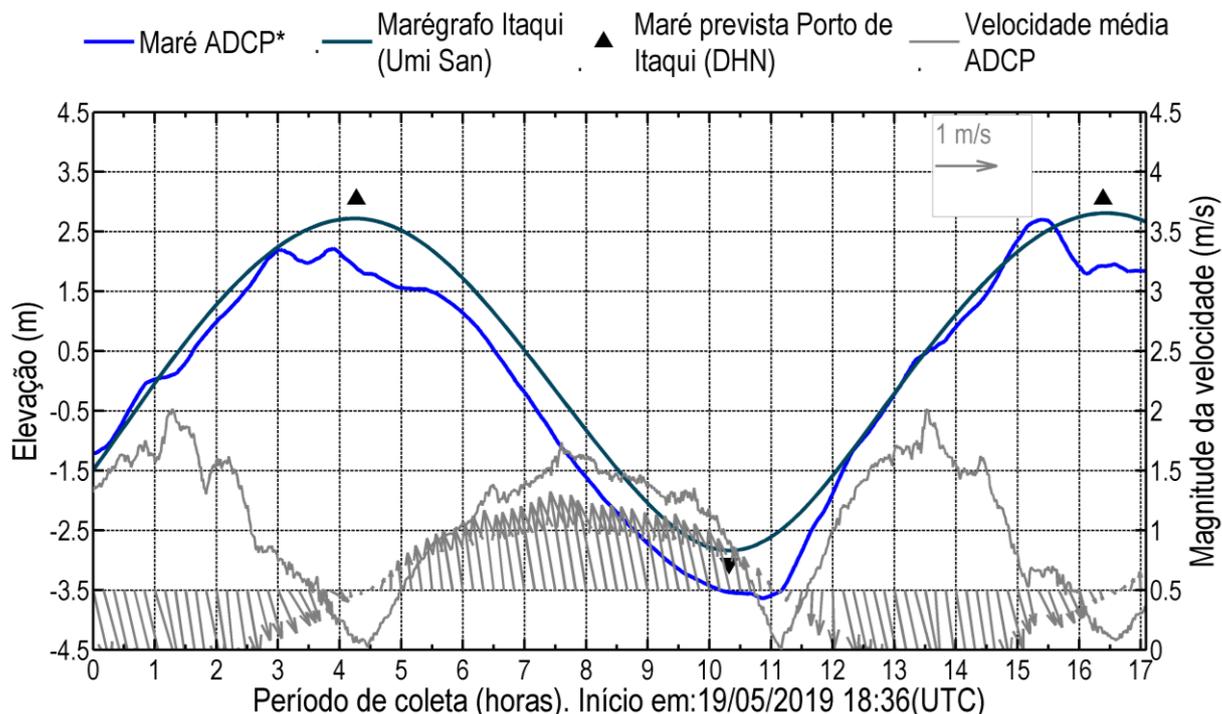


Figura 56: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP PI-C7.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 57: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C7. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

A Tabela 26 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta PI-C7 durante o período de sizígia.

Tabela 26: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C7 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	2.4	0.003
Direção	138°	191°
Período	Meio da enchente	Estofa de baixa-mar
Hora de coleta	1.3	16.5
Data (UTC)	19/05/2019 19:55	20/05/2019 11:07
Profundidade (m) da medida	1.6	7.1
Profundidade da coluna de água (m)	14.6	16.6

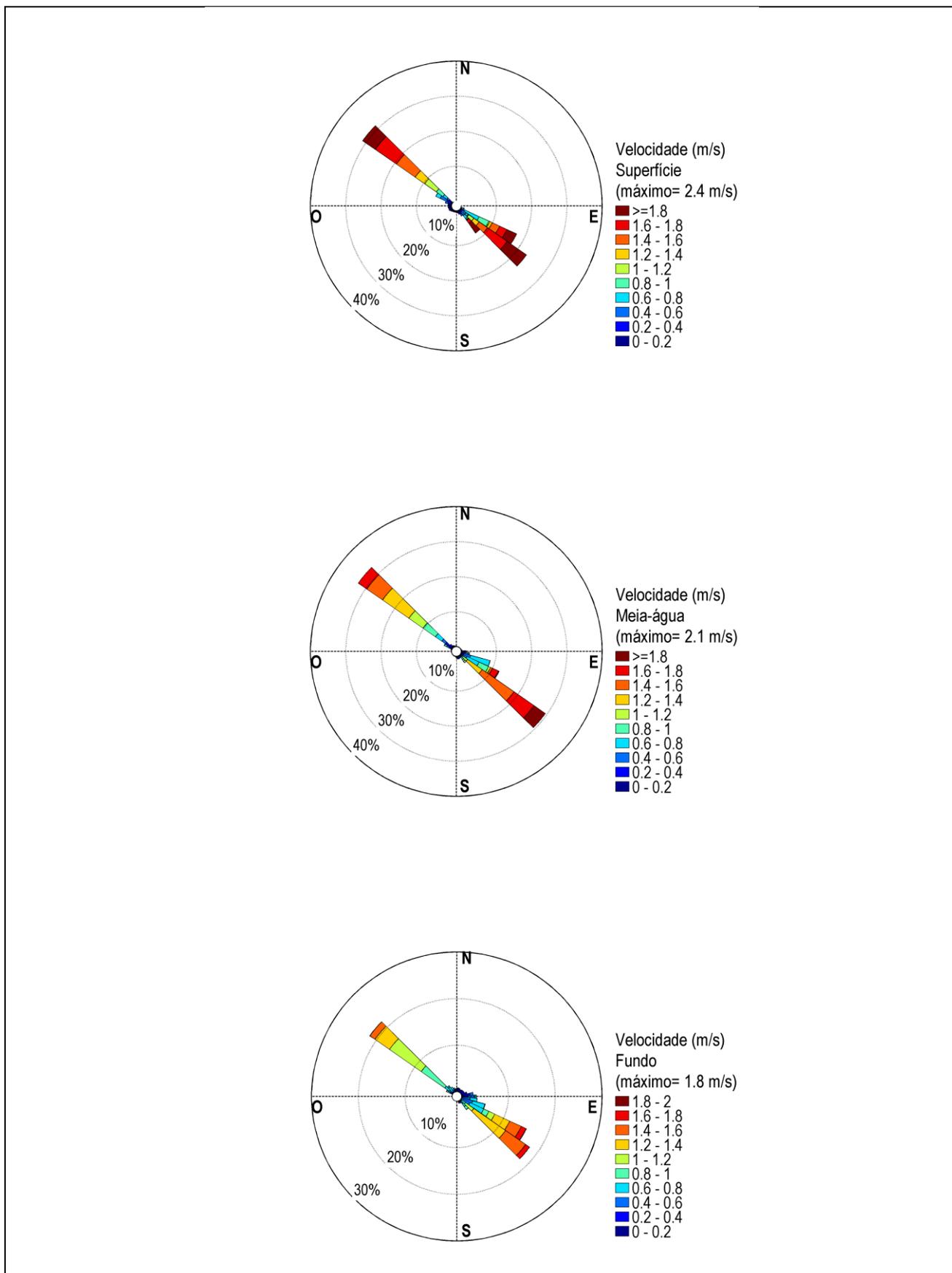


Figura 58: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C7.

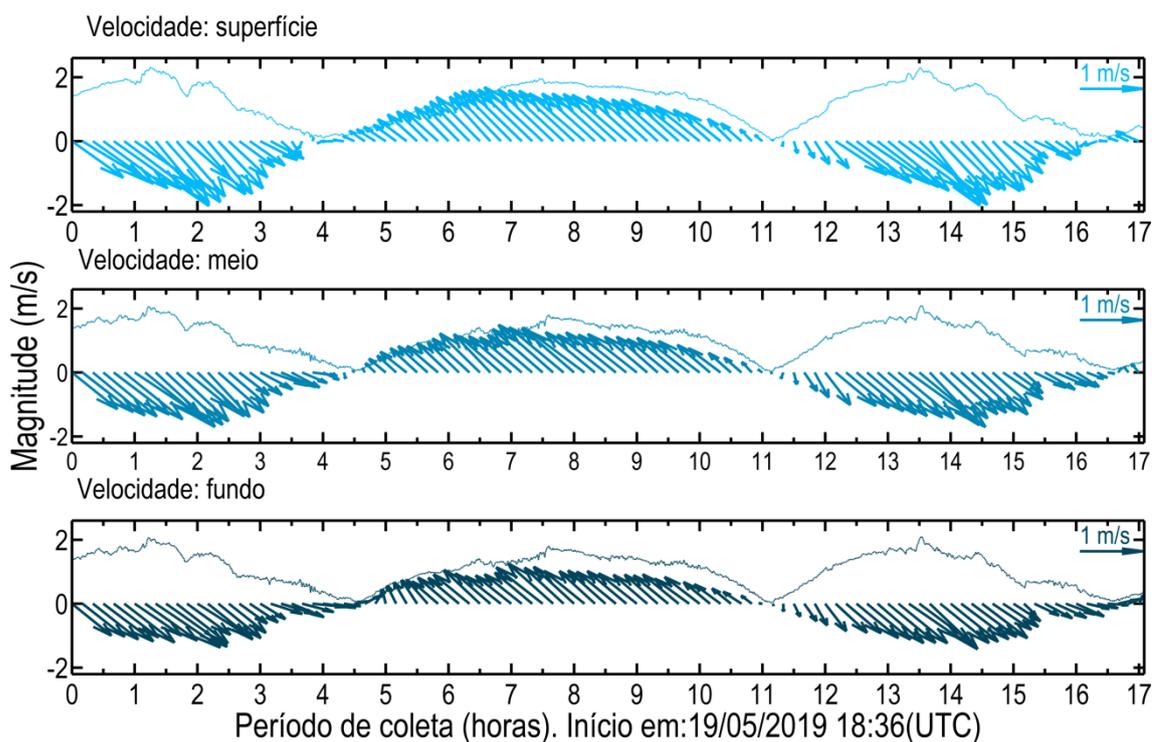


Figura 59: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C7.

#### 4.5.2 Quadratura

O levantamento teve início 11/05/2019 2:18 (UTC) e se estendeu até 19:24 (UTC), totalizando cerca de 17 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.9 m/s na região superficial da coluna d'água, a 2 m de 13 m de profundidade, durante o meio da enchente, enquanto a mínima registrada foi de 0.001 m/s, medida próximo ao meio da coluna de água durante o estofa de baixa-mar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de enchente, entre 9.5 e 10 horas de coleta (Figura 60, Figura 61), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.8 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (), com direções de vazante em torno de NO (315°) e de enchente em torno de SE (135°), seguindo o alinhamento da baía na região medida. Essa característica do escoamento evidencia a maré como forçante predominante do escoamento local no período, o que é corroborado pelas velocidades baixas durante os períodos de estofa da maré.

Ao longo do período de vazante as máximas velocidades variaram em torno de 1.7 m/s entre 15.5 h e 16.5 h, com um máximo de 1.84 m/s, o que representa uma redução de apenas 3 % em relação ao máximo registrado na vazante. Assim, de maneira similar ao observado na sizígia, as maiores velocidades ocorreram durante a enchente, porém, com diferenças menos expressivas em relação ao obtido na sizígia (12%).

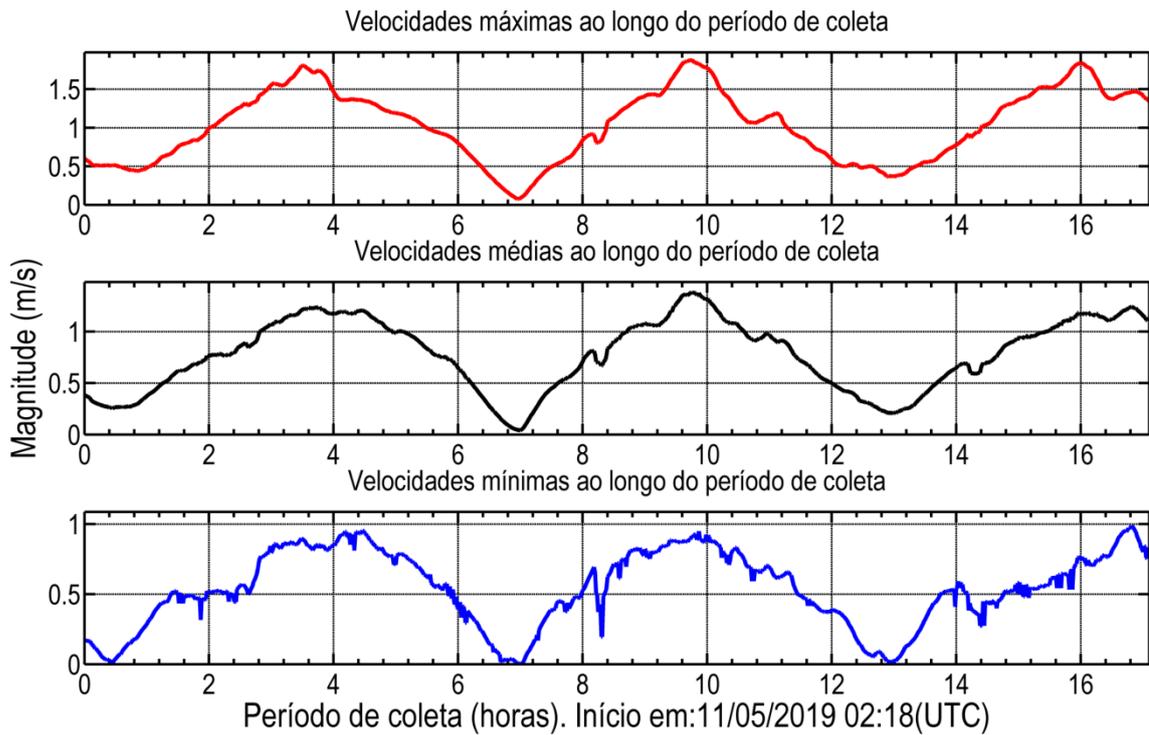
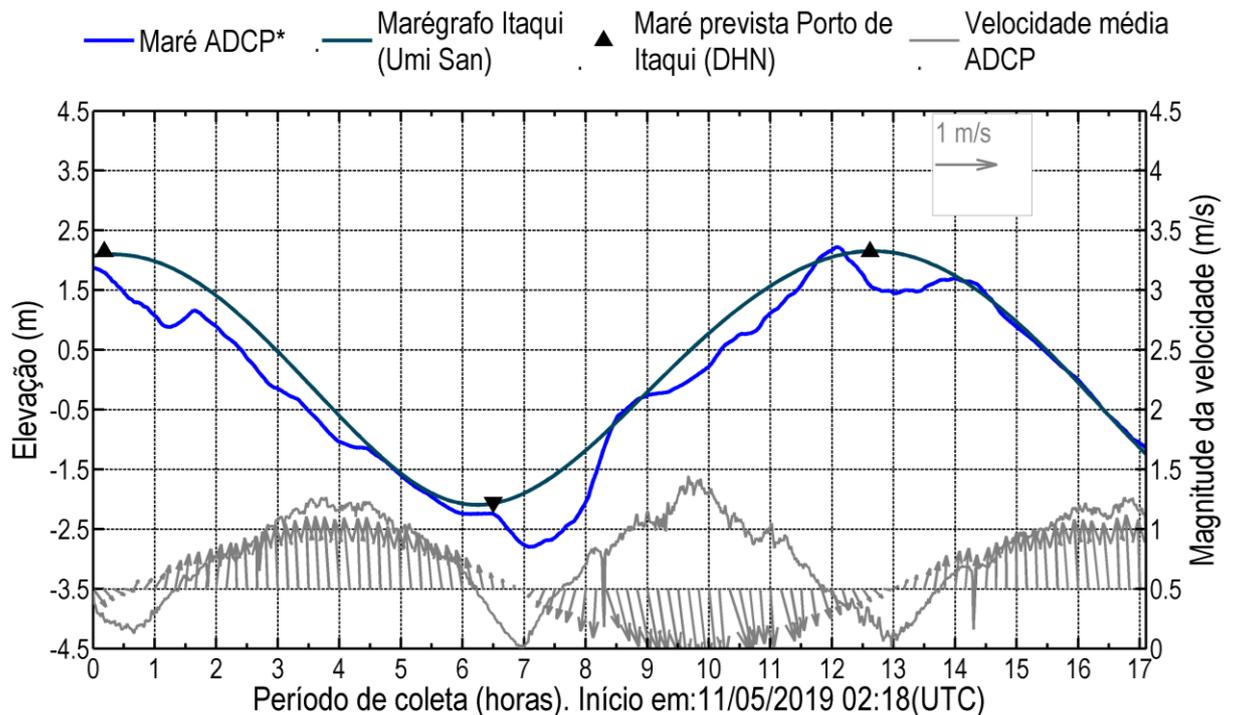


Figura 60: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C7.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 61: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C7. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

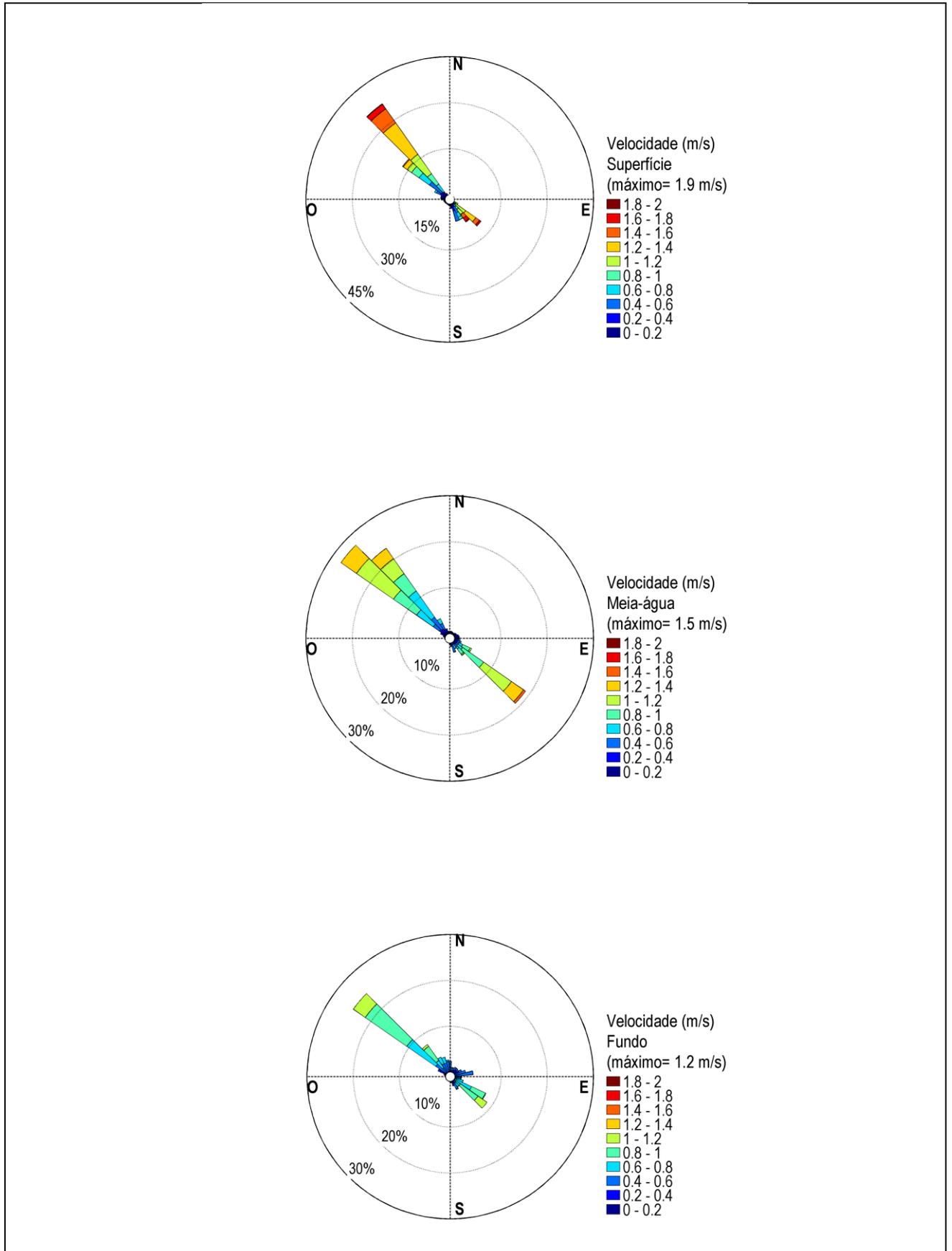


Figura 62: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C7.

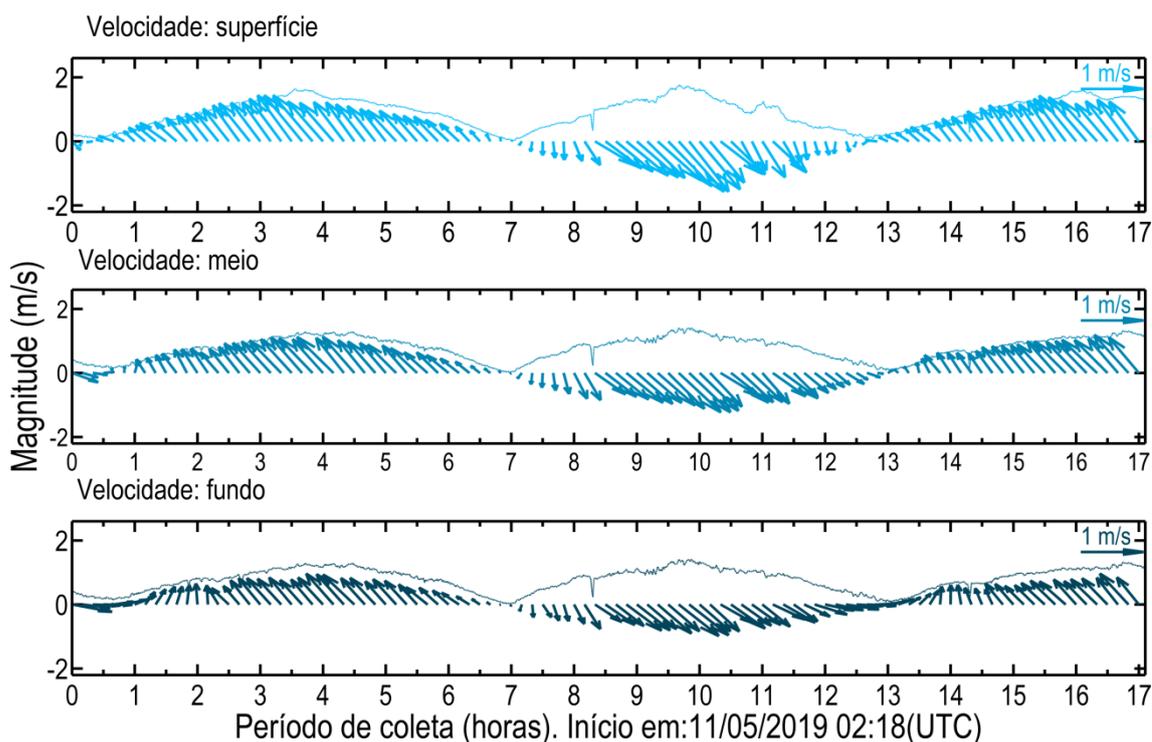


Figura 63: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C7.

A Tabela 27 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta PI-C7 durante o período de quadratura.

Tabela 27: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP PI-C7 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.9	0.001
Direção	137°	138°
Período	Meio da enchente	Estofa de baixa-mar
Hora de coleta	9.7	7.0
Data (UTC)	11/05/2019 12:02	11/05/2019 9:17
Profundidade (m) da medida	1.9	5.4
Profundidade da coluna de água (m)	12.9	10.4

#### 4.5.3 Análise integrada PI-C7: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a enchente de sizígia, com um valor máximo de 2.4 m/s e direção 138° (SE). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.9 m/s, também registrado durante a enchente. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 21 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de

0.5 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças, com a maior diferença observada na sizígia, de 12 %, enquanto na quadratura foi de apenas 3 %.

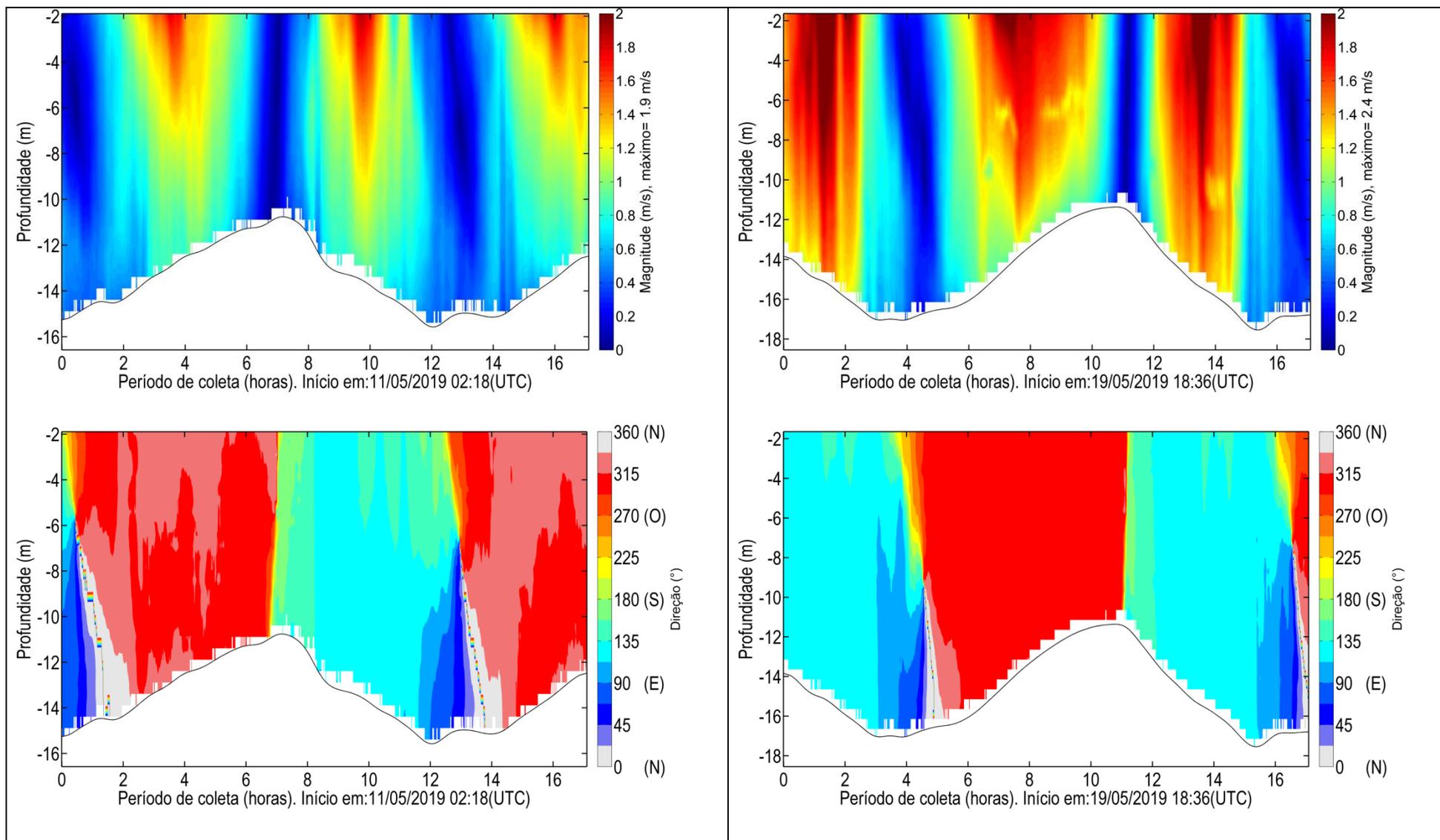


Figura 64: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP PI-C7.

## 4.6 ADCP SM-3

### 4.6.1 Sizígia

O levantamento teve início 20/05/2019 13:25 (UTC) e se estendeu até 21/05/2019 6:46 (UTC), totalizando cerca de 17h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 2.65 m/s na região superficial da coluna d'água, a 1.6 m de 12.6 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima de 0.05 m/s foi registrada durante o estófo de baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 1 e 2.2 horas de coleta (Figura 65), quando as maiores velocidades variaram em torno de 2.5 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo à superfície (máximo de 2.6 m/s), reduzindo em direção ao fundo (máximo de 1.9 m/s), como se observa na Figura 67, Figura 68 e Figura 73.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre 6 e 9 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 2.2 m/s, o que representa uma redução de 15% em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 67, Figura 68), com direções de vazante em torno de NNE (22.5°) e de enchente em torno de S (180°), seguindo o alinhamento da baía na região medida. Essa característica do escoamento evidencia a maré como forçante predominante do escoamento local.

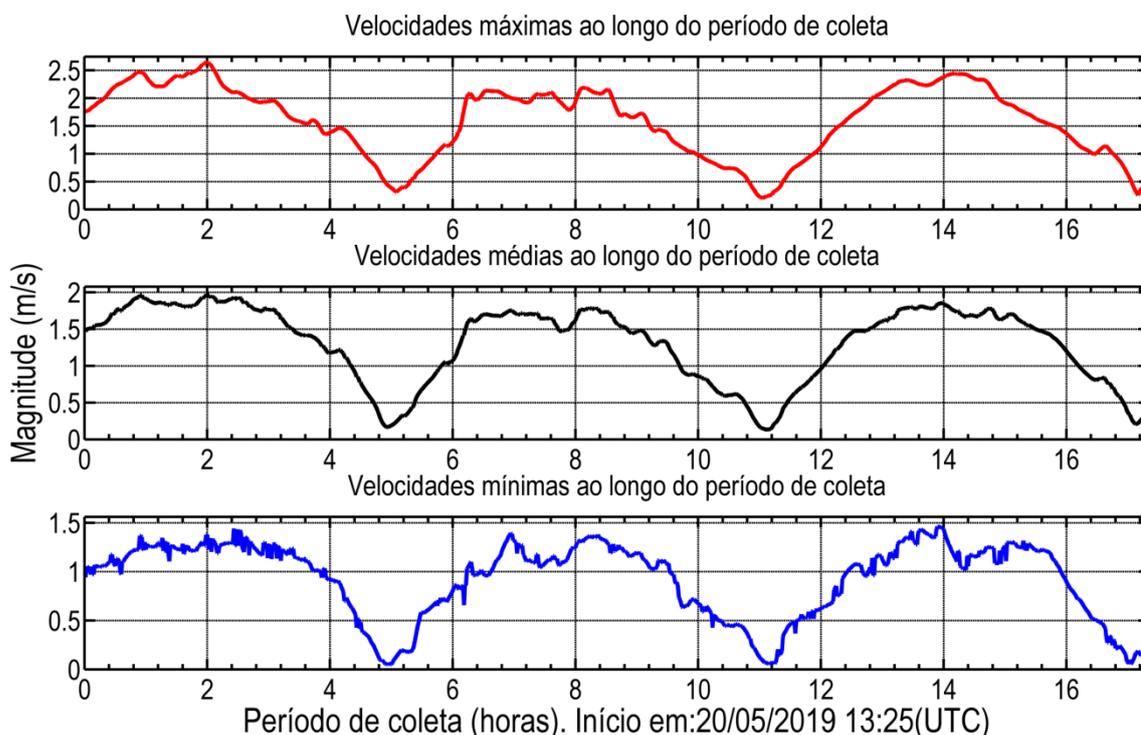
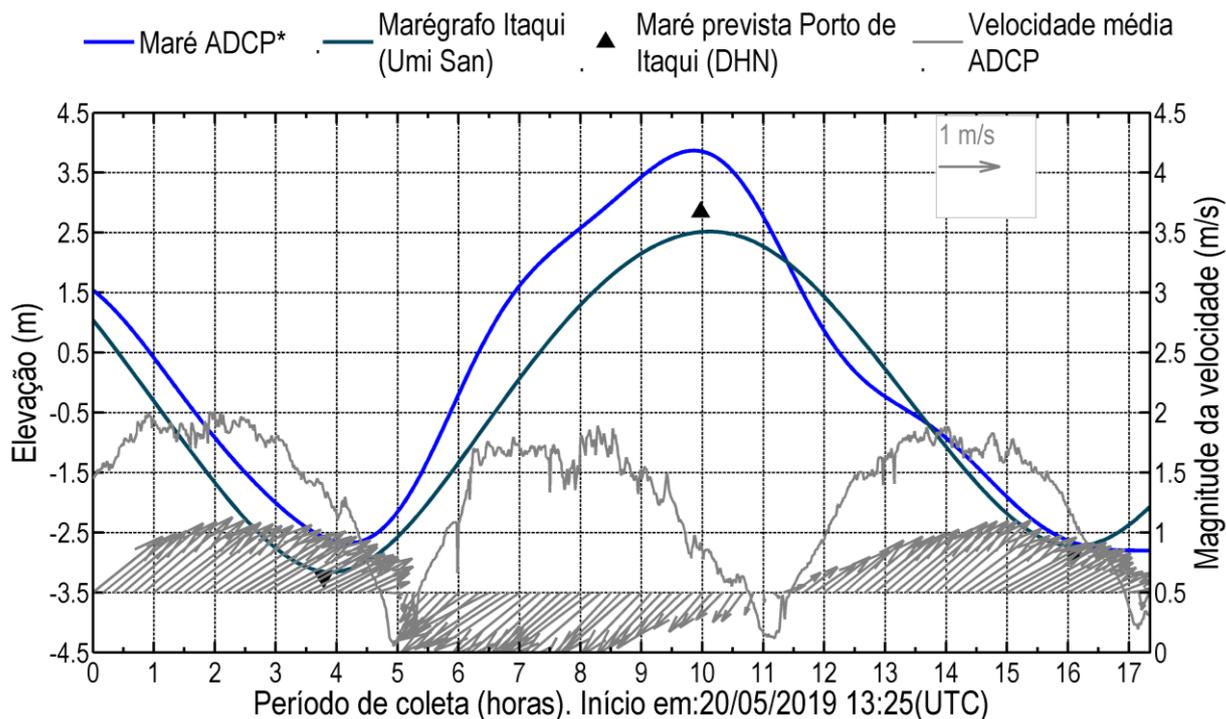


Figura 65: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP SM-3.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 66: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SM-3. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

A Tabela 28 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta SM-3 durante o período de sizígia.

Tabela 28: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta SM-3 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	2.65	0.05
Direção	15°	85°
Período	Meio da vazante	Estofa de baixa-mar
Hora de coleta	2.0	5.0
Data (UTC)	20/05/2019 15:24	20/05/2019 18:24
Profundidade (m) da medida	1.6	5.1
Profundidade da coluna de água (m)	12.6	11.1

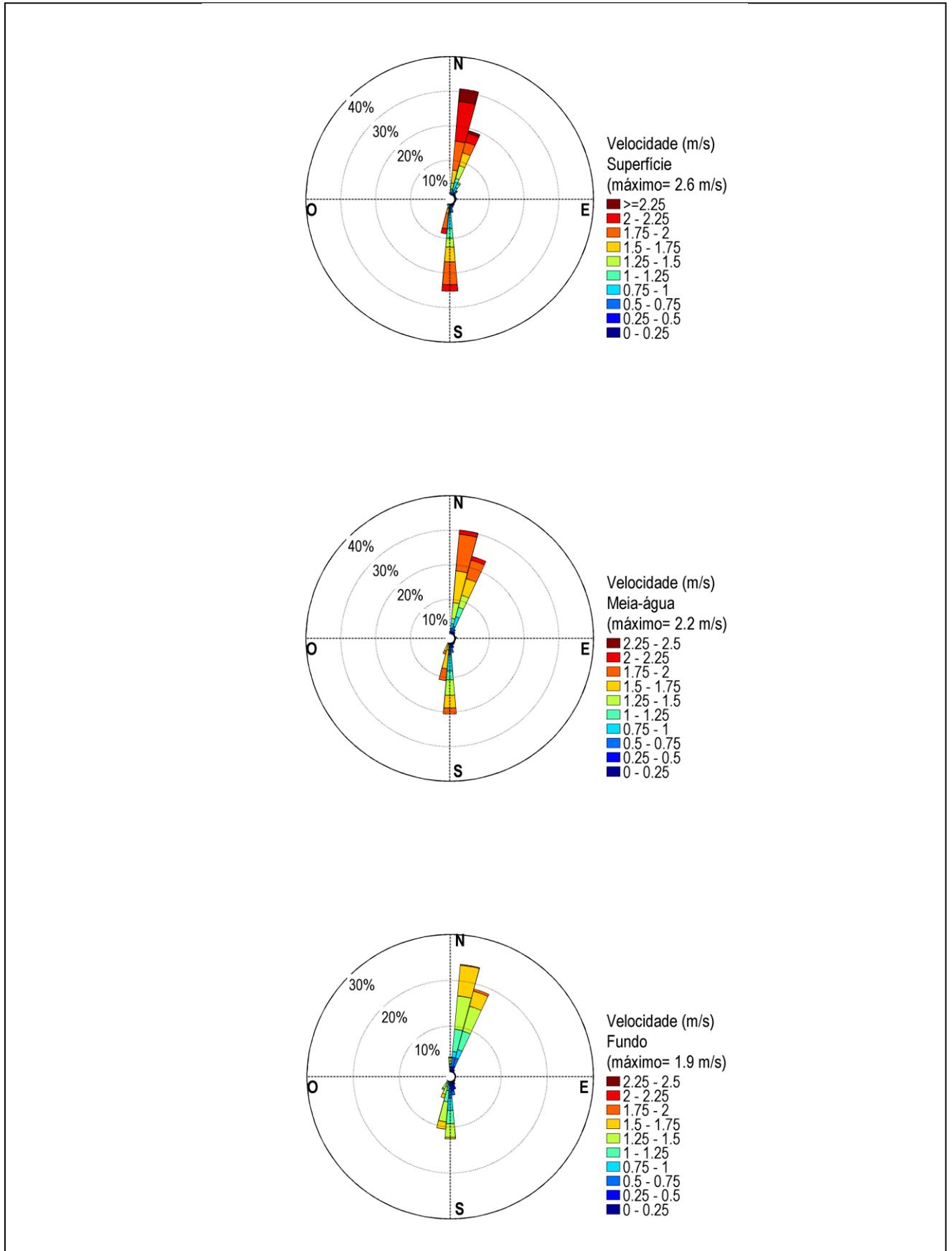


Figura 67: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SM-3.

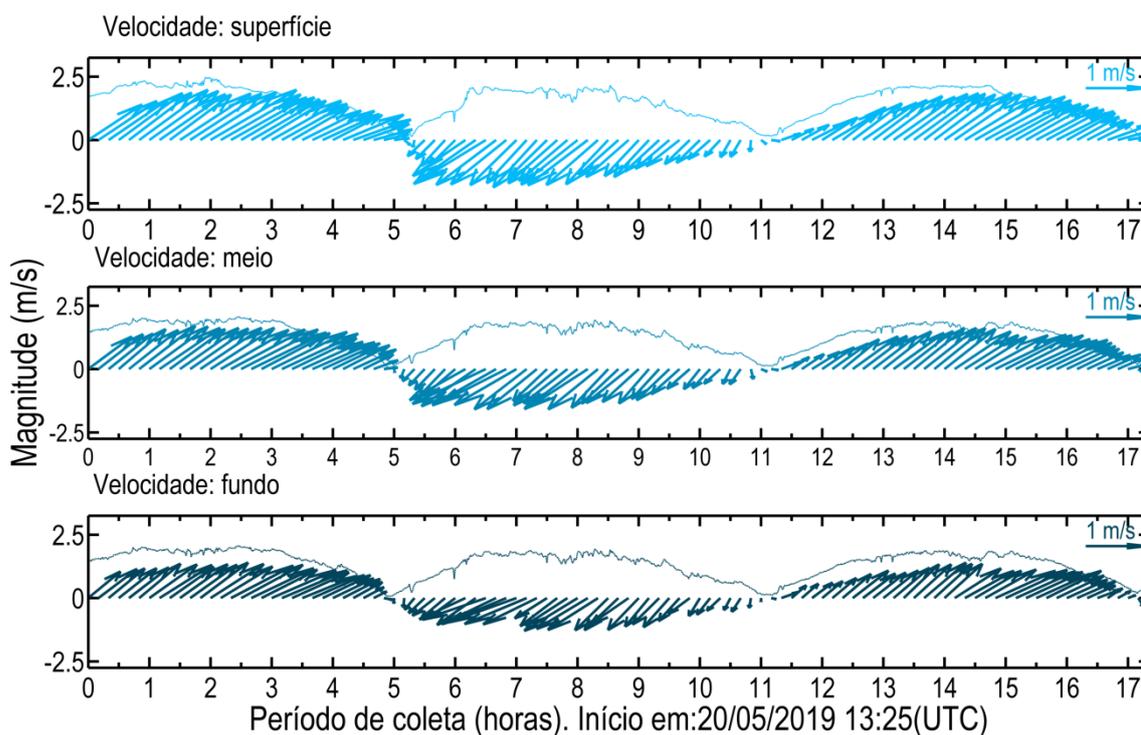


Figura 68: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SM-3.

#### 4.6.2 Quadratura

O levantamento teve início 11/05/2019 1:29 (UTC) e se estendeu até 16:56 (UTC), totalizando cerca de 15 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 2.2 m/s na região superficial da coluna d'água, a 1.7 m de 12.2 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima registrada foi de 0.02 m/s, durante o estófo de preamar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de vazante, entre 2.8 e 4 horas de coleta (Figura 69, Figura 70), quando as maiores velocidades variaram em torno de 2.1 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 71, Figura 72) com direções de vazante entre S-SSO ( $180^{\circ}$  -  $202^{\circ}$ ) e de enchente em torno de NNE ( $22.5$ ), seguindo o alinhamento da baía na região do ponto de coleta.

Ao longo do período de enchente as máximas velocidades variaram em torno de 1.66 m/s entre 8 h e 9 h, com um máximo de 1.8 m/s (Figura 69, Figura 70), o que representa uma redução de 18% em relação ao máximo registrado na vazante. Assim, de maneira similar ao observado na sizígia, as maiores velocidades ocorreram durante a vazante, com diferenças similares ao obtido na sizígia (15%, 0.4 m/s).

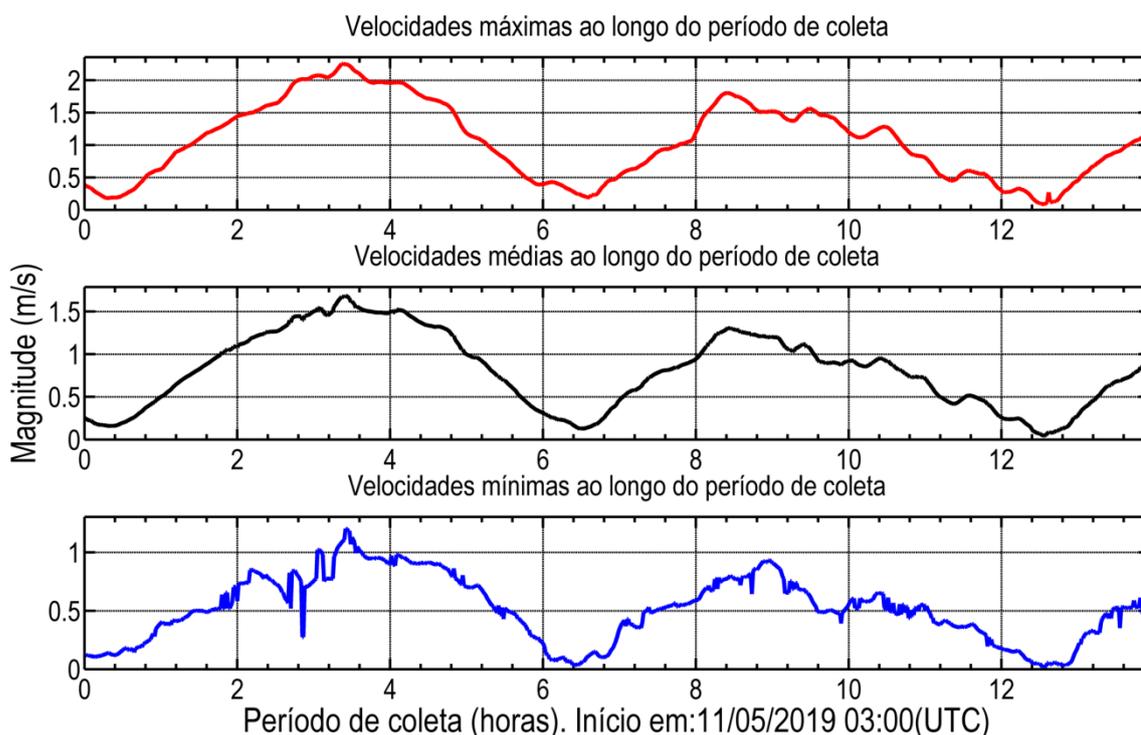
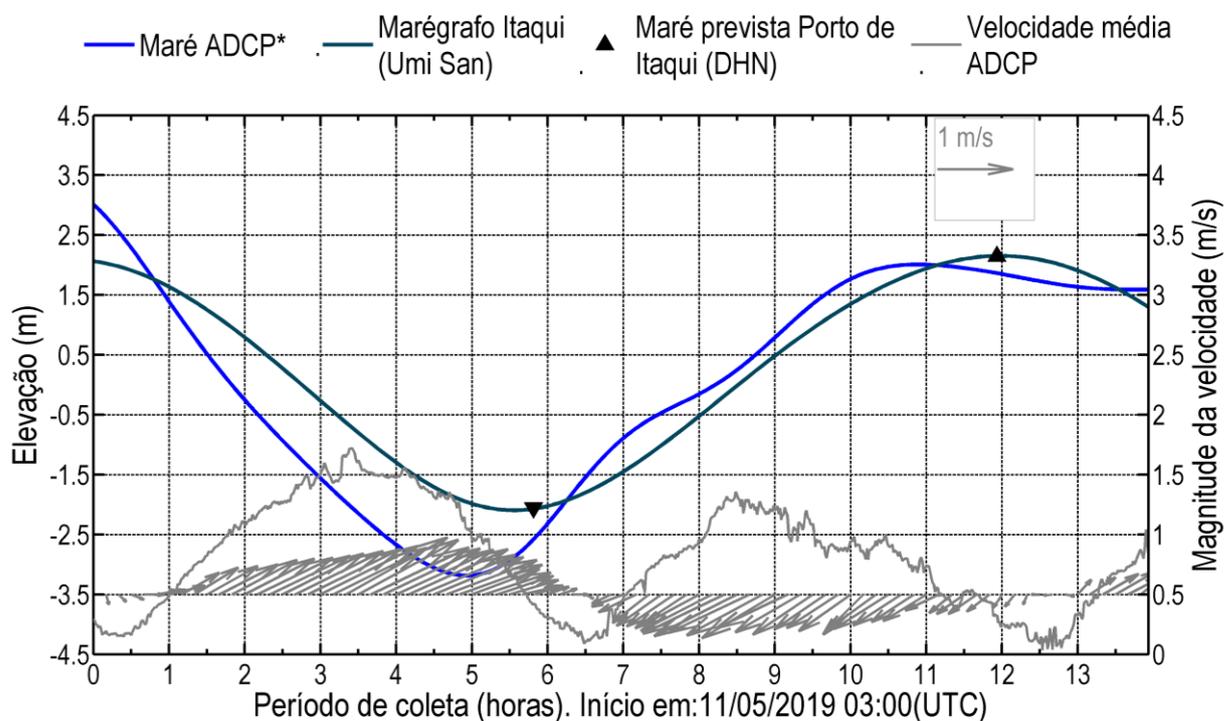


Figura 69: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP SM-3.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 70: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SM-3. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

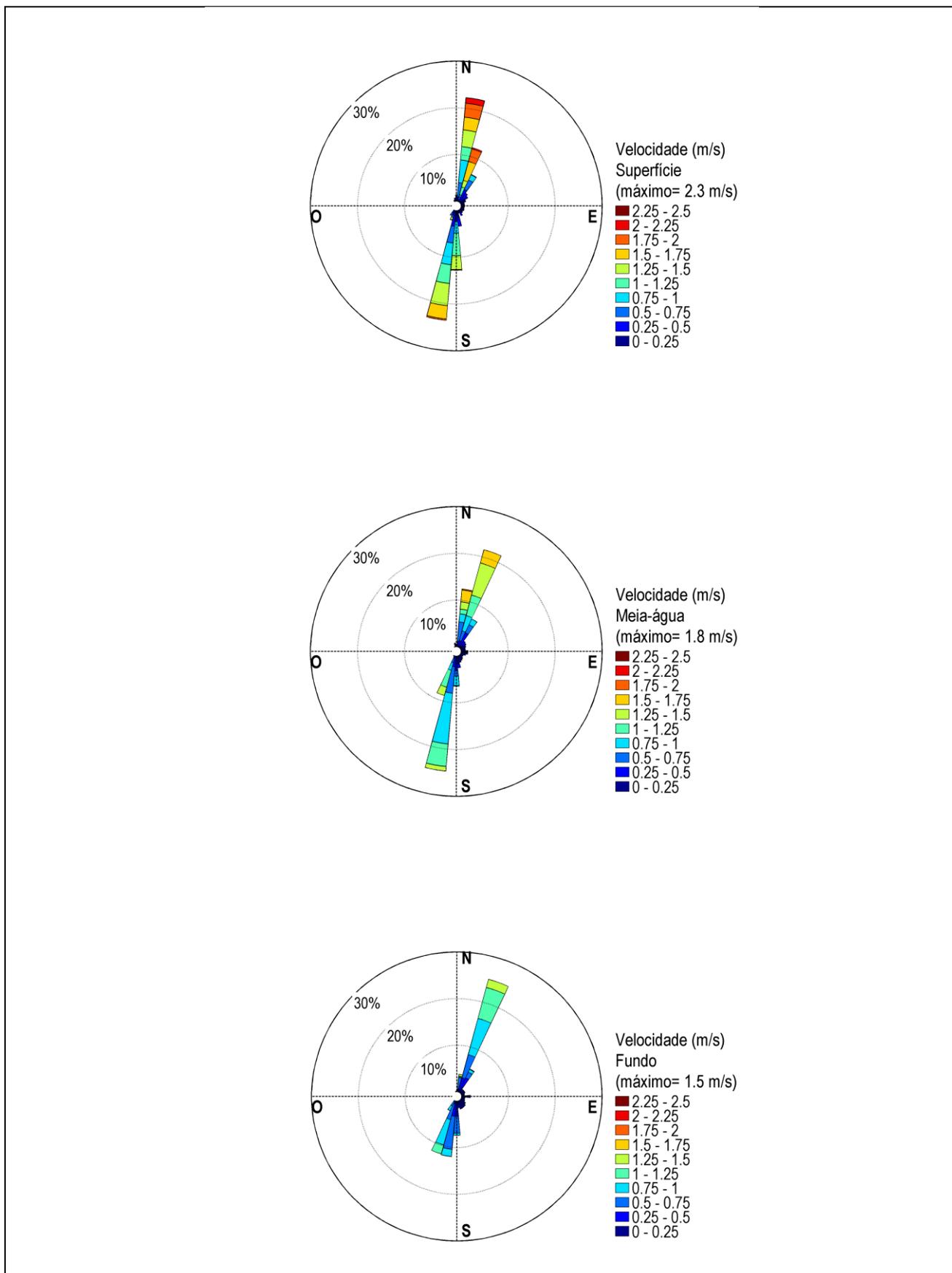


Figura 71: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SM-3.

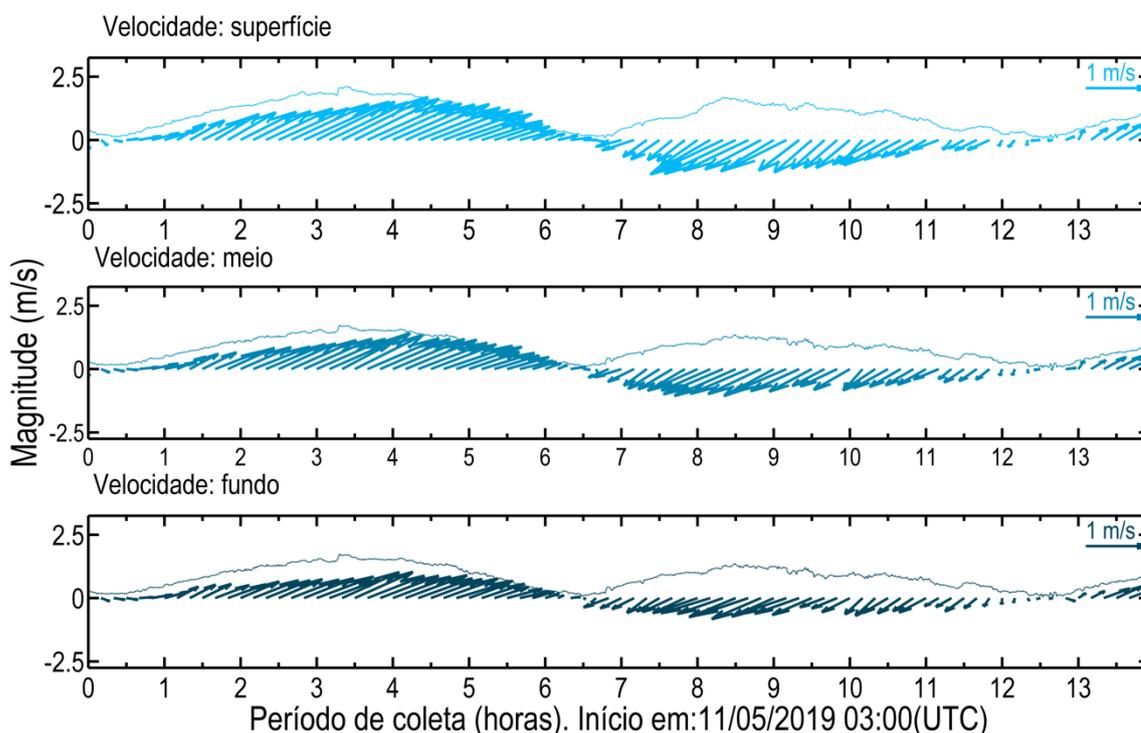


Figura 72: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SM-3.

A Tabela 29 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta SM-3 durante o período de quadratura.

Tabela 29: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP SM-3 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	2.254	0.020
Direção	15°	113°
Período	Meio da vazante	Estofa de preamar
Hora de coleta	3.4	12.6
Data (UTC)	11/05/2019 6:23	11/05/2019 15:34
Profundidade (m) da medida	1.7	4.2
Profundidade da coluna de água (m)	12.2	16.7

#### 4.6.3 Análise integrada SM-3: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 2.6 m/s e direção 15°(N-NNE). Na quadratura o máximo registrado foi de 2.2 m/s, também registrado durante a vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 15 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de

0.4 m/s.

Na quadratura e na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças similares, com a maior diferença percentual observada na quadratura, de 18 %, enquanto na sizígia foi de 15 %, sendo que, em ambos os casos a máxima de vazante foi 0.4 m/s maior que a máxima de enchente.

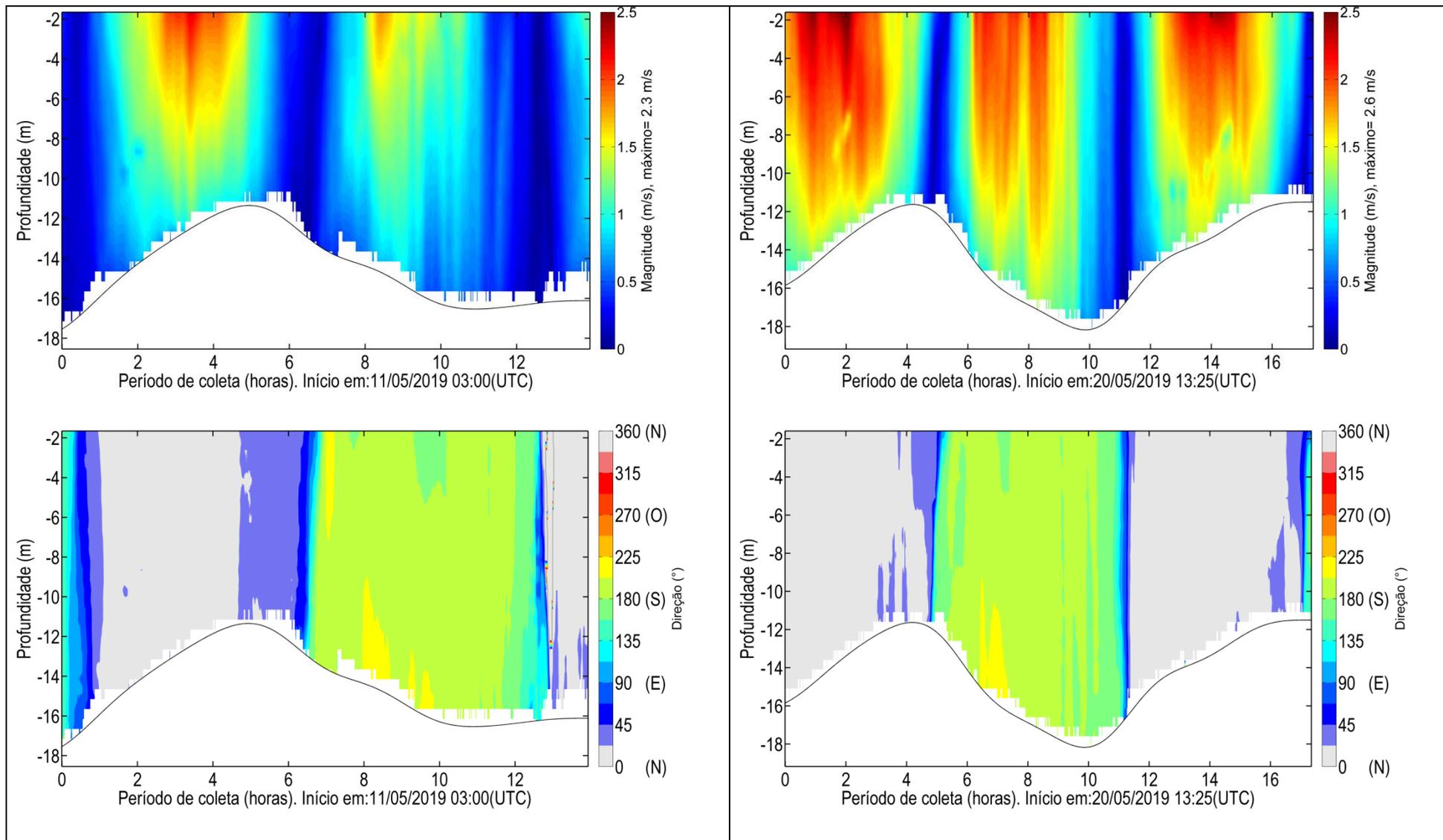


Figura 73: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP SM-3.

#### 4.6.4 Análise integrada SM-3 sizígia: levantamento anterior (set./2017).

Nesta seção são comparados os resultados obtidos a partir das medições realizadas no ponto de coleta SM-3 durante o período de sizígia em duas campanhas distintas, identificadas como campanha 1 (set./2017), referente ao RT 227 17, e campanha 2 (maio/2019), relatório atual, como identificado na Tabela 30.

Tabela 30: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.

Ponto	CAMPANHA 1 (RT 227 17)			CAMPANHA 2 (RT 110 19)		
	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)
SM-3	22/09/2017 11:11	22/09/2017 23:01	12	20/05/2019 13:25	21/05/2019 06:46	17

Os resultados das campanhas são comparados na Figura 74 utilizando como referência horária a preamar mais próxima do início de cada levantamento (hora 0), assim, os resultados de velocidades podem ser comparados para os diferentes períodos com base nos momentos de maré. As máximas e mínimas velocidades registradas em cada levantamento são identificadas na Tabela 31.

Na Figura 75 e Figura 76 são representados os períodos de levantamento de cada campanha na série de maré prevista para o Porto de Itaqui, o que permite identificar algumas características do regime de maré associado às medições, como a amplitude de maré após a preamar de referência (PM-BM).

A partir dos resultados obtidos, observa-se que as velocidades da campanha 1 (máximo de 1.84 m/s) foram menores que na campanha 2 (máximo de 2.65 m/s), no entanto, observa-se uma amplitude de maré ligeiramente maior no período da campanha 1 (6.4 m) em relação à campanha 2 (6.3 m). Assim, os resultados indicam uma redução da máxima velocidade de 0.81 m/s (31% do máx.) da campanha 1 (set./2017) para campanha 2 (maio/2019), apesar das amplitudes de maré em ambos os períodos terem sido similares, 6.4 e 6.3 m, respectivamente.

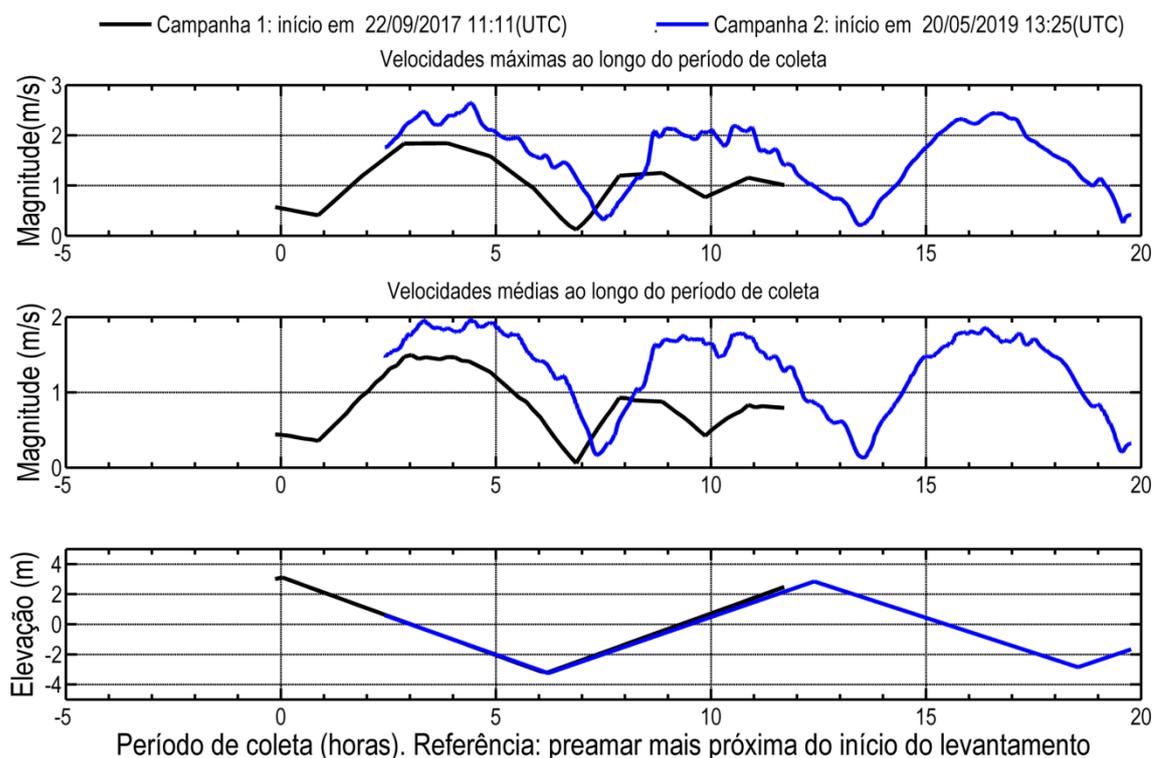


Figura 74: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta SM-3 no período de sizigia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

Tabela 31: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta SM-3 no período de sizigia durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

	SIZIGIA			
	SM-3   CAMPANHA 1		SM-3   CAMPANHA 2	
	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.84	0.009	2.65	0.05
Direção	26.6	339.1	15.25	84.74
Período	Meio da vazante	Estofo de baixa-mar	Meio da vazante	Estofo de baixa-mar
Hora de coleta	4.0	7.0	2.0	5.0
Data (UTC)	22/09/2017 15:11	22/09/2017 18:11	20/05/2019 15:24	20/05/2019 18:24
Profundidade (m) da medida	2.9	2.9	2.1	5.6
Profundidade da coluna de água (m)	14.4	14.9	18.6	18.6

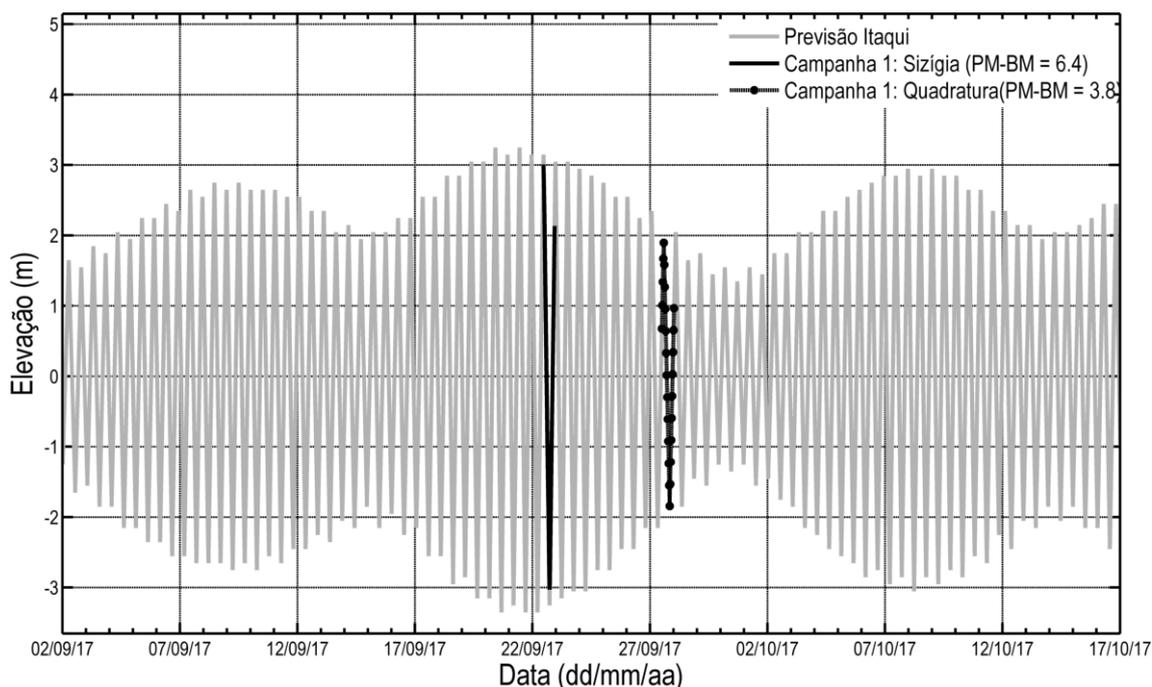


Figura 75: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sизigia e quadratura na Campanha 1 do ponto SM-3. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

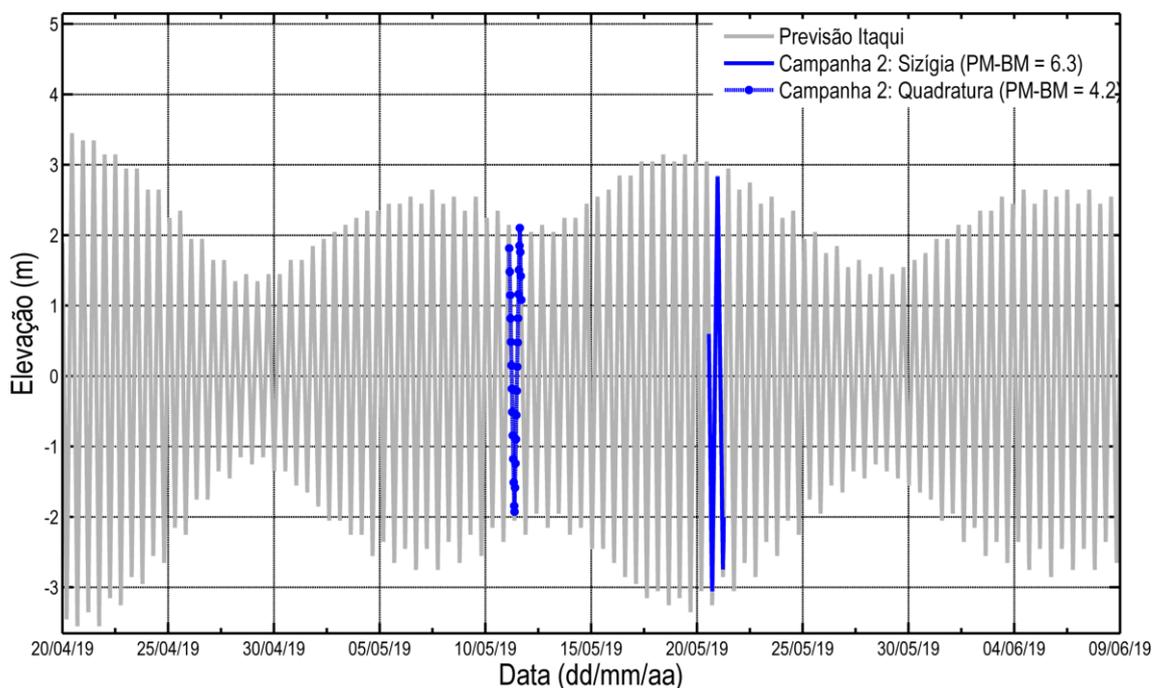


Figura 76: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sизigia e quadratura na Campanha 2 do ponto SM-3. Dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

#### 4.6.5 Análise integrada SM-3 quadratura: levantamento anterior (set./2017).

A seguir são comparados os resultados obtidos a partir das medições realizadas no ponto de coleta SM-3 durante o período de quadratura em duas campanhas distintas, identificadas como campanha 1 (set./2017),

referente ao RT 227 17, e campanha 2 (maio/2019), relatório atual, como identificado na Tabela 32.

Tabela 32: Período dos levantamentos realizados no ponto de coleta.

Ponto	CAMPANHA 1 (RT 137 16)			CAMPANHA 2 (RT 110 19)		
	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)
SM-3	27/09/2017 12:07	28/09/2016 00:57	13	24/01/2018 07:40	24/01/2018 21:50	14

Os resultados das campanhas são comparados na Figura 77 utilizando como referência horária a premar mais próxima do início de cada levantamento (hora 0). As máximas e mínimas velocidades registradas em cada levantamento são identificadas na Tabela 33.

A partir dos resultados obtidos, nota-se que as velocidades da campanha 1 (máximo de 1.14 m/s) foram menores que na campanha 2 (máximo de 2.25 m/s), o que ocorre associado a uma redução da amplitude de maré no período da campanha 1 (3.8 m) em relação à campanha 2 (4.2 m). Os resultados indicam uma redução da máxima velocidade de 1.11 m/s (49% do máx.) associada a uma redução da amplitude de maré de 0.4 m (10% do máx.) da campanha 1 (set./2017) em relação à campanha 2 (maio/2019).

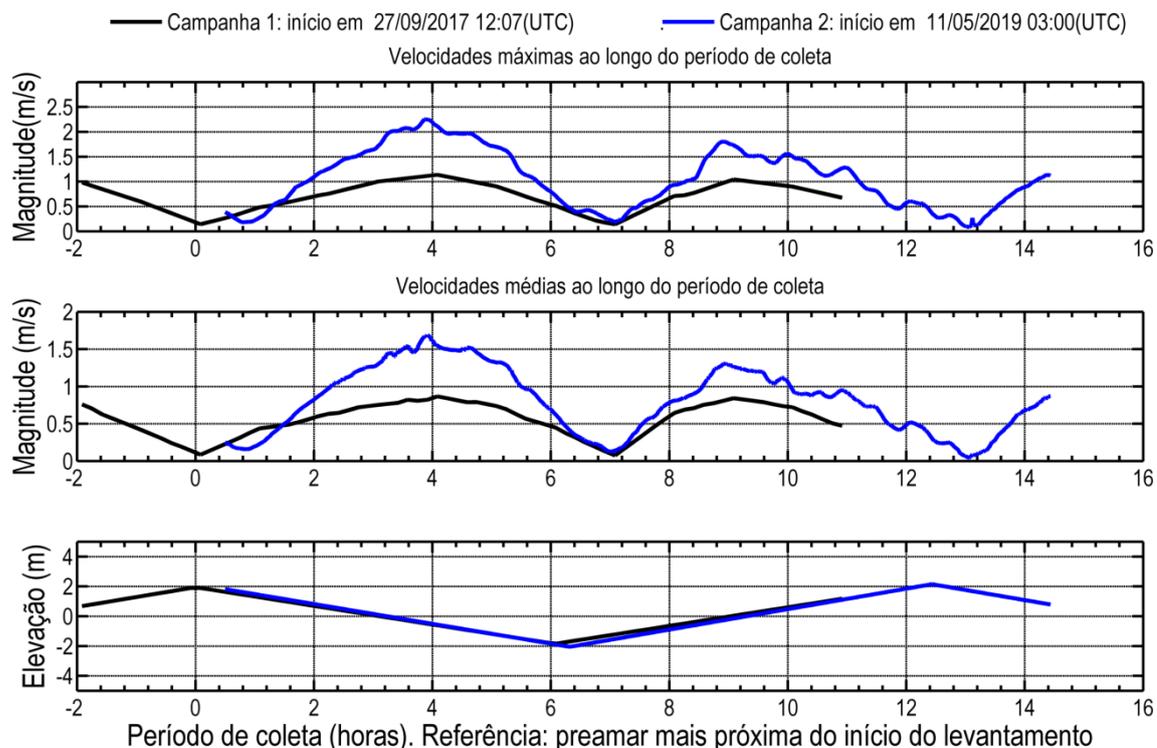


Figura 77: Velocidades máxima e média registradas ao longo da coluna d'água no ponto de coleta SM-3 no período de quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

Tabela 33: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta SM-3 no período de

quadratura durante os levantamentos das campanhas 1 e 2.

	QUADRATURA			
	SM-3   CAMPANHA 1		SM-3   CAMPANHA 2	
	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.14	0.018	2.25	0.02
Direção	31.5	287.3	14.9	113.01
Período	Meio da vazante	Preamar	Meio da vazante	Preamar
Hora de coleta	6.0	2.0	3.4	12.6
Data (UTC)	27/09/2017 18:07	27/09/2017 14:07	11/05/2019 6:23	11/05/2019 15:34
Profundidade (m) da medida	2.9	14.9	2.2	4.7
Profundidade da coluna de água (m)	10.9	14.9	18.2	18.2

## 4.7 ADCP AF-7

### 4.7.1 Sizígia

O levantamento teve início 19/05/2019 20:34 (UTC) e se estendeu até 20/05/2019 11:30 (UTC), totalizando cerca de 15h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 2.6 m/s na região superficial da coluna d'água, a 1.4 m de 14.4 m de profundidade, durante a vazante, enquanto a mínima de 0.003 m/s foi registrada durante o estofo de preamar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 5.6 e 7.6 horas de coleta (Figura 78, Figura 79), quando as maiores velocidades variaram em torno de 2.5 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo à superfície (máximo de 2.6 m/s), reduzindo pouco em direção ao fundo (máximo de 2.3 m/s), como se observa na Figura 80, Figura 81 e Figura 86.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre 0 e 1 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 2.3 m/s, o que representa uma redução de 12% em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 80, Figura 81), com direções de vazante entre NNE-NE (22-45°) e de enchente em torno de SSE-S (157°-180°), seguindo o alinhamento da baía na região medida. Essa característica do escoamento evidencia a maré como forçante predominante do escoamento local.

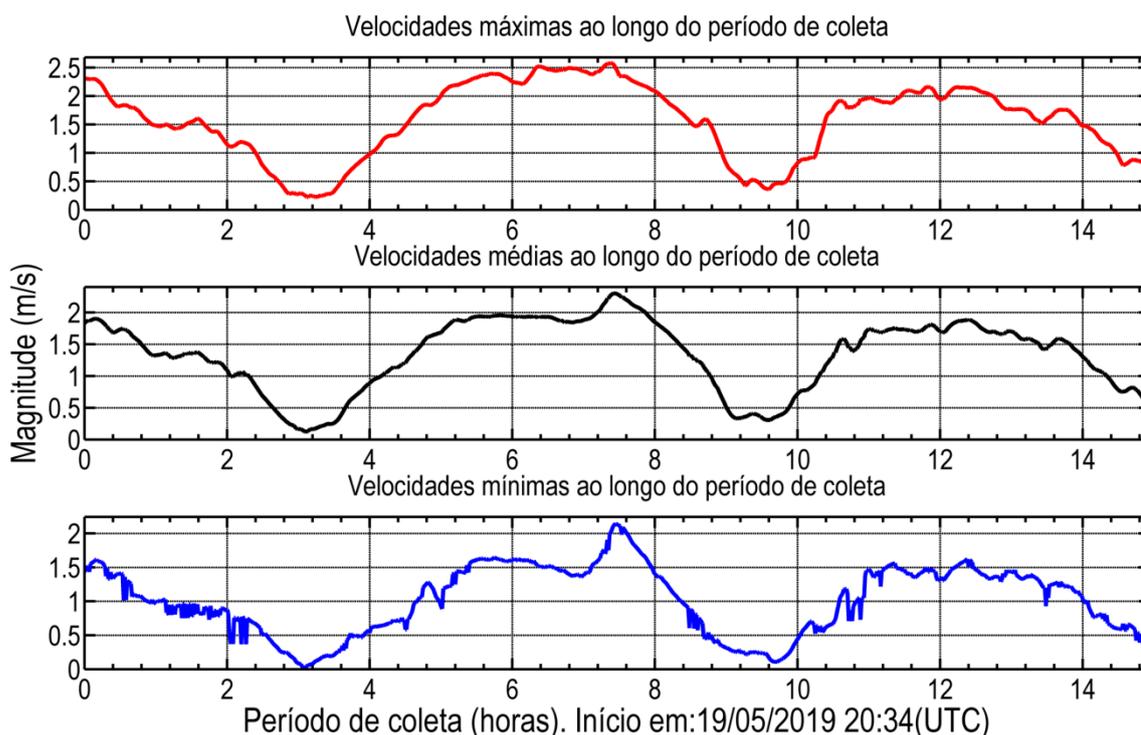
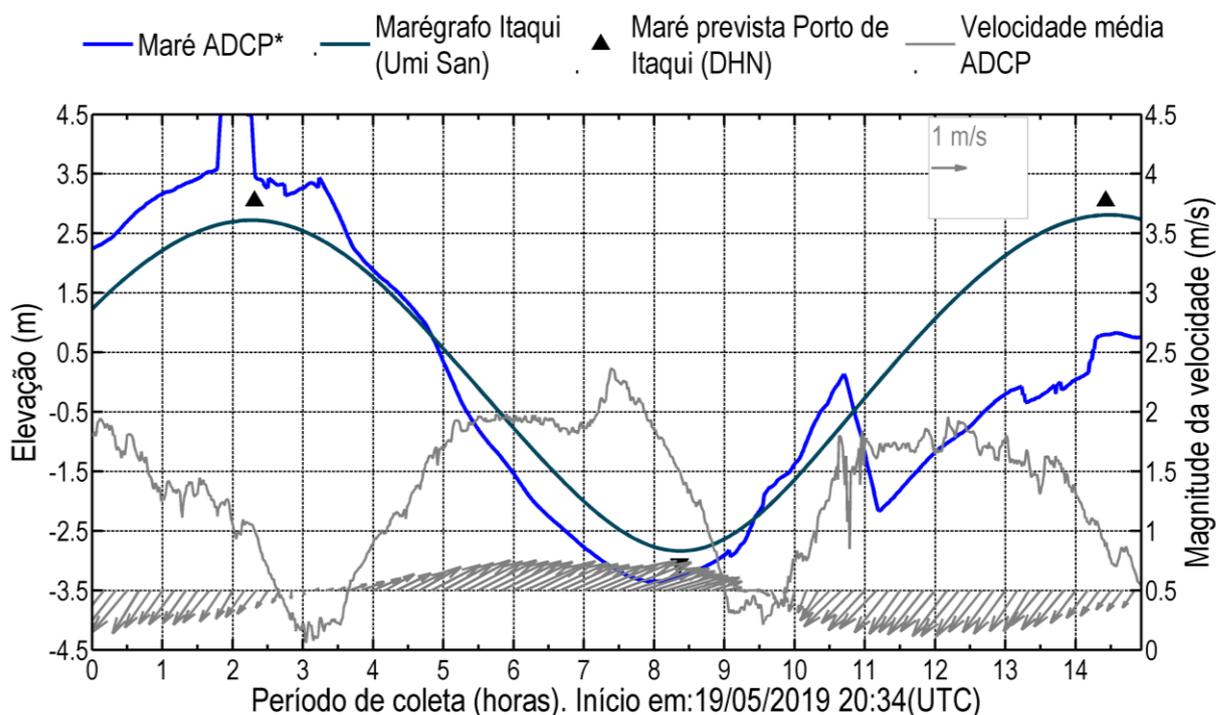


Figura 78: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP AF-7.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 79: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-7. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

A Tabela 34 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta AF-7 durante o período de sizígia.

Tabela 34: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta AF-7 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	2.582	0.003
Direção	27	120
Período	Vazante	Estofo de preamar
Hora de coleta	7.4	3.1
Data (UTC)	20/05/2019 3:57	19/05/2019 23:39
Profundidade (m) da medida	1.4	1.9
Profundidade da coluna de água (m)	14.4	20.9

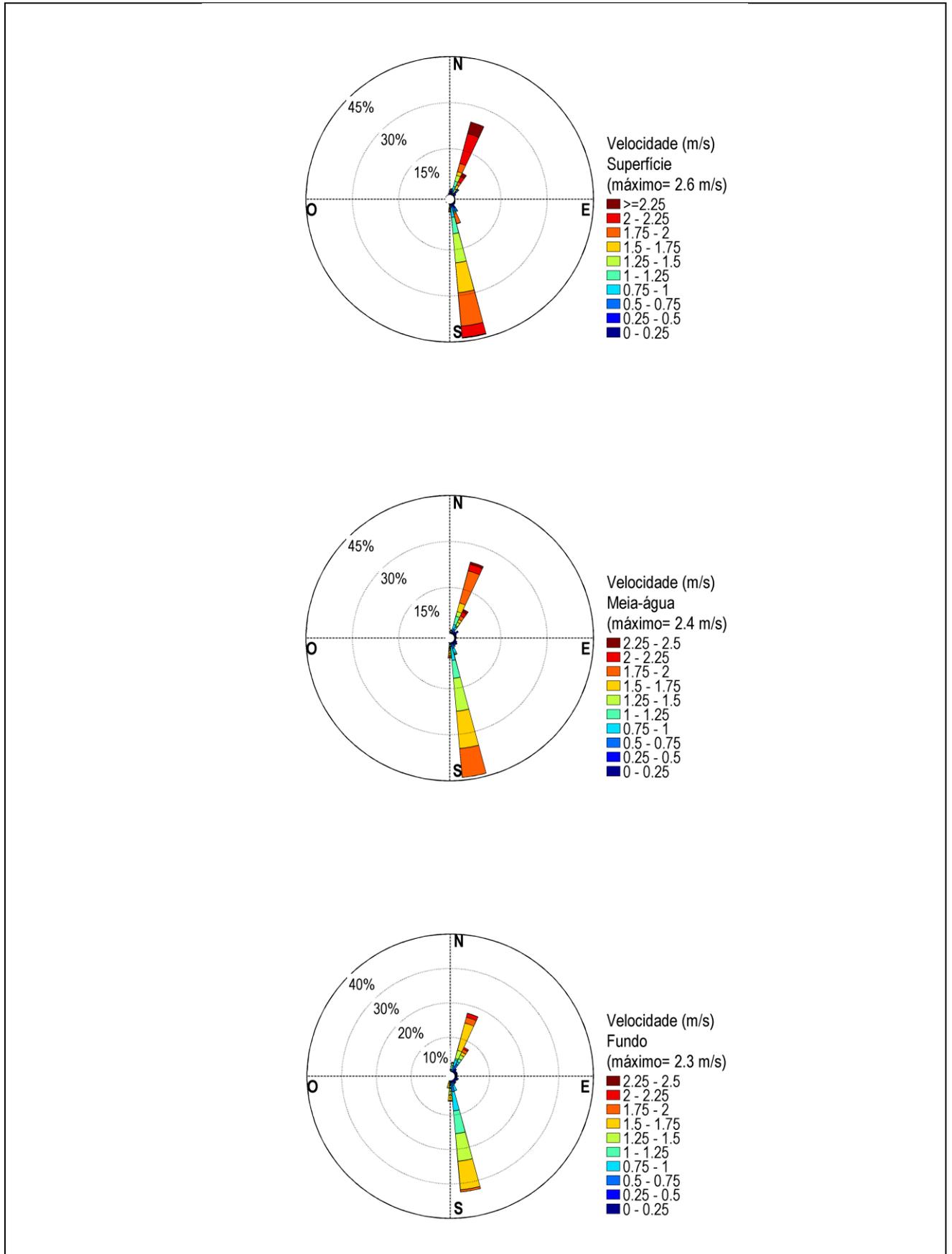


Figura 80: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-7.

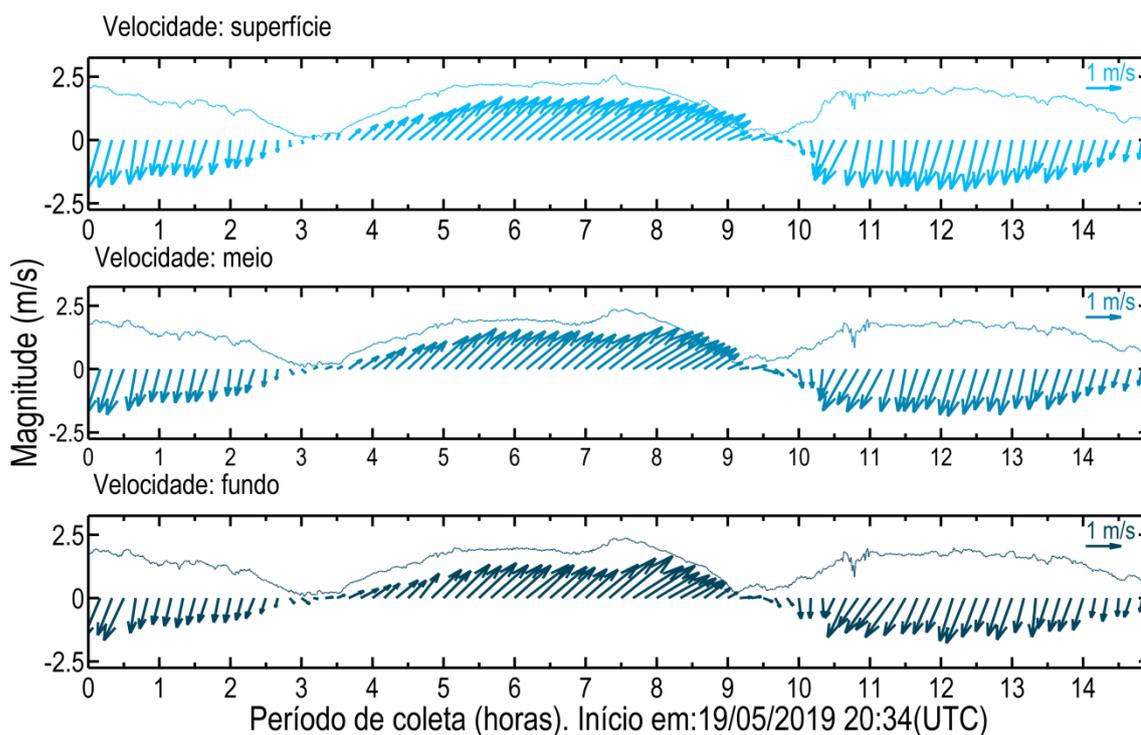


Figura 81: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-7.

#### 4.7.2 Quadratura

O levantamento teve início 28/05/2019 23:44 (UTC) e se estendeu até 29/05/2019 13:30 (UTC), totalizando cerca de 14 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.25 m/s na região superficial da coluna d'água, a 2.2 m de 17.2 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima registrada foi de 0.0006 m/s, durante o estófo de baixa-mar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de vazante, entre 9.7 e 10.7 horas de coleta (Figura 82, Figura 83), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.1 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional Figura 84, com direções de vazante em torno de NE (45°) e de enchente em torno de SO (225°), seguindo o alinhamento da baía na região do ponto de coleta.

Ao longo do período de enchente, as máximas velocidades variaram em torno de 1 m/s entre 3 h e 5 h, com um máximo de 1.14 m/s (Figura 82, Figura 83), o que representa uma redução de apenas 9 % (0.1 m/s) em relação ao máximo registrado na vazante. Assim, de maneira similar ao observado na sizígia, as maiores velocidades ocorreram durante a vazante, porém, com diferenças menos expressivas em relação ao obtido na sizígia (12 %, 0.3 m/s).

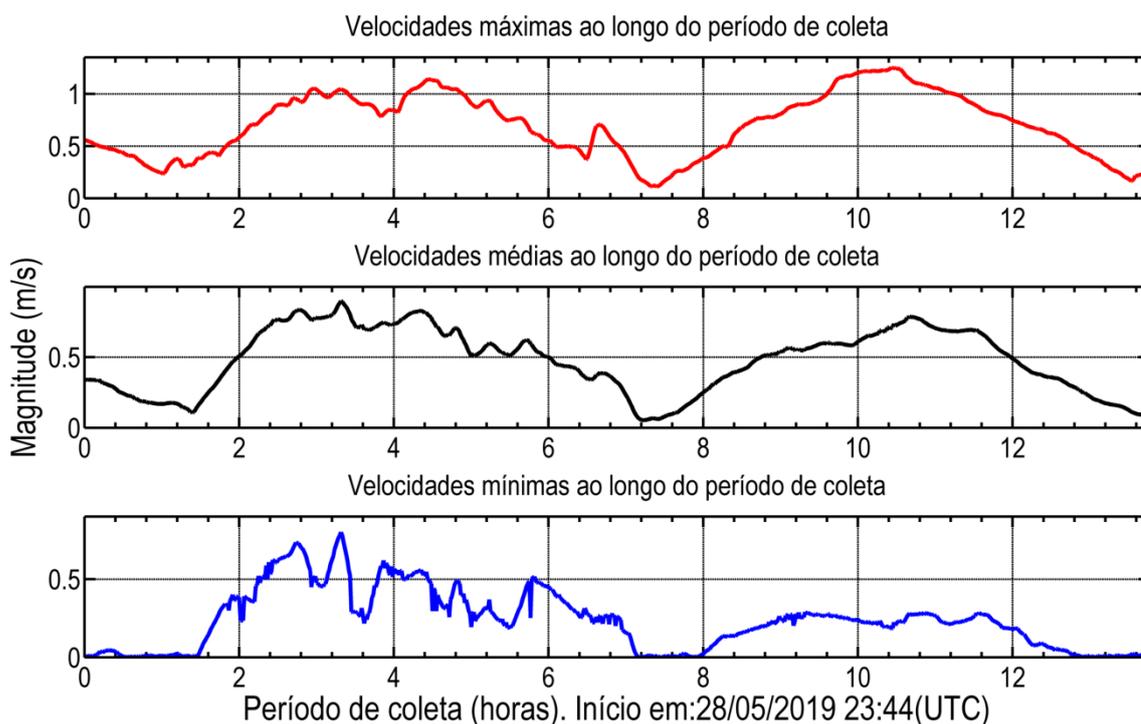
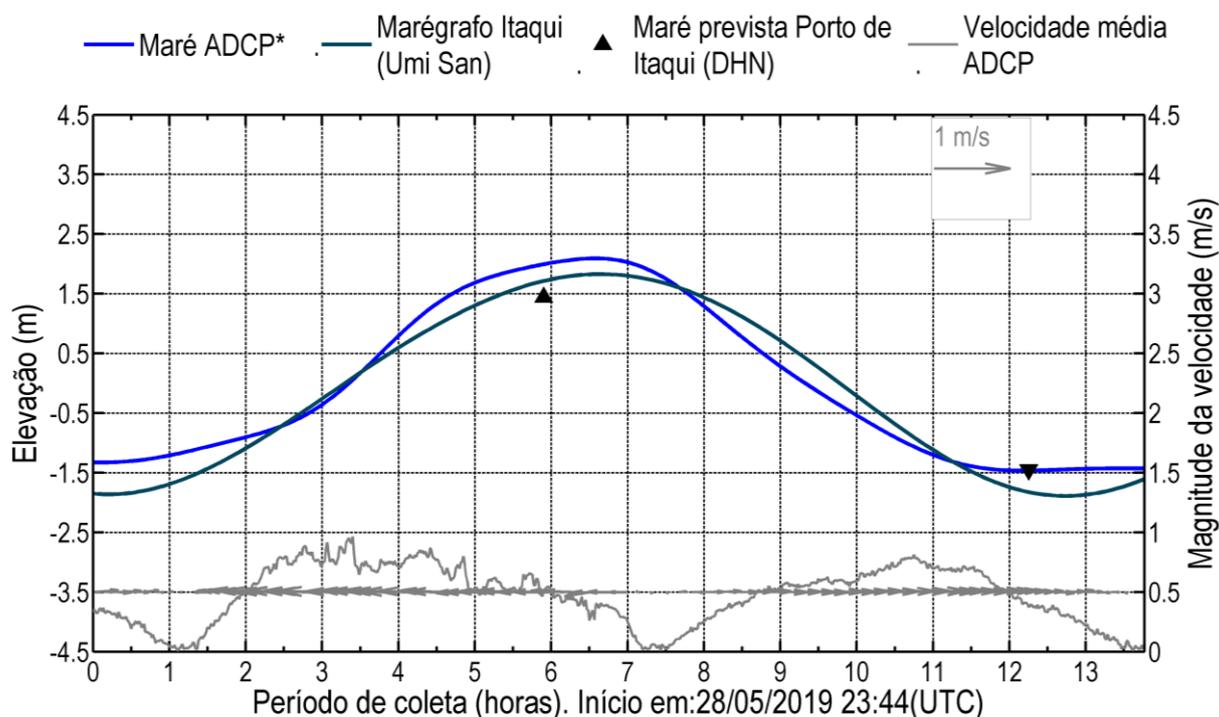


Figura 82: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP AF-7.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 83: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-7. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

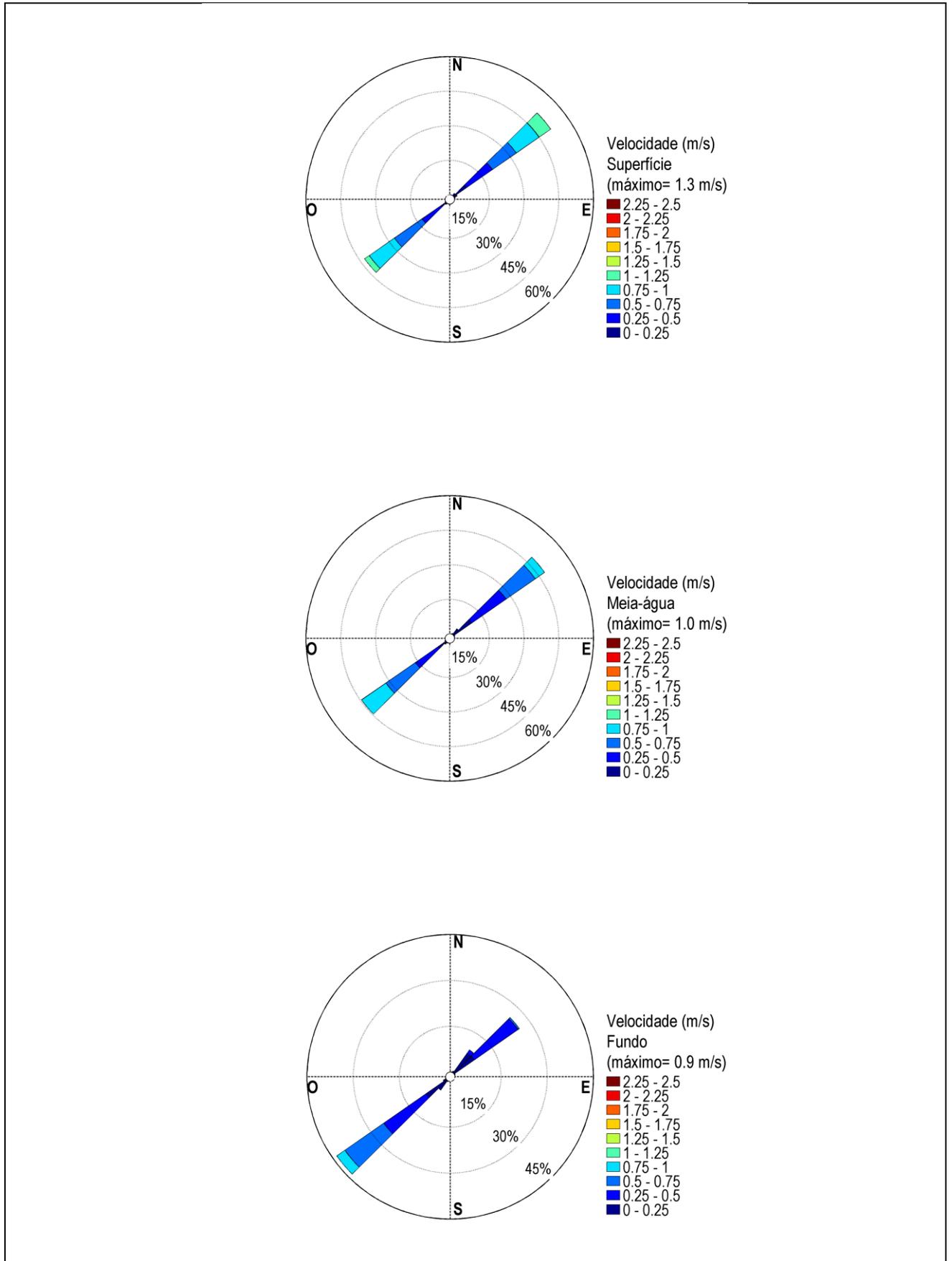


Figura 84: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-7.

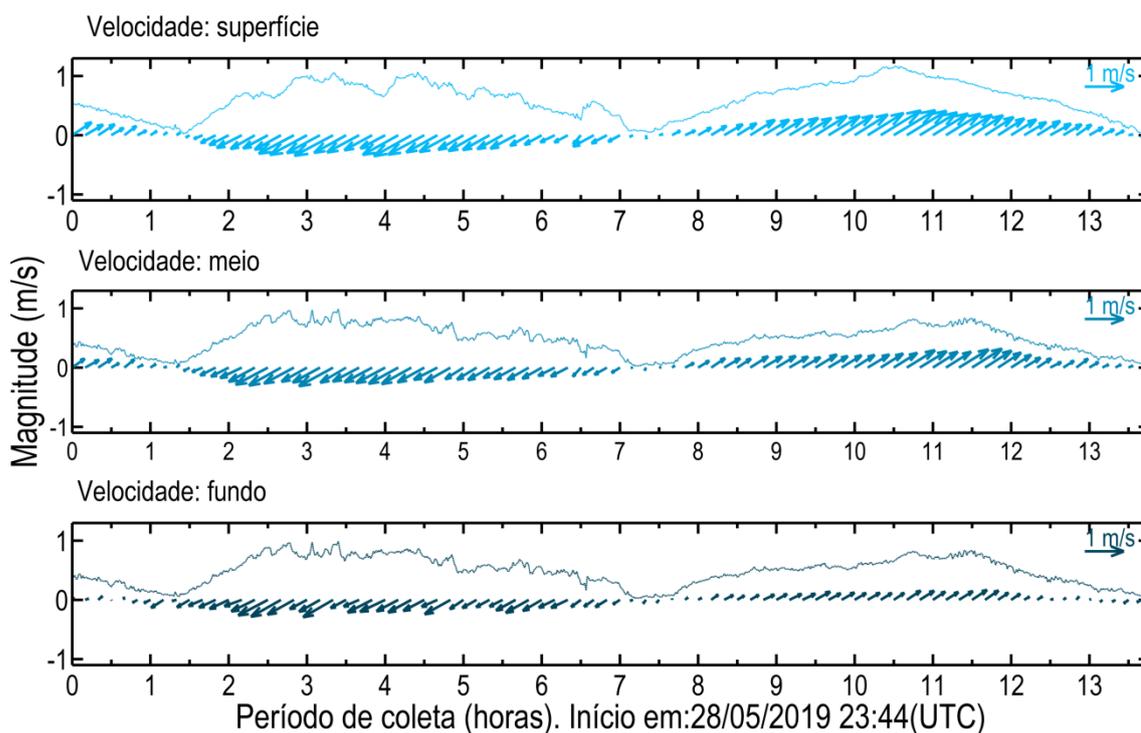


Figura 85: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-7.

A Tabela 35 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta AF-7 durante o período de quadratura.

Tabela 35: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP AF-7 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.25	0.0006
Direção	47	58
Período	Meio da vazante	Estofa de baixa-mar
Hora de coleta	10.4	1.4
Data (UTC)	29/05/2019 10:10	29/05/2019 1:07
Profundidade (m) da medida	2.2	9.2
Profundidade da coluna de água (m)	17.2	17.2

#### 4.7.3 Análise integrada AF-7: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 2.6 m/s e direção 27°(NNE). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.25 m/s, também registrado durante a vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 52 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de

1.35 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças, com a maior diferença observada na sizígia, de 12% (0.3 m/s), enquanto na quadratura foi de 9% (0.1 m/s).

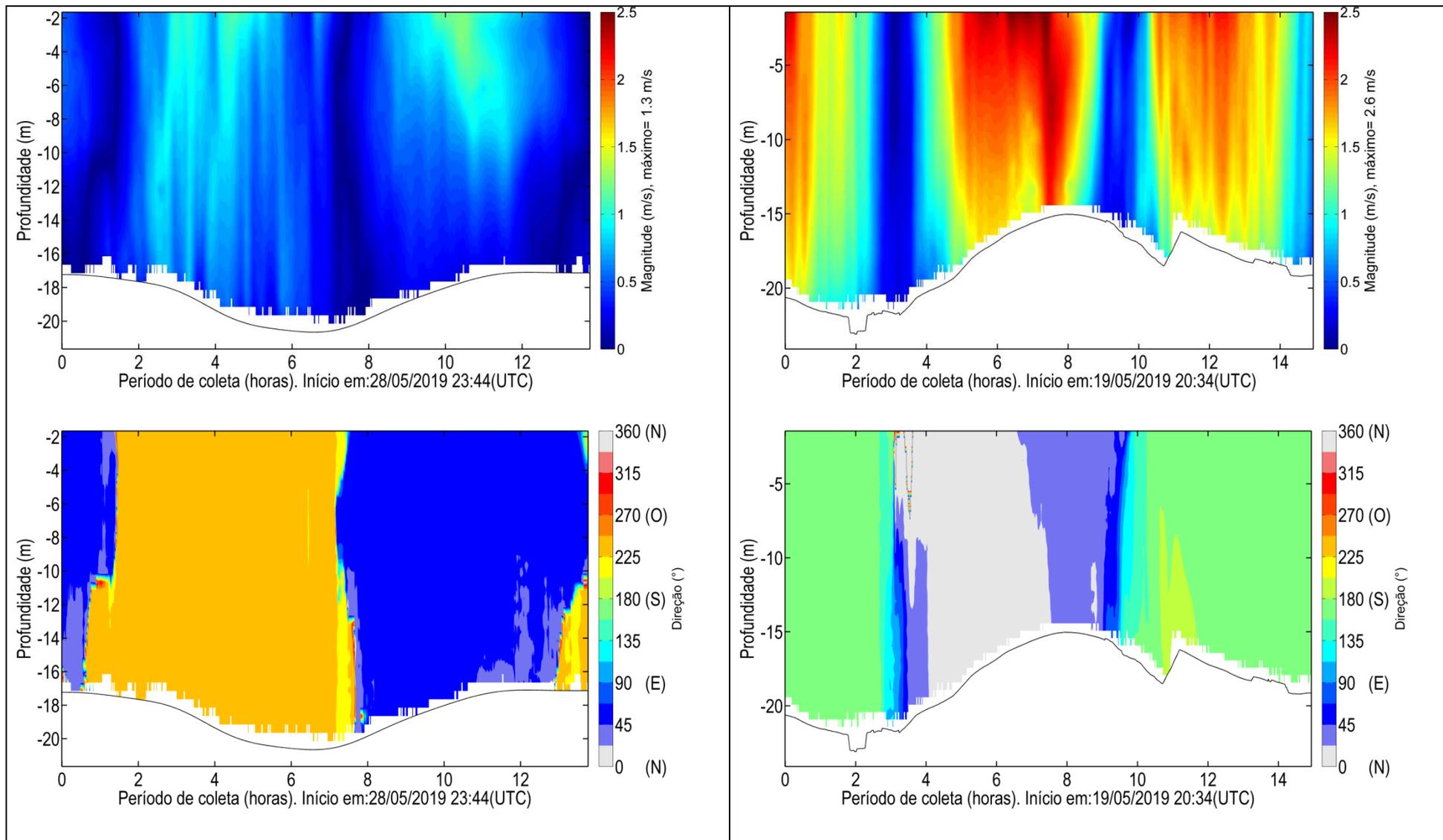


Figura 86: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP AF-7.

## 4.8 ADCP AF-6

### 4.8.1 Sizígia

O levantamento teve início 21/05/2019 13:42 (UTC) e se estendeu até 22/05/2019 6:26 (UTC), totalizando cerca de 17h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 2.5 m/s na região superficial da coluna d'água, a 1 m de 19.5 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima de 0.04 m/s foi registrada durante a baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 13 e 15 horas de coleta (Figura 87), quando as maiores velocidades variaram em torno de 2.3 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo à superfície (máximo de 2.5 m/s), reduzindo em direção ao fundo (máximo de 1.6 m/s), como se observa na Figura 89 e Figura 90.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre 7 e 9 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 1.95 m/s, o que representa uma redução de 22% (0.55 m/s) em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 89 e Figura 90), com direções de vazante entre NNE-NE (22°-45°) e de enchente em torno de SSO (202°), seguindo o alinhamento da baía na região medida. Essa característica do escoamento evidencia a maré como forçante predominante do escoamento local no período o que é corroborado pelas velocidades baixas durante os períodos preamar e baixa-mar.

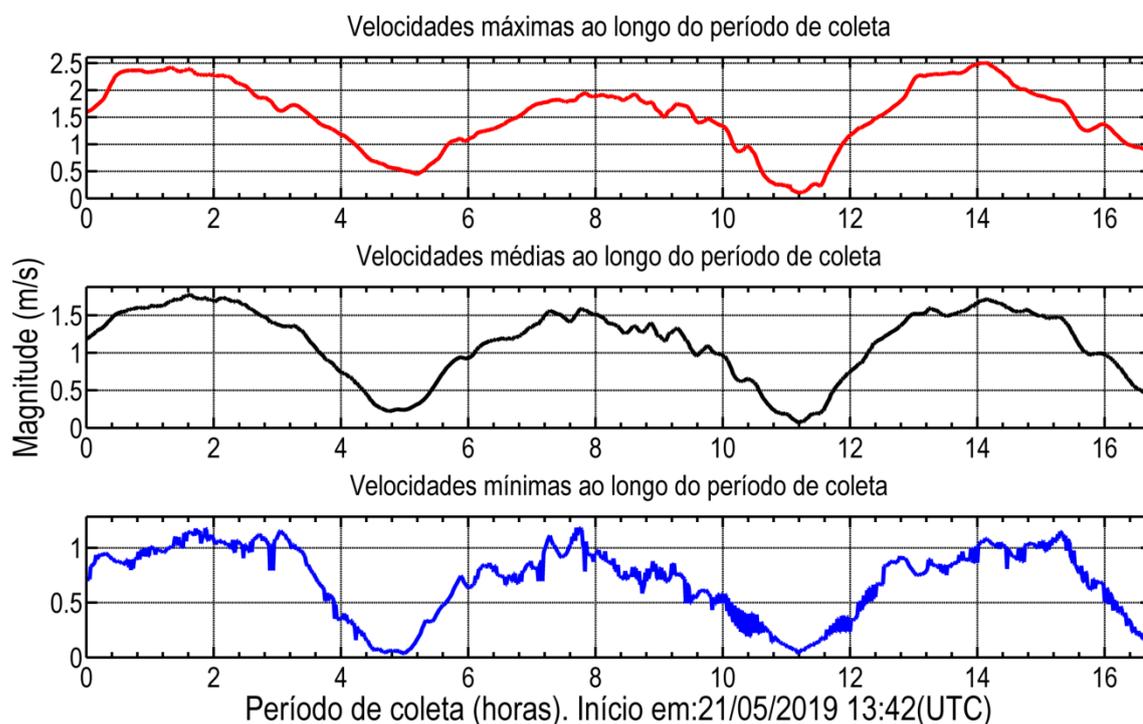


Figura 87: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do

ADCP AF-6.

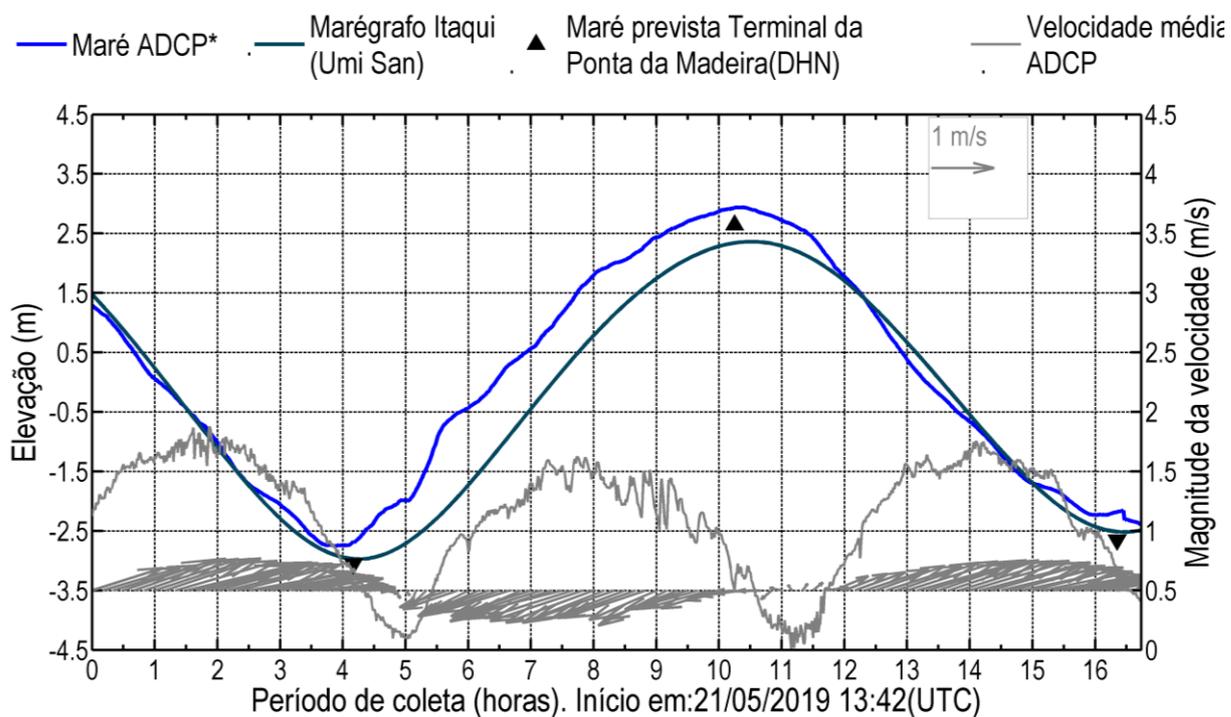


Figura 88: Variação da elevação da coluna d’água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-6. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

A Tabela 36 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta AF-6 durante o período de sizígia.

Tabela 36: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta AF-6 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	2.51	0.04
Direção	34°	142°
Período	Meio da vazante	Baixa-mar
Hora de coleta	14.1	5.0
Data (UTC)	22/05/2019 3:50	21/05/2019 18:42
Profundidade (m) da medida	1.0	10.5
Profundidade da coluna de água (m)	19.5	18.5

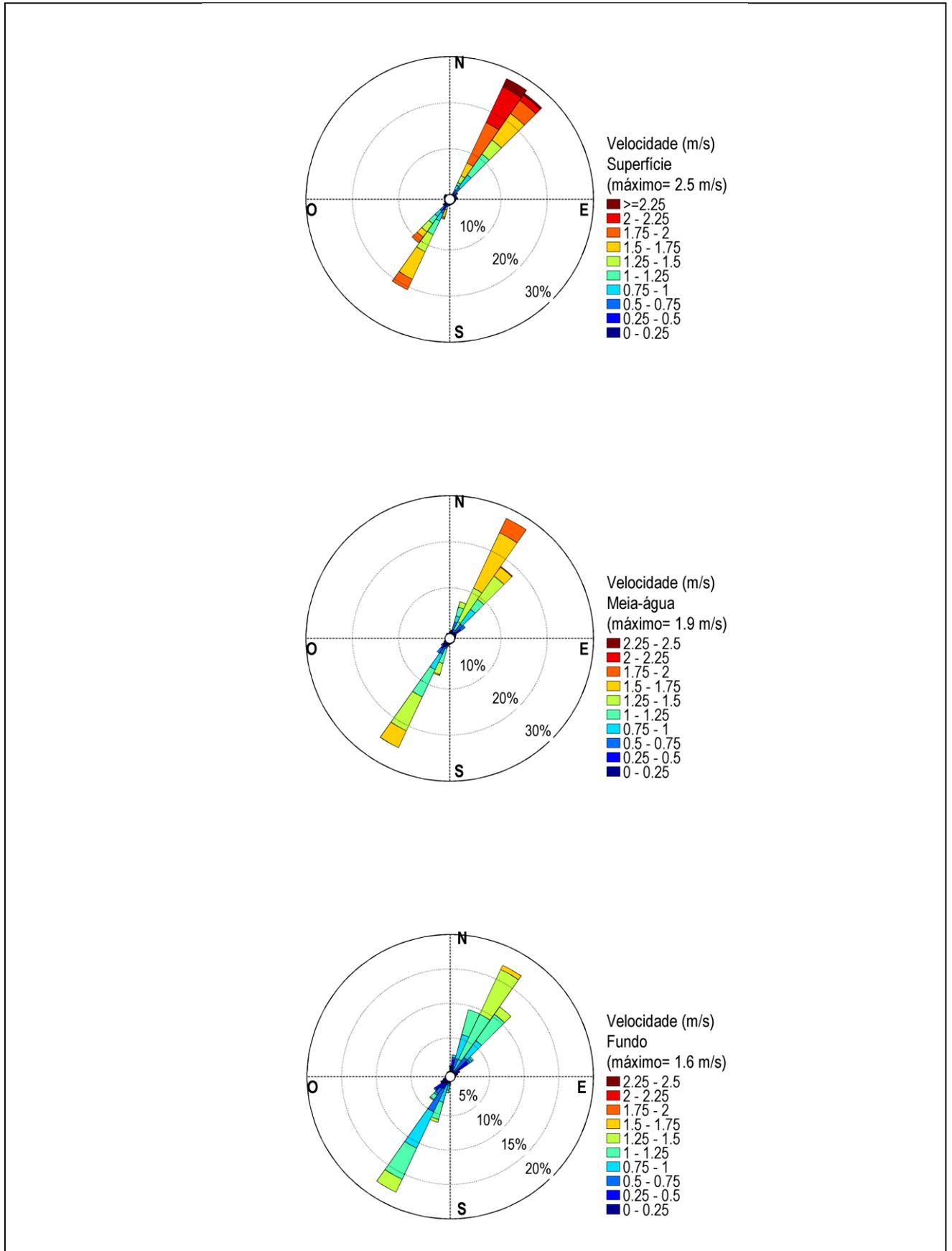


Figura 89: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-6.

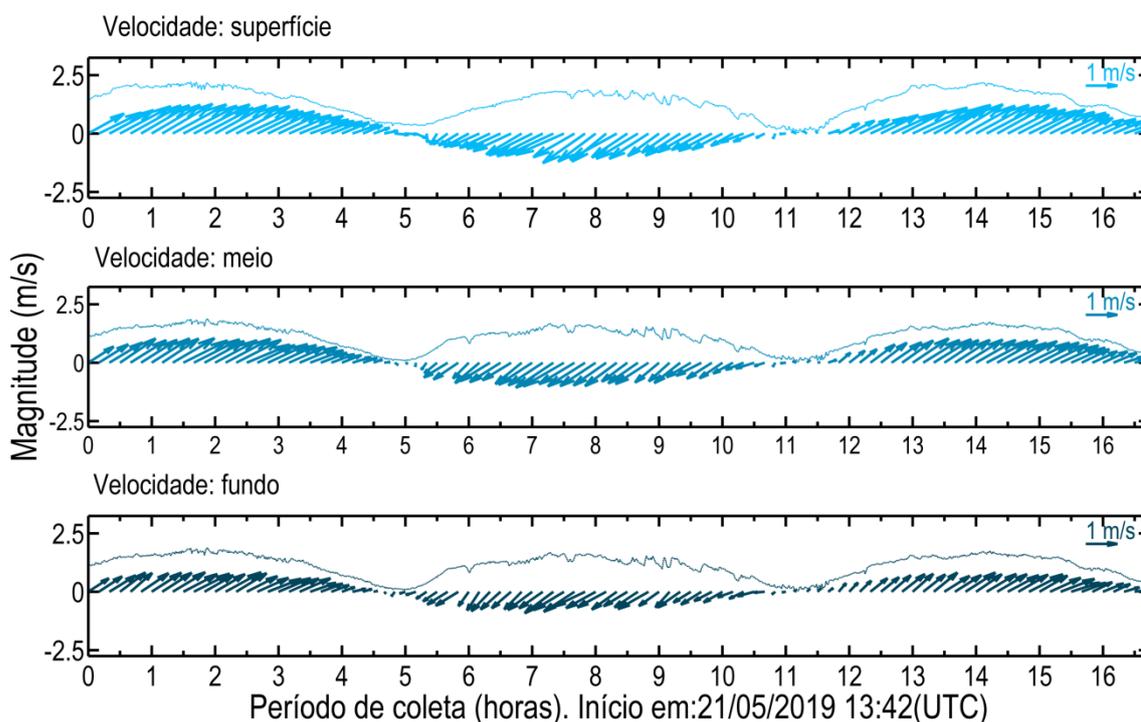


Figura 90: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-6.

#### 4.8.2 Quadratura

O levantamento teve início 13/05/2019 3:14 (UTC) e se estendeu até 13/05/2019 18:01 (UTC), totalizando cerca de 15 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 2.4 m/s na região superficial da coluna d'água, a 2.2 m de 21.2 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima registrada foi de 0.002 m/s, medida próximo ao meio da coluna de água, quase uma hora após a preamar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de vazante, entre 5 e 7 horas de coleta (Figura 91, Figura 92), quando as maiores velocidades variaram em torno de 2.2 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 93, Figura 94), com direções de vazante entre NNE-NE ( $22^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) e de enchente em torno de SSO ( $202.5^{\circ}$ ), seguindo o alinhamento da baía na região do ponto de medição.

Ao longo do período de enchente as máximas velocidades variaram em torno de 1.4 m/s entre 11 h e 13 h, com um máximo de 1.55 m/s (Figura 93, Figura 94), o que representa uma expressiva redução de 35 % (0.85 m/s) em relação ao máximo registrado na vazante. Assim, de maneira similar ao observado na sizígia, as maiores velocidades ocorreram durante a vazante, porém, com diferenças mais expressivas em relação ao obtido na sizígia (22 %, 0.55 m/s).

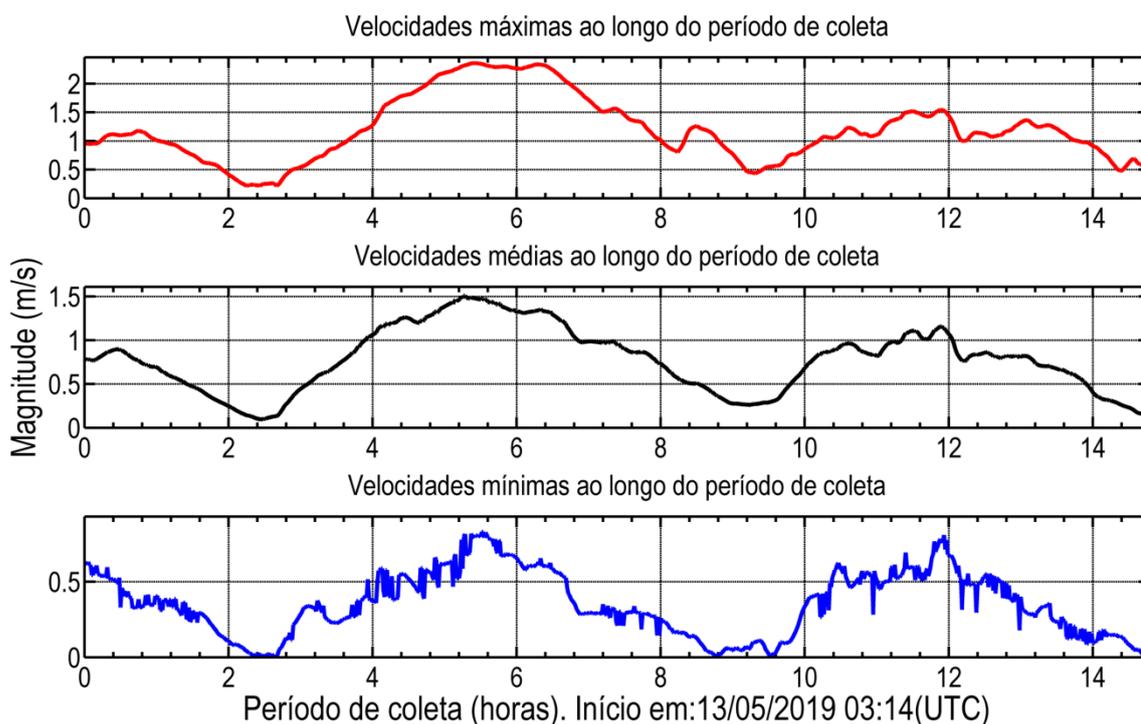
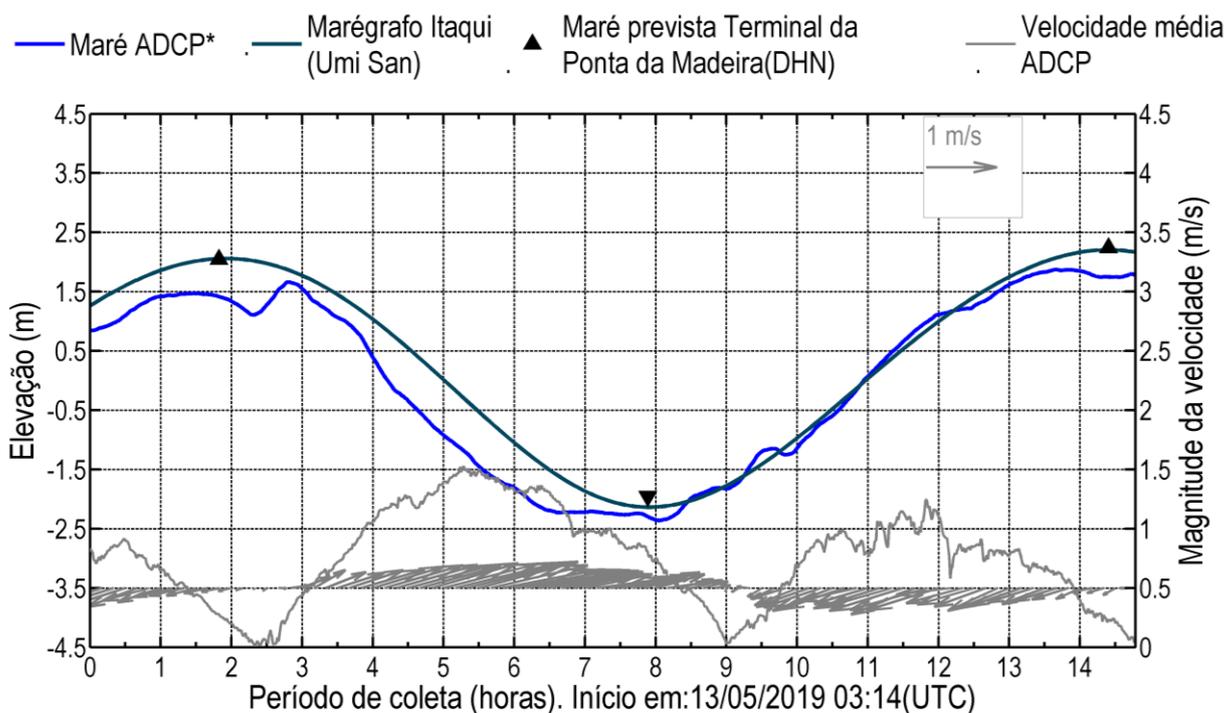


Figura 91: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP AF-6.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 92: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-6. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

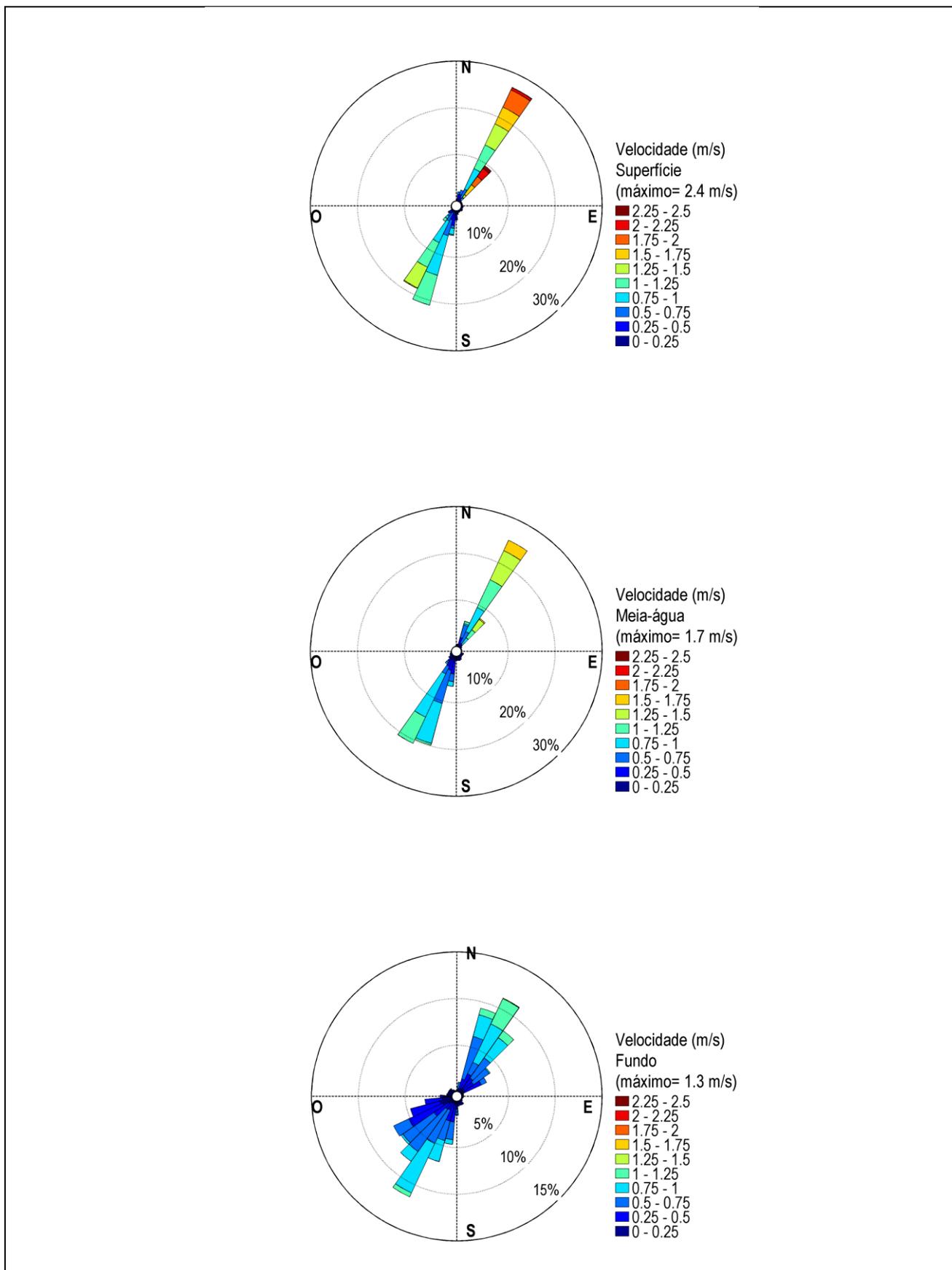


Figura 93: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-6.

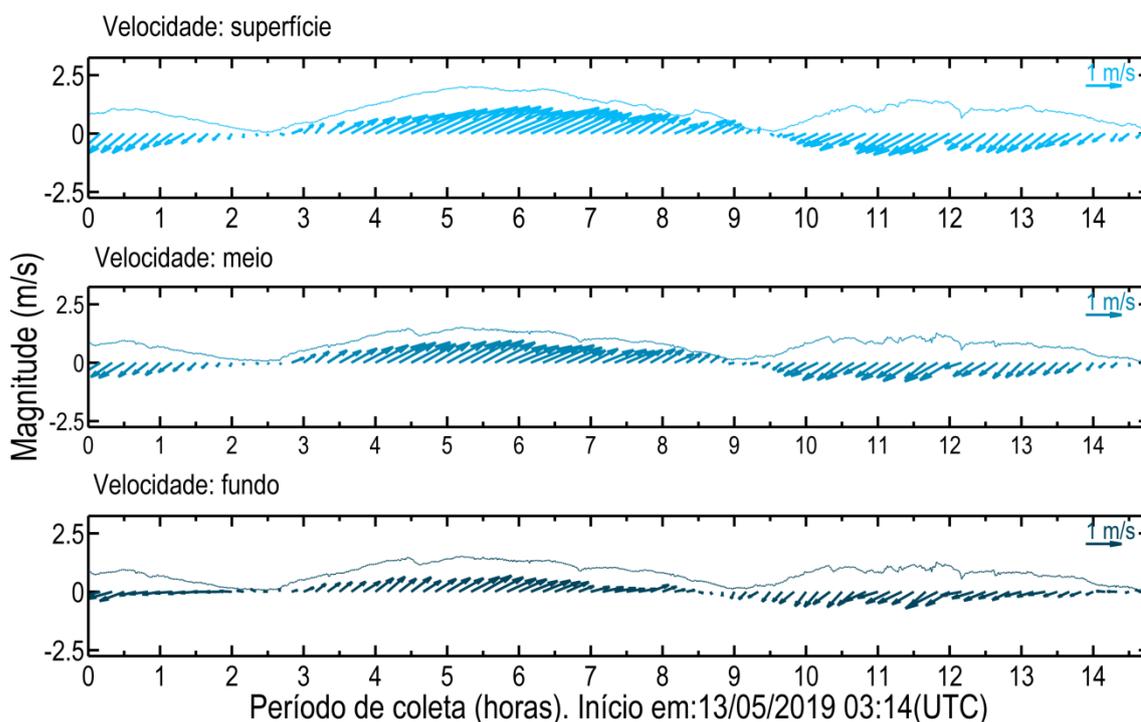


Figura 94: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-6.

A Tabela 37 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta AF-6 durante o período de quadratura.

Tabela 37: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP AF-6 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	2.361	0.002
Direção	36°	5°
Período	Meio da vazante	Preamar
Hora de coleta	5.4	2.6
Data (UTC)	13/05/2019 8:39	13/05/2019 5:52
Profundidade (m) da medida	2.2	14.2
Profundidade da coluna de água (m)	21.2	24.2

#### 4.8.3 Análise integrada AF-6: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 2.5 m/s e direção 34° (NE). Na quadratura o máximo registrado foi de 2.4 m/s, também registrado durante a vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de apenas 6 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma

diferença de 0.15 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças expressivas, com a maior diferença observada na quadratura, de 35 %, enquanto na sizígia foi de 22%.

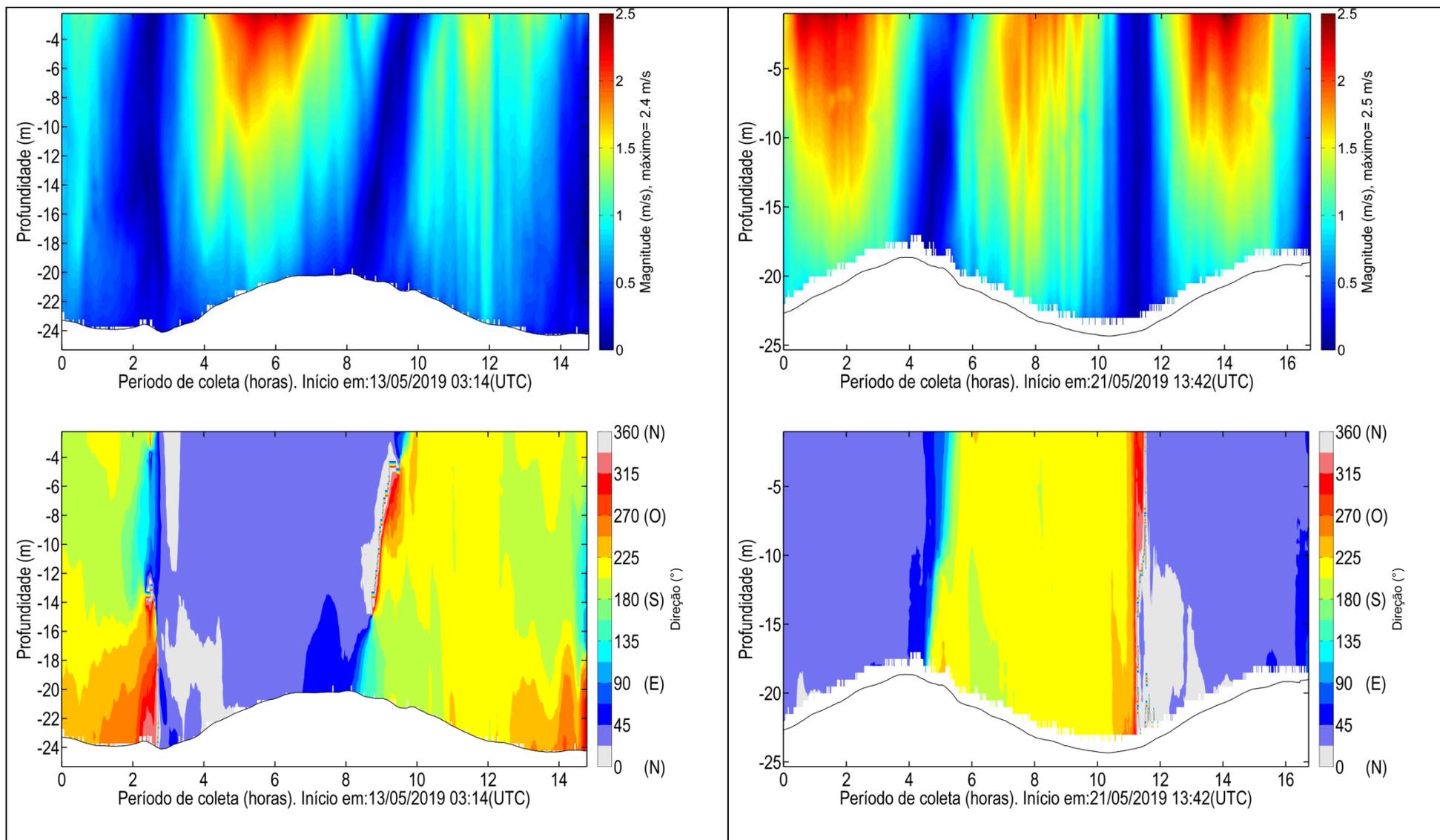


Figura 95: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP AF-6.

## 4.9 ADCP AF-4B

### 4.9.1 Sizígia

O levantamento teve início 20/05/2019 14:59 (UTC) e se estendeu até 21/05/2019 6:16 (UTC), totalizando cerca de 15 h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.7 m/s na região superficial da coluna d'água, a 1.5 m de 29.5 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima de 0.001 m/s foi registrada durante o estófo de baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 11 e 13 horas de coleta (Figura 96, Figura 97), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.5 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo à superfície (máximo de 1.7 m/s), reduzindo pouco em direção ao fundo (máximo de 1.4 m/s), como se observa na Figura 98 e Figura 99.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre 4.5 e 6.5 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 1.54 m/s, o que representa uma redução de apenas 7% em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 98 e Figura 99), com direções de vazante em torno de NE (45°) e de enchente em torno de SSO (202.5°), seguindo o alinhamento da baía na região medida. Essa característica do escoamento evidencia a maré como forçante predominante do escoamento local no período o que é corroborado pelas velocidades baixas durante os períodos de estófo da maré.

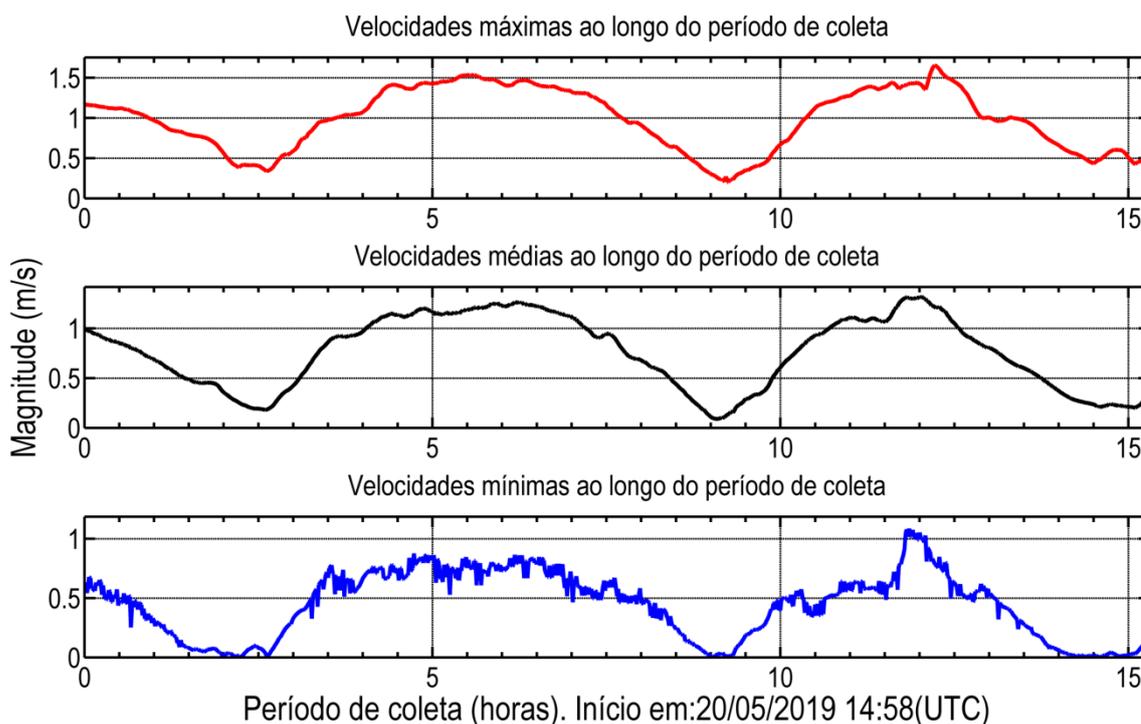
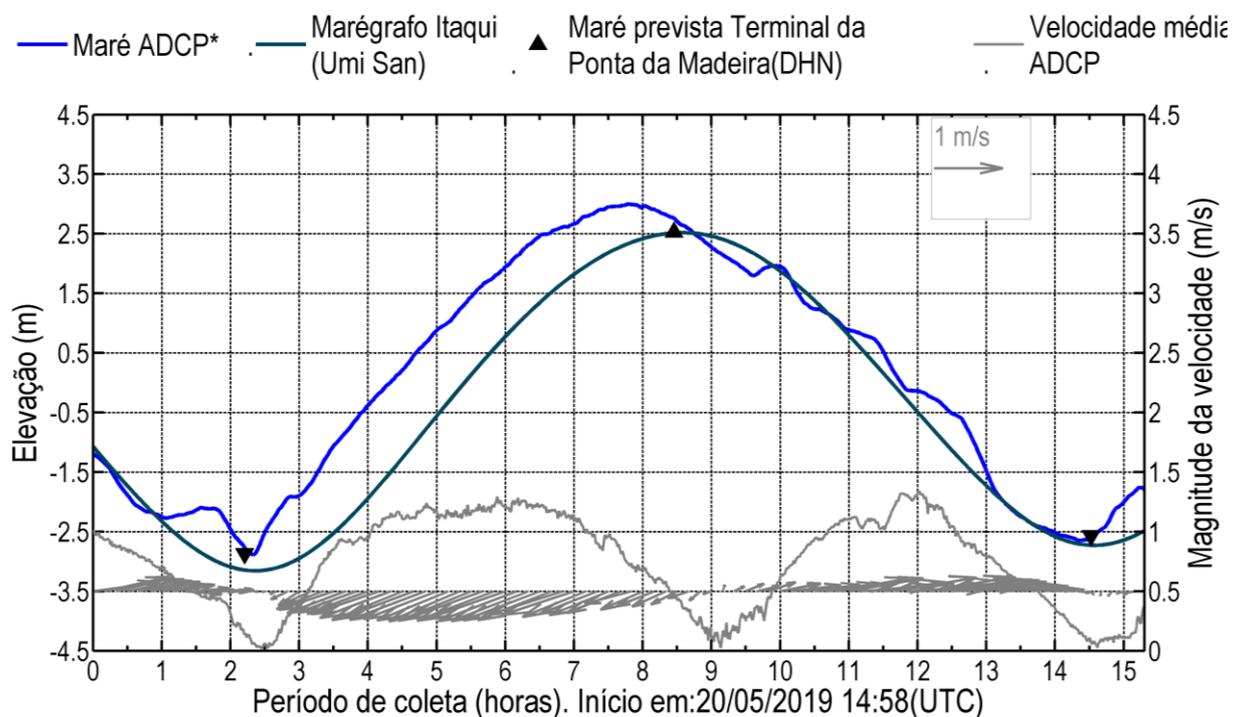


Figura 96: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do

ADCP AF-4b.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 97: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-4b. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

A Tabela 38 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta AF-4b durante o período de sizígia.

Tabela 38: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta AF-4b durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.652	0.001
Direção	27°	360°
Período	Meio da vazante	Estofa de baixa-mar
Hora de coleta	12.2	2.3
Data (UTC)	21/05/2019 3:11	20/05/2019 17:13
Profundidade (m) da medida	1.5	21.0
Profundidade da coluna de água (m)	29.5	26.5

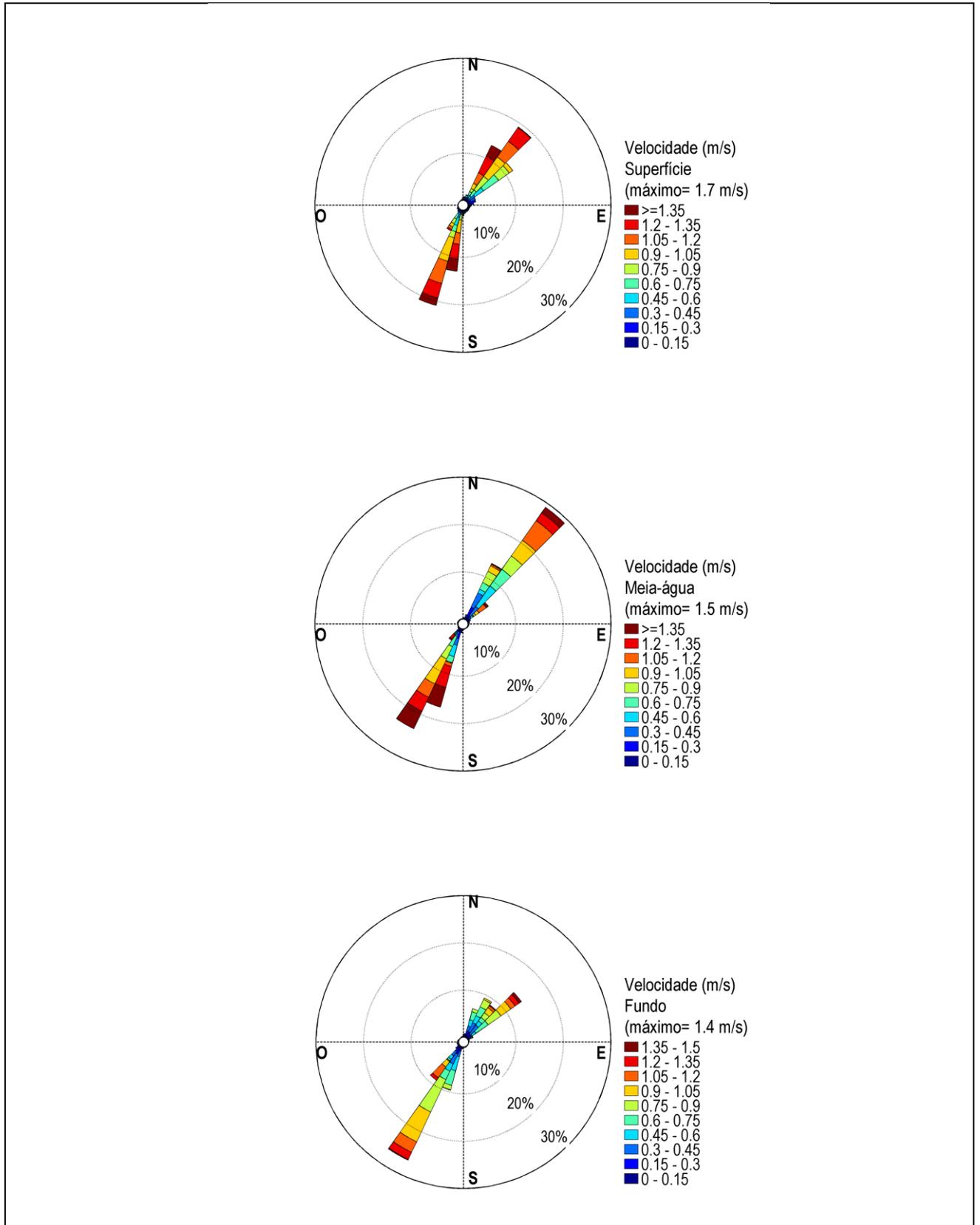


Figura 98: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-4b.

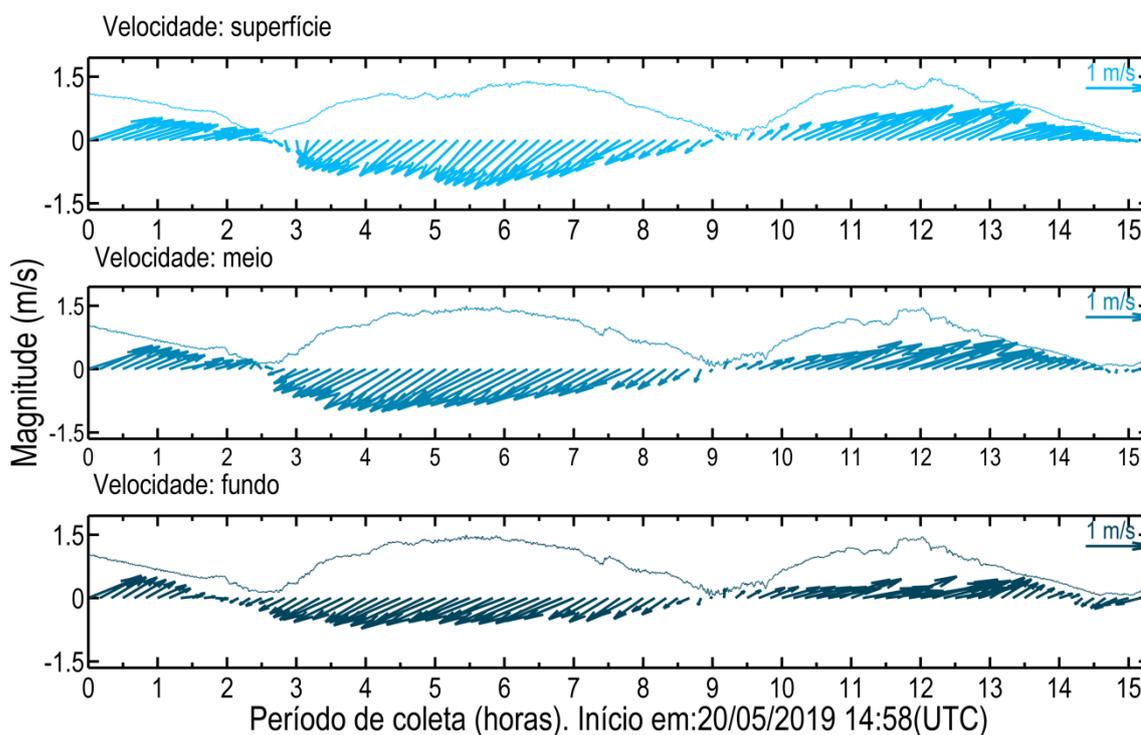


Figura 99: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-4B.

#### 4.9.2 Quadratura

O levantamento teve início 13/05/2019 1:56 (UTC) e se estendeu até 13/05/2019 18:03 (UTC), totalizando cerca de 16 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.6 m/s na região central da coluna d'água, a 16 m de -30 m de profundidade, durante o período de enchente, enquanto a mínima registrada foi de 0.001 m/s, medida próximo ao fundo no próximo à preamar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de enchente, entre 0 e 1 hora de coleta (Figura 100, Figura 101), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.5 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 102, Figura 103), com direções de vazante em torno de NNE (22.5°) e de enchente em torno de SO (225°), seguindo o alinhamento da baía na região do ponto de coleta.

Ao longo do período de vazante as máximas velocidades variaram em torno de 1.2 m/s entre 6 h e 7 h, com um máximo de 1.3 m/s (Figura 102, Figura 103), o que representa uma redução de 19 % em relação ao máximo registrado na enchente. Assim, diferente do observado na sizígia, a maior velocidade ocorreu durante a enchente, porém, em ambos os casos houve uma predominância de maiores velocidades durante a enchente (Figura 102 e Figura 98).

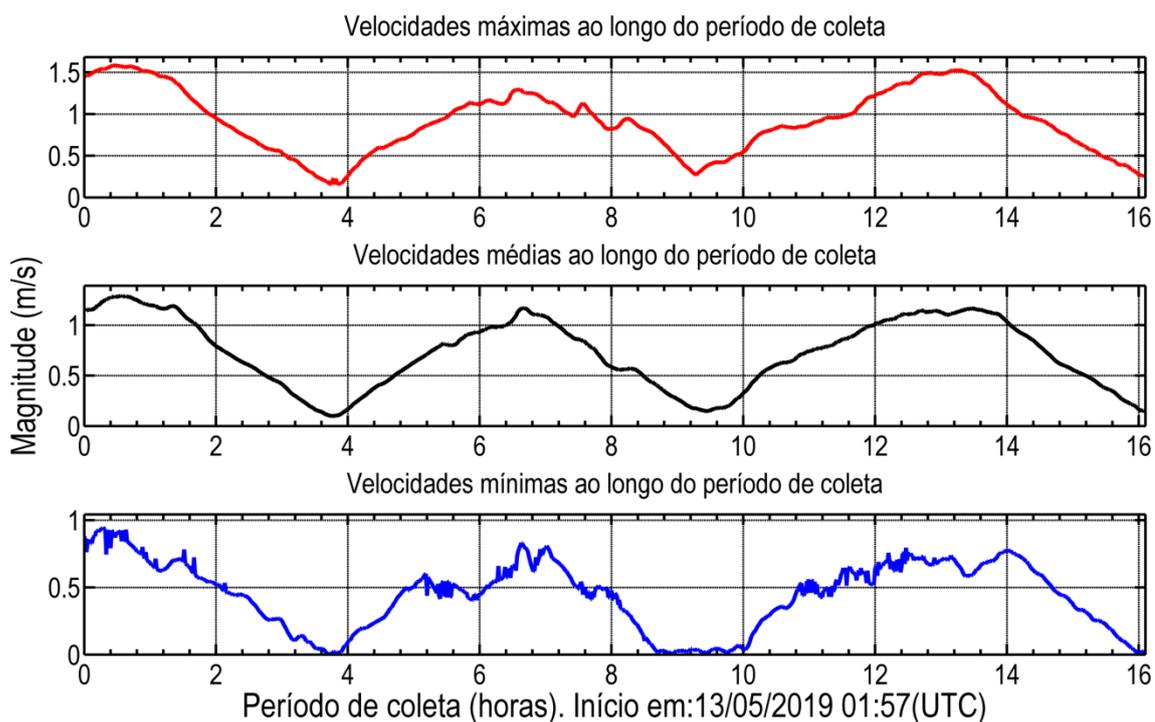
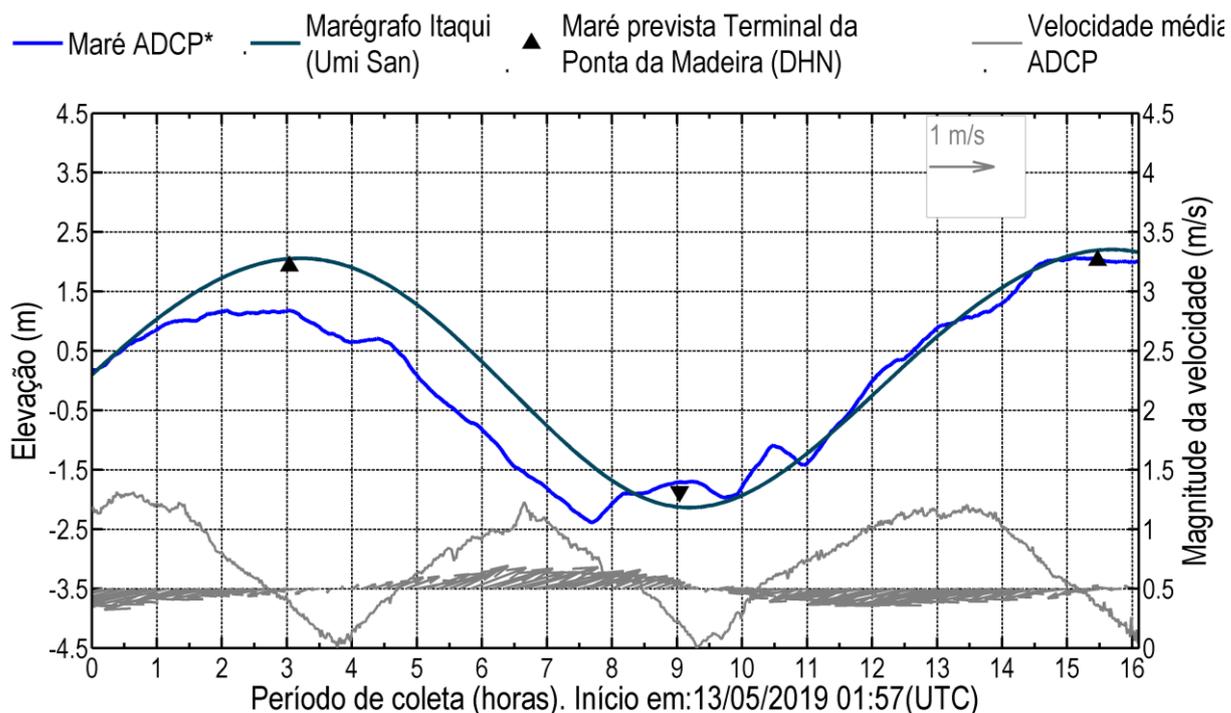


Figura 100: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 101: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

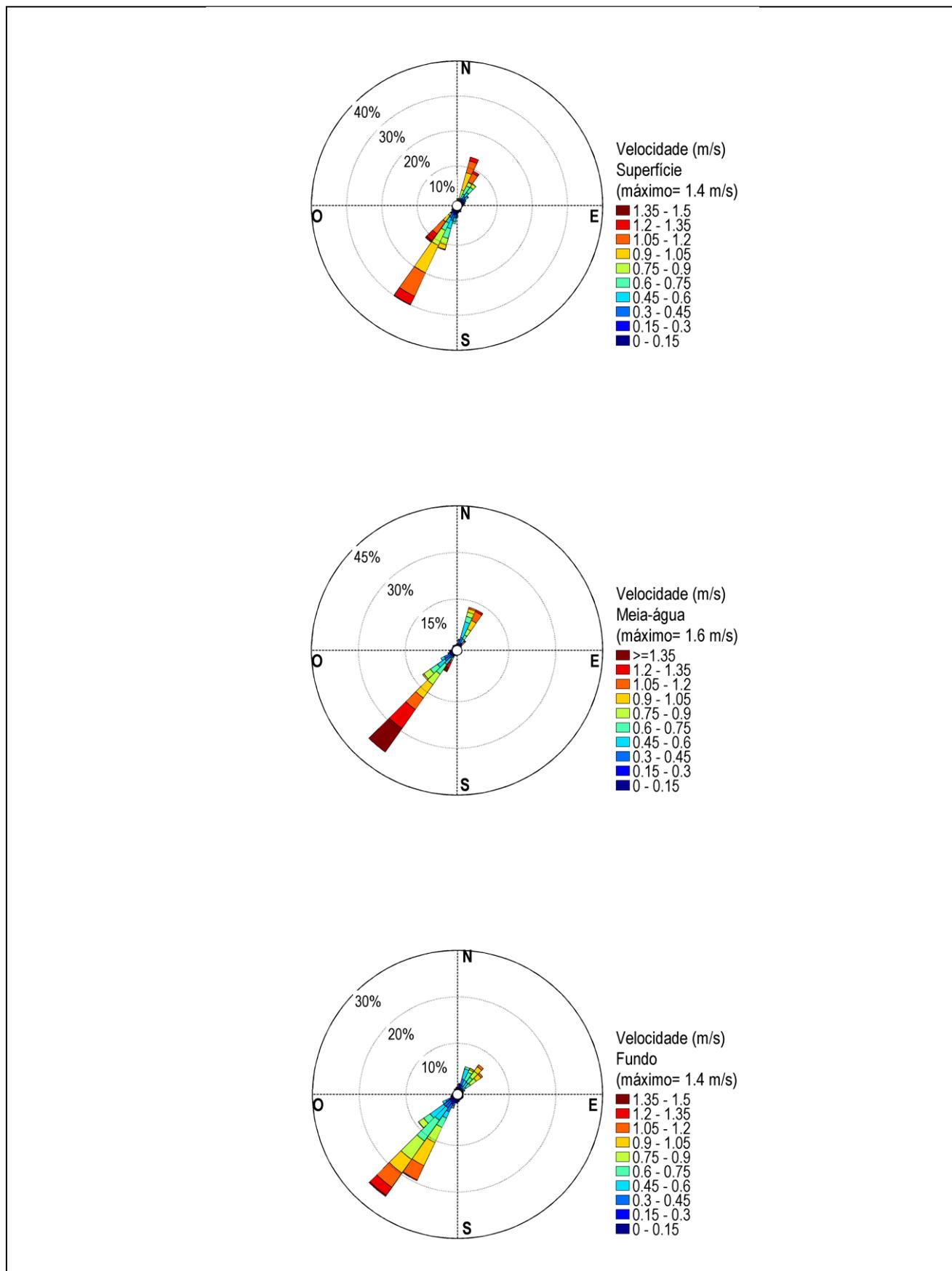


Figura 102: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b.

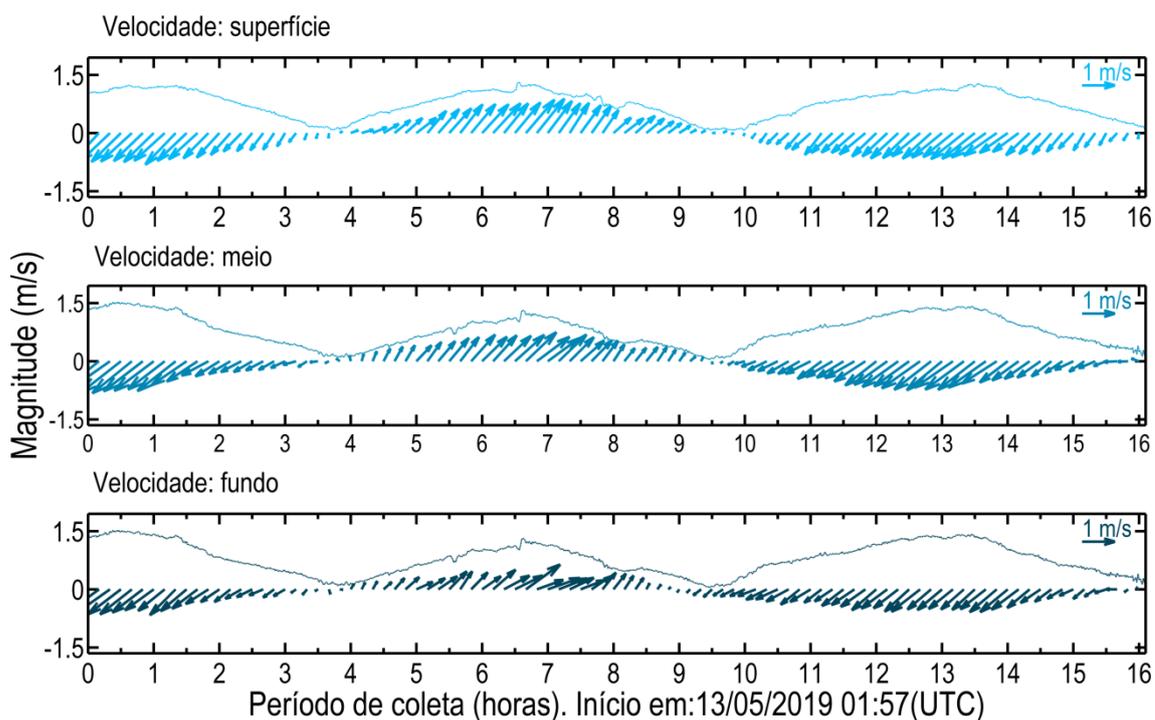


Figura 103: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b.

A Tabela 39 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta AF-4b durante o período de quadratura.

Tabela 39: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP AF-4b no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.582	0.001
Direção	215	17
Período	Enchente	Preamar
Hora de coleta	0.4	16.0
Data (UTC)	13/05/2019 2:23	13/05/2019 17:57
Profundidade (m) da medida	16.2	26.7
Profundidade da coluna de água (m)	29.7	30.2

### 4.9.3 Análise integrada AF-4B: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1.65 m/s e direção 27° (NNE). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.6 m/s, registrado durante a enchente. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de apenas 3% da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de

0.05 m/s.

Apesar da máxima velocidade na quadratura e na sizígia terem sido registradas em momentos de maré distintos, em ambos os casos nota-se uma predominância de correntes mais intensas durante os períodos de enchente.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças, com a maior diferença observada na quadratura, de 19%, enquanto na sizígia foi de apenas 3%.

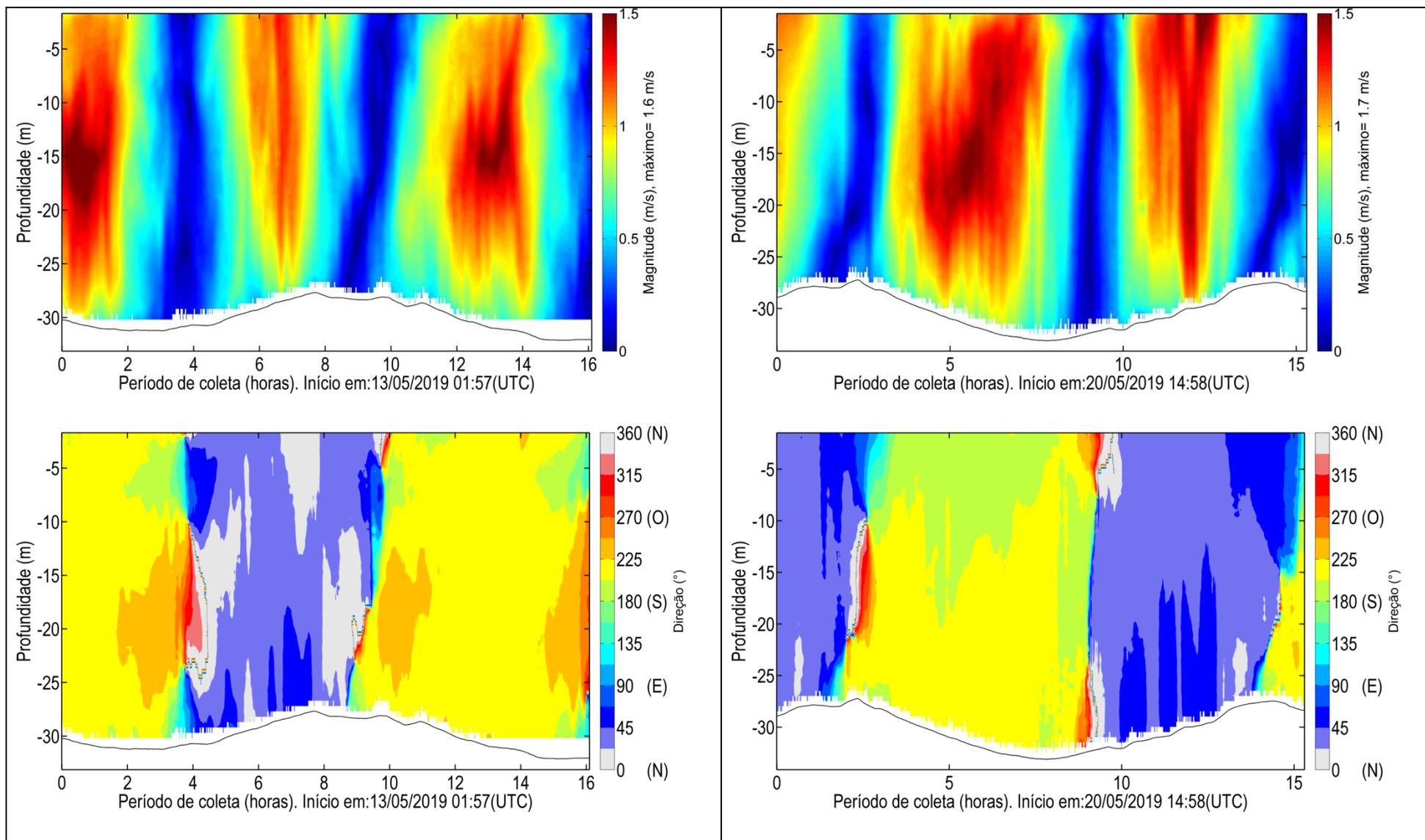


Figura 104: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP AF-4b.

## 4.10 ADCP AF-5

### 4.10.1 Sizígia

O levantamento teve início 21/05/2019 17:05 (UTC) e se estendeu até 22/05/2019 6:29 (UTC), totalizando cerca de 13h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 2.2 m/s na região superficial da coluna d'água, a 1.6 m de 27 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima de 0.003 m/s foi registrada durante o estofa de baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 10 e 11 horas de coleta (Figura 105, Figura 106), quando as maiores velocidades variaram em torno de 2 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo à superfície (máximo de 2.2 m/s), reduzindo em direção ao fundo (máximo de 1.5 m/s), como se observa na Figura 107, Figura 108 e Figura 113.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre 3 e 4.5 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 1.9 m/s, o que representa uma redução de 14% em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 107, Figura 108), com direções de vazante entre N-NE ( $0^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) e de enchente em torno de S ( $180^{\circ}$ ), seguindo o alinhamento da baía na região medida. Essa característica do escoamento evidencia a maré como forçante predominante do escoamento local no período o que é corroborado pelas velocidades baixas durante os períodos de estofa da maré.

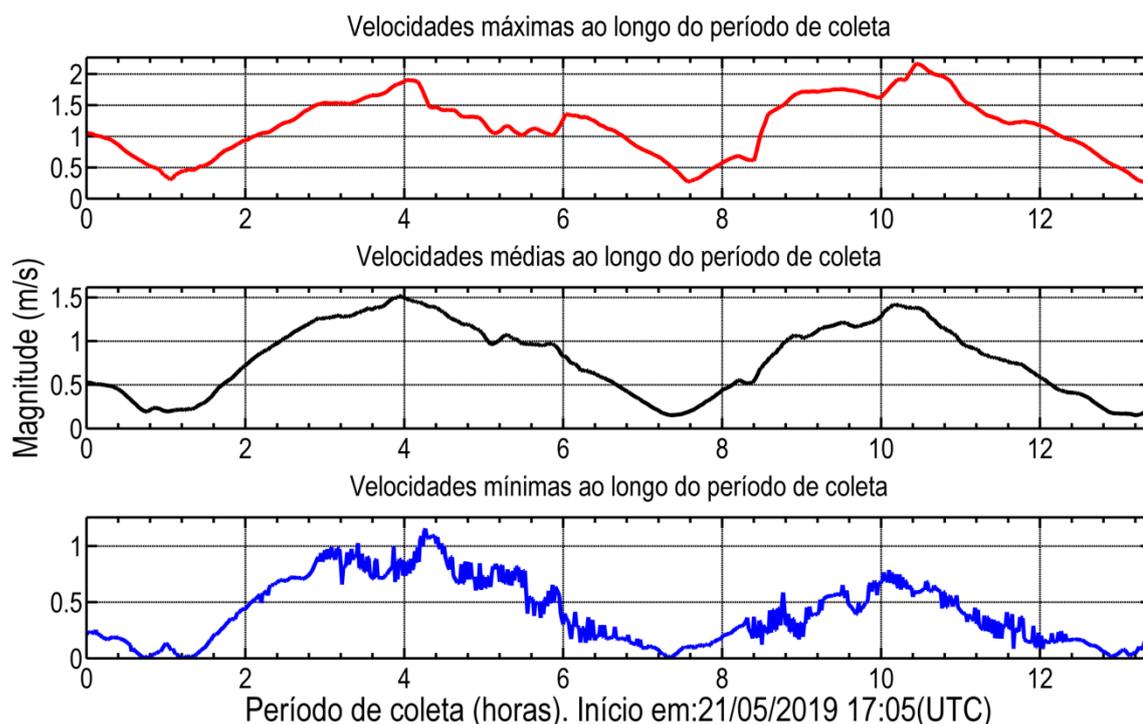
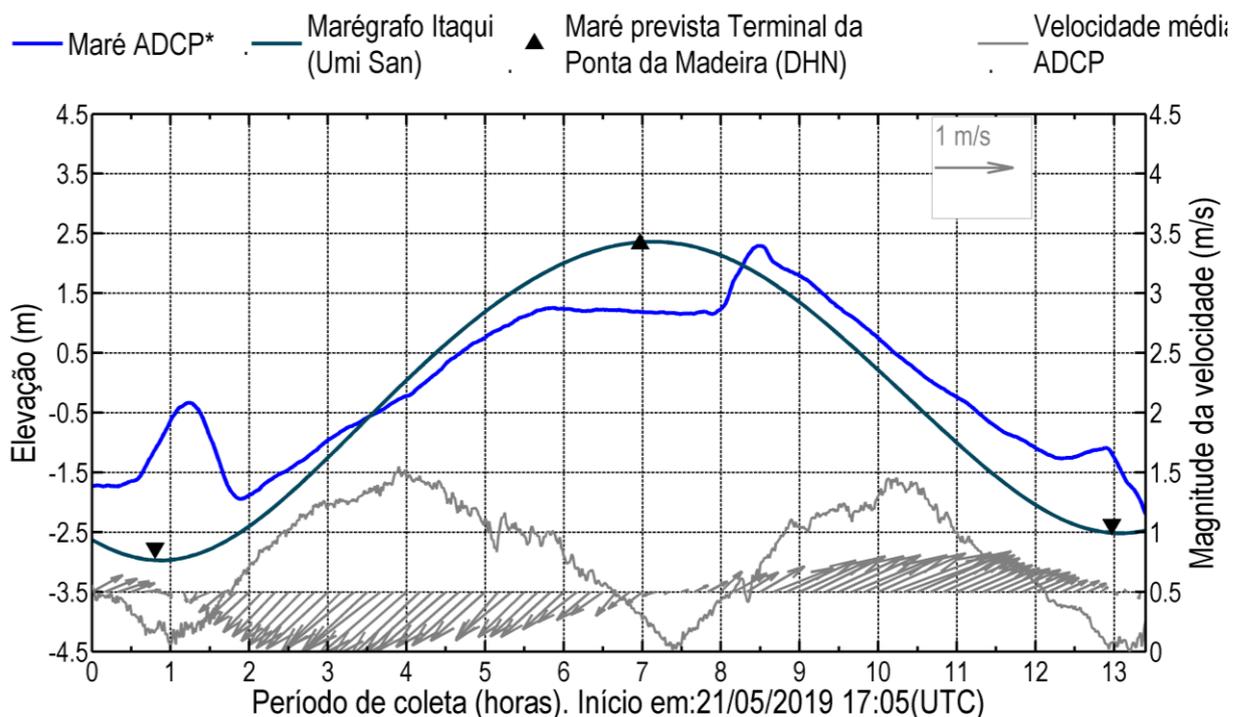


Figura 105: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do

ADCP AF-5.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 106: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-5. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

A Tabela 40 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta AF-5 durante o período de sizígia.

Tabela 40: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta AF-5 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	2.165	0.003
Direção	24°	234°
Período	Meio da vazante	Estofa de baixa-mar
Hora de coleta	10.5	0.8
Data (UTC)	22/05/2019 3:32	21/05/2019 17:52
Profundidade (m) da medida	1.6	21.6
Profundidade da coluna de água (m)	27.1	24.6

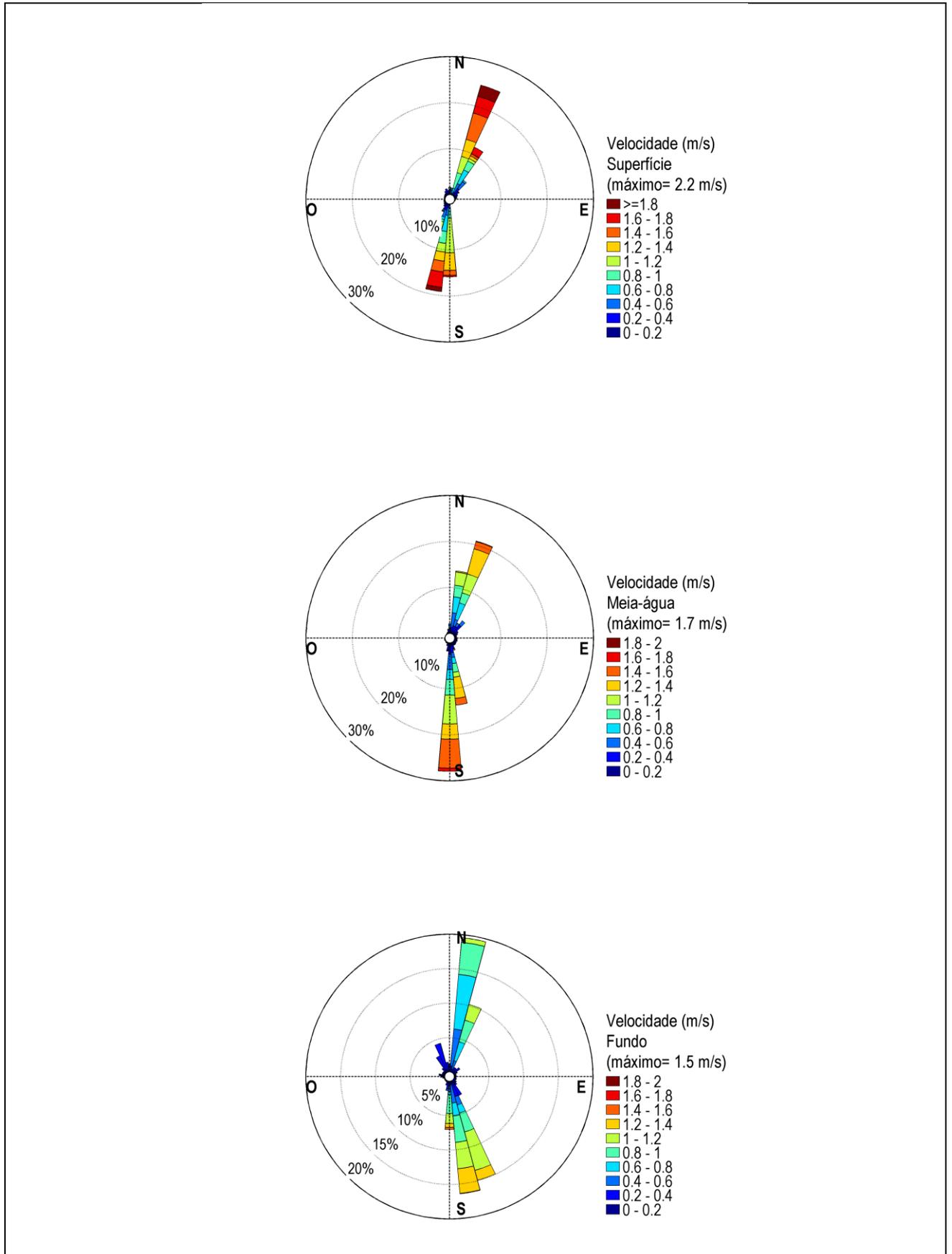


Figura 107: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-5.

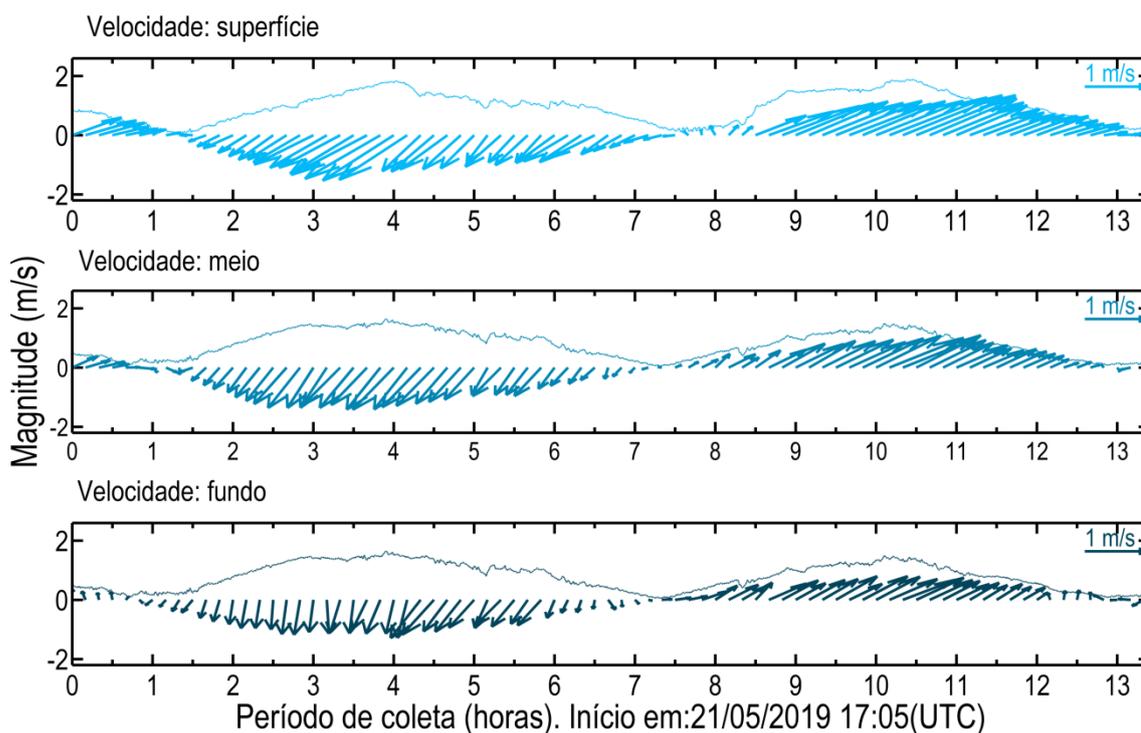


Figura 108: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-5.

#### 4.10.2 Quadratura

O levantamento teve início 13/05/2019 23:06 (UTC) e se estendeu até 14/05/2019 12:46 (UTC), totalizando cerca de 13:40 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 2.2 m/s na região superficial da coluna d'água, a 2 m de 28 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima registrada foi de 0.003 m/s, medida próximo ao meio da coluna de água durante o estófo de baixa-mar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de vazante, entre 9 e 11 horas de coleta (Figura 109, Figura 110), quando as maiores velocidades variaram em torno de 2 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 111, Figura 112), com direções de vazante entre N-NNE ( $0^{\circ}$ - $22.5^{\circ}$ ) e de enchente em torno de S ( $180^{\circ}$ ), seguindo o alinhamento da baía na região do ponto de coleta.

Ao longo do período de enchente as máximas velocidades variaram em torno de 1.6 m/s entre 3.5h e 5h, com um máximo de 1.8 m/s (Figura 111, Figura 112), o que representa uma redução de 18% (0.4 m/s) em relação ao máximo registrado na vazante. Assim, de maneira similar ao observado na sizígia, as maiores velocidades ocorreram durante a vazante, com diferenças similares ao obtido na sizígia (12%, 0.3 m/s).

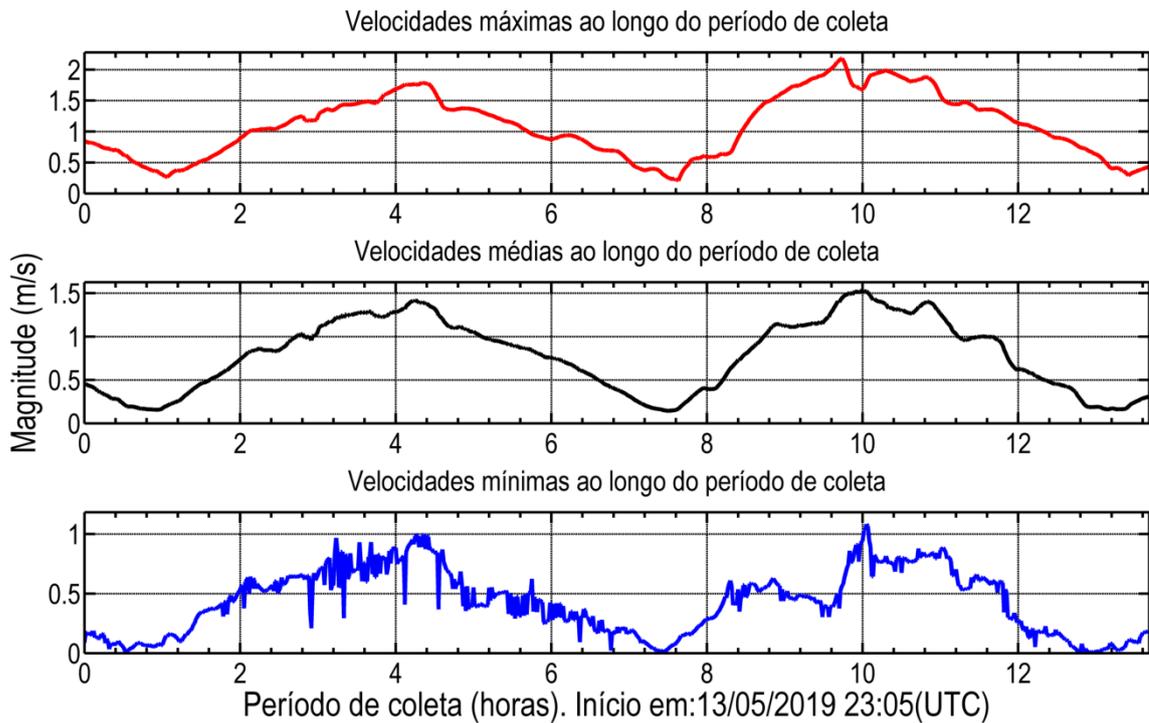
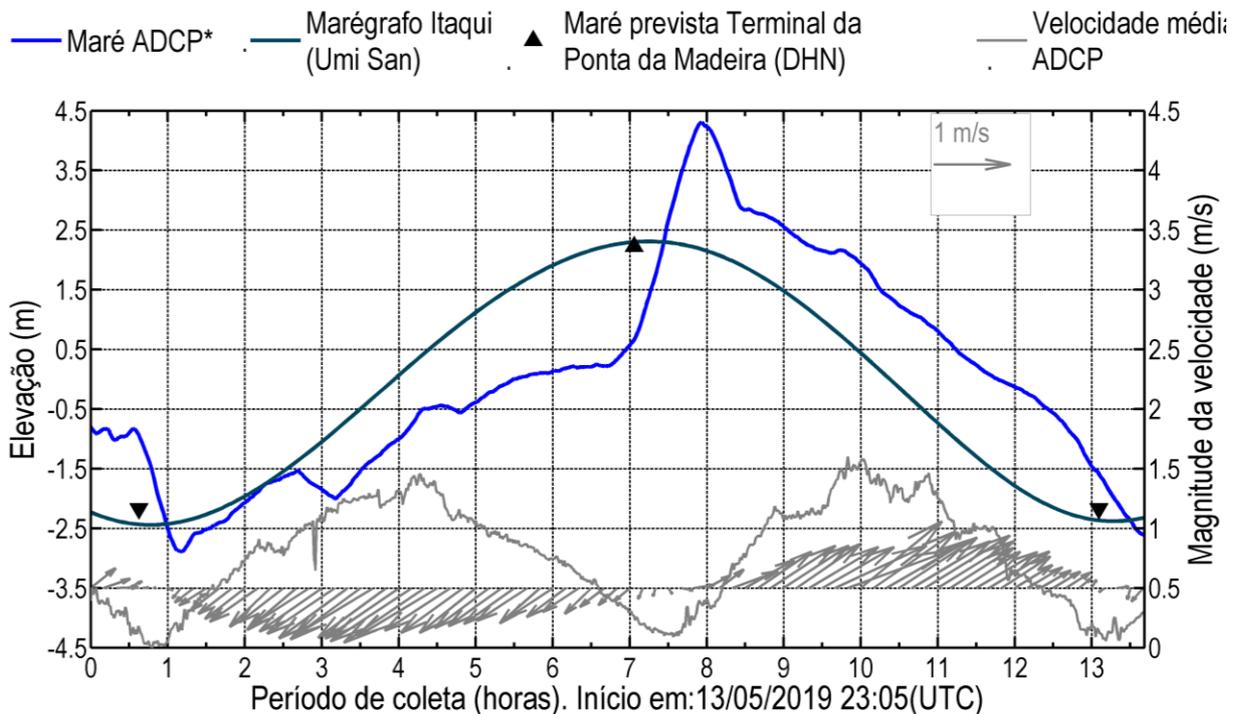


Figura 109: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP AF-5.



\*A série de elevação obtida com o ADCP pode não ser representativa da maré, possíveis causas são explicadas no item 3.

Figura 110: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, e da velocidade média da água ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-5. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água do ADCP e em azul escuro, dado do marégrafo instalado no Porto do Itaqui, os triângulos representam os momentos de preamar e baixa-mar da previsão de maré do DHN.

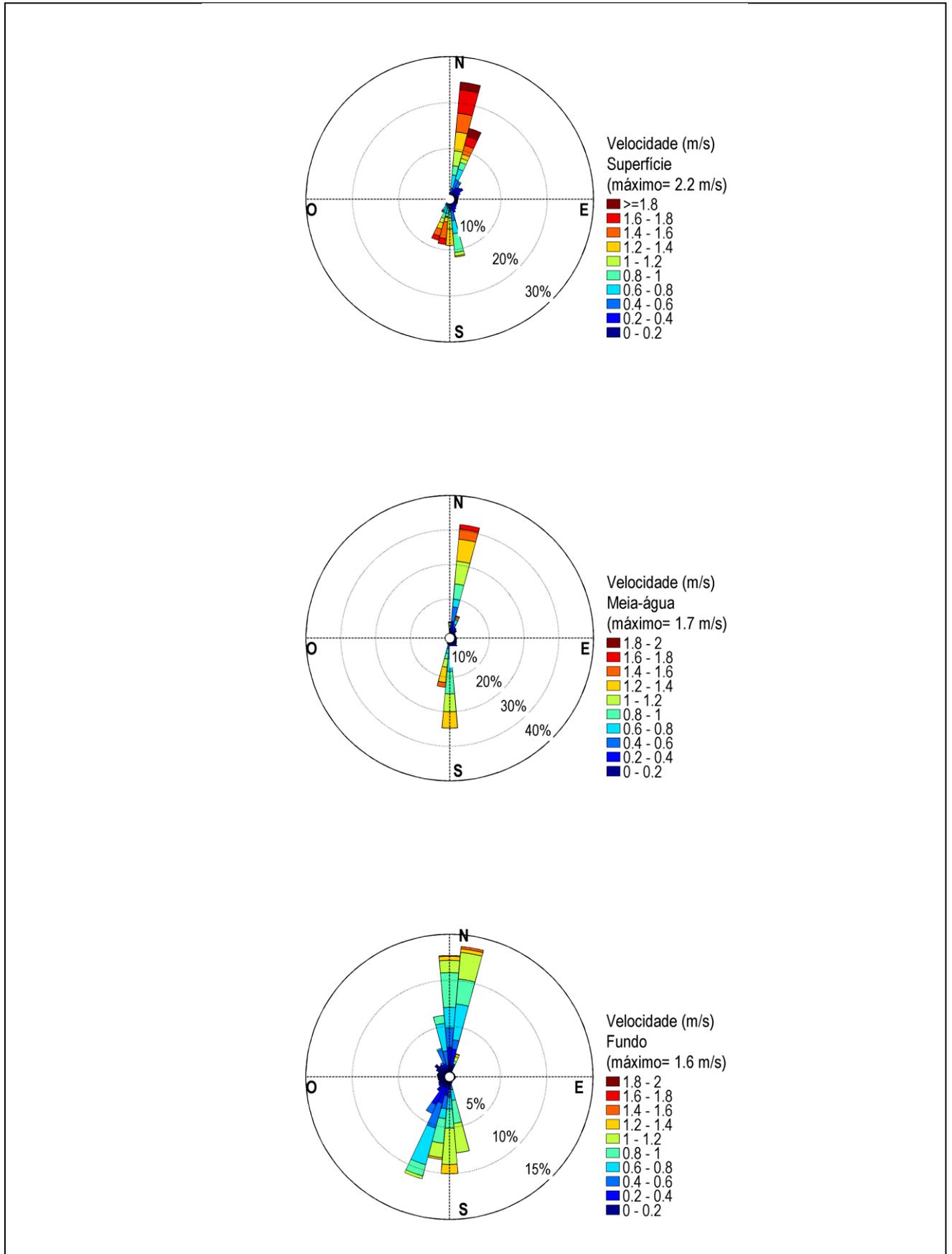


Figura 111: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-5.

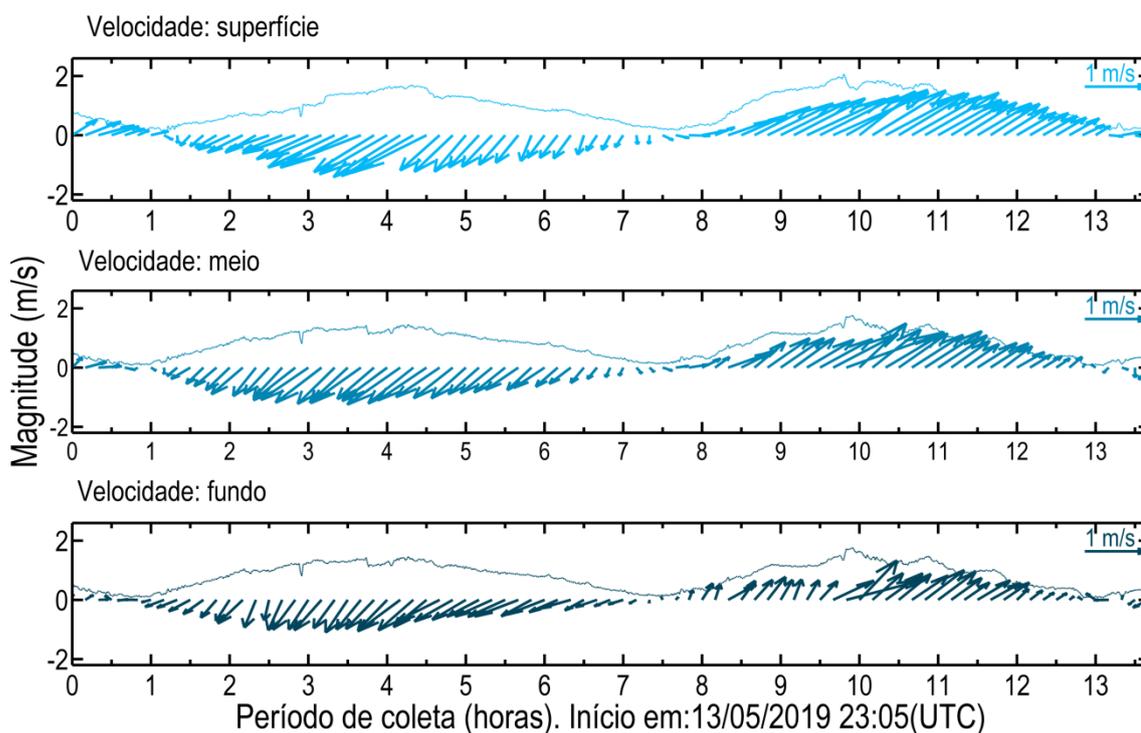


Figura 112: Diagrama stick plot das velocidades registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-5.

A Tabela 41 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta AF-5 durante o período de quadratura.

Tabela 41: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP AF-5 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	2.179	0.003
Direção	19°	195°
Período	Meio da vazante	Estofa de baixa-mar
Hora de coleta	9.7	0.5
Data (UTC)	14/05/2019 8:49	13/05/2019 23:37
Profundidade (m) da medida	2.0	15.5
Profundidade da coluna de água (m)	28.0	24.5

#### 4.10.3 Análise integrada AF-5: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 2.2 m/s e direção 24° (NNE). Na quadratura o máximo registrado também foi de 2.2 m/s e registrado durante a vazante.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram

diferenças superiores a 10%, com a maior diferença observada na quadratura, de 18% (0.4 m/s), enquanto na sizígia foi de 12% (0.3 m/s). Padrão característico de locais com correntes com dominância de vazante.

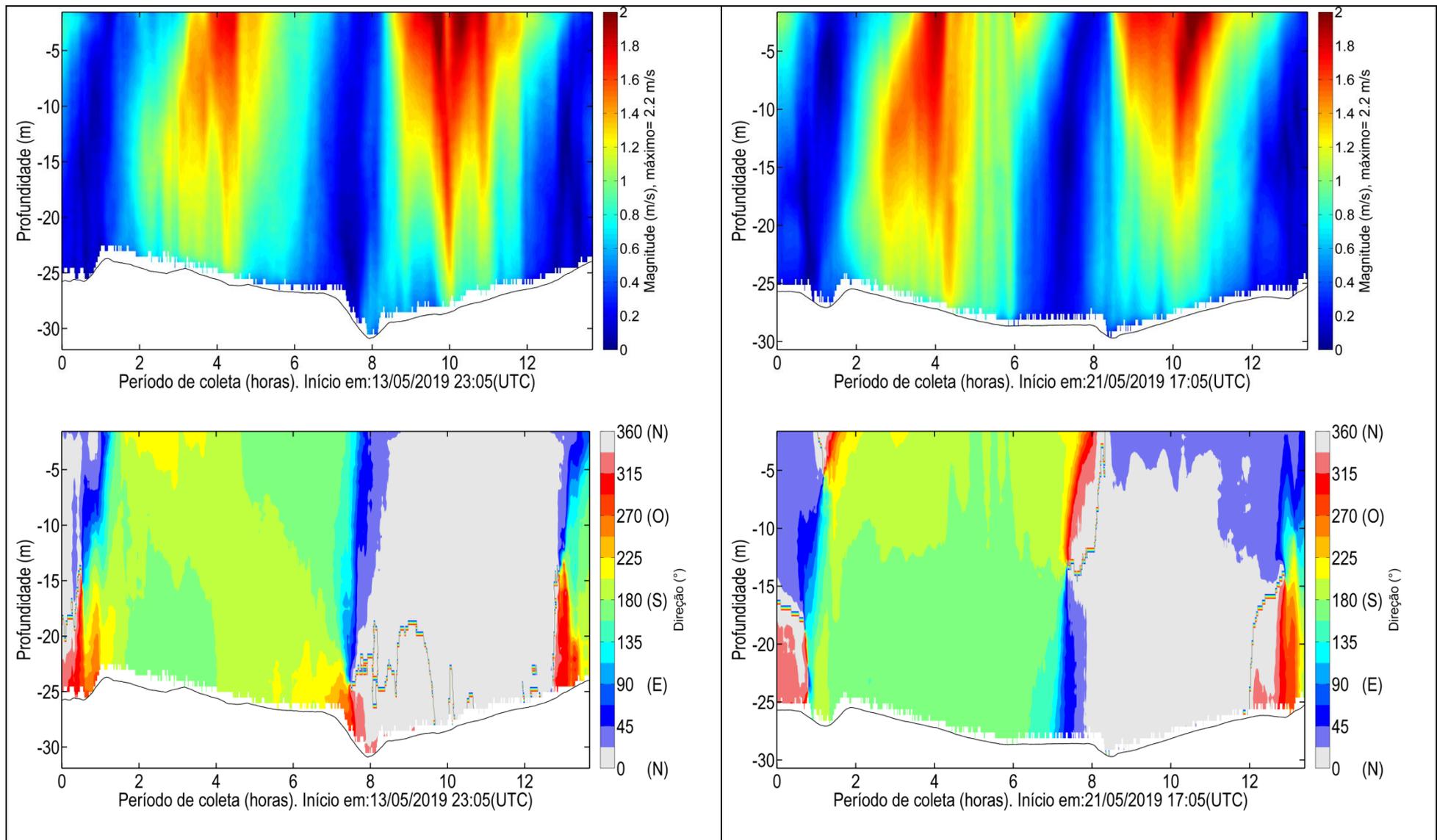


Figura 113: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP AF-5.

## 5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados correntométricos adquiridos permitiram a caracterização das correntes ao longo dos ciclos de maré de enchente/vazante e quadratura/sizígia em dez pontos ao longo da baía de São Marcos, no estado do Maranhão. Os locais de medição são identificados como: (i) EC-2, localizado na região marinha adjacente ao Porto Grande, nas proximidades do Terminal da Alumiar; (ii) EC-1, localizado no início do acesso ao Estreito dos Coqueiros pela baía de São Marcos; (iii, iv e v) PI-C2, PI-C1 e PI-C7, localizados nas adjacências do Porto do Itaqui; (vi) SM-3, localizado próximo ao meio da baía, a cerca de 6 km do Porto do Itaqui; (vii, viii, ix e x) AF-7, AF-6, AF-4b e AF-5, localizados na região das áreas de fundeio número 7, 6, 4 e 5, representadas na Carta Náutica 41101. Com relação a esses levantamentos, destacam-se os seguintes resultados:

- As maiores velocidades no ponto EC-2 foram registradas durante a vazante de sizígia (máximo de 1.5 m/s), sendo que, na quadratura a máxima velocidade (0.62 m/s) ocorreu durante a enchente. A diferença entre as máximas de cada período indicam uma redução expressiva de 41% na quadratura em relação à sizígia.

Na comparação dos resultados obtidos com uma campanha anterior no ponto EC-2 (fev./2018), observou-se que as velocidades da campanha 1 (máximo de 1.54 m/s) foram similares aos da campanha atual (máximo de 1.52 m/s), sendo o máximo da campanha anterior ligeiramente maior que o da campanha atual, o que ocorre associado a uma maior amplitude de maré no período da campanha 1 (6.7 m) em relação à 2 (6.4 m).

- As maiores velocidades no ponto EC-1 foram registradas durante a vazante de sizígia (máximo de 1.57 m/s), sendo que, na quadratura a máxima velocidade (1.05 m/s) ocorreu durante a vazante. A diferença entre as máximas de cada período indicam uma redução de 33% na quadratura em relação à sizígia.

Na comparação dos resultados obtidos com uma campanha anterior na região do ponto EC-1, observou-se um aumento da máxima velocidade de 0.5 m/s (33% do máx.) na campanha 2 (maio/2019) em relação à campanha 1 (nov./2016), o que ocorre associado a uma maior amplitude de maré no período da campanha 2 (6.4 m) em relação à campanha 1 (5.1 m).

- As maiores velocidades no ponto PI-C2 foram registradas durante a vazante de sizígia (máximo de 1.8 m/s), seguindo o mesmo padrão, na quadratura a máxima velocidade (1.52 m/s) ocorreu durante a vazante. A diferença entre as máximas de cada período indicam uma redução de 16 % na quadratura em relação à sizígia.

Na comparação dos resultados obtidos com uma campanha anterior no ponto PI-C2 (out./2016), observou-se que as velocidades da campanha 1 (máximo de 1.7 m/s) foram similares aos da

campanha atual (máximo de 1.8 m/s), sendo o máximo da campanha anterior 5.5% menor que o da campanha atual. Assim como as velocidades, as amplitudes de maré foram similares entre os períodos, obtendo-se 6.6 m na campanha 1 e 6.5 m na campanha atual.

- As maiores velocidades no ponto PI-C1 foram registradas durante a vazante de sizígia (máximo de 1.62 m/s). Na quadratura a máxima velocidade (1.35 m/s) também ocorreu durante a vazante. A diferença entre as máximas de cada período indicam uma redução de 17 % na quadratura em relação à sizígia.

Na comparação dos resultados obtidos com uma campanha anterior no ponto PI-C1 (out./2016), observou-se que as velocidades da campanha 1 (máximo de 1.61 m/s) foram muito similares aos da campanha atual (máximo de 1.62 m/s), o que ocorre associado a amplitudes também similares da campanha 1 (6.2 m) e campanha 2 (6.2 m). Assim, os resultados indicam padrões similares de elevação e corrente entre as campanhas.

- As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a enchente de sizígia, com um valor máximo de 2.4 m/s e direção SE. Na quadratura o máximo registrado foi de 1.9 m/s, também registrado durante a enchente. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 21 % da velocidade na quadratura

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças, com a maior diferença observada na sizígia, de 12%, enquanto na quadratura foi de apenas 3 %.

- As maiores velocidades no ponto SM-3 foram registradas durante a vazante de sizígia (máximo de 2.6 m/s). Na quadratura a máxima velocidade (2.2 m/s) também ocorreu durante a vazante. A diferença entre as máximas de cada período indicam uma redução de 15 % na quadratura em relação à sizígia. Na comparação dos resultados obtidos com uma campanha anterior (set./2017) na região do ponto SM-3, observou-se um aumento da máxima velocidade de 0.81 m/s (31% da máx.) na campanha atual em relação à campanha 1 (set./2017), o que, no entanto, ocorre associado a amplitudes de maré similares no período da campanha 1 (6.4 m) e campanha atual (6.3 m).
- As maiores velocidades em AF-7 foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 2.6 m/s e direção 27°(NNE). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.25 m/s, também registrado durante a vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma expressiva redução de 52% da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 1.35 m/s.

- Em AF-6, as maiores velocidades foram registradas durante os períodos de vazante, com a máxima de 2.5 m/s registrada durante a sizígia. A máxima de quadratura foi de 2.4 m/s, apontando uma redução de apenas 6 % da máxima velocidade na quadratura em relação à sizígia.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças expressivas, com a maior diferença observada na quadratura, de 35 % (0.85 m/s), enquanto na sizígia foi de 22% (0.55 m/s).

- As maiores velocidades no ponto AF-4b foram registradas durante a vazante de sizígia, máximo de 1.65 m/s e direção 27° (NNE). Já na quadratura o máximo de 1.6 m/s foi registrado durante a enchente.

Apesar da máxima velocidade na quadratura e na sizígia ter sido registrada em momentos de maré distintos, em ambos os casos nota-se uma predominância de correntes mais intensas durante os períodos de enchente.

- Em AF-5, as maiores velocidades ocorreram durante os períodos de vazante, com máximas de 2.2 m/s registradas tanto na sizígia quanto na quadratura.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças maiores que 10%, com a maior diferença observada na quadratura, de 18% (0.4 m/s), enquanto na sizígia foi de 12% (0.3 m/s). Padrão característico de locais com correntes com dominância de vazante, característica frequentemente em levantamentos realizados na baía de São Marcos.

## 6 REFERÊNCIAS

- COUTINHO, P. N.; MORAIS, J. O. 1976. Distribuição de sedimentos na baía de São José, Estado do Maranhão (Brasil). *Arquivo de Ciências do Mar*, Fortaleza, 16(2): 123-127.
- CHM, Centro de hidrografia da marinha. 2004. Cartas de correntes de maré: proximidades da baía de São Marcos e portos de São Luís e Itaqui. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-publicacoes/publicacoes/ccm/CCM-Baia-Sao-Marcos.pdf>>.
- CHULLIAT, A., S. *et al.* 2015. The US/UK World Magnetic Model for 2015-2020: Technical Report, National Geophysical Data Center, NOAA. doi: 10.7289/V5TB14V7.
- DAMAZIO, E. *et al.* 1989. Golfo do Maranhão: levantamento bibliográfico sobre oceanografia, biologia marinha e ecologia marinha. *Cad. Pesq.*, São Luís, 5 (2):41-86.
- FEMAR, Fundação de Estudos do Mar: Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Disponível em: <<https://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/indice.html#maranhao>>. Acesso em: 22 de março de 2017.
- FIRING, E.; HUMMON, J. M. 2010. Shipboard ADCP measurements. In: The GO-SHIP Repeat Hydrography Manual: A Collection of Expert Reports and Guidelines. Hood, E.M., C.L. Sabine, and B.M. Sloyan, eds. IOCCP Report Number 14, ICPO Publication Series Number 134. Disponível em: <<http://www.go-ship.org/HydroMan.html>>.
- FURTADO, J.G.C., 2007. Estudo de impactos ambientais causados por metais pesados em água do mar na Baía de São Marcos: Correlações e níveis background. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências Exatas de Natureza, Universidade Federal da Paraíba.
- PEREIRA, J. E. R.; HARARI, J. 1995. Modelo numérico tri-dimensional linear da plataforma continental do Estado do Maranhão. *Bolm Inst. Oceanogr.*, São Paulo, 43(1):11-26.
- RIBEIRO JR, F.C. 2005. Evolução geomorfológica da franja costeira da Ponta do Bonfim nas décadas de 80 a 00 do século XX. Monografia de Graduação em Geografia (UFMA). São Luís.
- UFMA. 2009. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da Refinaria Premium I. V. 2. São Luís: UFMA.

## **ANEXOS**

ANEXO 01 – Autorização CHM

ANEXO 02 – Especificação técnica do ADCP utilizado (Teledyne RD - Workhorse Sentinel 600kHz)

## **APÊNDICES**

APÊNDICE A – Calibração e configuração dos equipamentos

APÊNDICE B – Arquivo Digital

**ANEXO 01**  
**Autorização CHM**

---



**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA**

**AUTORIZAÇÃO Nº 094/19**

**CATEGORIA “B”**

O Diretor do Centro de Hidrografia da Marinha, de acordo com as delegações de competência estabelecidas pelas Portarias nº 156/MB, de 3 de junho de 2004 e nº 39/DHN, de 23 de março de 2012, AUTORIZA a UMI SAN – Serviços de Apoio à Navegação e Engenharia Ltda., inscrita sob o nº 135 no Cadastro de Entidades Executantes de Levantamentos Hidrográficos, em conformidade com o art. 37 do Decreto-Lei nº 243, de 28/02/1967, e nos termos das Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos - NORMAM-25/DHN (2ª Revisão), a realizar Levantamento Hidrográfico nas proximidades do porto de Itaqui, município de São Luís, estado do Maranhão, no período de 23 de abril a 22 de julho de 2019, conforme descrito no projeto de Levantamento Hidrográfico recebido por este Centro em 07 de março de 2019.

Esta Autorização não isenta a entidade requerente de obter outras autorizações e/ou licenças federais, estaduais e municipais legalmente exigíveis para realização desta atividade, incluindo aquelas relacionadas à órgãos ambientais e à segurança da navegação, emanadas por Agentes ou Representantes da Autoridade Marítima, sendo obrigatória a sua disponibilização no local de realização do Levantamento Hidrográfico, para efeito de fiscalização.

Conforme o item 0203 da NORMAM-25/DHN (2ª Revisão), a coleta e/ou processamento dos dados deverão ser realizados exclusivamente pela Entidade Executante autorizada. A cessão dos dados a terceiros só deverá ser feita à Entidade Contratante do LH. Caso alguma discrepância seja observada, serão aplicadas as sanções cabíveis à Entidade Executante.

Niterói, 12 de março de 2019.

Por ordem:

**ALEXANDRE MATTOS DE CAÚLA E SILVA**

Capitão de Fragata (T)

Encarregado da Divisão de Planejamento e Coordenação

## ANEXO 02

### Especificação técnica do ADCP utilizado (Teledyne RD - Workhorse Sentinel 600kHz)

---

# Workhorse Sentinel

Self-Contained 1200, 600, 300 kHz ADCP



## TECHNICAL SPECIFICATIONS

<b>Water Profiling</b>	Depth Cell Size <sup>1</sup>	Typical Range <sup>2</sup> 12m <b>1200kHz</b>		Typical Range <sup>2</sup> 50m <b>600kHz</b>		Typical Range <sup>2</sup> 110m <b>300kHz</b>	
	Vertical Resolution	Range <sup>3</sup>	Std. Dev. <sup>4</sup>	Range <sup>3</sup>	Std. Dev. <sup>4</sup>	Range <sup>3</sup>	Std. Dev. <sup>4</sup>
	0.25m	11m	14.0cm/s				
	0.5m	12m	7.0cm/s	38m	14.0cm/s	see note 1	
	1m	13m	3.6cm/s	42m	7.0cm/s	83m	14.0cm/s
	2m	15m <sup>2</sup>	1.8cm/s	46m	3.6cm/s	93m	7.0cm/s
	4m	see note 1		51m <sup>2</sup>	1.8cm/s	103m	3.6cm/s
8m					116m <sup>2</sup>	1.8cm/s	
<b>Long Range Mode</b>	2m	19m	3.4m/s				
	4m			66m	3.6cm/s		
	8m					154m	3.7cm/s
<b>Profile Parameters</b>	Velocity accuracy	0.3% of the water velocity relative to ADCP ±0.3cm/s		0.3% of the water velocity relative to ADCP ±0.3cm/s		0.5% of the water velocity relative to ADCP ±0.5cm/s	
	Velocity resolution	0.1cm/s		0.1cm/s		0.1cm/s	
	Velocity range:	±5m/s (default) ±20m/s (max)		±5m/s (default) ±20m/s (max)		±5m/s (default) ±20m/s (max)	
	Number of depth cells	1–255		1–255		1–255	
	Ping rate	Up to 10Hz		Up to 10Hz		Up to 10Hz	
<b>Echo Intensity Profile</b>	Vertical resolution			Depth cell size, user configurable			
	Dynamic range			80dB			
	Precision			±1.5dB			
<b>Transducer and Hardware</b>	Beam angle			20°			
	Configuration			4-beam, convex			
	Internal memory			Two PCMCIA card slots; one memory card included			
	Communications			RS-232 or RS-422; ASCII or binary output at 1200-115,200 baud			
<b>Power</b>	DC input			20–50VDC.			
	Number of batteries			1 internal battery pack			
	Internal battery voltage			42VDC (new) 28VDC (depleted)			
	Battery capacity @ 0°C			450 watt hrs			
<b>Standard Sensors</b>	Temperature (mounted on transducer)			Range -5° to 45°C, Precision ±0.4°C, Resolution 0.01°			
	Tilt			Range ±15°, Accuracy ±0.5°, Precision ±0.5°, Resolution 0.01°			
	Compass (fluxgate type, includes built-in field calibration feature)			Accuracy ±2° <sup>5</sup> , Precision ±0.5° <sup>5</sup> , Resolution 0.01°, Maximum tilt ±15°			
<b>Environmental</b>	Standard depth rating			200m; optional to 500m, 1000m, 6000m			
	Operating temperature			-5° to 45°C			
	Storage temperature (without batteries)			-30° to 60°C			
	Weight in air			13.0kg			
	Weight in water			4.5kg			
<b>Software</b>	TRDI's Windows™-based software included: <b>WinSC</b> —Data Acquisition System; <b>WinADCP</b> —Data Display and Export						
<b>Available Options</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memory: 2 PCMCIA slots, total 4GB</li> <li>• Pressure sensor</li> <li>• External battery case</li> <li>• High-resolution water-profiling modes</li> <li>• Bottom tracking or surface referencing track</li> <li>• AC/DC power converter, 48VDC output</li> <li>• Pressure cases for depths up to 6000m</li> <li>• Directional Wave Array</li> <li>• Acoustic Modem</li> <li>• Inductive Modem</li> <li>• <b>Velocity</b> for advanced post processing</li> </ul>						
<b>Dimensions</b>	228.0mm wide x 405.5mm long ( <i>line drawings available upon request</i> )						

1 User's choice of depth cell size is not limited to the typical values specified.

2 Longer ranges available.

3 Profiling range based on temperature values at 5°C and 20°C, salinity = 35ppt.

4 BroadBand mode single-ping standard deviation (Std. Dev.).

5 <±1.0° is commonly achieved after calibration.

## APÊNDICE A

### Calibração e configuração dos equipamentos

---

**APÊNDICE B**  
**Arquivo Digital**

---