

## Capítulo 4

Aquisição de Dados Oceanográficos

### Autores do Capítulo

#### Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental Marinho

Prof. Dr. Marcelo Rollnic

Profa. Dra. Sury de Moura Monteiro

Prof. Dr. Renan Peixoto Rosário

Me. Maurício da Silva da Costa

Me. Yuri Onça Prestes

Dr. Iranilson Oliveira Silva

Me. Rafael Fernandes Oliveira Aquino

Me. Adriel Guimarães Carneiro

Ma. Ângela Carolina Cidon Mascarenhas

Me. Leandro de Souza Santana

### Coordenação Adjunta

Me. Yuri Onça Prestes – LAPMAR/UFPA

### Coordenação Científica do Projeto Costa Norte

Profa. Dra. Carla Bernadete Madureira Cruz –  
ESPAÇO/UFRJ

Prof. Dr. Filipe de Oliveira Chaves -  
NEGEMC/UERJ

Dr. Júlio Augusto de Castro Pellegrini –  
PROOCEANO

Prof. Dr. Luiz Paulo de Freitas Assad –  
LAMCE/UFRJ

Prof. Dr. Marcelo Rollnic – LAPMAR/UFPA

Prof. Dr. Mário Luiz Gomes Soares -  
NEGEMC/UERJ

### Coordenação Geral do Projeto

Ma. Maria Eduarda Pessoa- ENAUTA

Dr. Júlio Augusto de Castro Pellegrini –  
PROOCEANO

Bela. Anne Goni Guedes - ENAUTA

Bela. Dyellen Soares Queiroz – ENAUTA

### Coordenação de Comunicação do Projeto

Frederico Rinaldi - PROOCEANO

Rebeca Kiperman – ENAUTA

### Citação Sugerida

ROLLNIC, M., MONTEIRO, S.M., ROSÁRIO, R.P., COSTA, M.S., PRESTES, Y.O., SILVA, I.O., AQUINO, R.F.O., CARNEIRO, A.G., MASCARENHAS, A.C.C., SANTANA, L.S. “Aquisição de Dados Oceanográficos”, Capítulo 4. Em: Projeto Costa Norte, – Desenvolvimento de Metodologias para o entendimento de processos costeiros e estuarinos e da vulnerabilidade de florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira. v.2. Rio de Janeiro (BR), 2020.

## Sumário

4.	AQUISIÇÃO DE DADOS OCEANOGRÁFICOS	369
4.1.	Plataforma Continental	369
4.1.1.	Objetivos	370
4.1.2.	Metodologia	370
4.1.3.	Resultados	378
4.2.	Área Costeira e Estuarina	394
4.2.1.	Metodologia	394
4.2.2.	Resultados	410
4.3.	Conclusão	503
4.4.	Referências	503

## Índice de Figuras

Figura 4-1: Representação dos pontos de lançamento de derivadores na Plataforma Costeira Amazônica. ....	371
Figura 4-2: Imagens dos três modelos de derivadores superficiais lançados na PCA. A) NOMAD; b) SVP; c) CODE e; d) os três equipamentos na água após o lançamento. ....	374
Figura 4-3: <i>Stickplots</i> e séries temporais da intensidade e direção do vento proveniente do ERA5 com a indicação das 12 campanhas oceanográficas na PCA (área hachuradas em cinza). A) ponto DF1 e B) ponto DF5. ....	375
Figura 4-4: Rosa dos ventos das séries temporais da intensidade e direção do vento proveniente do ERA5 na PCA: A) ponto DF1 e B) ponto DF5. ....	376
Figura 4-5: Trajetórias dos derivadores separados em trimestres, sendo: a) fevereiro, março e abril de 2018; b) junho, julho e agosto de 2018; c) setembro, outubro e novembro de 2018 e; d) dezembro de 2018, janeiro e fevereiro de 2019. ....	379
Figura 4-6: Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF1 (quadrado de cor preta). Os derivadores do tipo NOMAD são apresentados em azul, CODE em vermelho e SVP em verde. ....	381
Figura 4-7: Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF2 (quadrado de cor preta). Os derivadores do tipo NOMAD são apresentados em azul, CODE em vermelho e SVP em verde. ....	381
Figura 4-8: Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF3 (quadrado de cor preta). Os derivadores do tipo NOMAD são apresentados em azul, CODE em vermelho e SVP em verde. ....	383
Figura 4-9: Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF4 (quadrado de cor preta). Os derivadores do tipo NOMAD são apresentados em azul. ....	384
Figura 4-10: Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF5 (quadrado de cor preta). Os derivadores do tipo NOMAD são apresentados em azul. ....	384
Figura 4-11: Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF5 (quadrado de cor preta). Os derivadores do tipo NOMAD são apresentados em azul. ....	385
Figura 4-12: Gráfico em barras dos dias de transmissão para os derivadores NOMAD, CODE e SVP (gráficos da esquerda), também, é apresentado um histograma dos números de derivadores em função dos dias de transmissão (gráficos da direita). ....	386
Figura 4-13: Gráfico em barras dos dias até o contato com a costa. Resultados para as transmissões dos derivadores SVP, CODE e NOMAD. ....	387
Figura 4-14: Mapa de trajetórias de derivadores NOMAD (em azul), CODE (vermelho) e SVP (verde). Os círculos em amarelo representam os seis pontos de lançamento e os quadrados pretos coordenadas de contato com a costa. ....	388
Figura 4-15: Correlação entre as velocidades dos derivadores e do vento. O tipo NOMAD em azul, CODE em vermelho e SVP em verde. A linha preta tracejada representa a regressão linear. ....	390
Figura 4-16: Correlação entre as velocidades dos derivadores e do vento na PCA. ....	390
Figura 4-17: Espectros rotacionais cruzados da A) coerência ( $\gamma_{2wu}$ ); B) admitância ( $Z_{wu}$ ) e; C) ângulo de fase ( $\phi$ ) dos derivadores NOMAD. Frequências positivas e negativas representam as componentes horária e anti-horária, respectivamente. ....	391
Figura 4-18: Espectros rotacionais cruzados da A) coerência ( $\gamma_{2wu}$ ); B) admitância ( $Z_{wu}$ ) e; C) ângulo de fase ( $\phi$ ) dos derivadores CODE. Frequências positivas e negativas representam as componentes horária e anti-horária, respectivamente. ....	392
Figura 4-19: Espectros rotacionais cruzados da A) coerência ( $\gamma_{2wu}$ ); B) admitância ( $Z_{wu}$ ) e; C) ângulo de fase ( $\phi$ ) dos derivadores SVP. Frequências positivas e negativas representam as componentes horária e anti-horária, respectivamente. ....	393

Figura 4-20: Representação da malha amostral batimétrica no rio Turiaçu, MA. ....	400
Figura 4-21: Representação da malha amostral batimétrica no rio Mojuim, PA. ....	401
Figura 4-22: Representação da malha amostral batimétrica no rio Sucuriçu, AP. ....	402
Figura 4-23: Representação da malha amostral batimétrica no rio Paracauari, região de Soure, PA. ....	402
Figura 4-24: Mapa dos pontos de amostragens no rio Turiaçu. ....	404
Figura 4-25: Mapa dos pontos de amostragens no sistema estuarino Mojuim-Mocajuba, em São Caetano de Odivelas. ....	405
Figura 4-26: Mapa dos pontos de amostragens em Soure. ....	406
Figura 4-27: Mapa dos pontos de amostragens no rio Sucuriçu. ....	406
Figura 4-28: Esquema de amostragem durante as campanhas realizadas no rio Turiaçu: (A) Croqui dos pontos de amostragem; (B) utilização dos equipamentos. ....	409
Figura 4-29: Fotografias (A) das falésias ativas; e (B) do pacote sedimentar no baixo estuário. ....	411
Figura 4-30: Fotografias demonstrando a característica de estuário semi-confinado nas seções do (A) médio estuário; e (B) alto estuário. ....	412
Figura 4-31: Mapa batimétrico do estuário do rio Turiaçu e os perfis transversais da foz (A), baixo estuário (B), médio estuário (C) e o alto estuário, sendo o nível de base no período seco (D) e chuvoso (E). Perfil batimétrico longitudinal e a declividade da plataforma ao alto estuário (F). ....	413
Figura 4-32: Série temporal do nível do ERT, Baixo Estuário (T1) e Alto Estuário (T2). ....	416
Figura 4-33: Variação Longitudinal das constituintes harmônicas do rio Turiaçu, respectivamente Baixo (T1) e Alto estuário (T2). ....	417
Figura 4-34: Os principais espectros de amplitude de maré para o Baixo (T1, B) e Alto Estuário (T2, A) do ERT. As linhas azuis são referentes ao período e, as vermelhas, à frequência. ....	418
Figura 4-35: Nível e assimetria de maré no Baixo e Alto Estuário (ERT). ....	420
Figura 4-36: Representação esquemática do percurso das correntes no rio Turiaçu. A) Representação da defasagem da inversão do fluxo da maré entre ST1 e ST2; B) início da inversão de fluxo de ST2 para ST1; e C) o fluxo apresenta sentido de enchente nos dois pontos, ST1 e ST2. ....	421
Figura 4-37: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Seco I. Baixo Estuário quadratura (ST1 - I; ST2 - II) e sizígia (B seção - III). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente. ....	426
Figura 4-38: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período seco I. Médio Estuário quadratura (I) e sizígia (II). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente. ....	427
Figura 4-39: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Transicional I. Baixo Estuário quadratura (ST1, I; ST2, II) e sizígia (ST1, III; ST2, IV). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente. ....	428
Figura 4-40: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período transicional I. Médio Estuário quadratura (I) e sizígia (II); e Alto Estuário sizígia (III), Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente. ....	429
Figura 4-41: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Chuvoso. Baixo Estuário quadratura (ST1, I; ST2, II) e sizígia (ST1, III; ST2, IV). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente. ....	430
Figura 4-42: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Chuvoso. Médio Estuário quadratura (I) e sizígia (II); e Alto Estuário sizígia (III). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente. ....	431

Figura 4-43: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Transicional II. Baixo estuário quadratura (ST1, I; ST2, II) e sizígia (ST1, III; ST2, IV). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente. ....	432
Figura 4-44: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Transicional II. Médio Estuário quadratura (I) e sizígia (II); e Alto Estuário sizígia (III). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente. ....	433
Figura 4-45: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Seco II. Baixo estuário quadratura (ST1, I; ST2, II) e sizígia (ST1, III; ST2, IV). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente. ....	434
Figura 4-46: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Seco II. Médio Estuário quadratura (I) e sizígia (II); e Alto Estuário sizígia (III). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente. ....	435
Figura 4-47: Variação trimestral dos principais parâmetros (MPS, salinidade e velocidade residual) do ERT. ....	436
Figura 4-48: Diagrama estratificação-circulação de HANSEN e RATTRAY JR. (1966) do Baixo, Médio e Alto Estuário do ERT nos períodos Seco (I e II), Chuvoso e Transicional (I e II) com isolinhas do parâmetro da proporção relativa ( $0 < v < 1$ ), na quadratura e sizígia. ....	438
Figura 4-49: Limites da intrusão salina ao longo do ERT e nível médio da coluna d'água no ERT, nas cidades de Turiaçu e Santa Helena (SH). ....	439
Figura 4-50: Variação trimestral (maré lunar) do transporte resultante (Volume, MPS, Salinidade) do ERT. ....	444
Figura 4-51: Transporte resultante anual do Volume (setas pretas), MPS (setas verdes) e Salinidade (setas vermelhas) do ERT. ....	445
Figura 4-52: Esquema de fluxo de sedimento de acordo com período de alta e baixa descarga do ERT, correlacionados com os máximos e mínimos de salinidade e MPS (Tabelas) juntamente com o deslocamento da ZM entre o baixo e médio estuário, em destaque as maiores concentrações em vermelho. ....	446
Figura 4-53: Mapa batimétrico do rio Mojuim com destaque para o perfil transversal da foz (A) e do Médio Estuário (B) e, o perfil batimétrico longitudinal (C). ....	447
Figura 4-54: Oscilação da maré registrada no rio Mojuim, estação M4, durante o período seco. ....	448
Figura 4-55: Oscilação da maré registrada no rio Mojuim, estação M4, durante o período chuvoso. ....	448
Figura 4-56: Oscilação da maré registrada no rio Mocajuba. ....	449
Figura 4-57: Oscilação da maré registrada em um canal de conexão (M3) entre os rios Mojuim e Mocajuba. ....	449
Figura 4-58: Variação longitudinal das constituintes harmônicas para o rio Mojuim. ....	452
Figura 4-59: Variação longitudinal das constituintes harmônicas para o rio Mocajuba. ....	452
Figura 4-60: Os principais espectros de amplitude de maré (período e frequência) para os rios Mojuim e Mocajuba. ....	453
Figura 4-61: Nível e assimetria de maré nos rios Mojuim e Mocajuba. ....	453
Figura 4-62: Resultados hidrodinâmicos do rio Mojuim, durante o período seco. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal. ....	454
Figura 4-63: Velocidade e direção da corrente no rio Mojuim durante período seco. A): componentes (NS e EW) e intensidade (módulo) das correntes; B): frequência de ocorrências das intensidades e direções das correntes. ....	455

Figura 4-64: Resultados hidrodinâmicos do rio Mojuim, durante o período chuvoso. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal.....	456
Figura 4-65: Velocidade e direção da corrente no rio Mojuim durante período chuvoso. A): componentes (NS e EW) e intensidade (módulo) das correntes; B): frequência de ocorrências das intensidades e direções das correntes.....	457
Figura 4-66: Resultados hidrodinâmicos do rio Mocajuba, durante o período chuvoso. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal.....	458
Figura 4-67: Resultados hidrodinâmicos do rio Mocajuba, durante o período seco. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal....	459
Figura 4-68: Velocidade e direção da corrente no rio Mocajuba durante período chuvoso. A): componentes (NS e EW) e intensidade (módulo) das correntes; B): frequência de ocorrências das intensidades e direções das correntes.....	460
Figura 4-69: Resultados hidrodinâmicos do canal de conexão do sistema Mojuim-Mocajuba, seção SM4. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal. Nesta seção, o fluxo na vazante é sentido Mocajuba e canal secundário e, na enchente, Mojuim.....	461
Figura 4-70: Resultados hidrodinâmicos do canal de conexão do sistema Mojuim-Mocajuba, seção SM3. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal. Nesta seção, o fluxo na vazante é sentido Mojuim e canal secundário e, na enchente, Mocajuba. ....	462
Figura 4-71: Resultados hidrodinâmicos do canal de conexão do sistema Mojuim-Mocajuba, seção SM2. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal. Nesta seção, o fluxo na vazante é sentido na saída do canal secundário e, na enchente, sentido rio Mojuim.....	463
Figura 4-72: Variação da Turbidez na superfície e fundo ao longo do perfil longitudinal no rio Mojuim, nos períodos chuvoso (acima), intermediário (meio) e seco (abaixo).....	464
Figura 4-73: Variação longitudinal da turbidez no estuário do rio Mocajuba, período seco. À esquerda, superfície, e à direita, fundo.....	466
Figura 4-74: Variação longitudinal da turbidez no estuário do rio Mocajuba, período chuvoso. À esquerda, superfície, e à direita, fundo.....	467
Figura 4-75: Variação da concentração da turbidez na superfície e fundo ao longo de um ciclo de maré nas estações M3 (acima) e M7 (abaixo), período seco. ....	467
Figura 4-76: Variação da concentração da turbidez na superfície e fundo ao longo de um ciclo de maré nas estações M3 (acima) e M7 (abaixo), período chuvoso. ....	468
Figura 4-77: Variação da salinidade nos diferentes meses de coleta (A); Variação da salinidade por período sazonal (B). Fonte: Valentim (2017). ....	469
Figura 4-78: Série temporal da salinidade e oscilação de maré no rio Mojuim, período seco. ....	470
Figura 4-79: Série temporal da salinidade e oscilação de maré no rio Mojuim, período chuvoso. ....	470

Figura 4-80: Salinidade em função da amplitude de maré no rio Mojuim, períodos intermediário e chuvoso. ....	471
Figura 4-81: Perfis verticais de salinidade medidos ao longo de uma seção longitudinal no rio Mocajuba, período seco (acima) e chuvoso (abaixo). ....	472
Figura 4-82: Variação da salinidade em função de um ciclo de maré, nas estações M3 (acima) e M7 (abaixo), do canal de conexão, período seco. ....	473
Figura 4-83: Variação da salinidade em função de um ciclo de maré, nas estações M3 (acima) e M7 (abaixo), do canal de conexão, período chuvoso. ....	473
Figura 4-84: Mapa batimétrico do rio Paracauari com destaque para o perfil transversal da foz (A), Baixo Estuário (B), Alto Estuário (C/D) e o perfil batimétrico longitudinal (E). ....	475
Figura 4-85: Oscilação da maré à montante do rio Paracauari, estação S2, período transicional em quadratura. ....	476
Figura 4-86: Oscilação da maré na foz do rio Paracauari, estação S1, período transicional em quadratura. ....	476
Figura 4-87: Oscilação da maré na foz do rio Paracauari, estação S1, período chuvoso em maré de sizígia. ....	477
Figura 4-88: Oscilação da maré na foz do canal de maré do Pesqueiro, estação S3, período seco em maré de sizígia. ....	477
Figura 4-89: Oscilação da maré na foz do canal de maré do Pesqueiro, estação S3, período chuvoso em maré de sizígia. ....	478
Figura 4-90: Variação espaço-temporal da velocidade média longitudinal (acima) e residual (abaixo) no rio Paracauari, estação SP, período transicional. ....	479
Figura 4-91: Variação espaço-temporal da velocidade média longitudinal (acima) e residual (abaixo) no rio Paracauari, estação SP, período chuvoso. ....	479
Figura 4-92: Variação temporal da velocidade (acima) e análise da frequência indicando a direção (abaixo) da corrente no canal de maré do Pesqueiro, estação S4, período seco em maré de sizígia. ....	481
Figura 4-93: Variação temporal da velocidade (acima) e frequência de direção (abaixo) da corrente no canal de maré do Pesqueiro, estação S4, período chuvoso em maré de sizígia. ....	482
Figura 4-94: Transporte de volume instantâneo e velocidade longitudinal média ao longo de um ciclo de maré na estação SP, período transicional em maré de sizígia. ....	483
Figura 4-95: Transporte de volume instantâneo e velocidade longitudinal média ao longo de um ciclo de maré na estação SP, período chuvoso em maré de sizígia. ....	484
Figura 4-96: Variação espaço-temporal da salinidade no rio Paracauari, estação S1, período transicional. ....	485
Figura 4-97: Variação espaço-temporal da salinidade no rio Paracauari, estação S1, período chuvoso. ....	485
Figura 4-98: Variação espaço-temporal da turbidez no rio Paracauari, estação S1, período transicional. ....	486
Figura 4-99: Variação espaço-temporal da turbidez no rio Paracauari, estação S1, período chuvoso. ....	486
Figura 4-100: Variação temporal da turbidez no canal do Pesqueiro, estação S4, durante o período seco e maré de sizígia. ....	487
Figura 4-101: Variação temporal da turbidez no canal do Pesqueiro, estação S4, durante o período chuvoso em maré de sizígia. ....	487
Figura 4-102: Carta batimétrica do rio Sucuriju. São exibidas as profundidades ao longo do rio, bem como algumas seções transversais, que apresentam a morfologia do canal. ....	488
Figura 4-103: Oscilações da maré no rio Sucuriju: a) S7 – região externa; b) S1 – próximo à foz; e c) S5 – montante. ....	489
Figura 4-104: Análise das componentes harmônicas da maré do rio Sucuriju: 1) S7 – região externa; 2) S1 – próximo à foz; e 3) S5 – montante. ....	490



Figura 4-105: Nível e perfis verticais da velocidade no ponto de coleta próximo à foz do rio Sucuriju, período seco, em maré de quadratura (A) e de sizígia (B).....	495
Figura 4-106: Nível e perfis verticais da velocidade no ponto de coleta à montante do rio Sucuriju, período seco, em maré de quadratura (C) e de sizígia (D).....	496
Figura 4-107: Nível e perfis verticais da velocidade no ponto de coleta próximo à foz do rio Sucuriju, período chuvoso, em maré de quadratura (A) e de sizígia (B).....	497
Figura 4-108: Nível e perfis verticais da velocidade no ponto de coleta à montante do rio Sucuriju, período chuvoso, em maré de quadratura (C) e de sizígia (D).....	497
Figura 4-109: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré na foz do rio Sucuriju, durante o período chuvoso, em condições de sizígia. ....	498
Figura 4-110: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré na foz do rio Sucuriju, durante o período chuvoso, em condições de quadratura.....	499
Figura 4-111: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré à montante do rio Sucuriju, durante o período chuvoso, em condições de sizígia. ....	499
Figura 4-112: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré à montante do rio Sucuriju, durante o período chuvoso, em condições de quadratura. ....	500
Figura 4-113: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré na foz do rio Sucuriju, durante o período seco, em condições de sizígia. ....	501
Figura 4-114: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré na foz do rio Sucuriju, durante o período seco, em condições de quadratura.....	501
Figura 4-115: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré à montante do rio Sucuriju, durante o período seco, em condições de sizígia. ....	502
Figura 4-116: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré à montante do rio Sucuriju, durante o período seco, em condições de quadratura. ....	502

## Índice de Tabelas

Tabela 4-1: Resumo das campanhas do Projeto Costa Norte na PCA ao longo de alguns meses dos anos de 2018 e 2019. ....	372
Tabela 4-2: Coordenadas geográficas em graus, minutos e decimais, e os tipos de equipamentos lançados em cada ponto amostral na PCA. ....	374
Tabela 4-3: Estatística básica do tempo de contato dos derivadores NOMAD, CODE e SVP lançados na PCA. ....	388
Tabela 4-4: Coeficientes de correlação ( $r$ ) entre as velocidades dos derivadores e do vento, slope da regressão linear ( $s$ ), o coeficiente de correlação complexo ( $R$ ), admitância média acima do limite de confiança de 99% ( $Z_{wu}$ ) e as fases de $R$ e $Z_{wu}$ . ....	394
Tabela 4-5: Sumarização das campanhas realizadas na baía de Turiaçu, MA. As siglas ME e MD são referentes às margens esquerda e direita, respectivamente, da região do Baixo Estuário. ....	396
Tabela 4-6: Sumarização das campanhas realizadas em São Caetano de Odivelas, PA. ....	397
Tabela 4-7: Sumarização das campanhas realizadas na região de Soure, PA. ....	398
Tabela 4-8: Sumarização das campanhas realizadas em Sucuriju, AP. ....	399
Tabela 4-9: Descrição da amostragem batimétrica nos canais estuarinos e no canal fluvial. ....	403
Tabela 4-10: Locais de coleta e a frequência amostral para a turbidez. ....	408
Tabela 4-11: A variação do nível da superfície livre ao longo do rio Turiaçu considerando todos os períodos coletados. ....	414
Tabela 4-12: As principais componentes harmônicas diurnas, semidiurnas, águas rasas e longo período (período, amplitude e fase) para o Baixo (cidade de Turiaçu – T1) e Alto Estuário (cidade de Santa Helena – T2) do ERT. ....	415
Tabela 4-13: Principais parâmetros da maré do Baixo e Alto Estuário do ERT. ....	419
Tabela 4-14: Nível e assimetria de corrente no Baixo, Médio e Alto Estuário (ERT). ....	421
Tabela 4-15: Síntese da velocidade, MPS e salinidade para o período seco I no ERT. ....	423
Tabela 4-16: Síntese da velocidade, MPS e salinidade para o período transicional I no ERT nas estações de coleta no Baixo (B), Médio (M) e Alto (A) Estuário. ....	423
Tabela 4-17: Síntese da velocidade, MPS e salinidade para o período chuvoso no ERT, nas estações de coleta no Baixo (B), Médio (M) e Alto (A) Estuário. ....	424
Tabela 4-18: Síntese da velocidade, MPS e salinidade para o período transicional II no ERT, nas estações de coleta no Baixo (B), Médio (M) e Alto (A) Estuário. ....	424
Tabela 4-19: Síntese da velocidade, MPS e salinidade para o período seco II no ERT, nas estações de coleta no Baixo (B), Médio (M) e Alto (A) Estuário. ....	425
Tabela 4-20: Correlação entre o ( $MPS_f$ ) e ( $MPS$ ) para os períodos trimestrais do ERT, com seus respectivos $r^2$ para o Baixo, margem direita (MD) e esquerda (ME), Médio e Alto Estuário. ....	437
Tabela 4-21: Fluxos de água, sal e MPS do ERT no período Seco I, durante a quadratura e sizígia. ....	441
Tabela 4-22: Fluxos de água, sal e MPS do ERT no período Transicional I, durante a quadratura e sizígia. ....	441
Tabela 4-23: Fluxos de água, sal e MPS do ERT no período Chuvoso, durante a quadratura e sizígia. ....	442
Tabela 4-24: Fluxos de água, sal e MPS do ERT no período Transicional II, durante a quadratura e sizígia. ....	442
Tabela 4-25: Fluxos de água, sal e MPS do ERT no período Seco II, durante a quadratura e sizígia. ....	443
Tabela 4-26: Resultado da análise harmônica da maré dos rios Mojuim e Mocajuba. ....	450
Tabela 4-27: Principais parâmetros de maré dos rios Mojuim e Mocajuba. ....	451
Tabela 4-28: Fluxo e transporte de volume calculados para o rio Mojuim, período seco. ....	454
Tabela 4-29: Fluxo e transporte de volume calculados para o rio Mojuim, período chuvoso. ....	456
Tabela 4-30: Fluxo e transporte de volume calculados para o rio Mocajuba, período seco e chuvoso. ....	459

Tabela 4-31: Fluxo e transporte de volume calculados para o canal de conexão do sistema Mojuim-Mocajuba, período chuvoso. ....	464
Tabela 4-32: Médias sazonais de turbidez (NTU) na superfície e fundo durante um ciclo de maré nas estações do canal de conexão M3 e M7. ....	466
Tabela 4-33: Velocidade da corrente no canal de maré do Pesqueiro, nos diferentes estágios de maré. ...	480
Tabela 4-34: Transporte médio do volume instantâneo e velocidade da corrente no rio Paracauari nos diferentes estágios de maré. ....	483
Tabela 4-35: Constantes harmônicas identificadas no ponto amostral 1 (S7), região externa do rio Sucuriju. Fase referente ao horário local. ....	491
Tabela 4-36: Constantes harmônicas identificadas no ponto amostral 2 (S1) região próximo à foz do rio Sucuriju. Fase referente ao horário local.....	492
Tabela 4-37: Constantes harmônicas identificadas no ponto amostral 3 (S5), à montante do rio Sucuriju. Fase referente ao horário local. ....	493
Tabela 4-38: Número de forma, razões de distorção e análise de assimetria para os pontos amostrais do rio Sucuriju. ....	494

## 4. AQUISIÇÃO DE DADOS OCEANOGRÁFICOS

A aquisição de dados primários pelo Projeto Costa Norte representa uma das etapas no conceito de desenvolvimento de metodologias para o entendimento da Vulnerabilidade da Costa Amazônica. A abordagem multidisciplinar e integradora no conceito metodológico visou a complexidade do ambiente, de forma a caracterizar o sistema e entender os seus processos. Para tanto, os dados foram levantados em escalas espaciais distintas: costeira/estuarinas e Oceânica, bem como em escalas temporais que variaram de inter-marés, sazonais a anuais.

As informações primárias coletadas na Plataforma Continental subsidiaram a implementação dos modelos hidrodinâmicos e de dispersão de óleo, os quais determinaram a suscetibilidade ao óleo ao longo da Costa. Os dados levantados nas regiões costeiras e estuarinas, além de indicar a variação da Suscetibilidade ao óleo nas florestas de mangue, permitiram o prognóstico da sensibilidade e resiliência nesses ambientes. A diversidade de métodos e escalas na aquisição de dados exigiu equipes específicas para coletas de Plataforma Continental e Costeiras.

A periodicidade mensal nos cruzeiros oceanográficos para aquisição de dados na plataforma continental demandou um alto esforço logístico e de recursos humanos, contudo conseguiu, de forma precursora, realizar uma análise inédita de processos oceânicos inerentes à escala mensal, e validar o padrão sazonal de processos hidrodinâmicos.

A pesquisa nas regiões costeiras estuarinas, também com uma equipe dedicada, abrangeu quatro estuários com características específicas. As variações inter-marés e sazonais levantada em cada um deles, bem como as dificuldades logísticas de acesso e infra-estrutura demandaram um grande esforço de recursos humanos.

Ressalta-se que alguns estuários tiveram ao longo do projeto a sua primeira caracterização de dados Hidrodinâmicos e Hidrológicos. Além do ineditismo das informações básicas, foi possível descrever processos, como a Pororoca, a formação de Zona de Turbidez Máxima, Transporte de massa, inversão de fluxos, etc.

Este capítulo tem como objetivo detalhar as metodologias e apresenta os resultados dos dados adquiridos na Plataforma Continental e Zona Costeira/estuarina da Margem Equatorial Brasileira (MEB).

### 4.1. Plataforma Continental

A aquisição de dados na Plataforma Continental Amazônica (PCA) ocorreu por meio dos lançamentos de derivadores de superfície (três tipos diferentes) ao longo de doze campanhas oceanográficas mensais. Os derivadores são equipamentos que transmitem as suas coordenadas geográficas praticamente em tempo real, em intervalos de 30 minutos. As características de cada um dos três tipos de derivadores utilizados no PCN serão abordados posteriormente. Foram determinados seis pontos, sendo três localizados na Bacia Pará-Maranhão e os outros três na Bacia Foz do Amazonas. Estes pontos estão situados em regiões da PCA rasa (30 m) até regiões profundas do Oceano Atlântico Tropical. Os parâmetros físicos são importantes na análise dos modelos numéricos do PCN e na compreensão dos processos hidrodinâmicos costeiros na PCA.

Houve desafios durante a execução das campanhas, devido as características morfodinâmicas costeiras (e.g., presença de bancos arenosos, acesso às localidades, aluguel de embarcações). Além disso, as condições de navegação em determinadas condições atmosféricas apesar de não inviabilizar as coletas,

apresentavam certas dificuldades. Contudo, não há precedentes de outro grande projeto científico na PCA com esta metodologia, o que permite o caráter inédito dos dados coletados no âmbito do PCN. A utilização dos derivadores em regiões equatoriais tão peculiar como a PCA ocorreu pela primeira vez. Ainda em comparação, bancos de dados robustos de projetos passados ocorreram há pelo menos mais de uma década atrás. Portanto, as informações apresentadas neste módulo contemplam diversas inovações e contribuições técnico-científicas para a PCA e a borde oeste do Oceano Atlântico Tropical.

#### 4.1.1. Objetivos

O principal objetivo nos lançamentos dos derivadores de superfície é a análise da hidrodinâmica da PCA. Para isso, alguns objetivos específicos foram determinados: análise das trajetórias e relacioná-las aos processos físicos da região – marés, Corrente Norte do Brasil (CNB), retroflexão e giros associados à CNB, ventos e efeitos geostróficos; tempo de transmissão e dispersão espacial dos equipamentos; eventos de contato com a costa e; diferenças verticais entre os três tipos de derivadores utilizados no PCN.

#### 4.1.2. Metodologia

Para análise hidrodinâmica na PCA, foram utilizados três modelos de derivadores superficiais ao longo das campanhas, com um total de 144 lançamentos, sendo 139 bem-sucedidos. Foram determinados seis pontos de lançamentos na PCA (Figura 4-1). Os pontos foram nomeados de “DF” e numerados em ordem crescente de acordo com o lançamento.

Nas 12 campanhas realizadas, o trajeto da embarcação iniciou na região da baía de São Marcos, com lançamentos de derivadores nos pontos DF1, DF2 e DF3 nas isóbatas de 100 m a 2000 m. O barco seguiu para a região oeste da PCA, em frente à foz dos rios Pará e Amazonas, com lançamento em DF4 e DF5 nas isóbatas 30 m e 500 m, respectivamente. Posteriormente, os derivadores foram lançados em DF6, em frente ao Amapá, na isóbata de ~2500 m.

Assim, os pontos de lançamentos DF1, DF4 e DF5 estão localizados na plataforma interna, em isóbatas inferiores à 100 m de profundidade. Os pontos DF2, DF3 e DF6 estão localizados na plataforma oceânica, com isóbatas acima de 100 m de profundidade.

As campanhas ocorreram de fevereiro de 2018 a fevereiro de 2019, com exceção de maio, durante o qual não houve campanha. Além disso, devido a problemas logísticos, não houve o lançamento de derivadores no ponto DF6 em fevereiro de 2019. Em geral, as campanhas foram iniciadas em maré de sizígia e com duração média de 8,4 dias de navegação. A Tabela 4-1 apresenta um resumo das campanhas realizadas no âmbito do Projeto Costa Norte.

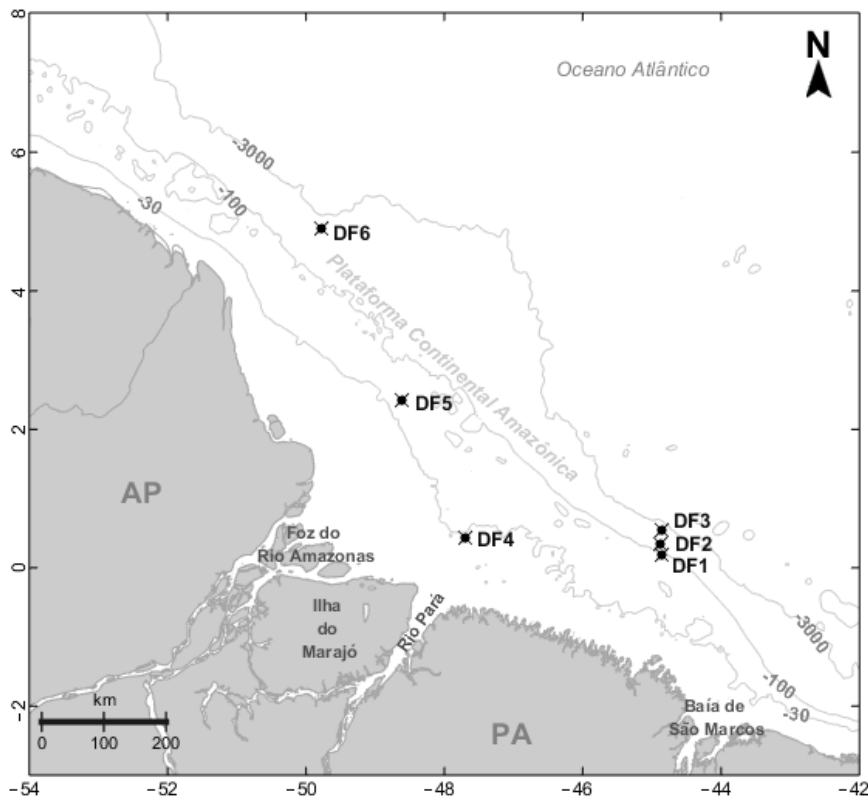


Figura 4-1: Representação dos pontos de lançamento de derivadores na Plataforma Costeira Amazônica.

Tabela 4-1: Resumo das campanhas do Projeto Costa Norte na PCA ao longo de alguns meses dos anos de 2018 e 2019.

Campanha (mês/ano)	Início (dia/mes)	Fim (dia/mês)	Distância Navegada (milhas)	Horas Navegadas	Duração (dias)
Fev/18	12/Fev	17/Fev	745	118	5
Mar/18	12/Mar	20/Mar	1173	190	8
Abr/18	12/Abr	20/Abr	1238	203	8,5
Jun/18	21/Jun	2/Jul	1585	276	11,5
Jul/18	26/Jul	6/Ago	1400	241	10
Ago/18	27/Ago	4/Set	1243	201	8,4
Set/18	22/Set	30/Set	1235	192	8
Out/18	16/Out	23/Out	1205	186	7,8
Nov/18	13/Nov	28/Nov	1730	273	11,4
Dez/18	7/Dez	15/Dez	1237	196	8,2
Jan/19	14/Jan	21/Jan	1240	178	7,4
Fev/19	14/Fev	23/Fev	1110	164	7

Os derivadores utilizados nas campanhas foram os modelos NOMAD, CODE e SVP (Figura4-2). Estes derivadores apresentam seu sistema de comunicação por telemetria de satélites Iridium e posicionamento por *Global Position System* (GPS). A frequência de transmissão de dados dos equipamentos foi de 30 minutos.

O derivador de superfície do modelo NOMAD *Offshore* é fabricado pela SouthTek, desenvolvido para representar correntes de superfície com influência do regime de ventos. Este equipamento possui formato cilíndrico submerso, com 72 cm de comprimento total e massa de aproximadamente 3,0 kg (Figura4-2-A). Ele não apresenta qualquer tipo de vela e possui células fotovoltaicas que permitem maior durabilidade de sua bateria. Além de estar diretamente exposto ao atrito do vento na superfície do oceano, este equipamento também sofre forte influência das ondas de gravidade superficiais.

O derivador do modelo CODE (*Coastal Ocean Drift Experiment*) é fabricado pela MetOcean Instruments e possui formato cilíndrico com 10 cm de diâmetro, velas submersas (*drogues*) em formato de cruz, com 71 cm de altura (profundidade da vela) e 51 cm de largura, além de massa igual à 8,4 kg (Figura4-2-B). Apresenta também um sensor de temperatura. Este equipamento é transportado em superfície por correntes à 1,0 m de profundidade, porém com menor influência dos ventos e ondas. As velas reduzem o efeito do vento sobre a deriva, de modo que sua trajetória apresenta diminuição da transferência de *momentum* da atmosfera para o oceano. As trajetórias deste equipamento são produtos da dinâmica oceânica em superfície.

Por fim, o derivador do modelo SVP (*Surface Velocity Program*) também é fabricado pela MetOcean Instruments. Este equipamento é composto por duas estruturas: uma boia de superfície que contém os componentes eletrônicos e uma vela submersa (*drogue*) responsável pela deriva. A vela submersa possui 60 cm de diâmetro e 6,1 m de comprimento (à 15 m de profundidade média) e a boia de superfície apresenta formato esférico com 40 cm de diâmetro de massa 18 kg. Ele possui um sistema de satélites por telemetria e assim como o derivador CODE, também apresenta um sensor de temperatura. A proporção entre a porção emersa e submersa do equipamento é de 1:40, o que reduz o efeito do vento. Sua trajetória é produzida por correntes integradas para os primeiros 20 m de profundidade do oceano (Figura4-2-C).

Para os pontos DF4, DF5 e DF6, somente o derivador NOMAD foi lançado. A Tabela 4-2 apresenta detalhes da localização dos lançamentos, assim como os modelos de derivadores lançados na PCA.



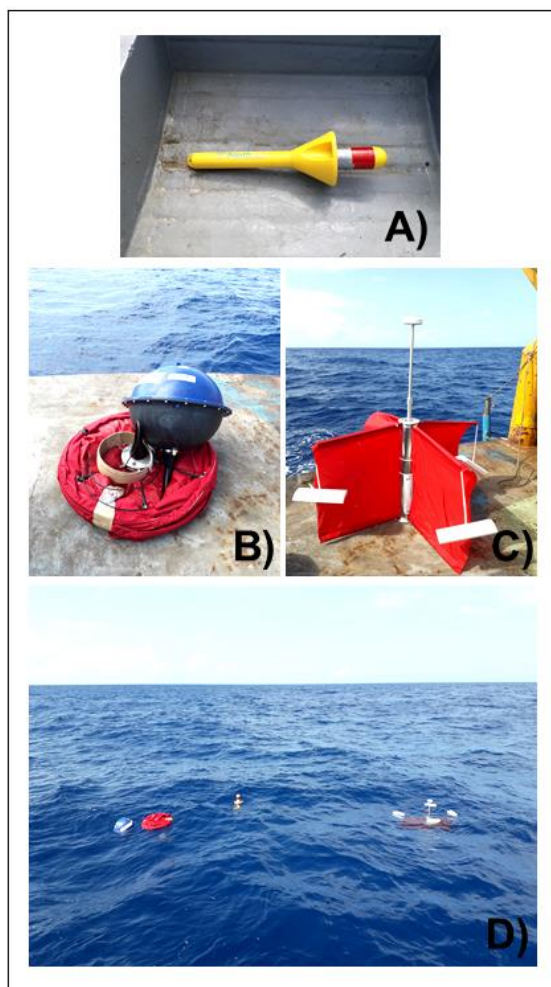


Figura4-2: Imagens dos três modelos de derivadores superficiais lançados na PCA. A) NOMAD; b) SVP; c) CODE e; d) os três equipamentos na água após o lançamento.

Tabela 4-2: Coordenadas geográficas em graus, minutos e decimais, e os tipos de equipamentos lançados em cada ponto amostral na PCA.

Ponto	Latitude	Longitude	Profundidade	Derivador
DF1	0° 11,49' N	44° 51,83' W		NOMAD
			100 m	CODE
				SVP
DF2	0° 20,40' N	44° 52,85' W		NOMAD
			300 m	CODE
				SVP
DF3	0° 32,30' N	44° 51,99' W		NOMAD
			2000 m	CODE
				SVP
DF4	0° 25,73' N	47° 41,88' W	30 m	NOMAD
DF5	2° 24,78' N	48° 36,99' W	50 m	NOMAD
DF6	4° 53,96' N	49° 46,45' W	2500 m	NOMAD

Foram adquiridos dados de intensidade e direção do vento do banco de dados ERA5 do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather*) a 10 m de altura. Os limites da grade de dados são  $-68^\circ / -28^\circ$  O e  $-6^\circ$  S /  $24^\circ$  N, com resolução de  $0,25^\circ$ . Devido à dimensão da área de estudo, foram determinados dois pontos na PCA para identificação das campanhas oceanográficas nas séries temporais de vento: um para leste da PCA (Pará-Maranhão) e outro para oeste (foz do rio Amazonas). As coordenadas destes pontos são as mesmas dos lançamentos de derivadores em DF1 e DF5 (ver Tabela 4-2). A Figura 4-3 apresenta as séries temporais para estes pontos e o período das coletas dos dados ao longo das 12 campanhas.

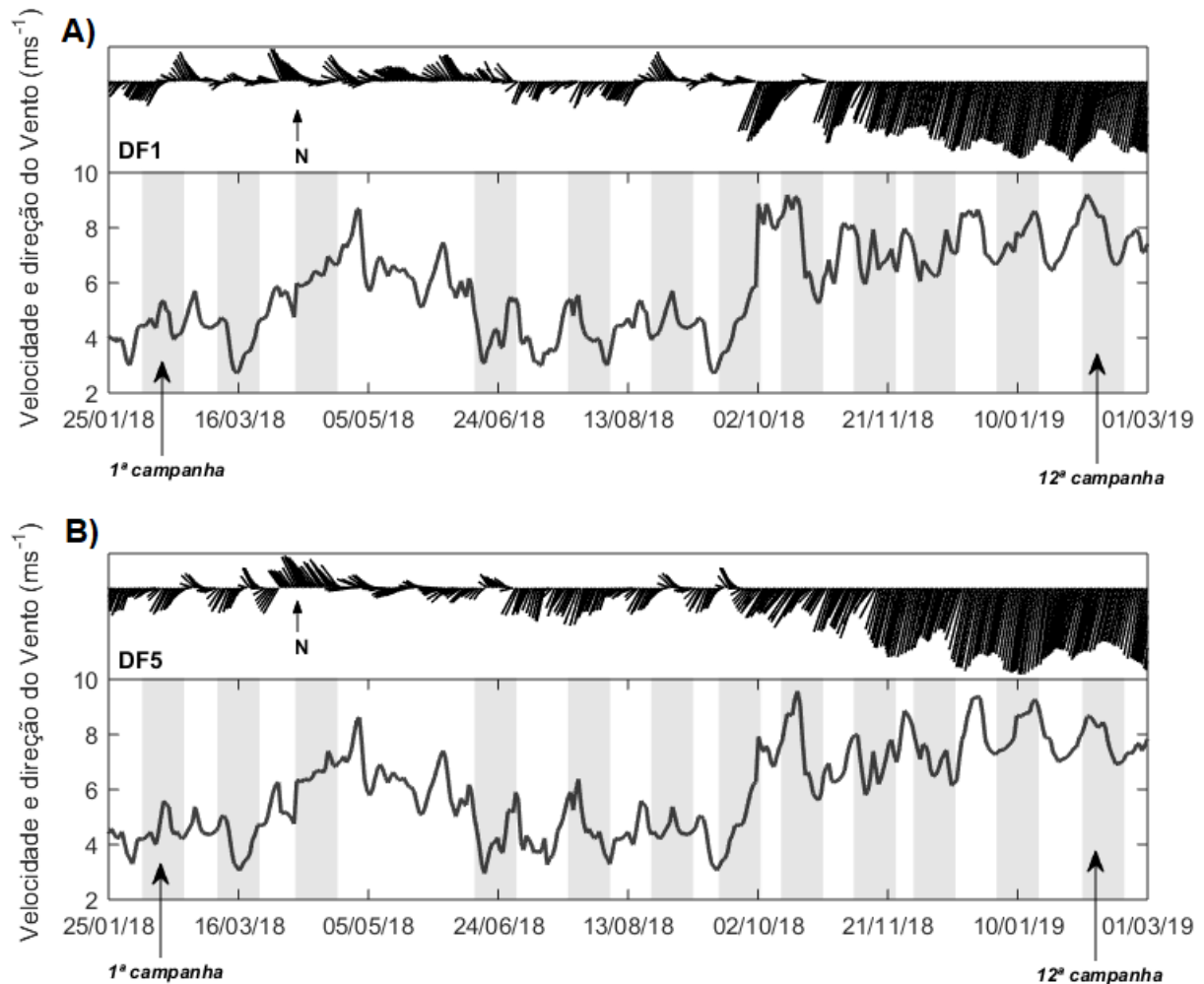


Figura 4-3: *Stickplot* e séries temporais da intensidade e direção do vento proveniente do ERA5 com a indicação das 12 campanhas oceanográficas na PCA (área hachuradas em cinza). A) ponto DF1 e B) ponto DF5.

Os pontos DF1 e DF5 apresentaram diferenças em intensidades de até  $2,5 \text{ m.s}^{-1}$  e de  $6^\circ$  na direção quando analisadas as séries temporais do ERA5. Também é possível verificar que a intensidade dos ventos de nordeste no primeiro trimestre de 2019 é quase duas vezes maior que o primeiro trimestre de 2018. As máximas velocidades durante o primeiro trimestre de 2018 são os valores mínimos observados no primeiro trimestre de 2019. Além disso, durante o ano de 2018, ocorreram variações de direção média do vento entre nordeste/leste/sudoeste em mais da metade da série temporal. Ventos constantes e intensos de nordeste são observados a partir do final de outubro de 2018. O ponto DF1, região leste da PCA (Pará-Maranhão) apresentou ventos de leste mais frequentes e intensos quando comparados ao DF5, na foz do

rio Amazonas (Figura 4-4). Contudo, ao longo da série temporal, os ventos de nordeste são predominantes de maior intensidade.

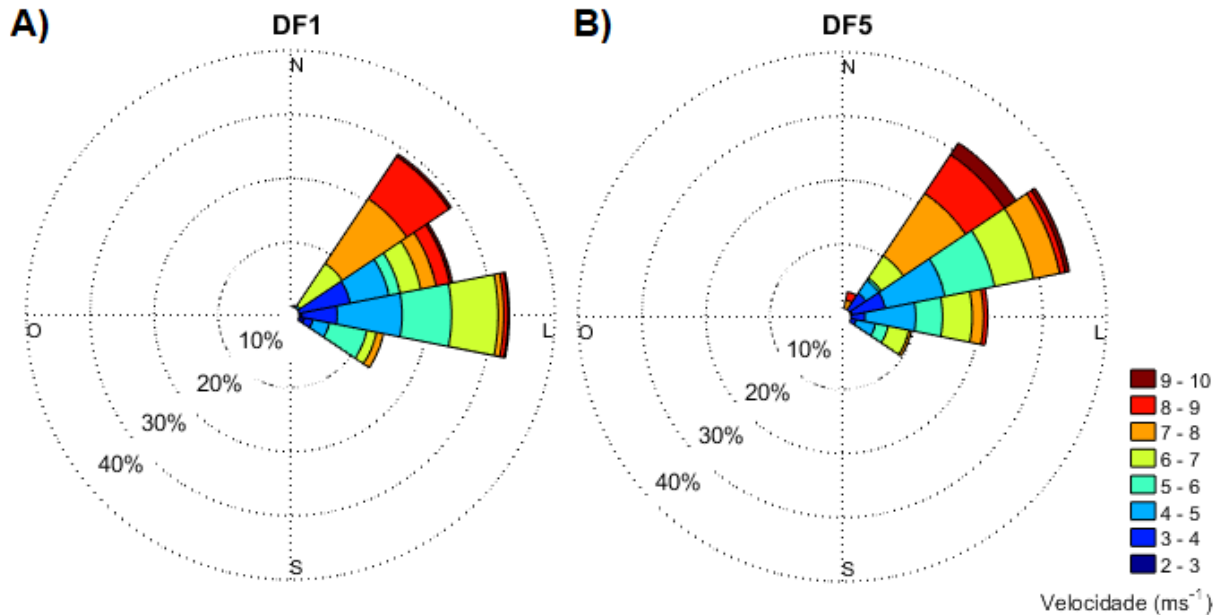


Figura 4-4: Rosa dos ventos das séries temporais da intensidade e direção do vento proveniente do ERA5 na PCA: A) ponto DF1 e B) ponto DF5.

O procedimento inicial no processamento de dados dos derivadores é aplicar o controle de qualidade proposto por HANSEN e POULAIN (1996), baseado em determinar as velocidades em uma dimensão entre localizações consecutivas. Trata-se de um procedimento que avalia a consistência dos dados enviados pelo equipamento. Os valores interpolados são estimados por uma combinação linear baseada no número de dados vizinhos ao longo do tempo (método de interpolação denominado *neighbor*).

O método calcula o diferencial do espaço em uma dada posição, considerando os pontos anterior e próximo em relação a esta posição (chamado também de *backward-forward position*). Portanto, admitindo uma série temporal de posições  $x_i = x(t_i)$  que não é uniformemente distribuída no tempo  $t_i$ , temos que a velocidade média ( $U$ ) entre dois pontos consecutivos é:

$$U = \frac{1}{t_{i+1} - t_i} \int_{t_i}^{t_{i+1}} u(t) dt$$

$$= \frac{1}{t_{i+1} - t_i} \int_{t_i}^{t_{i+1}} \partial_t x(t) dt = \frac{(x_{i+1} - x_i)}{(t_{i+1} - t_i)}$$

Equação 1

sendo, portanto, prontamente obtida a partir de posições e tempo discretos. O valor de  $u$  representa a velocidade instantânea em uma dada posição. É necessário definir uma velocidade máxima de corte, sendo que isso basicamente é determinado pelo conhecimento prévio acerca das características da circulação local e nas observações de histogramas de velocidade (HANSEN e POULAIN, 1996). O valor de corte estipulado para o presente estudo foi de  $3,0 \text{ ms}^{-1}$  com base na literatura utilizada sobre a dinâmica da PCA.

De acordo com o trabalho pioneiro de GONELLA (1972), foram calculados os componentes espectrais rotacionais para a magnitude de velocidade dos derivadores. Este método pode ser aplicado tanto para processos não estacionários, bem como fluxos espacialmente heterogêneos, como também em medições lagrangeanas (GONELLA, 1972). Este método pode ser aplicado também para identificação de giros turbulentos (*turbulent eddies*) relativos ao campo de velocidade rotacional (ASSIREU *et al.* 2017).

Os componentes de velocidade norte-leste ( $u_x, u_y$ ) foram escritos na forma complexa em que  $u(t) = u_x + iu_y$ . Temos também que a Transformada Rápida de Fourier (TRF) é calculada por  $F_u = \hat{u}(\omega)$ . Portanto, temos que o espectro rotacional de  $u(t)$  é:

$$s_{uu}(\omega) = \frac{1}{N\Delta t} \langle \hat{u} * \hat{u} \rangle$$

Equação 2

em que frequências negativas representam componentes rotacionais em sentido horário e as frequências positivas em anti-horário;  $\omega$  representa a velocidade angular. Na análise do presente estudo,  $\Delta t = 0,5$  h e representa a taxa amostral e  $N$  é o número de posições. Os símbolos  $\langle \rangle$  representam média temporal da velocidade entre cada posição.

Também é possível calcular o espectro cruzado rotacional entre as velocidades dos derivadores com a velocidade do vento local:

$$s_{wu}(\omega) = \frac{1}{N\Delta t} \langle \hat{w} * \hat{u} \rangle$$

Equação 3

em que  $\hat{w}$  representa a TRF da parte complexa da velocidade do vento  $w(t)$ . A coerência representa a estimativa de o quanto duas séries temporais estão em fase, nesse caso, a análise da coerência foi aplicada para avaliar a relação entre as velocidades dos derivadores e do vento:

$$\gamma^2_{wu}(\omega) = \frac{|S_{wu}|^2}{S_{uu}S_{ww}}$$

Equação 4

sendo  $S_{ww}$  o espectro rotacional do vento.

Por fim, é possível determinar a admitância, que significa a porcentagem do total da velocidade dos derivadores que é forçada pela ação do vento:

$$Z_{wu}(\omega) = \frac{S_{wu}}{S_{ww}}$$

Equação 5

sendo que esta equação pode ser alterada, de acordo com a Equação 2 e Equação 4. Dessa forma, a admitância para uma escala de frequência em particular  $\omega$ , temos que a Equação 5 pode ser simplificada pela razão entre as velocidades dos derivadores e do vento:

$$|Z_{wu}|(\omega) \sim \left( \frac{|u|}{|w|} \right)$$

Equação 6

em que  $|u|$  e  $|w|$  representam as velocidades dos ventos e derivadores para os componentes da TRF de acordo com a frequência de  $\omega$ . Análises de leeway (porcentagem da velocidade do derivador gerada pelo vento) e de ângulo de deflexão também é importante calcular o coeficiente de correlação complexo (R) (KUNDU, 1976):

$$R = \frac{\langle u'.w' \rangle}{\sqrt{\langle u'.u' \rangle \langle w'.w' \rangle}}$$

Equação 7

sendo  $u' = u - \bar{u}$  e  $w' = w - \bar{w}$ ; onde  $\bar{u}$  e  $\bar{w}$  são valores médios das velocidades do derivador e do vento, respectivamente. O ângulo de fase ( $\phi$ ) representa a diferença entre o ângulo de deriva dos equipamentos ( $\phi_u$ ) com o ângulo de atuação do vento ( $\phi_w$ ). Estas análises para dados lagrangeanos foi estipulada de acordo com os trabalhos de ASSIREU *et al.* (2017), CRAWFORD *et al.* (1997), GONELLA (1972) e RÖHRS e CHRISTENSEN (2015).

Estes cálculos aplicados às séries temporais de velocidade dos derivadores são referentes as análises no domínio da frequência. Portanto, é possível identificar os processos físicos atuantes nas trajetórias a partir da separação de sinal das oscilações de diferentes frequências, e.g., diurnas, semidiurnas, inercial. Cada processo apresenta um espectro de frequência próprio, o que possibilita determinar o período de cada fenômeno.

### 4.1.3. Resultados

Os principais resultados referentes aos dados dos derivadores e a da reanálise do vento proveniente do ERA5. A apresentação dos resultados foi dividido em: sazonalidade, de acordo com as variações temporais das campanhas oceanográficas; espacial, abordando a dispersão dos derivadores ao longo da PCA e da borda oeste do Oceano Atlântico Tropical, assim como o contato com a costa; efeito do vento sobre a deriva dos equipamentos, com abordagem dos espectros rotacionais cruzado, de coerência, admitância e ângulo de fase. Os resultados abrangem as transmissões de dados até outubro de 2019.

#### 4.1.3.1. Sazonalidade

Os lançamentos de derivadores abrangeram a sazonalidade da região amazônica para o período de um ano. Em geral, o regime de ventos, a descarga fluvial e as correntes oceânicas geostróficas variaram sazonalmente, com exceção da oscilação de alta frequência e curto período das marés semidiurnas. Os resultados que serão apresentados a seguir são referentes às trajetórias dos derivadores em função da sazonalidade na PCA (Figura 4-5).

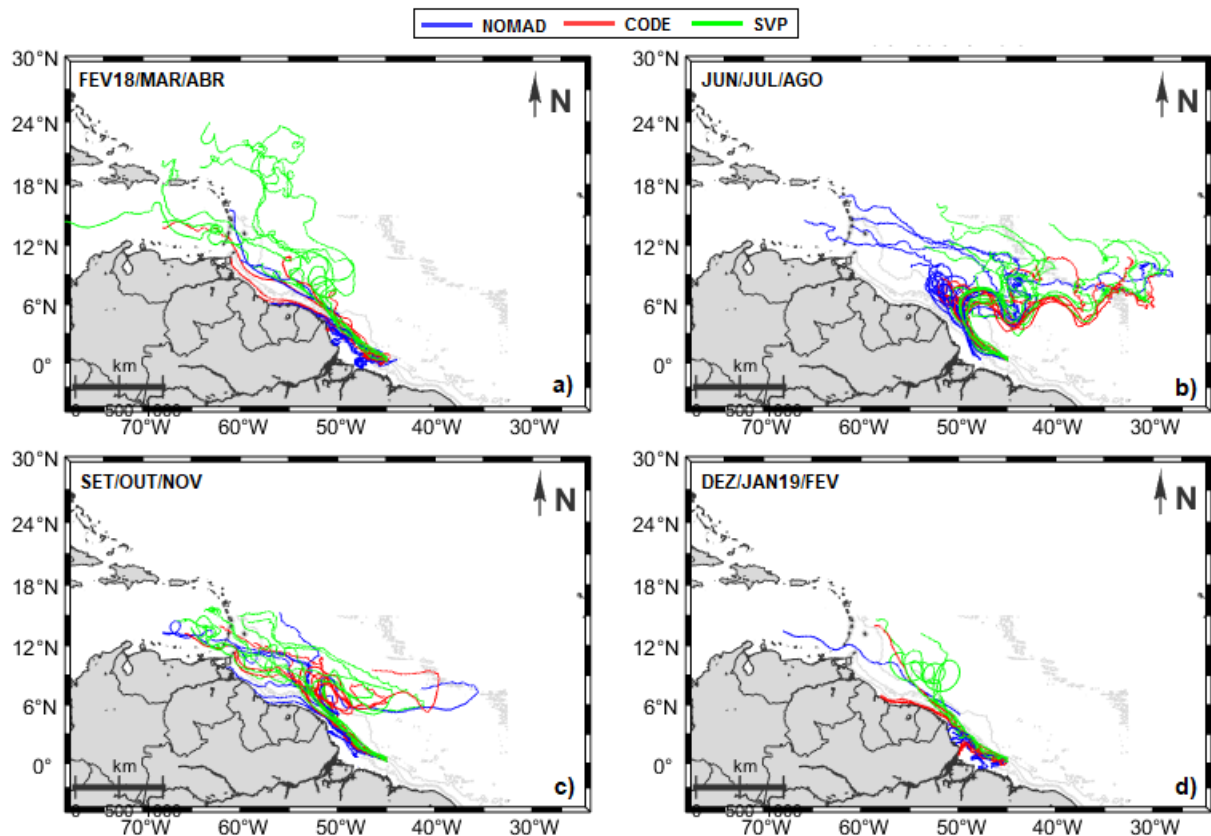


Figura 4-5: Trajetórias dos derivadores separados em trimestres, sendo: a) fevereiro, março e abril de 2018; b) junho, julho e agosto de 2018; c) setembro, outubro e novembro de 2018 e; d) dezembro de 2018, janeiro e fevereiro de 2019.

Durante o primeiro trimestre de campanhas (Figura 4-5-A), o qual representa o período chuvoso, os processos físicos foram influenciados pela: elevada descarga fluvial dos rios Amazonas e Pará; ventos alísios de nordeste; e CNB para noroeste e distante da plataforma. Os derivadores que atingiram a costa foram os modelos NOMAD e CODE, principalmente nos países da América do Sul e no litoral dos estados do Amapá e Pará. O derivador SVP apresentou a maior dispersão espacial na PCA interna e plataforma oceânica.

No segundo trimestre (Figura 4-5-B), durante o período transicional, apenas o derivador NOMAD apresentou contato com a costa, alcançando países da região do Caribe, como Porto Rico. Além disso, neste período ocorre a mudança de direção dos ventos alísios para sudeste e a intensificação do fluxo da CNB. Logo, é possível observar a retroflexão desta corrente oceânica e a formação das ondas de Kelvin, em aproximadamente 6° N em direção à leste. Este padrão de dispersão ocorreu principalmente com os derivadores CODE e SVP. Também foram verificadas a presença de giros (*rings*) entre 6 – 10° N, sendo mais frequentes nos derivadores CODE e SVP.

No terceiro trimestre (Figura 4-5-C), durante o período seco, um derivador NOMAD atingiu o litoral do estado do Amapá, enquanto que os demais atingiram outros países da América Latina. Em geral, ainda foi possível verificar a retroflexão da CNB, porém, durante esse período, a maioria dos derivadores apresentaram trajetória para noroeste. Este representa o período de menor descarga fluvial dos rios Amazonas e Pará, com regime de ventos alísios de leste – sudeste menos intensos comparados aos ventos de nordeste do primeiro trimestre.

Por fim, no quarto trimestre (Figura 4-5-D), período chuvoso novamente, os derivadores NOMAD e CODE atingiram as costas amapaenses e paraenses e outros países da América do Sul. Ao longo deste período,

são novamente verificados os alísios de nordeste, e também ocorre aumento da descarga fluvial sobre a PCA. Os ventos alísios de nordeste durante o primeiro trimestre de 2019 são mais intensos quando comparados ao primeiro trimestre de 2018, como foi apresentado na Figura 30. Os derivadores apresentam trajetória preferencial para noroeste, com algumas exceções de contato com a costa (NOMAD e CODE) e execução de giros pelos derivadores SVP. Neste trimestre não há ocorrência da retroflexão da CNB. As trajetórias não previstas, ou seja, excepcionais, foram analisadas separadamente e serão apresentadas nos tópicos a seguir.

#### 4.1.3.2. Espacial

Como foi descrito na metodologia da coleta de dados da PCA, foram determinados seis pontos de lançamentos de derivadores. No ponto DF1 (Figura 4-6), é possível verificar influência das marés na PCA e contatos com a costa (dentro e além do território brasileiro), bem como os processos oceânicos de mesoescala. Os principais processos associados ao fluxo da CNB são os *rings* (giros), retroflexão da CNB e as ondas de Kelvin em direção à leste, em uma corrente conhecida como Contracorrente Norte Equatorial (CCNE) entre 4 – 8° N. O ponto DF1 se diferencia por apresentar maior quantidade de *rings* nas trajetórias executadas pelos derivadores.

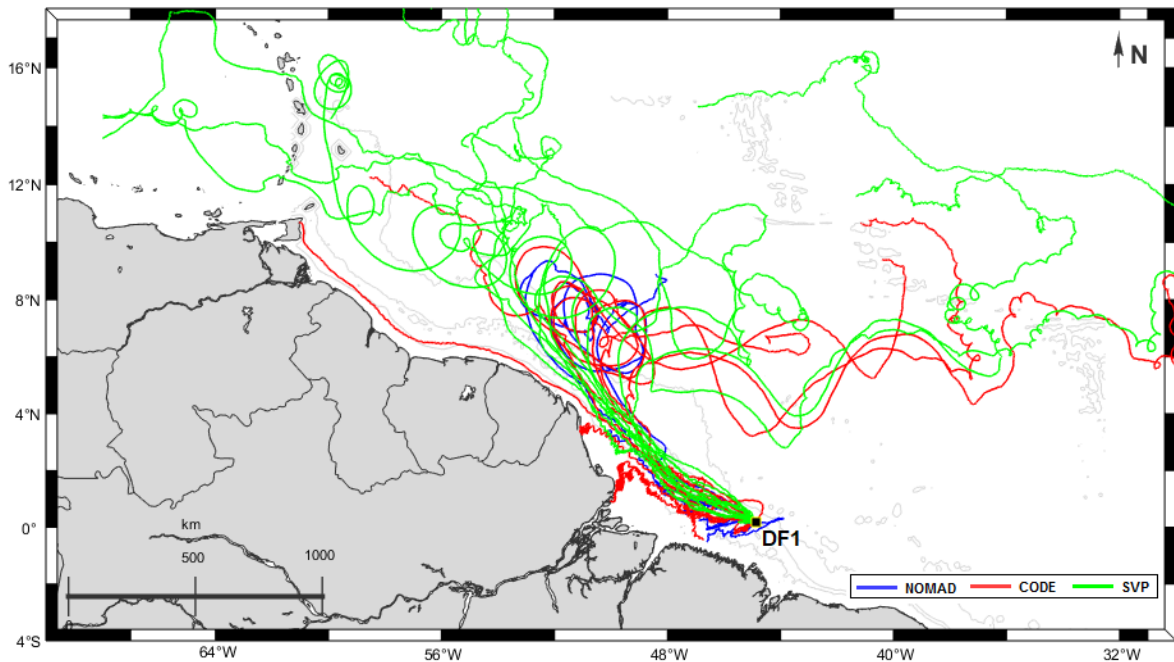


Figura 4-6: Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF1 (quadrado de cor preta). Os derivadores do tipo NOMAD são apresentados em azul, CODE em vermelho e SVP em verde.

Assim como foi verificado no ponto DF1, os derivadores lançados no ponto DF2 também apresentaram ampla dispersão espacial. A principal diferença entre os dois pontos se dá pelo fato de o ponto DF2 está localizado em região de quebra da PCA (~ 300 m). Quanto às trajetórias dos derivadores, é possível verificar que o processo físico relacionado às ondas de Kelvin no Oceano Atlântico Tropical ocorre somente com os derivadores do tipo CODE e SVP. A Figura 4-7 apresenta os resultados das trajetórias dos derivadores no ponto DF2. A principal diferença na dispersão espacial nos pontos DF1 e DF2, é que este não apresentou contato com a costa brasileira.

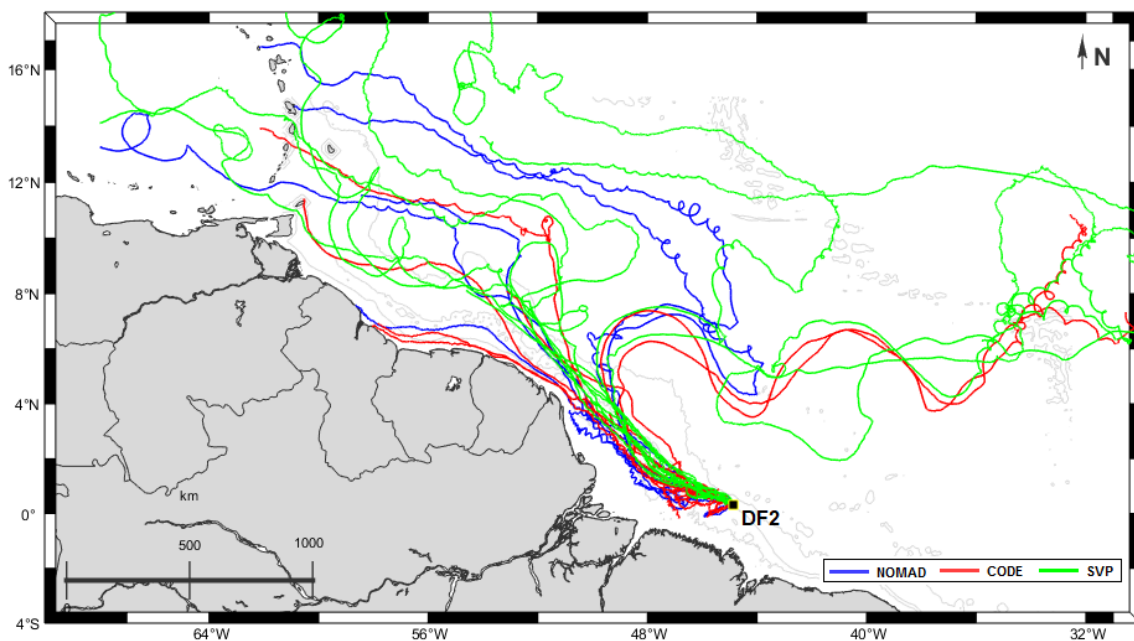


Figura 4-7: Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF2 (quadrado de cor preta). Os derivadores do tipo NOMAD são apresentados em azul, CODE em vermelho e SVP em verde.



No ponto DF3 (Figura 4-8), localizado além da quebra da PCA, não é evidente trajetórias relacionadas às ondas de Kelvin, diferentemente do observado nos outros dois pontos (DF1 e DF2). Além disso, assim como foi verificado no ponto de quebra da PCA (DF2 – 300 m), não ocorreram contatos com a costa brasileira no ponto DF3 (~ 2500 m). Não foi observado trajetórias bem definidas produzidas pelo processo físico equatorial referente às ondas de Kelvin.

Em geral, os pontos apresentados até então estão localizados no setor leste da PCA, em diferentes regiões (plataforma – DF1; quebra da plataforma – DF2 e; oceano profundo – DF3). As trajetórias dos derivadores lançados em todos os três pontos apresentaram forte influência da CNB para noroeste e a retroflexão dessa corrente, com um padrão bem definido e organizado de deriva (até ~ 4° N). Enquanto derivam em regiões com profundidades menores que 100 m são influenciados pelas marés na PCA. Estes pontos apresentaram ampla dispersão espacial, com trajetórias sujeitas às correntes inerciais acima de 8° N ao longo de grandes áreas do Oceano Atlântico Tropical.

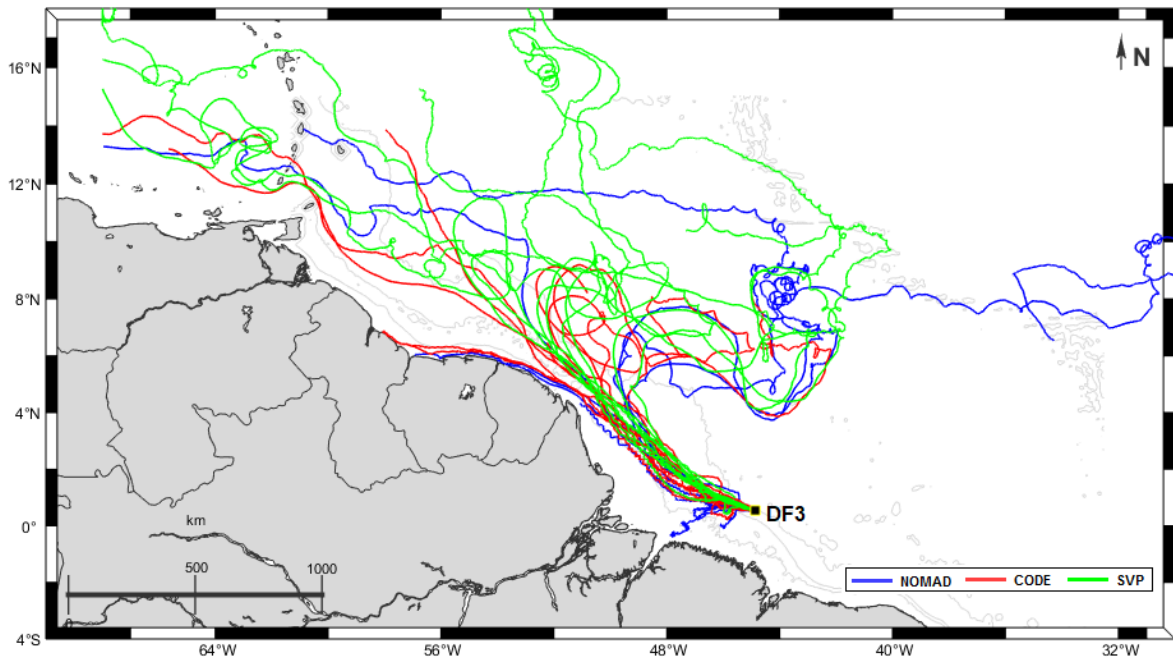


Figura 4-8: Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF3 (quadrado de cor preta). Os derivadores do tipo NOMAD são apresentados em azul, CODE em vermelho e SVP em verde.

Como descrito na metodologia, nos demais pontos (DF4, DF5 e DF6 – setor oeste da PCA) foram lançados somente derivadores NOMAD. A Figura 4-9 apresenta os derivadores lançados no ponto DF4. Este ponto apresentou a menor dispersão espacial, de modo que a maioria dos derivadores lançados neste ponto apresentaram trajetórias restritas à PCA rasa (profundidades menores que 100 m). Além disso, também foi nesse ponto que houve somente contato com a costa brasileira, sem ocorrência de contatos em territórios estrangeiros. Na Figura 4-9 é possível observar dois derivadores NOMAD que pararam de transmitir suas coordenadas e derivaram para noroeste, além da PCA.

É possível observar que alguns derivadores apresentaram uma trajetória para leste (sentido inverso à direção predominante das correntes residuais na PCA). O processo físico que gera o transporte para leste ainda não foi profundamente descrito pela literatura, porém, esta anomalia influenciou nas trajetórias dos derivadores que apresentaram contato com a costa paraense. O transporte para leste na PCA permitiu a ocorrência de eventos de deriva próximo à costa do nordeste. No capítulo 6 será abordado em específico este processo físico. O ponto DF4, apesar de estar localizado na PCA rasa, apresentou influência do fluxo da CNB para noroeste. Contudo, as correntes de marés são mais evidentes, principalmente em locais de grande amplitude, como no litoral no amapaense.

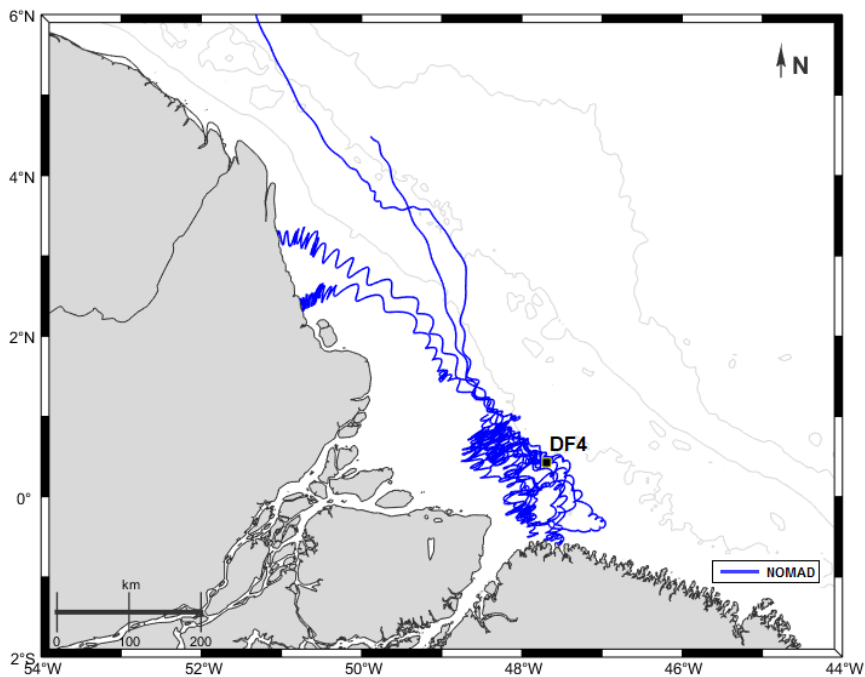


Figura 4-9: Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF4 (quadrado de cor preta). Os derivadores do tipo NOMAD são apresentados em azul.

O ponto DF está localizado em regiões rasas da PCA (50 m) e apresentou forte influência das marés. As correntes residuais de maré direcionadas para costa na PCA, juntamente com a ação dos ventos, resultaram no contato com a costa amapaense (Figura 4-10). Também foram verificadas trajetórias com *rings* e retroflexão da CNB. Foi observado também um derivador que atingiu o mar do Caribe após executar alguns giros. Em geral, a dispersão espacial ao longo do Oceano Atlântico Tropical foi reduzida comparada aos demais pontos do setor leste da PCA (DF1, DF2 e DF3).

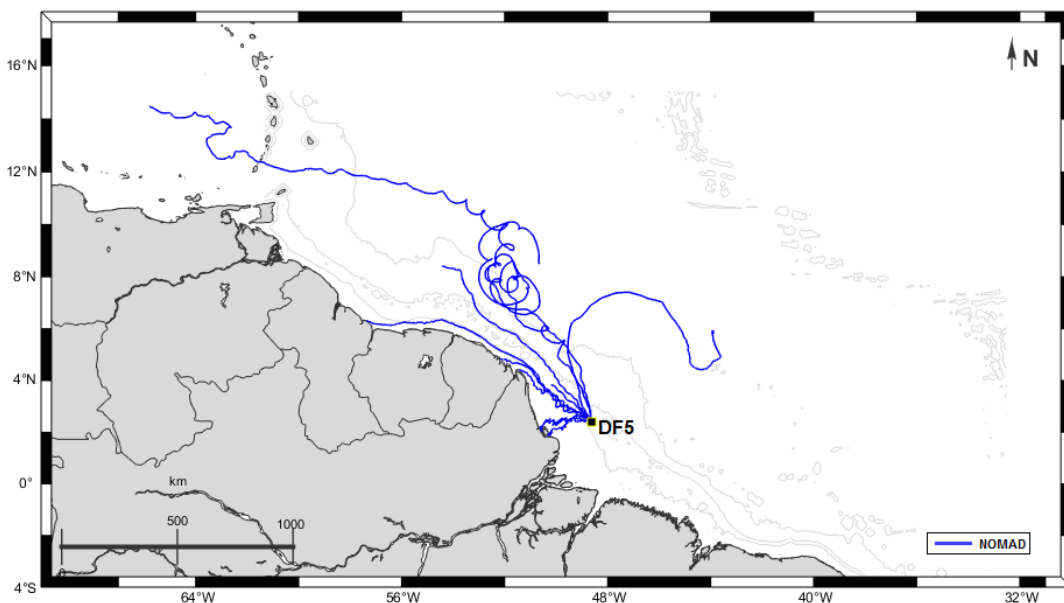


Figura 4-10: Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF5 (quadrado de cor preta). Os derivadores do tipo NOMAD são apresentados em azul.

Por fim, os NOMAD lançados no ponto DF6 são apresentados na Figura 4-11. Este ponto apresentou quase nenhuma influência das marés, uma vez que está localizado em regiões profundas além da PCA. Em geral, todos os derivadores apresentaram trajetória preferencial para noroeste em direção ao mar do Caribe. Portanto, a dispersão espacial dos derivadores está relacionada ao fluxo da CNB. Foi verificado somente um equipamento no ponto DF6 que não apresentou esta trajetória para noroeste, devido à influência da retroflexão da CNB.

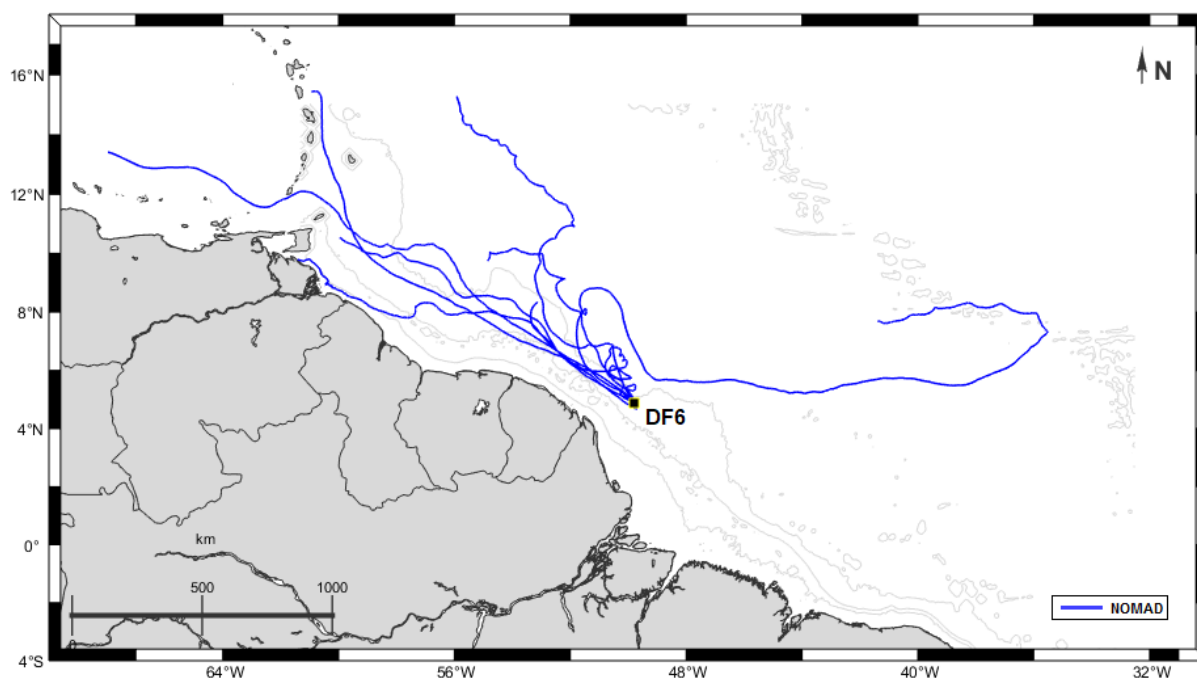


Figura 4-11: Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF5 (quadrado de cor preta). Os derivadores do tipo NOMAD são apresentados em azul.

Assim como ocorre diferenças ao longo do tempo (período do ano em que os derivadores são lançados), também há diferenças espaciais de acordo com a localização do ponto de lançamento. Em regiões rasas da PCA, os fluxos de maré residuais da maré em direção à costa (GEYER *et al.* 1996) são mais evidentes e, juntamente com a ação dos ventos, podem resultar em contatos com a costa. Estes contatos são mais frequentes na costa amapaense ou em outros países da América do Sul e ao longo do mar do Caribe. Porém, nos pontos além da quebra da PCA, processos de mesoescala do Oceano Atlântico produzem maior dispersão espacial dos equipamentos e podem ser resumidos em: fluxo da CNB para noroeste, retroflexão da CNB, ondas de Kelvin e correntes inerciais acima de 8° N. Portanto, os resultados dos derivadores demonstram claramente a variabilidade espaço-temporal dos processos físicos hidrodinâmicos em regiões internas da plataforma e além dos limites da PCA.

Os derivadores apresentaram variabilidades espaciais e temporais. Ainda, foi verificado que, quando não há transporte resultante para o mar do Caribe ou para o hemisfério norte, alguns derivadores atingem a costa. O tempo de transmissão entre cada equipamento lançado se mostrou ser uma variável importante, sendo o tempo médio de aproximadamente 3 meses ao longo da pesquisa (duração média de transmissão de 77 dias). A Figura 4-12 apresenta um resumo do tempo de transmissão de cada tipo de derivador em dias e um histograma.

Os histogramas mostram que os derivadores do tipo SVP apresentaram maior período de transmissão de dados durante as campanhas do PCN, com duração média de 194 dias. O CODE e NOMAD, média de 45 e

31 dias, respectivamente. O fato dos derivadores SVP não terem sido lançados em todos os pontos (principalmente pontos em regiões rasas da PCA, como DF4 e DF5) pode ter contribuído com o elevado período de transmissão de dados.

No geral, foram 38 equipamentos, sendo 2 SVP, 8 do tipo CODE e 24 derivadores NOMAD. Do total de derivadores que atingiram a costa, 24 desses toques ocorreram em território brasileiro, sendo 7 na costa paraense e 17 na costa amapaense (Figura 4-13). Os demais (14 derivadores) apresentaram contatos com a costa fora dos limites territoriais brasileiros.

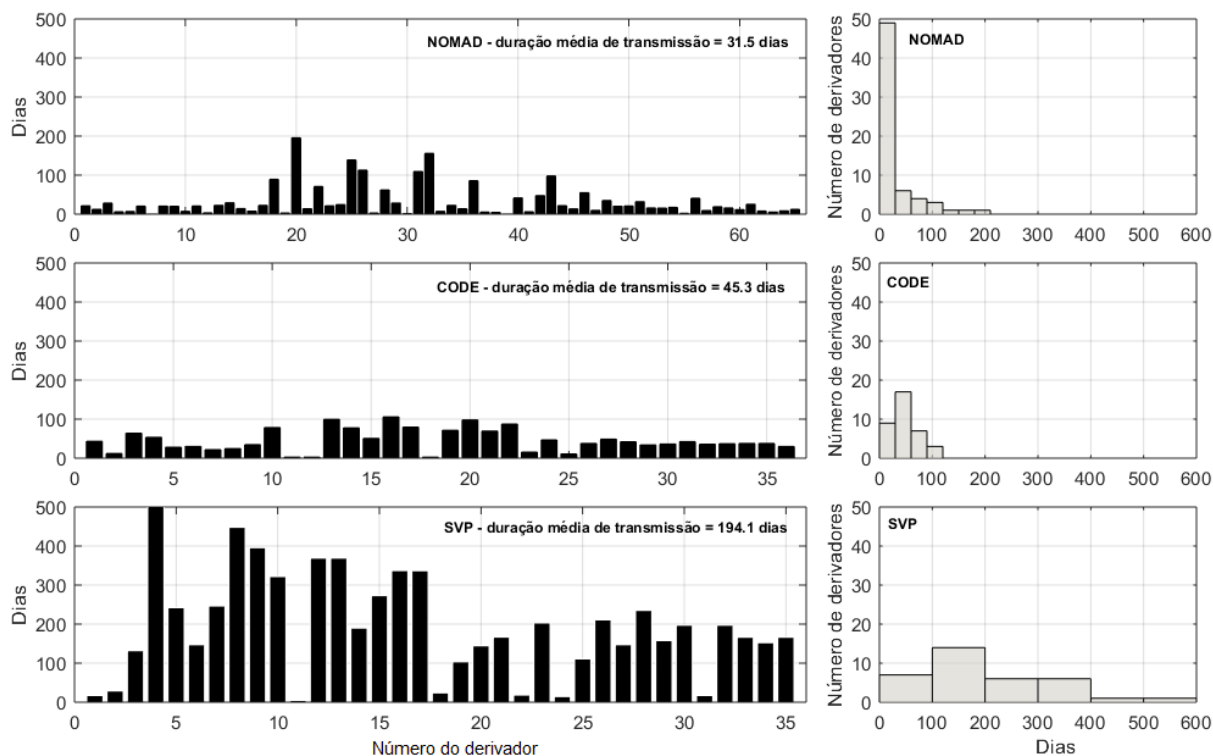


Figura 4-12: Gráfico em barras dos dias de transmissão para os derivadores NOMAD, CODE e SVP (gráficos da esquerda), também, é apresentado um histograma dos números de derivadores em função dos dias de transmissão (gráficos da direita).

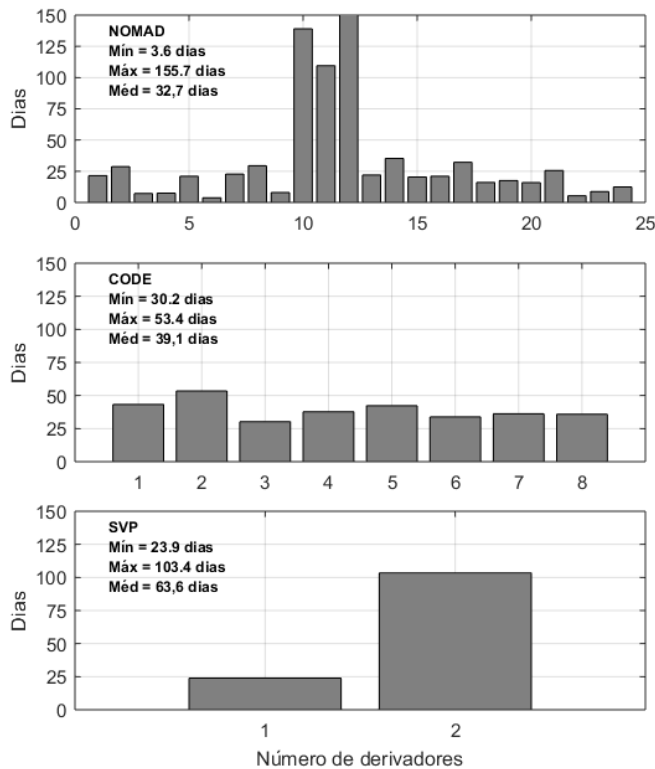


Figura 4-13: Gráfico em barras dos dias até o contato com a costa. Resultados para as transmissões dos derivadores SVP, CODE e NOMAD.

Os tempos de contato com a costa são apresentados na Tabela 4-3. Em todas as 12 campanhas, pelo menos um derivador atingiu a costa, sendo o NOMAD com o maior número de ocorrências registradas dentre os modelos. Isto está relacionado ao fato de ter sido o único tipo de derivador lançado em todos os seis pontos. Além disso, o ponto DF4 representa a região da PCA rasa (30 m), fato que permitiu que houvesse uma frequência maior de contato, especialmente com a amapaense. A exceção se deu no litoral paraense, onde os derivadores sofreram influência do transporte para leste nos meses de fevereiro e março. A Figura 4-14 apresenta o mapa de contato com a costa no Brasil e alguns países vizinhos da América do Sul e região do Caribe.

Todos os pontos apresentaram contato com a costa, porém o ponto DF4 (30 m) apresentou maior número de eventos. Ainda neste ponto, é importante destacar que todos os contatos ocorreram na costa brasileira (nos estados do Amapá e Pará). Em relação ao setor leste (Bacia Pará-Maranhão), somente o ponto DF1 (100 m) apresentou ocorrências de contato em território brasileiro. O mesmo ocorreu com o ponto DF5, no setor oeste da PCA (Bacia Foz do Amazonas), em que todos os contatos com a costa ocorreram no estado do amapá. O ponto DF6 apresentou somente um contato com costa brasileira.

Foi verificado um padrão temporal em todos os pontos em relação aos eventos de contato com a costa. Entre junho e setembro não ocorre contato com a costa brasileira, de modo que esses eventos se restringem à região do Mar do Caribe. De acordo com a sazonalidade do vento na PCA, é possível dizer que os derivadores atingem a costa em condições de ventos alísios de nordeste, principalmente entre os meses de novembro e abril. Além disso, durante este período, o núcleo da CNB flui em regiões além da quebra da PCA, o que reduz a quantidade de derivadores que são transportados para noroeste.

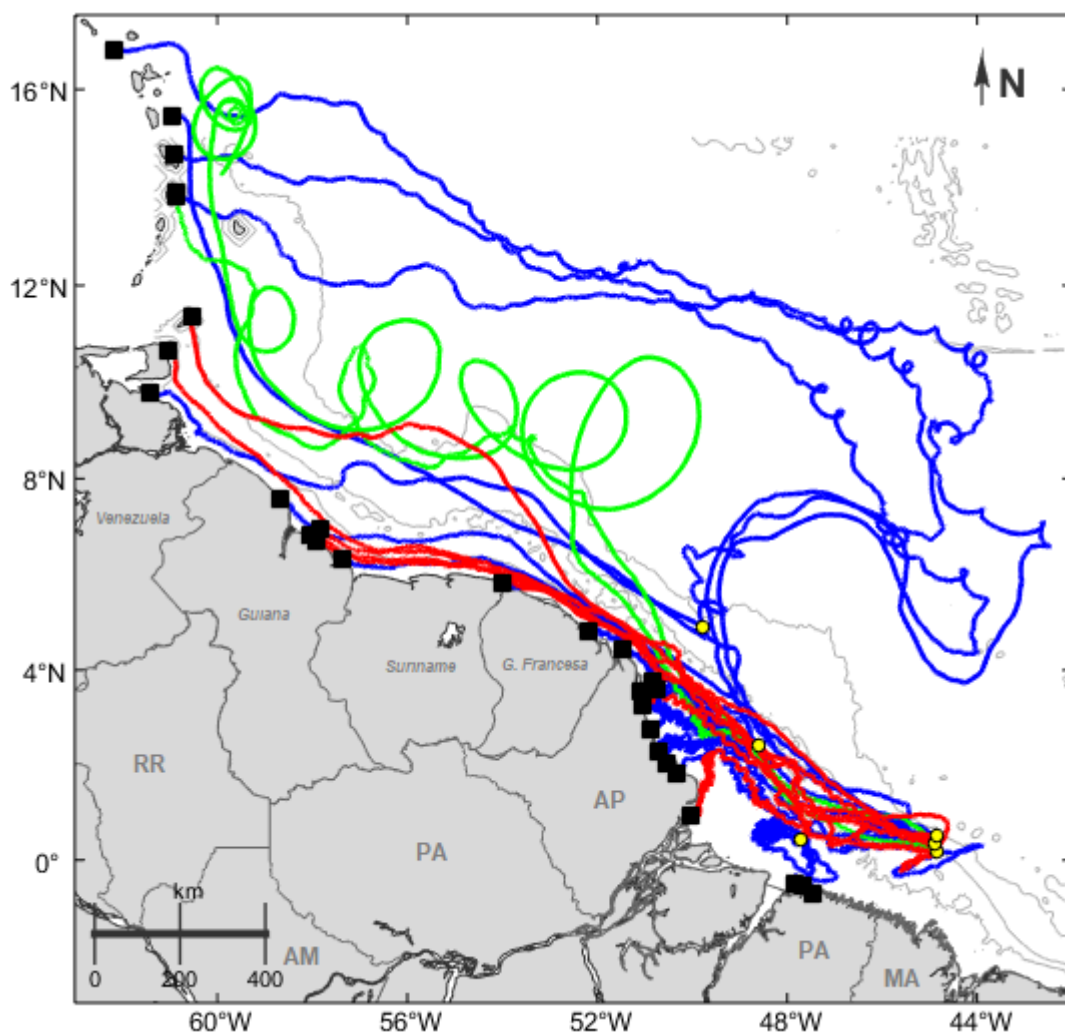


Figura 4-14: Mapa de trajetórias de derivadores NOMAD (em azul), CODE (vermelho) e SVP (verde). Os círculos em amarelo representam os seis pontos de lançamento e os quadrados pretos coordenadas de contato com a costa.

Tabela 4-3: Estatística básica do tempo de contato dos derivadores NOMAD, CODE e SVP lançados na PCA.

	Tempo de contato com a costa (dias)			
	Mínimo	Médio	Máximo	
NOMAD		3,6	32,7	155,7
CODE		30,2	39,1	53,4
SVP		23,9	63,6	103,4

#### 4.1.3.3. Espectro Rotacional Cruzado, Coerência, Admitância e Ângulo de Fase

Neste item serão apresentados os resultados para os espectros rotacionais cruzado, de coerência ( $\gamma_{wu}^2$ ), admitância ( $Z_{wu}$ ), e ângulo e fase ( $\phi$ ). Estas análises são importantes para compreender o efeito do vento sobre a deriva dos três tipos de equipamentos utilizados nas coletas de dados hidrodinâmicos da PCA. O

principal objetivo é determinar as diferenças verticais do efeito do vento nos primeiros 20 m de coluna d'água. A priori, todos os três tipos de derivadores são influenciados pelo vento, porém em diferentes intensidades. Por exemplo, NOMAD e CODE derivam devido aos movimentos superficiais até 1,0 m, porém o NOMAD é diretamente exposto à interface atmosfera-oceano e à ação das ondas. Devido à profundidade da vela do derivador SVP, as camadas verticais pelas quais ele é transportado é maior em comparação ao NOMAD e ao CODE.

Como foi abordado no item 4.1.2 (Metodologia), após aplicação do controle de qualidade das transmissões dos derivadores, como foi proposto por HANSEN e POULAIN (1996), foram calculados os componentes espectrais rotacionais para a série temporal da magnitude de velocidade, comumente utilizado em processos não-estacionários (GONELLA, 1972). Por meio da Transformada Rápida de Fourier, temos que frequências negativas representam a componente rotacional anti-horária ( $s_{wu}(0 > \omega)$ ) e as frequências positivas são referentes à componente horária ( $s_{wu}(0 < \omega)$ ). A análise de sinais no domínio da frequência é amplamente aplicada em diversas séries temporais, sendo uma metodologia utilizada há décadas (EMERY e THOMSON, 1997). Em nossa análise, serão apresentados somente o espectro rotacional cruzado entre as velocidades dos derivadores e a velocidade do vento local.

A coerência estima o quanto duas séries temporais estão em fase. O espectro da coerência também foi calculado para identificar se as velocidades dos derivadores e do vento são coerentes entre si. Por fim, será apresentado os valores de admitância para os três tipos de derivadores. Esta análise representa a porcentagem total da velocidade dos derivadores que são causadas pela ação do vento. Para frequências específicas, o valor de admitância pode ser interpretada como o *leeway* entre as velocidades dos derivadores e a velocidade do vento. Na literatura, o valor médio para esta porcentagem é de 3,0%.

Os resultados para a análise espectral rotacional cruzado, regressão linear, coerência, admitância e ângulo de fase foram obtidos por meio das séries temporais de cada tipo de derivador, utilizando todas as trajetórias que abrangem a grade do modelo aplicado no projeto. O tempo máximo de transmissão para derivadores do tipo NOMAD foi de 195 dias (média = 31 dias), para o CODE foi de 106 dias (média = 45 dias) e o maior tempo de transmissão de 504 dias para o tipo SVP (média = 194 dias). As velocidades médias calculadas foram  $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  para o NOMAD,  $0,29 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  para o CODE e, por fim,  $0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  para o SVP. A velocidade média do vento para esta análise foi de  $1,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

O maior valor para a correlação foi  $r = 0,38$  para o derivador do tipo NOMAD, enquanto o menor valor  $r = 0,12$  para o SVP. O CODE apresentou correlação de  $r = 0,37$ . Em resumo, é possível dizer que praticamente não houve variação nos resultados da correlação entre as velocidades dos derivadores NOMAD e CODE com o vento oriundo da reanálise do ERA5 (4.1.2 - Metodologia). As correlações não apresentaram altos valores, uma vez que não é possível definir o padrão de deriva somente através dos dados de vento (ROHRS e CHRISTENSEN, 2015). Os gráficos apresentados na Figura 4-15 seguem um padrão de apresentação por conveniência, em que os gráficos de cor azul são referentes ao NOMAD, vermelho ao CODE e verde ao SVP.



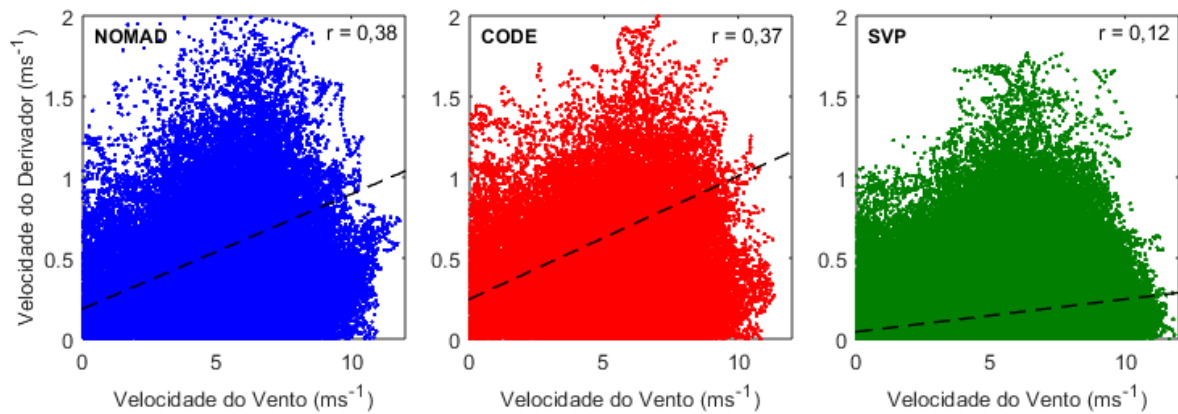


Figura 4-15: Correlação entre as velocidades dos derivadores e do vento. O tipo NOMAD em azul, CODE em vermelho e SVP em verde. A linha preta tracejada representa a regressão linear.

Todos os derivadores apresentaram diminuição de energia espectral em altas frequências. Quanto às frequências de período fixo da maré, o espectro rotacional cruzado para os três tipos de derivadores apresentaram oscilações diurnas (0,04 cph – 24 h) de maior energia espectral em relação às oscilações semidiurnas (0,08 cph – 12 h). O valor médio para frequência inercial  $f$  foi de 0,03 cph (1,3 dias), o que representa um período semelhante às oscilações diurnas, como marés e brisas. Além disso, todos os equipamentos apresentaram aumento de energia espectral em 0,02 cph (2 dias), assim como em 0,005 cph (8 dias).

Estas oscilações com períodos de 2 e 8 dias estão associadas à fenômenos sinóticos (mesoescala) e influência do regime de ventos. Em baixas frequências, a componente horária apresenta maior energia, com exceção do derivador CODE, em que as componentes anti-horária e horária apresentam a mesma densidade espectral. Contudo, é possível verificar que o derivador SVP tem maior energia espectral em baixas frequências relacionadas a oscilações de longo período. A Figura 4-16 apresenta a análise do espectro rotacional cruzado para os três tipos de derivadores. Os processos físicos mencionados no item anterior, como as trajetórias dos derivadores que executaram giros e retroflexão da CNB, ocorrem preferencialmente em sentido horário. A maior energia espectral em sentido horário coincide com o padrão de dispersão espacial desses processos.

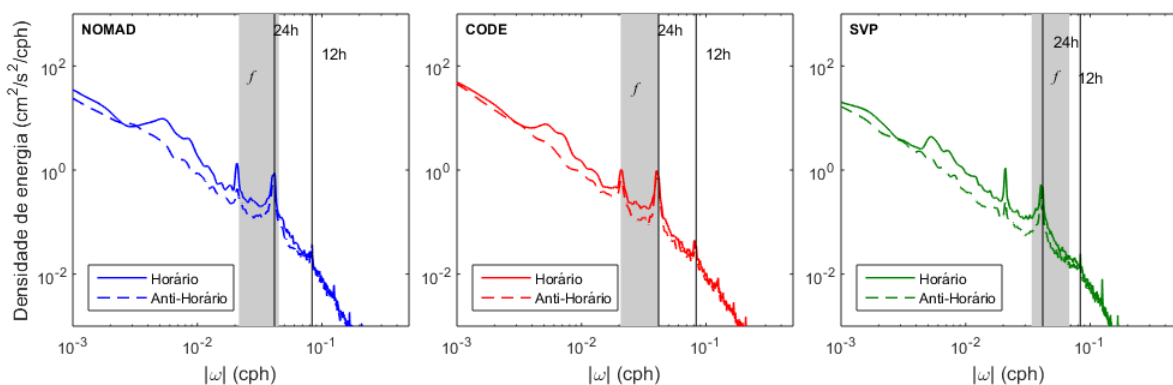


Figura 4-16: Correlação entre as velocidades dos derivadores e do vento na PCA.

O derivador CODE apresentou maior espectro de coerência (Figura 4-17A) e o derivador NOMAD apresentou maior admitância (Figura 4-17B). A coerência acima dos 99% de confiança também apresentou algumas oscilações de alta frequência (período de horas). Os resultados máximos do espectro de coerência

para o CODE representam duas vezes o que foi encontrado por POULAIN *et al.* (2009) e similar ao calculado por RÖHRS e CHRISTENSEN (2015) para este equipamento. Entretanto, valores de coerência entre as séries temporais do vento e dos derivadores não ultrapassa 0,3 e é maior em oscilações com período acima de 24 h.

A coerência entre a velocidade dos derivadores e do vento aumenta em frequências baixas, principalmente relacionadas à processos sinóticos (movimentos em mesoescala) na PCA. Nessa banda espectral é onde são verificados valores de coerência maiores que o limite de confiança de 99%. Em frequências maiores, a coerência diminui. A admitância máxima foi de 0,095 em 0,005 cph (8 dias). Também ocorre aumento da coerência e admitância em 0,02 cph (2 dias). O ângulo de fase em baixas frequências foi de aproximadamente 22°. Foram observados pequenos valores de coerência do NOMAD na frequência inercial.

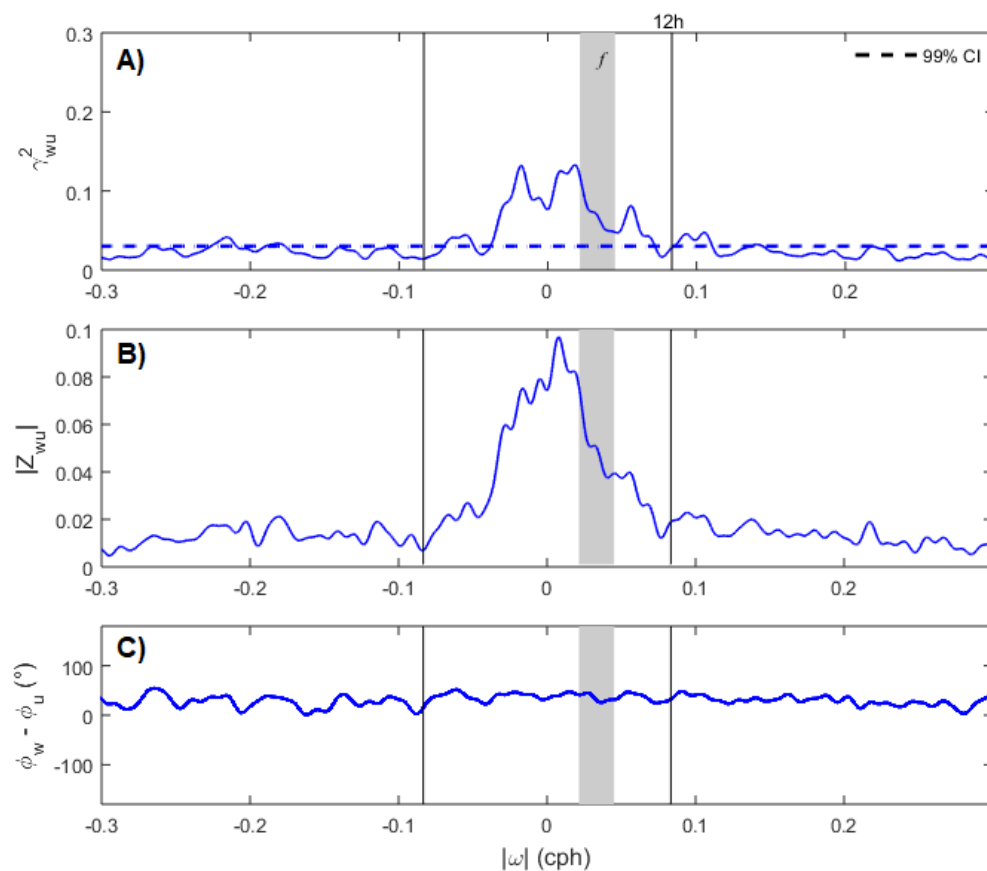


Figura 4-17: Espectros rotacionais cruzados da A) coerência ( $\gamma^2_{wu}$ ); B) admitância ( $Z_{wu}$ ) e; C) ângulo de fase ( $\phi$ ) dos derivadores NOMAD. Frequências positivas e negativas representam as componentes horária e anti-horária, respectivamente.

A Figura 4-18 mostra que os derivadores do tipo CODE apresentaram os maiores valores de coerência de aproximadamente 0,3. As bandas de frequência acima do limite de confiança são maiores em relação aos derivadores NOMAD. A coerência entre a velocidade dos derivadores e do vento também aumenta em baixas frequências. Porém, os resultados de admitância foram menores, indicando que há diminuição da influência do vento nos derivadores do tipo CODE. Além disso, há aumento da coerência na banda inercial,

o que não ocorre com o derivador NOMAD. O ângulo de fase do derivador CODE nas frequências em que a coerência foi maior que o limite de confiança de 99% foi de 36°.

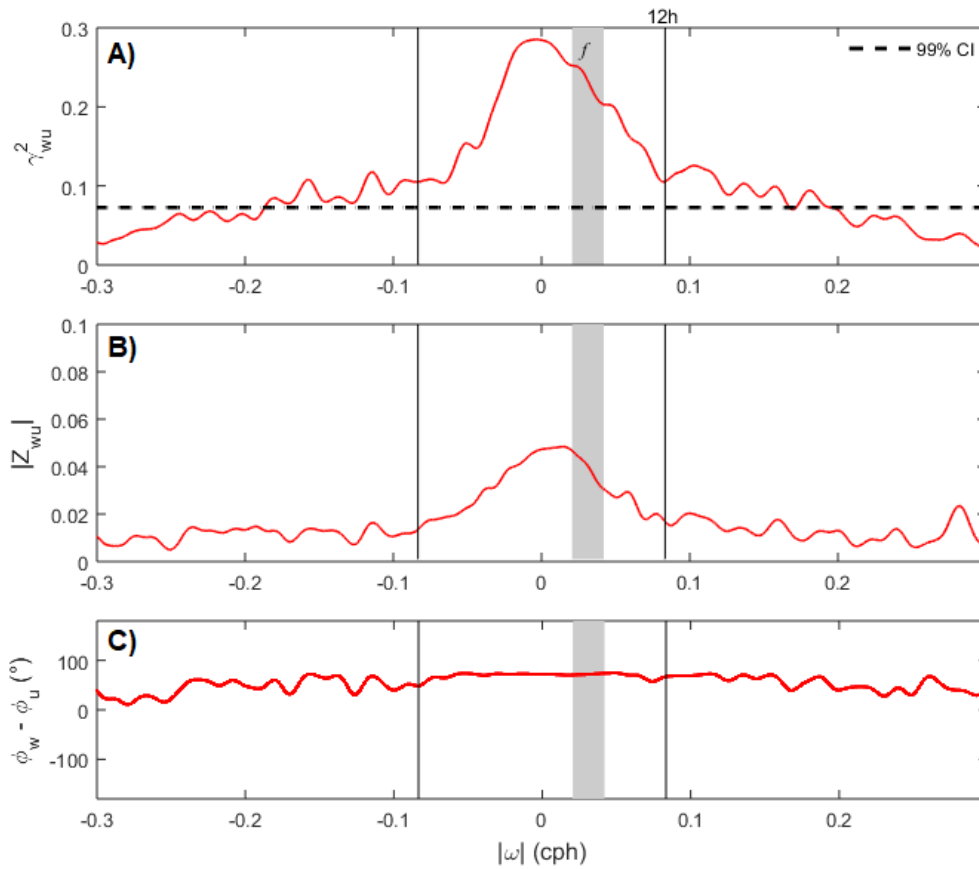


Figura 4-18: Espectros rotacionais cruzados da A) coerência ( $\gamma_{wu}^2$ ); B) admitância ( $Z_{wu}$ ) e; C) ângulo de fase ( $\phi$ ) dos derivadores CODE. Frequências positivas e negativas representam as componentes horária e anti-horária, respectivamente.

Os resultados de coerência e admitância para os derivadores do tipo SVP são os menores (Figura 4-19). A coerência máxima de aproximadamente 0,05 é o menor valor em comparação ao NOMAD e CODE. Apesar da baixa coerência com o vento, a admitância do SVP é semelhante ao derivador CODE. Acima do limite de confiança, o ângulo de fase é igual à 9° e não ocorre aumento dos valores do espectro de coerência com a banda inercial, diferentemente do derivador CODE. Em resumo, o derivador NOMAD apresentou maior admitância, apesar do CODE ter apresentado maior espectro de coerência (Figura 4-18). Também foi verificado que as admitâncias com a banda inercial para os derivadores foram de 0,04 – 0,08 para o NOMAD, 0,03 – 0,05 para derivadores do tipo CODE e, por fim, 0,01 – 0,02 para o tipo SVP.

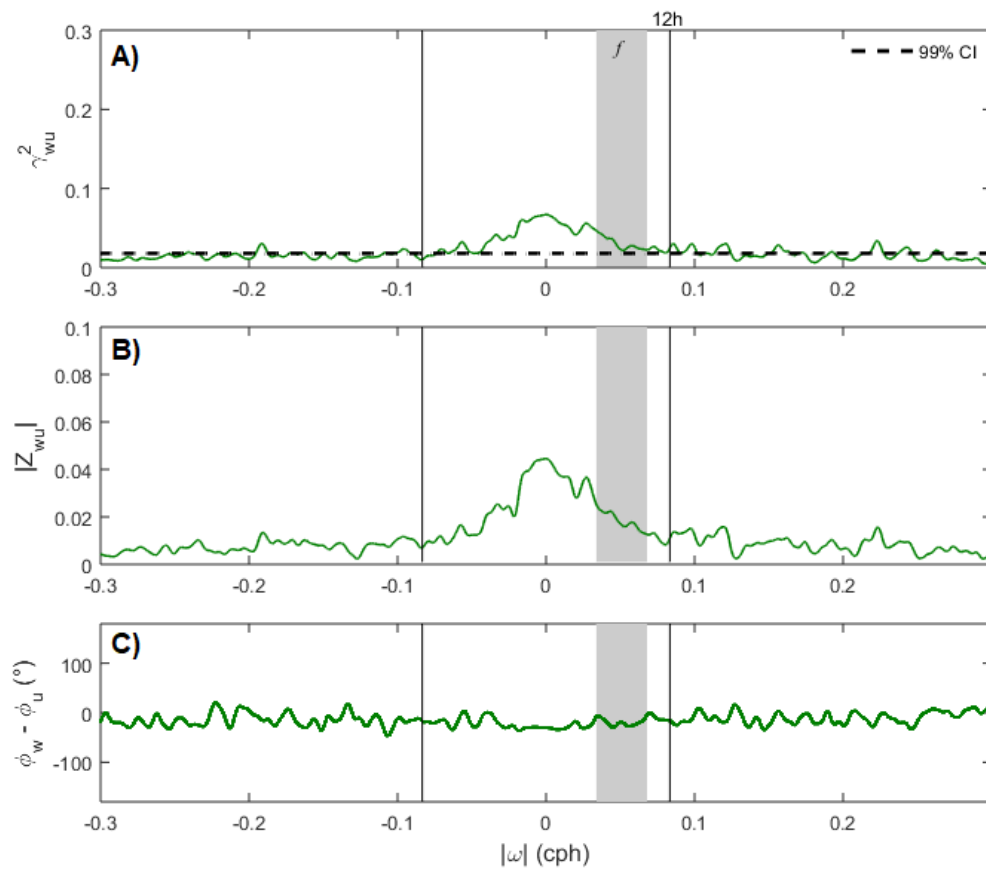


Figura 4-19: Espectros rotacionais cruzados da A) coerência ( $\gamma^2_{wu}$ ); B) admitância ( $Z_{wu}$ ) e; C) ângulo de fase ( $\phi$ ) dos derivadores SVP. Frequências positivas e negativas representam as componentes horária e anti-horária, respectivamente.

A coerência do derivador CODE foi maior que do tipo NOMAD. Uma possível explicação para este fato é a influência de oscilações de alta frequência como as marés, além da maior ação das ondas sobre o derivador NOMAD. Além disso, o derivador NOMAD foi lançado em três pontos (DF4, DF e DF6) que não ocorreram lançamentos de derivadores CODE e SVP. Portanto, as diferenças na ação do vento em diferentes regiões da PCA podem ter reduzido a o espectro de coerência entre as velocidades dos derivadores NOMAD com a velocidade do vento. Os derivadores superficiais são fortemente influenciados pelas forçantes atmosféricas, principalmente em uma região como a PCA, com processos geostróficos menos expressivos. As oscilações de alta frequência são representadas por marés diurnas na PCA.

Os resultados para o *leeway* foram obtidos por meio da análise proposta por RÖHRS e CHRISTENSEN (2015) a partir da magnitude da admitância. Foram encontrados os valores de 2,1% e 2,2% para os derivadores do tipo CODE e SVP, respectivamente. Para o derivador de tipo NOMAD, o valor médio da magnitude de admitância foi de 6,0%. Os resultados de admitância para frequências onde há coerência acima do limite de confiança estão entre 2,0 – 6,0%. Estes valores são semelhantes aos índices de *leeway* comumente utilizados em modelos de dispersão de óleo. A Tabela 4-4 apresenta os resultados gerais dessa análise, assim como os coeficientes de correlação e o *slope* da regressão linear.

Tabela 4-4: Coeficientes de correlação ( $r$ ) entre as velocidades dos derivadores e do vento, slope da regressão linear ( $s$ ), o coeficiente de correlação complexo ( $R$ ), admitância média acima do limite de confiança de 99% ( $Z_{wu}$ ) e as fases de  $R$  e  $Z_{wu}$ .

	NOMAD	CODE	SVP	
R		0,38	0,37	0,12
S		0,07	0,07	0,02
R		0,33	0,32	0,26
Fase  R		55°	69°	64°
Z <sub>wu</sub>		0,06	0,02	0,02
Fase (Z <sub>wu</sub> )		22°	36°	9°

A análise de coerência e admitância dos derivadores em resposta à forçante atmosférica foi realizada em estudos pretéritos somente em regiões de média/alta latitude. Alguns exemplos são os trabalhos de NILLER e PADAUAN (1995), POULAIN *et al.* (2009), RÖHRS e CHRISTENSEN (2015), DAGESTAD e RÖHRS (2019) e MEYERJÜRGENS *et al.* (2019). Na PCA, o movimento inercial é reduzido devido à proximidade com o equador, além da forte influência dos ventos alísios que compõem a ZCIT.

É possível que os ventos constantes ao longo do ano associado à baixa latitude reduzam o efeito geostrófico na PCA. O cenário entre junho a setembro, em que ocorrem os ventos alísios de sudeste, coincide com o aumento da CNB no mês de agosto. Isso explica o fato dos derivadores não alcançarem a costa brasileira durante este período. Portanto, o regime de ventos na PCA pode gerar cenários de deriva peculiares, devido à localização próxima ao equador. Além disso, a PCA apresenta um intenso regime de marés diurnas e semidiurnas.

Em relação às diferenças verticais de deriva entre os três tipos de equipamentos, alguns resultados esperados foram alcançados. O derivador NOMAD apresentou maior coeficiente de correlação complexa (0,33) e admitância (6,0%). Contudo, o coeficiente de correlação complexa do CODE foi semelhante ao do NOMAD ( $r = 0,32$ ), apesar da diminuição no valor da admitância (2,1%). A principal diferença entre estes dois derivadores é que o NOMAD é diretamente exposto aos ventos e às ondas. A diferença no ângulo de deflexão é de 14° entre o NOMAD e o CODE, o que indica a dissipação da energia transferida da atmosfera para o primeiro metro de profundidade da coluna d'água. O derivador do tipo SVP se diferencia dos outros devido às diferenças em todos os espectros apresentados, assim como à baixa coerência com o vento ( $\sim 0,005$ ) e por ter o menor coeficiente de correlação linear (0,12) e complexa ( $r = 0,26$ ).

## 4.2. Área Costeira e Estuarina

### 4.2.1. Metodologia

A aquisição de dados oceanográficos na área costeira e estuarina consistiu em reprocessamento de dados pretéritos, coleta e processamento de dados coletados *in situ*:

- Para o rio Turiaçu e rio Sucuriçu foram realizadas campanhas para coleta de dados durante período seco e chuvoso.
- Para a região de São Caetano de Odivelas (SCO), o banco de dados do LAPMAR possuía dados pretéritos necessários para a caracterização da área. Estes dados foram reprocessados para gerar as informações necessárias segundo o escopo do projeto. Após verificação da necessidade de informações adicionais, novas campanhas foram realizadas.

- Para a região de Soure, o banco de dados do LAPMAR possuía dados pretéritos necessários e suficientes para a caracterização da área. Estes dados foram reprocessados para gerar as informações necessárias segundo o escopo do projeto.

Os dados processados e reprocessados para a caracterização das áreas de estudo foram:

- Levantamento batimétrico;
- Variação de superfície livre (maré);
- Corrente;
- Turbidez;
- Salinidade e;
- Material Particulado em Suspensão (MPS).

As informações referentes as coletas, como local, tipo de equipamento e período de amostragem podem ser encontradas na Figura 4-20 a Figura 4-27 e Tabela 4-5 a Tabela 4-10.

Tabela 4-5: Sumarização das campanhas realizadas na baía de Turiaçu, MA. As siglas ME e MD são referentes às margens esquerda e direita, respectivamente, da região do Baixo Estuário.

Sigla	Ponto	Local	Latitude	Longitude	Parâmetro	Período Amostrai	Sazonalidade	Maré
T1	Turiaçu	rio Turiaçu	-1,673	-45,37075	Maré	1 ano	Seco, Transicional e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
ST1	Baixo Estuário ME	rio Turiaçu	-1,7446 -1,7358	-45,26985 -45,26088	Corrente; Salinidade; Turbidez; MPS	13 h	Seco, Transicional e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
ST2	Baixo Estuário MD	rio Turiaçu	-1,7385 -1,748	-45,26244 -45,27222	Corrente; Salinidade; Turbidez; MPS	13 h	Seco, Transicional e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
ST3	Médio Estuário	rio Turiaçu	-1,9644 -1,966	-45,17258 -45,17437	Corrente; Salinidade; Turbidez; MPS	13 h	Seco, Transicional e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
ST4	Alto Estuário	rio Turiaçu	-2,2283 -45,302	-2,227683 -45,30213	Corrente; Salinidade; Turbidez; MPS	13 h	Seco, Transicional e Chuvoso	Sizígia
T4	Santa Helena	rio Turiaçu	-2,2289	-45,30395	Maré	1 ano	Seco, Transicional e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
-	Turiaçu	rio Turiaçu	-	-	Batimetria	-	Chuvoso	Sizígia/ Quadratura

Tabela 4-6: Sumarização das campanhas realizadas em São Caetano de Odivelas, PA.

Sigla	Ponto	Local	Latitude	Longitude	Parâmetro	Período Amostrai	Sazonalidade	Maré
M1	Montante	rio Mojuim	-0,9537	-47,9958	Corrente	13 h	Seco e Chuvoso	Sizígia/Quadratura
M2	Montante	rio Mojuim	-0,9082	-48,0058	Corrente	13 h	Seco e Chuvoso	Sizígia/Quadratura
M3	Conexão Mojuim	rio Mojuim	-0,76963	-47,99963	Salinidade; Turbidez	13 h	Seco e Chuvoso	Sizígia
M4	Estação Maregráfica	rio Mojuim	-0,73861	-48,01314	Salinidade; Maré	109 dias	Seco e Chuvoso	Sizígia/Quadratura
M5	Foz	rio Mocajuba	-0,65928	-47,98441	Maré	3 meses	Chuvoso	Sizígia/Quadratura
M6	Intermediário	rio Mocajuba	-0,77499	-47,95887	Maré	25 dias	Seco e Chuvoso	Sizígia/Quadratura
M7	Conexão Mocajuba	rio Mocajuba	-0,77866	-47,95789	Salinidade; Turbidez	13 h	Seco e Chuvoso	Sizígia/Quadratura
-	Estação Meteorológica	rio Mojuim	-0,73858	-48,01301	Salinidade; Maré	6 meses	Seco, Transicional e Chuvoso	Sizígia/Quadratura
M8	Intermediário	rio Mocajuba	-0,78084	-47,95925	Maré	13 h	Seco e Chuvoso	Sizígia
M9	Montante	rio Mocajuba	-0,8815	-47,9264	Corrente	13 h	Seco e Chuvoso	Sizígia
M10	Montante	rio Mocajuba	0,88325	-47,92639	Maré	13 h	Seco e Chuvoso	Sizígia
SM1	Intermediário	rio Mojuim	-0,73861	-48,01314	Corrente	25 h	Seco e Chuvoso	Sizígia
			-0,74054	-48,0076				
SM2	Conexão	rios Mojuim-Mocajuba	-0,76195	-47,98652	Corrente	13 h	Chuvoso	Sizígia
			-0,76049	-47,98477				
SM3	Conexão	rios Mojuim-Mocajuba	-0,76167	-47,98329	Corrente	13 h	Chuvoso	Sizígia
			-0,76341	-47,98352				
SM4	Conexão	rios Mojuim-Mocajuba	-0,76391	-47,98641	Corrente	13 h	Chuvoso	Sizígia
			-0,76449	-47,98522				
SM5	Intermediário	rio Mocajuba	-0,83155	-47,92637	Corrente	13 h	Seco e Chuvoso	Sizígia
			-0,83024	-47,9242				
-	Longitudinal (P1-35)	rio Mocajuba	-0,68991	-47,98151	Salinidade;	1 h	Seco e Chuvoso	Sizígia
			-0,82841	-47,86485	Turbidez			



Tabela 4-7: Sumarização das campanhas realizadas na região de Soure, PA.

Sigla	Ponto	Local	Latitude	Longitude	Parâmetro	Período Amostrai	Sazonalidade	Maré
S1	Foz	rio Paracauari	-0,72973	-48,52509	Maré, Salinidade; Turbidez	13 h	Chuvoso e Transicional	Sizígia Quadratura*
S2	Montante	rio Paracauari	-0,65141	-48,58573	Maré	13 h	Transicional	Quadratura
SP	Foz	rio Paracauari	-0,73034	-48,52681	Corrente	13 h	Chuvoso e Transicional	Sizígia
			-0,72867	-48,52299				
S3	Foz	Pesqueiro	-0,66134	-48,49329	Maré	13 h	Seco e Chuvoso	Sizígia
S4	Foz	Pesqueiro	-0,65487	-48,4869	Corrente; Turbidez	13 h	Seco e Chuvoso	Sizígia

\*Apenas a medição de maré foi realizada em quadratura.

Tabela 4-8: Sumarização das campanhas realizadas em Sucuriju, AP.

Sigla	Ponto	Local	Latitude	Longitude	Parâmetro	Período Amostral	Sazonalidade	Maré
S1	Foz	rio Sucuriju	1,682082	-49,937713	Maré	120 dias	Seco e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
S2	Foz	rio Sucuriju	1,68515	-49,949246	Salinidade; Turbidez	13 h	Seco e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
SS1	Foz	rio Sucuriju	1,68515 1,683713	-49,949246 -49,94906	Corrente	13 h	Seco e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
S3	Intermediário	rio Sucuriju	1,640238	-50,011446	Salinidade; Turbidez	13 h	Seco e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
S4	Intermediário	rio Sucuriju	1,641157	-50,012428	Maré	120 dias	Seco e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
SS2	Intermediário	rio Sucuriju	1,640604 1,639902	-50,011179 -50,011625	Corrente	13 h	Seco e Chuvoso Seco e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
S5	Montante	rio Sucuriju	1,677284	-50,007852	Maré	120 dias	Seco e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
S6	Montante	rio Sucuriju	1,697735	-50,019646	Maré	120 dias	Seco e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
S7	Região Externa	Sucuriju	1,81121	-50,158853	Maré	120 dias	Seco e Chuvoso	Sizígia/ Quadratura
-	Sucuriju	rio Sucuriju	-	-	Batimetria	-	Seco e Chuvoso	Sizígia

#### 4.2.1.1. Levantamento batimétrico

A caracterização morfológica nos canais foi realizada por levantamento batimétrico com o uso de uma Eco Sonda Garmin GPS, modelo Map 521S, fixado à embarcação de pequeno porte. As malhas amostrais podem ser observadas nas Figura 4-20, Figura 4-21, Figura 4-22 e Figura 4-23, representando os estuários Turiaçu; o Mojuim; o Sucuriçu e a região de Soure, respectivamente. O detalhamento das amostragens pode ser encontrado na Tabela 4-9.

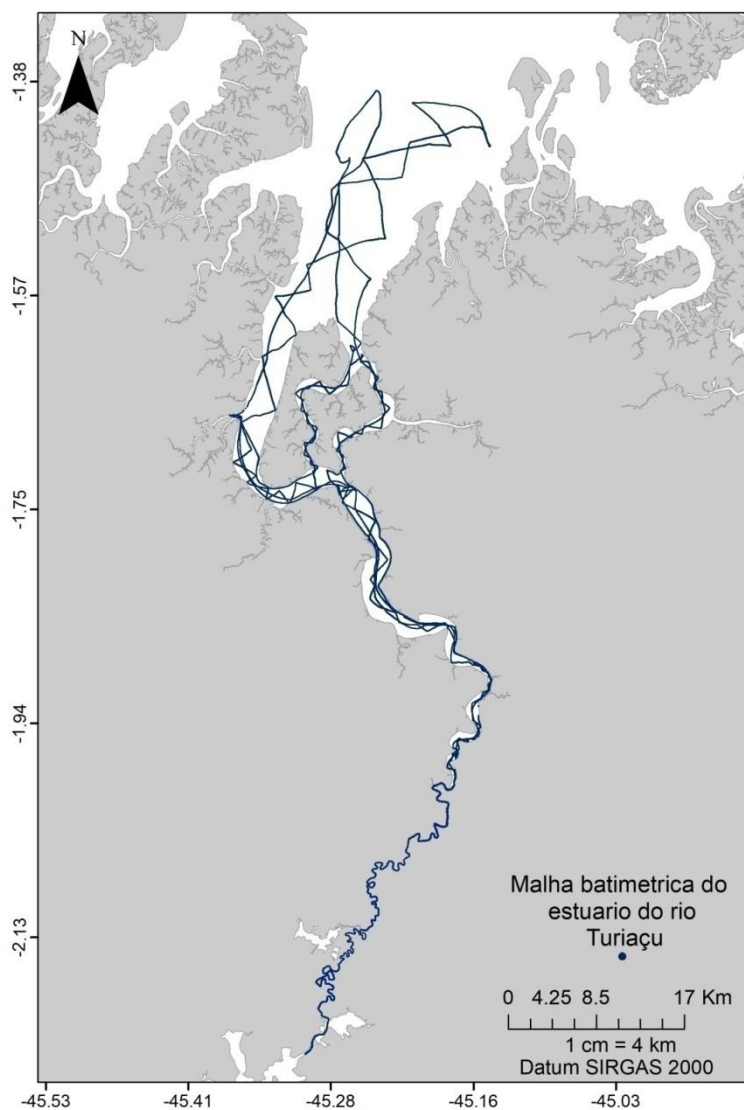


Figura 4-20: Representação da malha amostral batimétrica no rio Turiaçu, MA.

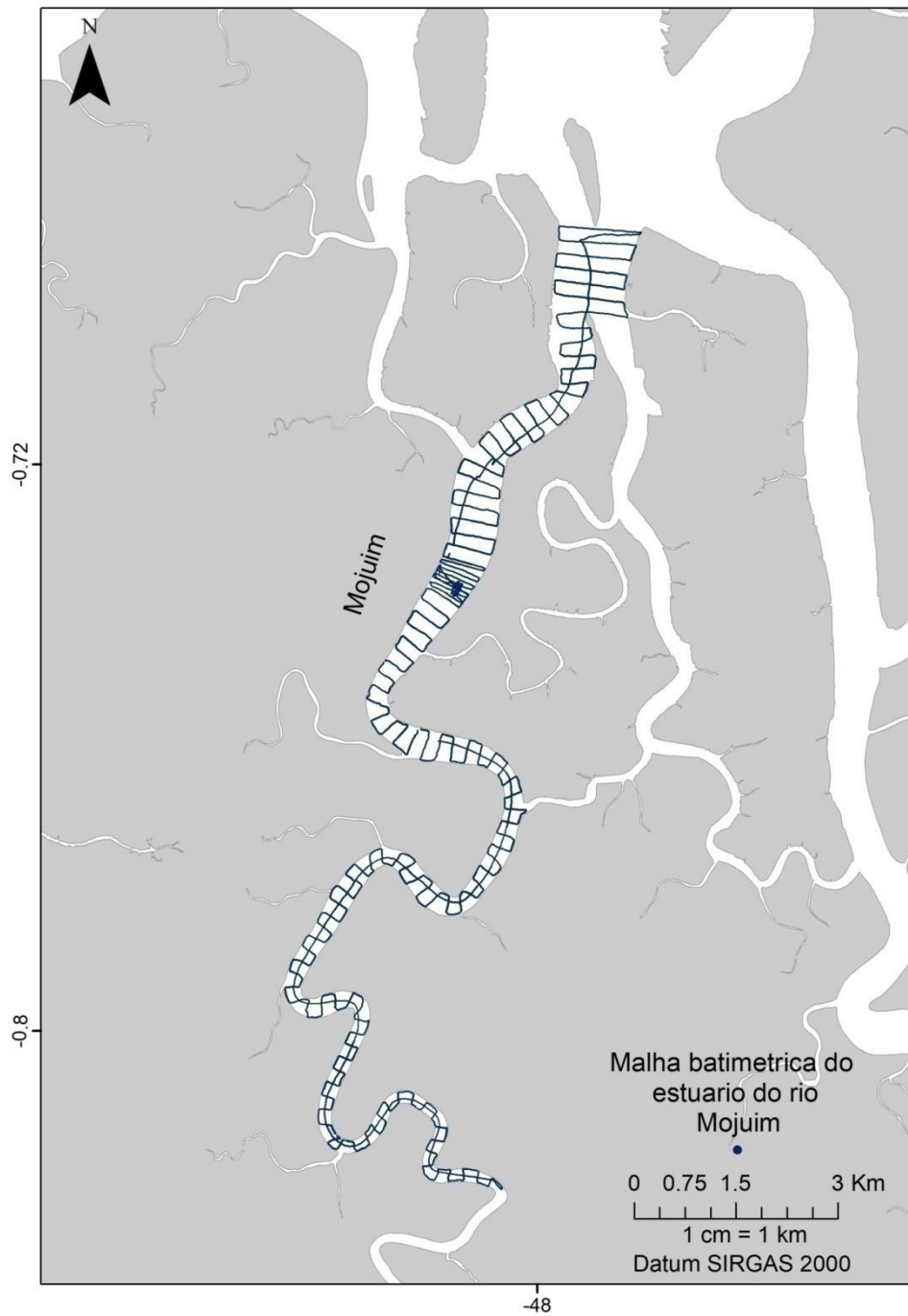


Figura 4-21: Representação da malha amostral batimétrica no rio Mojuim, PA.

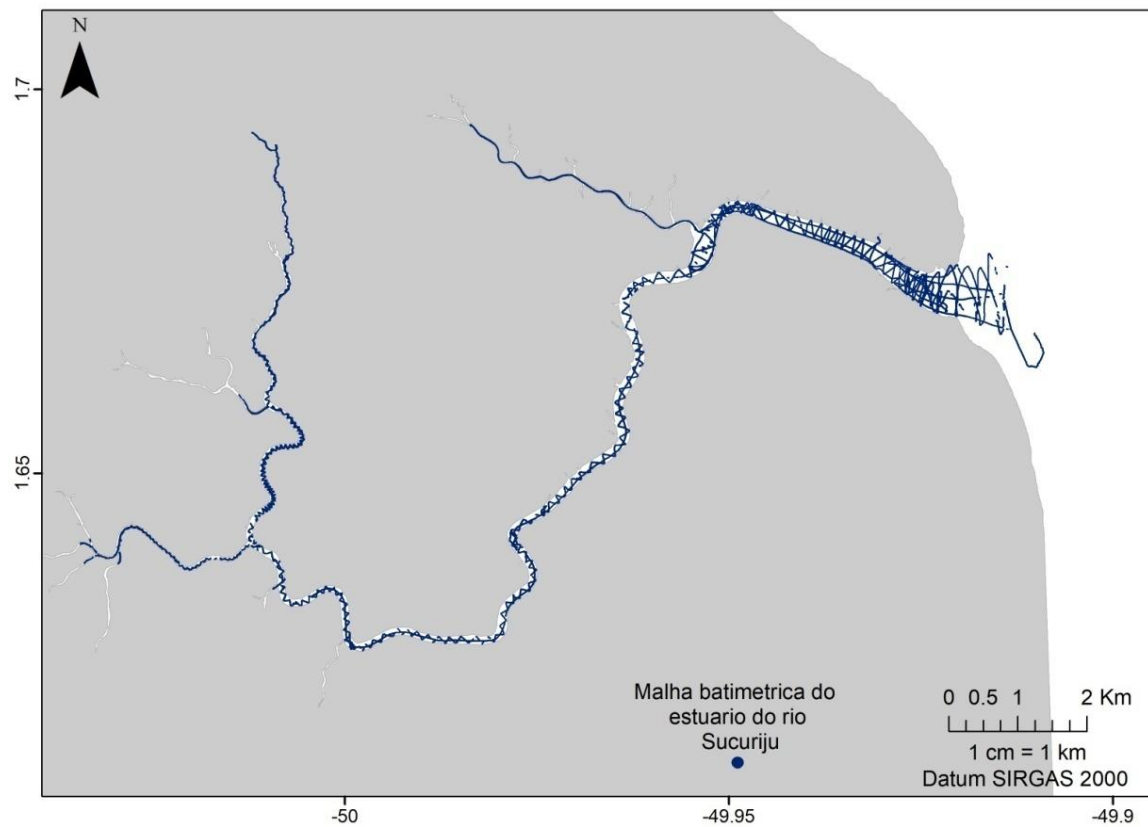


Figura 4-22: Representação da malha amostral batimétrica no rio Sucuriçu, AP.

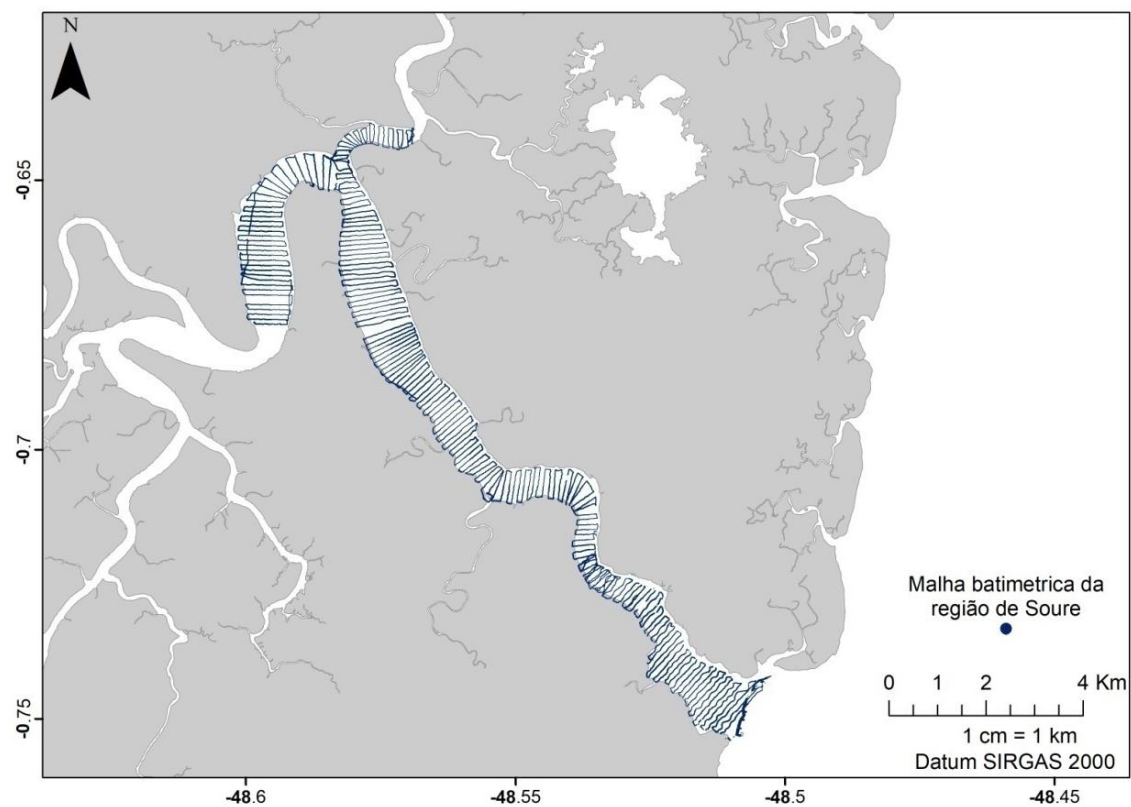


Figura 4-23: Representação da malha amostral batimétrica no rio Paracauari, região de Soure, PA.

Tabela 4-9: Descrição da amostragem batimétrica nos canais estuarinos e no canal fluvial.

Local	Perfis transversais	Frequência de aquisição	Velocidade do Barco
Rio Turiaçu	Espaçamento irregular devido à presença de inúmeros bancos no canal	1 dado a cada 1 segundo	5 km/h
Rio Mojuim	116 perfis espaçados em 200 m entre si.	1 dado a cada 3 segundos	5 km/h
Região de Soure	202 perfis espaçados em 100 m entre si.	1 dado a cada 3 segundos	5 km/h
Rio Sucuriçu	Espaçamento irregular devido à presença de inúmeros bancos no canal	1 dado a cada 1 segundo	7 km/h

Os perfis batimétricos foram realizados apenas em maré de sizígia nos estuários do rio Mojuim e região de Soure. Em Turiaçu e Sucuriçu, foram realizados tanto em maré de sizígia quanto em quadratura, com exceção da região do alto Turiaçu que foram possíveis apenas em maré de sizígia, devido à presença de bancos que impediram a navegação segura.

#### 4.2.1.2. Variação de superfície livre (maré)

Dados de oscilação da maré (variação do nível d'água) foram monitorados em duas escalas de tempo: I- Série temporal longa em pontos fixos no estuário; II- Amostragens abrangendo um ciclo de maré. No geral, a coleta dos dados consistiu na instalação de sensores de pressão, Onset-HOBO, modelo U20L, Solinst Levellogger, modelo 3001 Junior, à uma estação fixa próximo ao fundo.

As séries temporais longas foram realizadas em três ambientes fluvio-estuarinos, todas com um período mínimo de 3 meses de medição: Turiaçu, tendo sido instalados sensores nas cidades de Turiaçu e Santa Helena; Sucuriçu, com dois sensores fixados próximos à canais de navegação e um em uma região externa do rio e; São Caetano, com medições em diferentes pontos ao longo do sistema. A série temporal curta foi realizada apenas na região de Soure, onde as amostragens abrangeram um ciclo de maré (~ 13h). A frequência amostral dos equipamentos foi de 15 minutos para todos os rios (Figura 4-24, Figura 4-25, Figura 4-26 e Figura 4-27).

A metodologia para processamento dos dados de maré consiste inicialmente na filtragem dos dados espúrios e aplicações de filtros de modo a suavizar os intervalos e minimizar os ruídos presentes nos registros. A partir do pacote computacional T\_Tide, é possível realizar análise harmônica, onde a onda de maré é modelada como um somatório resultante de  $n$  componentes harmônicas diferenciáveis entre si através de suas respectivas frequências (PAWLOWICZ *et al.*, 2002). Posteriormente, obtêm-se o número de forma ( $N_f = [K1+O1] / [M_2+S_2]$ ) de DEFANT (1960).

A análise espectral é um processo que detecta os sinais sinusoidais misturados com ruído de uma série temporal de dados, onde o algoritmo utilizado na determinação do espectro foi a Transformada Rápida de Fourier. A análise de assimetria da maré consiste na correlação entre as fases do principal harmônico ( $M_2$ ) e seus respectivos sobre-harmônicos mais significativos ( $M_4$  e  $M_6$ ). A relação entre as fases é o que determina se a assimetria é positiva ou negativa. Em relação ao grau de distorção da maré ao longo do estuário, um cálculo de razão entre as amplitudes ( $aM_4/aM_2$ ;  $aM_6/aM_2$ ) é realizado.

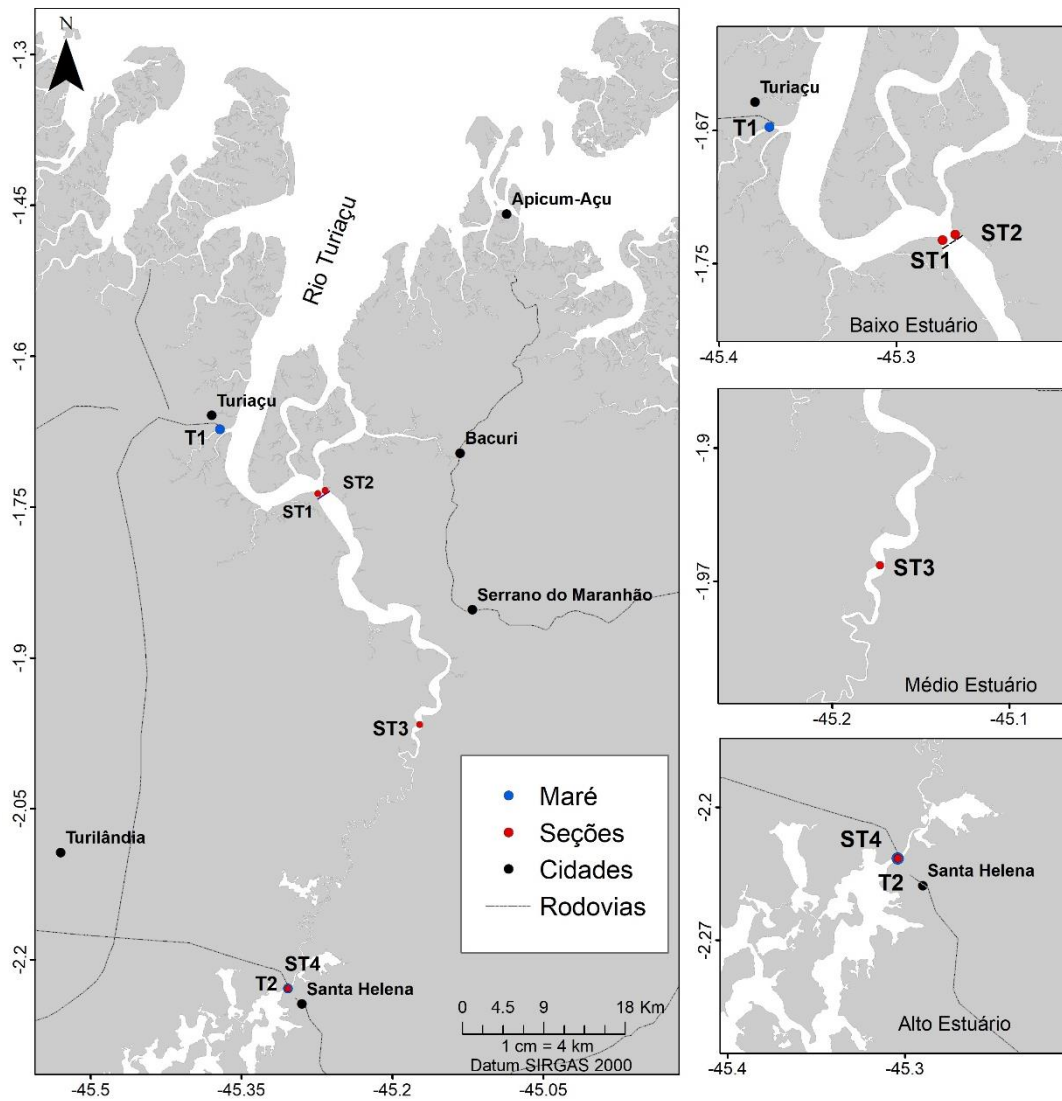


Figura 4-24: Mapa dos pontos de amostragens no rio Turiaçu.

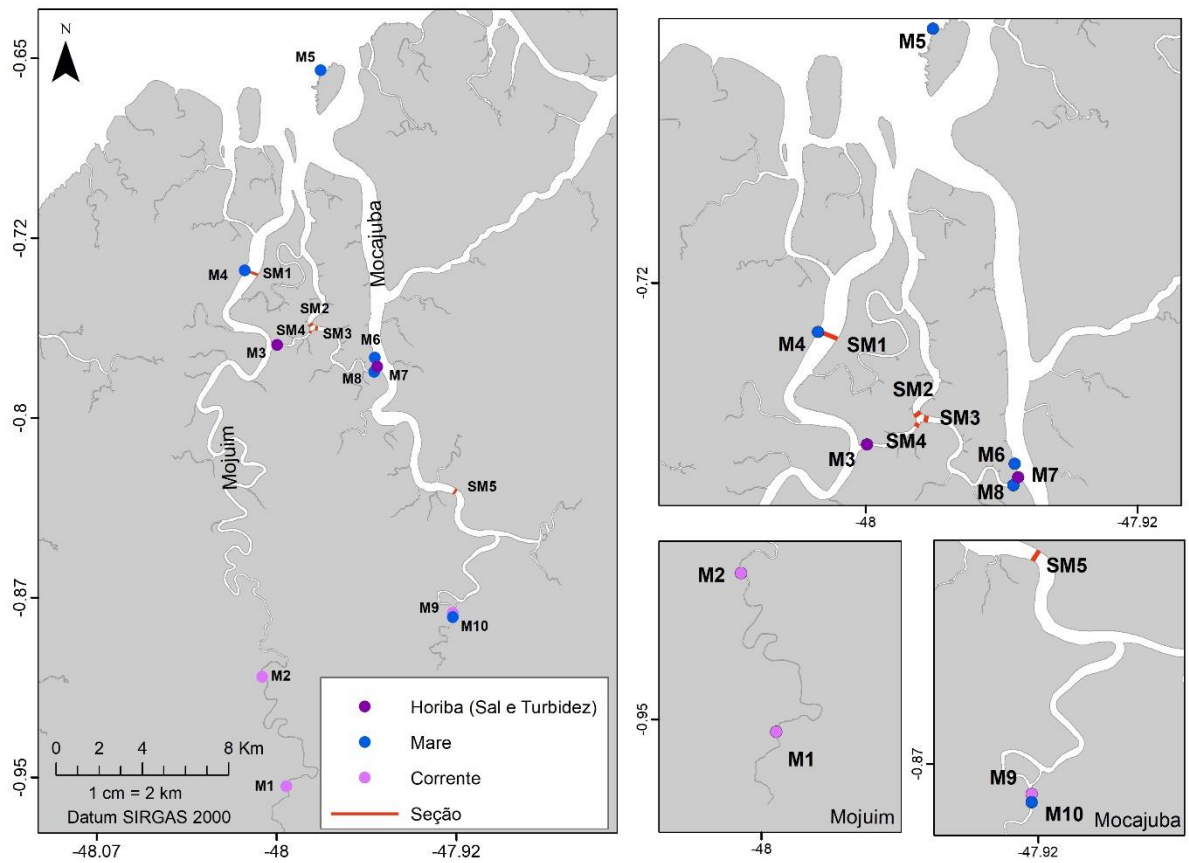


Figura 4-25: Mapa dos pontos de amostragens no sistema estuarino Mojuim-Mocajuba, em São Caetano de Odivelas.



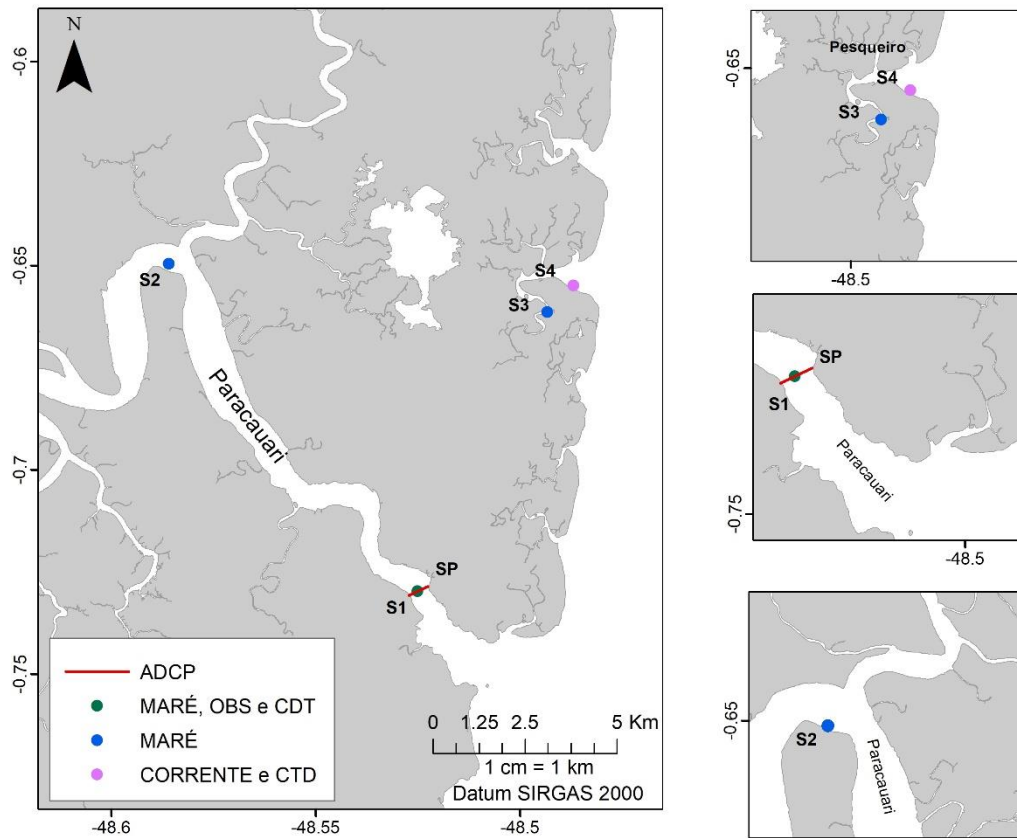


Figura 4-26: Mapa dos pontos de amostragens em Soure.

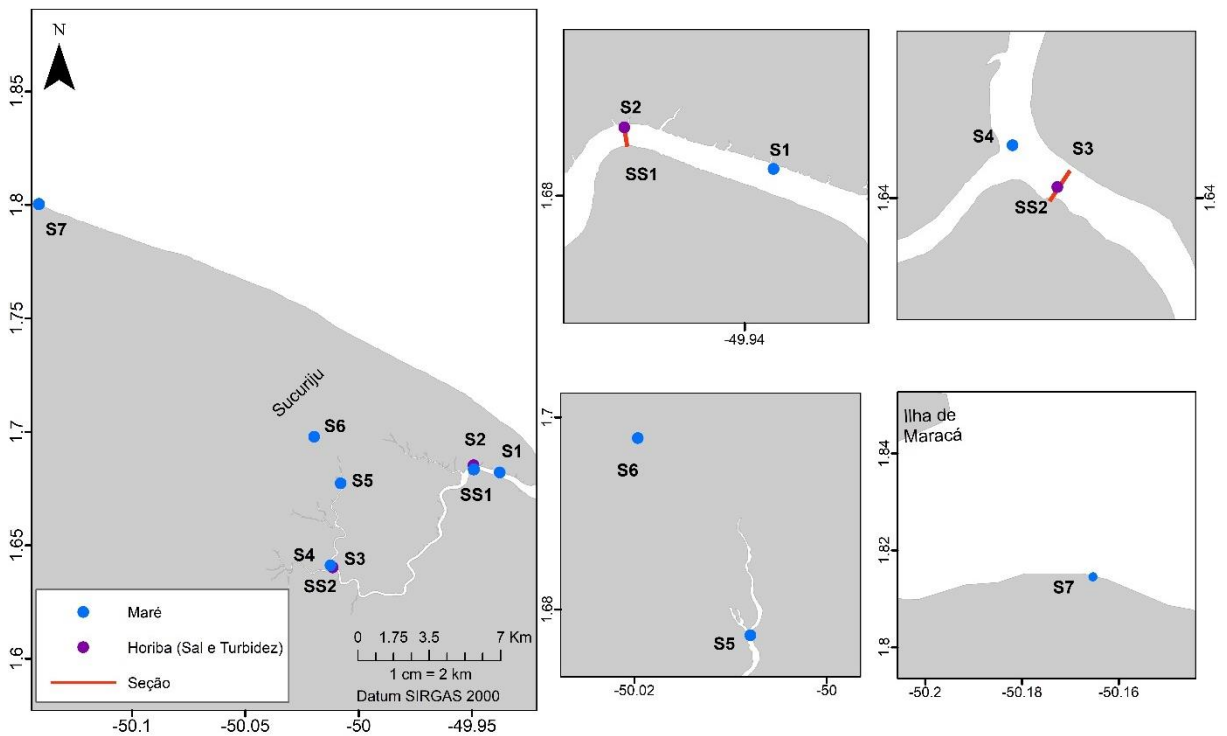


Figura 4-27: Mapa dos pontos de amostragens no rio Sucuriju.

### 4.2.1.3. Corrente

Para caracterização hidrodinâmica, foram coletados dados de velocidade e direção de corrente utilizando um perfilador acústico (*Acoustic Doppler Current Profiler – ADCP*), modelo Workhorse Rio Grande de 1200 kHz da RD Instrument, e um correntômetro magnético, modelo AEM-USB. Operando à uma frequência de 2 Hz, o ADCP é acoplado na lateral da embarcação com a viseira voltada para baixo, tanto com a embarcação parada quanto nas seções transversais. O correntômetro é programado à uma taxa de um dado a cada 1 minuto, sendo fixado à uma estrutura de aço próximo ao fundo. Com exceção de São Caetano de Odivelas, que contou com 25 horas de registros contínuos, os demais rios contaram com medições (fundeios e seções) durante um ciclo de maré (13 h).

O processamento dos dados hidrodinâmicos é realizado em MATLAB®, onde se efetua a filtragem para a retirada dos dados espúrios. Sendo as velocidades de corrente uma grandeza vetorial, as componentes  $u$  (longitudinal –  $O_x$ ) e  $v$  (transversal -  $O_y$ ) são obtidas a partir da decomposição da velocidade (Equação 8 e Equação 9). Segundo proposto por MIRANDA *et al.* (2002), o cálculo das componentes  $u$  e  $v$  é dado por:

$$u = Vel. \cos\theta$$

Equação 8

$$v = Vel. \sin\theta$$

Equação 9

Sendo  $Vel$  a magnitude de corrente e o  $\theta$  argumento final para decomposição da velocidade (Equação 10), dado por:

$$\theta = 90^\circ - (dd \pm D) \pm \gamma$$

Equação 10

Onde  $dd$  é a direção da velocidade,  $D$  a declinação magnética local e  $\gamma$  a rotação efetuada para que o eixo  $O_x$  seja orientado em sentido longitudinal no estuário. Dessa forma, o argumento  $\pm$  é variável de acordo com o sentido da rotação: no sentido horário, os argumentos serão somados e, no sentido anti-horário, serão subtraídos. Os valores positivos (+) indicam direção à foz (vazante) e, os negativos (-), à montante do estuário (enchente). Por fim, as velocidades decompostas são adimensionalizadas ( $Z = z/h(t)$ ) e interpoladas, para redução de erros morfológicos ou de variações de maré.

### 4.2.1.4. Turbidez

A fim de observar o comportamento da turbidez nos canais estuarinos e fluvial, foram realizados perfis verticais *in situ*, na profundidade de superfície e fundo, com dois equipamentos: o OBS (*Optical Backscatter Sensor*, Infinity-turbi ATU75W-USB) para ambientes com alta concentração em ppm (precisão de  $\pm 10$  ppm ou  $\pm 5\%$  e intervalo de medição 0-100000; e a sonda de multiparâmetros (Horiba U-52G).

O sensor OBS foi utilizado para medir a turbidez do rio Turiaçu e da região de Soure. Para isso, foram realizados perfis verticais horários e fixo em superfície. A sonda de multiparâmetros foi utilizada para medir a turbidez *in situ* no sistema estuarino Mojuim-Mocajuba e no estuário do rio Sucuriçu em pontos de amostragem equidistantes a cada 1 km. A Tabela 4-10 traz informações gerais da coleta de turbidez para cada local.

Tabela 4-10: Locais de coleta e a frequência amostral para a turbidez.

Local	Frequência de aquisição
Estuário do rio Turiaçu	1 dado a cada 2 segundos
Sistema Mojuim-Mocajuba	1 ponto a cada 1 km
Região de Soure	1 dado a cada 1 segundo
Estuário do rio Sucuriju	1 ponto a cada 1 km

#### 4.2.1.5. Salinidade

Para registrar as variações espaço-temporais do parâmetro salinidade, três equipamentos foram utilizados e diferentes métodos de coletas (perfilagens e fundeios) aplicados para a aquisição dos dados, de modo a atender a especificidade de cada amostragem.

Em São Caetano de Odivelas, para monitorar especialmente a intrusão salina nos rios, foram estabelecidos pontos ao longo do eixo longitudinal, obedecendo um espaçamento de 1 km entre cada perfil de coleta. Em Turiaçu (pontos ST1, ST2, ST3 e ST4) e em Soure (ponto S1 – rio Paracauari), as perfilagens obedeceram 1 hora de intervalo entre as coletas ao longo de seções transversais. A Figura 4-28 mostra um esquema de coleta de dados no rio Turiaçu. O método de fundeio foi aplicado para o registro contínuo do parâmetro em pontos fixos nos rios. No rio Sucuriju, nos pontos S2 e S3, as coletas foram realizadas somente em superfície. Todas as coletas foram realizadas durante um ciclo de maré (~13h), com exceção de São Caetano de Odivelas, onde o registro da salinidade foi por um período de seis meses.

Os perfis contínuos na coluna d'água foram obtidos através de um CTD (*Conductivity, Temperature, and Depth*), modelo SBE-37SM, operando à uma frequência amostral de 0,2 Hz (5 segundos). O equipamento fornece dados de condutividade da água e, para obtenção da salinidade, é realizada uma conversão baseada na nova equação do estado da água que utiliza um pacote computacional “*gs\_seawater*” fornecido pela *International Thermodynamic Equation of Seawater 2010 - TEOS-2010* (IOC; SCOR; IAPSO, 2010). Com a aplicação da nova equação, passa a ser adotado a unidade “g.kg<sup>-1</sup>” para a salinidade oceânica.

A aquisição da salinidade em duas profundidades (superfície e próximo ao fundo) foi obtida utilizando uma sonda multiparâmetros Horiba, modelo U-52G, que fornece os valores sem a necessidade de conversão posterior. A sonda possui um sistema de calibração interna que obedece a especificação de cada parâmetro (salinidade: medição 0 a 70; precisão ± 3). Para obtenção da série temporal longa, um sensor Levelogger de condutividade (acurácia de 2%), pressão e temperatura (acurácia de 0,1%), modelo 3001 Junior, operando à uma frequência de 5 minutos foi utilizado.

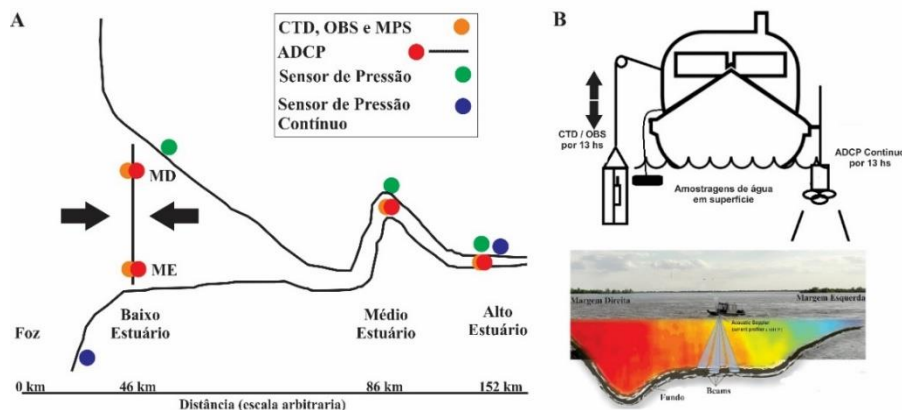


Figura 4-28: Esquema de amostragem durante as campanhas realizadas no rio Turiaçu: (A) Croqui dos pontos de amostragem; (B) utilização dos equipamentos.

#### 4.2.1.6. Material Particulado em Suspensão

O MPS foi realizado somente no estuário do rio Turiaçu devido a este estuário apresentar, visualmente, uma carga sedimentar em suspensão significativa em comparação aos outros estuários estudados. Assim, em um ponto fixo do rio Turiaçu foi coletada água superficial utilizando uma garrafa do tipo Van Dorn, em intervalos de 1 hora. Posteriormente, foi realizada a quantificação do Material Particulado em Suspensão (MPS) na superfície, durante um ciclo de maré. O esquema de coleta (ver Figura 4-28) é referente aos pontos ST1, ST2, ST3 e ST4.

A quantificação é realizada em laboratório seguindo a metodologia gravimétrica proposta por BAUMGARTEN *et al.* (1996). Este método quantitativo consiste essencialmente no processo que envolve a separação, filtragem e pesagem de um elemento em sua forma mais pura e, por um cálculo direto (Equação 11), obtemos a quantidade final de partículas suspensas na coluna d'água num dado volume:

$$MPS = \frac{(P2 - P1)}{V}$$

Equação 11

Sendo: P1 o peso em gramas do filtro limpo; P2 o peso em gramas após o processo de filtragem; V o volume da amostra filtrada ( $\text{g.L}^{-1}$ ).

O transporte de MPS foi calculado a partir do método proposto por MIRANDA *et al.* (2017), utilizando equações de fluxo e transporte de propriedades. Tal como na corrente, convencionou-se os valores positivos para vazante e os negativos para enchente. A unidade do transporte de sedimento foi convertida para toneladas por ciclo de maré ( $\text{ton.tidalcycle}^{-1}$ ), sendo, então, possível calcular o transporte resultante de MPS, dado pela Equação 12:

$$T_s = \frac{1}{t} \int_0^t M_s d(t) = \langle \bar{u} C_{ss} A 10^{-6} d(t) \rangle$$

Equação 12

Onde  $10^6$  é o fator de conversão de miligrama para tonelada;  $\bar{u}$  é velocidade média longitudinal; t é tempo; A é área da seção ( $\text{m}^2$ ); e  $C_{ss}$  é média do MPS.

#### 4.2.1.7. Estratificação da Coluna D'Água

Fenômeno presente na zona de mistura de ambientes estuarinos, a estratificação pode ocasionar intensificação das correntes gravitacionais, fortalecimento da intrusão salina à montante e desempenhar um papel relevante no balanço de sal em um sistema (NEPF e GEYER, 1996). A intensidade da estratificação é caracterizada pelo índice de estratificação ( $N = \delta S / S_0$ ), onde  $S_0$  é a salinidade média vertical e  $\delta S$  é a diferença de salinidade entre a superfície e o fundo (HANSEN e RATTRAY, 1966). Se  $N < 0,1$ , a coluna d'água é totalmente misturada; quando  $0,1 < N < 1$ , há mistura parcial; e  $N > 1$ , estratificação. O índice foi igualmente aplicado ao MPS, tendo-se, desta forma, a estratificação por salinidade ( $N_s$ ) e estratificação por MPS ( $N_m$ ).

### 4.2.2. Resultados

#### 4.2.2.1. Baía de Turiaçu, MA

O mapa batimétrico do Estuário do rio Turiaçu (ERT) foi elaborado a partir dos perfis morfológicos, que variaram de 200 m a 10 km. A declividade do perfil longitudinal variou entre  $0^\circ$  e  $3,5^\circ$ . As áreas de maior declive ( $\sim 3^\circ$ ) se encontraram entre a plataforma interna e a foz do estuário, suavizando à montante (Figura 4-31).

A região entre a foz e a plataforma interna (baixo estuário) registrou as maiores profundidades no rio, variando de 10 m a 35 m de profundidade. Após a seção do baixo estuário, o canal se torna mais raso, com profundidades inferiores a 10 m. Profundidades inferiores a 1,5 m foram observadas do médio ao alto estuário em condições de maré baixa. Além disso, há formação de bancos arenosos ao longo do rio e estes são expostos em maré baixa. Os bancos limitam a navegação, principalmente entre o médio e o alto estuário, onde canais secundários separados por estes bancos também foram verificados.

O baixo estuário é formado por praias e pontais arenosos, local onde a erosão é mais intensa. Este apresenta  $\sim 20$  km de largura na foz, com forte ação do vento, e reduz para  $\sim 1$  km após as ilhas centrais. A planície de inundação é estreita e com acentuada declividade por estar encaixada entre colinas e tabuleiros. As margens são caracterizadas por solapamento, principalmente à esquerda, que se mostrou funcionar como um "deposito sedimentar". A base das falésias é diariamente erodida e transportada pelas correntes de maré, ação das ondas e dos ventos, principalmente nos meses de julho a dezembro, pelos ventos de leste e sudeste.

As margens apresentaram pacotes constituídos por material lamoso (silte e argila) com espessuras superiores a  $\sim 2$  m. As paleofalésias e as falésias ativas são ricas em matéria orgânica (Figura 4-29).



Figura 4-29: Fotografias (A) das falésias ativas; e (B) do pacote sedimentar no baixo estuário.

A hidrodinâmica determina o modo de ocupação do terreno, ou seja, existem poucas cidades ou vilas às margens do rio, e, as poucas que existem, estão afastadas ou sobre regiões altas, como colinas ou tabuleiros. Isto devido à alta hidrodinâmica, dificultando a ocupação do entorno do estuário por ribeirinhos, característica comum nas demais regiões amazônicas, onde a população se fixa às margens dos rios.

O canal no médio estuário tem ~1 km a 500 m de largura, podendo ser considerado "semi-confinado" por apresentar poucas zonas de inundação, sendo que o canal estuarino tem inúmeras inflexões (Figura 4-30). A hidrodinâmica associada às mudanças morfológicas sazonais do canal gera vórtices nas inflexões mais acentuadas, tornando perigosa a navegação.



Figura 4-30: Fotografias demonstrando a característica de estuário semi-confinado nas seções do (A) médio estuário; e (B) alto estuário.

A região apresenta feições preservadas da antiga linha de margem, que sinalizam a mudança de canal, e a presença de inúmeros de bancos areno-lamosos, também conhecidos por “croas”. A navegação neste trecho só é possível durante a enchente, pois na vazante as croas são expostas, impedindo uma navegação segura, principalmente no período seco.

Situado em terreno mais plano, menor grau de meandramento e a junção dos lagos do canal fluvial (~100 m), o Alto Estuário possui extensas planícies de inundação durante o período chuvoso. Estes lagos são intermitentes e rasos. Porém, à jusante, o canal é estreito e bordejados por paredões íngremes, com desníveis de ~5 m, permitindo a inundação somente no período chuvoso.

As variações na morfologia geram grandes dificuldades e periculosidades à navegação, diminuindo a frequência de navegação na porção entre o médio e o alto estuário, resultando em fluxos maiores na região do baixo estuário em direção ao oceano. Estas mudanças morfológicas se dão por: migrações sazonais dos bancos; geração de vórtices; solapamento das margens (assoreamento); e obstrução do canal pelas árvores após o solapamento, principalmente no período seco.

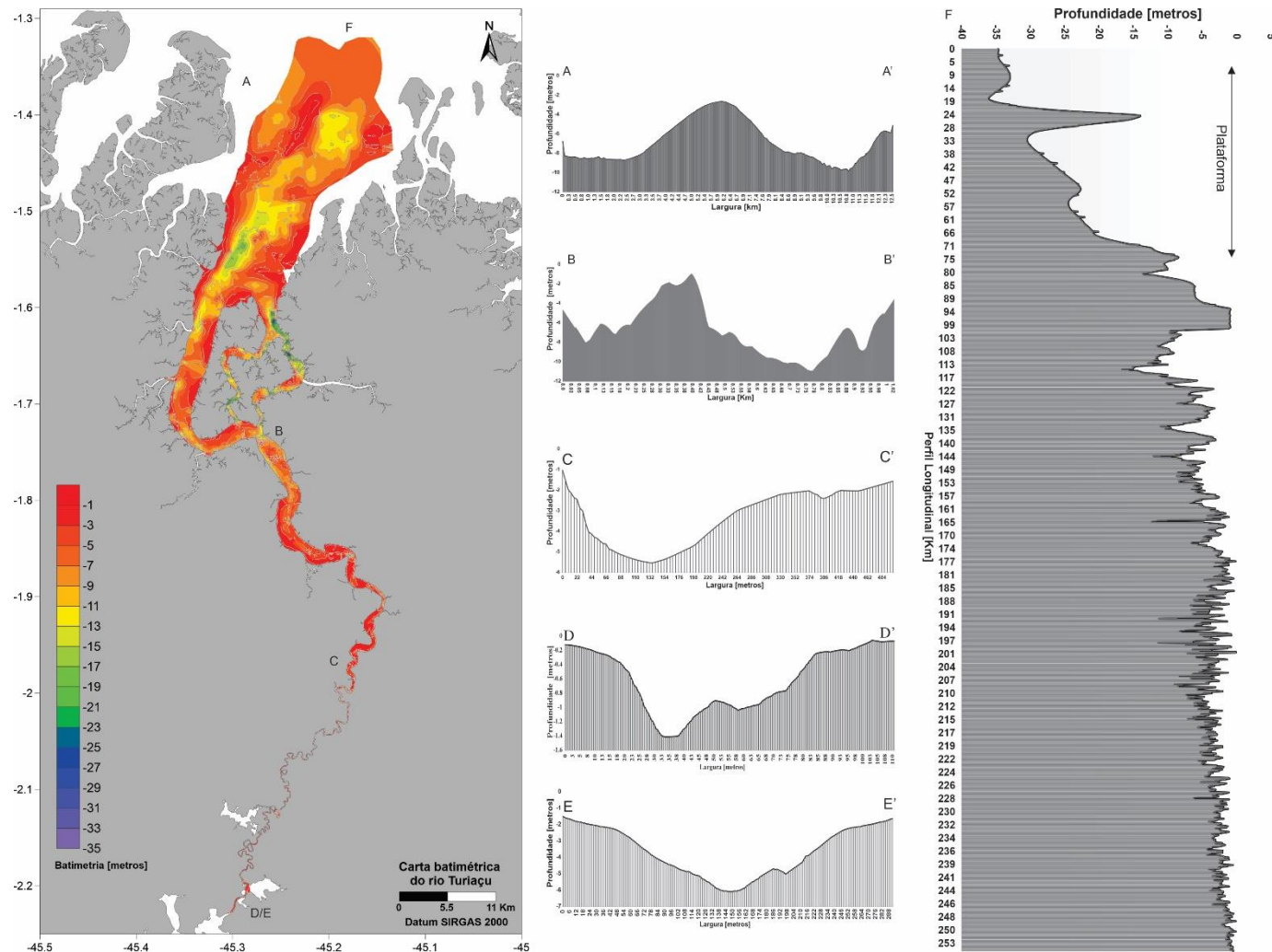


Figura 4-31: Mapa batimétrico do estuário do rio Turiaçu e os perfis transversais da foz (A), baixo estuário (B), médio estuário (C) e o alto estuário, sendo o nível de base no período seco (D) e chuvoso (E). Perfil batimétrico longitudinal com início na plataforma até o alto estuário (F).



Os parâmetros hidrodinâmicos e hidrológicos serão expostos seguindo as variações espaciais e temporais, ou seja, as características do estuário (baixo T1, ST1 – ST2; médio, ST3; e alto, T2 e ST4) em diferentes modulações (semidiurna e lunar) e climática (seco, chuvoso e transicional). As informações de nível da coluna d’água, velocidade, MPS, salinidade e transportes obtidos a partir dos fundeios estão representadas nas figuras em anexo e os resultados por período estão sumarizados em tabelas.

A maré no ERT foi definida como hipermaré, tipo A (6 a 8 m), com altura máxima de ~7,36 m no Baixo Estuário, apresentando desigualdade diurna com diferença de amplitude entre os ciclos (Figura 4-32). No Alto Estuário, a maré foi definida como micromaré, com alturas máximas de ~0.6 m (Tabela 4-11). Contudo, não há sinal de maré no Alto Estuário durante o período de alta descarga (chuvoso e transicional II - 2 de fevereiro a 28 de agosto). Assim, este foi estabelecido como o limite da atuação da maré dinâmica, devido ao aumento do nível de base e da descarga fluvial.

Tabela 4-11: A variação do nível da superfície livre ao longo do rio Turiaçu considerando todos os períodos coletados.

Setor	Nível d’água (m)	
	Mínimo	Máximo
ST1 – ST2	3,00	7,36
ST3	2,35	4,20
ST4	0,02	0,60

A hidrodinâmica foi forçada pela maré nos períodos seco I (macromaré), seco II (hipermaré) e transicional I (hipermaré) e pela descarga fluvial nos períodos chuvoso (hipermaré) e transicional II (macromaré).

Para as análises de amplitudes e fases dos principais constituintes das marés no ERT foram utilizados os pontos T1 e T2 (Tabela 4-12). Os resultados foram obtidos a partir da análise harmônica de séries de dados de ~1 ano, de acordo com o pacote T\_TIDE (PAWLOWICZ *et al.*, 2002).

Os principais componentes harmônicos de alta frequência no baixo estuário foram às semidiurnas ( $M_2$ ,  $S_2$  e  $N_2$ ) e no alto estuário foram de longo período ( $M_{SF}$ ,  $M_M$ ), semidiurna ( $M_2$ ), e águas rasas ( $M_4$ ) (Figura 4-33). Normalmente, as componentes de longo período são muito pequenas em comparação às outras constituintes de maré. No entanto, se a análise harmônica for realizada em uma série de dados longa, é possível observar valores muito maiores do que o esperado com o forçamento astronômico. Isso ocorre porque a energia dessas componentes é de origem meteorológica ou friccional, que afetam o nível d’água.

Além disso, as análises harmônicas realizadas em séries mais longas conseguem extrair um número elevado de componentes, o que permite realizar previsões de maré mais precisas para a utilização em modelos. Entretanto, a existência de hiatos na série de dados da maré dinâmica em determinados períodos pode ocasionar erros na previsão do nível d’água, como ocorreu no Alto Estuário. Neste setor, foi observado que a descarga fluvial altera as características da maré, bloqueando o sinal de fevereiro a agosto, referente ao período de alta descarga.

A análise ciclo a ciclo mostra diferenças de tempo e altura, que podem incluir forçantes não lineares às marés, como a descarga do rio. A variação nas diferenças de tempo pode corresponder a erros na previsão devido a inserção de dados não lineares, sendo a raiz do erro quadrático médio (RMSE) de 2,8% no Baixo Estuário, sendo considerado aceitável o erro inferior a 5%. Para o Alto Estuário no período seco, o qual apresenta maré dinâmica, o erro foi de 286%. Considerando a série de dados anual, o erro foi de 3627%. Assim, a análise ciclo a ciclo é importante para garantir a qualidade dos pontos em que a maré foi medida. Quando a maré apresenta grandes variações nas diferenças de tempo ou de nível, é preferível utilizar pontos para comparações com características mais semelhantes, geralmente mais próximas.

Nos espectros de amplitude de maré, os períodos predominantes são: o semidiurno (SD), o diurno (D), longo período (LP), quarto-diurno (4D) e terço-diurno (3D), em ordem crescente de importância (Figura 4-34). Estes são gerados por efeitos não lineares em águas rasas, ou seja, não apresentam forças produtoras de marés, sendo um misto das frequências puras (diurnas), assim como as demais constituintes de marés com período quinzenal, mensal, semestral, anual ou longo período.

No ERT, a amplitude e a fase das componentes harmônicas sofrem alterações devido à interação com a morfologia do ambiente. Os registros mostraram a interação da maré com as águas rasas (< 5 m) gerando o truncamento da maré, consequência do equilíbrio interno entre a inclinação do terreno e o atrito (enchente), oposto ao gradiente de pressão barotrópico e o atrito (vazante). A topografia é importante no ganho de energia potencial, ou seja, acréscimos de energia aos processos físicos (fluviais). A inclinação do terreno (< 3º) influencia a maré dinâmica de forma distinta no ERT, variando de plana à suave no Baixo Estuário e ondulado no Alto Estuário.

Tabela 4-12: As principais componentes harmônicas diurnas, semidiurnas, águas rasas e longo período (período, amplitude e fase) para o Baixo (cidade de Turiaçu – T1) e Alto Estuário (cidade de Santa Helena – T2) do ERT.

Espécie	T1			T2		
	Período (d)	Amplitude (m)	Fase (graus)	Período (d)	Amplitude (m)	Fase (graus)
Diurna						
Q1	1,12	0,01	204,2	1,12	0,002	76,52
*O1	1,08	0,10	216,5	1,08	0,014	11,33
*P1	1,00	0,04	242,5	1,00	0,008	76,98
*K1	1,00	0,11	245,2	1,00	0,024	69,91
Semidiurna						
N2	0,53	0,45	180,9	0,53	0,038	22,56
M2	0,52	2,36	190,5	0,52	0,209	54,73
L2	0,51	0,12	177,0	0,51	0,006	68,48
S2	0,50	0,72	229,3	0,50	0,062	72,99
K2	0,50	0,21	223,2	0,50	0,017	95,39
Águas Rasas						
MO3	0,35	0,02	297,3	0,30	0,010	313,40
M3	0,35	0,04	337,0	0,30	0,000	297,20
MK3	0,34	0,01	310,0	0,30	0,010	2,40
MN4	0,26	0,04	230,8	0,30	0,020	19,00
M4	0,26	0,10	247,9	0,30	0,060	41,10
SN4	0,26	0,01	278,8	0,30	0,010	315,60
MS4	0,25	0,08	289,2	0,30	0,030	50,10
MSF	14,8	0,04	22,7	14,80	0,170	40,28
MM	27,6	0,03	24,6	27,60	0,110	41,93

\*Acima do nível de significância (>95%)

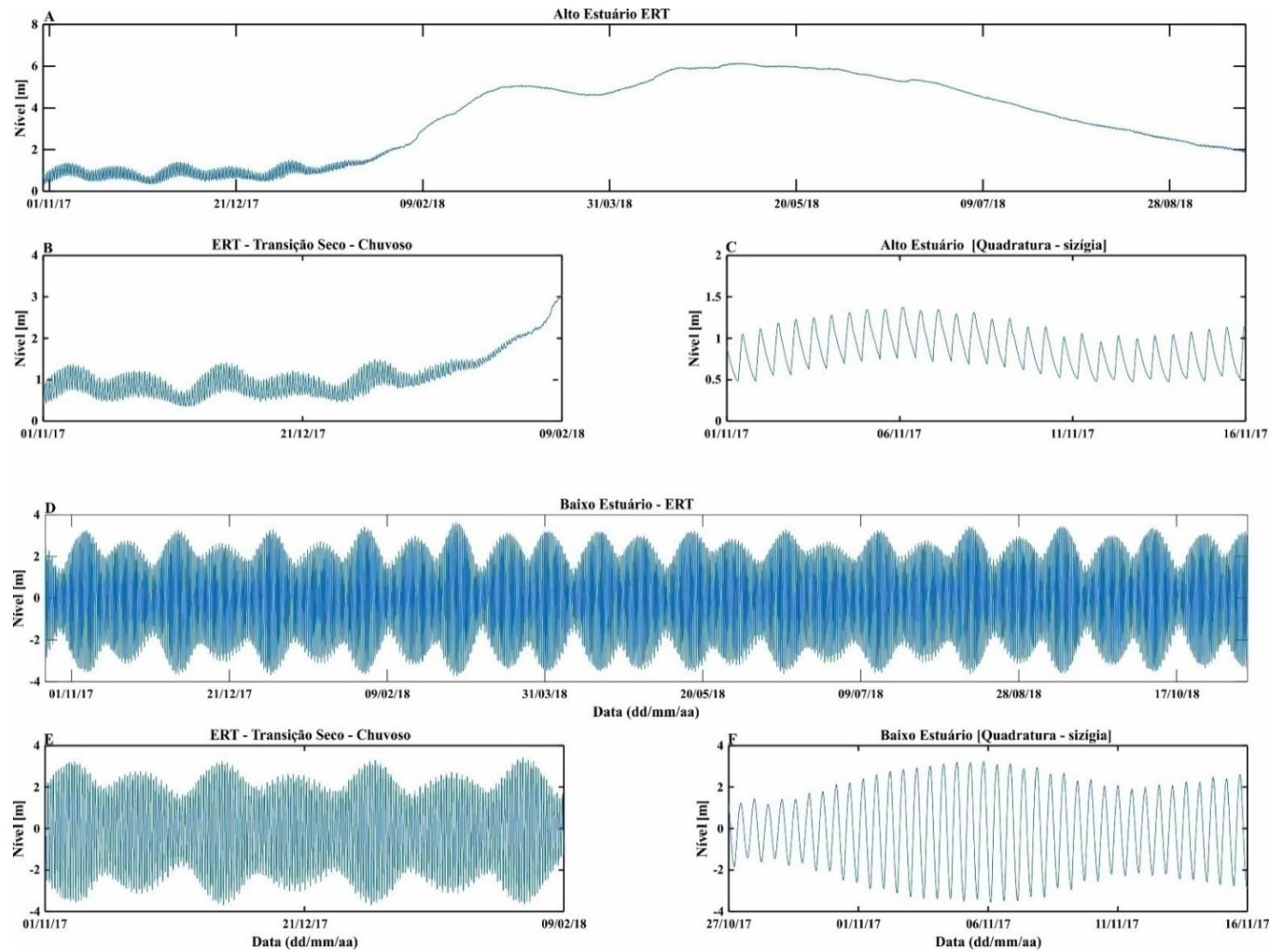


Figura 4-32: Série temporal do nível do ERT, Baixo Estuário (T1) e Alto Estuário (T2).

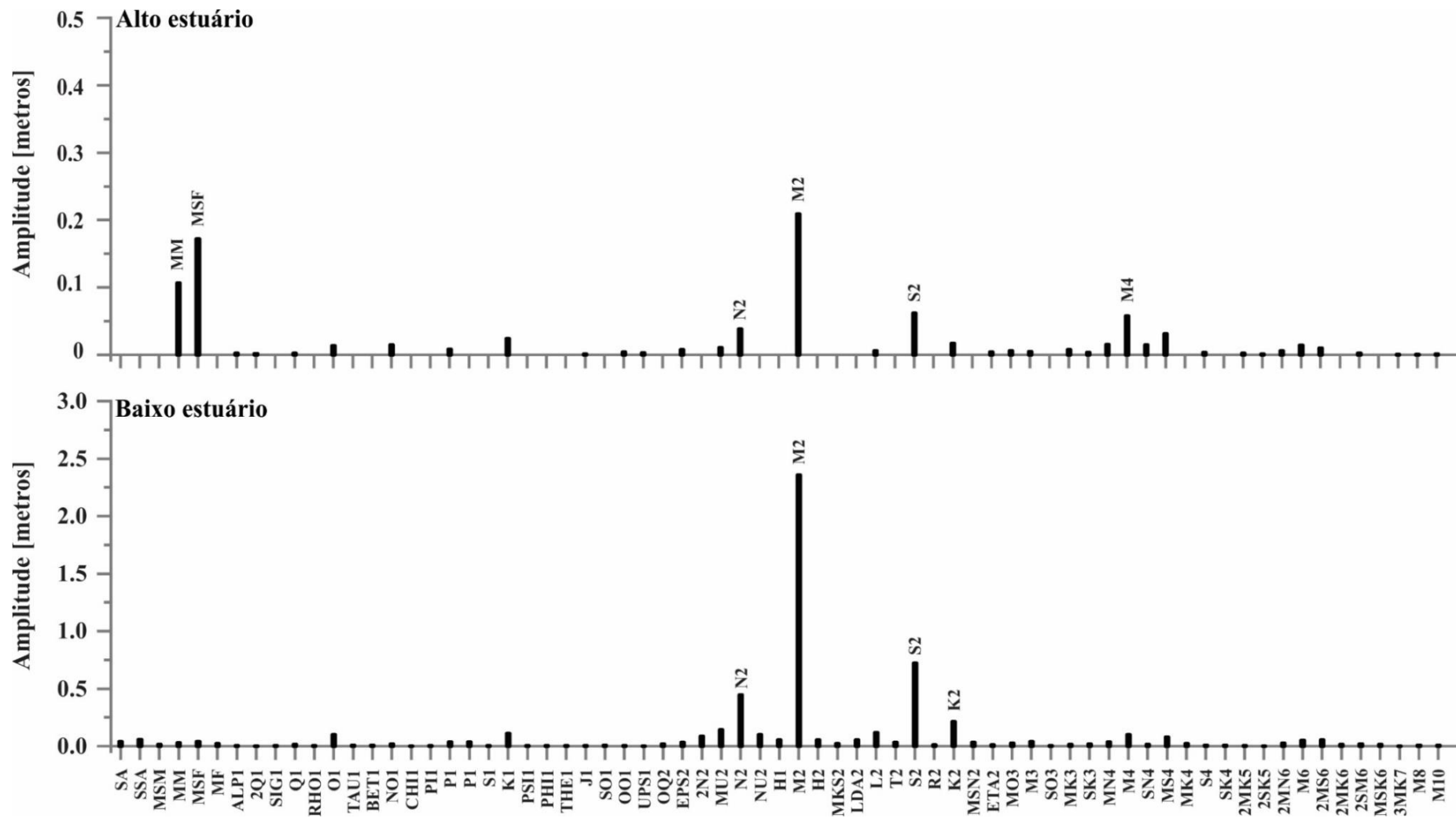


Figura 4-33: Variação Longitudinal das constituintes harmônicas do rio Turiaçu, respectivamente Baixo (T1) e Alto estuário (T2).

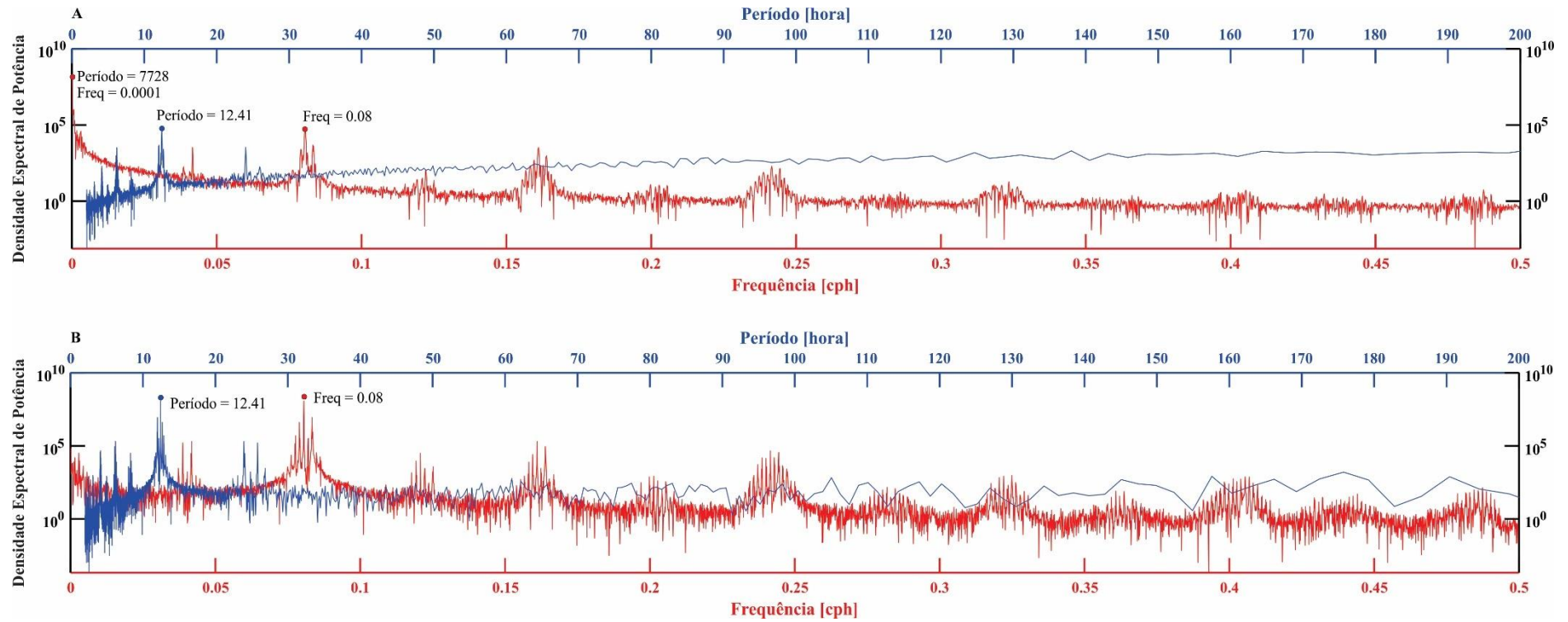


Figura 4-34: Os principais espectros de amplitude de maré para o Baixo (T1, B) e Alto Estuário (T2, A) do ERT. As linhas azuis são referentes ao período e, as vermelhas, à frequência.

Em relação à distorção, foi observado que esta aumenta estuário adentro. A razão  $aM_4/aM_2$  representou 4% e 30% da amplitude da  $M_2$  no baixo e alto estuário, respectivamente. A  $aM_6/aM_2$  representou 2% e 7% da amplitude da  $M_2$  no baixo e alto estuário, respectivamente. Segundo a análise de número de forma, o estuário apresenta maré semidiurna, com fator de forma de 0,07 (Baixo Estuário) e 0,16 (Alto Estuário), caracterizado por dois ciclos de maré (preamar e baixa-mar) por dia (Tabela 4-13).

Tabela 4-13: Principais parâmetros da maré do Baixo e Alto Estuário do ERT.

Parâmetros	Baixo	Alto	Formulação
Maré média	5,18	0,46	$(2.2 * aM_2)$
Maré de sizígia	6,46	0,57	$2.1*(aM_2 + aS_2);$
Maré de quadratura	3,43	0,31	$2.1 *(aM_2 - aS_2);$
Razão $aM_6/aM_2$	0,02	0,07	$aM_6 / aM_2$
Razão $aM_4/aM_2$	0,04	0,28	$aM_4 / aM_2$
Diferença de fase	133,10	68,4	$2 * oM_2 - oM_4$
Número de forma	0,07	0,16	$aK_1 + aO_1 / aM_2 + aS_2;$

Geralmente, quanto maior a distância entre as estações, maiores serão as diferenças na composição harmônica e no tempo. Assim, foi observado que a defasagem é crescente à montante. Isto é, a maré alta na seção do Baixo Estuário (ST1 e ST2) é 0,5 h mais tarde que na estação T1. O Médio (ST3) e o Alto Estuário (T2 e ST4) são 5 h e 6 h mais tarde que em relação a T1, respectivamente. A defasagem da maré pode variar de acordo com o período sazonal. Além disso, da foz até o Alto Estuário, o atraso de fase entre as marés altas é menor do que entre as marés baixas, sendo possível observar a influência da descarga fluvial neste atraso.

Com base nas características geométricas e de maré da área, os parâmetros bidimensionais  $a/h$  foram calculados. No ERT, a razão  $a/h$  variou de 0,35 (Baixo Estuário, T1) a 0,1 (Alto Estuário, T2), com uma amplitude de 2,36 m e 0,2 m da  $M_2$ , e a profundidade média do canal de 6,7 m e 1,41 m, respectivamente.

As medições *in situ* mostram que a assimetria das marés é determinada pelos períodos de baixa e alta descarga. O rio é dominado pela maré durante o período de baixa descarga, e é dominado pela componente fluvial em períodos de alta descarga. Essas inversões de médio prazo são sistemáticas, e o nível de distorção é modulado pelo fluxo do rio e pela amplitude das marés.

Conforme FRIEDRICHS e AUBREY (1988), a diferença de fase ( $2\phi M_2 - \phi M_4$ ) no rio Turiaçu é  $< 131^\circ$ , dessa forma o rio foi classificado como dominado por enchente. Logo, a duração da enchente é menor e mais intensa do que a de vazante, a qual tem maior duração e com menor intensidade. A assimetria de maré (Figura 4-35) é positiva no Baixo Estuário (tempo enchente (6,04 h)  $<$  vazante (6,37 h)) e no Alto Estuário (tempo enchente (4,43 h)  $<$  vazante (7,81 h)).

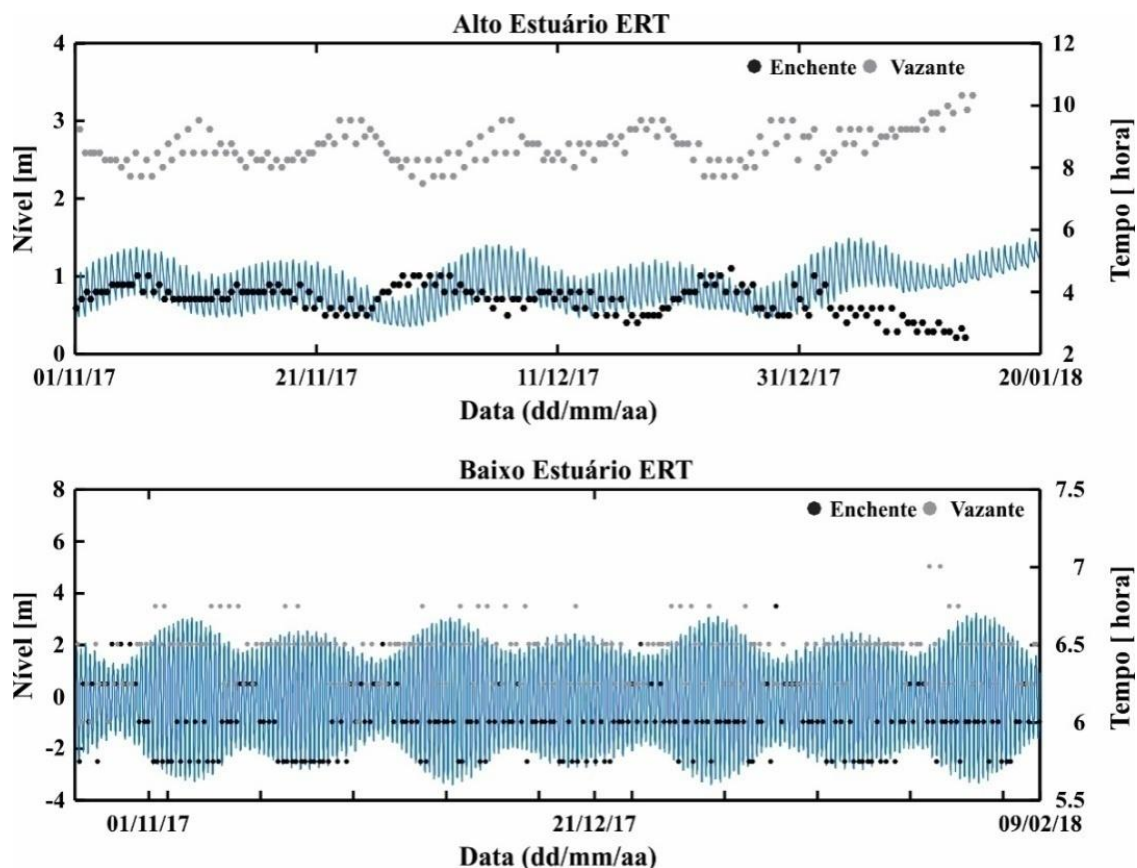


Figura 4-35: Nível e assimetria de maré no Baixo e Alto Estuário (ERT).

As análises de assimetria de corrente foram realizadas para os dados das seções (ST1 - ST2, ST3 e ST4). O comportamento médio da assimetria da corrente no estuário foi positivo, ou seja, dominado pela enchente, se assemelhando a assimetria da maré. Logo, o tempo é crescente em direção a montante, o tempo de vazante > enchente, até o bloqueio da maré, tanto na quadratura quanto na sizígia.

Contudo, apesar da assimetria média ser positiva, o Baixo Estuário apresentou uma diferença lateral. O Baixo Estuário apresenta canais específicos de enchente (ST2) e de vazante (ST1). A dominância de vazante em ST1 demonstra que as médias e máximos da velocidade de corrente na vazante são superiores comparados às velocidades de enchente. Logo, a assimetria de corrente em ST1 é negativa. A diferença lateral pode ser explicada devido a inflexão do canal estuarino, com curvatura para sudeste após as ilhas centrais, a qual induz correntes de enchente mais fortes para ST2 e um atraso de fase na reversão da corrente de maré na margem oposta do canal (ST1) (Figura 4-36).

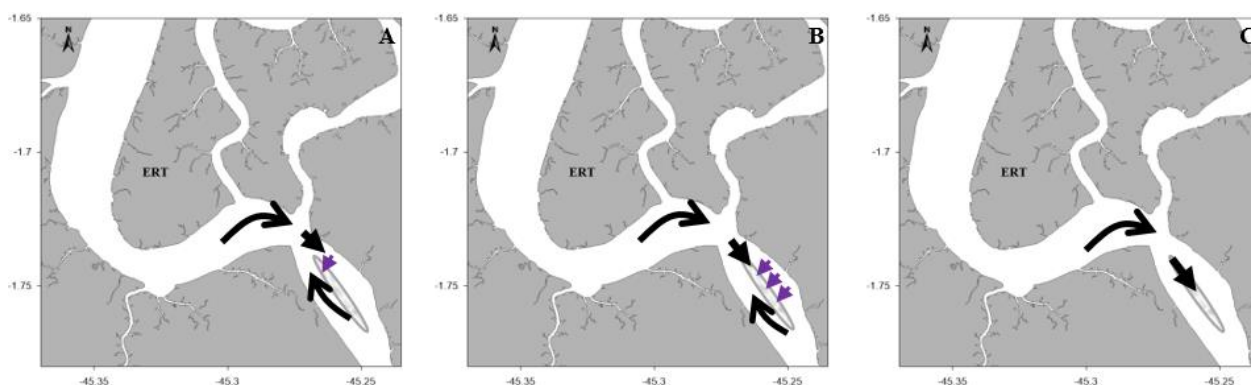


Figura 4-36: Representação esquemática do percurso das correntes no rio Turiaçu. A) Representação da defasagem da inversão do fluxo da maré entre ST1 e ST2; B) início da inversão de fluxo de ST2 para ST1; e C) o fluxo apresenta sentido de enchente nos dois pontos, ST1 e ST2.

Apesar da média da assimetria da corrente ser positiva, ela apresenta variação sazonal (Tabela 4-14). No período de baixa descarga, as correntes de enchente são mais fortes e assimetria positiva. No Médio Estuário, a corrente fluvial é baixa, com velocidades residuais negativas (estuário adentro) com acumulação de água nesse setor. Entretanto, a seção ST1 apresenta assimetria de corrente negativa (vazante) em todos os períodos sazonais. No período de alta descarga, a dominância é de vazante.

Tabela 4-14: Nível e assimetria de corrente no Baixo, Médio e Alto Estuário (ERT).

Nível [m] Corrente [h]	Sizígia			Quadratura		
	B seção	M	A	B ST1	B ST2	M
Setor	B seção	M	A	B ST1	B ST2	M
Nível	5,35	2,85	0,60		3,00	2,70
Enchente	5:00*	04:30	---		06:00	06:00
Vazante	06:30*	08:30	---		07:00	07:00
Transicional I						
Setor	B ST1	B ST2	M	A	B ST1	B ST2
Nível	~7,36	3,52	0,02		5,75	5,00
Enchente	02:30	05:00	05:00	03:00	05:00	05:30
Vazante	10:30	08:00	08:00	10:00	08:00	07:30
Chuvoso						
Setor	B ST1	B ST2	M	A	B ST1	B ST2
Nível	6,35	5,95	3,21	0,00	3,15	3,70
Enchente	05:00	05:30	01:30	00:00	03:30	06:00
Vazante	08:00	07:30	11:30	13:00	09:30	07:00
Transicional II						
Setor	B ST1	B ST2	M	A	B ST1	B ST2
Nível	5,60	5,15	4,20	0,00	4,45	4,60
Enchente	05:00	05:30	03:00	00:00	06:00	05:00
Vazante	08:00	07:30	10:00	13:00	07:00	08:00
Seco II						
Setor	B ST1	B ST2	M	A	B ST1	B ST2
Nível	6,42	6,35	4,20	0,45	4,70	5,40
Enchente	03:30	05:30	04:30	04:00	05:30	06:00
Vazante	09:30	07:30	08:30	09:00	07:30	07:00

Assim, a hidrodinâmica do ERT pode ser dividida em período de baixa descarga, com o domínio marinho, e alta descarga, com o domínio fluvial, representando os transportes estuário adentro e a fora. A hidrodinâmica foi classificada como alta por se tratar de um estuário de hipermaré, podendo essas características ser amplificadas em períodos de baixa precipitação (La Niña).

No período de baixa descarga ( $< 56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$ ), a maré se estende até o Alto Estuário devido à baixa corrente fluvial, principalmente na quadratura ( $< 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), sendo a vazão média para o período seco de  $\sim 18,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$ ,



impactando o Médio e o Alto estuário com fortes pulsos de maré ( $1,44 \text{ m.s}^{-1}$  a  $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ ) e causando alta suspensão sedimentar, e conseqüente aprisionamento de massa. O Alto Estuário apresenta redução do nível de base e inversão de corrente, e o Baixo Estuário apresenta um transporte estuário afora, mais devido ao refluxo da maré do que propriamente da origem fluvial.

No Médio Estuário as velocidades médias de enchente > vazante, ocasionando empilhamento à montante durante a quadratura. Posteriormente, este fluxo aprisionado é reincorporado na sizígia devido à intensificação das correntes (macromaré), influenciando diretamente o Alto Estuário devido à baixa descarga. O período seco II se diferenciou devido a maior precipitação nos meses que precederam, ocasionados pelo fenômeno de El Niño. Assim, houve o transporte estuário afora no Médio Estuário devido ao maior volume de água doce no sistema.

No período de alta descarga, a principal característica é a elevação do nível de base, bloqueando a maré dinâmica no Alto Estuário, servindo como uma barreira hidráulica. Isso quer dizer que o alto estuário não apresenta oscilação de nível por maré e inversão de fluxo, entretanto é perceptível a influência da hipermaré freando a descarga fluvial. Neste momento, a ação fluvial é dominante, como podem ser observados pelas altas velocidades ( $1,2 \text{ m.s}^{-1}$  a  $2,6 \text{ m.s}^{-1}$ ), sendo a descarga fluvial efetiva para o transporte estuário afora, principalmente no baixo estuário.

No Baixo e Alto estuário, o transporte residual foi estuário afora independente do período sazonal. No Médio Estuário diferenciou nos períodos: Seco I (exceto sizígia) e Transicional I, que o transporte foi estuário adentro devido ao baixo aporte fluvial; e nos períodos Chuvoso, Transicional II e Seco II, que apresentaram transporte estuário afora devido à alta descarga fluvial e velocidade residual positiva.

O ERT apresentou alta concentração de MPS (seco I ( $1,92 \text{ g.L}^{-1}$ ); Transicional I ( $1,03 \text{ g.L}^{-1}$ ); Chuvoso ( $0,83 \text{ g.L}^{-1}$ ); Transicional II ( $2,3 \text{ g.L}^{-1}$ ); e seco II ( $1,44 \text{ g.L}^{-1}$ )), com as maiores concentrações próximo ao fundo ( $>10 \text{ g.L}^{-1}$ ). O estuário é parcialmente estratificado ( $N_m < 1$ ) a estratificado ( $N_m > 1$ ), sendo o Alto Estuário bem misturado ( $N_m < 0,1$ ). No período de baixa descarga as maiores concentrações de MPS é no Médio Estuário e no período de alta descarga é no Baixo Estuário. Normalmente, o período chuvoso apresenta as maiores concentrações, resultado dos processos de lixiviação e carreamento de sedimento para os rios, mas o alto estuário obteve as maiores concentrações nos períodos seco II ( $1,1 \text{ g.L}^{-1}$ ) e transicional I ( $0,21 \text{ g.L}^{-1}$ ).

A salinidade apresenta maior variabilidade entre os períodos de baixa descarga (Seco I,  $30,7 \text{ g.kg}^{-1}$ ; Transicional I,  $30,4 \text{ g.kg}^{-1}$ ; Seco II,  $\sim 30 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e alta descarga (Chuvoso,  $1,56 \text{ g.kg}^{-1}$ ; Transicional II,  $6,5 \text{ g.kg}^{-1}$ ), sendo a coluna d'água bem homogênea ( $N_s < 0,1$ ), exceto no período de alta descarga, quando é parcialmente estratificado ( $N_s > 0,1$ ). O baixo estuário não apresenta diferença lateral e o alto estuário apresenta normalmente a salinidade  $< 0,5 \text{ g.kg}^{-1}$ , exceto em períodos muito seco (vazão  $< 18,9 \text{ m}^3.\text{s}$ ) a salinidade podendo ser  $> 0,5 \text{ g.kg}^{-1}$ . Abaixo estão disponibilizadas tabelas (Tabela 4-15 a Tabela 4-19) e figuras (Figura 4-37 a Figura 4-46) com os dados dos parâmetros hidrodinâmicos e hidrológicos para cada período sazonal no ERT.

Tabela 4-15: Síntese da velocidade, MPS e salinidade para o período seco I no ERT.

Seco I	Sizígia			Quadratura		
	B Seção	M	A	B ST1	B ST2	M
Maré [metros]						
Nível	5,35	2,85	0,6 <sup>s</sup> a 0,25 <sup>q</sup>			3 2,7
Velocidade [m.s <sup>-1</sup> ou m <sup>3</sup> .s*]						
Med. Ench	-0,71	-0,98	---	-0,45	-0,39	-0,52
Med. Vaz	0,76	0,8	---	0,45	0,29	0,2
Máximo	2,5 / -2,2	-2,4	---	2,2	-1,44	-1,95
Vel. residual	0,13	0,16	---	0,04	-0,01	-0,19
Transp. Residual*	2024	466,7	---	90,5	-203,6	-264,0
MPS [g.L <sup>-1</sup> ]						
Média	1,5 ± 0,9	3,55 ± 2,4	---	0,66 ± 1	0,74 ± 0,74	3,1 ± 4
Enchente	1,2	2,78	---	0,77	0,9	2,77
Vazante	1,97	3,9	---	0,54	0,6	3,34
Nm	1,3	0,77		3,34	1,9	2,1
Salinidade [g.kg <sup>-1</sup> ]						
Média geral	31,6 ± 0,45	29,8 ± 0,5	---	32,5 ± 0,4	32,5 ± 0,44	27,1 ± 1,5
Med. Ench	31,8	30,3	---	32,5	32,32	28
Med. Vaz	31,4	29,6	---	32,56	32,7	26,96
Ns	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tabela 4-16: Síntese da velocidade, MPS e salinidade para o período transicional I no ERT nas estações de coleta no Baixo (B), Médio (M) e Alto (A) Estuário

Trans. I	Sizígia				Quadratura		
	B ST1	B ST2	M	A	B ST1	B ST2	M
Maré [metros]							
Nível		~7,36	3,52	0,02 <sup>s</sup> a 0,1 <sup>q</sup>	5,75	5	2,7
Velocidade [m.s <sup>-1</sup> ou m <sup>3</sup> .s*]							
Med. Ench	-0,74	-0,82	-0,55	-0,12	-0,68	-0,66	-0,66
Med. Vaz	0,93	0,97	0,14	0,27	0,88	0,63	0,12
Máximo	~3	2,4	-2,4	1	2,04	1,9	-2,06
Vel. residual	0,66	0,25	-0,15	0,18	0,3	0,08	-0,08
Transp. Residual*	4225,5	2136,8	-300,5	57	1813,7	581,7	-249,2
MPS [g.L <sup>-1</sup> ]							
Média	1 ± 0,44	1 ± 0,44	2,5 ± 1,1	0,2 ± 0,03	0,7 ± 0,3	0,6 ± 0,3	1,1 ± 0,9
Enchente	1,23	1,12	3,24	0,18	0,73	0,66	1,53
Vazante	0,89	0,44	2,22	0,22	0,72	0,55	0,83
Nm	0,76	0,65	0,51	< 0,1	0,86	0,86	0,85
Salinidade [g.kg <sup>-1</sup> ]							
Média	34,4 ± 0,7	34,5 ± 0,7	22,8 ± 5,5	0,3 ± 0,08	34,7 ± 0,25	34,7 ± 0,5	21,2 ± 6,2
Enchente	34,16	34,31	23,47	0,33	34,71	34,75	21,48
Vazante	34,57	34,61	22,49	0,3	34,78	34,69	20,99
Ns	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tabela 4-17: Síntese da velocidade, MPS e salinidade para o período chuvoso no ERT, nas estações de coleta no Baixo (B), Médio (M) e Alto (A) Estuário

Chuvoso	Sizígia				Quadratura		
	B ST1	B ST2	M	A	B ST1	B ST2	M
Maré [metros]							
Nível	6,35	5,95	3,21	0	3,15	3,7	2,35
Velocidade [m.s <sup>-1</sup> ]							
Med. Ench	-0,84	-0,79	-0,38	0	-0,37	-0,56	-0,1
Med. Vaz	1,3	0,92	0,75	0,34	0,5	0,58	0,98
Máximo	2,6	2,28	1,8	1,37	1,2	-1,37	2,6
Vel. residual	0,48	0,19	0,63	0,34	0,23	0,05	0,85
Transp. Residual*	2610,5	1832	901	358,5	1461	463,8	1341,6
MPS [g.L <sup>-1</sup> ]							
Média	1,2 ± 2,6	2,4 ± 2,6	0,3 ± 0,1	0,03 ± 0,002	0,8 ± 1,7	0,85 ± 2,1	0,3 ± 0,6
Enchente	0,58	2,77	0,33	0	1	1,36	0,12
Vazante	1,46	2,22	0,26	0,03	0,63	0,34	0,35
Nm	5,1	2,4	0,64		5,2	5	1,15
Salinidade [g.kg <sup>-1</sup> ]							
Média	3,2 ± 2,1	2,8 ± 1,9	0,05 ± 0,02	0,02 ± 0	1,4 ± 1,24	1,9 ± 1,5	0,04 ± 0,01
Enchente	3,76	4,01	0,04	0	1,42	1,94	0,04
Vazante	2,83	2,18	0,07	0,02	1,32	1,85	0,03
Ns	0,26	0,35	< 0,1	< 0,1	0,82	0,37	0,13

 \*m<sup>3</sup>.s

Tabela 4-18: Síntese da velocidade, MPS e salinidade para o período transicional II no ERT, nas estações de coleta no Baixo (B), Médio (M) e Alto (A) Estuário

Trans. II	Sizígia				Quadratura		
	B ST1	B ST2	M	A	B ST1	B ST2	M
Maré [metros]							
Nível	5,6	5,15	4,2	0	4,45	4,6	3
Velocidade [m.s <sup>-1</sup> ]							
Med. Ench	-1,02	-0,97	-0,6	0	-0,52	-0,7	-0,45
Med. Vaz	1,21	0,78	0,9	0,35	0,97	0,63	0,77
Máximo	2,4	1,9	1,75	1,1		2	1,5
Vel. residual	0,34	0,04	0,55	0,35	0,21	0,11	0,4
Transp. Residual*	2272	527,2	778	243	1413,4	1546	569
MPS [g.L <sup>-1</sup> ]							
Média	5 ± 5	5 ± 5	0,82 ± 0,8	0,04 ± 0,003	2,5 ± 4	2,8 ± 4,6	0,1 ± 0,05
Enchente	5,8	5,4	1,05	0	2,47	2,4	0,13
Vazante	4,25	4,6	0,75	0,04	2,5	3,1	0,09
Nm	2,4	2,9	2,3		4,4	4,9	0,47
Salinidade [g.kg <sup>-1</sup> ]							
Média	9,3 ± 3	9,3 ± 2,2	0,3 ± 0,3	0,03 ± 0	10 ± 2,8	9,9 ± 2,2	0,01 ± 0,01
Enchente	9,91	9,84	0,51	0	10,56	10,13	0,01
Vazante	8,8	8,87	0,24	0,03	9,78	9,77	0,01
Ns	< 0,1	< 0,1	0,42	< 0,1	0,11	< 0,1	< 0,1

 \*m<sup>3</sup>.s

Tabela 4-19: Síntese da velocidade, MPS e salinidade para o período seco II no ERT, nas estações de coleta no Baixo (B), Médio (M) e Alto (A) Estuário

Seco II	Sizígia				Quadratura		
	B ST1	B ST2	M	A	B ST1	B ST2	M
<b>Maré [metros]</b>							
Nível	6,42	6,35	4,2	0,45 <sup>s</sup> a 0,35 <sup>a</sup>	4,7	5,4	3,25
<b>Velocidade [m.s<sup>-1</sup>]</b>							
Med. Ench	-0,84	-0,82	-0,88	-0,4	-0,65	-0,7	-0,5
Med. Vaz	1,13	0,9	0,64	0,32	0,97	0,63	0,75
Máximo	2,7	1,95	-2	-1,4	2,1	-1,9	1,5
Vel. residual	0,6	0,15	0,11	0,1	0,27	0,01	0,27
Transp. Residual*	3758,4	2072,8	171,4	23,2	1812,8	177	313
<b>MPS [g.L<sup>-1</sup>]</b>							
Média	1,4 ± 0,8	0,9 ± 0,66	2,63 ± 1,2	1,1 ± 0,2	1,35 ± 1,5	1 ± 0,77	1,7 ± 1
Enchente	1,23	0,92	2,73	1	1,52	1,1	1,97
Vazante	1,49	0,86	2,57	1,11	1,22	0,94	1,56
Nm	1,1	1,6	0,98	< 0,1	2,3	1,67	0,73
<b>Salinidade [g.kg<sup>-1</sup>]</b>							
Média	32,55 ± 0,7	32,5 ± 0,7	26,5 ± 2,5	0,1 ± 0,01	32,2 ± 0,6	32,1 ± 0,7	24 ± 3,2
Enchente	32,69	32,53	28,45	0,1	32,6	31,9	24,6
Vazante	32,47	32,55	25,36	0,1	31,9	32,3	23,5
Ns	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

\*m<sup>3</sup>.s

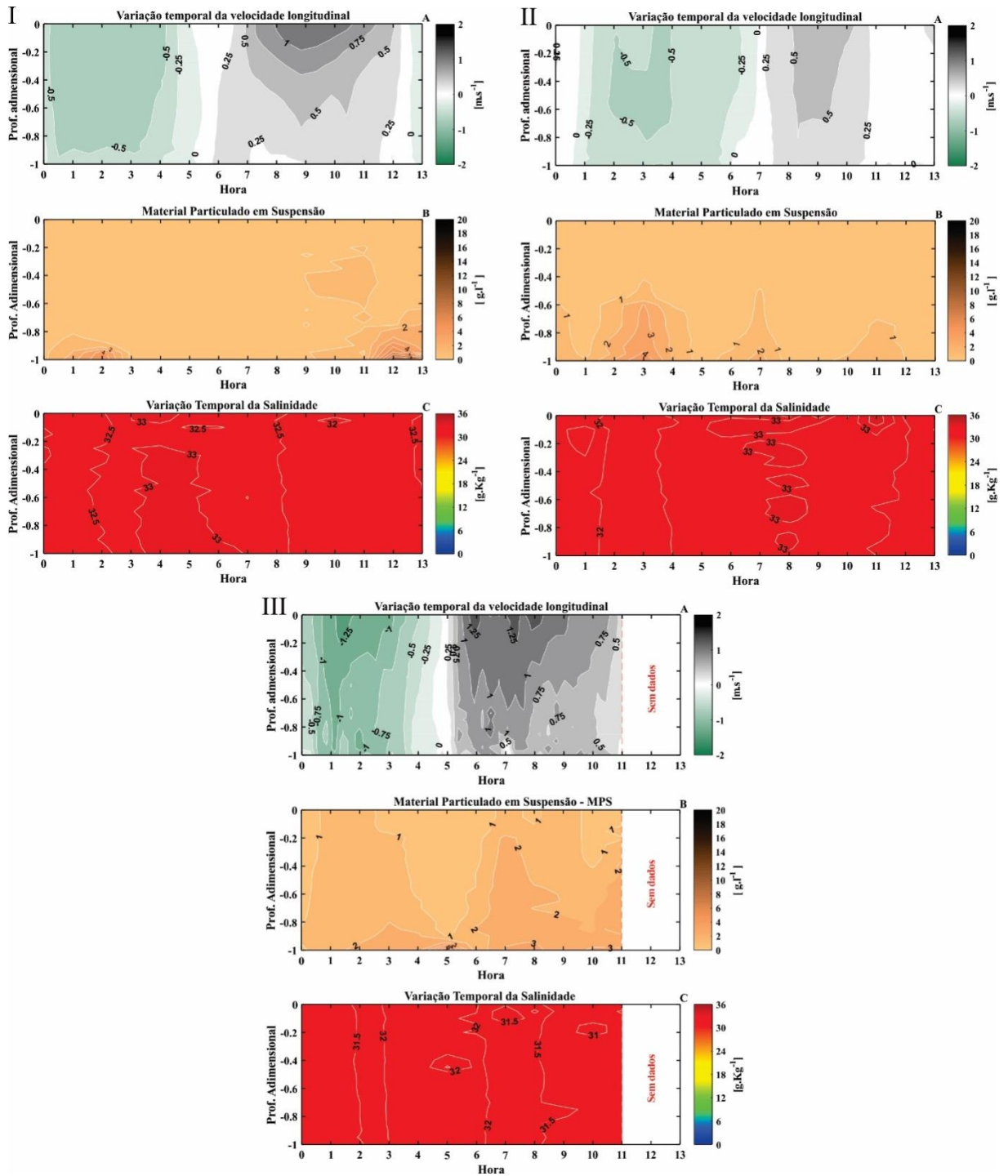


Figura 4-37: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Seco I. Baixo Estuário quadratura (ST1 - I; ST2 - II) e sizígia (B seção - III). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente.

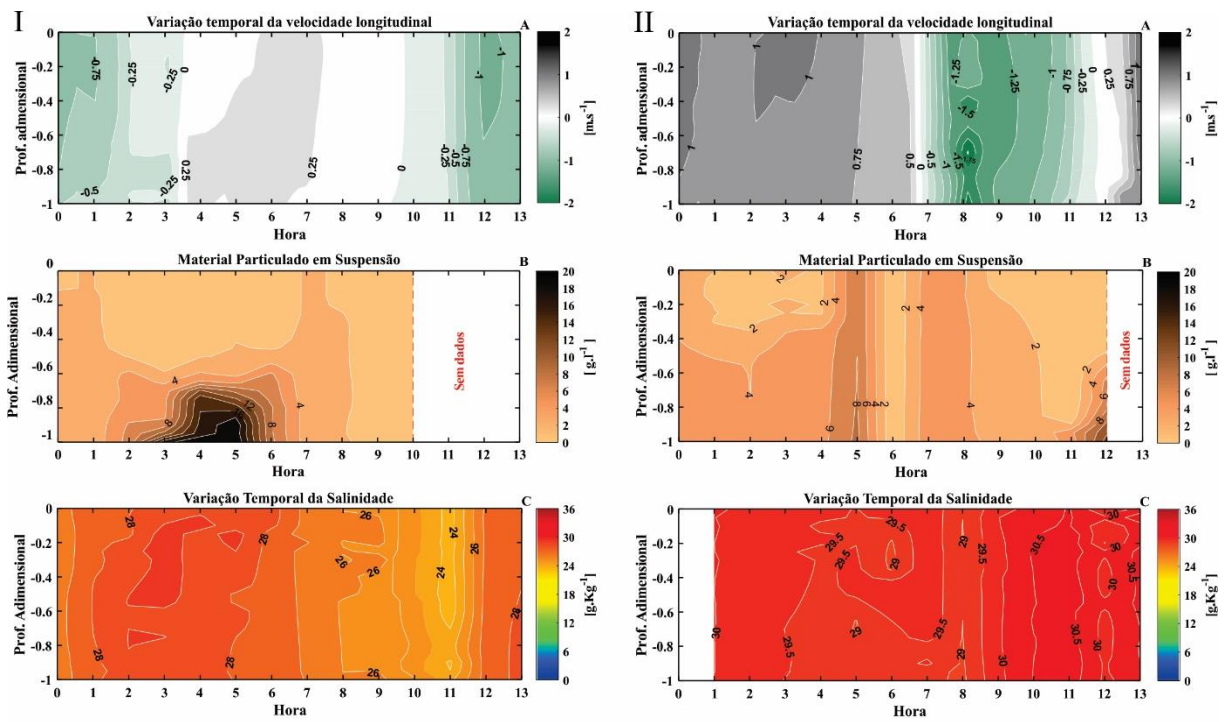


Figura 4-38: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período seco I. Médio Estuário quadratura (I) e sizígia (II). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente.

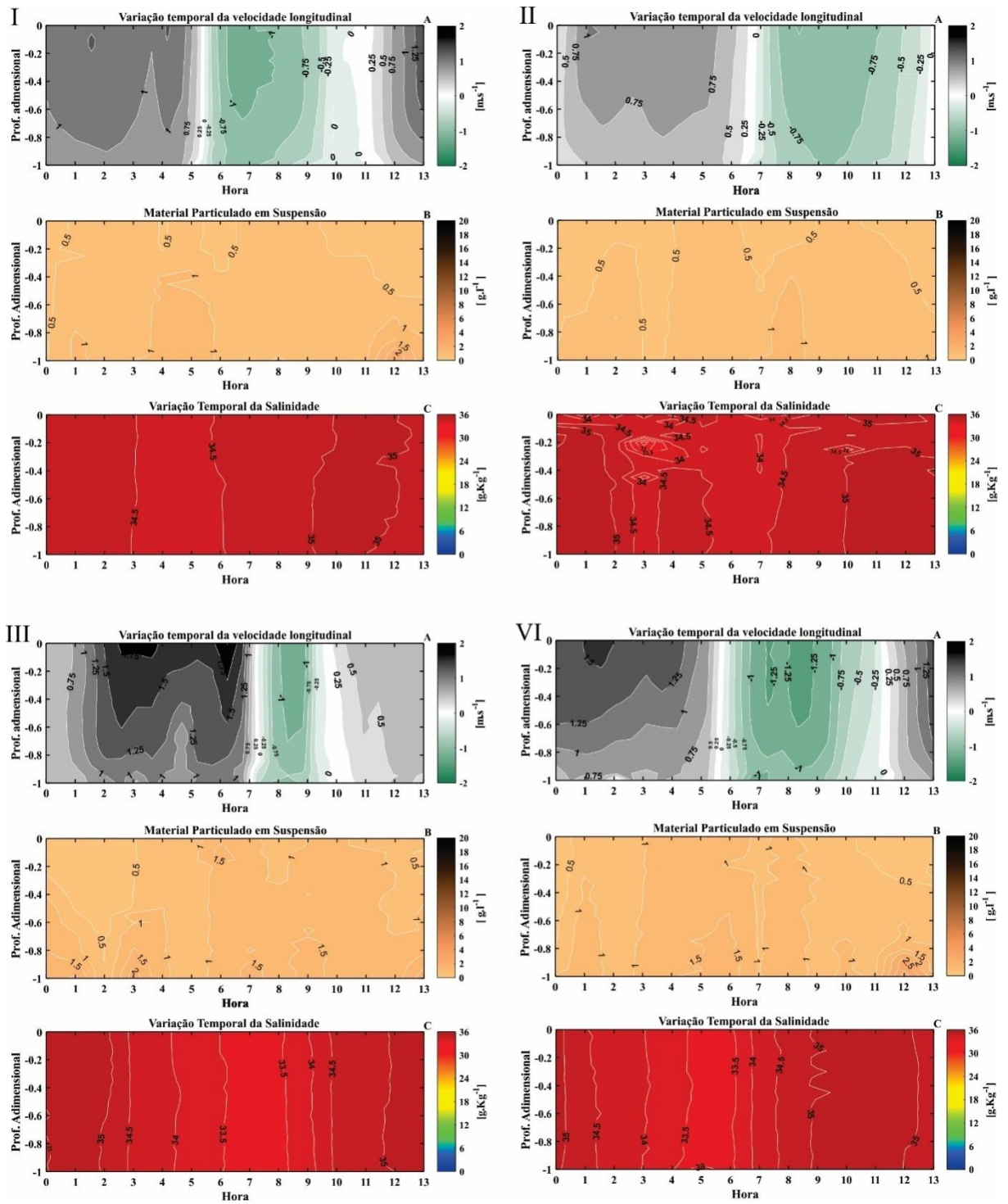


Figura 4-39: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Transicional I. Baixo Estuário quadratura (ST1, I; ST2, II) e sizígia (ST1, III; ST2, IV). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente.

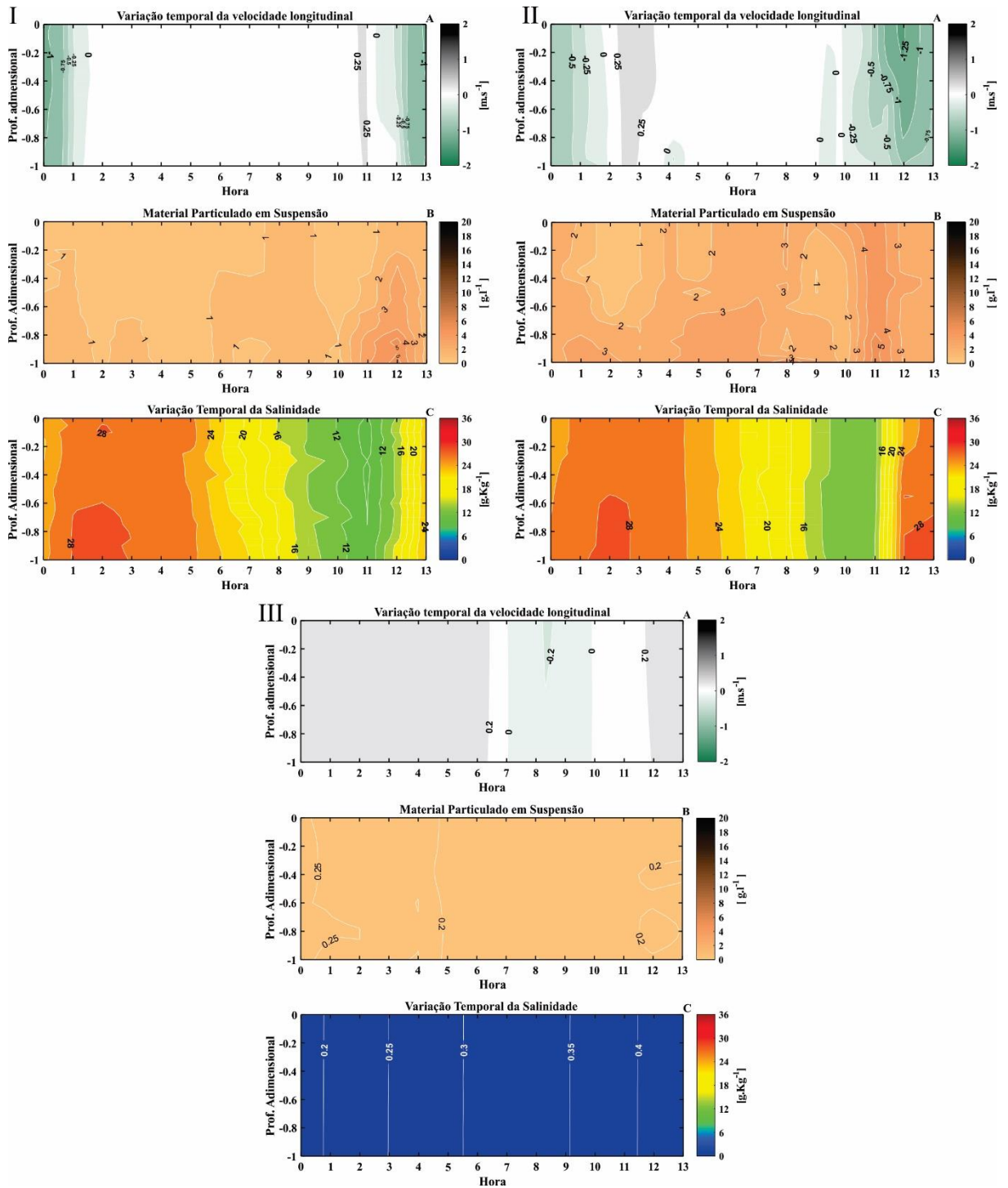


Figura 4-40: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período transicional I. Médio Estuário quadratura (I) e sizígia (II); e Alto Estuário sizígia (III), Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente.



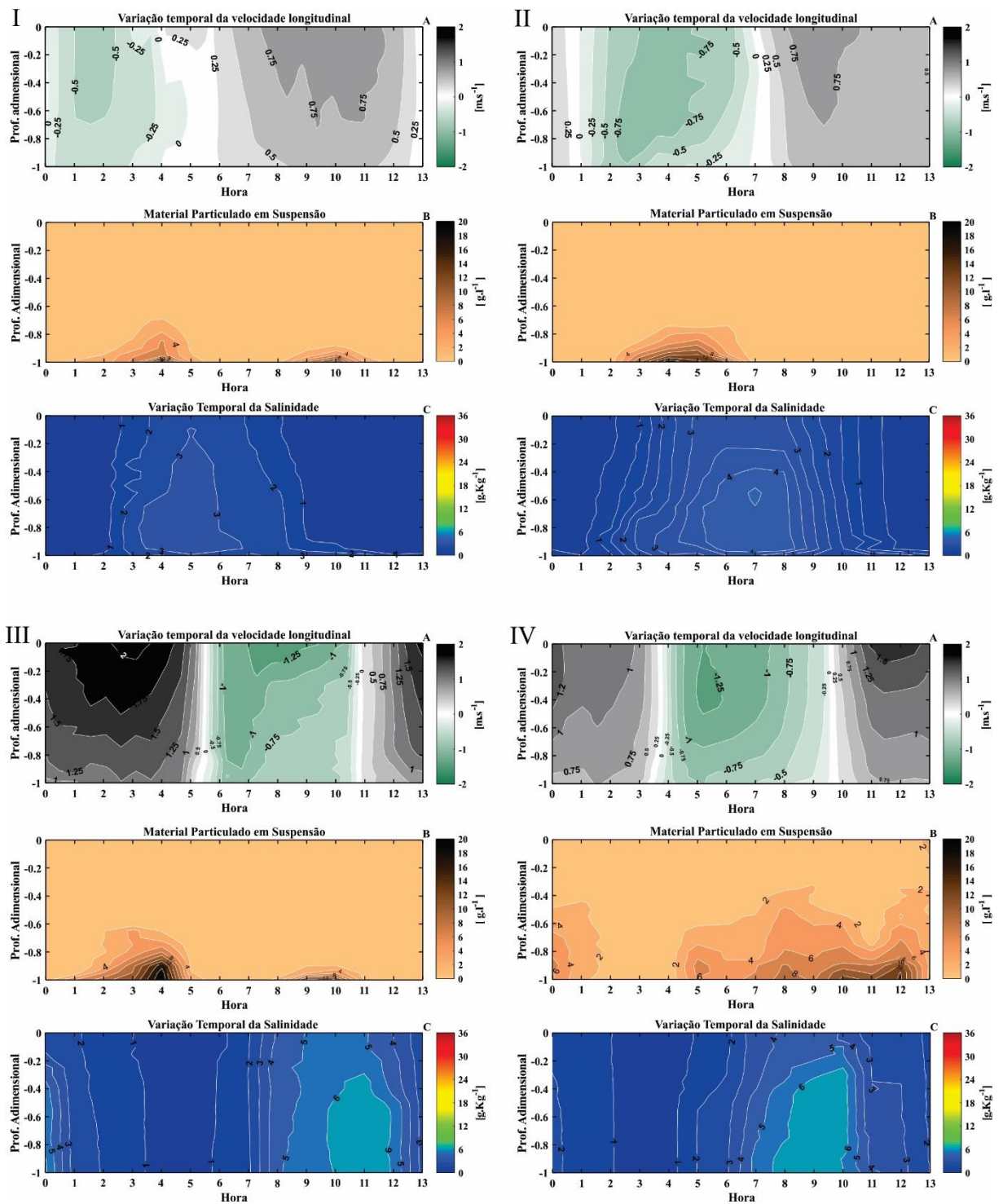


Figura 4-41: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Chuvoso. Baixo Estuário quadratura (ST1, I; ST2, II) e sizígia (ST1, III; ST2, IV). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente.

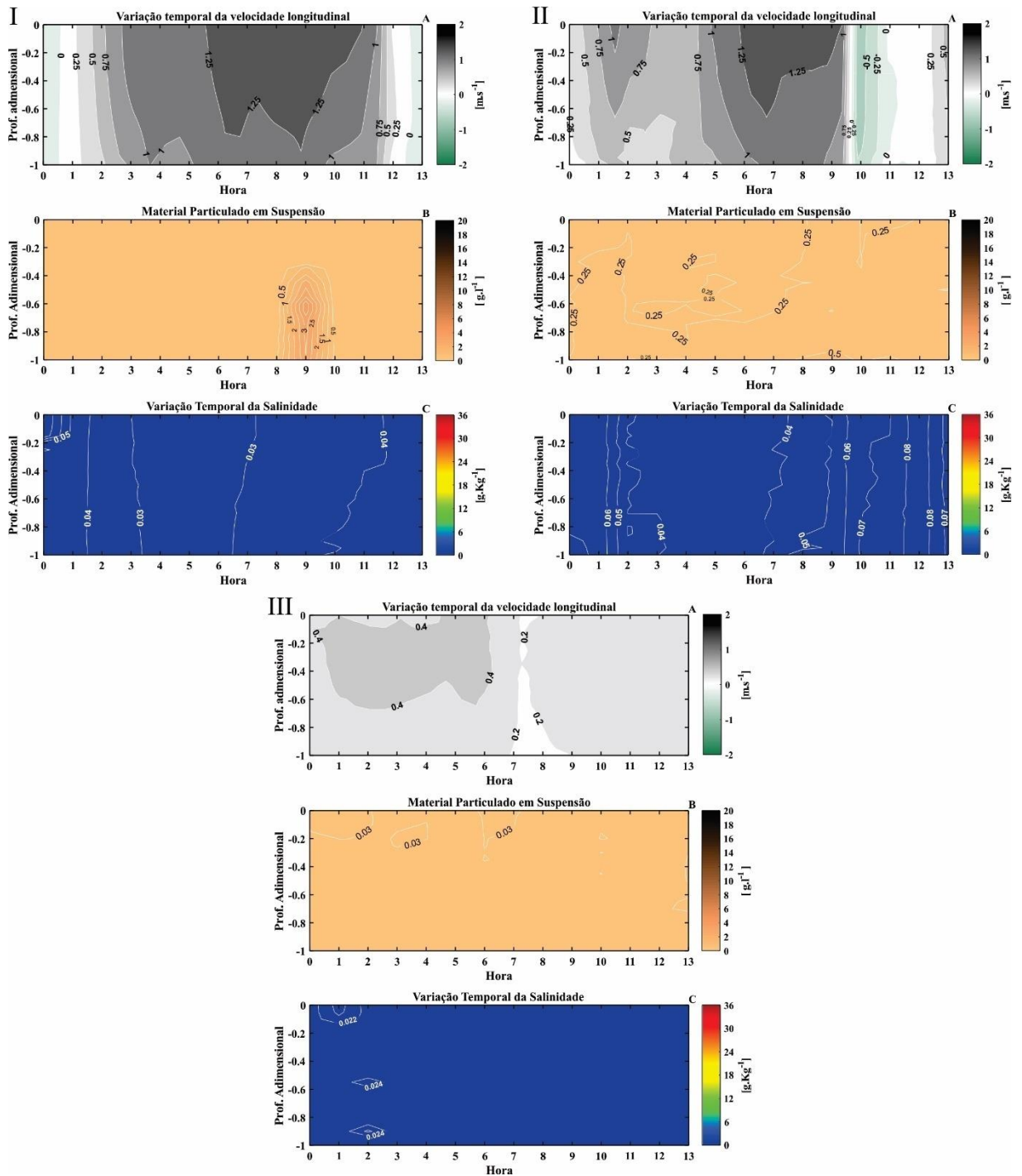


Figura 4-42: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Chuvoso. Médio Estuário quadratura (I) e sizígia (II); e Alto Estuário sizígia (III). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente.

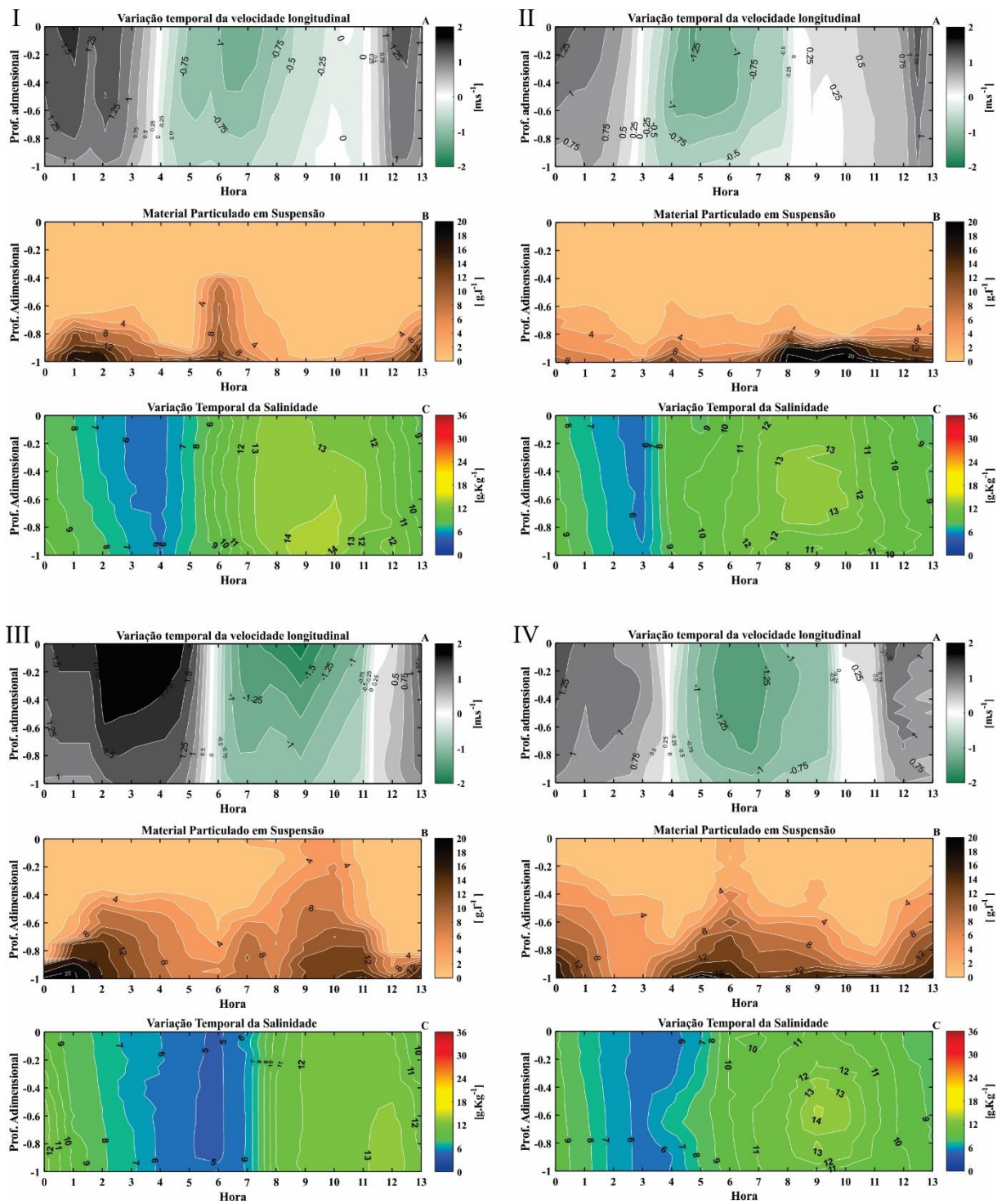


Figura 4-43: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Transicional II. Baixo estuário quadratura (ST1, I; ST2, II) e sizígia (ST1, III; ST2, IV). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente.

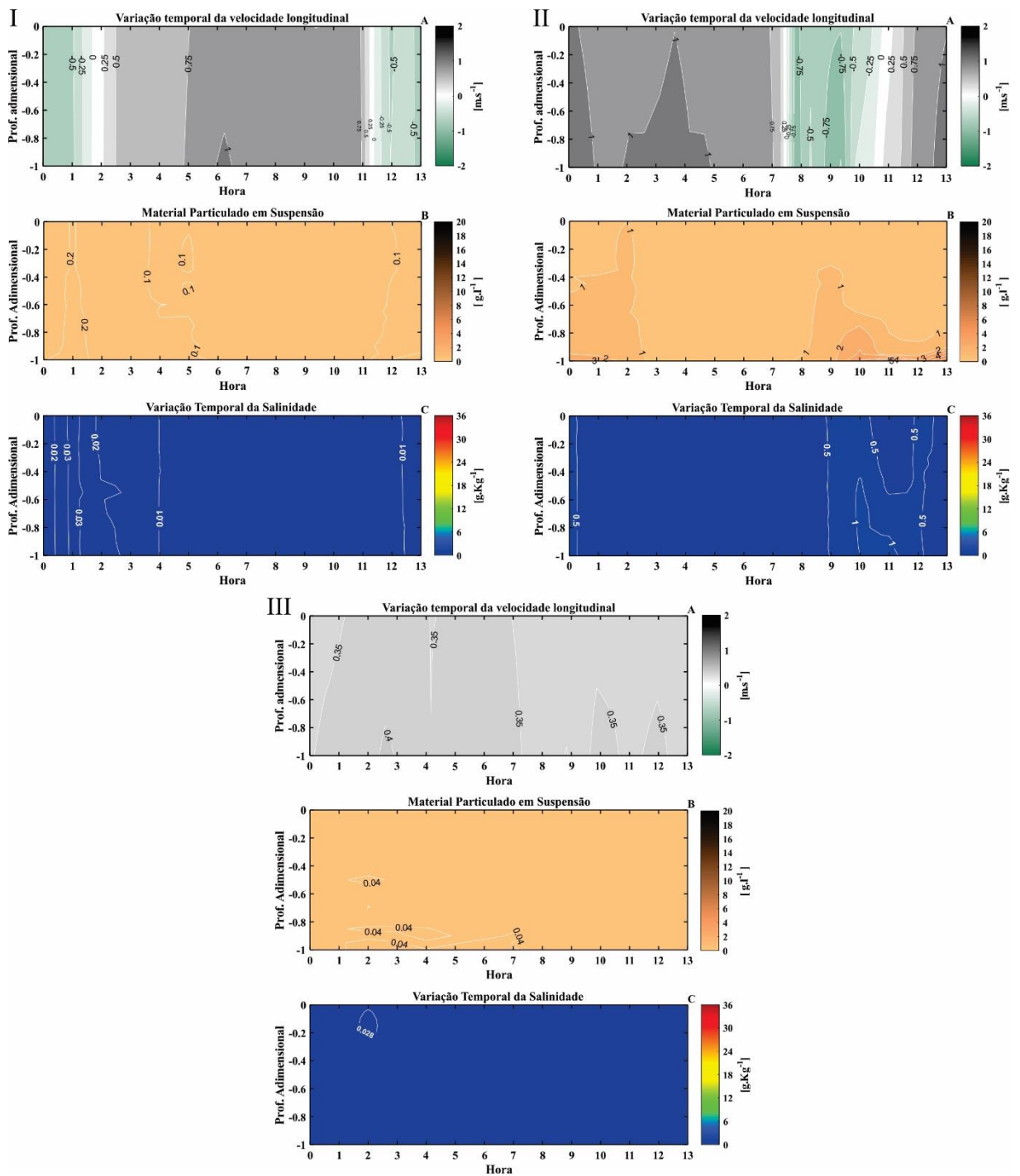


Figura 4-44: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Transicional II. Médio Estuário quadratura (I) e sizígia (II); e Alto Estuário sizígia (III). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente.

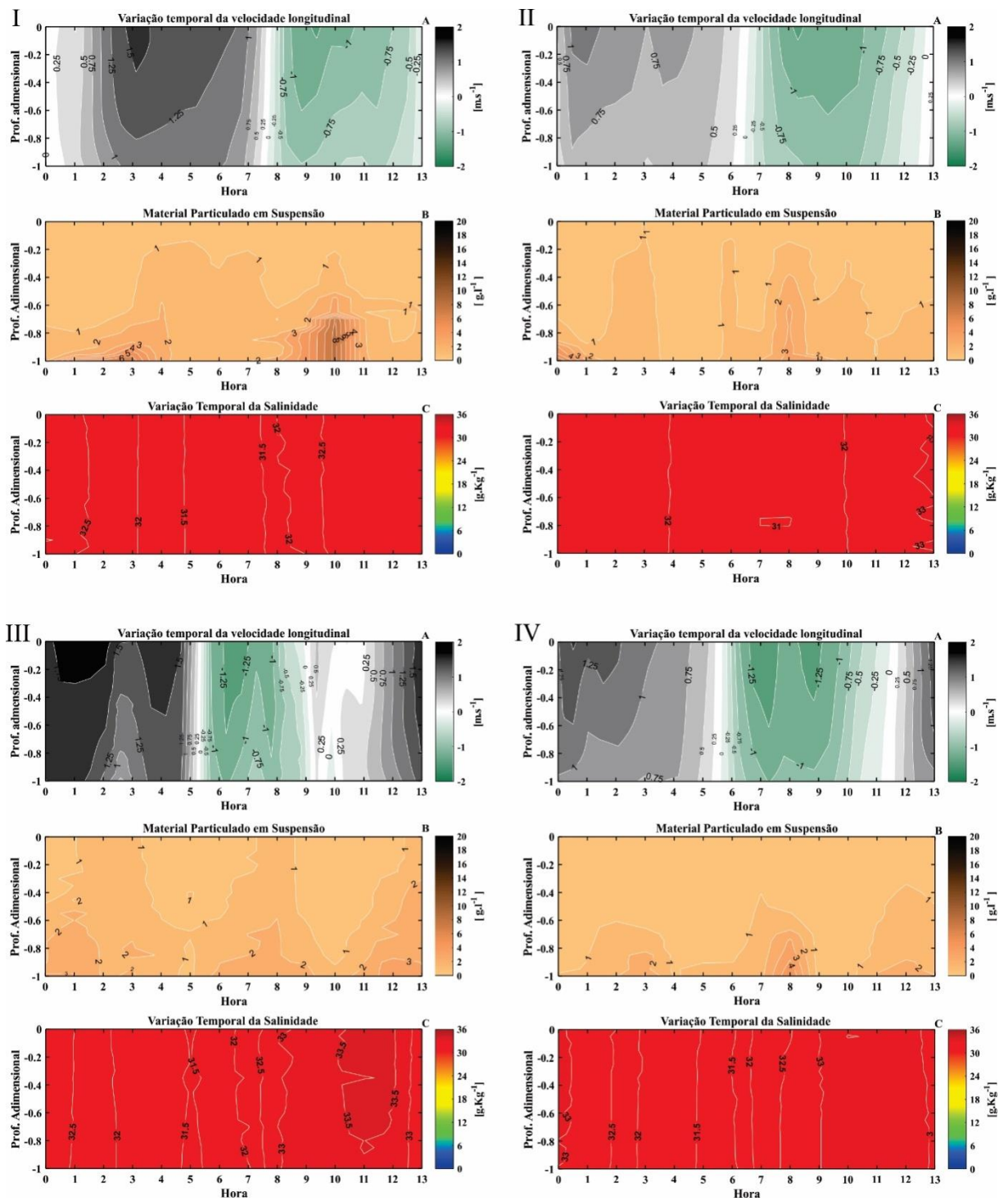


Figura 4-45: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Seco II. Baixo estuário quadratura (ST1, I; ST2, II) e sizígia (ST1, III; ST2, IV). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente.

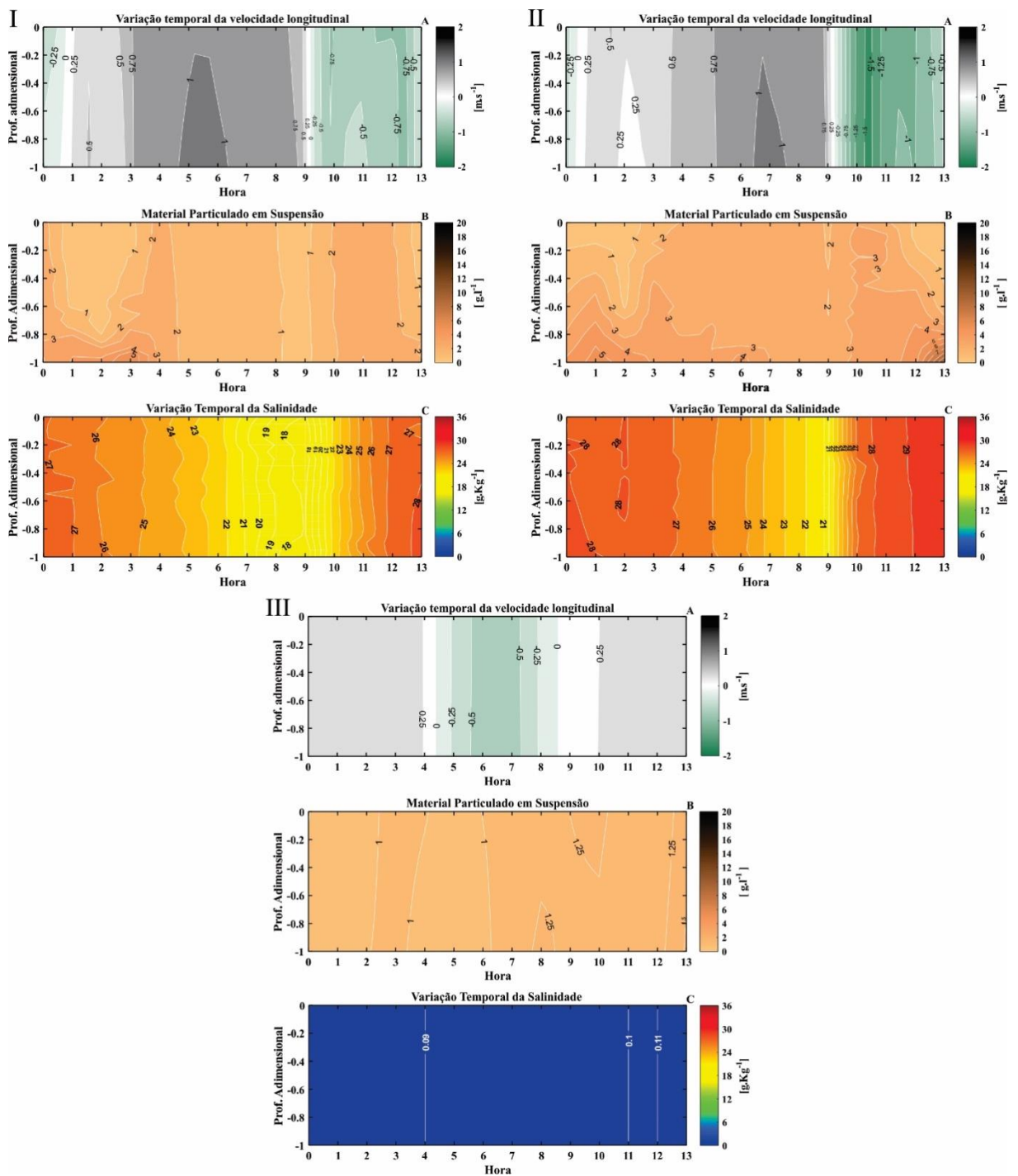


Figura 4-46: Variação temporal da velocidade (A); do MPS (B); e da salinidade (C) durante o período Seco II. Médio Estuário quadratura (I) e sizígia (II); e Alto Estuário sizígia (III). Valores positivos representam a vazante e negativos representam a enchente.

A onda de maré adentra o estuário em pulsos, como em saltos repentinos com grandes variações de velocidades, similares aos saltos hidráulicos com mudanças rápidas de profundidade. Esses *inputs* de energia são responsáveis pelos máximos de turbidez (MPS) e instabilidade da coluna d'água, principalmente no Baixo e no Médio Estuário em períodos de baixa descarga devido a redução do nível de base. O Médio e Alto Estuário são ambientes rasos e a redução do nível de base aumenta a ação erosiva sobre o substrato (forças de atrito). Este fator somado a geomorfologia complexa, com a presença de

bancos arenosos e a inclinação do canal, cria um ambiente altamente turbulento com influências em todo o estuário (Figura 4-47).

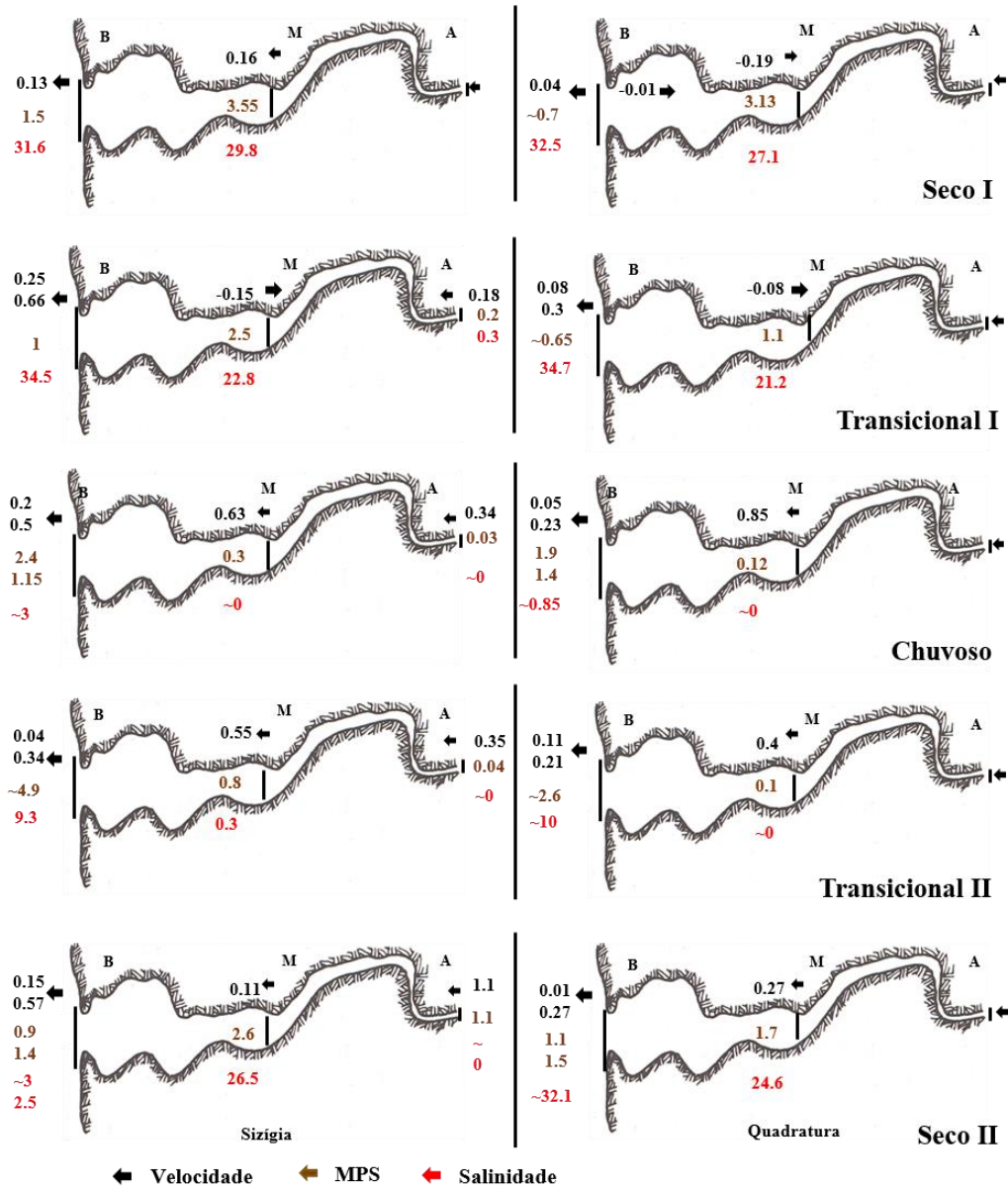


Figura 4-47: Variação trimestral dos principais parâmetros (MPS, salinidade e velocidade residual) do ERT.

O sistema estuarino apresentou alta concentração de MPS, assim surgiu o questionamento da origem do sedimento em suspensão no ERT. Então, com base nas relações entre as suspensões próxima ao substrato e sobrejacente, foi quantificado através da relação entre a média de MPS no fundo ( $\overline{MPS}_f$ ) e a média da coluna d'água ( $\overline{MPS}$ ) (NICHOLS e BIGGS, 1985; SIEGLE *et al.*, 2009). A alta correlação ( $r^2 > 0,5$ ) sugere que a concentração na coluna d'água é controlada principalmente pela concentração perto do substrato, através da ressuspensão, e os valores baixos ( $r^2 < 0,5$ ) através de processos advectivos.

Os processos por ressuspensão ou advectivos alternaram o domínio no ERT, sendo a ressuspensão dominante no período de alta descarga e quadratura e advectivos no período de baixa descarga e sizígia.

No período seco I e transicional II apresentou processos por ressuspensão na quadratura ( $r^2 > 0,7$ ) e advectivos na sizígia ( $r^2 < 0,45$ ). No período chuvoso a ressuspensão foi dominante ( $r^2 > 0,7$ ). O período transicional I apresentou processos por ressuspensão no Alto e Médio Estuário ( $r^2 > 0,7$ ), e advectivos no Baixo e Médio Estuário ( $r^2 < 0,4$ ). O período seco II apresentou processos por ressuspensão no Alto e Baixo Estuário ( $r^2 > 0,8$ ), e advectivos no Baixo (quadratura) e Médio Estuário ( $r^2 < 0,4$ ), (Tabela 4-20).

Tabela 4-20: Correlação entre o  $(\overline{MPS_r})$  e  $(\overline{MPS})$  para os períodos trimestrais do ERT, com seus respectivos  $r^2$  para o Baixo, margem direita (MD) e esquerda (ME), Médio e Alto Estuário.

Período	Seco I	Transicional I	Chuvoso	Transicional II	Seco II	
Sizígia	Baixo Estuário (ST1)	0,001	0,12	0,75	0,06	0,34
	Baixo Estuário (ST2)		0,13	0,7	0,13	0,85
	Médio Estuário	0,37	0,41	0,7	0,45	0,005
	Alto Estuário	---	0,94	0,94	0,45	0,94
Quadratura	Baixo Estuário (ST1)	0,91	0,05	0,9	0,52	0,4
	Baixo Estuário (ST2)	0,73	0,12	0,95	0,76	0,17
	Médio Estuário	0,81	0,88	0,98	0,83	0,11

Conforme proposto por HANSEY e RATRAY JR (1966), o ERT foi classificado como parcialmente a bem misturado. A estratificação do estuário foi definida a partir das velocidades na coluna d'água e da salinidade (superfície e fundo). Assim, a fraca estratificação ocorre no período de baixa descarga e a alta estratificação no período de alta descarga (Figura 4-48). O parâmetro de estratificação foi  $< 0,1$ , exceto nos períodos chuvoso (Baixo Estuário) e transicional II (Médio Estuário) ( $> 0,1$ ) e o parâmetro de circulação variou de 0,6 a 3,72, sendo que o parâmetro de proporção relativa " $\nu$ " foi de  $\sim 0,9$  a 1, indicando um transporte por difusão turbulenta.



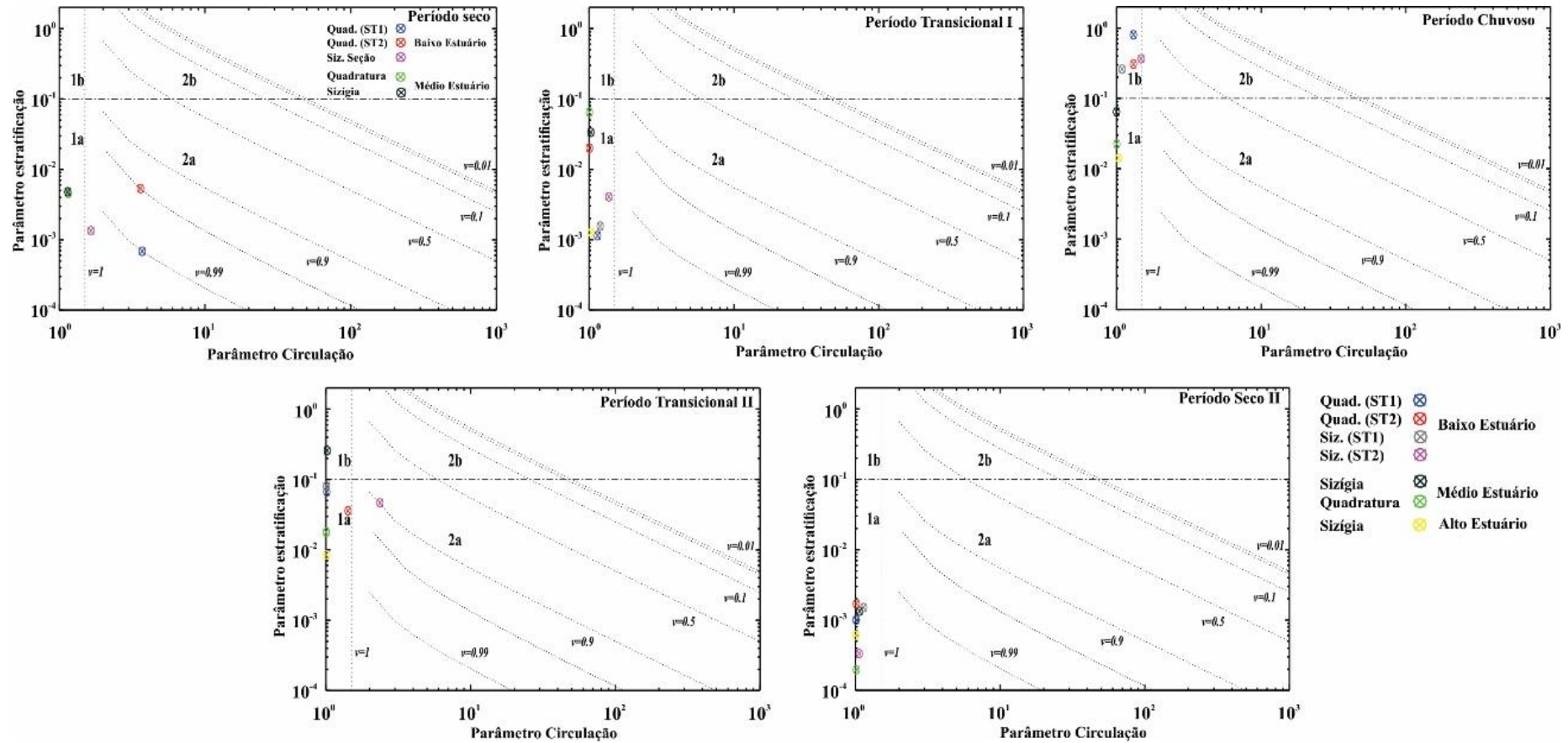


Figura 4-48: Diagrama estratificação-circulação de HANSEN e RATTRAY JR. (1966) do Baixo, Médio e Alto Estuário do ERT nos período Seco (I e II), Chuvoso e Transicional (I e II) com isolinhas do parâmetro da proporção relativa ( $0 < v < 1$ ), na quadratura e sizígia.

No ERT, foi observado que o limite da intrusão salina varia de acordo com o período sazonal. Durante o período de alta descarga, a penetração da maré salina é inferior 86 km (Médio Estuário) à montante da foz, tanto na sizígia quanto na quadratura. No período de baixa descarga, a excursão salina alcançou áreas mais interiores do rio, se estendendo por ~152 km à montante da foz durante a sizígia.

A Figura 4-49 apresenta os limites máximos de penetração da maré salina no ERT nos períodos de baixa e alta descarga. Os limites trimestrais da excursão da maré salina na região durante o ciclo de maré de sizígia e de quadratura é representado pelas bolas (salinidade) e quadrados (nível).

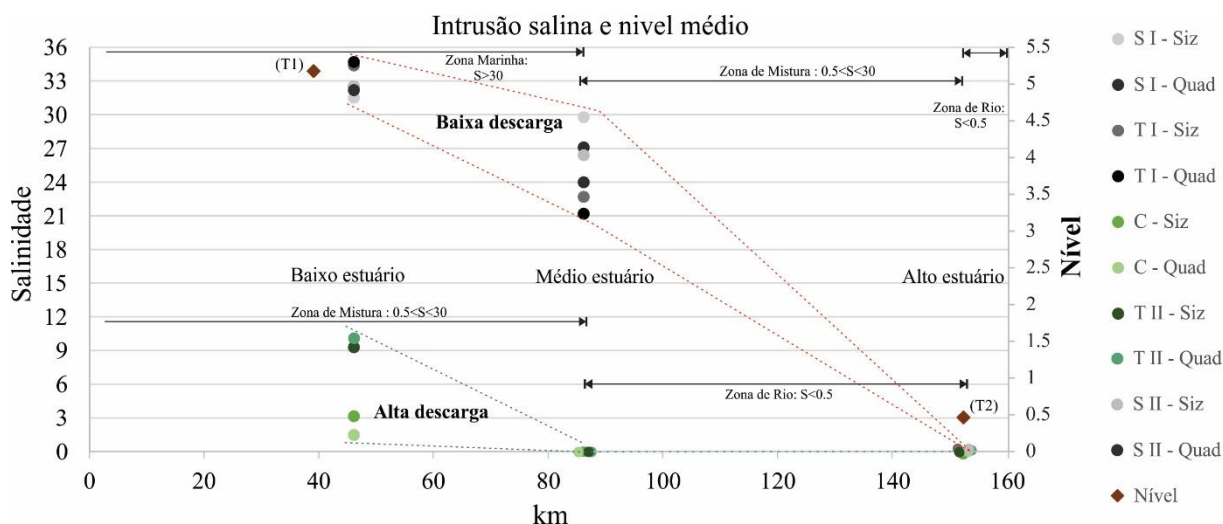


Figura 4-49: Limites da intrusão salina ao longo do ERT e nível médio da coluna d'água no ERT, nas cidades de Turiaçu e Santa Helena (SH).

As Tabela 4-21 a Tabela 4-25 apresentam os fluxos de água, sal e MPS por ciclos de maré para cada período. No período seco I (Tabela 4-21), a razão de fluxo foi menor na quadratura ( $R \leq 1$ ) e maior na sizígia ( $R > 1$ ). O transporte resultante de água foi estuário afora de  $80,1 \times 10^6 \text{ m}^3$  na sizígia, sendo que o Médio Estuário contribui com 27,2% ( $21,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), enquanto na quadratura é estuário adentro ( $-5,29 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), com retenção no Médio Estuário ( $-12,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ ).

O transporte resultante de MPS foi estuário afora ( $225 \times 10^3 \text{ t}$ ) na sizígia, sendo que o Médio Estuário contribui com 26,2% ( $59 \times 10^3 \text{ t}$ ), enquanto na quadratura estuário adentro ( $-11,2 \times 10^3 \text{ t}$ ). O transporte de sal foi estuário afora ( $82,4 \times 10^3 \text{ t}$ ) no Baixo Estuário, mas com retenção no Médio Estuário ( $-0,2 \times 10^3 \text{ t}$ ) na sizígia, e na quadratura foi estuário afora ( $8,9 \times 10^3 \text{ t}$ ), com aporte do Médio Estuário de 91% ( $8,1 \times 10^3 \text{ t}$ ).

No período transicional I (Tabela 4-22), o transporte resultante de água foi estuário afora na sizígia ( $297,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) e quadratura ( $112,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), mas no Médio Estuário houve retenção de  $-14,1 \times 10^6 \text{ m}^3$  na sizígia e de  $-11,7 \times 10^6 \text{ m}^3$  na quadratura. O transporte resultante de MPS foi estuário afora na sizígia ( $375,4 \times 10^3 \text{ t}$ ) e na quadratura ( $91,7 \times 10^3 \text{ t}$ ), mas com retenção no médio estuário na sizígia ( $-53,3 \times 10^3 \text{ t}$ ) e quadratura ( $-16,1 \times 10^3 \text{ t}$ ). O transporte resultante de sal foi estuário afora na sizígia ( $\sim 20 \times 10^3 \text{ t}$ ), exceto no Alto Estuário ( $R < 1$ ), e na quadratura estuário adentro ( $R < 1$ ), no Baixo ( $-23,2 \times 10^3 \text{ t}$ ) e Médio Estuário ( $-89,3 \times 10^3 \text{ t}$ ).

No período chuvoso (Tabela 4-23), o transporte resultante de água foi estuário afora na sizígia ( $207,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) e quadratura ( $90,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). A razão de fluxo mostrou domínio fluvial ( $R > 1$ ). O transporte resultante de MPS foi estuário afora na sizígia ( $2,57 \times 10^3 \text{ t}$ ), sendo que o Médio Estuário contribui com  $\sim 10\%$  ( $0,24 \times 10^3 \text{ t}$ ), e na quadratura foi estuário adentro ( $-0,2 \times 10^3 \text{ t}$ ) no baixo estuário (MD,  $R < 1$ ), mas no Médio Estuário o fluxo é estuário afora ( $0,4 \times 10^3 \text{ t}$ ). O transporte resultante de sal foi estuário adentro ( $R < 1$ ), no

Baixo ( $-390,6 \times 10^3$  t,  $-56,81 \times 10^3$  t) e Médio Estuário ( $-0,4 \times 10^3$  t,  $-0,25 \times 10^3$  t), respectivamente sizígia e quadratura, com exceção do Alto Estuário ( $R > 1$ ).

No período transicional II (Tabela 4-24), o transporte resultante foi estuário afora na sizígia ( $131 \times 10^6$  m<sup>3</sup>) e quadratura ( $138,5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>). O transporte resultante de MPS foi estuário afora na sizígia ( $2,3 \times 10^3$  t) e na quadratura ( $2,1 \times 10^3$  t) no Baixo Estuário ( $R > 1$ ), sendo que o Médio Estuário contribui com 27% ( $0,592 \times 10^3$  t) na sizígia e 2% ( $0,02 \times 10^3$  t) na quadratura. O transporte resultante de sal foi estuário adentro na sizígia ( $-652,4 \times 10^3$  t) e quadratura ( $-425 \times 10^3$  t) no Baixo Estuário, sendo que no Médio Estuário ( $R < 1$ ) é de  $-4,9 \times 10^3$  t na sizígia e  $-0,2 \times 10^3$  t na quadratura, com remoção apenas no Alto Estuário ( $R > 1$ ).

No período seco II (Tabela 4-25), o transporte resultante de água é estuário afora na sizígia ( $272,9 \times 10^3$  m<sup>3</sup>) e quadratura ( $93,1 \times 10^3$  m<sup>3</sup>), sendo que o Médio Estuário contribui com 3% ( $8 \times 10^6$  m<sup>3</sup>) na sizígia e 16% ( $14,6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>) na quadratura. O transporte resultante de MPS foi estuário afora na sizígia ( $456,2 \times 10^3$  t) e quadratura ( $0,14 \times 10^3$  t) no Baixo Estuário ( $R > 1$ ), sendo que o Médio Estuário contribui com 1% na sizígia ( $4,2 \times 10^3$  t) e 36% na quadratura ( $0,14 \times 10^3$  t). O transporte resultante de sal foi estuário afora na sizígia ( $48,5 \times 10^3$  t) e quadratura ( $49 \times 10^3$  t) no Baixo Estuário ( $R \geq 1$ ), mas no Médio Estuário ( $R < 1$ ) é estuário adentro na sizígia ( $-70,3 \times 10^3$  t) e quadratura ( $-50,7 \times 10^3$  t), com remoção apenas no Alto Estuário ( $R \geq 1$ ).

Tabela 4-21: Fluxos de água, sal e MPS do ERT no período Seco I, durante a quadratura e sizígia.

Fluxo	Sizígia		Quadratura		
	B Seção	M	B ST1	B ST2	M
Água [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]					
Enchente	-289,2	-20,8	-69,0	-113,8	-20,3
Vazante	369,3	42,6	73,3	104,2	7,9
Balanço	80,1	21,8	4,2	-9,5	-12,4
Razão Fluxo	1,28	2,05	1,06	0,92	0,39
MPS [10 <sup>3</sup> x Ton. ou Ton.s <sup>-1</sup> *]					
Enchente	-373,7	-96,6	-35,3	-109,4	-31,3
Vazante	598,7	155,6	75,4	58,1	33,9
MPS total	225,0	59,0	40,1	-51,3	2,5
MPS residual*	5,21	1,26	0,86	-1,10	0,06
Razão fluxo	1,6	1,6	2,1	0,5	1,1
Salinidade [10 <sup>3</sup> x Ton. ou Ton.s <sup>-1</sup> *]					
Enchente	-10039,3	-922,0	-2531,0	-3547,8	-456,2
Vazante	10121,7	921,8	2508,4	3579,3	464,3
Sal total	82,4	-0,2	-22,6	31,5	8,1
Sal residual*	1,9	-0,005	-0,5	0,7	0,17
Razão fluxo	1,008	0,9998	0,991	1,009	1,018

Tabela 4-22: Fluxos de água, sal e MPS do ERT no período Transicional I, durante a quadratura e sizígia.

Fluxo	Sizígia				Quadratura		
	B	B	M	A	B	B	M
	ST1	ST2			ST1	ST2	
Água [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]							
Enchente	-33,6	-237,2	-20,8	-0,4	-78,4	-187,0	-16,9
Vazante	231,4	337,2	6,7	3,1	163,3	214,2	5,2
Balanço	197,8	100,0	-14,1	2,7	84,9	27,2	-11,7
Razão Fluxo	6,9	1,4	0,3	7,2	2,1	1,1	0,3
MPS [10 <sup>3</sup> Ton. ou Ton.s <sup>-1</sup> *]							
Enchente	-34,0	-226,8	-65,3	-0,1	-57,4	-128,9	-23,9
Vazante	228,5	407,6	12,0	0,7	141,9	136,2	7,7
MPS total	194,5	180,8	-53,3	0,7	84,5	7,3	-16,1
MPS residual	4,00	3,72	-1,10	0,01	1,74	0,15	-0,33
Razão fluxo	6,7	1,8	0,2	8,7	2,5	1,1	0,3
Salinidade [10 <sup>3</sup> Ton. ou Ton.s <sup>-1</sup> *]							
Enchente	-3110,9	-10167,5	-335,9	-0,41	-4254,2	-7188,5	-385,52
Vazante	3157,4	10140,9	338,4	0,31	4253,2	7166,3	296,25
Sal total	46,56	-26,6	2,5	-0,10	-0,99	-22,22	-89,28
Sal residual	0,995	-0,568	0,054	-0,002	-0,021	-0,475	-1,908
Razão fluxo	1,015	0,997	1,007	0,764	0,9998	0,997	0,768

Tabela 4-23: Fluxos de água, sal e MPS do ERT no período Chuvoso, durante a quadratura e sizígia.

Fluxo	Sizígia				Quadratura		
	B ST1	B ST2	M	A	B ST1	B ST2	M
Água [m <sup>3</sup> ]							
Enchente	-109,2	-229,9	-3,27	0	-35,3	-170,3	-1,03
Vazante	231,4	315,6	45,4	16,8	103,6	192,0	63,8
Balanço	122,2	85,73	42,2	16,8	68,37	21,7	62,8
Razão	2,12	1,37	13,9	---	2,94	1,13	62,2
Fluxo							
MPS [Ton. ou Ton.s <sup>-1*</sup> ]							
Enchente	-0,21	-1,00	-0,01	0	-0,12	-0,56	-0,003
Vazante	1,86	1,92	0,25	0,56	0,33	0,16	0,411
MPS total	1,65	0,92	0,24	0,56	0,21	-0,41	0,408
MPS residual	0,03	0,02	0,005	0,01	0,0044	-0,0084	0,01
Razão	9,0	1,9	23,6	---	2,8	0,3	120,0
fluxo							
Salinidade [Ton. ou Ton.s <sup>-1*</sup> ]							
Enchente	-598,8	-880,7	-1,1	-0,03	-64,21	-398,36	-0,89
Vazante	419,7	669,2	0,65	0,03	74,47	331,29	0,64
Sal total	-179,1	-211,5	-0,4	0,00	10,26	-67,07	-0,25
Sal residual	-3,83	-4,52	-0,01	0,01	0,22	-1,43	-0,01
Razão	0,70	0,76	0,59	1,0	1,16	0,83	0,72
fluxo							

Tabela 4-24: Fluxos de água, sal e MPS do ERT no período Transicional II, durante a quadratura e sizígia.

Fluxo	Sizígia				Quadratura		
	B ST1	B ST2	M	A	B ST1	B ST2	M
Água [m <sup>3</sup> ]							
Enchente	-123,2	-259,0	-10,3	0	-81,7	-172,7	-10,5
Vazante	229,5	283,7	46,7	11,37	147,8	245,0	37,1
Balanço	106,3	24,7	36,4	11,37	66,1	72,3	26,6
Razão Fluxo	1,86	1,10	4,55	---	1,81	1,42	3,53
MPS [Ton. ou Ton.s <sup>-1*</sup> ]							
Enchente	-2,8	-3,1	-0,2	0	-1,1	-0,7	-0,03
Vazante	5,0	3,2	0,76	0,48	2,1	1,8	0,056
MPS total	2,2	0,1	0,59	0,48	1,0	1,1	0,02
MPS residual	0,045	0,002	0,012	0,01	0,02	0,023	0,00
Razão fluxo	1,77	1,03	4,60	---	1,90	2,52	1,6
Salinidade [Ton. ou Ton.s <sup>-1*</sup> ]							
Enchente	-1659,9	-2946,6	-10	-0,008	-1369,7	-2162,1	-0,4
Vazante	1461,0	2493,1	5	0,008	1145,2	1961,6	0,2
Sal total	-198,9	-453,5	-4,9	0,00	-224,6	-200,6	-0,2
Sal residual	-4,2	-9,7	-0,1	0,00	-4,80	-4,3	-0,004
Razão fluxo	0,88	0,846	0,5	1,001	0,836	0,9	0,51

Tabela 4-25: Fluxos de água, sal e MPS do ERT no período Seco II, durante a quadratura e sizígia.

Fluxo	Sizígia				Quadratura		
	B	B	M	A	B	B	M
	ST1	ST2			ST1	ST2	
Água [m <sup>3</sup> ]							
Enchente	-74,7	-220,8	-23,2	-1,3	-86,3	-204,2	-17,8
Vazante	250,6	317,8	31,2	2,4	171,2	212,5	32,5
Balanço	175,9	97,0	8,0	1,1	84,8	8,3	14,6
Razão Fluxo	3,36	1,44	1,35	1,85	1,98	1,04	1,82
MPS [Ton. ou Ton.s-1*]							
Enchente	-91,3	-228,5	-78,1	-1,3	-0,7	-0,6	-0,1
Vazante	453,9	322,0	82,2	2,9	1,0	0,4	0,2
MPS total	362,6	93,6	4,2	1,5	0,3	-0,1	0,05
MPS residual	7,5	1,9	0,1	0,03	0,01	-0,003	0,001
Razão fluxo	4,97	1,41	1,05	2,15	1,38	0,76	1,53
Salinidade [Ton. ou Ton.s-1*]							
Enchente	-4451,0	-9389,1	-808,6	-0,15	-4358,7	-6842,0	-632,7
Vazante	4472,4	9416,2	738,3	0,15	4256,1	6993,5	581,9
Sal total	21,4	27,1	-70,3	0,00	-102,5	151,5	-50,7
Sal residual	0,5	0,6	-1,5	0,0	-2,2	3,2	-1,1
Razão fluxo	1,005	1,003	0,913	1,002	0,976	1,022	0,920

O transporte de massa é estuário afora, principalmente no Baixo e no Alto Estuário. Contudo, a margem de ST1 apresenta variação conforme o período sazonal. No período de alta descarga, o ST1 funciona como um canal predominante de vazante, onde o vetor de transporte é estuário afora. No período de alta descarga, o transporte é estuário adentro.

O Médio Estuário apresenta comportamento semelhante ao ST1 em relação ao período sazonal. No período de alta, o transporte é estuário afora, e no período de baixa descarga, o transporte é estuário adentro. No período de baixa descarga, a velocidade residual é negativa devido à baixa vazão, invertendo o padrão da descarga fluvial, direcionando o transporte estuário adentro (dispersiva), exceto no período Seco II (sem influência da La Niña). No período de alta descarga, a velocidade residual é positiva (advectiva) (Figura 4-50).

Além disso, o estuário foi classificado de acordo com a sua concentração de MPS. UNCLES *et al.*, (1998) diferenciou os estuários em média concentração ( $> 0,1 \text{ g.L}^{-1}$ ) e hiperconcentrações (hiperturbidez,  $> 1 \text{ g.L}^{-1}$ ). As correntes de maré têm a capacidade de manter as altas concentrações de MPS (PATCHINEELAM e KJERFVE, 2004) em estuários com grande amplitude de maré ( $1-10 \text{ g.L}^{-1}$ ), enquanto os estuários de micromaré possuem uma concentração entre  $0,1$  e  $0,2 \text{ g.L}^{-1}$  (DYER, 1989).

O ERT foi classificado como um ambiente altamente hidrodinâmico (macro a hipermaré), com alta concentração de sedimento ( $> 1 \text{ g.L}^{-1}$ ) e sal, que apresentam significativa variação espacial e temporal.

○ Inversão de fluxo ← Transporte de volume -  $10^6 \text{ m}^3$  ← Transporte de MPS -  $10^3 \text{ ton.}$  ← Transporte de sal -  $10^3 \text{ ton.}$

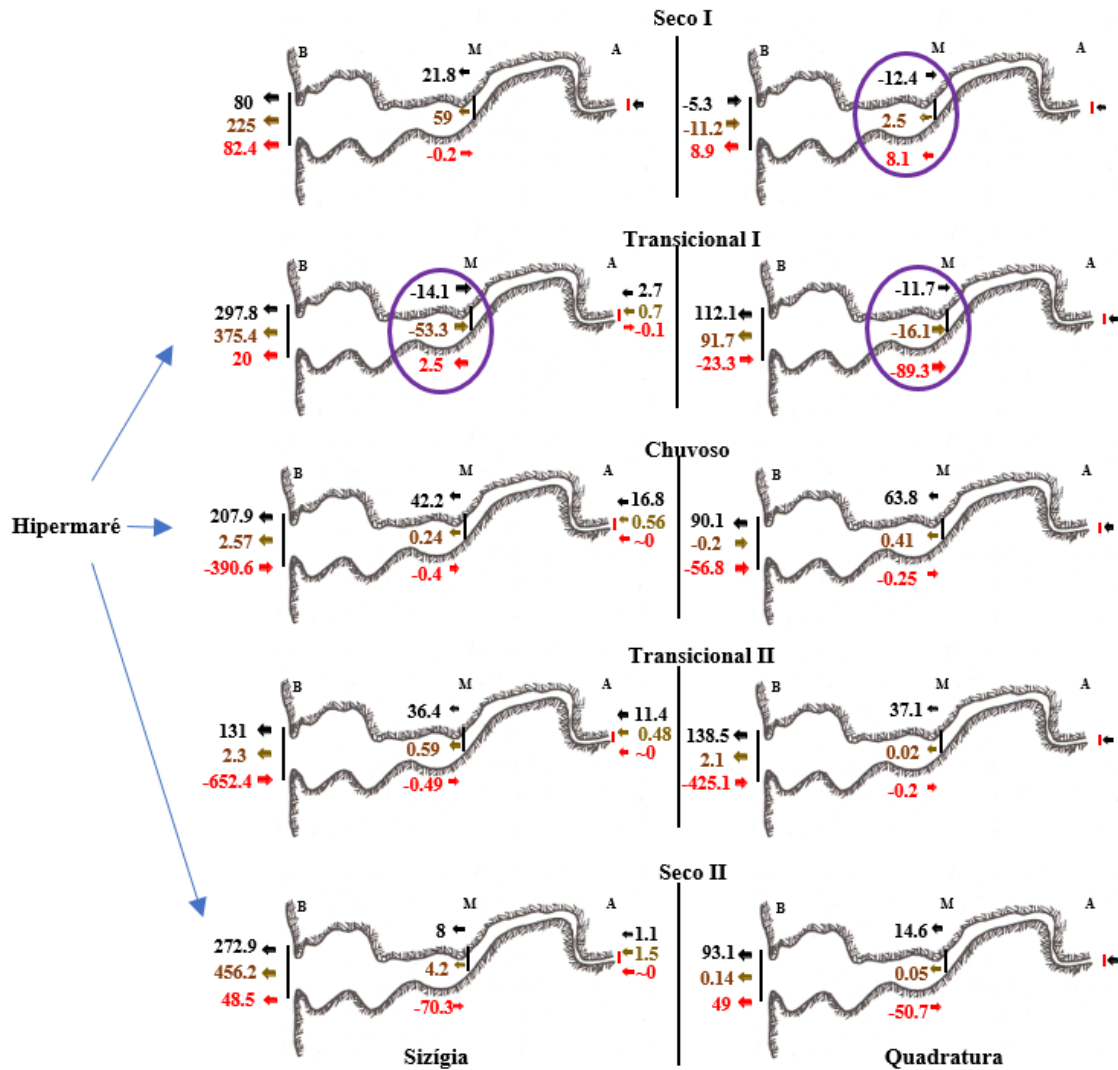


Figura 4-50: Variação trimestral (maré lunar) do transporte resultante (Volume, MPS, Salinidade) do ERT.

O transporte total de volume é de  $106,4 \text{ km}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$  estuário afora, no Baixo Estuário, mas o volume fluvial (água doce) a montante é de  $13,1 \text{ km}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$  (Médio Estuário) a  $5,83 \text{ km}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$  (Alto Estuário). Isso mostra que o refluxo da maré no transporte de volume é de  $\sim 90\%$  no Baixo Estuário. O transporte total de MPS é de  $85,8 \text{ } 10^6 \text{ ton} \cdot \text{ano}^{-1}$  no Baixo Estuário, estuário afora, porém com retenção no Médio Estuário ( $-0,18 \text{ } 10^6 \text{ ton} \cdot \text{ano}^{-1}$ ). O transporte total de Sal é de  $-775,5 \text{ } 10^6 \text{ ton} \cdot \text{ano}^{-1}$  no Baixo Estuário, estuário adentro, assim como no Médio e Alto Estuário (Figura 4-51).

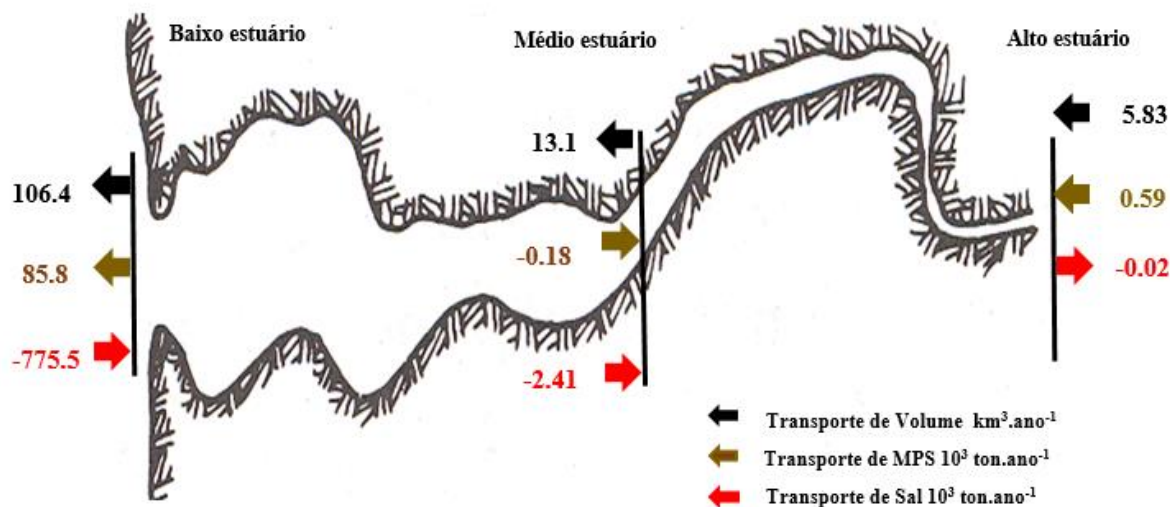


Figura 4-51: Transporte resultante anual do Volume (setas pretas), MPS (setas verdes) e Salinidade (setas vermelhas) do ERT.

O ERT apresentou hiperturbidez com as variações sazonais (alta e baixa descarga) superiores as de marés (lunar e semidiurna). Assim, a concentração e o deslocamento da Zona Máxima de Turbidez são influenciados pela descarga fluvial. A carga sedimentar do ERT é superior aos demais estuários da Costa Norte, sendo comparável ao do rio Amazonas na plataforma continental ( $> 10 \text{ g.L}^{-1}$ ) (KINEKE e STERNBERG, 1995; KINEKE *et al.*, 1996), e aos estuários de hipermaré de Humber-Ouse ( $> 16 \text{ g.L}^{-1}$ ; UNCLES *et al.*, 1998; UNCLES *et al.*, 2006); Bristol Avon ( $10 \text{ g.L}^{-1}$ ; UNCLES *et al.*, 2002); Parrett ( $32,3 \text{ g.L}^{-1}$ ; UNCLES *et al.*, 2002); Bristol Channel-Severn ( $48,4 \text{ g.L}^{-1}$ ; IMER, 1975) e a Baía de Fundy ( $3,5 \text{ g.L}^{-1}$ ; AMOS, 1996).

Os processos difusivos são os responsáveis pela distribuição do MPS do Baixo ao Alto Estuário (período seco (I e II) e transicional I), sendo que as maiores concentrações no Alto Estuário foram no período seco II e transicional I, relacionado a baixa descarga fluvial. A ressuspensão (advectivos) é responsável pela distribuição do MPS, mas a forte ação fluvial concentra o MPS apenas no Baixo Estuário (período chuvoso e transicional II), ou seja, no período de alta descarga o sedimento é retido no Baixo Estuário, mas no período de baixa descarga o sedimento por processos dispersivos é injetado a montante (Médio e Alto Estuário) (Figura 4-52). Assim, podemos inferir que  $\sim 95\%$  da fonte do sedimento em suspensão é proveniente do retrabalhamento dos depósitos no Baixo Estuário ( $> 1 \text{ g.L}^{-1}$ ) pela ação das correntes de maré, pois o aporte sedimentar bacia do rio Turiaçu é muito baixo a montante, como evidenciado no Alto Estuário nos períodos de alta descarga ( $< 0,04 \text{ g.L}^{-1}$ ).



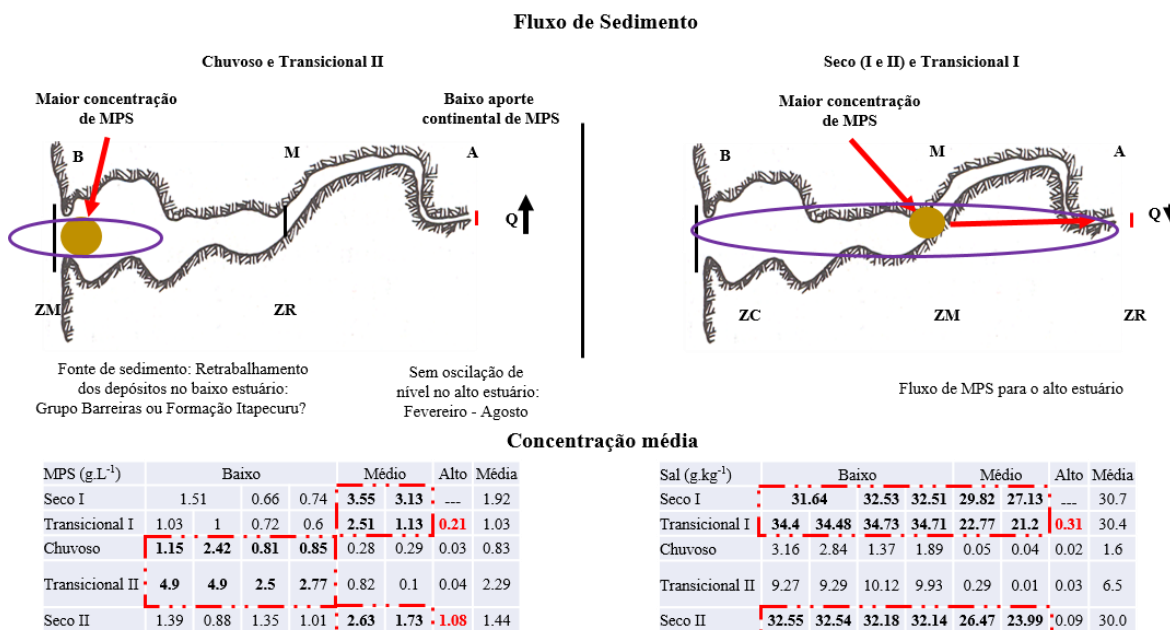


Figura 4-52: Esquema de fluxo de sedimento de acordo com período de alta e baixa descarga do ERT, correlacionados com os máximos e mínimos de salinidade e MPS (Tabelas) juntamente com o deslocamento da ZM entre o baixo e médio estuário, em destaque as maiores concentrações em vermelho.

#### 4.2.2.2. São Caetano de Odivelas, PA

A análise batimétrica realizada no rio Mojuim apresentou, de forma geral, um padrão de canal sinuoso (Figura 4-53). Por se tratar de um rio de características meandranter, diversos setores com diferenças significativas de profundidades foram identificados ao longo de seu percurso, com as cotas batimétricas variando de 0,3 a 14,5 m e média de 4,5m.

A foz possui aproximadamente 2,7 km, diminuindo gradativamente em direção à montante, com cerca de 0,7 km. Próximo ao litoral, foram identificadas a ocorrência de “furos” nas áreas mais baixas, utilizadas na navegação local.

A foz é marcada por barras arenosas superiores à 2 km de extensão, em sua maioria colonizadas pela vegetação de mangues. A morfologia de fundo é caracterizada por bancos arenosos, que são orientados no sentido das correntes de maré. Na margem direita, próxima à desembocadura, e à leste da ilha de São Sebastião, foram registradas áreas com profundidades positivas ( $\approx 2$  m), indicando que a região fica exposta em condições de baixa-mar.

Entre 3,5 km e 6 km a partir do sul da ilha de São Sebastião em direção à montante, foram registradas extensas áreas com profundidades inferiores à 1 m e máximas de 4 m. Essa característica é mais evidente nas regiões onde a largura da seção do rio diminui. Por outro lado, as maiores profundidades ( $\approx 10$  e 15 m) foram identificadas nas regiões mais sinuosas do rio, confirmando significativas variações na morfologia de fundo ao longo de toda extensão do estuário do rio Mojuim.

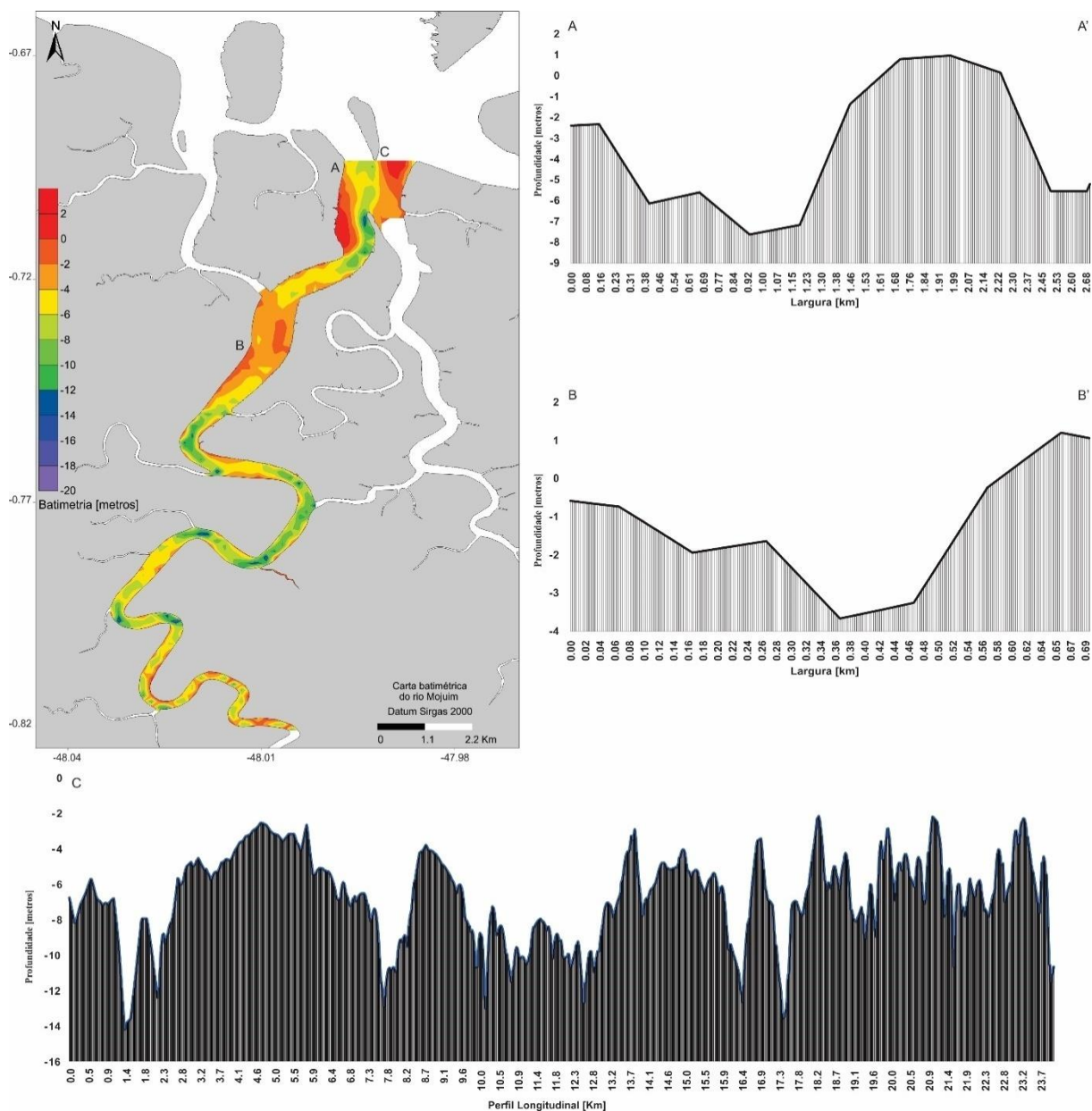


Figura 4-53: Mapa batimétrico do rio Mojuim com destaque para o perfil transversal da foz (A), do Médio Estuário (B) e o perfil batimétrico longitudinal (C).

Com variações na superfície livre superiores a 4 m, a maré no estuário do Mojuim caracteriza-se como de macromaré. A maré se mostrou simétrica no estuário, com o intervalo de tempo de enchente ( $\approx 6$  h 12) e vazante ( $\approx 6$  h 13) aproximados. Foi possível observar uma deformação na onda de maré, mais acentuada em maré de quadratura, em ambos os períodos sazonais analisados (Figura 4-54 e Figura 4-55).

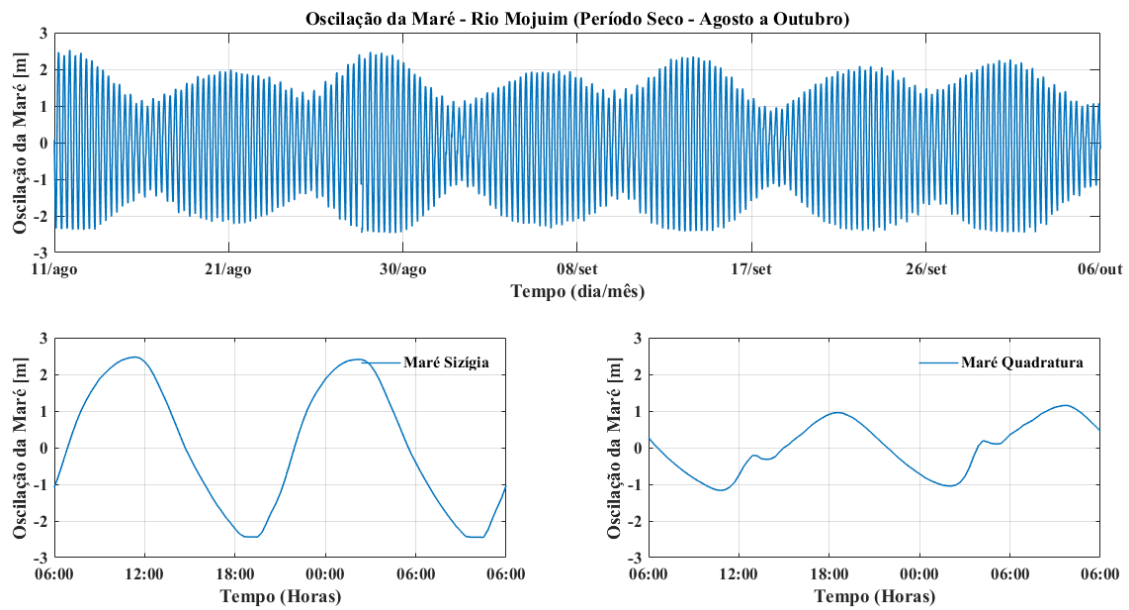


Figura 4-54: Oscilação da maré registrada no rio Mojuim, estação M4, durante o período seco.

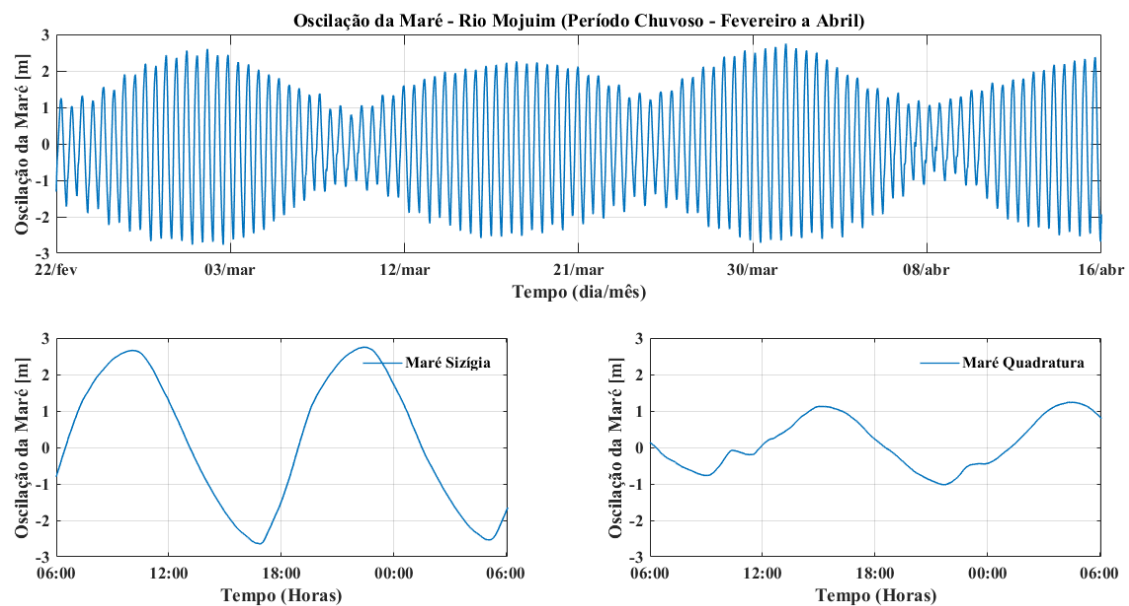


Figura 4-55: Oscilação da maré registrada no rio Mojuim, estação M4, durante o período chuvoso.

A Figura 4-56 apresenta a variação de maré registrada no rio Mocajuba. Os dados analisados evidenciam uma influência significativa da propagação da maré ao longo do estuário, com altura máxima de 5,67 m em maré de sizígia e 3,2 m em quadratura.

A maré apresentou assimetria, com o tempo de maré vazante ( $\approx 6,6$  h) superiores às enchentes ( $\approx 5,6$  h). Semelhante ao verificado no rio Mojuim, a onda de maré sofre deformação, especialmente sob maré de quadratura.

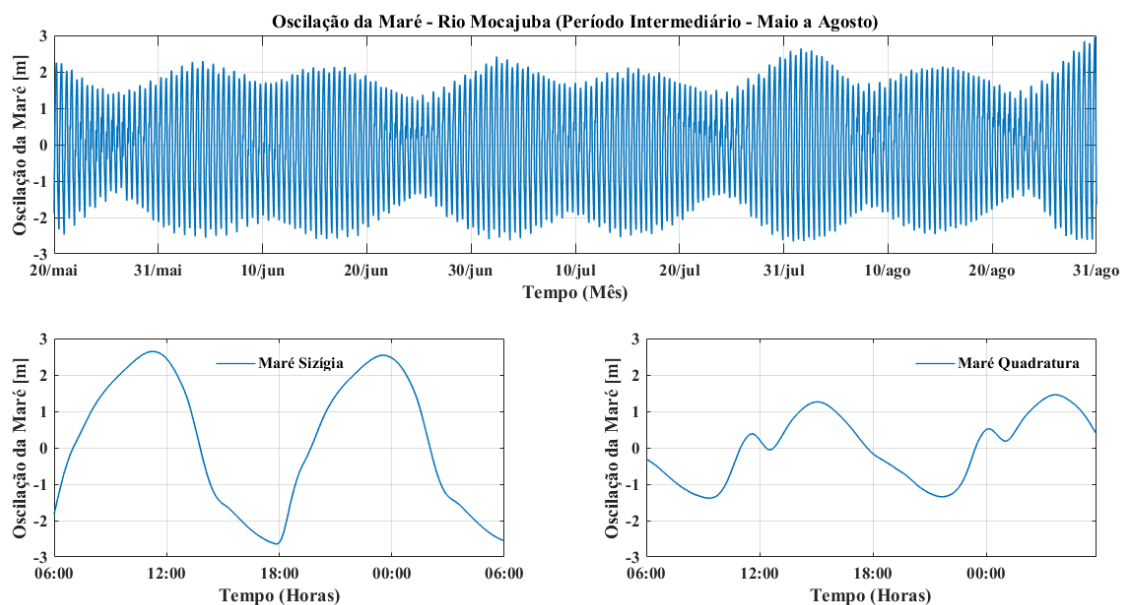


Figura 4-56: Oscilação da maré registrada no rio Mocajuba.

A maré em um dos canais (estação M3) que fazem a conexão entre os dois rios, Mojuim e Mocajuba, registrou altura máxima de 3,68 m sob maré de sizígia e 1,98 m, em quadratura. Este ponto de ligação apresentou simetria de maré e, assim como nos rios, deformação da onda de maré acentuada em maré de quadratura (Figura 4-57).

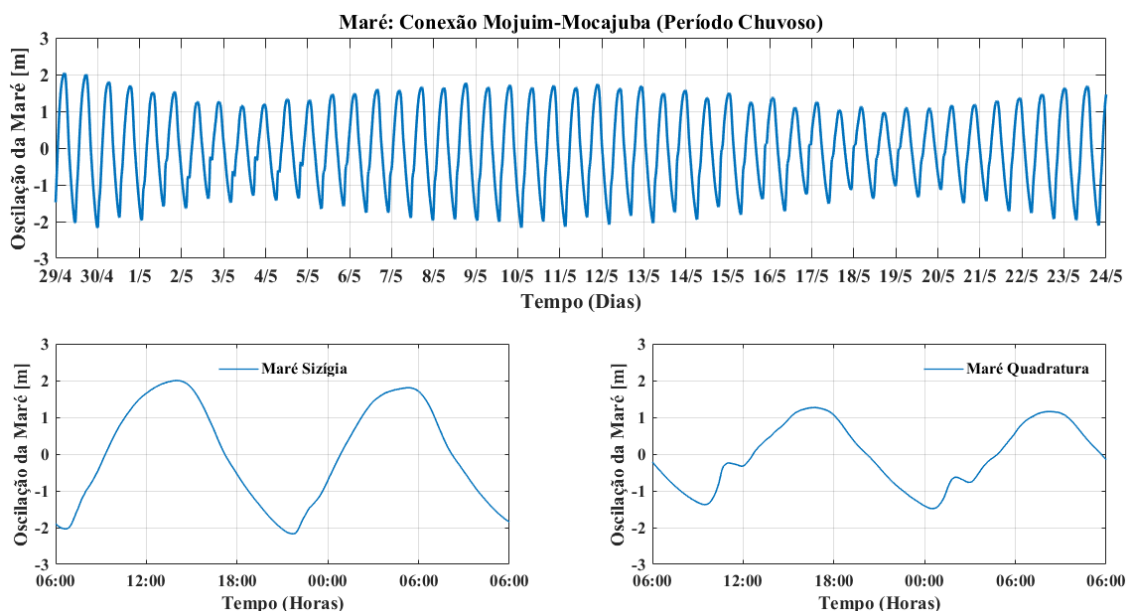


Figura 4-57: Oscilação da maré registrada em um canal de conexão (M3) entre os rios Mojuim e Mocajuba.

As amplitudes e fases das principais componentes harmônicas são apresentados na Tabela 4-26. A análise harmônica da série de dados dos rios Mojuim e Mocajuba apontou, a partir dos valores das principais constantes semidiurnas ( $M_2$ , e  $S_2$ ) e diurnas ( $O_1$  e  $K_1$ ), que os rios possuem característica de natureza semidiurna ( $<0,25$ ), onde o Número de Forma foi de 0,09.

A amplitude e a fase das componentes harmônicas sofrem alterações devido à interação com a morfologia do ambiente. Essas alterações são geradas pela ocorrência de processos de águas rasas não-lineares ocasionados pela interação com a geometria do rio e pela fricção do fundo e dos contornos terrestres. Quando a  $M_2$  é a constituinte semidiurna dominante no ambiente, a  $M_4$  e a  $M_6$  são as principais sobremarés formadas dentro do rio.

Tabela 4-26: Resultado da análise harmônica da maré dos rios Mojuim e Mocajuba.

Constantes	Rio Mojuim			Rio Mocajuba		
	Período (h)	Amplitude (cm)	Fase (°)	Período (h)	Amplitude (cm)	Fase (°)
MM	661,29	2,56	7,16	661,29	3,4	312,9
MSF	354,37	2,64	5,57	354,37	3,68	62,52
ALP1	29,07	0,29	282,69	29,07	0,13	208,2
2Q1	28,01	0,08	225,77	28,01	0,18	110,5
Q1	26,87	1,86	209,57	26,87	1,88	255,5
*O1	25,82	9,04	240,86	25,82	9,8	250,7
NO1	24,83	0,38	86,9	24,83	0,44	11,94
*P1	24,07	3,38	284,51	24,07	3,79	279,4
*K1	23,93	10,22	277,44	23,93	11,46	272,3
J1	23,1	0,66	258,08	23,1	1,31	356,2
OO1	22,31	0,56	103,12	22,31	0,37	22,91
UPS1	21,58	0,55	152,66	21,58	0,55	106,6
*EPS2	13,13	3,09	289,32	13,13	4,24	318,4
*MU2	12,87	18,07	308,21	12,87	15,77	303,7
*N2	12,66	29,56	236,56	12,66	34,09	263,6
*M2	12,42	159,43	243,79	12,42	174,35	259
*L2	12,19	13,14	232,12	12,19	14,59	205,3
*S2	12	49,08	283,25	12	53,59	310,9
*K2	11,97	13,36	305,65	11,97	14,59	333,3
ETA2	11,76	4	72,91	11,76	3,31	291,7
*MO3	8,39	2,76	37,95	8,39	2,9	78,35
*M3	8,28	2	74,1	8,28	2,05	112,3
*MK3	8,18	2,81	78,7	8,18	4,37	97,41
*SK3	7,99	0,86	97,82	7,99	1,28	115,1
*MN4	6,27	1,72	45,63	6,27	1,96	313,9
*M4	6,21	5,5	355,29	6,21	6,54	293,7
SN4	6,16	2,73	68,67	6,16	0,93	323
*MS4	6,1	6,57	43,48	6,1	4,6	20,47
S4	6	1,66	183,05	6	0,11	148,1
*2MK5	4,93	0,82	184,53	4,93	2,95	225,2
2SK5	4,8	0,16	299,77	4,8	0,13	196,8
*2MN6	4,17	0,5	117,23	4,17	7,97	157,3
*M6	4,14	4,63	90,66	4,14	12,33	139,9
*2MS6	4,09	6,2	137,67	4,09	12,79	214,4
2SM6	4,05	1,59	231,83	4,05	4,51	319
*3MK7	3,53	0,44	343,62	3,53	1,95	58,47
*M8	3,11	1,44	106,89	3,11	8,1	218
*M10	2,48	0,47	266,69	2,48	2,27	16,45

A Tabela 4-27 apresenta os principais parâmetros de maré dos rios Mojuim e Mocajuba. A relação entre as componentes harmônicas e os principais parâmetros de maré apontaram uma tendência à dominância de enchente no rio Mojuim (fase relativa entre  $0^\circ < 132 < 180^\circ$ ). Por outro lado, o rio Mocajuba apresenta dominância de vazante, com fase relativa entre  $180^\circ < 224 < 360^\circ$ .

No rio Mojuim, a razão  $aM_4/aM_2$  e a  $aM_6/aM_2$  se manteve constante ao longo do estuário, com cerca de 3% da componente  $M_2$ . Para o rio Mocajuba, a razão diminui de 7% para 4%.

As componentes semidiurnas  $M_2$ ,  $S_2$  e  $N_2$  são as mais importantes em ambos os rios, atingindo amplitudes de 1,59 m, 0,49 m e 0,3 m no rio Mojuim e de 1,74 m, 0,54 m e 0,34 m no rio Mocajuba, respectivamente (Figura 4-58 e Figura 4-59). São responsáveis por 79,4% (rio Mojuim) e 73,4% (rio Mocajuba) da variabilidade das marés. Já as diurnas contribuem com 7,4% da variabilidade das marés no rio Mojuim e 7% no rio Mocajuba.

Tabela 4-27: Principais parâmetros de maré dos rios Mojuim e Mocajuba.

Parâmetros	Cálculo	Rio Mojuim	Rio Mocajuba
Idade Diurnal	$0,911*(oK1 - oO1)$	33,32	15,26
Idade Mare	$0,984*(oS2 - oM2)$	38,83	50,99
Maré média (m)	$2,2 * aM2$	3,51	3,84
Maré de sizígia (m)	$2,1*(aM2 + aS2)$	4,38	4,79
Maré de quadratura (m)	$2,1 *(aM2 - aS2)$	2,32	2,54
Razão $aM6/aM2$	$aM6 / aM2$	0,03	0,07
Razão $aM4/aM2$	$aM4 / aM2$	0,03	0,04
Diferença de fase ( $^\circ$ )	$2 * oM2 - oM4$	132,29	224,37
Amplitude tropical (m)	$2*(aK1+aO1)$	0,39	0,43
Faixa equatorial (m)	$2*(aK1-aO1)$	0,02	0,03
Número de forma	$(aK1 + aO1) / (aM2 + aS2)$	0,09	0,09

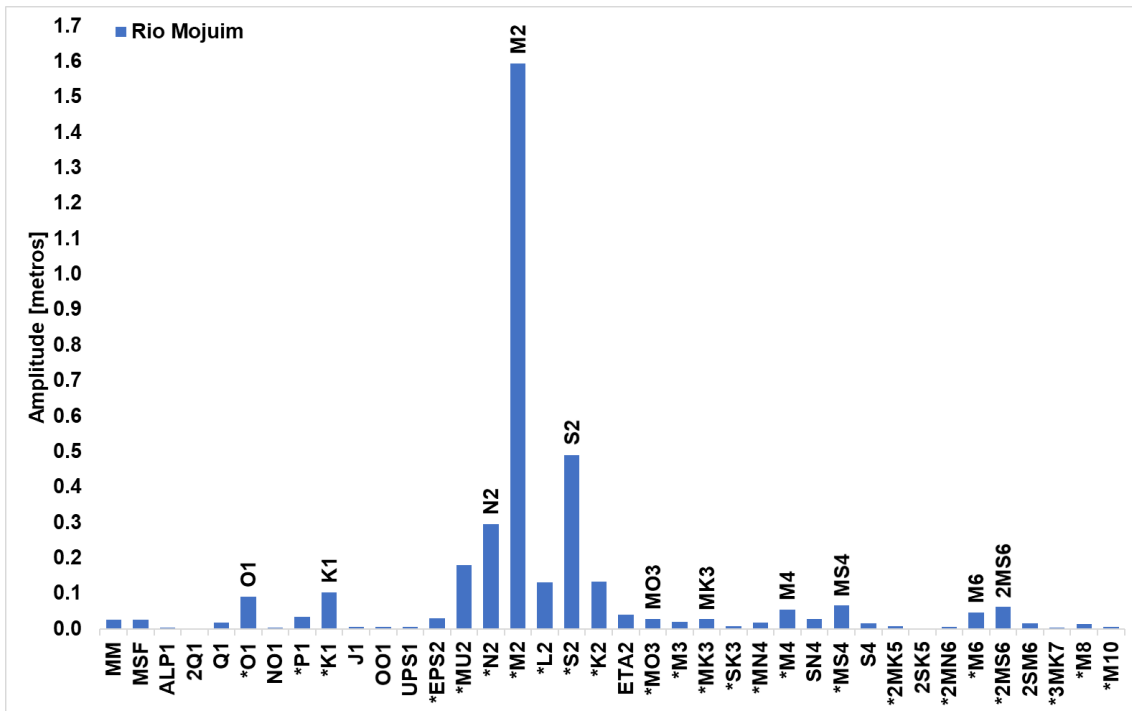


Figura 4-58: Variação longitudinal das constituintes harmônicas para o rio Mojuim.

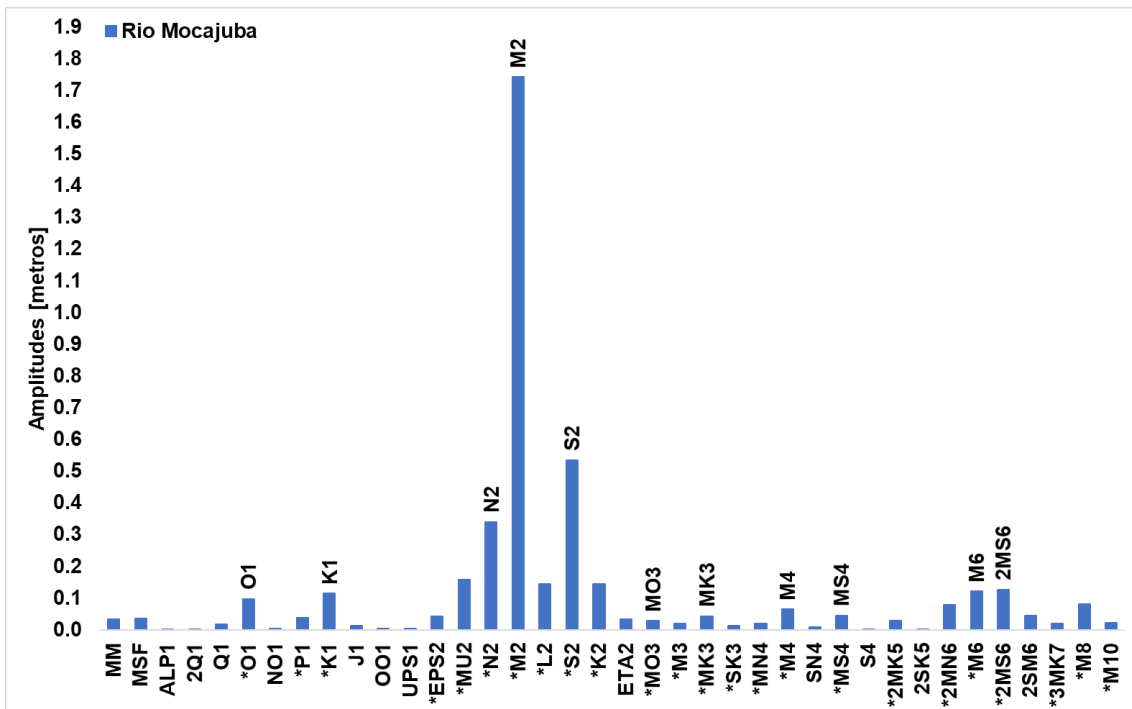


Figura 4-59: Variação longitudinal das constituintes harmônicas para o rio Mocajuba.

Geradas por efeitos não lineares em águas rasas, os períodos predominantes dos espectros de amplitude de maré obtidos para os dois rios são: semidiurno (SD), o diurno (D), Longo período (LP), quarto-diurno (4D) e terço-diurno (3D) (Figura 4-60).

A relação entre a oscilação do nível da coluna d'água e o tempo de vazante e enchente para os rios são apresentados na Figura 4-61. O rio Mojuim apresenta maré simétrica, com média de 6,41 h na enchente e 6,42 h na vazante. O rio Mocajuba registrou assimetria negativa, com o tempo de enchente superior ao de vazante, e aproximadamente 0,4 h de defasagem.

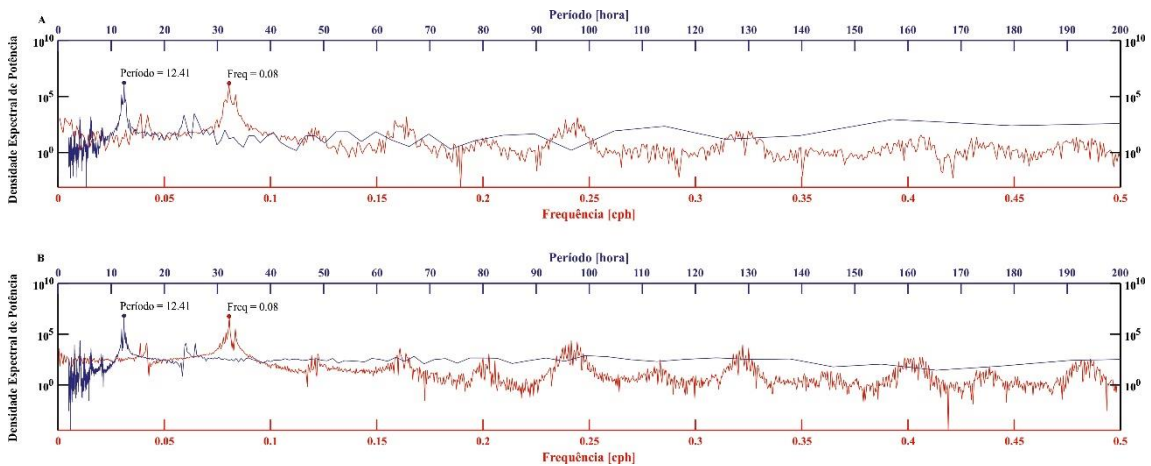


Figura 4-60: Os principais espectros de amplitude de maré (período e frequência) para os rios Mojuim e Mocajuba.

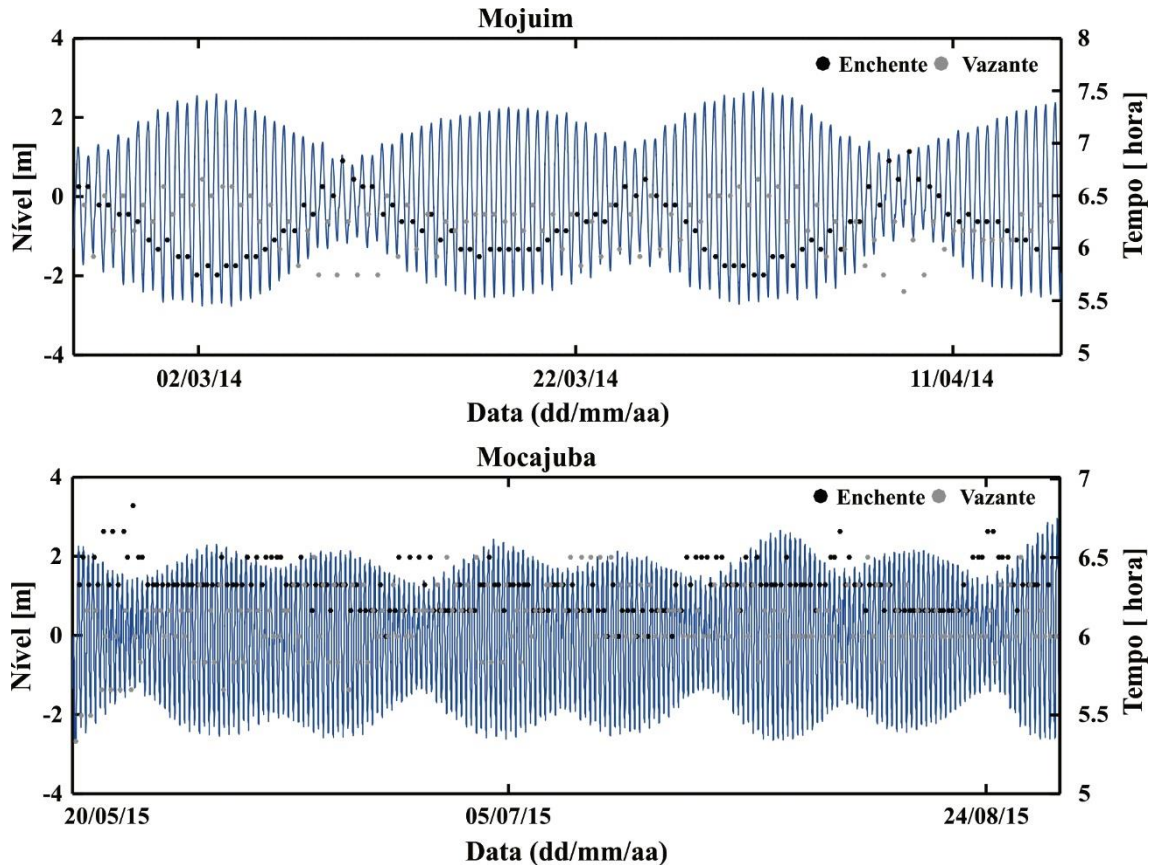


Figura 4-61: Nível e assimetria de maré nos rios Mojuim e Mocajuba.



A análise da corrente no rio Mojuim durante o período seco registrou velocidades máximas na vazante (1,07 m.s<sup>-1</sup>) superiores em relação à maré enchente (-0,77 m.s<sup>-1</sup>). A Figura 4-62 apresenta os principais resultados hidrodinâmicos obtidos para o rio Mojuim.

Importante parâmetro hidrodinâmico, o transporte de volume foi calculado a partir das medições de corrente. A Tabela 4-28 apresenta os principais resultados obtidos.

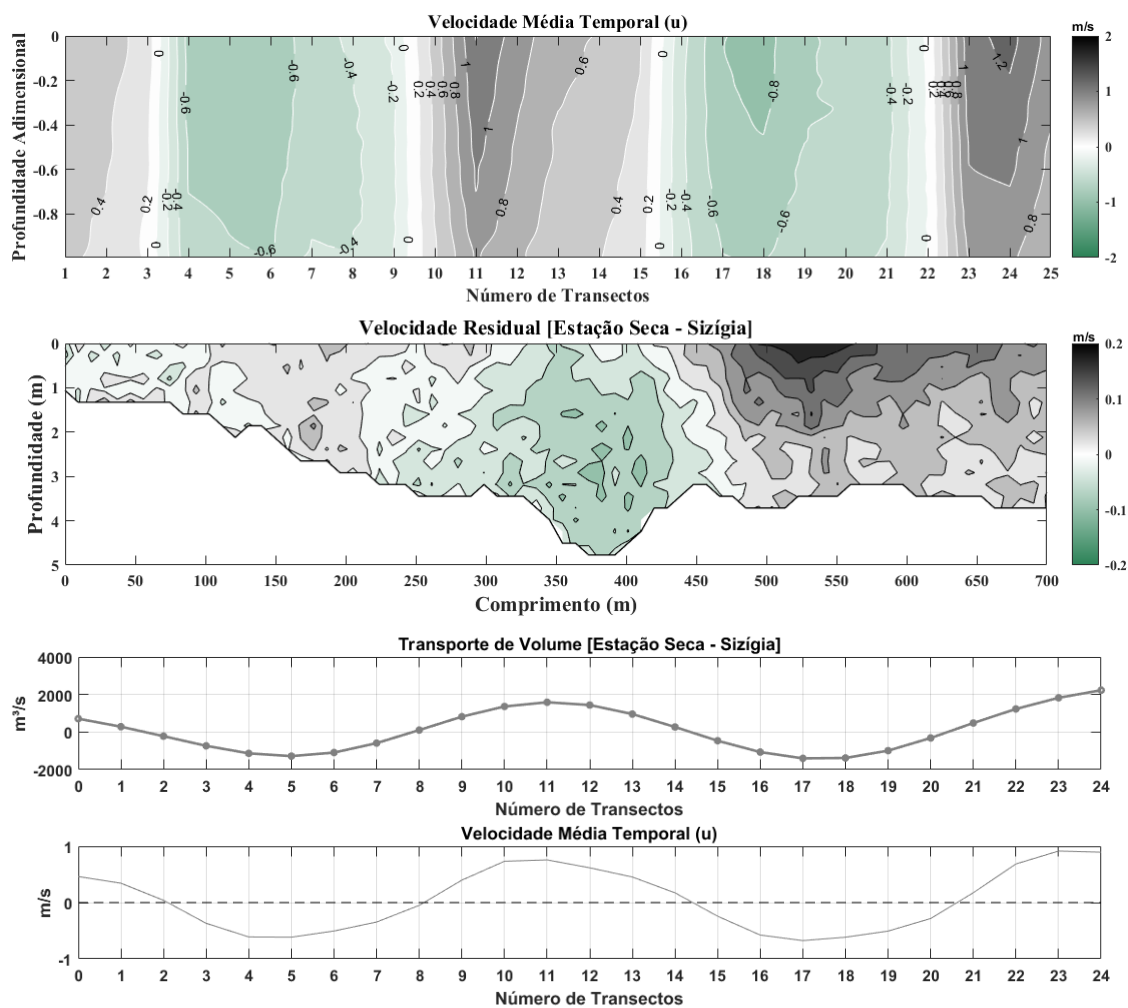


Figura 4-62: Resultados hidrodinâmicos do rio Mojuim, durante o período seco. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal.

Tabela 4-28: Fluxo e transporte de volume calculados para o rio Mojuim, período seco.

Parâmetros	Período Seco
Transporte de volume resultante (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	74,38
Balanco de volume (m <sup>3</sup> )	3676,00
Máx. transporte enchente (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	-2274,50
Máx. transporte vazante (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	3139,30
u Máx. enchente (m.s <sup>-1</sup> )	-0,77
u Máx. vazante (m.s <sup>-1</sup> )	1,07

A análise da corrente na porção superior do estuário registrou velocidades intensas em maré vazante, com máximas superiores a  $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; em maré enchente, velocidades máximas de  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (Figura 4-63), indicando assimetria de maré positiva e direção de corrente predominante para noroeste.

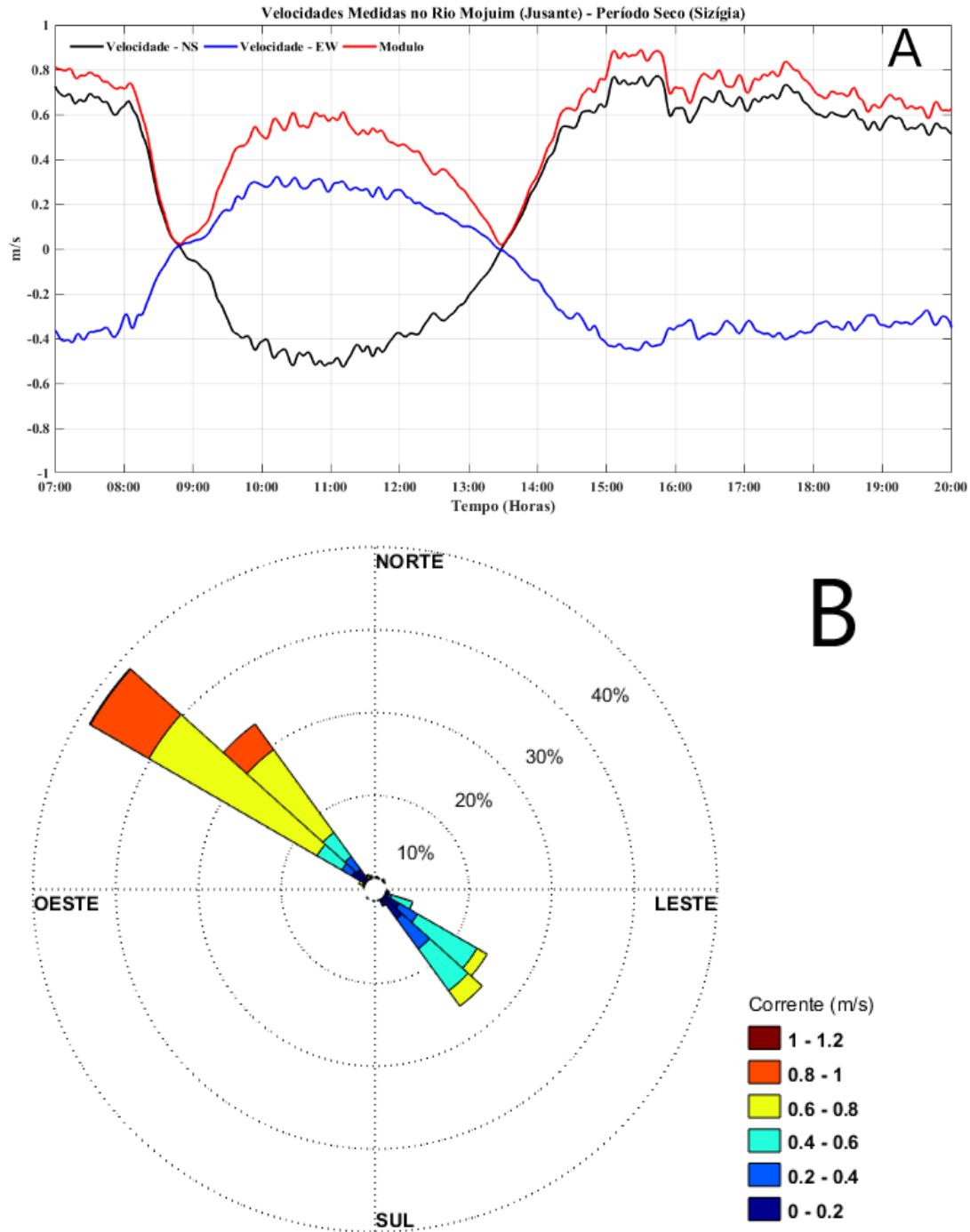


Figura 4-63: Velocidade e direção da corrente no rio Mojuim durante período seco. A): componentes (NS e EW) e intensidade (módulo) das correntes; B): frequência de ocorrências das intensidades e direções das correntes.

A Figura 4-64 apresenta os resultados hidrodinâmicos obtidos no rio Mojuim durante o período chuvoso. A máxima velocidade foi registrada em maré vazante, com  $1,2 \text{ m.s}^{-1}$  e a máxima na enchente foi  $0,8 \text{ m.s}^{-1}$ . O transporte de volume máximo para esse período, o volume resultante e o balanço de volume para a seção são apresentados na Tabela 4-29, onde é possível identificar a máxima velocidade ( $1,13 \text{ m.s}^{-1}$ ) na maré vazante.

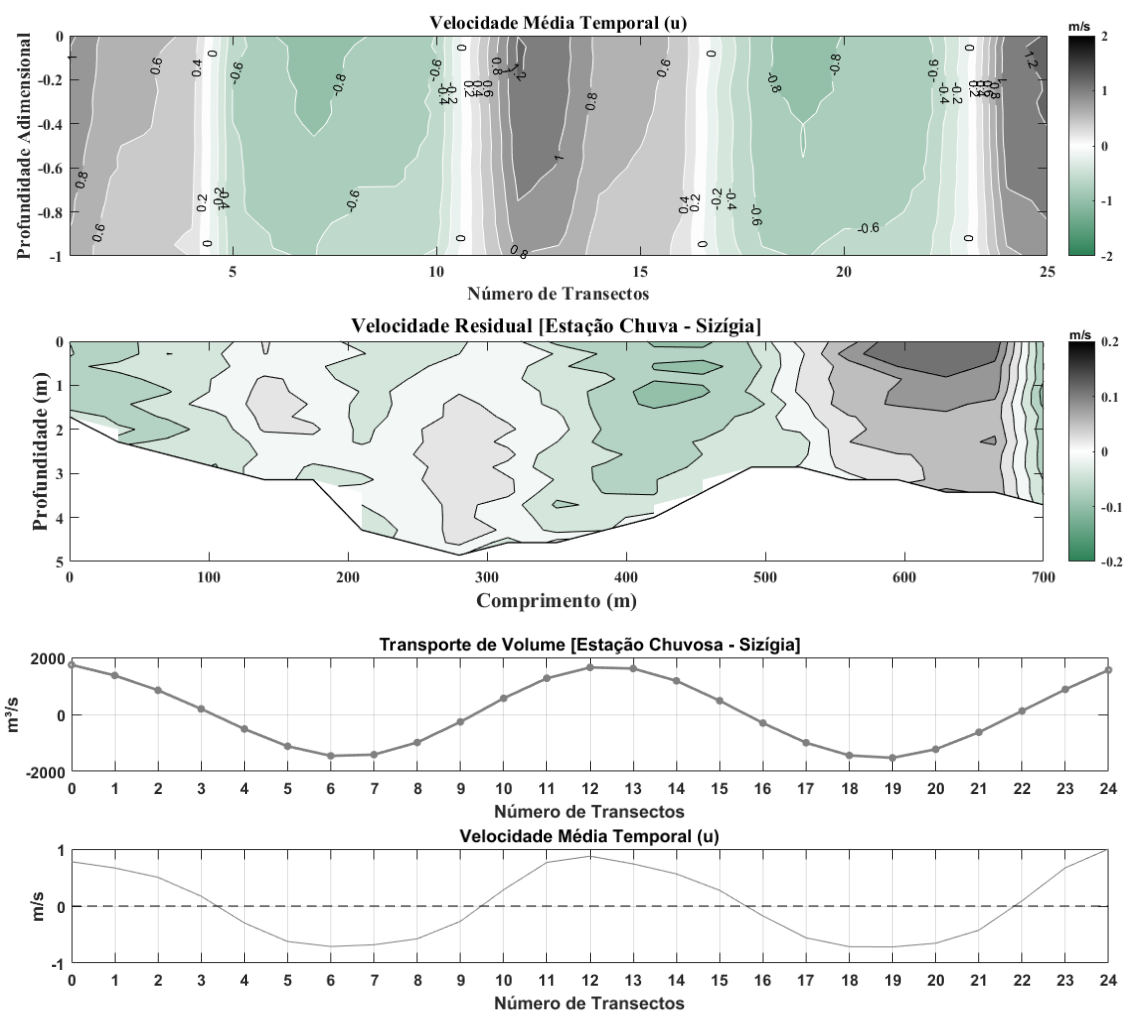


Figura 4-64: Resultados hidrodinâmicos do rio Mojuim, durante o período chuvoso. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal.

Tabela 4-29: Fluxo e transporte de volume calculados para o rio Mojuim, período chuvoso.

Parâmetros	Período Chuvoso
Transporte de volume resultante ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ )	11,57
Balanço de volume ( $\text{m}^3$ )	3135,40
Máx. transporte enchente ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ )	-2208,70
Máx. transporte vazante ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ )	3160,80
u Máx. enchente ( $\text{m.s}^{-1}$ )	-0,79
u Máx. vazante ( $\text{m.s}^{-1}$ )	1,13

As medições de corrente na porção superior do estuário registraram valores de velocidades superiores em maré vazante durante o período chuvoso em relação ao seco, com máxima superior a  $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; na enchente, o valor foi semelhante ao período seco ( $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Foi possível identificar também uma assimetria de corrente positiva e predominância de vazante (Figura 4-65).

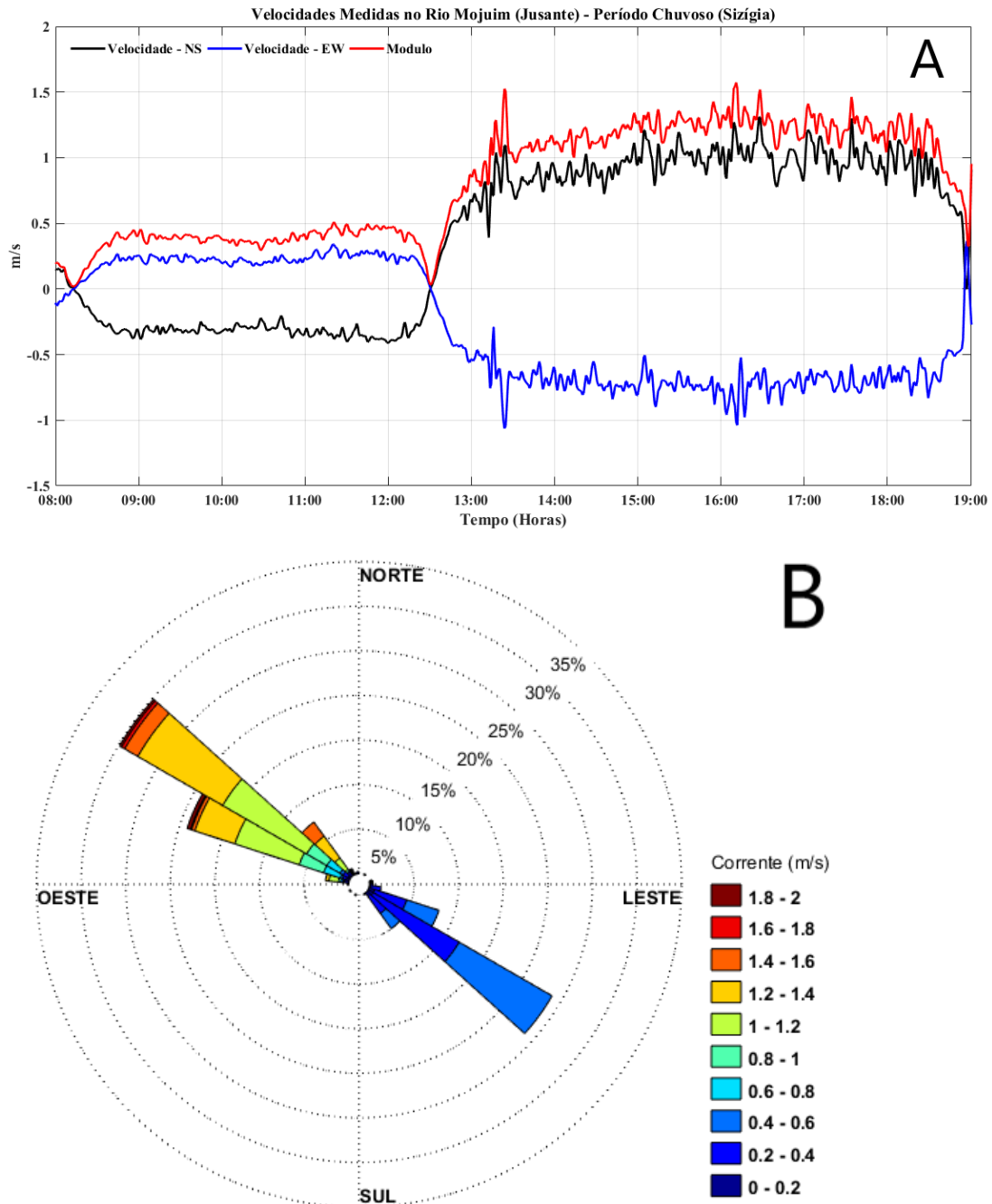


Figura 4-65: Velocidade e direção da corrente no rio Mojuim durante período chuvoso. A): componentes (NS e EW) e intensidade (módulo) das correntes; B): frequência de ocorrências das intensidades e direções das correntes.

De forma geral, a análise dos dados obtidos no rio Mocajuba mostra que os volumes máximos foram observados durante o período chuvoso (Figura 4-66). O transporte de volume resultante neste período foi cerca de dez vezes maior o volume resultante no período seco (Figura 4-67). Isto evidencia a capacidade

superior de maré vazante em transporte de volume, uma vez que em ambos os períodos a vazante registrou os maiores valores (Tabela 4-30). As máximas velocidades foram registradas durante a vazante, com 0,84 e 0,86 m.s<sup>-1</sup> no período seco e chuvoso, respectivamente. Ainda, na porção superior do rio, observou-se que, ao longo de um ciclo de maré, as velocidades de vazante são superiores as de enchente (Figura 4-68).

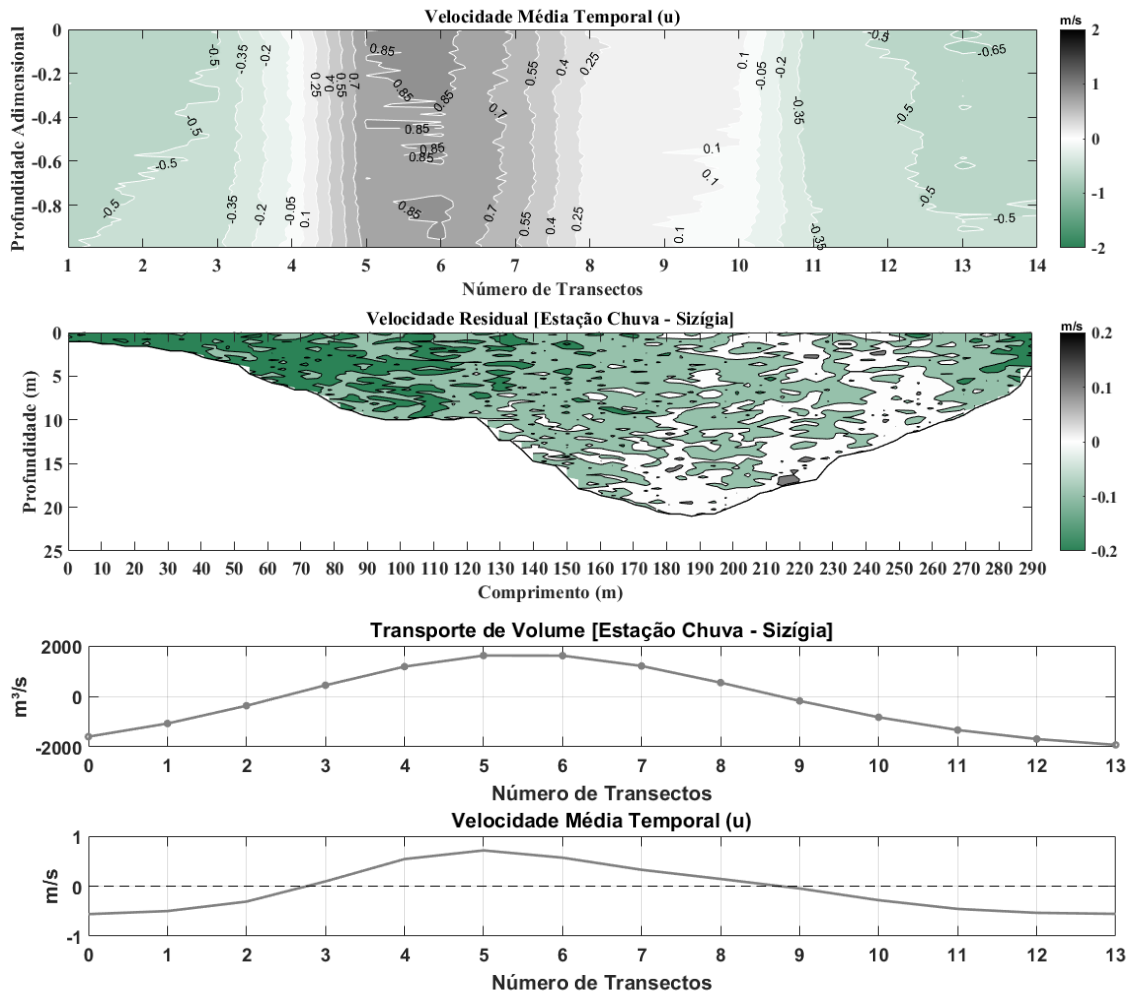


Figura 4-66: Resultados hidrodinâmicos do rio Mocajuba, durante o período chuvoso. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal.

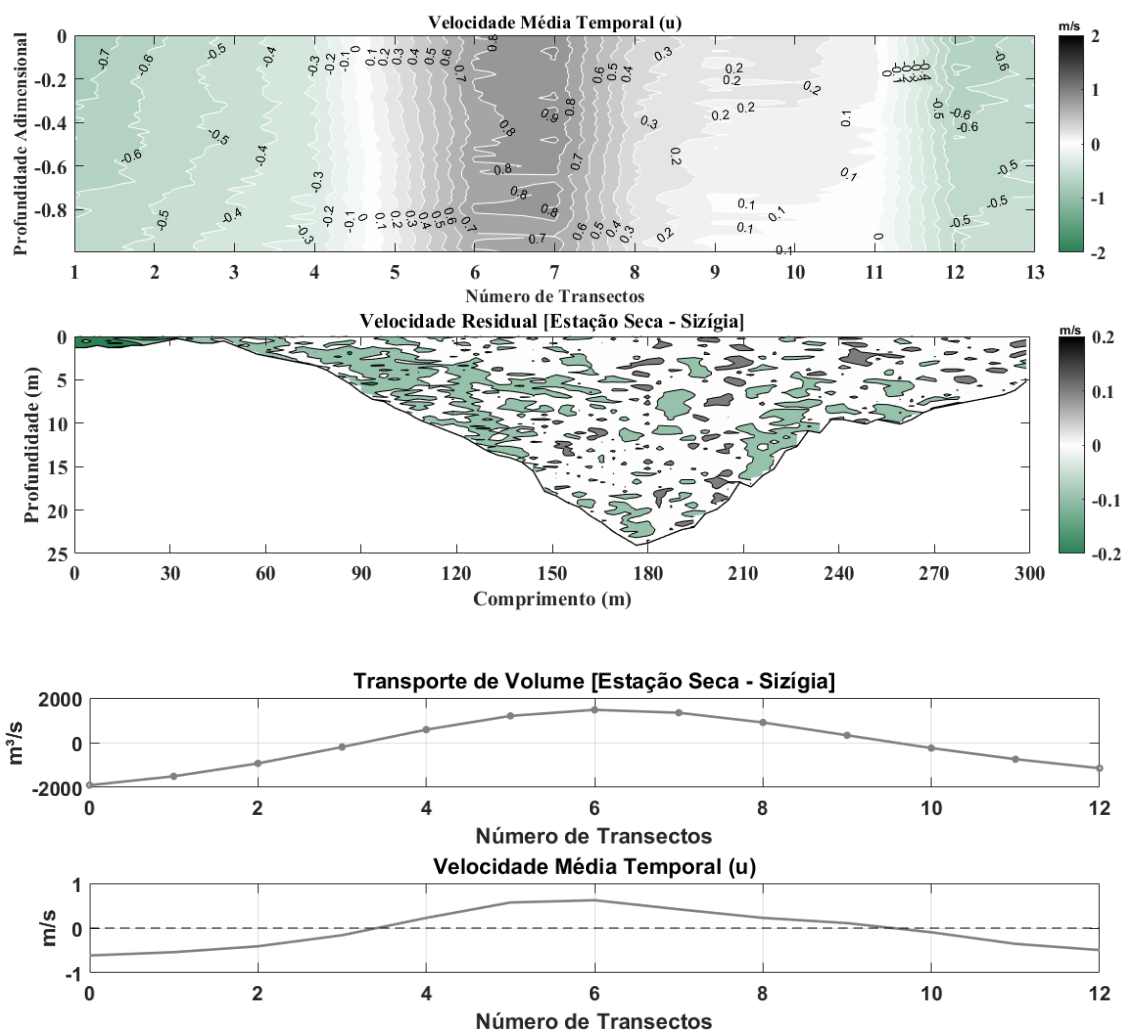


Figura 4-67: Resultados hidrodinâmicos do rio Mocajuba, durante o período seco. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal.

Tabela 4-30: Fluxo e transporte de volume calculados para o rio Mocajuba, período seco e chuvoso.

Parâmetros	Período Seco	Período Chuvoso
Transporte de volume resultante ( $m^3.s^{-1}$ )	24,06	-248,24
Balanco de volume ( $m^3$ )	-1965,5	-3339,5
Máx. transporte enchente ( $m^3.s^{-1}$ )	-2600,6	-2357,3
Máx. transporte vazante ( $m^3.s^{-1}$ )	3252,8	3362,9
u Máx. enchente ( $m.s^{-1}$ )	-0,68	-0,6
u Máx. vazante ( $m.s^{-1}$ )	0,84	0,86

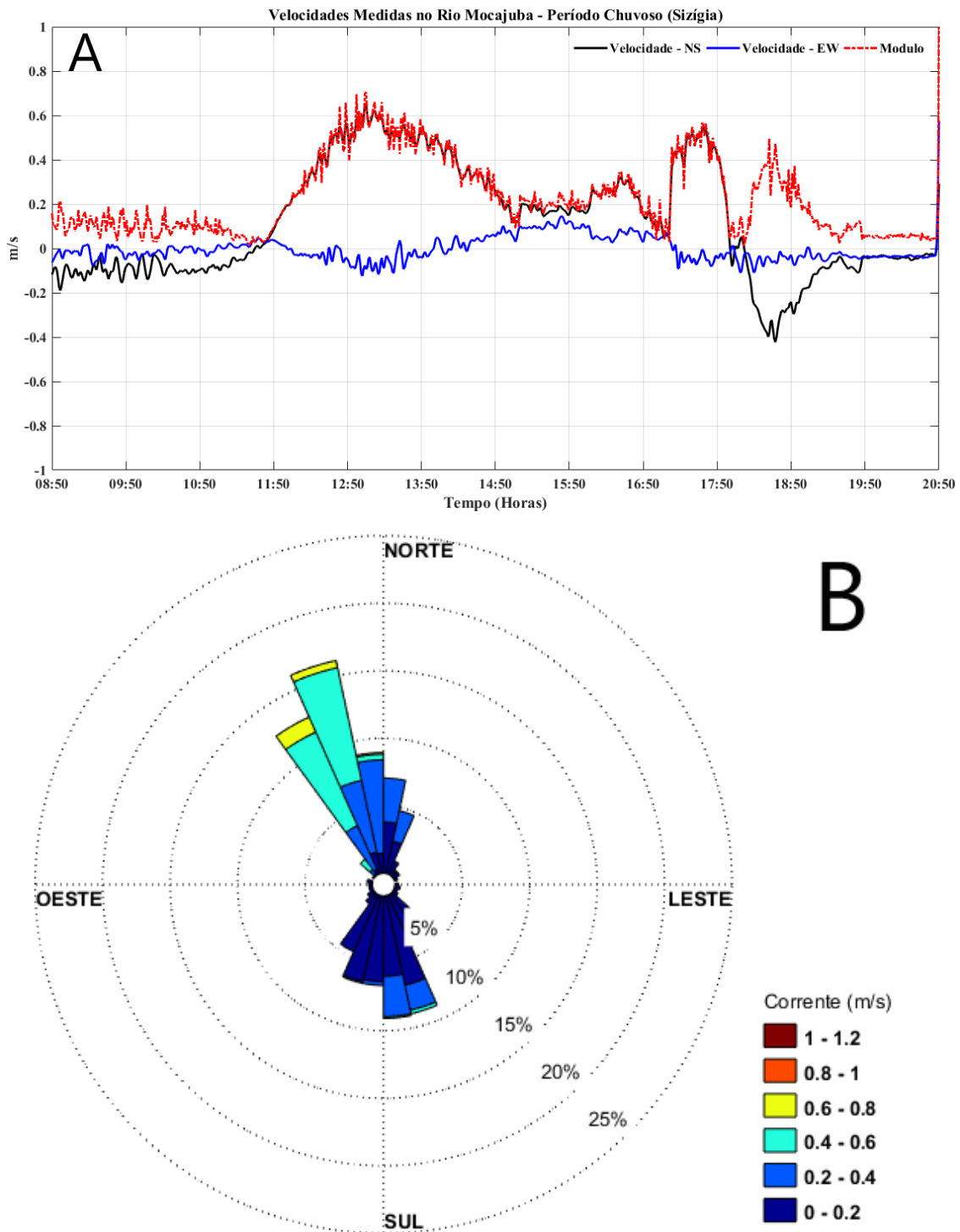


Figura 4-68: Velocidade e direção da corrente no rio Mocajuba durante período chuvoso. A): componentes (NS e EW) e intensidade (módulo) das correntes; B): frequência de ocorrências das intensidades e direções das correntes.

O levantamento de dados hidrodinâmicos nos canais de conexão do sistema Mojuim-Mocajuba identificou a existência de um canal secundário que contribui significativamente na drenagem e na hidrodinâmica do sistema. Desta forma, foi necessário realizar medições de corrente em três seções do canal (Tabela 4-6):

SM4 (sentido Mojuim-Mocajuba), SM3 (sentido Mocajuba-Mojuim) e SM2 (canal secundário). As Figuras Figura 4-69, Figura 4-70 e Figura 4-71 apresentam os resultados hidrodinâmicos obtidos para cada seção.

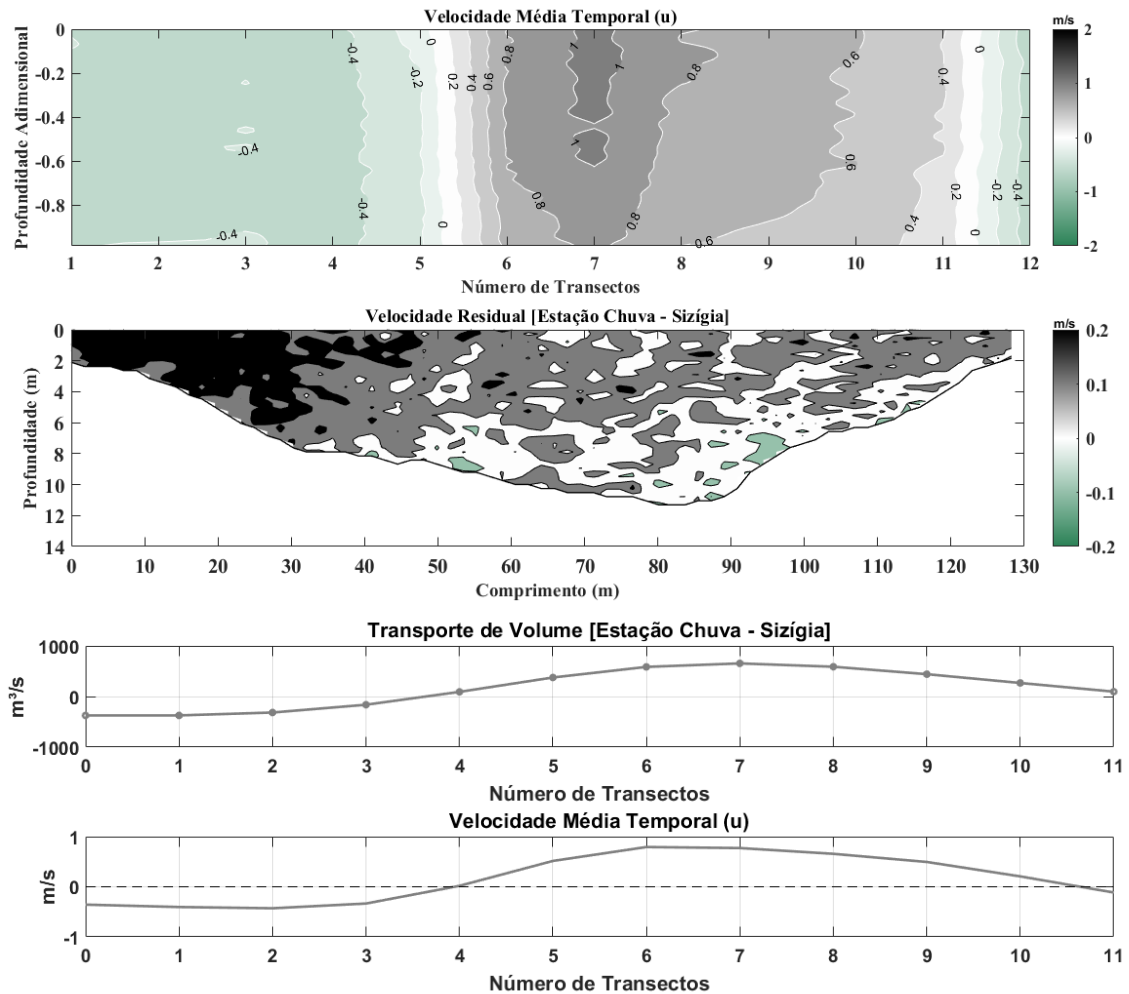


Figura 4-69: Resultados hidrodinâmicos do canal de conexão do sistema Mojuim-Mocajuba, seção SM4. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal. Nesta seção, o fluxo na vazante é sentido Mocajuba e canal secundário e, na enchente, Mojuim.



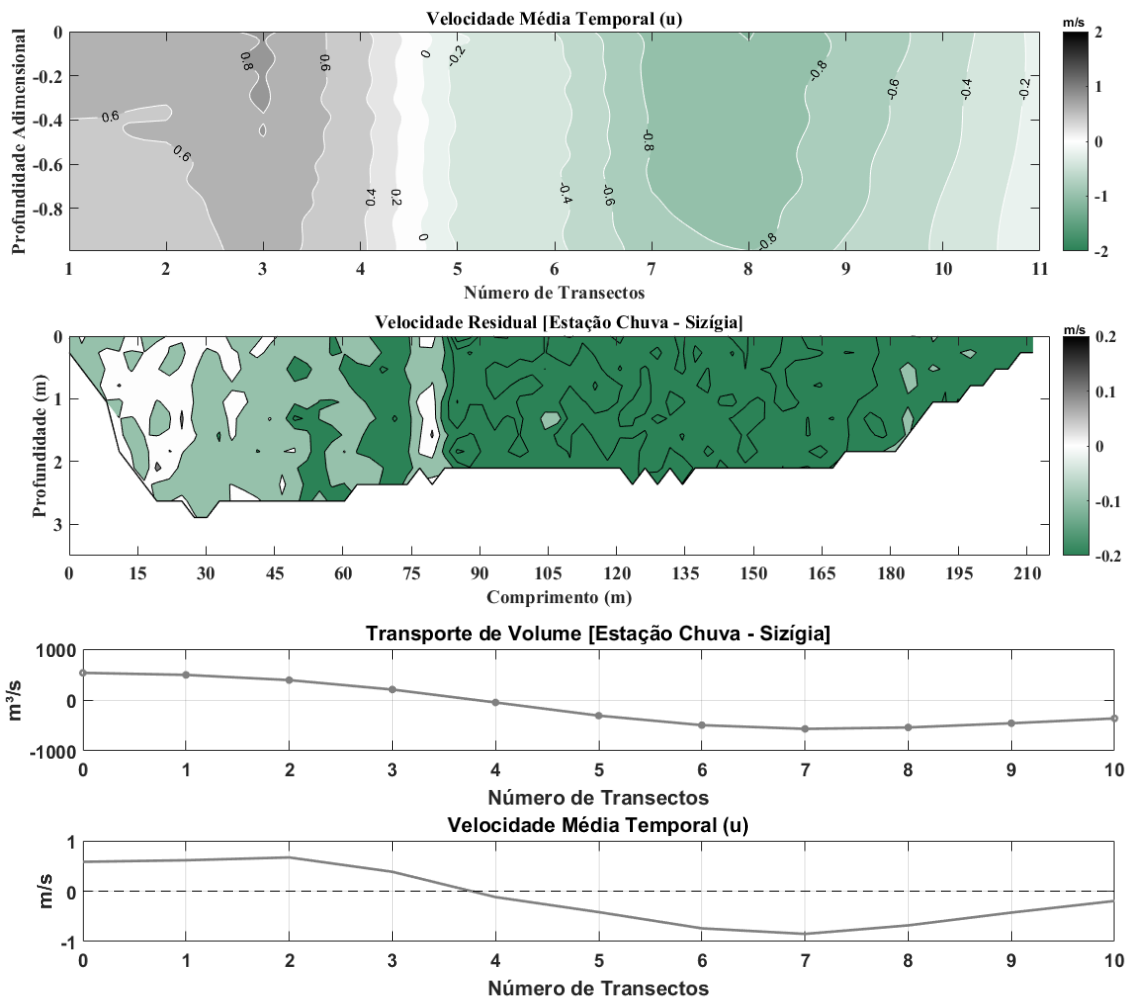


Figura 4-70: Resultados hidrodinâmicos do canal de conexão do sistema Mojuim-Mocajuba, seção SM3. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal. Nesta seção, o fluxo na vazante é sentido Mojuim e canal secundário e, na enchente, Mocajuba.

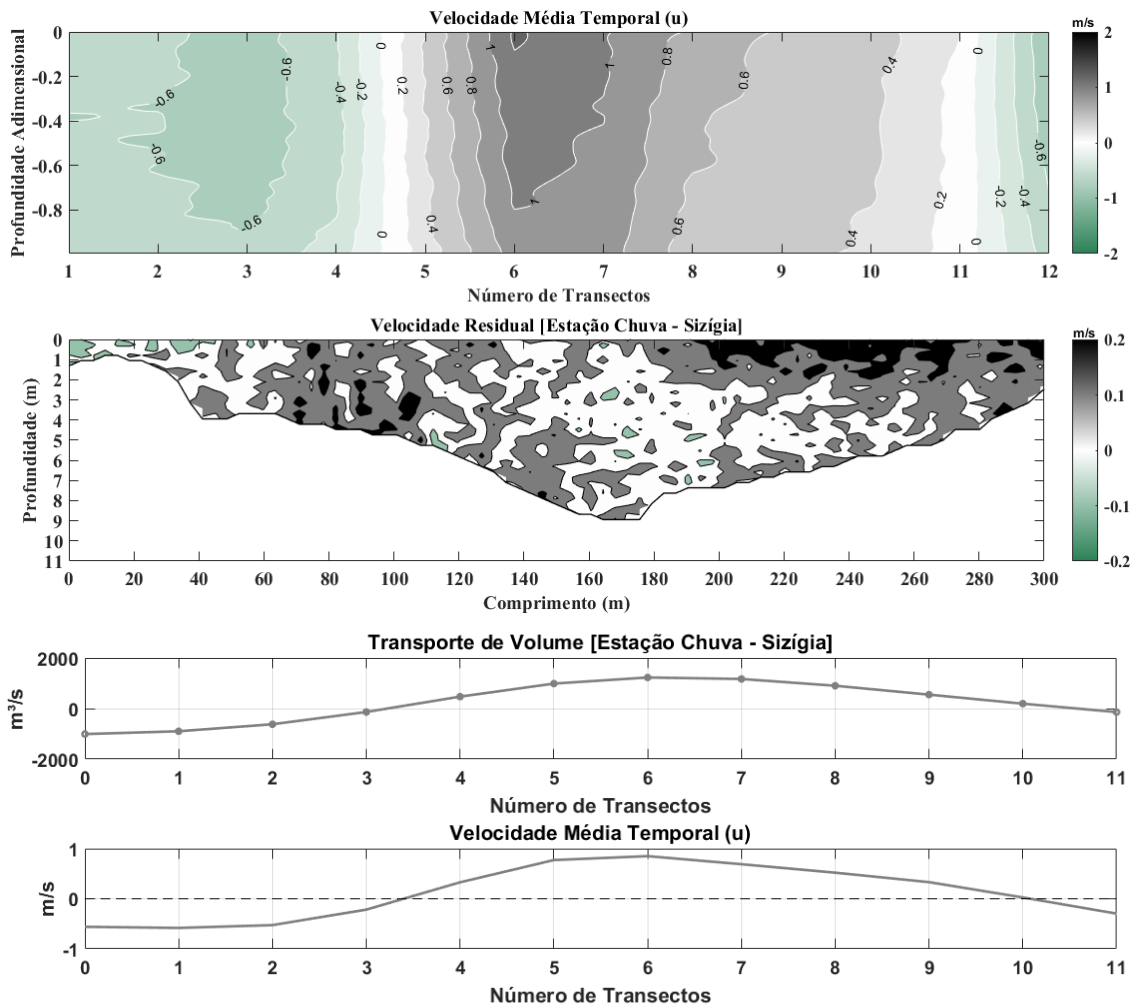


Figura 4-71: Resultados hidrodinâmicos do canal de conexão do sistema Mojuim-Mocajuba, seção SM2. Valores positivos indicam vazante e negativos enchente. Na figura, estão representados: velocidade média temporal mostrando variação com profundidade; velocidade residual; transporte de volume e velocidade média temporal. Nesta seção, o fluxo na vazante é sentido na saída do canal secundário e, na enchente, sentido rio Mojuim.

A Tabela 4-31 mostra os resultados do fluxo de volume no interior do canal de conexão. Devido a profundidades pequenas na seção, a maior parte dos valores obtidos na SM3 foram interpolados nas rotinas de tratamento, para que na realização da análise, os valores não fossem levados em consideração.

Considerando o transporte de volume, a seção SM4 obteve os maiores valores, onde, quando comparados à seção SM2, alcançou valores superiores ao dobro. A seção (SM4) registrou valores significativos em relação ao máximo transporte na enchente e vazante. Entretanto, não houve uma variação expressiva no transporte de volume resultante e, quando considerado o volume e a velocidade de corrente, ambas as seções (SM2 e SM4) apresentam valores superiores na maré vazante em relação à enchente.

Tabela 4-31: Fluxo e transporte de volume calculados para o canal de conexão do sistema Mojuim-Mocajuba, período chuvoso.

Parâmetros	Conexão		
	SM4	SM3	SM2
Transporte de volume resultante ( $m^3.s^{-1}$ )	143,47	-124,68	194,64
Balanco de volume ( $m^3$ )	1689,30	-1032,30	2259,10
Máx. transporte enchente ( $m^3.s^{-1}$ )	-500,21	-825,10	-1239,10
Máx. transporte vazante ( $m^3.s^{-1}$ )	969,93	693,30	1955,60
u Máx. enchente ( $m.s^{-1}$ )	-0,51	-0,92	-0,68
u Máx. vazante ( $m.s^{-1}$ )	0,99	0,77	1,07

A análise da turbidez apontou diferenças significativas do parâmetro sazonais e espaciais, ao longo das estações de coleta dos rios Mojuim e Mocajuba. A influência da sazonalidade na variação da turbidez foi avaliada agrupando os meses de medição com a climatologia da região. Para a análise espacial, o perfil de coleta longitudinal ao longo do rio Mojuim foi subdividido em três setores: 1) setor correspondente aos doze quilômetros iniciais partindo da foz; 2 e 3) setores correspondentes às regiões meandantes do estuário.

A média da turbidez no rio Mojuim foi de  $215,16 \pm 42,09$  NTU no período seco,  $173,91 \pm 19,26$  NTU no intermediário e  $344,32 \pm 48,22$  NTU no período chuvoso. Os menores valores médios registrados ao longo da coluna d'água ( $154,65 \pm 203,09$  NTU) se deram no período seco e, os maiores na transição do período seco para o chuvoso, com  $408,97 \pm 293,86$  NTU. Os maiores valores são registrados próximo ao fundo, ultrapassando 1000 NTU. Um gradiente sazonal crescente do parâmetro foi verificado estuário à dentro, atingindo concentrações máximas de 500 NTU nas regiões de meandramento fluvial (Figura 4-72).

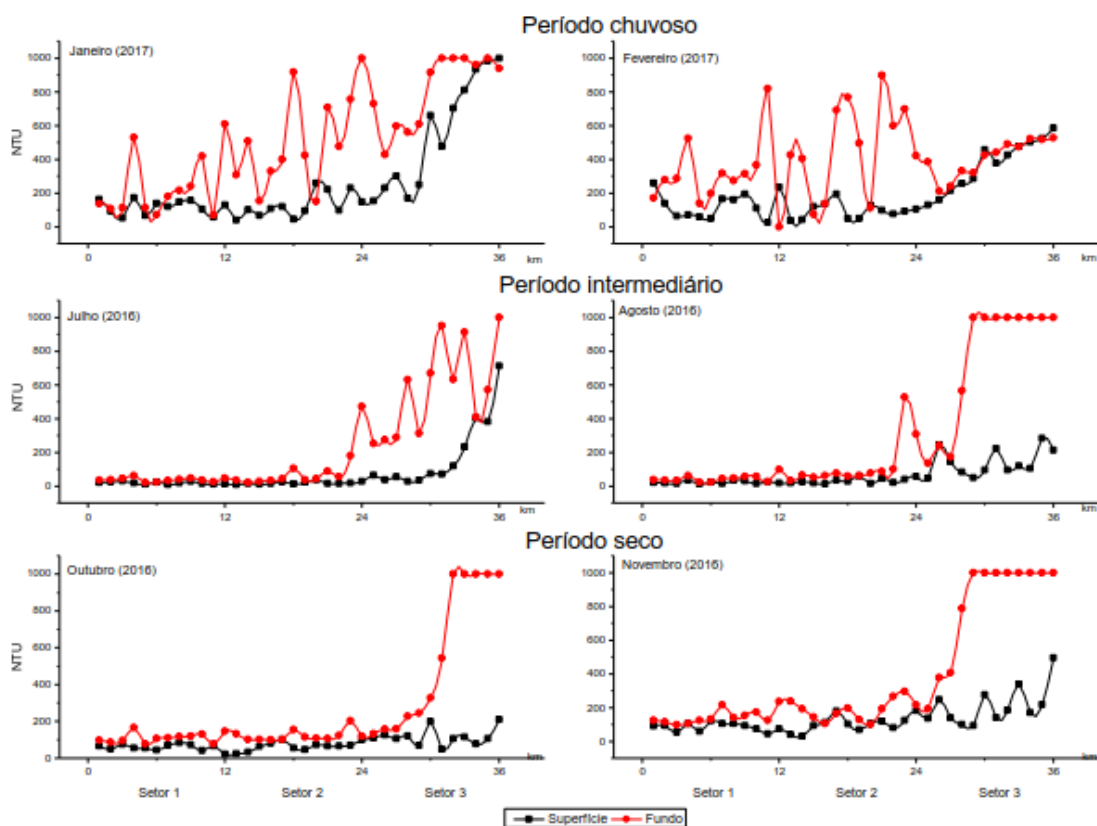


Figura 4-72: Variação da Turbidez na superfície e fundo ao longo do perfil longitudinal no rio Mojuim, nos períodos chuvoso (acima), intermediário (meio) e seco (abaixo).

Águas mais turvas foram verificadas no rio Mocajuba nos primeiros 15 km iniciais do perfil longitudinal. Como esperado, as concentrações no período chuvoso foram superiores ao seco e os maiores valores registrados próximo ao fundo.

As variações de turbidez do período seco foram de 17,5 NTU a 304 NTU em superfície de 25 NTU a 585 NTU próximo no fundo (Figura 4-73). Durante o período chuvoso, a turbidez variou de 26,5 NTU a 414 NTU em superfície e de 26,6 NTU a 762 NTU próximo ao fundo (Figura 4-74).

O canal de conexão entre o sistema contou com medições de turbidez em duas estações: M3 (Mojuim) e M7 (Mocajuba) – ver Tabela 4-6. Durante o período chuvoso, a diferença entre superfície e próximo ao fundo é expressiva na seção M3. Em ambos os períodos analisados a concentração de turbidez na M3 foi significativamente maior que a registrada na M7 (Figura 4-75 e Figura 4-76).

A maré vazante registrou as maiores concentrações da turbidez quando comparadas à enchente, evidenciando a influência determinante da profundidade de coleta nas concentrações do parâmetro. Os valores médios sazonais são apresentados na Tabela 4-32.

Tabela 4-32: Médias sazonais de turbidez (NTU) na superfície e fundo durante um ciclo de maré nas estações do canal de conexão M3 e M7.

Maré	Profundidade	Seco		Chuvoso	
		M3	M7	M3	M7
Enchente	Superfície	71,80	33,54	303,46	127,16
	Fundo	108,27	52,71	876,44	159,54
Vazante	Superfície	66,07	86,43	375,45	121,53
	Fundo	155,52	87,79	855,27	258,02

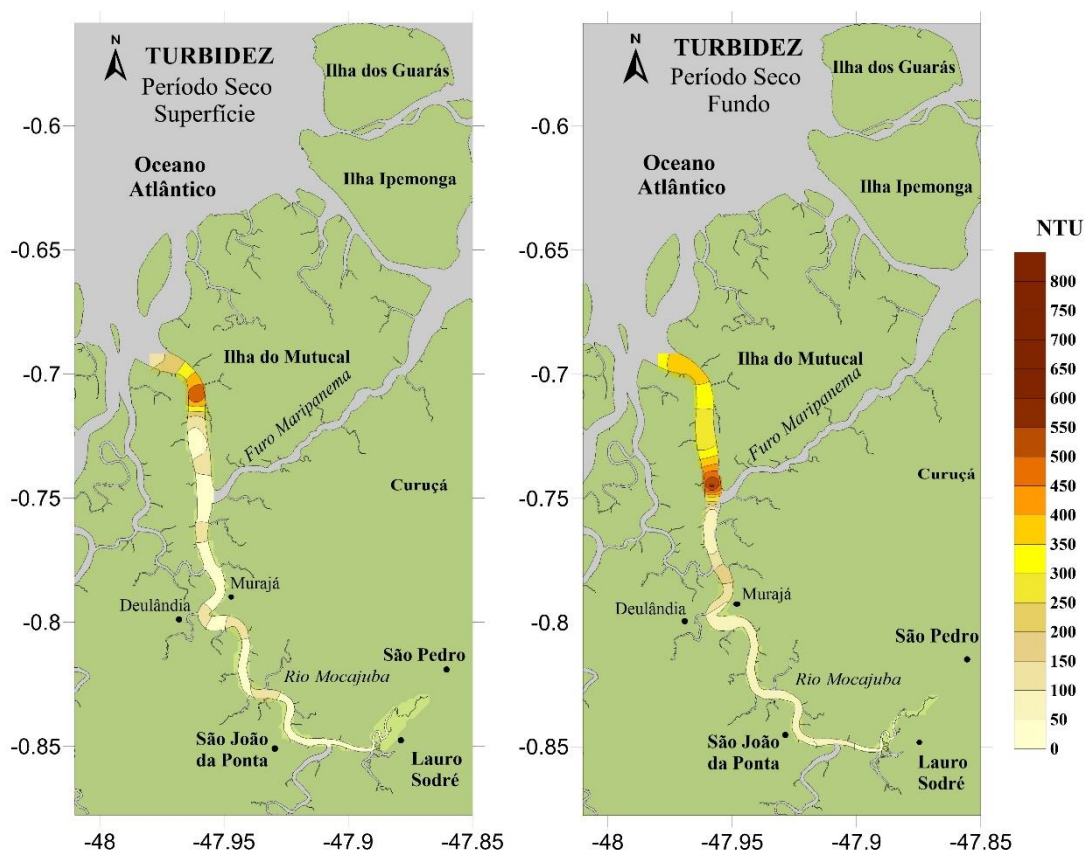


Figura 4-73: Variação longitudinal da turbidez no estuário do rio Mocajuba, período seco. À esquerda, superfície, e à direita, fundo.

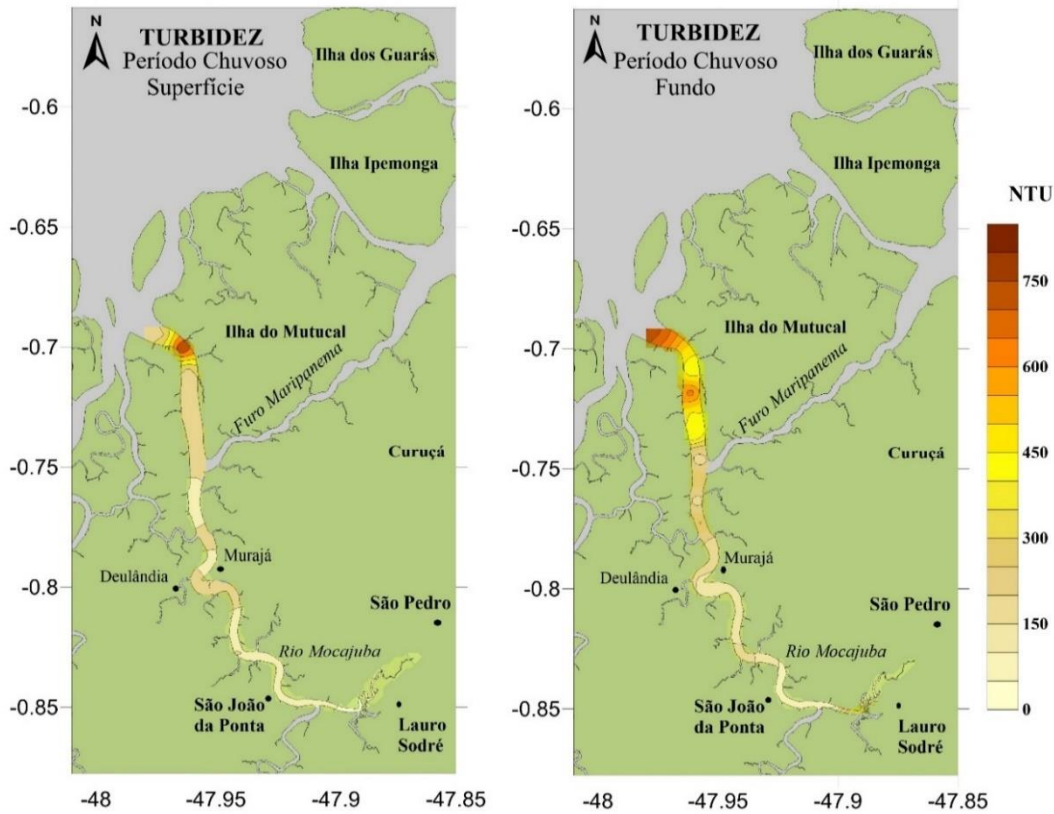


Figura 4-74: Variação longitudinal da turbidez no estuário do rio Mocaçuba, período chuvoso. À esquerda, superfície, e à direita, fundo.

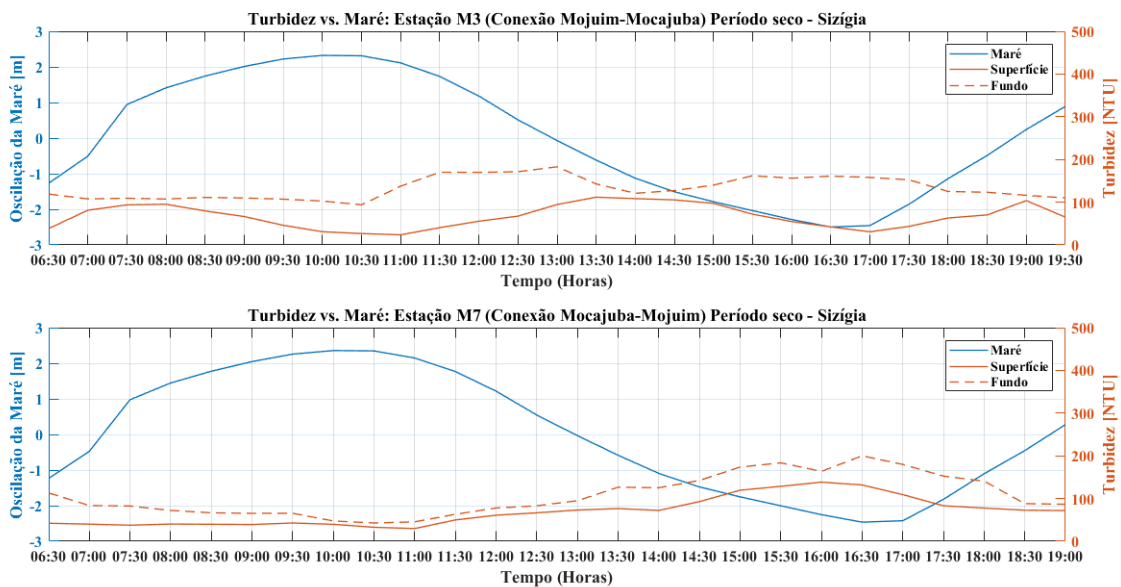


Figura 4-75: Variação da concentração da turbidez na superfície e fundo ao longo de um ciclo de maré nas estações M3 (acima) e M7 (abaixo), período seco.

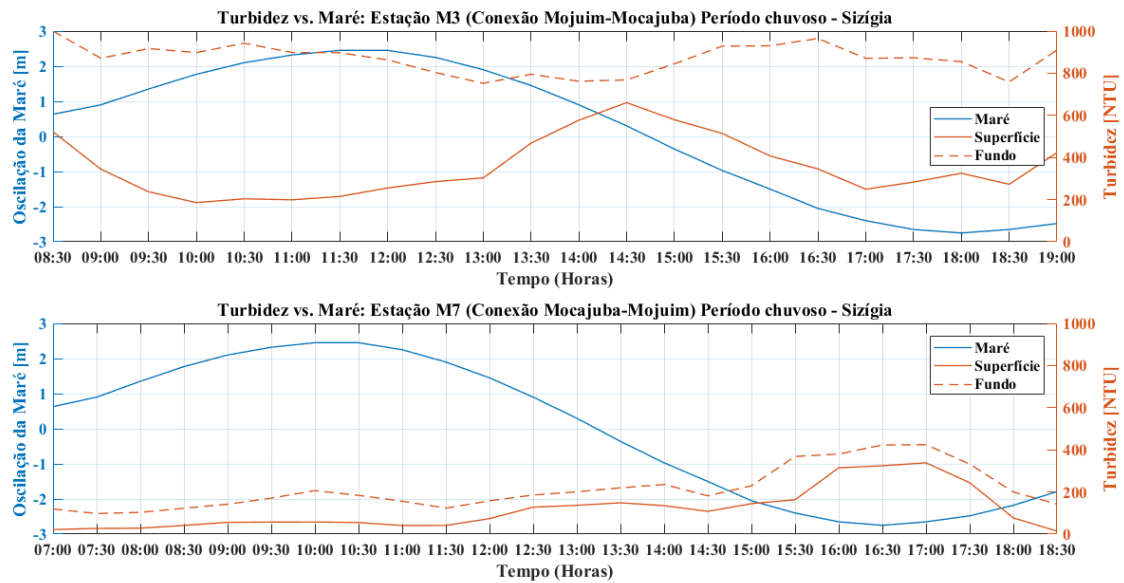


Figura 4-76: Variação da concentração da turbidez na superfície e fundo ao longo de um ciclo de maré nas estações M3 (acima) e M7 (abaixo), período chuvoso.

A análise da salinidade no sistema Mojuim-Mocajuba mostrou que o parâmetro sofre acentuadas variações sazonais, onde os valores registrados durante o período seco são sempre superiores ao chuvoso. Contudo, não foram identificadas variações significativas entre superfície e fundo, não havendo estratificação vertical da coluna d'água.

Essa dinâmica foi confirmada por Valentim (2017) no rio Mojuim, onde os máximos valores foram sempre registrados próximo à foz, região de maior influência oceânica, diminuindo rio adentro. A intrusão salina no rio apresentou variações espaciais nos diferentes meses de coleta, obtendo máximo alcance em novembro, período seco, com cerca de 50 km à montante (Figura 4-77). O perfil longitudinal apontou um aumento no gradiente salino diretamente relacionado ao período sazonal:  $8,5 \pm 0,8 \text{ g.kg}^{-1}$  durante período chuvoso,  $15,99 \pm 0,37 \text{ g.kg}^{-1}$  no intermediário e atingindo seu máximo no período seco, com  $22,38 \pm 0,61 \text{ g.kg}^{-1}$ .

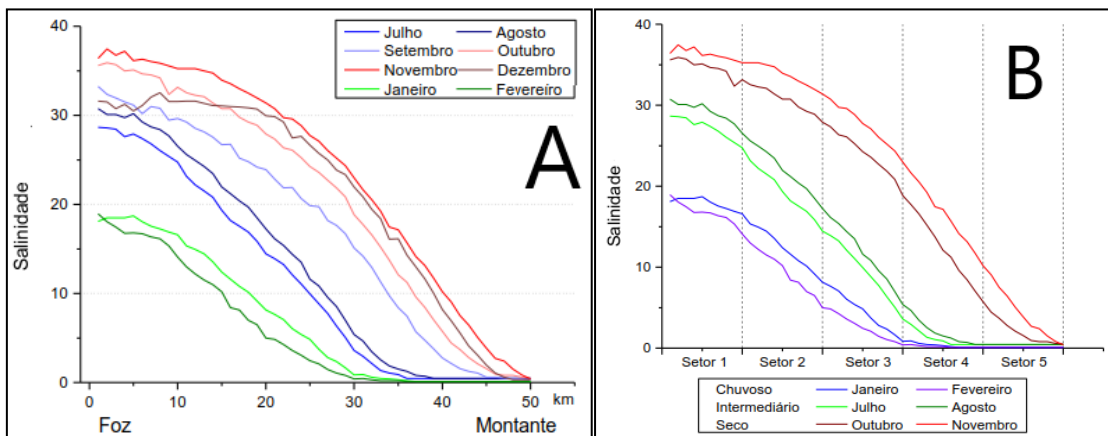


Figura 4-77: Variação da salinidade nos diferentes meses de coleta (A); Variação da salinidade por período sazonal (B).  
Fonte: Valentim (2017).

A análise da variação da salinidade e oscilações da maré no rio Mojuim apontou valores superiores à  $20 \text{ g.kg}^{-1}$  durante o período seco, atingindo máximas de  $25 \text{ g.kg}^{-1}$ . Em condições de maré de sizígia, observou-se que a variação nos valores de salinidade acompanha às oscilações de maré. Em quadratura, os valores mantiveram-se sem variações significativas (Figura 4-78).

No período chuvoso, os valores de salinidade registrados foram sempre inferiores à  $15 \text{ g.kg}^{-1}$  (Figura 4-79). Na sizígia, a variação foi entre  $5$  e  $8 \text{ g.kg}^{-1}$  em um ciclo de maré e, na quadratura, de  $5$  a  $6 \text{ g.kg}^{-1}$ .

A Figura 4-80 apresenta o resultado das variações da salinidade em função da amplitude de maré, em uma série temporal de seis meses, abrangendo os períodos intermediário e chuvoso, consistindo na determinação dos valores diários de salinidade (máximos, médias, mínimos) e dos valores médios para cada ciclo de maré ( $\approx 12,8 \text{ h}$ ). A análise constatou que não houve influência das mudanças das condições de maré, sizígia e quadratura, nos valores de salinidade em ambos os períodos.



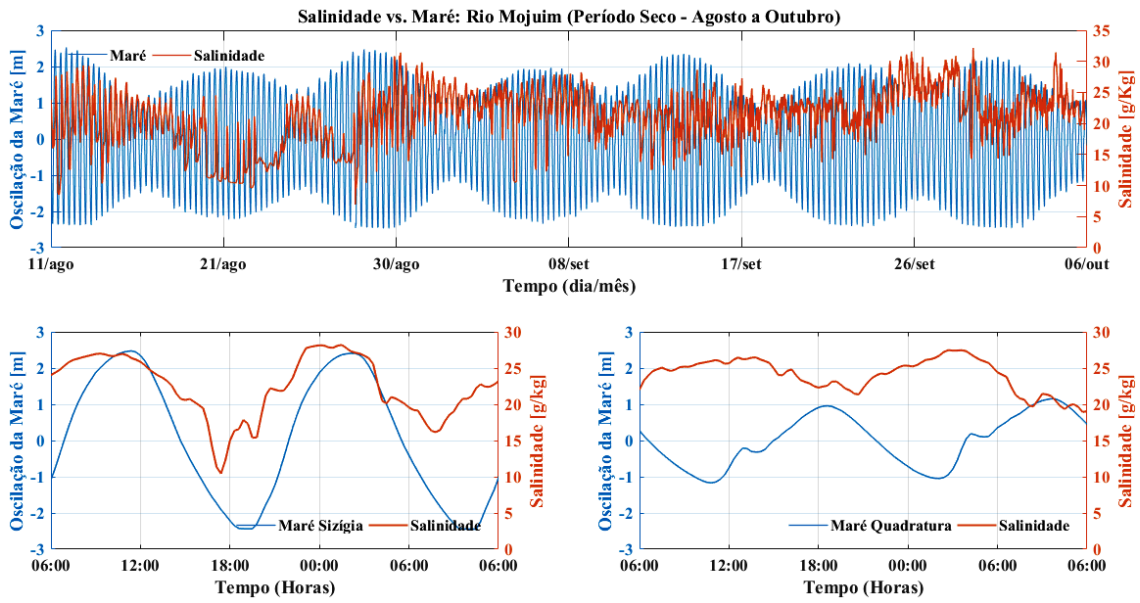


Figura 4-78: Série temporal da salinidade e oscilação de maré no rio Mojuim, período seco.

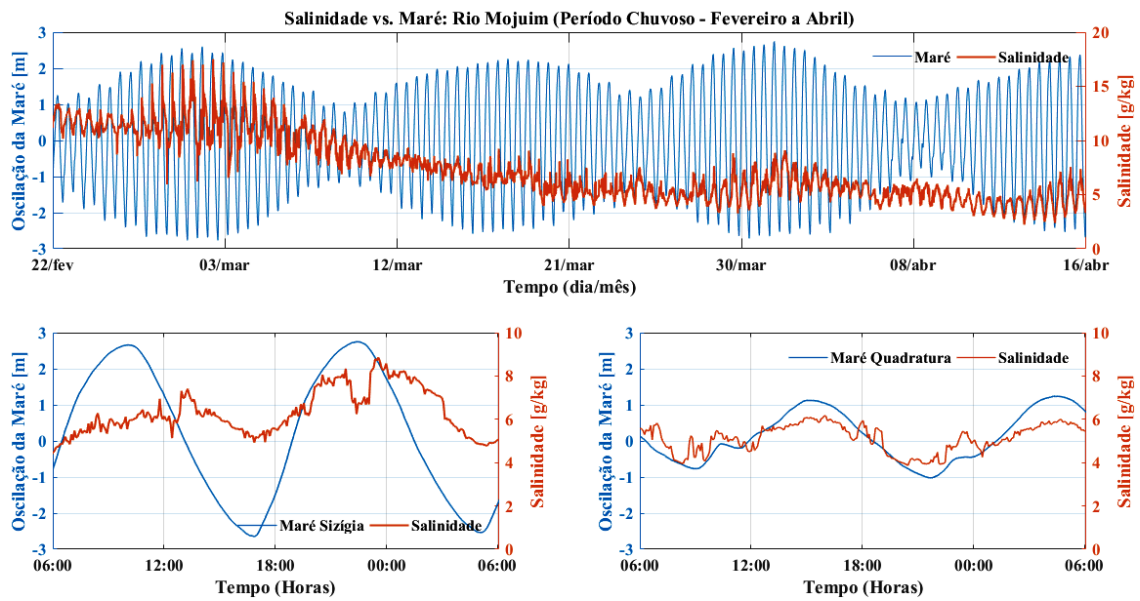


Figura 4-79: Série temporal da salinidade e oscilação de maré no rio Mojuim, período chuvoso.

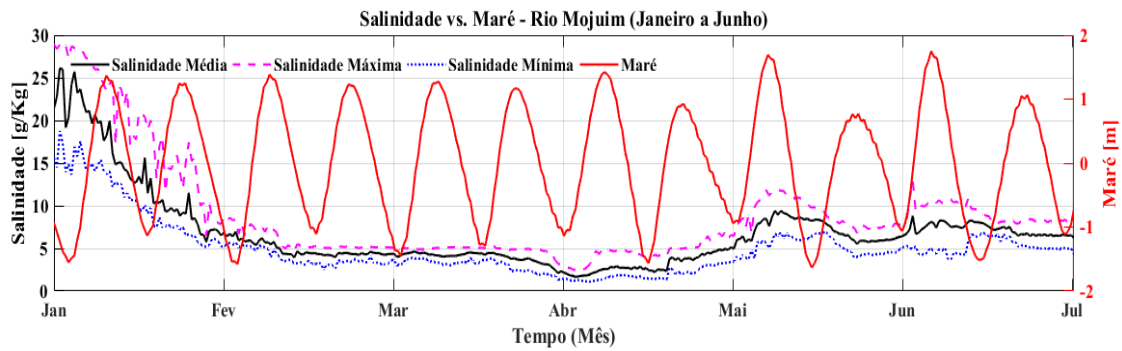


Figura 4-80: Salinidade em função da amplitude de maré no rio Mojuim, períodos intermediário e chuvoso.

A variação longitudinal analisada no rio Mocajuba verificou que, no período seco, o sal na superfície variou de  $23,2 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $33,1 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $23,7 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $33,3 \text{ g.kg}^{-1}$  no fundo (Figura 4-81). No período chuvoso variou de  $1 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $12,2 \text{ g.kg}^{-1}$  em superfície e,  $1 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $13 \text{ g.kg}^{-1}$  próximo ao fundo. Ainda, este período registrou uma diminuição espacial da intrusão salina, com valores superiores à  $10 \text{ g.kg}^{-1}$  limitados à aos 5 km iniciais do estuário (Figura 4-81).

A salinidade analisada no canal de conexão indicou variações em função da maré, registrando os maiores valores em maré enchente e os menores em maré vazante, sem significativas estratificações na coluna d'água (Figura 4-82 e Figura 4-83). No período seco, a estação M3 (Mojuim) registrou salinidade máxima de  $32,4 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $31,4 \text{ g.kg}^{-1}$  na M7 (Mocajuba). No chuvoso, a máxima foi de  $11,3 \text{ g.kg}^{-1}$  (M3) e  $11,2 \text{ g.kg}^{-1}$  (M7). Foi possível identificar influência mais acentuada da maré na estação M3, em ambos períodos sazonais.

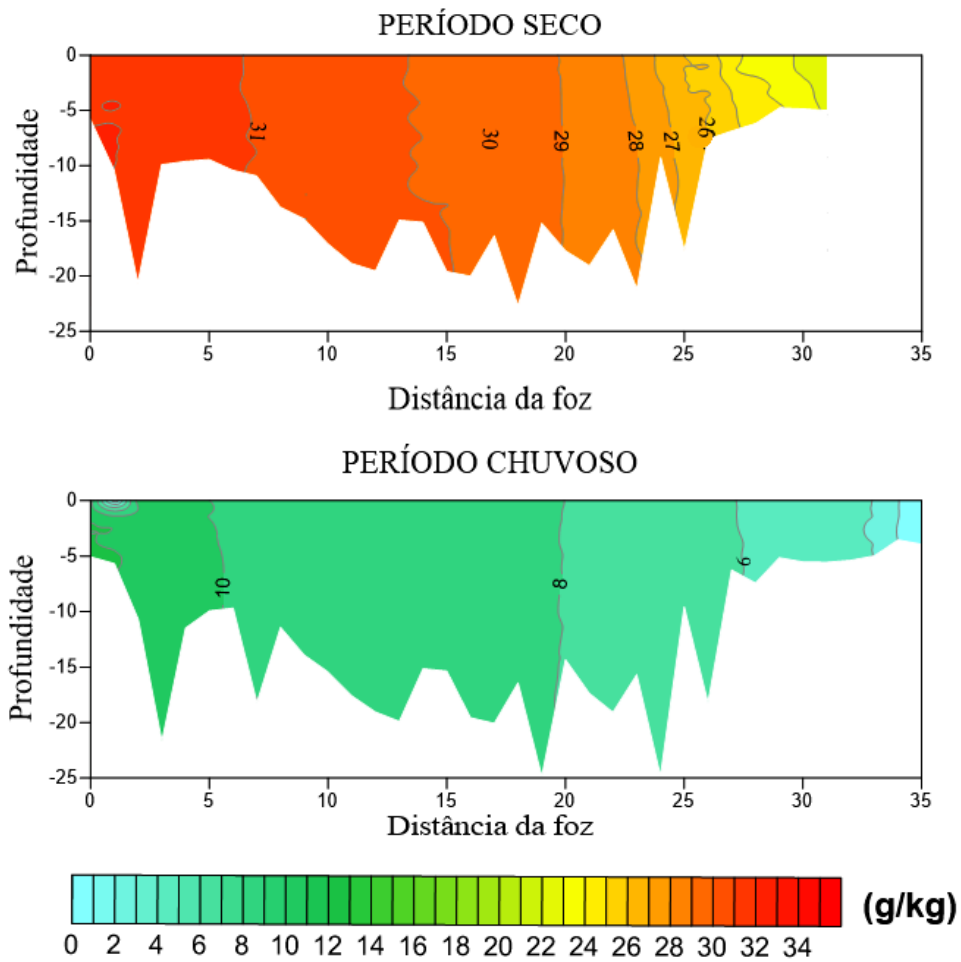


Figura 4-81: Perfis verticais de salinidade medidos ao longo de uma seção longitudinal no rio Mocajuba, período seco (acima) e chuvoso (abaixo).

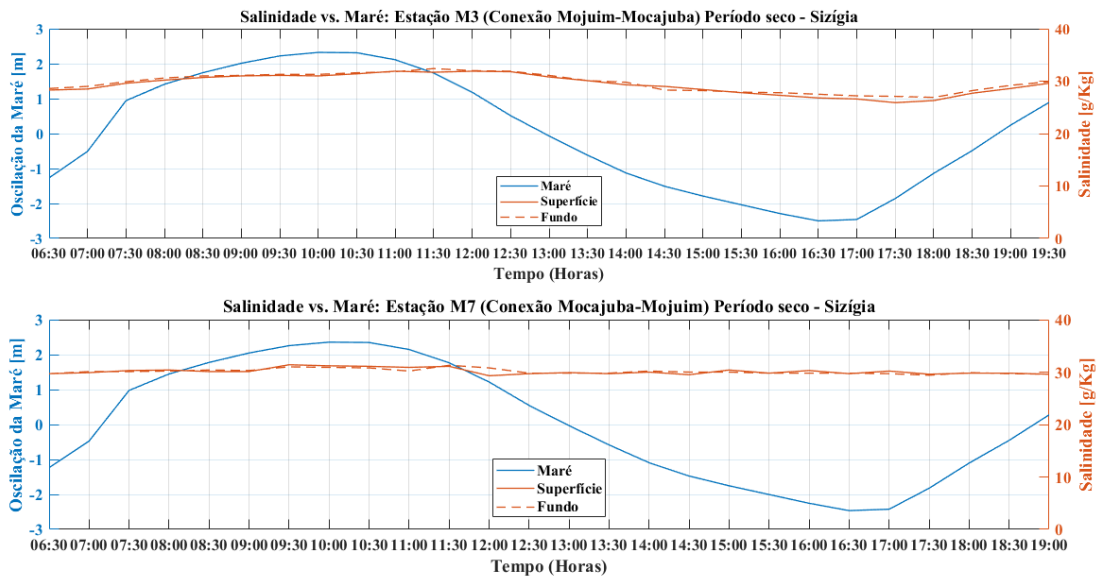


Figura 4-82: Variação da salinidade em função de um ciclo de maré, nas estações M3 (acima) e M7 (abaixo), do canal de conexão, período seco.

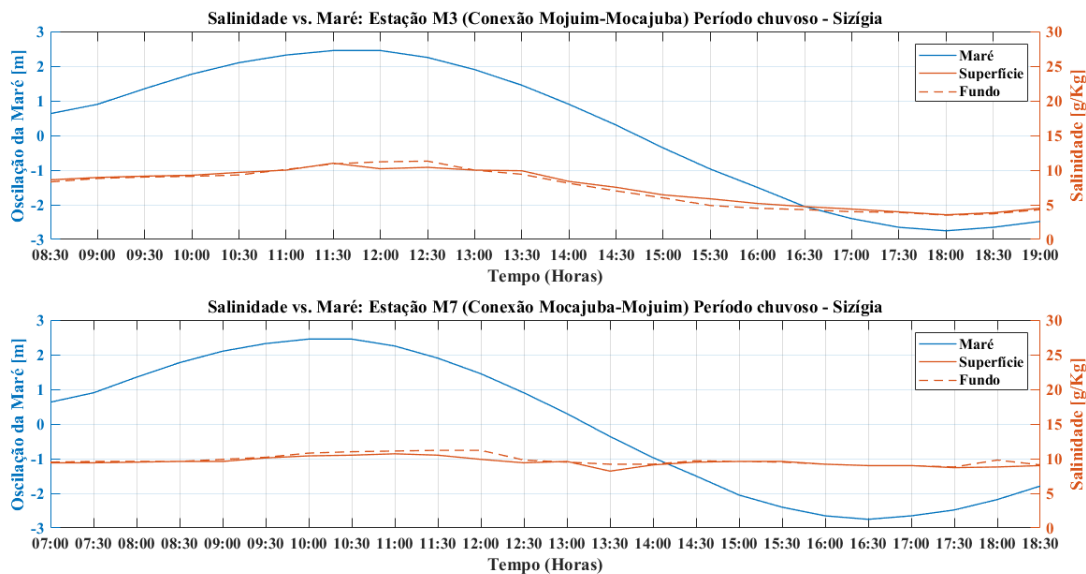


Figura 4-83: Variação da salinidade em função de um ciclo de maré, nas estações M3 (acima) e M7 (abaixo), do canal de conexão, período chuvoso.

O rio Mocajuba registrou os maiores valores de salinidade no período seco, superiores a  $30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  nos 10 km iniciais do estuário. O alcance da intrusão salina é de aproximadamente 34 km estuário adentro, conforme visto na Figura 4-81. Sem diferenças significativas entre superfície e fundo, a coluna d'água não apresentou gradientes verticais de estratificação. Entretanto, longitudinalmente houve um decréscimo da salinidade à montante, concentrando os maiores valores próximo à foz do estuário. Seguindo a classificação de Veneza, constatou-se que o rio Mocajuba possui águas euhalinas e polihalinas em toda sua extensão.

#### 4.2.2.3. Soure, PA

O perfil batimétrico do rio Paracauari revelou profundidades que variam de 1 a 50 m, com seções transversais com larguras de 400 m, no alto estuário, e 1,3 km próximo à foz. Na foz, as menores profundidades foram identificadas próximo à margem, em áreas associadas a bancos arenosos. A região do baixo estuário apresenta as maiores profundidades registradas. Após esse trecho, o canal se torna mais raso em direção à montante. A Figura 4-84 apresenta o perfil batimétrico para toda extensão do rio Paracauari.

A região do baixo estuário figura como o trecho intercessor entre o ambiente arenoso e a floresta de mangue que, a partir deste ponto, margeia todo o percurso do rio Paracauari. Associadas ao mangue, as planícies lamosas tornam-se mais abundantes na região do alto estuário, estendendo-se em função da baixa declividade do terreno e os inúmeros canais de maré que recortam os mangues.

A região do alto estuário apresentou profundidades entre 1,5 m a 20 m, onde, ao longo da margem esquerda, as planícies lamosas ficam expostas em condições de baixa-mar. No trecho correspondente à margem direita, as profundidades variam de 2 m a 15 m, também com exposição de planície lamosa em maré baixa.

A foz apresenta praias e pontas arenosas, resultando em uma morfologia irregular nesta região. Por outro lado, a região do Médio Estuário registra declividade suave em profundidades iguais ou inferiores à 10 m que, ultrapassando esse limite, apresenta uma mudança significativa de profundidade. A geomorfologia da calha do rio sugere uma orientação NW-SE, configurada pela ação das correntes de marés e fluviais.

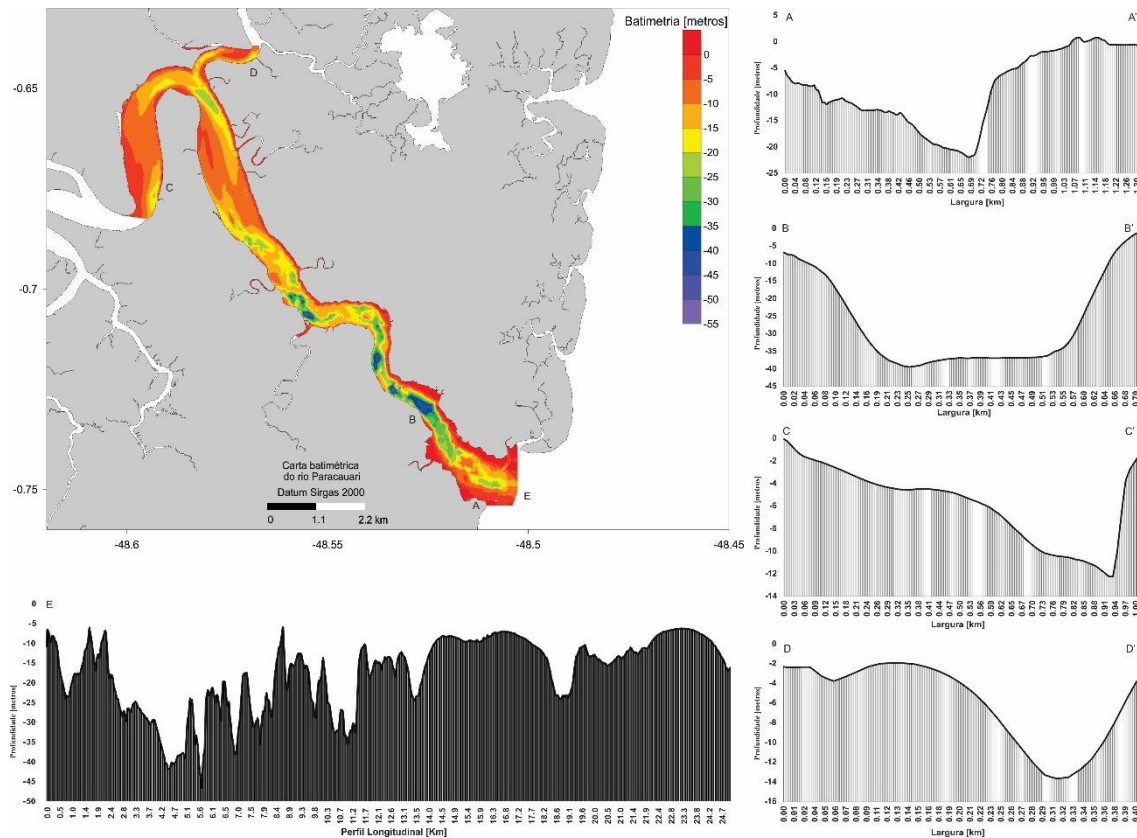


Figura 4-84: Mapa batimétrico do rio Paracauari com destaque para o perfil transversal da foz (A), Baixo Estuário (B), Alto Estuário (C/D) e o perfil batimétrico longitudinal (E).

Com oscilações que variam de 2 a 3,5 m, a maré no estuário do rio Paracauari caracteriza-se como de mesomaré, registrando um decréscimo na altura na medida que se propaga estuário à dentro.

O registro de maré à montante do rio (estação S2), durante período transicional, registrou alturas máximas de 2.1 m em maré de quadratura, bem como assimetria negativa (maré vazante < enchente), onde o intervalo de enchente foi aproximadamente 6,01 h e, de vazante, 5,04 h (Figura 4-85).

Próximo à foz (estação S1), a maré atingiu altura máxima de 2,2 m na quadratura, durante o período transicional (

Figura 4-86). Com aproximadamente 6,06 h na enchente e 5,06 h de vazante, também registrou assimetria negativa de maré. Por outro lado, no período chuvoso, a maré no mesmo local de medição apresentou assimetria positiva, com tempo de 5,05 h na enchente e 6,08 h na vazante, atingindo altura máxima de 3,5 m em sizígia (Figura 4-87).

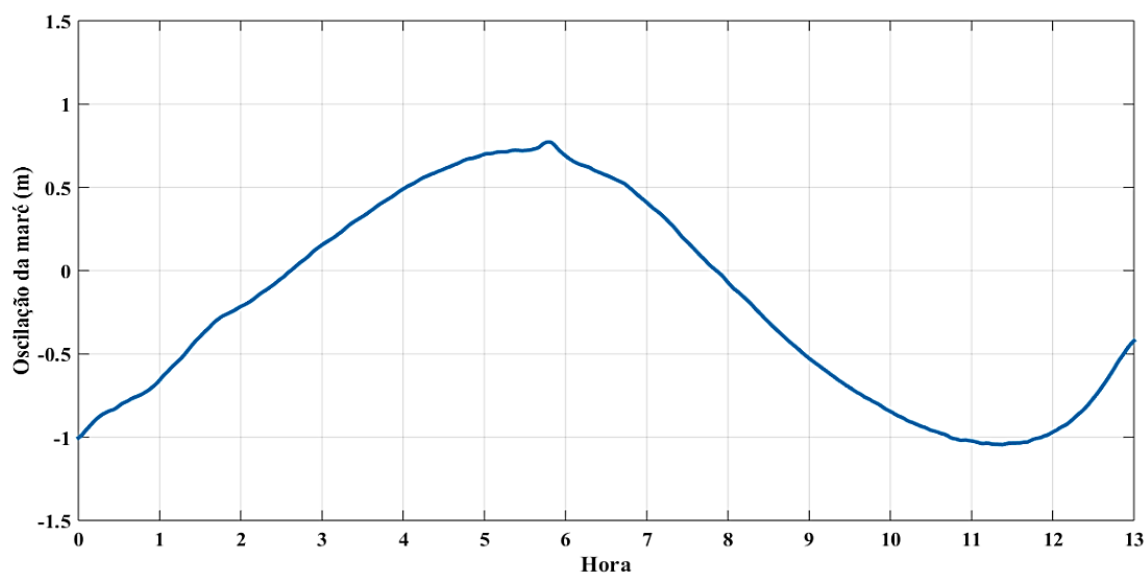


Figura 4-85: Oscilação da maré à montante do rio Paracauari, estação S2, período transicional em quadratura.

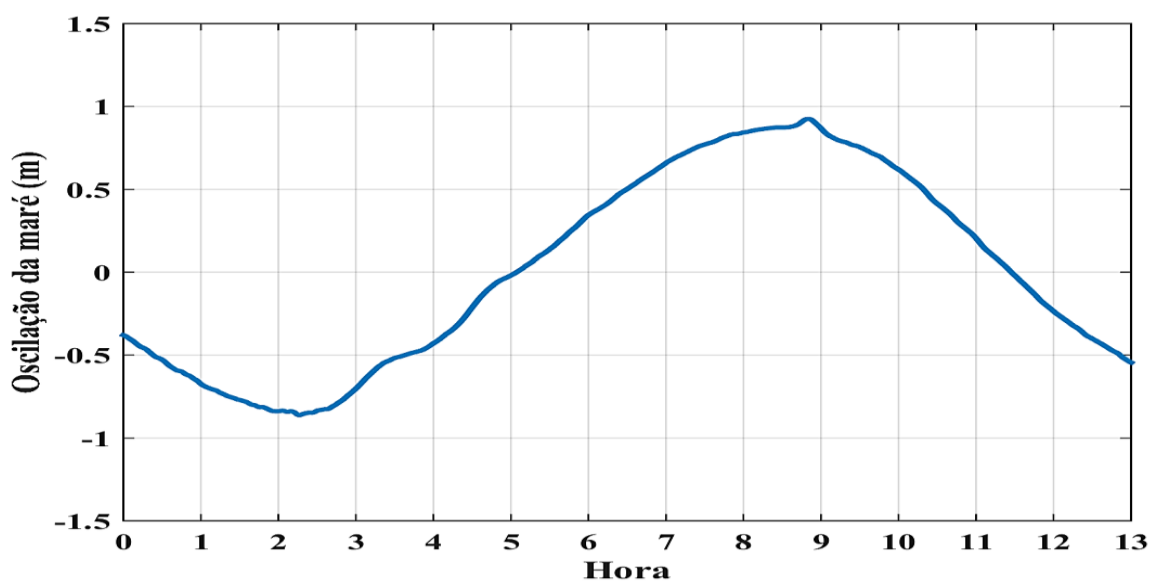


Figura 4-86: Oscilação da maré na foz do rio Paracauari, estação S1, período transicional em quadratura.

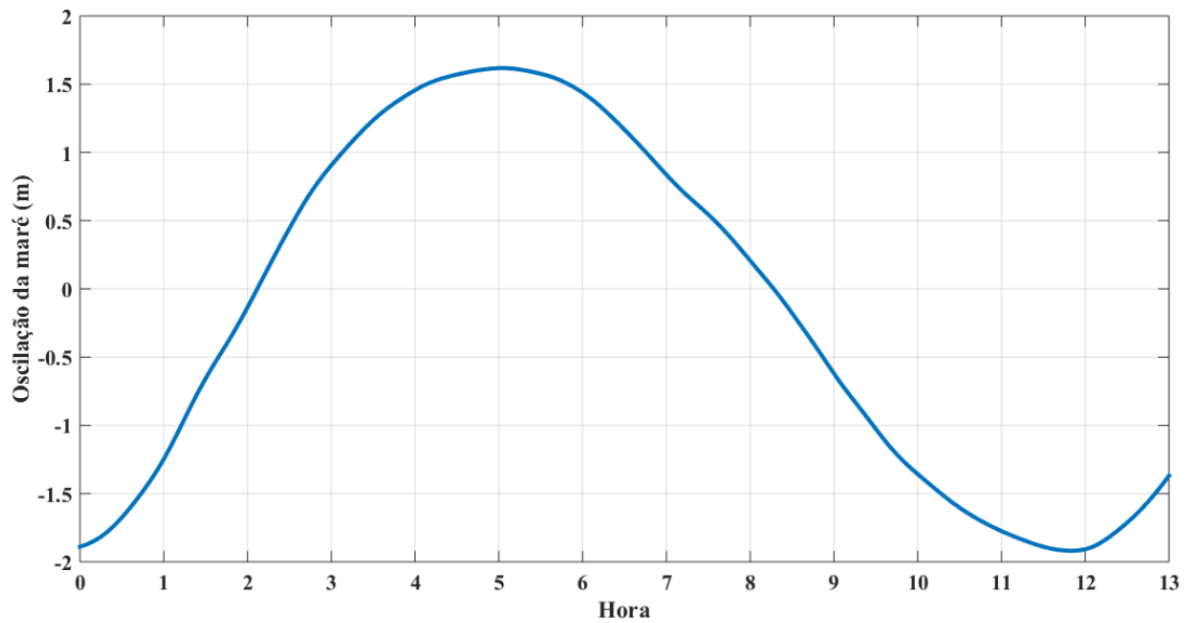


Figura 4-87: Oscilação da maré na foz do rio Paracauari, estação S1, período chuvoso em maré de sizígia.

As análises de maré realizadas para o canal de maré do Pesqueiro (estação S3) apontaram altura máxima de 3,8 m em sizígia, durante o período seco (Figura 4-88). Já no período chuvoso, a altura máxima foi de 4,3 m (Figura 4-89). Com o mesmo intervalo de tempo entre enchente (4 h) e vazante (7 h), a maré não registrou diferenças entre os períodos seco e chuvoso, ambos registrando assimetria positiva de maré.

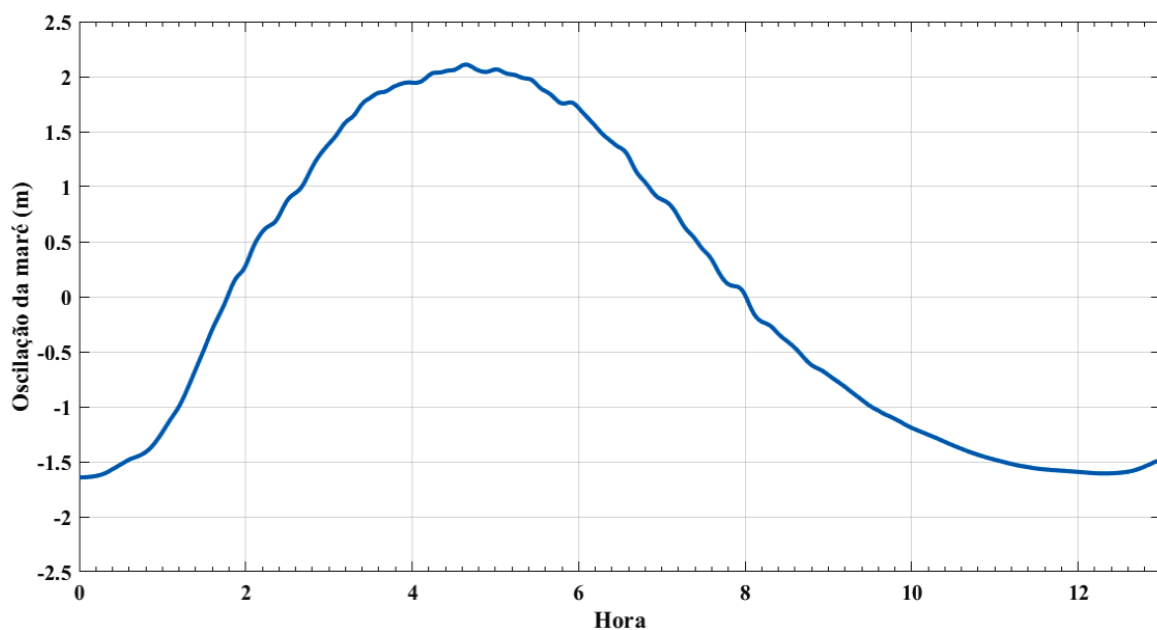


Figura 4-88: Oscilação da maré na foz do canal de maré do Pesqueiro, estação S3, período seco em maré de sizígia.



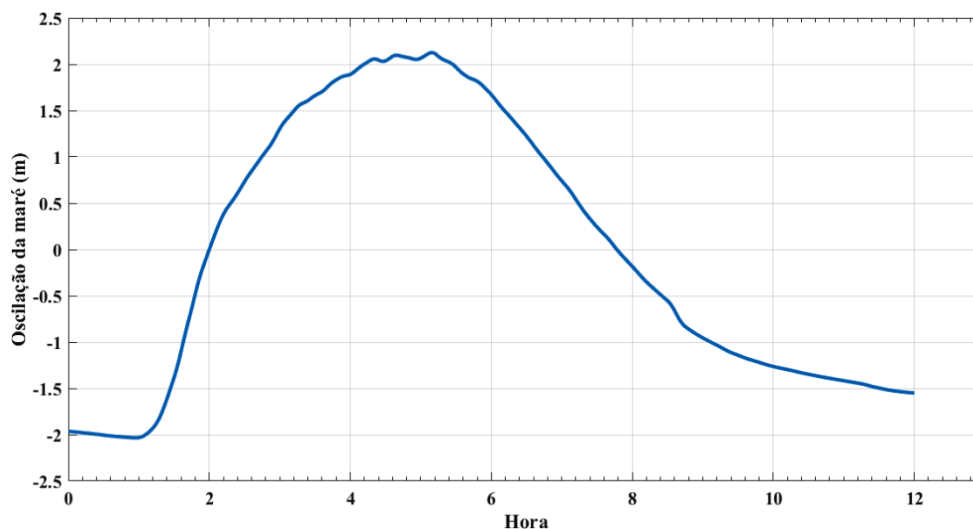


Figura 4-89: Oscilação da maré na foz do canal de maré do Pesqueiro, estação S3, período chuvoso em maré de sizígia.

Os perfis espaço-temporais da corrente em um ciclo de maré na foz do rio Paracauari (estação SP) são apresentados a seguir, onde os valores negativos são referentes à enchente e os positivos, à vazante.

No período transicional (Figura 4-90), as maiores velocidades são registradas em superfície em maré vazante ( $1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e próximos ao fundo, em maré enchente ( $1,37 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Houve moderadas variações de velocidade do perfil vertical neste período, isto possivelmente relacionado à intrusão salina no sistema, resultando em diferentes graus de viscosidade no fluido. A velocidade residual aponta diferenças significativas na intensidade de corrente de vazante e enchente, indicando dominância da componente fluvial em relação a de maré na configuração hidrodinâmica no período.

Verticalmente homogênea, a máxima velocidade registrada durante o período chuvoso (Figura 4-91) foi na maré vazante, com  $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Na enchente, foi de  $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Similar ao período transicional, o chuvoso, com a intensificação de correntes de vazante, registrou uma dominância da componente fluvial na configuração hidrodinâmica local.

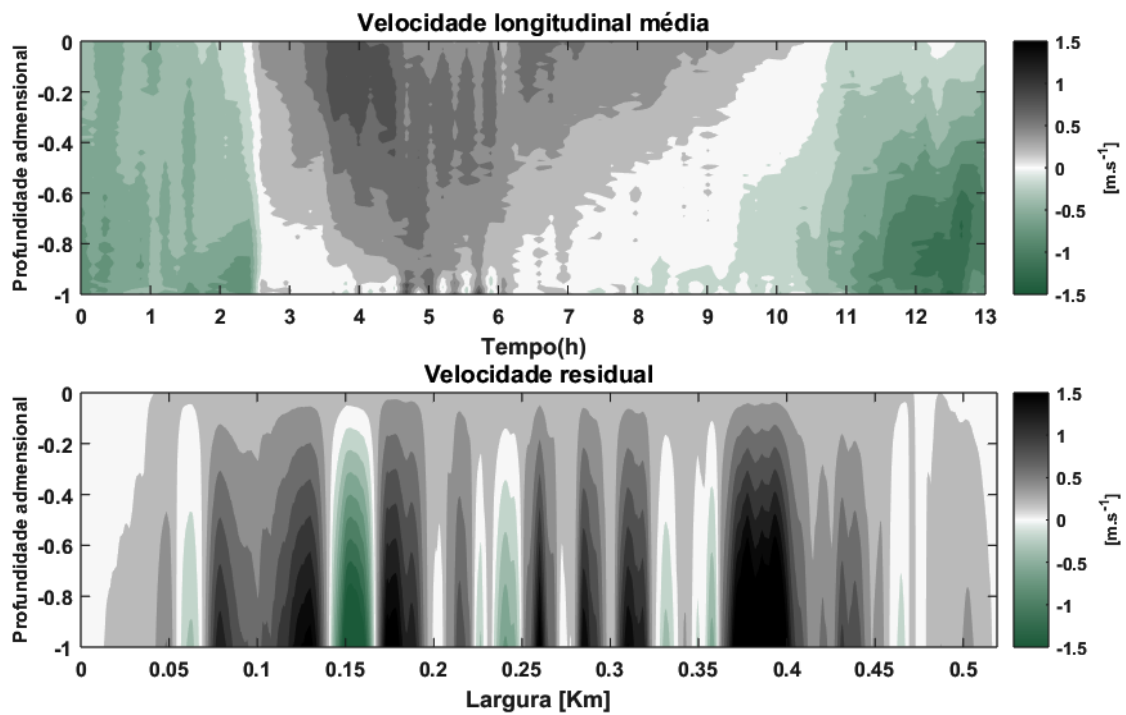


Figura 4-90: Variação espaço-temporal da velocidade média longitudinal (acima) e residual (abaixo) no rio Paracauari, estação SP, período transicional.

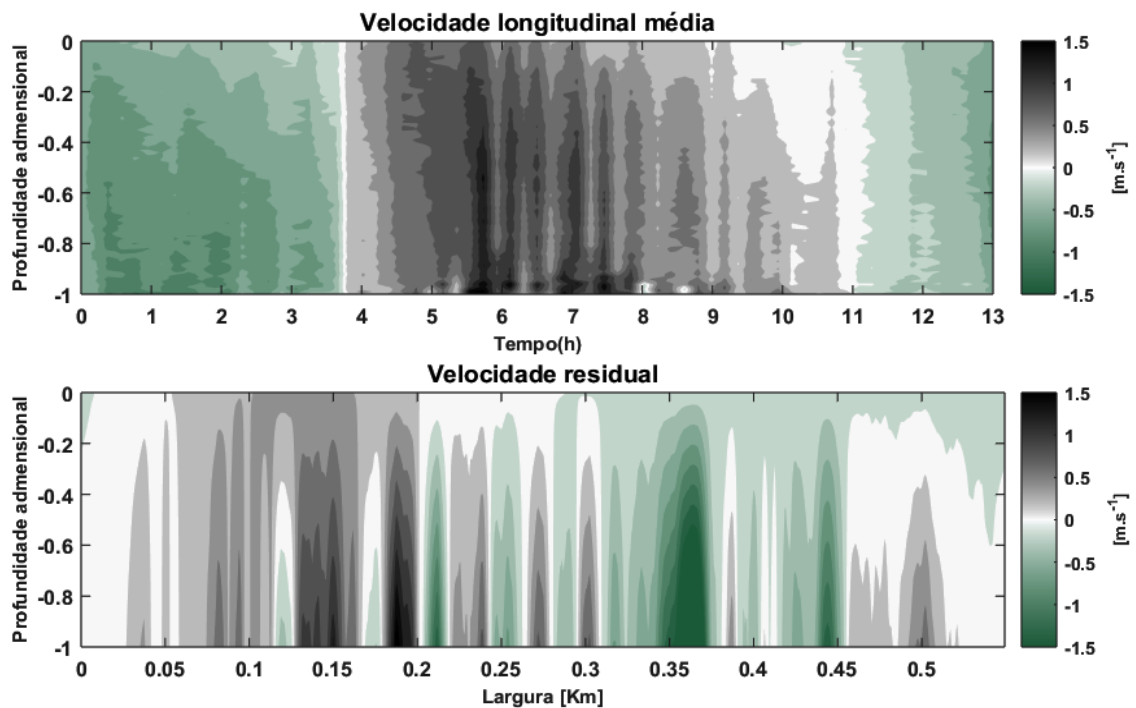


Figura 4-91: Variação espaço-temporal da velocidade média longitudinal (acima) e residual (abaixo) no rio Paracauari, estação SP, período chuvoso.

A variação temporal da velocidade e frequência de direção da corrente em um ciclo de maré no canal do Pesqueiro, para os períodos seco e chuvoso da região, são apresentadas nas Figura 4-92 e Figura 4-93, respectivamente.

Durante o período seco, as maiores velocidades foram registradas em maré vazante, com média de  $0,27 \text{ m.s}^{-1}$  e máxima de  $0,65 \text{ m.s}^{-1}$ . Na enchente, máxima de  $0,63 \text{ m.s}^{-1}$  e média de  $0,23 \text{ m.s}^{-1}$ . Com predominância de direção nordeste, não foram identificadas variações significativas da velocidade entre os estágios de maré neste período.

Para o período chuvoso, a média registrada foi de  $0,26 \text{ m.s}^{-1}$  e máxima de  $1,1 \text{ m.s}^{-1}$  na vazante. Na enchente, média de  $0,6 \text{ m.s}^{-1}$  e máxima de  $1 \text{ m.s}^{-1}$ . Diferente do que ocorre no seco, o período chuvoso apresentou a média de enchente duas vezes maior que a média da vazante e direção predominante de sudeste. Ainda, foi observado que, para ambos os estágios de maré, a velocidade de corrente é intensificada no período chuvoso (Tabela 4-33).

Tabela 4-33: Velocidade da corrente no canal de maré do Pesqueiro, nos diferentes estágios de maré.

Período	Valores	Enchente			Vazante		
		Máx	Média	Mínimo	Máx	Média	Mínimo
Seco	Velocidade ( $\text{m.s}^{-1}$ )	0,63	0,23	0	0,65	0,27	0
Chuvoso	Velocidade ( $\text{m.s}^{-1}$ )	1	0,6	0	1,1	0,26	0

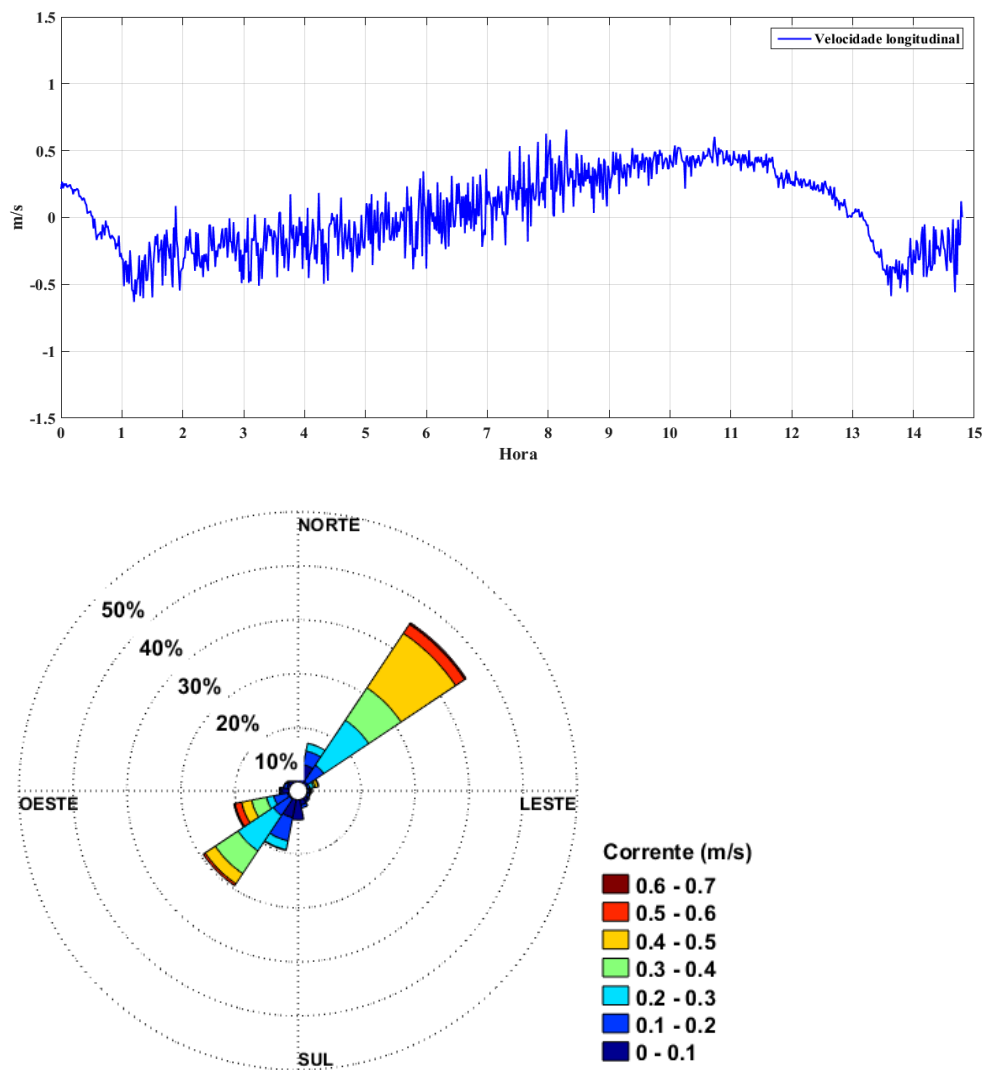


Figura 4-92: Variação temporal da velocidade (acima) e análise da frequência indicando a direção (abaixo) da corrente no canal de maré do Pesqueiro, estação S4, período seco em maré de sizígia.

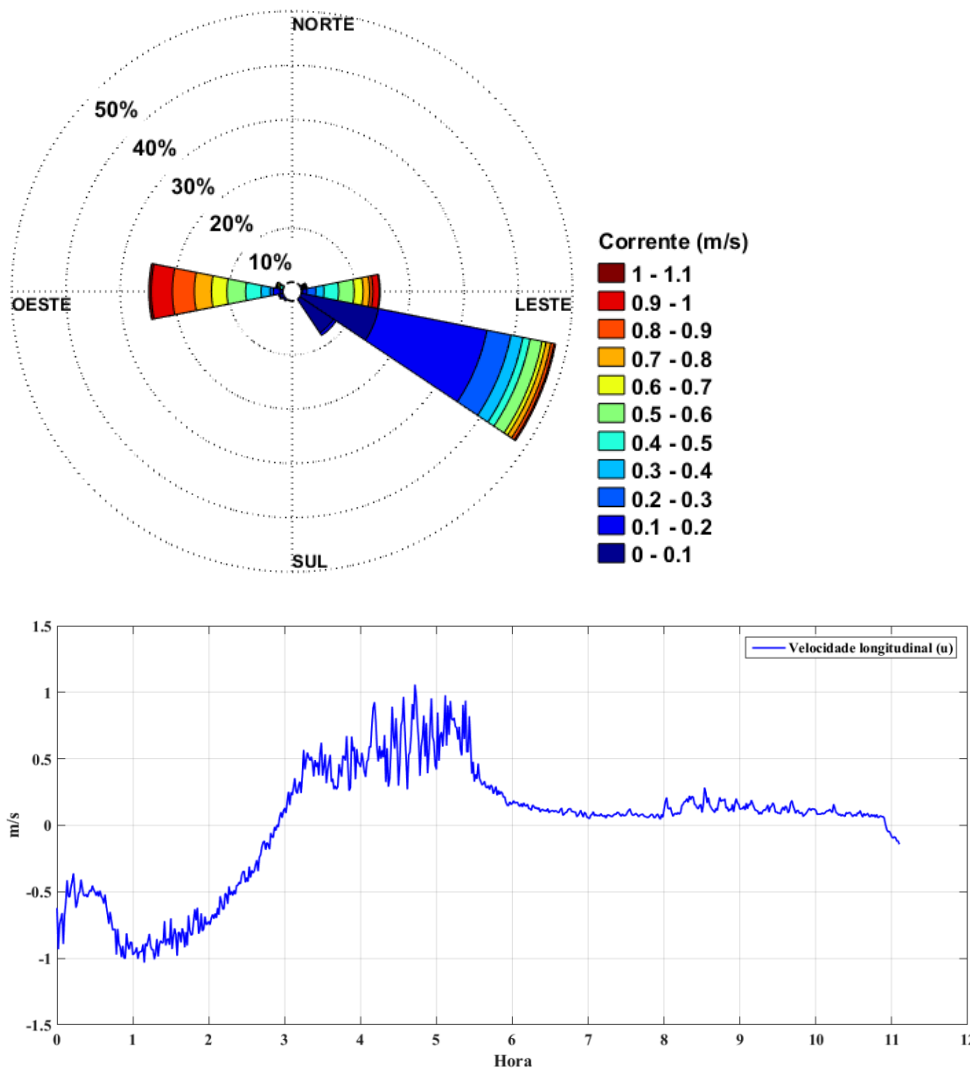


Figura 4-93: Variação temporal da velocidade (acima) e frequência de direção (abaixo) da corrente no canal de maré do Pesqueiro, estação S4, período chuvoso em maré de sizígia.

Em relação ao transporte de volume, o rio Paracauari apresentou, no período transicional, valores máximos de  $10857,23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e mínimos de  $59,62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  de exportação. Por outro lado, os valores de importação foram de  $-8255,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (máximo) e  $-31,49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (mínimo). A máxima velocidade de corrente registrada foi de  $1,37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Para o período chuvoso, o máximo e mínimo de exportação foi de  $17666,48 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $95,22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , respectivamente. Os valores de transporte instantâneo de importação máximo foi de  $-8474,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e mínimo de  $-662,35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Neste período, a velocidade máxima de corrente registrada foi de  $1,50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Com valores nulos observados na estufa de preamar e baixa-mar, os maiores valores de velocidade de corrente foram registrados em maré vazante (Tabela 4-34). O transporte de volume, bem como as velocidades de corrente em maré vazante, obteve números superiores no período chuvoso em relação ao transicional (Figura 4-94 e Figura 4-95). Isto está possivelmente relacionado à influência da sazonalidade sobre os regimes fluviais.

Tabela 4-34: Transporte médio do volume instantâneo e velocidade da corrente no rio Paracauari nos diferentes estágios de maré.

Período	Valores	Enchente			Vazante		
		Máx	Média	Mínimo	Máx	Média	Mínimo
Transicional	Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	1,37	0,45	0,01	1,10	0,38	0,01
	Transporte de Volume (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	-7811,48	-4643,8	-69,82	10529,46	5773,4	59,62
Chuvoso	Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	1,20	0,46	0,03	1,50	0,58	0,02
	Transporte de Volume (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	-8474,20	-5258,4	-662,4	17666,48	7236,2	95,02

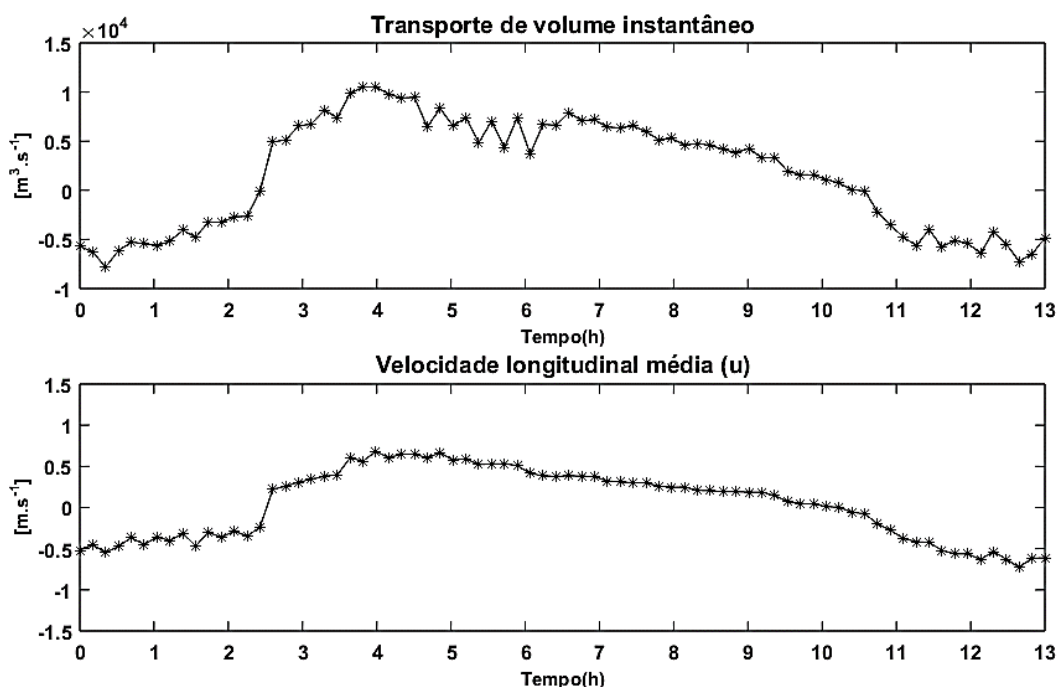


Figura 4-94: Transporte de volume instantâneo e velocidade longitudinal média ao longo de um ciclo de maré na estação SP, período transicional em maré de sizígia.

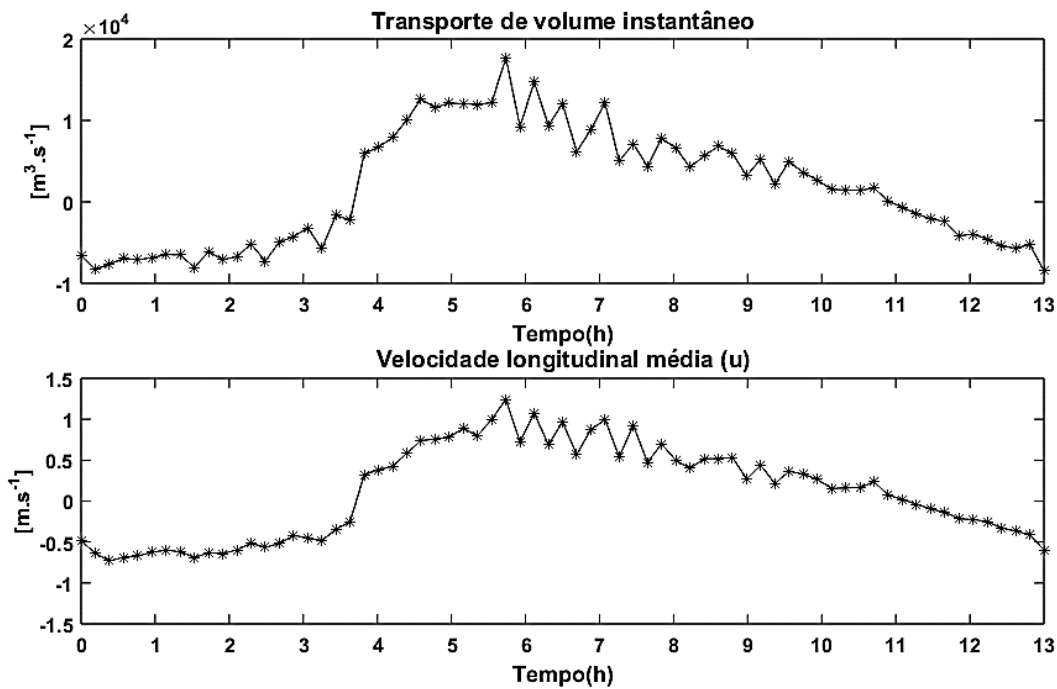


Figura 4-95: Transporte de volume instantâneo e velocidade longitudinal média ao longo de um ciclo de maré na estação SP, período chuvoso em maré de sizígia.

A análise do balanço de volume mostrou que, a soma das parcelas de fluxo que entram no sistema, no período transicional, foi de 139314,04 m<sup>3</sup>. A descarga fluvial, componente principal responsável pela exportação no sistema, foi de 265578,08 m<sup>3</sup>. Já no período chuvoso, o rio Paracauari importou 163010,41 m<sup>3</sup> e exportou 274977,28 m<sup>3</sup>. O transporte resultante apontou característica exportadora do rio, tanto no período transicional (1753,89 m<sup>3</sup>) quanto no chuvoso (1757,07 m<sup>3</sup>).

A salinidade no rio Paracauari registrou variação significativa entre os períodos sazonais. Variando de 2,5 g.kg<sup>-1</sup> a 9,5 g.kg<sup>-1</sup>, a média do período transicional foi de 5,6 g.kg<sup>-1</sup> e a coluna d'água verticalmente bem misturada. Por outro lado, não houve registro de sal ao longo de todo o período chuvoso, indicando uma dominância de água continental em função da descarga fluvial (Figura 4-96 e Figura 4-97).

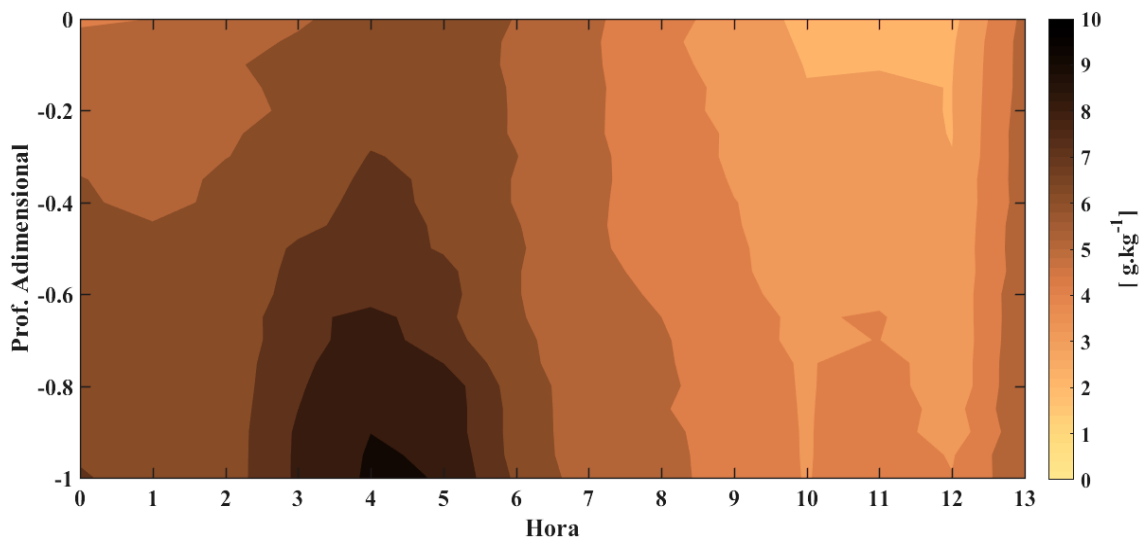


Figura 4-96: Variação espaço-temporal da salinidade no rio Paracauari, estação S1, período transicional.

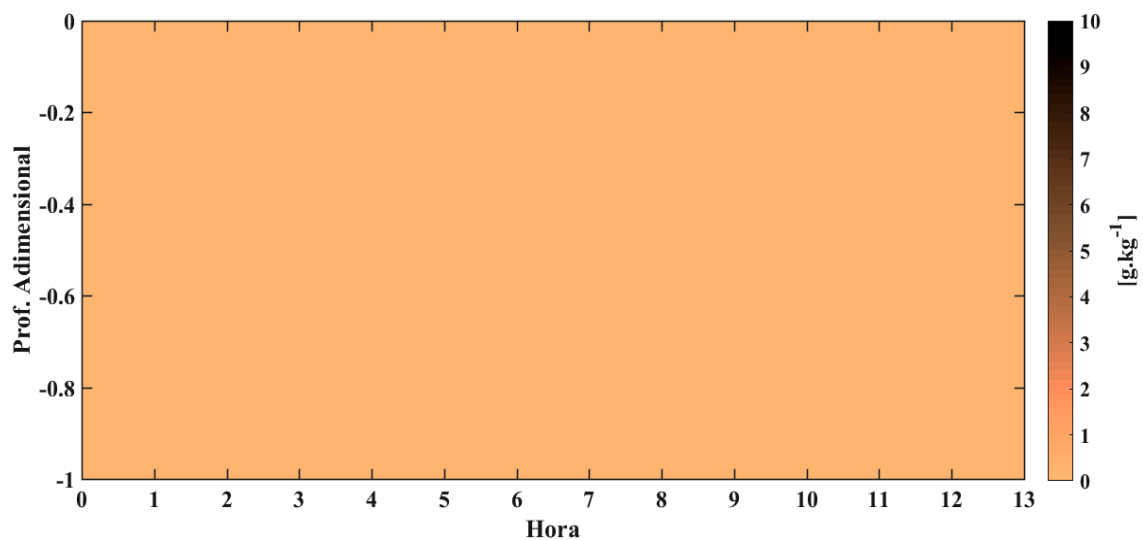


Figura 4-97: Variação espaço-temporal da salinidade no rio Paracauari, estação S1, período chuvoso.

A Figura 4-98 apresenta o aumento gradual da turbidez com a profundidade, onde o parâmetro registra as maiores concentrações, isto devido à proximidade com a área fonte de particulados, o substrato.

Os maiores valores foram registrados no período chuvoso, com a turbidez variando de 111 ppm a 342 ppm. Com valores inferiores, a turbidez no período transicional (Figura 4-98) variou de 11 ppm a 270 ppm. Os maiores valores no período chuvoso (Figura 4-99) se devem ao maior fluxo sedimentar carreados para o interior da bacia. Adicionalmente, há o aumento na área de inundação do próprio rio, disponibilizando novos sedimentos.



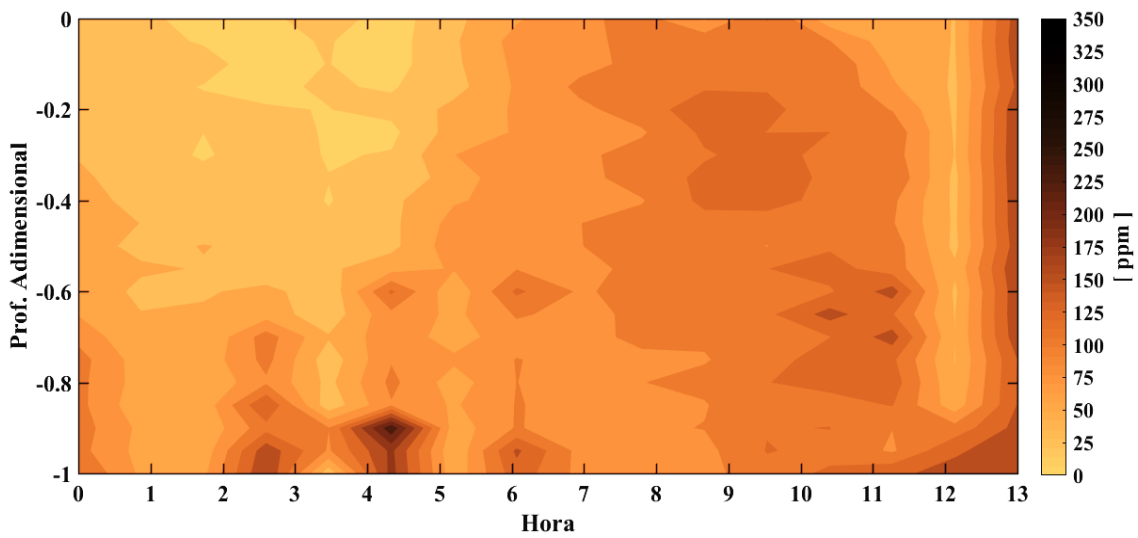


Figura 4-98: Variação espaço-temporal da turbidez no rio Paracauari, estação S1, período transicional.

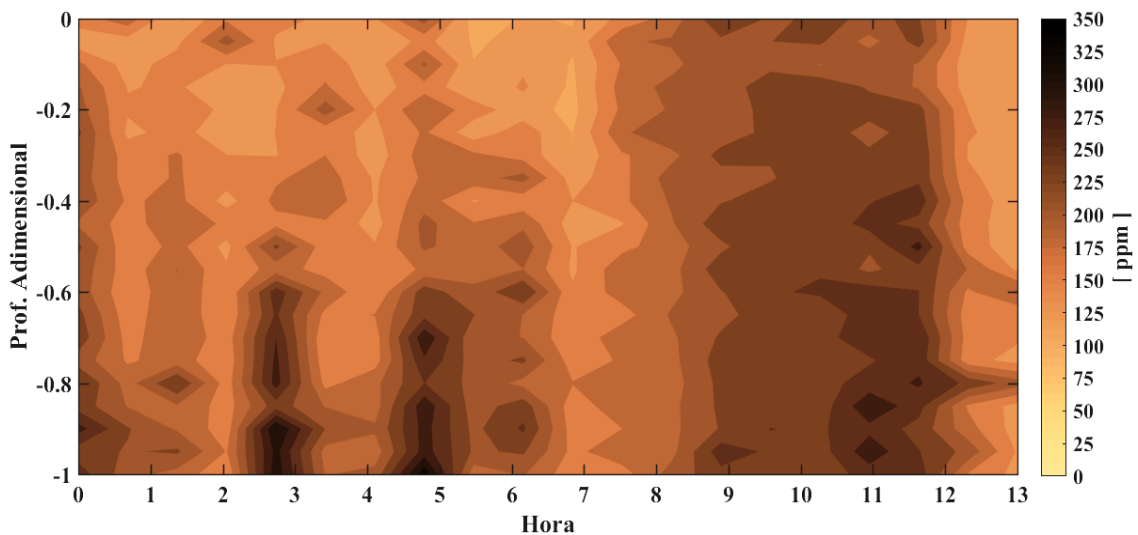


Figura 4-99: Variação espaço-temporal da turbidez no rio Paracauari, estação S1, período chuvoso.

O canal Pesqueiro também obteve os maiores valores no período chuvoso, como esperado. As Figura 4-100 e Figura 4-101 mostram a variação temporal da turbidez em um ciclo de maré, onde: no período seco, variou de 56,5 ppm a 670,5 ppm; e no chuvoso, de 185,5 ppm a 1844,2 ppm.

Os maiores valores foram registrados em condições de maré vazante e os menores durante a enchente, em ambos os períodos sazonais. Esse padrão pode ser relacionado ao aporte sedimentar oriundo dos manguezais que margeiam esse canal.

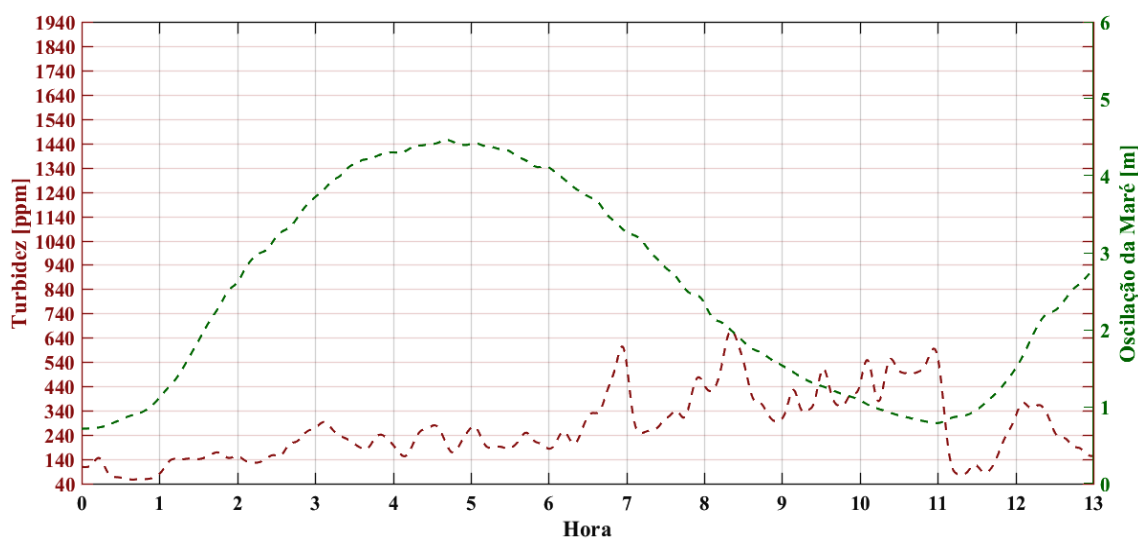


Figura 4-100: Variação temporal da turbidez no canal do Pesqueiro, estação S4, durante o período seco e maré de sizígia.

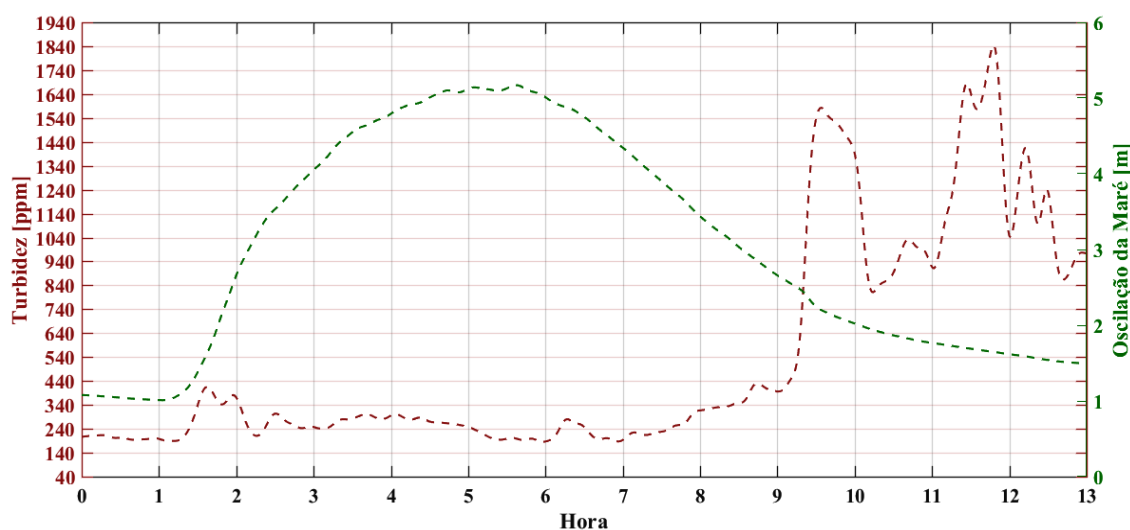


Figura 4-101: Variação temporal da turbidez no canal do Pesqueiro, estação S4, durante o período chuvoso em maré de sizígia.

#### 4.2.2.4. Sucuriju, AP

A carta batimétrica elaborada a partir dos perfis morfológicos apresenta as profundidades e feições do substrato ao longo do rio Sucuriju (Figura 4-102). Com muitas irregularidades verificadas nas seções transversais, a largura oscilou de 0,8 km próximo à foz a 0,1 km à montante.

Com profundidades variando entre 2 m e 4 m, a região próxima à foz foi o trecho do sistema estuarino que apresentou as maiores variabilidades de profundidade quando comparadas às demais. Além disso, foi verificado a presença de bancos lamosos e arenosos que são expostos em condições de baixa-mar, fato

que afeta diretamente na navegabilidade em diversas áreas do estuário, especialmente próximo à foz, impedindo a entrada e saída de embarcações de médio e grande porte no sistema.

As análises mostraram uma tendência do canal a se tornar mais profundo em direção à montante, com profundidades variando entre 2 m a 6 m, também com presença de bancos lamosos, contudo, em menor quantidade quando comparado as regiões próximas à foz.

A planície de inundação é estreita e as margens estão em constante processo erosivos, devido à hidrodinâmica local. No setor externo do rio, as margens caracterizam-se por solapamento.

Um importante fator verificado no rio Sucuriju é o fenômeno da Pororoca (*tidal bore*) que, ocasionado pela intensa hidrodinâmica associada a características morfológicas, é responsável em moldar as características geomorfológicas da região.

No geral, o rio é caracterizado por inúmeros lagos em sua nascente que são responsáveis pela vazão de água doce ao sistema, especialmente no período chuvoso. Isso, associados às oscilações de maré da ordem de 1 m (montante) à 10 m (regiões externas), resultam em características diferenciadas ao longo da extensão do rio, como profundidades e irregularidades do substrato.

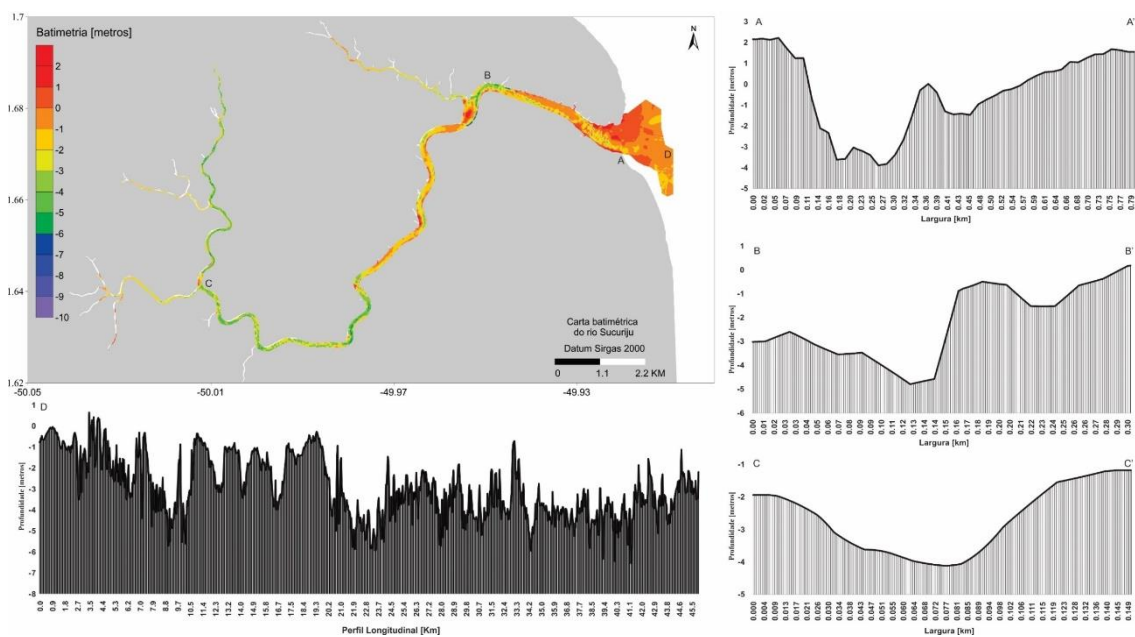


Figura 4-102: Carta batimétrica do rio Sucuriju e os perfis transversais da foz (A), porção intermediária (B), porção mais interna do estuário (C) e o perfil batimétrico longitudinal (D).

Os resultados obtidos através da análise das oscilações de maré em três pontos de medições são expostos na Figura 4-103. A região externa ao rio (S7) registrou as maiores oscilações de altura de maré, com valores de aproximadamente 10 m. Próximo à foz (S1), as alterações foram inferiores, com cerca de 5 m de amplitude. Neste ponto foi identificado a ocorrência de um processo, denominado por SPEER e AUBREY (1985) como *truncation*, que consiste na interação da onda de maré com a morfologia do rio, resultando na não oscilação do nível d'água mesmo em condições de baixa-mar (Figura 4-103-B).

À montante (S5), as oscilações de maré apresentaram padrões diferenciados. Em um momento, foi possível observar que toda a parte inferior da curva de maré apresenta uma estrutura similar ao processo de *truncation*, contudo, com algumas diferenças em relação à estrutura, como a alteração e redução da oscilação da maré ao longo do tempo. Posteriormente, foi observado que as variações nas menores alturas de maré não estão em fase com as variações registradas nas maiores alturas em um mesmo intervalo de tempo. Isso indica que pode haver movimentos diferentes em escalas diferentes atuando simultaneamente.

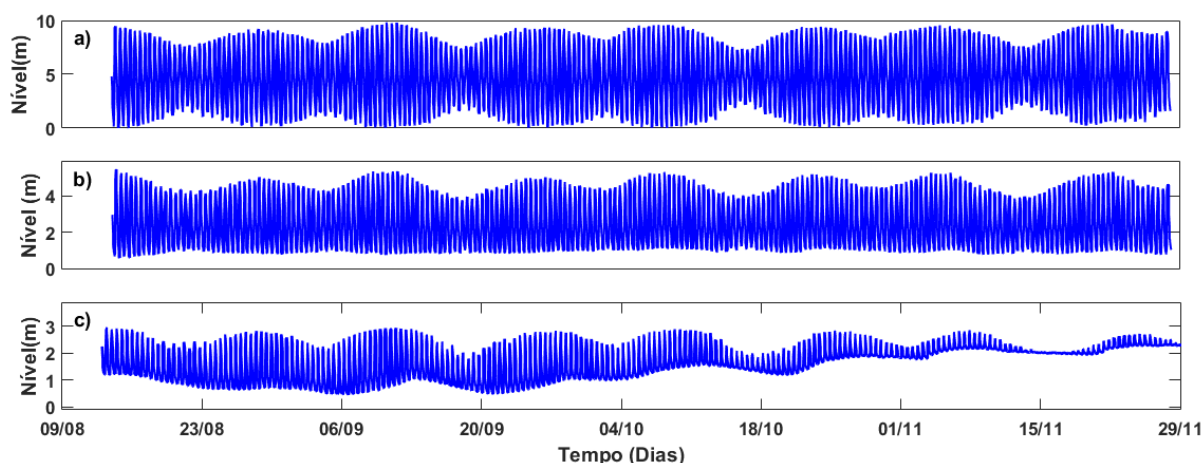


Figura 4-103: Oscilações da maré no rio Sucuriçu: a) S7 – região externa; b) S1 – próximo à foz; e c) S5 – montante.

A análise harmônica da maré apontou as componentes semidiurnas,  $M_2$  e  $S_2$ , como as mais significativas, tendo as constantes quartodiurnas e sextodiurnas com as maiores amplitudes observadas dos harmônicos de águas rasas (Figura 4-104).

Com exceção das componentes MM e MSF que registraram aumento, foi observado uma redução na amplitude de todas as harmônicas ao longo da propagação da maré entre os pontos S7 e S5.

As variações registradas no S5 podem estar relacionadas a outros movimentos que se apresentam na forma de harmônicos de longo período, uma vez que estes são relacionados a variações que ultrapassam o intervalo de horas, dias e semanas.

As Tabelas 4-35, Tabela 4-36 e Tabela 4-37 apresentam as constantes harmônicas identificadas para cada ponto amostral. É importante ressaltar que frequência, amplitude e fase oscilam de um ponto amostral para outro, por se tratar de grandezas variáveis no tempo e espaço.

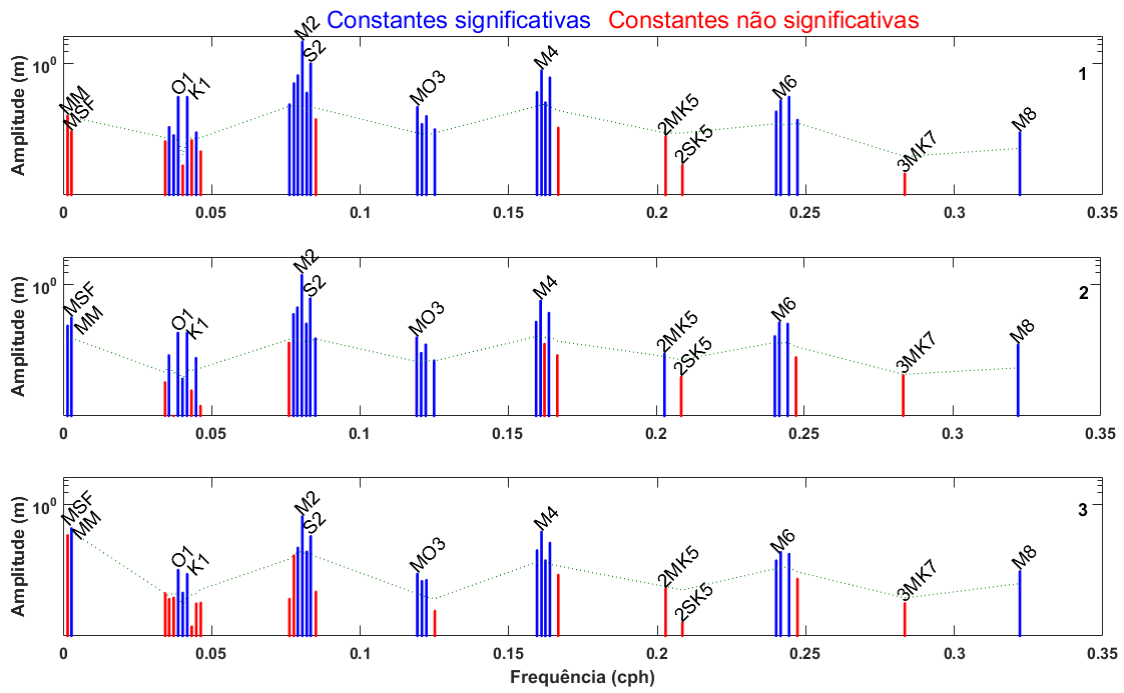


Figura 4-104: Análise das componentes harmônicas da maré do rio Sucuriçu: 1) S7 – região externa; 2) S1 – próximo à foz; e 3) S5 – montante.

Tabela 4-35: Constantes harmônicas identificadas no ponto amostral 1 (S7), região externa do rio Sucuriju. Fase referente ao horário local.

Constantes	S7			
	Período (h)	Frequência (cph)	Amplitude (m)	Fase (°)
MM	661,29	0,0015122	0,0492	120,02
MSF	354,37	0,0028219	0,0196	224,57
ALP1	29,07	0,0343966	0,0111	303,72
*2Q1	28,01	0,0357064	0,0253	227,34
Q1	26,87	0,0372185	0,0158	198,28
*O1	25,82	0,0387307	0,1463	216,47
NO1	24,83	0,0402686	0,0027	207,01
*K1	23,93	0,0417807	0,145	253,1
J1	23,1	0,0432929	0,0119	321,2
OO1	22,31	0,0448308	0,0186	29,84
UPS1	21,58	0,046343	0,0062	195,48
EPS2	13,13	0,0761773	0,0951	354,12
*MU2	12,87	0,0776895	0,3195	6,89
*N2	12,66	0,0789992	0,5101	207,33
*M2	12,42	0,0805114	3,6015	234,5
*L2	12,19	0,0820236	0,1857	273,82
*S2	12	0,0833333	1,0165	268,6
ETA2	11,76	0,0850736	0,0398	152,71
*MO3	8,39	0,1192421	0,0811	14,3
*M3	8,28	0,1207671	0,0304	1,08
*MK3	8,18	0,1222921	0,0479	45,13
SK3	7,99	0,1251141	0,0223	122,16
*MN4	6,27	0,1595106	0,1918	8,91
*M4	6,21	0,1610228	0,6758	34,07
SN4	6,16	0,1623326	0,1058	97,31
*MS4	6,1	0,1638447	0,4444	70,17
S4	6	0,1666667	0,0245	114,65
2MK5	4,93	0,2028035	0,0144	182,41
2SK5	4,8	0,2084474	0,0028	113,08
*2MN6	4,17	0,2400221	0,0621	150,64
*M6	4,14	0,2415342	0,1191	177,32
*2MS6	4,09	0,2443561	0,1467	206
2SM6	4,05	0,2471781	0,0384	240,62
3MK7	3,53	0,2833149	0,0017	268,18
*M8	3,11	0,3220456	0,0187	303,85

\*Acima do nível de significância (>95%)

Tabela 4-36: Constantes harmônicas identificadas no ponto amostral 2 (S1) região próximo à foz do rio Sucuriju. Fase referente ao horário local.

Constantes	S1			
	Período (h)	Frequência (cph)	Amplitude (m)	Fase (°)
*MM	661,29	0,0015122	0,0926	12,78
*MSF	354,37	0,0028219	0,1484	14,15
ALP1	29,07	0,0343966	0,0035	278,58
*2Q1	28,01	0,0357064	0,0167	269,07
Q1	26,87	0,0372185	0,0001	294,79
*O1	25,82	0,0387307	0,0614	244,51
NO1	24,83	0,0402686	0,0043	108,68
*K1	23,93	0,0417807	0,0611	273,55
J1	23,1	0,0432929	0,0022	27,25
*OO1	22,31	0,0448308	0,0143	83,82
UPS1	21,58	0,046343	0,0009	265,46
EPS2	13,13	0,0761773	0,0346	27,8
*MU2	12,87	0,0776895	0,1821	57,63
*N2	12,66	0,0789992	0,2689	203,91
*M2	12,42	0,0805114	1,7402	246,77
*L2	12,19	0,0820236	0,1047	303,92
*S2	12	0,0833333	0,4503	263,04
ETA2	11,76	0,0850736	0,0446	190,05
*MO3	8,39	0,1192421	0,0469	67,89
*M3	8,28	0,1207671	0,0192	352,48
*MK3	8,18	0,1222921	0,0311	108,8
SK3	7,99	0,1251141	0,0124	185,06
*MN4	6,27	0,1595106	0,1159	59,31
*M4	6,21	0,1610228	0,392	92,16
SN4	6,16	0,1623326	0,0325	174,25
*MS4	6,1	0,1638447	0,1948	111,96
S4	6	0,1666667	0,0168	96,76
2MK5	4,93	0,2028035	0,0182	257,51
2SK5	4,8	0,2084474	0,0048	141,99
*2MN6	4,17	0,2400221	0,0508	196,79
*M6	4,14	0,2415342	0,1123	242,27
*2MS6	4,09	0,2443561	0,1042	258,16
2SM6	4,05	0,2471781	0,015	248,85
3MK7	3,53	0,2833149	0,0053	61,81
*M8	3,11	0,3220456	0,0312	48,1

\*Acima do nível de significância (>95%)

Tabela 4-37: Constantes harmônicas identificadas no ponto amostral 3 (S5), à montante do rio Sucuriçu. Fase referente ao horário local.

Constantes	S5			
	Período (h)	Frequência (cph)	Amplitude (m)	Fase (°)
MM	661,29	0,0015122	0,1713	55,66
MSF	354,37	0,0028219	0,2537	42,57
ALP1	29,07	0,0343966	0,0059	288,44
2Q1	28,01	0,0357064	0,0042	321,14
Q1	26,87	0,0372185	0,0046	30,69
*O1	25,82	0,0387307	0,023	273,46
*NO1	24,83	0,0402686	0,0061	191,38
*K1	23,93	0,0417807	0,018	321,89
J1	23,1	0,0432929	0,0009	5,71
OO1	22,31	0,0448308	0,0032	82,99
UPS1	21,58	0,046343	0,0034	185,96
EPS2	13,13	0,0761773	0,0042	29,35
MU2	12,87	0,0776895	0,053	39,57
N2	12,66	0,0789992	0,0823	252,11
*M2	12,42	0,0805	0,507	276,22
L2	12,19	0,0820236	0,0657	8,19
*S2	12	0,0833	0,1618	284,82
ETA2	11,76	0,0850736	0,0065	259,04
*MO3	8,39	0,1192421	0,0182	144,88
*M3	8,28	0,1207671	0,012	76,54
*MK3	8,18	0,1222921	0,0127	176,55
SK3	7,99	0,1251141	0,0021	234,93
*MN4	6,27	0,1595106	0,0711	132,53
*M4	6,21	0,1610228	0,2091	169,91
SN4	6,16	0,1623326	0,0397	270,28
*MS4	6,1	0,1638447	0,1098	181,86
S4	6	0,1666667	0,0171	152,06
2MK5	4,93	0,2028035	0,0078	39,44
2SK5	4,8	0,2084474	0,0011	290,59
*2MN6	4,17	0,2400221	0,0394	349,67
*M6	4,14	0,2415342	0,0646	42,84
*2MS6	4,09	0,2443561	0,0578	57,51
2SM6	4,05	0,2471781	0,0136	19,16
3MK7	3,53	0,2833149	0,0033	252,6
*M8	3,11	0,3220456	0,0211	253,56

\*Acima do nível de significância (>95%)



Todos os pontos amostrais apresentaram a maré com caráter semidiurno, com número de forma variando entre 0,0559 a 0,0631. De forma geral, todas as razões de distorção de maré registraram aumento do ponto mais externo ao mais interno. No S7, a razão  $M_4/M_2$  foi de 18,75%. No S1 e S5 foi de 22,53% e 41,24%, respectivamente. Logo, a  $M_2$  apresentou uma distorção de 18% (S7), 22% (S1) e 41% (S5) em relação à  $M_4$ . As razões  $M_6/M_2$  e  $M_8/M_2$  também registraram aumento em direção aos pontos mais internos do estuário (Tabela 4-38).

Os valores de distorção auxiliam no entendimento da dinâmica da maré em estuários, de forma que a distorção de 41% da  $M_4/M_2$  observada no S5 signifique que quase metade da principal componente harmônica semidiurna ( $M_2$ ) é distorcida (ver Figura 4-103).

Tabela 4-38: Número de forma, razões de distorção e análise de assimetria para os pontos amostrais do rio Sucuriçu.

	S7	S1	S5
Número de Forma	0,0631	0,0559	0,0613
$aM_4/aM_2$	0,1876	0,2253	0,4124
$aM_6/aM_2$	0,0331	0,0645	0,1274
$aM_8/aM_2$	0,0052	0,0179	0,0417
$2\theta_{M_2}-\theta_{M_4}$ (°)	74,94	41,37	22,52

A análise de assimetria indicou a dominância de maré enchente, com intensidades de corrente maiores no intervalo de subida da maré, logo, o tempo de enchente é inferior ou de vazante. No S7, o valor de assimetria foi de 74,94°; 41,37° e 22,52° no S1 e S5, respectivamente.

Considerando que quanto mais próximo de 90°, maior é a dominância de enchente no sistema, os resultados encontrados em S5 indicam a predominância de enchente na região externa do rio, seguida por uma redução nas demais áreas amostrais.

Os perfis verticais de velocidade de corrente  $u(z, t)$  no rio Sucuriçu, para o período seco, é apresentado na Figura 4-105 e Figura 4-106. Os resultados indicam que, no ponto próximo à foz, as correntes tendem a ser mais intensas, atingindo valores superiores à  $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  em condições de maré de sizígia e  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  em maré de quadratura (Figura 4-105).

À montante, os vetores de velocidade registraram oscilações menores, especialmente em função da superioridade de intensidade das correntes de vazante em relação à enchente, atingindo valores superiores a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , constatando duas das principais forçantes hidrodinâmicas no rio: vazão e a maré (Figura 4-106).

Devido ao alto dinamismo e instabilidade do ambiente, o equipamento encontrou algumas limitações operacionais, resultando em intervalos de tempo incompletos de coleta de dados, totalizando cerca de 7,5 h, considerando marés de sizígia e quadratura, de 26h de amostragem previstas inicialmente. É importante ressaltar que a maior parte da ausência de dados coincide com o início da maré enchente, mesmo intervalo em que o fenômeno da Pororoca ocorre. Como tal evento é responsável por transportar uma quantidade significativa de energia para o interior do sistema estuarino (misturas verticais e horizontais, carreamento de material particulado e dissolvido etc.), é possível associar as limitações do equipamento ao fenômeno, fazendo com que não seja recomendável uma abordagem comparativa entre os períodos sazonais.

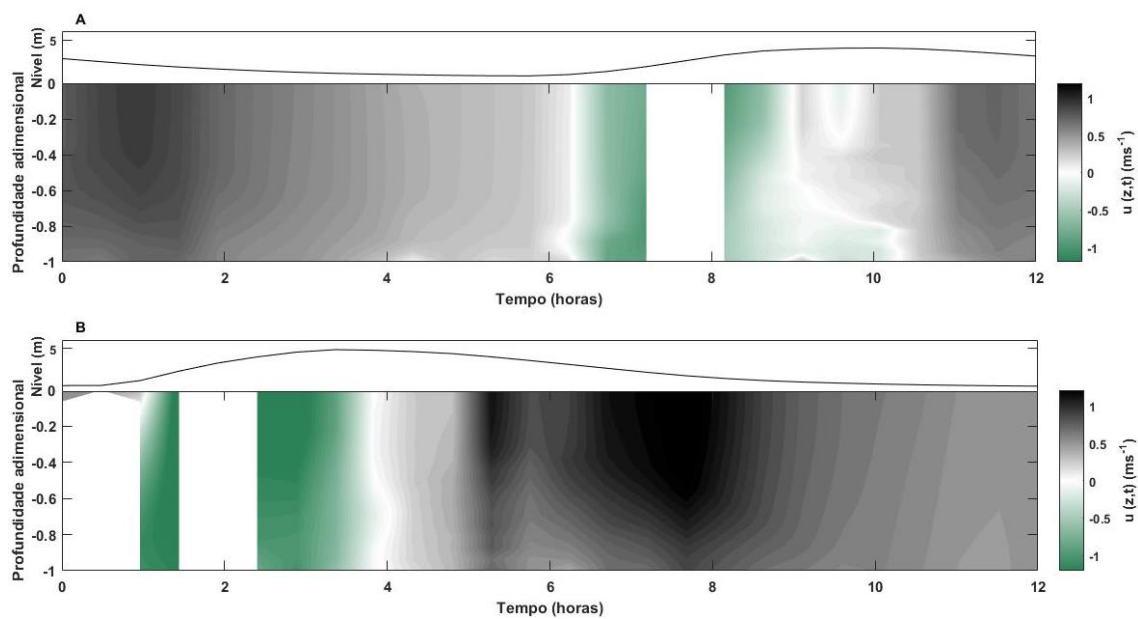


Figura 4-105: Nível e perfis verticais da velocidade no ponto de coleta próximo à foz do rio Sucuriçu, período seco, em maré de quadratura (A) e de sizígia (B).

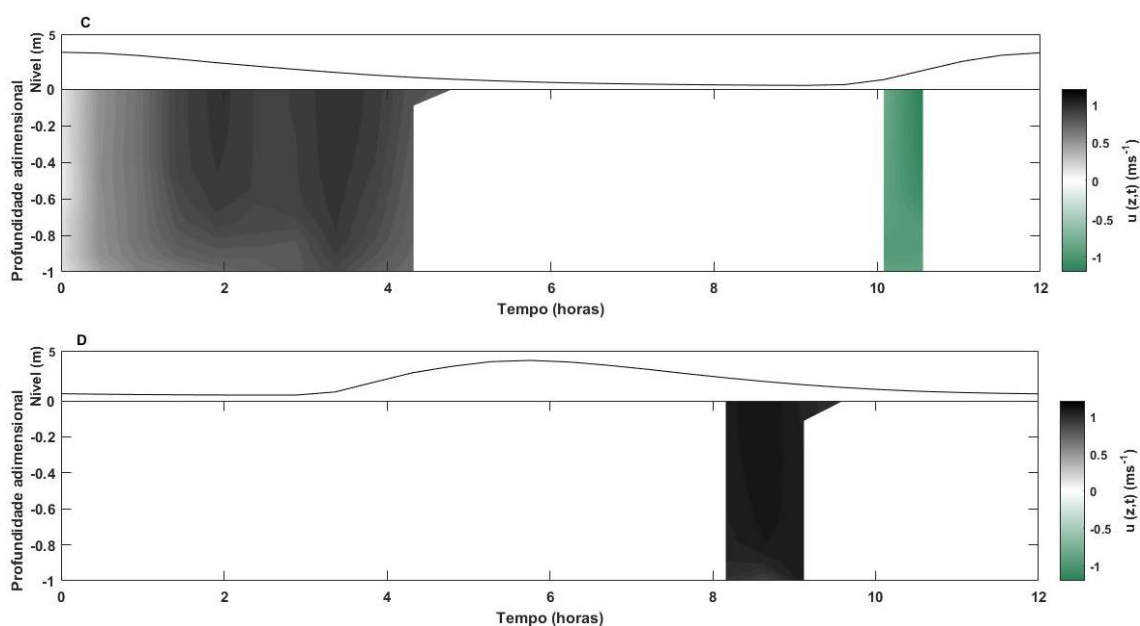


Figura 4-106: Nível e perfis verticais da velocidade no ponto de coleta à montante do rio Sucuriçu, período seco, em maré de quadratura (C) e de sizígia (D).

No período chuvoso, os registros apontaram para correntes de enchente menos intensas em relação às de vazante. Na região próxima à foz, os valores de correntes oscilaram entre  $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $-0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  durante a quadratura e  $-1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a  $1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , durante a sizígia (Figura 4-107).

As medições à montante registraram velocidades que variaram de  $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  durante a quadratura e  $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a  $-0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , na sizígia (Figura 4-108). Neste ponto foram verificadas inversões mínimas de corrente, onde, em marés de sizígia, o fluxo da maior parcela de fluido é maior para fora e dentro do sistema, possibilitando a ocorrência de correntes mais intensas e ocorrência da Pororoca.

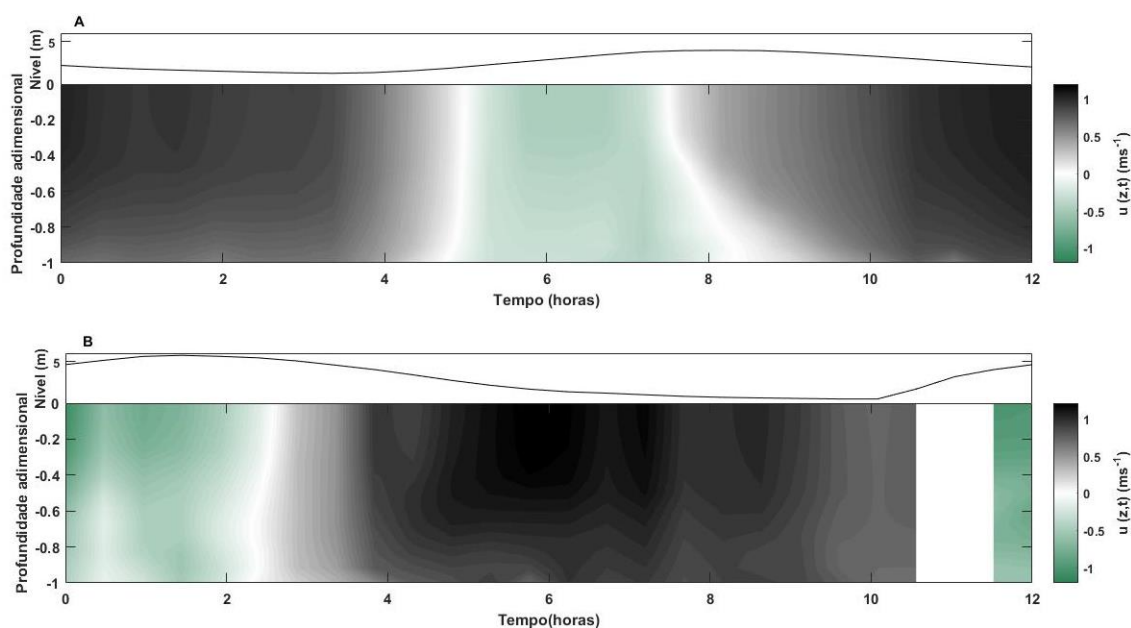


Figura 4-107: Nível e perfis verticais da velocidade no ponto de coleta próximo à foz do rio Sucuriçu, período chuvoso, em maré de quadratura (A) e de sizígia (B).

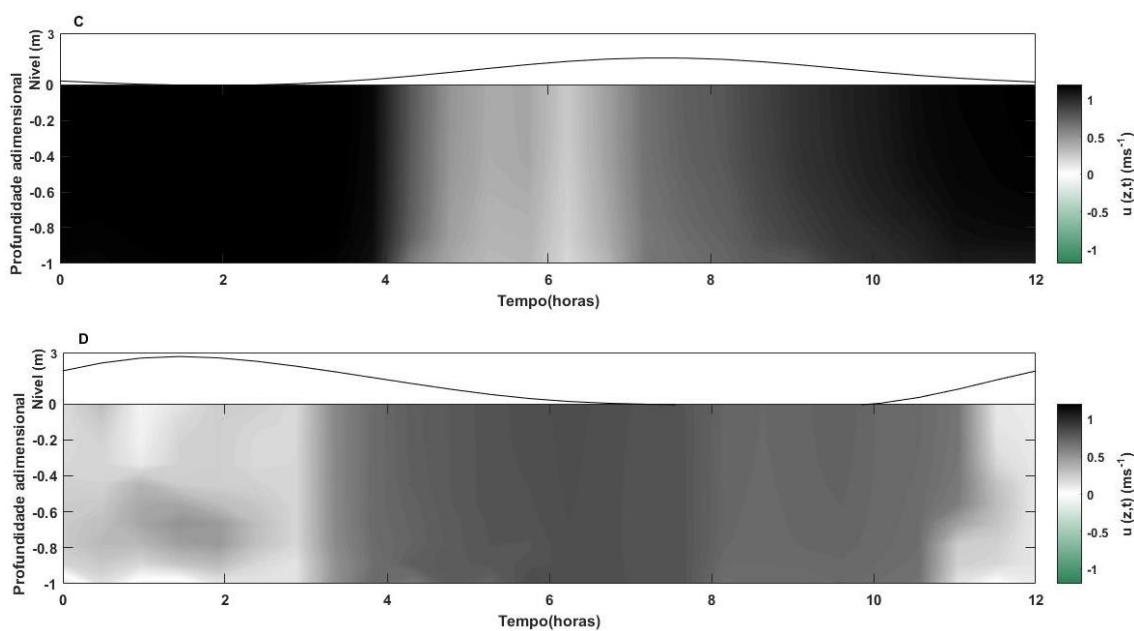


Figura 4-108: Nível e perfis verticais da velocidade no ponto de coleta à montante do rio Sucuriçu, período chuvoso, em maré de quadratura (C) e de sizígia (D).

A foz do rio Sucuriçu foi a região que registrou os maiores valores de turbidez e salinidade, durante o período chuvoso analisado. Vale ressaltar que as coletas foram limitadas à superfície, devido as dimensões reduzidas do sistema estuarino.

Em maré de sizígia, a turbidez registrou valores máximos de 1000 NTU e mínimos de 150 NTU na foz. Em quadratura, o máximo foi de 82 NTU e o mínimo, de 21 NTU. Com distribuição similar na foz, a salinidade

variou de  $11 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $0,06 \text{ g.kg}^{-1}$  em maré de sizígia e de  $1,10 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $0,3 \text{ g.kg}^{-1}$  em quadratura (Figura 4-109 e Figura 4-110).

As análises realizadas à montante (Figura 4-111 e Figura 4-112) registrou valores de turbidez variando de 400 NTU a 180 NTU em condições sizígia. Os valores verificados em maré de quadratura apresentaram diminuição significativa quando comparados à sizígia, com variação de 65 NTU a 0,4 NTU em superfície.

A salinidade registrou variações mínimas na estação de coleta à montante: em sizígia, o máximo verificado foi de  $0,4 \text{ g.kg}^{-1}$  e o mínimo de  $0,2 \text{ g.kg}^{-1}$ . Já em maré de quadratura, não foram observadas variações, com salinidade constante de  $0,3 \text{ g.kg}^{-1}$  durante todo ciclo de maré.

As análises mostram que as variações das propriedades estão em fase com as oscilações da maré, onde, com exceção da salinidade em quadratura à montante, todos os valores máximos encontrados coincidem com a altura máxima de maré.

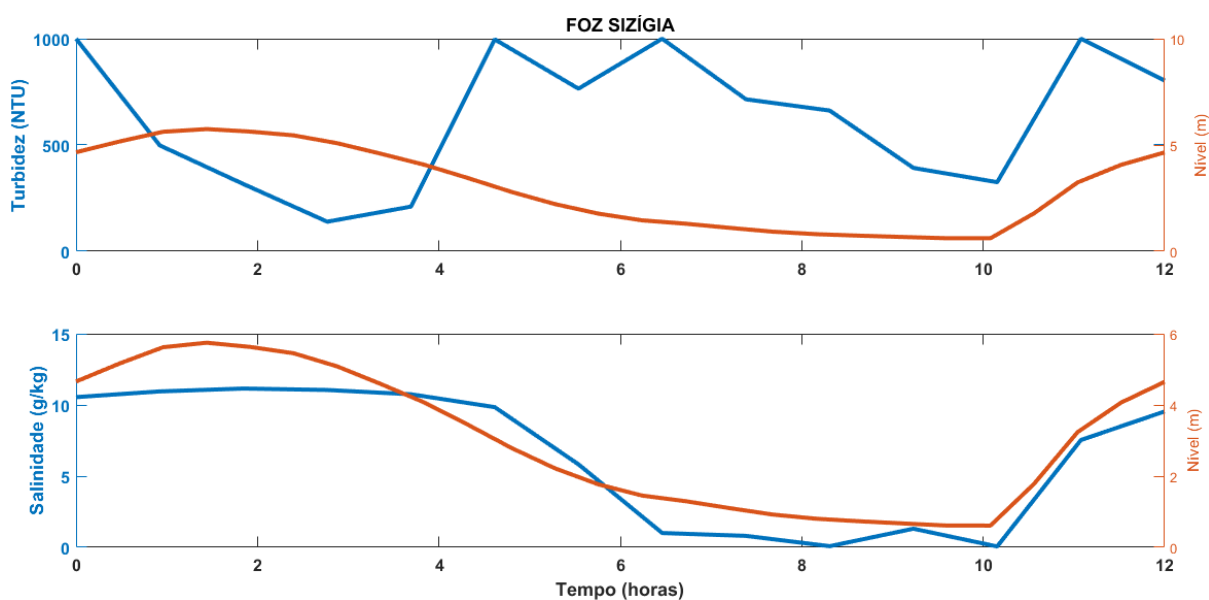


Figura 4-109: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré na foz do rio Sucuriçu, durante o período chuvoso, em condições de sizígia.

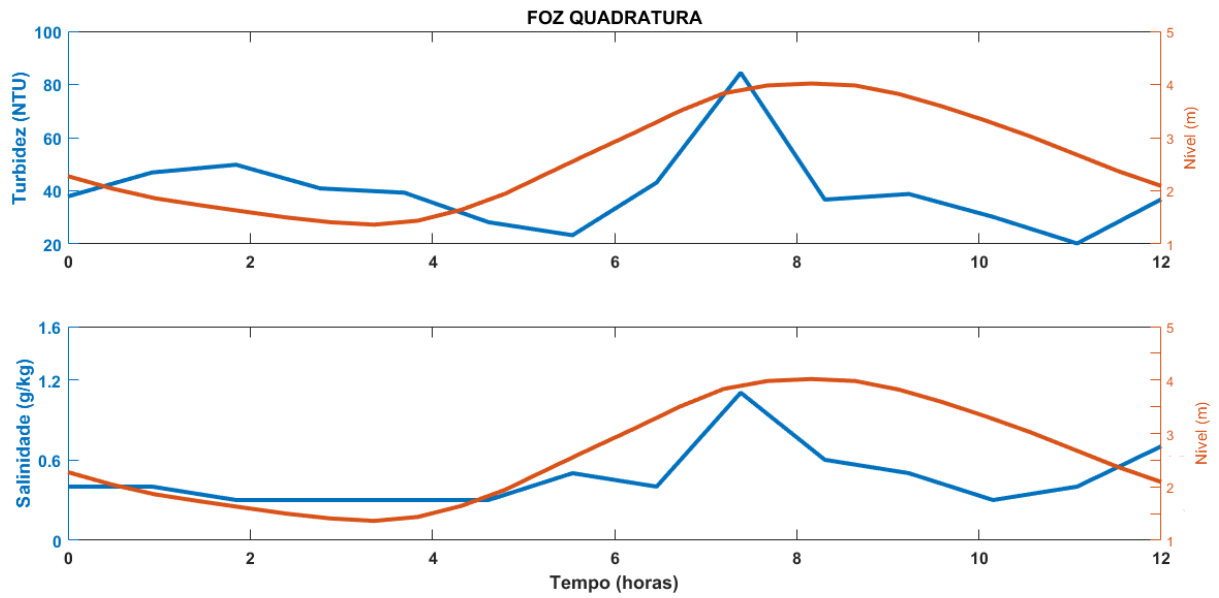


Figura 4-110: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré na foz do rio Sucuriçu, durante o período chuvoso, em condições de quadratura.

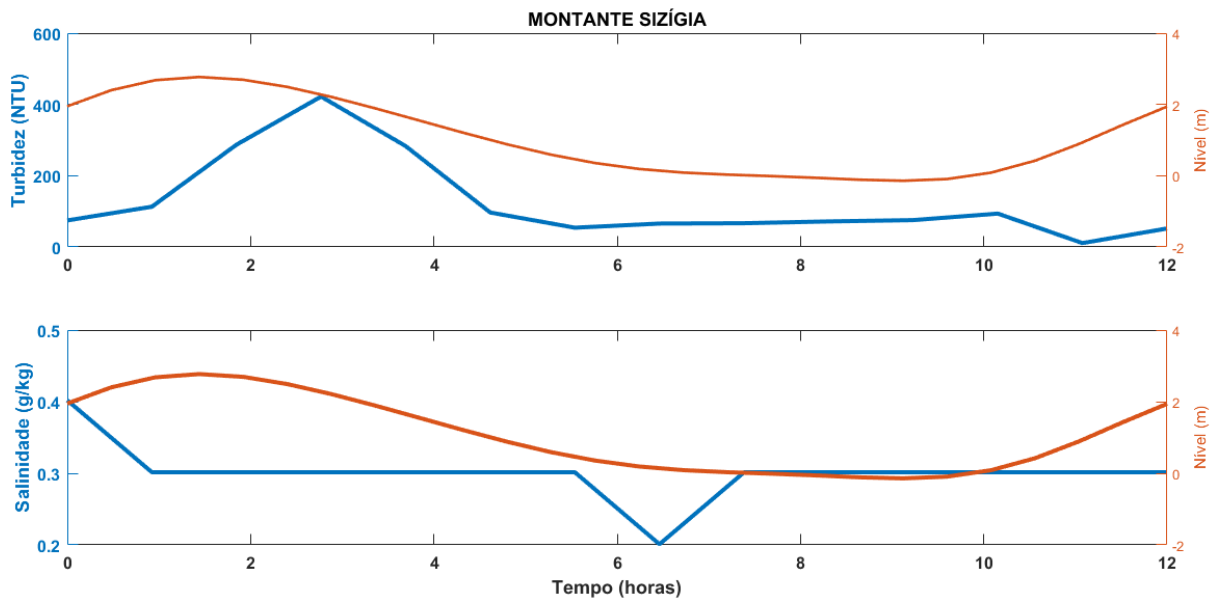


Figura 4-111: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré à montante do rio Sucuriçu, durante o período chuvoso, em condições de sizígia.

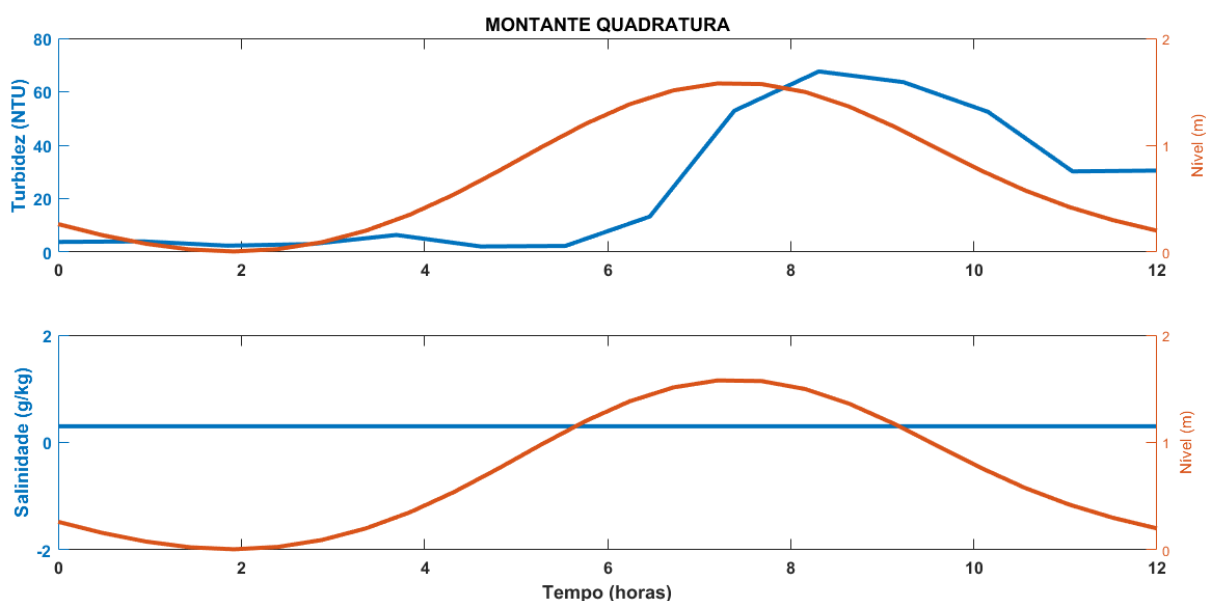


Figura 4-112: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré à montante do rio Sucuri, durante o período chuvoso, em condições de quadratura.

A turbidez durante o período seco apresentou máximas de 1000 NTU, em todos os pontos amostrais (foz e montante) e em todas as condições de maré (sizígia e quadratura). Na foz, os mínimos registrados variaram de 9 NTU (quadratura) a 500 NTU (sizígia). À montante, variou de 50 NTU na quadratura e 350 NTU na sizígia (Figura 4-113 e Figura 4-114).

Os máximos registrados para a salinidade foram em maré de sizígia, tanto na foz quanto à montante. Na foz, registrou valor máximo de  $8,2 \text{ g.kg}^{-1}$  e mínimo de  $1,3 \text{ g.kg}^{-1}$ . Na região à montante, variou de  $0,5 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $4,72 \text{ g.kg}^{-1}$ . Em quadratura, a variação foi de  $0,60 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $4,21 \text{ g.kg}^{-1}$  na foz, e  $0,5 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $0,70 \text{ g.kg}^{-1}$  à montante (Figura 4-115 e Figura 4-116).

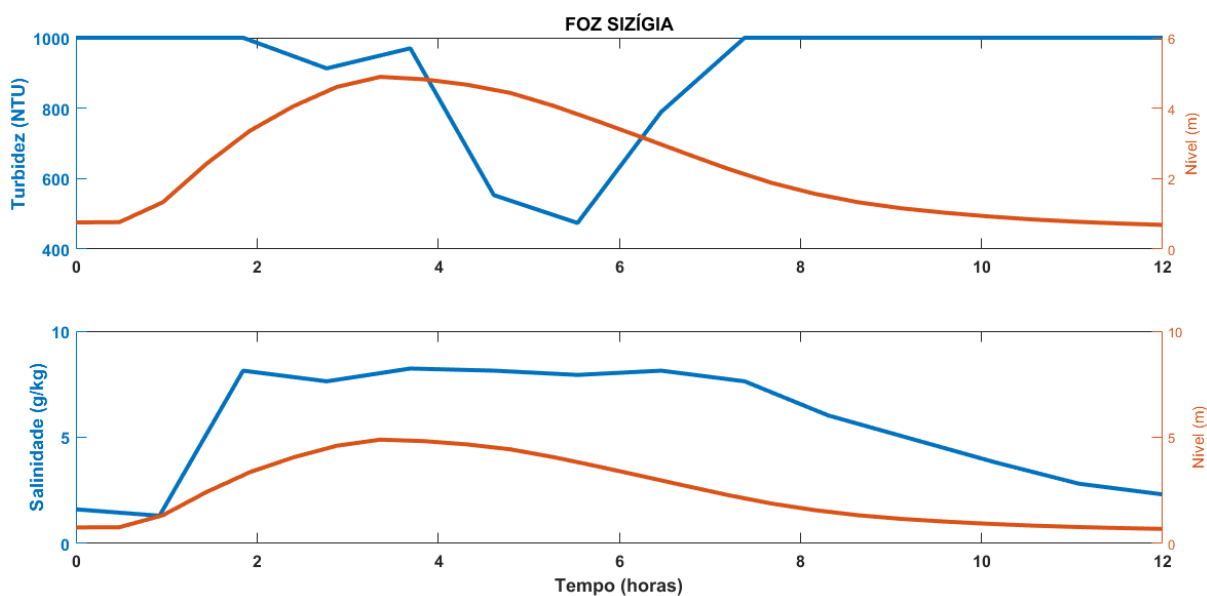


Figura 4-113: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré na foz do rio Sucuriçu, durante o período seco, em condições de sizígia.

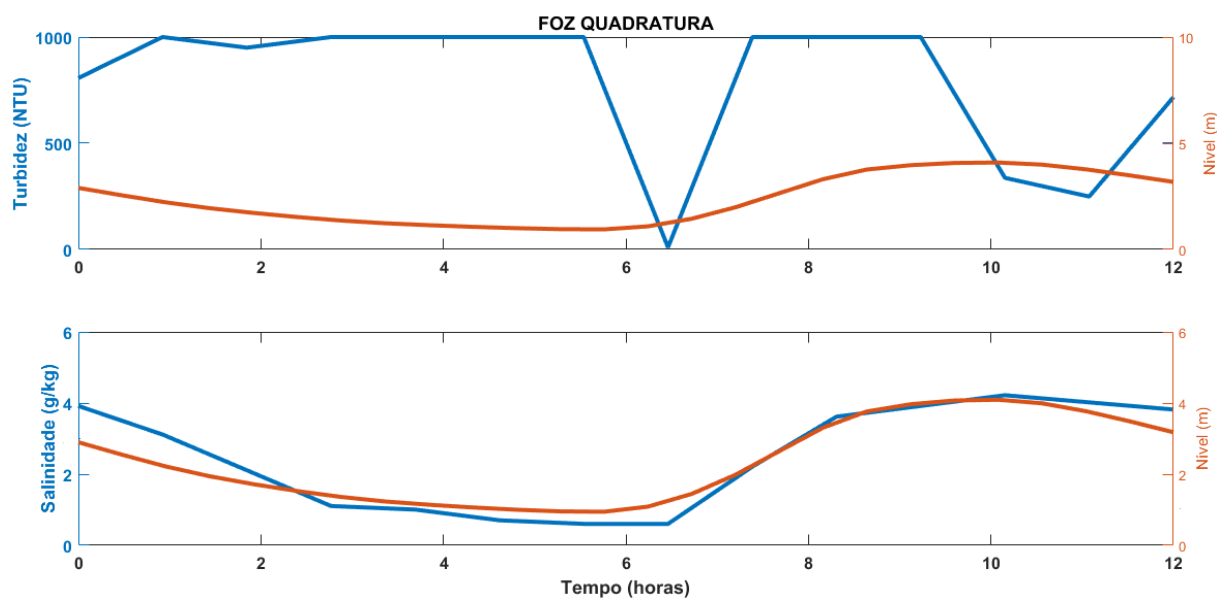


Figura 4-114: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré na foz do rio Sucuriçu, durante o período seco, em condições de quadratura.



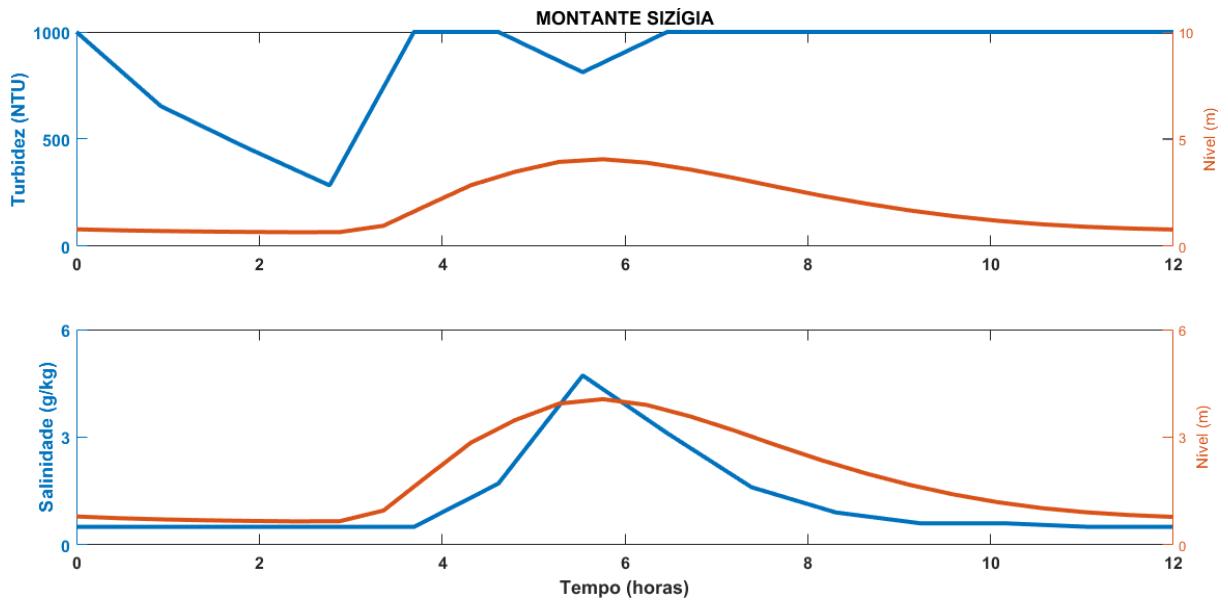


Figura 4-115: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré à montante do rio Sucuriju, durante o período seco, em condições de sizígia.

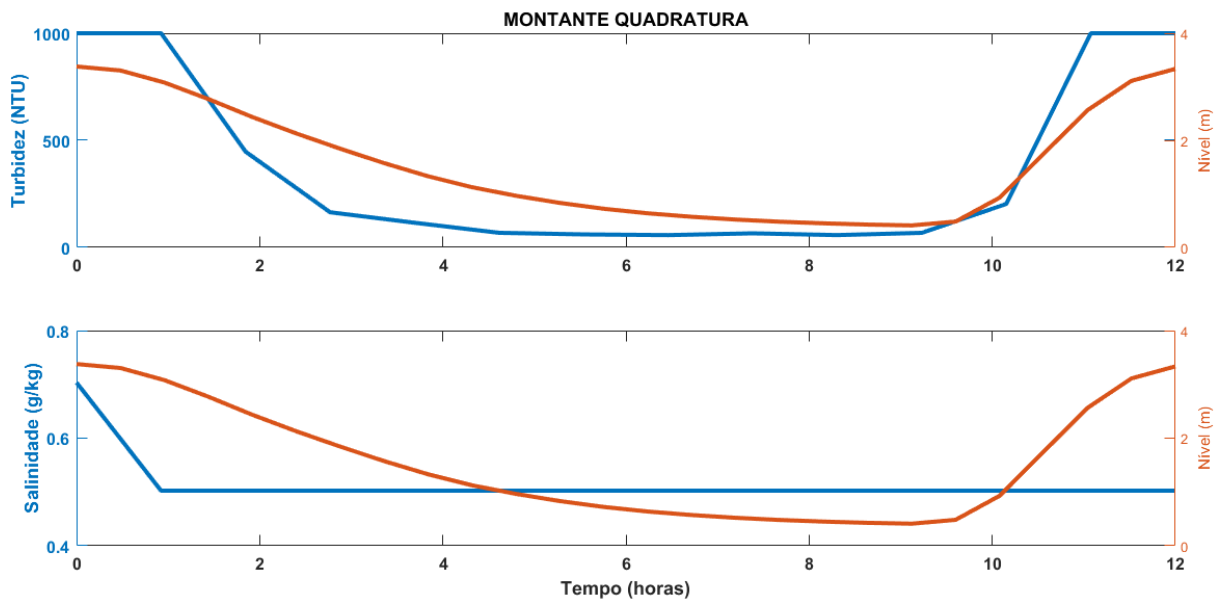


Figura 4-116: Perfis temporais de turbidez (acima) e salinidade (abaixo) em um ciclo de maré à montante do rio Sucuriju, durante o período seco, em condições de quadratura.

### 4.3. Conclusão

A abordagem multidisciplinar e integradora proposta pelo Projeto Costa Norte lançou um conceito metodológico inédito na Margem Equatorial Brasileira. A sintetização de trabalhos realizados na região permitiu ao projeto contemplar as complexidades que cercam a região, de forma a caracterizar o sistema e entender os seus processos.

Este capítulo apresentou o esforço amostral e todas as etapas que envolveram a aquisição de dados em uma região de dimensões significativas como a da Margem Equatorial, bem como seus resultados. Foram necessárias abordagens metodológicas que abrangessem os objetivos e especificidades de cada área amostral, demandando um grande esforço logístico e de recursos humanos, com equipes específicas de coletas nos ambientes estuarinos e oceânicos.

As variações inter-marés e sazonais levantadas entre os estuários selecionados ao longo da Costa permitiu o estabelecimento de algumas conexões, onde o regime de marés foi o fenômeno determinante de caracterização. Ainda, foi possível descrever, de forma inédita, processos como a Pororoca, a formação de Zona de Turbidez Máxima, Transporte de massa e *etc.* nestes ambientes estuarinos.

O regime energético de hipermaré impõe aos estuários de Turiaçu e Sucuriju condições de acesso complexas e de alta demanda logística, apresentando entre si similaridades típicas de ambientes de alta hidrodinâmica e concentração de material em suspensão. Por outro lado, os estuários da região de Soure e de São Caetano de Odivelas figuraram como ambientes energeticamente moderados de meso a macromaré.

O esforço logístico aplicado à plataforma continental ocorreu por meio de cruzeiros oceanográficos mensais. Nesta escala temporal, o Projeto contemplou análises em caráter precursor na Plataforma Continental Amazônica, onde a periodicidade adotada possibilitou validar o padrão sazonal dos processos hidrodinâmicos de mesoescala ocorrentes no Oceano Atlântico Tropical, bem como oscilações de alta frequência e curto período relacionadas ao regime semidiurno das marés.

Os principais resultados obtidos pelo módulo de aquisição de dados oceanográficos do Projeto Costa Norte, sintetizados neste capítulo, serviram como subsídios de informações para os modelos hidrodinâmicos e de dispersão de óleo, possibilitando a análise da suscetibilidade ao óleo nas florestas de mangue ao longo da Margem Equatorial Brasileira e realização de um prognóstico de sensibilidade e resiliência destes ambientes.

### 4.4.Referências

AMOS, C. *Siliciclastic tidal flats*. In: Perillo, G. M. E. (Ed.), *Geomorphology and sedimentology of estuaries*, 2nd Edition. Elsevier, Amsterdam, p. 273–306. 1996.

ASSIREU, A. T., DAUHUT, T., SANTOS, F. A., LORENZZETTI, J. A. *Near-inertial motions in the Brazil Current at 24°S-36°S: Observations by satellite tracked drifters*. *Continental Shelf Research*, v. 145, p. 1–12. 2017. doi:10.1016/j.csr.2017.07.005.

BAUMGARTEN, M. G. Z., ROCHA, J. M. B. NIENCHESKI, L. F. H. *Manual de análises em oceanografia química*. Editoras FURG/Pallotti. 1996.

- CRAWFORD, W. R., CHERNIAWSKY, J. Y., FOREMAN, G. G. *Rotary velocity spectra from short drifter tracks*. The Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 15, 731–740. 1997.
- DEFANT, A. *The harmonic analysis of tidal observations*. Physical Oceanography. Pergamon Press, Oxford, p. 299-319, 1960.
- DEGASTED, K.-F., RÖHRS, J. *Prediction of ocean surface trajectories using satellite derived vs. modeled ocean currents*. Remote Sensing of Environment, v. 223, p. 130–142. 2019. doi: 10.1016/j.rse.2019.01.001.
- DYER, K. R. *Sediment processes in estuaries: future research requirements*. Journal of Geophysical Research, v. 94, n. 14, p. 327-339. 1989.
- EMERY, W., THOMSON, R. E. *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*, Elsevier, Amsterdam, p. 638. 1997.
- FRIEDRICHS, C. T., AUBREY, D. G. *Non-linear distortion in shallow well-mixed estuaries: a synthesis*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 27, p. 521-545, 1988.
- GEYER, R. W., BEARDSLEY, R. C. R., LENTZ, S. J., CANDELA, J., LIMEBURNER, R., JOHNS, W. E., CASTRO, B. M., DIAS SOARES, I. *Physical oceanography of the Amazon shelf*. Continental Shelf Research, v. 16, p. 575–616. 1996.
- GONELLA, J. *A rotary-component method for analysing meteorological and oceanographic vector time series*. Deep-Sea Research, v. 19, p. 833–846. 1972.
- HANSEN, D. V., P. M. POULAIN. *Quality control and interpolations of WOCE-TOGA drifter data*. The Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 13, p. 900–909. 1996. doi:10.1175/1520-0426(1996)013<0900:QCAIOW> 2.0.CO;2.
- HANSEN, D. V., RATTRAY JR., M. *New dimensions in estuarine classification*. Limnology and Oceanography, v. 11, n. 3, p. 319-325. 1966.
- IMER. Institute for Marine Environmental Research. *Annual Report of the Institute for Marine Environmental Research (IMER), 1974–1975*. Plymouth Marine Laboratory, Prospect Place, The Hoe, Plymouth PL1 3DH, UK, p. 85. 1975.
- IOC. *The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties*. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides No. 56, UNESCO (English), p. 196. 2010.
- KINEKE G. C., STERNBERG, R. W. *Distribution of fluid muds on the Amazon Continental Shelf*. Marine Geology, v. 125, n. 3-4, p. 193-233, 1995. doi: 10.1016/0025-3227(95)00013-O.
- KINEKE, G. C. *et al.* *Fluid-mud processes on the Amazon continental shelf*. Continental shelf research, v. 16, n. 5-6, p. 667-696, 1996.
- KUNDU, P. K., *Ekman veering observed near ocean bottom*. Journal of Physical Oceanography, v. 6, p. 238–242. 1976. doi: 10.1175/1520-0485(1976)006<0238:EVONTO>2.0.CO;2

- MEYERJÜRGENS, J., BADEWIEN, T. H., GARABA, S. P., WOLFF, J. -O., ZIELINSKI, O. *A state-of-the-art compact surface drifter reveals pathways of floating marine litter in the German Bight*. *Frontiers in Marine Sciences*, v. 6, n. 58, 2019. doi: 10.3389/fmars.2019.00058.
- MIRANDA, L. B., CASTRO FILHO, B. M., KJERFVE, B. *Princípios de oceanografia física de estuários*. Edusp, v. 42. 2002.
- MIRANDA, L. B. *et al. Fundamentals of estuarine physical oceanography*. Springer, 2017.
- NEPF, H. M., GEYER, W.R. Intratidal variations in stratification and mixing in the Hudson estuary. *J Geophys Res*. 101, 12079-12086. 1996.
- NICHOLS, M. M., BIGGS, R. B. *Estuaries*. In: R. A. Davis Jr (Ed.). *Coastal Sedimentary Environment*, Nova York: Springer-Verlag, p.77-113. 1985.
- NILLER, P. P., PADUAN, J. D. *Wind-driven motions in the northeast Pacific measured by Lagrangian drifters*. *Journal of Physical Oceanography*, v. 25, p. 2819-2830. 1995. doi: 10.1175/1520-0485(1995)025<2819:WDMITN>2.0.CO;2.
- PATCHINEELAM, S. M., KJERFVE, B. *Suspended sediment variability on seasonal and tidal time scales in the Winyah Bay estuary, South Carolina, USA*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 59, n. 2, p. 307-318. 2004. doi: 10.1016/j.ecss.2003.09.011.
- PAWLOWICZ, R.; BEARDSLEY, B.; LENTZ, S. *Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T\_TIDE*. *Computers and Geosciences*, v.28, p. 929-937, 2002.
- POULAIN, P. M., GERIN, R., MAURI, E., PENNEL, R. *Wind effects on drogued and undrogued drifters in the Eastern Mediterranean*. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 26, p. 1114 – 1156. 2009. doi:10.1175/2008JTECHO618.1.
- RÖHRS, J., CHRISTENSEN, K. H. *Drift in the uppermost part of the ocean*. *Geophysical Research Letters*, v. 42, n. 23, 2015. doi: 10.1002/2015GL066733.
- SIEGLE, E., SCHETTINI, C. A. F., KLEIN, A. H. F., TOLDO JR, E. E. *Hydrodynamics and suspended sediment transport in the Camboriú Estuary - Brazil: pre jetty conditions*. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 57, n. 2, p. 123-135, 2009.
- SPEER, P. E., AUBREY, D. G. *A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet/estuarine systems - Part 1: Observations*, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v. 21, p. 207-224. 1985.
- UNCLES, R. J., STEPHENS, J. A., LAW, D. J. *Turbidity maximum in the macrotidal, highly turbid Humber Estuary, UK: Floccs, fluid mud, stationary suspensions and tidal bores*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 67, n. 1-2, p. 30-52. 2006. doi: 10.1016/j.ecss.2005.10.013.
- UNCLES, R. J., STEPHENS, J. A., SMITH, R. E. *The dependence of estuarine turbidity on tidal intrusion length, tidal range and residence time*. *Continental Shelf Research*, v. 22, n. 11-13, p. 1835-1856, 2002. doi: 10.1016/S0278-4343(02)00041-9.

UNCLES, R. J., WOOD, R. G., STEPHENS, J. A., HOWLAND, R. J. M. *Estuarine nutrient fluxes to the Humber coastal zone, UK, during June 1995*. Marine Pollution Bulletin, v. 37, n. 3-7, p. 225–233. 1998. doi: 10.1016/S0025-326X(99)00051-X.

VALENTIM, M. M. *Relação da salinidade e turbidez nos limites de um estuário amazônico*. Trabalho de conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Belém. 2017.