



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS



DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia

Gabriela Padilha Ferreira

**CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA E DO TRANSPORTE DE
SEDIMENTOS NA REGIÃO FLUVIO-ESTUARINA DO RIO PARACAUARI
– ILHA DE MARAJÓ – PARÁ**

RECIFE

Fevereiro, 2013

Catálogo na fonte
Bibliotecário Marcos Aurélio Soares da Silva, CRB-4 / 1175

F383c

Ferreira, Gabriela Padilha.

Caracterização hidrodinâmica e do transporte de sedimentos na região fluvio-estuarina do rio Paracauari, Ilha de Marajó, Pará / Gabriela Padilha Ferreira. - Recife: O Autor, 2013.

xiii, 104 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Prof^a Dr^a. Carmen Medeiros Limongi.

Co-orientador: Prof.^o Dr.^o Marcelo Rollnic.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2013.

Inclui Referências.

1. Oceanografia. 2.Hidrodinâmica Estuarina. 3.Transportes Sedimentar. 4.Ilha de Marajó – Pará. I. Limongi, Carmen Medeiros (Orientadora). II. Título.

551.46 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2013-119

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia

Gabriela Padilha Ferreira

**CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA E DO TRANSPORTE DE
SEDIMENTOS NA REGIÃO FLUVIO-ESTUARINA DO RIO PARACAUARI
– ILHA DE MARAJÓ – PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Área:

Oceanografia Abiótica

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Carmen Medeiros Limongi

Co-Orientador:

Prof. Dr. Marcelo Rollnic

RECIFE

Fevereiro, 2013

**CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA E DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA REGIÃO
FLUVIO-ESTUARINA DO RIO PARACAUARI – ILHA DE MARAJÓ – PARÁ**

Gabriela Padilha Ferreira

Dissertação defendida em 27 de fevereiro de 2013 e aprovada em estilo e conteúdo.

EXAMINADORES:

Profa. Dra. Carmen Medeiros Limongi

Prof. Dr. Alex Costa da Silva

Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto

*“(...) A Rainha do Mar anda de mãos dadas comigo,
me ensina o baile das ondas e canta, canta, canta pra mim
É do ouro de Oxum que é feita a armadura que guarda o meu corpo,
garante meu sangue, minha garganta
O veneno do mal não acha passagem
e em meu coração, Maria ascende sua luz,
e me aponta o caminho (...)”*

Aos que eu devo tudo o que sou e tenho: meus pais, Sandra e Humberto, aos meus irmãos Thiago e Gabriel, às minhas avós Constança e Ana Maria, e aos meus avôs Enoch e Joaquim.

AGRADECIMENTOS

Sempre a Deus em primeiro lugar, Nossa Senhora de Nazaré e São Benedito, meus acompanhantes e protetores que me guiam e me dão força pra seguir todos os dias.

Aos meus pais Sandra e Humberto pelo dom da vida, por me ensinarem a ser uma pessoa de bem, pelo infinito amor e apoio na minha caminhada. Ao meu irmão Thiago pelas palavras constantes de incentivo, pelas brincadeiras, pela força. A vocês, meu amor eterno.

Às minhas avós e aos meus avôs, em especial ao Joaquim Padilha (*in memoriam*), por ter sempre me apoiado nos meus estudos, pelas tantas vezes que me deixou e buscou na escola em sua bicicleta, pelo infinito amor, carinho e tantos ensinamentos, se tornou eterno em nós.

A Profa. Dra. Carmen Medeiros, minha orientadora e “mãe” durante estes dois anos de curso. Meu infinito muito obrigada por tudo que a senhora fez por mim, por ter me guiado tão bem e me ensinado tantas coisas.

Ao Prof. Dr. Marcelo Rollnic, co-orientador e amigo, por me auxiliar a dar mais um passo na minha carreira profissional, por tanto apoio, conselhos, pelos “puxões de orelha” merecidos, pela amizade. Muito obrigada, de coração.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

À FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), por financiar os levantamentos de campo desta pesquisa.

Aos meus colegas do Laboratório de Oceanografia Física (LOF) da UFPA pelo indispensável apoio em campo e nos processamentos de laboratório, em especial ao Renan, Mauricio, Marcos, Inaê e Otávio.

Aos colegas e companheiros de todo santo dia do Laboratório de Oceanografia Estuarina e Costeira (LOFEC) da UFPE. Em especial à Patrícia, por ter sido sempre tão doce e amiga. Nossas risadas, desesperos, choros, amizade, tudo vai ficar guardado por mim com muito carinho.

À dona Elizabeth, ao seu Mauro, à Maura e ao Tio Leno, mais uma vez, por nos darem todo o apoio que precisamos na Ilha de Marajó.

Ao Instituto Evandro Chagas e sua equipe do Laboratório de Físico-Química, representados pelo Dr. Marcelo Lima.

Ao colega de profissão e amigo Yuri Friaes pela ajuda em laboratório, pelas incansáveis palavras de incentivo, pelas risadas e por tantos momentos felizes.

Ao Laboratório de Oceanografia Química e ao Prof. Dr. Marcelo Cohen por ceder o equipamento e tempo em laboratório para processamento de análises de sedimento.

Ao Laboratório Institucional de Oceanografia Geológica (LIOG), à Profa. Dra. Odete Silveira e à sua equipe pelo auxílio durante a coleta e em laboratório, em especial ao Fábio Watanabe, Andrey Ferreira e Priscila.

A todos os meus colegas da turma do curso de mestrado, torço muito por cada um, tenho certeza que seremos todos vitoriosos.

A Recife (pode parecer estranho agradecer à uma cidade, mas...), por ter me acolhido, me conquistado e me feito sentir em casa durante esses dois anos. Já me considero “parabucana”.

Às minhas amigas princesas Duda, Gabi, Renata e Gerlany, por terem sido minha família pernambucana. Nunca vou esquecer vocês. Vida longa à Madame Dub!

Ao David Lima, por toda ajuda, atenção, compreensão e amor. Meu presente de Deus.

E a todos que aqui não foram citados, mas que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho, e de mais esta etapa a ser concluída.

A todos vocês, minha imensa gratidão e carinho.

Gabriela Padilha Ferreira

HIDRODINÂMICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA REGIÃO FLUVIO-ESTUARINA DO RIO PARACAUARI – ILHA DE MARAJÓ – PARÁ

RESUMO

O Rio Paracauari é o principal rio que drena a porção nordeste da Ilha de Marajó, estado do Pará, maior ilha fluvio-estuarina do mundo, e que integra a rede fluvial da foz da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas. O presente trabalho visou caracterizar o funcionamento hidrodinâmico do baixo-estúário rio Paracauari e quantificar o aporte de sedimentos do mesmo para a baía de Marajó em função do regime sazonal das chuvas na região, com amostragens durante os períodos de maior volume de precipitação, de dezembro a maio (caracterizado como período chuvoso), e o período de menor volume de precipitação, de junho a novembro (caracterizado como período de estiagem). Para cada uma das estações sazonais, as amostragens consideraram ainda a variabilidade ao longo do ciclo de maré de sizígia a cobertura sedimentar de fundo e das cargas de material particulado e em suspensão transportados, vazão, intensidade e direção das correntes de maré e salinidade em três sessões transversais correspondentes à foz do Paracauari, e às áreas de confluência dos rios do Saco e das Mangueiras, com três pontos amostrais por seção correspondendo às margens direita e esquerda, e ao centro do canal principal. O sistema Paracauari se relacionou fortemente com a sazonalidade das chuvas. No período de estiagem a influência das águas marinhas é modulada pelas marés e alcança as áreas de confluência com os rios do Saco e das Mangueiras, com uma vazão líquida para a baía de Marajó de $98.594 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ no ciclo de maré estudado, com salinidade média de 6 na foz do rio Paracauari. No período chuvoso, a vazão líquida para a baía de Marajó foi de $65.269 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ao final do ciclo de maré, com salinidades sempre inferiores a 2 nas seções estudadas. Esta diferença na vazão líquida entre os períodos se deu ao fato de que no período de estiagem, há menor resistência exercida sob o rio Paracauari pela baía de Marajó. A concentração de material particulado em suspensão se apresentou maior no período chuvoso, bem como os níveis de OBS, como consequência do maior carreamento de materiais pela drenagem fluvial e ressuspensão do material de fundo pela maior intensidade das correntes. O sedimento de fundo apresenta uma maior proporção da fração arenosa no período chuvoso em resposta ao aumento da descarga da bacia de drenagem, comparada ao período de estiagem. O sistema do rio Paracauari atua como exportador de sedimento, nutrientes e outras propriedades físico-químicas para a baía de Marajó tanto no período chuvoso quanto de estiagem.

Palavras-chave: Transporte sedimentar; hidrodinâmica estuarina; Ilha de Marajó

Gabriela Padilha Ferreira

HIDRODINÂMICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA REGIÃO FLUVIO-ESTUARINA DO RIO PARACAUARI – ILHA DE MARAJÓ – PARÁ

ABSTRACT

The Paracauari River is the main river which drains the northeastern portion of the island of Marajó, state of Pará, the world largest fluvial-estuarine island, and that integrates the drainage Amazon River Basin mouth. This paper aimed the characterization of the hydrodynamic functioning of the lower estuary of the Paracauari River and to quantify its sediment load to the Marajó bay as a function of the seasonal rainfall regime in the region, with sampling during periods of higher rainfall volume, from December to May (corresponding to the rainy season), and period of lower rainfall volume, from June to November (corresponding to the dry season). For each of those seasons, the sampling also took into account the variability of a spring tidal cycle, of bottom sediments and transported loads of particulate matter in suspension, river discharges, intensity and direction of tidal currents and salinity regimen in three cross-sections corresponding to the mouth of the Paracauari river, and the areas of confluence of the Saco and Mangueiras rivers, with three sampling points per cross-session corresponding to the left and right margins and the center of the main channel. The Paracauari system responds strongly to the rainfall seasonality. During the dry season the influence of marine waters is modulated by the tides and reaches the areas of the confluence with the Saco and Mangueiras rivers, with an outflow discharge to the bay Marajó of $98,594 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, with medium salinity of 6 at the Paracauari river mouth. In the rainy season, the liquid discharge to the Marajo bay was $65.269 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, with salinity always below 2 on the studied sections. This difference on the outflow discharge between the seasons was due to less resistance exerted on the Paracauari river by the Marajó bay during the dry season. The concentration of total suspended solids was higher in the rainy season, as well as the levels of OBS, as a result of higher load of material by carried by the rainfall and river drainage and the resuspension of the bottom material due to the greater intensity of the currents. The bottom sediment had a higher proportion of the sandy fraction in the rainy season in response to the increased discharge of the drainage basin, compared to the dry season. The Paracauari river system acts as an exporter of sediments, nutrients, and other physical-chemical properties to the Marajó bay in both rainy and dry seasons.

Keywords: Sediment transport; estuarine hydrodynamics; Marajó Island

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
SUMÁRIO	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1. INTRODUÇÃO	16
2. ANTECEDENTES	19
2.1 Estuários, definição e diferentes tipos	19
2.2 Estratificação e Circulação Estuarina	21
2.3 Cobertura Sedimentar e Transporte de Sedimentos	24
2.4 Estuários Amazônicos	26
3. JUSTIFICATIVA	27
4. OBJETIVOS	28
4.1 Objetivo Geral	28
4.2 Objetivos Específicos	28
5. HIPÓTESE DE TRABALHO	28
6. MATERIAIS E MÉTODOS	29
6.1 Área de Estudo	29
6.2 Levantamento das Condições Climáticas e Meteorológicas	31
6.3 Levantamento Morfobatimétrico	32
6.4 Levantamento Hidrológico	34
6.5 Turbidez e Sólidos Totais em Suspensão (STS)	35
6.6 Vazão Fluvial e Regime das Correntes de Maré	36
6.7 Caracterização da Cobertura Sedimentar	37
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
7.1 Condições Climáticas e Meteorológicas	39
7.2 Aspectos Fisiográficos e Batimétricos	41
7.3 Caracterização Hidrológica	44
7.4 Turbidez e Sólidos Totais em Suspensão (STS)	53
7.5 Cobertura Sedimentar	62
7.6 Vazão Fluvial e Regime das Correntes	68
7.7 Circulação e Estratificação	96
8. CONCLUSÕES	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Hansen; Rattray (1966). FONTE: Arquivo de imagens do Access Science do artigo “Estuarine Oceanography”.	23
Figura 2. Diagrama de classificação textural de sedimentos de Shepard. FONTE: Domínio público.	25
Figura 3. Diagramas de classificação textural de sedimentos de Pejrup. FONTE: CORRÊA (2005) - Modificado.	26
Figura 4. Setores da Zona Costeira Paraense (ZCP). FONTE: EL-ROBRINI et al. (2006).....	29
Figura 5. Vista geral da área de estudo com indicação das sessões amostrais nos rio Paracauari, do Saco e das Mangueiras.	31
Figura 6. Sonda GARMIN 520s utilizada para o levantamento batimétrico (A); Malha da sondagem batimétrica (B).	32
Figura 7. Sensores de pressão utilizados na obtenção dos registros de variação de nível.....	33
Figura 8. Pontos de instalação dos sensores de pressão.	33
Figura 9. Seções amostradas (A); Pontos amostrados em cada seção (B); CTD modelo <i>SeaBird SBE 37</i> utilizado nas coletas com sensor OBS acoplado(C).	34
Figura 10. Perfilado ADCP acoplado à embarcação.	36
Figura 11. Seções amostradas (A); Pontos amostrados em cada seção (B); Draga tipo Petersen utilizada nas coletas de sedimento (C).	38
Figura 12. Analisador de partículas a laser Shimadzu SALD-2201.....	38
Figura 13. Classificação climatológica da ilha de Marajó . FONTE: LIMA et al. (2005).	39
Figura 14. Chuva mensal acumulada para os meses de coleta X Normal Climatológica. Dados extraídos do INMET.	40
Figura 15. Chuva acumulada diária nos meses de coleta. Dados extraídos do INMET.....	40
Figura 16. Mapa morfológico da zona costeira dos municípios de Soure e Salvaterra. FONTE: FRANÇA; SOUZA FILHO (2006).....	41
Figura 17. Configuração morfobatimétrico da área de estudo.....	43
Figura 18. Distribuição espacial da salinidade a seção 1 (rio Paracauari) nos estágios de enchente, preamar, vazante e baixa-mar, durante o período de estiagem.	45
Figura 19. Distribuição espacial da salinidade a seção 2 (rio do Saco) nos estágios de enchente, preamar, vazante e baixa-mar, durante o período de estiagem.	46
Figura 20. Distribuição espacial da salinidade a seção 3 (rio das Mangueiras) nos estágios de enchente, preamar, vazante e baixa-mar, durante o período de estiagem.	47
Figura 21. Distribuição espacial da salinidade a seção 1 (rio Paracauari) nos estágios de enchente, preamar, vazante e baixa-mar, durante o período chuvoso.	48
Figura 22. Distribuição espacial da salinidade a seção 2 (rio do Saco) nos estágios de enchente, preamar, vazante e baixa-mar, durante o período chuvoso.	49
Figura 23. Distribuição espacial da salinidade a seção 3 (rio das Mangueiras) nos estágios de enchente, preamar, vazante e baixa-mar, durante o período chuvoso.	50
Figura 24. Distribuição espacial da turbidez (ppm) a seção 1 (rio Paracauari) nos estágios de baixa-mar e preamar, durante os períodos de (A) estiagem e (B) chuvoso.	54

Figura 25. Distribuição espacial da turbidez (ppm) a seção 2 (rio do Saco) nos estágios de baixa-mar e preamar, durante os períodos de (A) estiagem e (B) chuvoso.	55
Figura 26. Distribuição espacial da turbidez (ppm) a seção 3 (rio das Mangueiras) nos estágios de baixa-mar e preamar, durante os períodos de (A) estiagem e (B) chuvoso.	56
Figura 27. Variação espacial da concentração de Sólidos Totais em Suspensão (mg.L^{-1}) a seção 1 (Rio Paracauari) nos períodos de estiagem(jul/2011)e chuvoso (mar/2012).....	58
Figura 28. Variação espacial da concentração de Sólidos Totais em Suspensão (mg.L^{-1}) a seção 2 (Rio do Saco) nos períodos de estiagem (jul/2011) e chuvoso (mar/2012).....	59
Figura 29. Variação espacial da concentração de Sólidos Totais em Suspensão (mg.L^{-1}) a seção 3 (Rio Mangueiras) nos períodos de estiagem (jul/2011) e chuvoso (mar/2012).	59
Figura 30. Turbidez (ppm equivalente a Caulim) <i>versus</i> concentrações de Sólidos Totais em Suspensão (mg.L^{-1}) às seções do rio Paracauari, rio do Saco e rio Mangueiras em melhores ajustes.....	61
Figura 31. Classificação da cobertura sedimentar segundo os diagramas de Shepard e Pejrup, para as amostras obtidas durante o período de estiagem (julho/2011).	63
Figura 32. Classificação da cobertura sedimentar segundo os diagramas de Shepard e Pejrup, para as amostras obtidas durante o período chuvoso (março/2012).	64
Figura 33. Mapeamento dos tipos de solo presentes na bacia do rio Paracauari – Ilha de Marajó. FONTE: MONTEIRO, 2009 – Modificado.....	67
Figura 34. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem à seção 1 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de descarga.....	72
Figura 35. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem à seção 1 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão mínima.....	73
Figura 36. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem, a seção 1 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de carga.	74
Figura 37. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem, a seção 2 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de descarga.....	75
Figura 38. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem, a seção 2 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão mínima.....	76
Figura 39. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem, a seção 2 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de carga.	77
Figura 40. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem, a seção 3 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de descarga.....	78
Figura 41. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem, a seção 3 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão mínima.....	79
Figura 42. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem, a seção 3 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de carga. .	80
Figura 43. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 1 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de descarga.....	81

Figura 44. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 1 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão mínima.....	82
Figura 45. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 1 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de carga.	83
Figura 46. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 2 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de descarga.....	84
Figura 47. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 2 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão mínima.....	85
Figura 48. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 2 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de descarga.....	86
Figura 49. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 3 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de descarga.....	87
Figura 50. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 3 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão mínima.....	88
Figura 51. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 3 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de carga.	89
Figura 52. Classificação estuarina segundo Hansen & Rattray (1966) às sessões amostrais do rio Paracauari (P), rio Mangueira (M) e rio do Saco (S).....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Turbidez média, mínima e máxima (ppm equivalente) às seções 1, 2 e 3, durante os estágios de baixa-mar e preamar nos períodos de estiagem e chuvoso.	53
Tabela 2. Vazões líquida e máximas de descarga e carga através das sessões amostrais dos rios Paracauari, do Saco e das Magueiras durante os períodos de estiagem e chuvoso.	68

1. INTRODUÇÃO

Os estuários são corpos d'água com ligação livre com o mar, onde ocorre diluição da água marinha pela água proveniente da drenagem continental (CAMERON; PRITCHARD, 1963) e constituem áreas de refúgio, reprodução e crescimento de inúmeras espécies animais e vegetais (AVELINE, 1980), incluindo desde organismos planctônicos até mamíferos aquáticos, além de serem consideradas fontes de grande parte da matéria originada do intemperismo dos continentes para os oceanos.

Os estuários amazônicos são sistemas particularmente complexos e dinâmicos sob influência direta ou indireta da bacia hidrográfica do Amazonas e sua intrincada rede hidrográfica, do clima característico da região que apresenta altos níveis de pluviosidade e uma marcada sazonalidade, das descargas hídrica e sólida das drenagens continentais, bem como da ação dos ventos e das marés (AVELINE, 1980).

A Ilha de Marajó, constituinte do Arquipélago do Marajó, estado do Pará, é a maior ilha fluvio-estuarina do mundo, com uma área de 59.308,40 km² que corresponde a 4,7% da área do estado. A mesma está inserida no ambiente estuarino amazônico, à foz do rio Amazonas o qual recebe uma descarga média de 209.000 m³.s⁻¹ (ANA, 2009).

Dentro do zoneamento proposto pelo Ministério do Meio Ambiente (1996) para a Zona Costeira e Estuarina Paraense (ZCEP), a ilha está localizada no setor 2 ou setor insular estuarino. Por sua localização, a ilha intercepta as elevadas descargas e aportes orgânicos oriundos da drenagem da bacia amazônica favorecendo a retenção de nutrientes pela presença de densas áreas de mangue e propiciando uma elevada produtividade primária na região, que por sua vez, favorece e suporta uma elevada biodiversidade e abundantes comunidades de peixes e outros organismos aquáticos em seus rios e afluentes.

A ilha de Marajó está sujeita a repetidas enchentes anuais, principalmente de janeiro a junho quando o volume das chuvas é mais elevado. Mesmo após o período das chuvas intensas, várias áreas permanecem alagadas, uma vez que grandes quantidades de água ficam retidas nas porções topograficamente mais baixas da ilha, isoladas por feições mais elevadas. Além da baixa topografia, a baixa permeabilidade de seu solo contribui para a formação e manutenção das áreas alagadas (RANIERI, 2008).

A ilha apresenta características sedimentológicas, morfológicas e climáticas distintas, em suas porções oriental e ocidental (SILVA, 2008), com o rio Paracauari localizado entre essas duas sub-regiões e um interessante cenário para pesquisa e caracterização física do sistema. A sua porção leste apresenta rede de drenagem esparsa, constituída por rios, em sua maioria, temporários, e alguns lagos (BEMERGUY, 1981).

O rio Paracauari drena uma área de 608 km² e banha os dois municípios mais influentes da região: Soure e Salvaterra, se estende por cerca de 25 km e a distância entre suas margens alcança até 1 km. Ao longo de suas margens existe um número elevado de lagos e canais de maré que deságuam na baía de Marajó (MONTEIRO, 2009).

Relevante para a baía de Marajó por ser o maior rio de sua porção leste e por ser usufruído pela população e pela indústria, o rio Paracauari é ator direto da distribuição sedimentar, aporte e distribuição de nutrientes e minerais, alimentação e reprodução de várias espécies. Além da baía de Marajó, o rio em questão influi e é influenciado por outros ambientes associados, como por exemplo, áreas alagáveis em suas margens, canais de maré e mangues em seu entorno.

Deve-se destacar a importância da descarga de água doce no ambiente estuarino que, ao diluir a água do mar, também fornece nutrientes, minerais e outros componentes orgânicos e inorgânicos cruciais para o equilíbrio do sistema marinho. Consequentemente, alterações da descarga de água doce de origem climatológica ou antrópica, podem influenciar a hidrodinâmica do sistema e os processos advectivos, dispersivos, e de difusão turbulenta, que misturam a água doce com a do mar e transportam concentrações de propriedades (MIRANDA et al., 2002).

Apesar da grande influência exercida pelo rio Paracauari, o número de pesquisas realizadas nesta área é ainda incipiente, particularmente pesquisas enfocando a caracterização de sua conformação, cobertura de fundo e dos processos físico-oceanográficos ali atuantes, não permitindo assim um bom entendimento do funcionamento do mesmo.

Neste panorama, a presente pesquisa esteve voltada para a caracterização da morfobatimetria do trecho fluvio-estuarino do Paracauari, sua cobertura sedimentar e comportamento hidrodinâmico do sistema próximo à sua foz e em seus rios afluentes, para diferentes períodos sazonais, bem como sobre a influência que este rio exerce sobre o ambiente da baía de Marajó.

2. ANTECEDENTES

2.1 Estuários, definição e diferentes tipos

Os estuários foram classicamente definidos como corpos de água costeiros, semifechados, que possuem uma ligação livre com o oceano aberto, onde no seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce proveniente da drenagem continental (CAMERON;PRITCHARD, 1963). Suas águas são, em geral, biologicamente mais produtivas do que as do rio e do oceano adjacente, devido às características hidrodinâmicas da circulação que aprisiona nutrientes e estimula a produtividade desses corpos d'água (MIRANDA et al., 2002).

A geometria do estuário, a descarga de água doce que recebe, a maré que nele atua, a salinidade, a circulação da região oceânica adjacente e o vento que atua remota ou diretamente sobre sua superfície livre, são fatores que regem a circulação, os processos de mistura e a estratificação de salinidade em sistemas estuarinos (PRITCHARD, 1967).

O efeito da descarga fluvial no estuário, sempre adicionada pela bacia de drenagem continental, além de originar um componente de circulação estuarina que normalmente se desloca para fora do estuário, movimento estuário abaixo, ao diluir a água do mar gera diferenças de densidade ao longo do estuário, causando movimentos estuário acima forçados pelo gradiente de pressão (OFFICER, 1983).

Com algumas exceções, os estuários formaram-se em regiões relativamente estreitas de transição entre o mar e as massas de terra continentais. São ambientes muito recentes em tempo geológico (menos que cinco mil anos), formados por modificações seculares do nível da água do mar de natureza eustática (variações do volume da água dos oceanos por congelamento e degelo) ou isostática (variações do nível da crosta terrestre – movimentos da crosta em relação ao geóide, variações da geometria das bacias oceânicas, compactação ou erosão de sedimentos não consolidados), bem como por processos de origem tectônica (MIRANDA et al., 2002).

Quanto à sua forma, os estuários podem ser agrupados em três grandes tipos: os de planície costeira, os de bacia profunda ou fiordes e os estuários com barra (PRITCHARD, 1955). Outra classificação válida, leva em consideração a origem do estuário e os agrupa em

quatro tipos diferentes: desembocaduras de rios afogados ou planície costeira, fiordes ou bacia profunda, estuários com barra, e tectônico ou estuários restantes (MIRANDA et al., 2002).

Uma classificação baseada na diferenciação de suas origens e nas características geomorfológicas dos estuários foi desenvolvida por PRITCHARD (1952 apud MIRANDA et al., 2002), e divide os estuários em quatro tipos que serão abordados a seguir: estuários de planície costeira; fiorde; estuários construído por barra; e estuários restantes.

Os estuários de Planície Costeira são vales de rios que foram inundados durante a última transgressão marinha, no Holoceno (em torno de 5000 anos atrás), e se localizam em regiões de planície costeira. São estuários geralmente rasos, com profundidade que dificilmente ultrapassa 30 m, e possuem relação largura/profundidade geralmente elevada, pois suas seções transversais tendem a aumentar na direção estuário acima, obtendo formato de “V”, sendo assim, seu fluxo depende diretamente da intensidade da descarga fluvial e da altura da onda de maré que penetra na região estuarina. Como consequência de sua recente sedimentação, seus leitos são geralmente recobertos por sedimentos lamosos e finos, com tendência a se tornarem mais grosseiros próximo à sua foz. São geralmente localizados em regiões tropicais e subtropicais, sendo comuns na costa brasileira, a exemplo do estuário do rio Jaguaribe, no estado de Pernambuco (SILVA et al., 2011).

Os fiordes são típicos de regiões de altas latitudes, comuns no Alasca e na Noruega. Foram formados durante o Pleistoceno, em regiões que estavam cobertas por calotas de gelo, em decorrência da escavação glacial na planície costeira ou na plataforma continental adjacente. Foram formados vales de rios consequentes da pressão das calotas de gelo e efeitos erosivos causados por escavação das geleiras e pelo degelo destes blocos, o que aprofundou ainda mais esses vales de rios primitivos, por isso são estuários de alta profundidade, podendo chegar a centenas de metros. Apresentam fundo rochoso de sedimentação recente, e possuem pequena descarga fluvial.

Os estuários construídos por barra são também conhecidos como sistema estuarino-lagunar, são estuários que também foram formados por inundação de vales de rios na última transgressão marinha, porém o processo de sedimentação recente provocou a formação de barras em sua foz, que podem desaparecer em períodos em que a descarga fluvial é

intensificada e serem reconstruídas após esses eventos. São geralmente encontrados em regiões tropicais.

Os estuários não abrangidos anteriormente são normalmente incluídos na categoria estuários restantes e geralmente são sistemas estuarinos formados por outros processos costeiros, como: falhas tectônicas, atividade vulcânica, tremores e deslizamentos de terra, bem como deltas estuarinos ou deltas de enchente.

2.2 Estratificação e Circulação Estuarina

A distribuição da salinidade e o regime de correntes reinantes em um sistema estuarino são informações valiosas na busca do entendimento do funcionamento desses sistemas. Padrões e correlações dessas feições têm sido muitas vezes buscados por diversos pesquisadores como forma de sumarizar e permitir comparar os diferentes sistemas estuarinos.

Tomando por base o grau de estratificação da salinidade nos estuários, PRITCHARD (1955) agrupou os estuários em cunha salina (tipo A); moderadamente ou parcialmente misturado (tipo B) e verticalmente bem misturado (tipos C e D). O referido autor estabeleceu, qualitativamente, as características da circulação da zona de mistura do estuário, que engloba a maior parte dos estuários do tipo planície costeira, anteriormente descrito. Nesta sistematização, considerou os termos dominantes da forma estacionária da conservação de sal, que estabelece a relação entre advecção e difusão salina. A estratificação salina depende da descarga do rio, da amplitude de maré local, do componente baroclínico e das características geométricas do estuário.

Os estuários de cunha salina (tipo A) são característicos de regiões de micromaré que são dominados pela descarga fluvial, que é intensa, e pelo processo de entranhamento, que é responsável pelo aumento da salinidade na camada superficial da coluna d'água. Por efeito da descarga fluvial e da maré, a cunha salina se move lentamente ao longo do estuário, e sua posição e seu equilíbrio dependem do balanço entre essas duas forçantes.

Os estuários moderadamente ou parcialmente misturados (tipo B) são estuários que possuem uma camada de água mais salina que se localiza na região próxima ao fundo e possui movimento estuário acima, enquanto que a camada superficial, menos salina, possui movimento estuário abaixo, provocando um perfil vertical bidirecional, no qual é dividido em certa profundidade por uma camada de água com características salinas e de densidade intermediárias, separada por haloclina. Os fiordes são caracteristicamente deste tipo.

Os estuários verticalmente bem misturados (tipos C e D) são estuários geralmente rasos, nos quais a descarga fluvial é pequena. Em regiões de meso e macromaré, a haloclina é quebrada como consequência do fluxo turbulento proveniente do cisalhamento das correntes de fundo. Portanto, nestas condições, o fluxo vertical de sal é desprezível, ocorrendo mistura longitudinal, especialmente. O tipo C (lateralmente estratificado) possui uma ligeira estratificação na sua seção transversal, e o tipo D (bem misturado), onde a salinidade aumenta estuário abaixo, bem como o movimento médio está orientado nesta direção em todas as profundidades, sendo o processo de difusão turbulenta o responsável pelo transporte de sal estuário acima.

Hansen;Rattray (1966) propuseram um método de classificação, análogo ao diagrama T-S utilizado para identificação de massas d'água oceânicas, que é baseado em dois parâmetros: estratificação salina e circulação. Este método é tido como o mais adequado até a atualidade para a classificação estuarina, pois considera as forçantes principais da mistura em estuários.

O parâmetro não adimensional de estratificação ($\delta S/\bar{S}$) considera a diferença entre a salinidade de fundo e a de superfície (δS) e a salinidade média na coluna d'água ($\bar{S}$). O parâmetro de circulação (U_s/U_f) considera o valor da intensidade da corrente na superfície (U_s) e a velocidade de descarga de água doce (U_f). Este diagrama classifica os estuários em quatro tipos principais (tipos 1 a 4), dos tipos 1 a 3 com os subtipos a e b (Fig. 1).

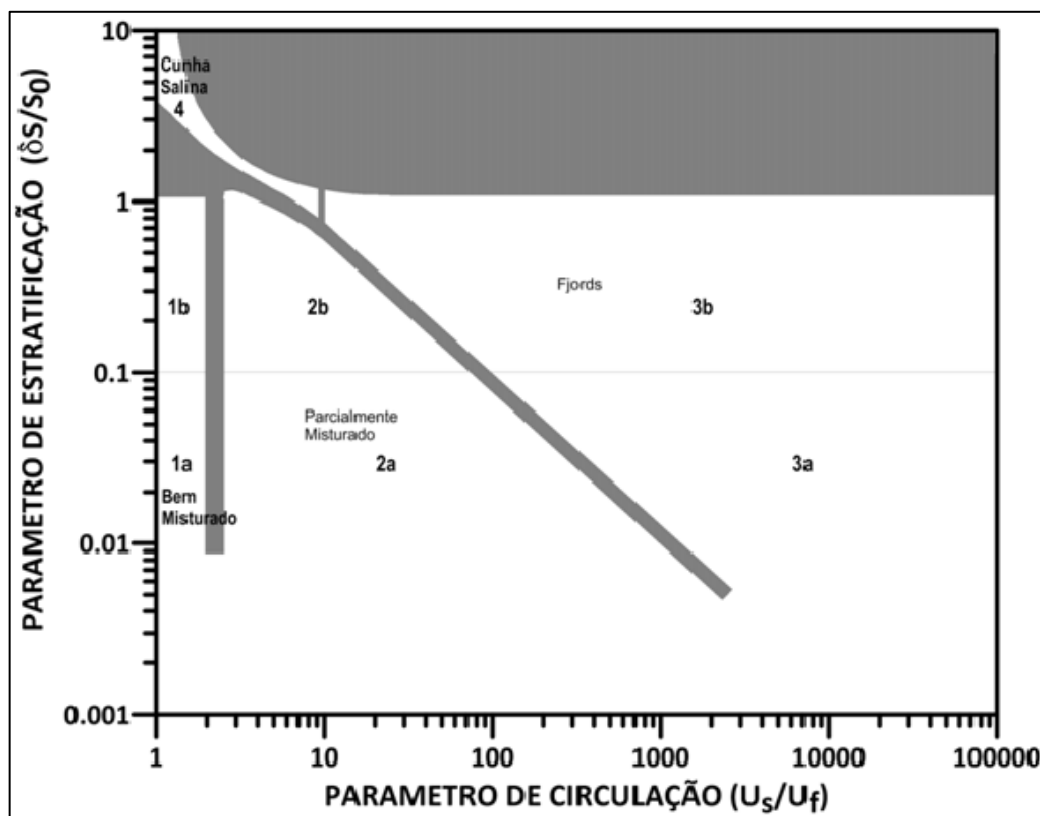


Figura 1. Diagrama de Hansen; Rattray (1966).

Nos estuários tipo 1, o fluxo residual (resultante) é estuário baixo em todas as profundidades, e o transporte de sal se dá estuário acima, pelo processo de difusão turbulenta. O subtipo 1a é referente aos estuários que são fracamente estratificados, análogos a estuários bem misturados, enquanto que o subtipo 1b apresenta estratificação tida como moderada, comuns quando há alta descarga fluvial.

Nos estuários tipo 2, o fluxo resultante tem relação inversa com a profundidade, e ambos os processos de advecção e difusão são fundamentais para o transporte de sal na direção estuário acima. Os subtipos 2a e 2b são correspondentes aos subtipos 1a e 1b.

Os estuários tipo 3 apresentam um transporte de sal estuário acima quase que exclusivamente por advecção. O subtipo 3a possui pequena estratificação salina na camada de fundo, enquanto que nos estuários de subtipo 3b a camada de fundo é tão profunda que a estratificação salina e a circulação não a alcançam, são geralmente do tipo fiordes.

Os estuários tipo 4 correspondentes aos estuários do tipo cunha salina e que apresentam uma estratificação salina máxima.

2.3 Cobertura Sedimentar e Transporte de Sedimentos

Os estuários desempenham um papel importante como elemento regulador da transferência de material derivado do intemperismo continental e aportado às regiões costeiras e oceânicas através dos rios. Em função das características de suas águas, sua morfologia e dinâmica, os estuários podem atuar como filtros, retendo sedimentos fluviais ou marinhos em seu interior, como exportadores, facilitando seu transporte até a costa/oceano, ou mesmo atuando como importadores, quando favorecem a entrada de sedimentos marinhos para seu interior.

Muito da dinâmica do estuário pode ser inferida a partir das características dos sedimentos nele depositados, uma vez que as diferentes condições e padrões de correntes tendem a selecionar diferentes tamanhos de grãos, à medida que conseguem suspendê-los, mantê-los em suspensão e move-los.

Dois métodos principais para caracterização textural dos sedimentos e aplicados aos sedimentos de áreas estuarinas e costeiras são os de Shepard (1954) e o de Pejrup (1988).

O mais antigo deles é o método de Shepard, que emprega um diagrama que leva seu nome para classificar os sedimentos de fundo de acordo com as proporções nele presentes de areia, silte e argila. É um diagrama ternário – uma forma de representação gráfica de um sistema de três componentes - quem soma 100%. Neste caso, os componentes são as porcentagens de areia, silte e argila que compreendem uma amostra de sedimento. Cada parcela de sedimento é plotada como um ponto no interior ou ao longo dos lados do diagrama, dependendo da sua composição granulométrica específica. Uma amostra composta inteiramente de um dos componentes, 100% de areia, por exemplo, cairia no vértice do mesmo nome. Um sedimento totalmente desprovido de um dos componentes cairia ao longo do lado oposto do triângulo àquele ápice. Em outros casos, de taxas variáveis, o ponto da amostra se localiza em algum lugar no meio do diagrama ternário.

Para classificar amostras de sedimento, Shepard (1954), subdividiu seu diagrama em 10 áreas, cada uma delas correspondendo a uma classe de sedimento: argila, argila arenosa, argila siltica, argila siltico-arenosa, areia argilosa, areia siltico-argilosa, silte argilo-arenoso,

silte argiloso, areia, areia siltica, silte arenoso e silte (Fig. 2). A classe argila, por exemplo, corresponderia a um sedimento contendo pelo menos 75% do tamanho de grãos de argila. Areia argilosa e silte arenoso não contêm mais do que 20% do tamanho de partículas de argila, e areia siltico-argilosa contém pelo menos 20% de cada um dos três componentes.

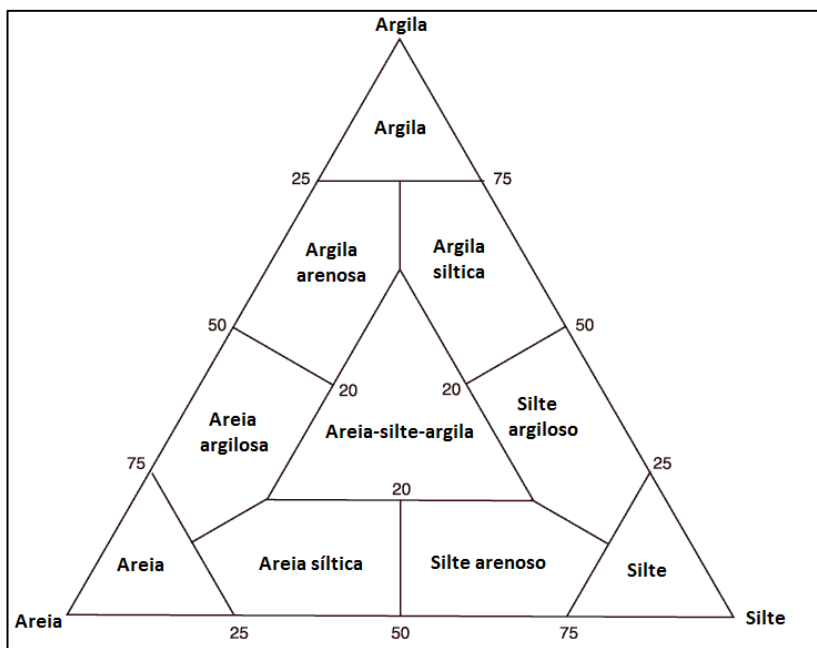


Figura 2. Diagrama de classificação textural de sedimentos de Shepard.

Posteriormente, a aplicabilidade do diagrama de Shepard na caracterização de sedimentos estuarinos foi questionada por Pejrup (CORRÊA, 2005) com base na grande proporção de argilas normalmente presentes nos mesmos. Em 1988, Pejrup sugeriu então um novo diagrama (Fig. 3), também ternário, mas que levava em conta a hidrodinâmica local durante o processo de deposição sedimentar. A relação entre a dinâmica local e a porção de sedimentos finos (silte ou argila) ou de areia vem se mostrando válida quando aplicada a ambientes estuarinos em trabalhos recentes nesta área.

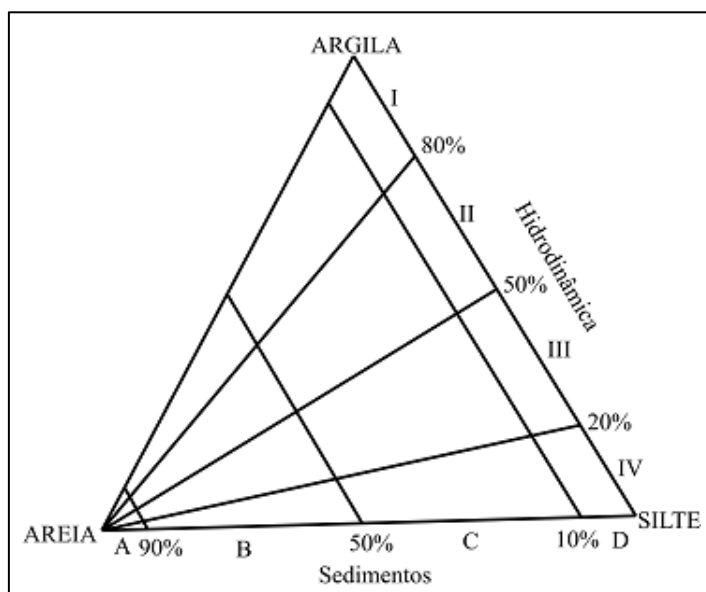


Figura 3. Diagramas de classificação textural de sedimentos de Pejrup. FONTE: CORRÊA (2005) - Modificado.

Amostras de sedimentos estuarinos que apresentam mais de 80% de argila são classificadas como oriundos de ambientes com hidrodinâmica baixa. Por proporção simétrica, a linha que corresponde a teor de 20% de argila caracteriza ambientes nos quais a energia é mais elevada. Sendo assim, este diagrama ternário é subdividido em 16 grupos nomeados por letras (A, B e C) e números (I, II, III, IV), que identificam diferentes condições hidrodinâmicas durante a deposição.

2.4 Estuários Amazônicos

A Região Hidrográfica Amazônica possui uma densa rede de drenagem que entrecorta uma vasta região geográfica com rios, canais e igarapés com grandes dimensões e variabilidade, e é constituída pela bacia hidrográfica do rio Amazonas, pelas bacias hidrográficas dos rios localizados na Ilha de Marajó e no estado do Amapá (MONTEIRO, 2009).

A região estuarina Amazônica é um ambiente altamente energético e complexo, que tem como principais forçantes hidrodinâmicas a intensa descarga fluvial da bacia hidrográfica Amazônica e a maré, que varia de meso a macro-maré, além de fatores climáticos, como a acentuada pluviosidade local e elevadas temperaturas, que se caracteriza como clima tropical-úmido. Estas forçantes possuem características particulares que exercem influência até aproximadamente 850 km à montante da foz (SILVA,2009).

De forma geral, os estuários amazônicos transportam elevada concentração de sedimento, tanto para a plataforma continental adjacente, como em sua trajetória, o que está relacionado com os processos de erosão, transporte e deposição ao longo de seus cursos (BRITO et al., 2009), bem como a sua característica granulométrica, na qual predomina a presença de sedimentos finos, como silte, argila e areia fina.

3. JUSTIFICATIVA

Os municípios principais, mais influentes e mais economicamente produtivos da Ilha de Marajó são Soure e Salvaterra, separados pelo rio Paracauari. A grande importância que este rio representa tanto para a comunidade que vive em suas margens quanto para a influência que o mesmo exerce no sistema hídrico da baía de Marajó e o número de pesquisas ainda reduzido neste expressivo rio se mostra incompatível com o interesse que ele desperta aos meios científico e social, reforçando a necessidade de ampliação dos conhecimentos para um melhor entendimento e gerenciamento da região.

O rio Paracauari é considerado um dos principais fatores que regulam a atual dinâmica costeira e que moldam a morfologia da costa nordeste da Ilha de Marajó (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2006). Ainda, proporciona um conjunto de condições físico-químicas que influencia diretamente no estabelecimento da biota local e comunidade de peixes e mamíferos aquáticos associados a esta área (MONTEIRO, 2009). Além dos municípios citados, o rio separa duas formações geomorfológicas: o Planalto Rebaixado da Amazônia (ou Planalto Costeiro) e a Planície Amazônica, com distintas compartimentação de relevo, geologia e litologia, gradiente costeiro e distribuição dos ecossistemas (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2006).

O conhecimento das características físicas deste ambiente contribui para a compreensão de seu funcionamento e de suas influências sobre outros corpos d'água, menores e maiores, como por exemplo, canais de maré localizados em suas proximidades e a baía de Marajó. A sazonalidade do seu padrão hidrodinâmico, de sua cobertura sedimentar e do transporte do sedimento em suspensão, são questões que serão levantadas e discutidas nesta pesquisa visando contribuir para a ampliação do conhecimento obtido em estudos anteriores e para a compreensão deste complexo ecossistema amazônico.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Caracterizar o funcionamento hidrodinâmico do trecho fluvio-estuarino do rio Paracauari e o aporte de sedimentos do mesmo para a baía de Marajó em função do ciclo de maré e do regime sazonal das chuvas na região.

4.2 Objetivos Específicos

Mais especificamente, a pesquisa visou:

- Levantar as características morfo-batimétricas do estuário do rio Paracauari;
- Caracterizar o padrão hidrodinâmico do estuário do rio Paracauari, em função do estágio de maré durante os períodos de estiagem e chuvoso;
- Mensurar a vazão fluvial do rio Paracauari e de seus dois principais rios afluentes, e analisar suas variabilidades sazonais em função do regime das chuvas na região;
- Estimar o aporte de material particulado em suspensão carregado pelo rio Paracauari para a baía de Marajó e investigar sua variabilidade sazonal;
- Caracterizar a cobertura sedimentar ao longo de uma seção próxima à foz do estuário do rio Paracauari e nas regiões de confluência com seus dois afluentes principais;
- Estimar a distribuição espacial e sazonal da salinidade e aporte da massa d'água marinha no sistema estuarino no Rio Paracauari;

5. HIPÓTESE DE TRABALHO

A região oriental da ilha de Marajó experimenta uma alta precipitação pluviométrica com marcada sazonalidade no regime das chuvas e está sujeita a um regime de meso a macromarés. Esses dois forçantes modulam o comportamento hidrodinâmico do sistema Paracauari e suas trocas com a baía de Marajó.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Área de Estudo

A lei nº 7.661/98 define as zonas costeiras como áreas de interação do ar, do mar e da terra. Como áreas de transição entre continente e oceano, estão sujeitas a contínuas alterações morfodinâmicas no espaço e no tempo (SILVA et al., 2004). Eventos em diferentes escalas temporais e espaciais, como oscilação do nível do mar, tectônica global e regional, e clima, somado a ação de forçantes energéticos e dinâmicos como ventos, ondas, correntes, maré e descarga hídrica e sólida de rios, fazem destas áreas, um ambiente altamente instável e vulnerável.

A Zona Costeira Paraense (ZCP) se estende por 1.200 km e ocupa uma área de 82.596,43 km². A mesma foi subdividida em três grandes setores (Fig. 4) em função de suas características naturais e socioeconômicas, a saber, (1) setor 1 ou costa Atlântica do salgado Paraense; (2) setor 2 ou insular estuarina, a qual está inserida a área de estudo desta pesquisa e (3) setor 3 ou costa continental estuarina (EL-ROBRINI et al., 2006).

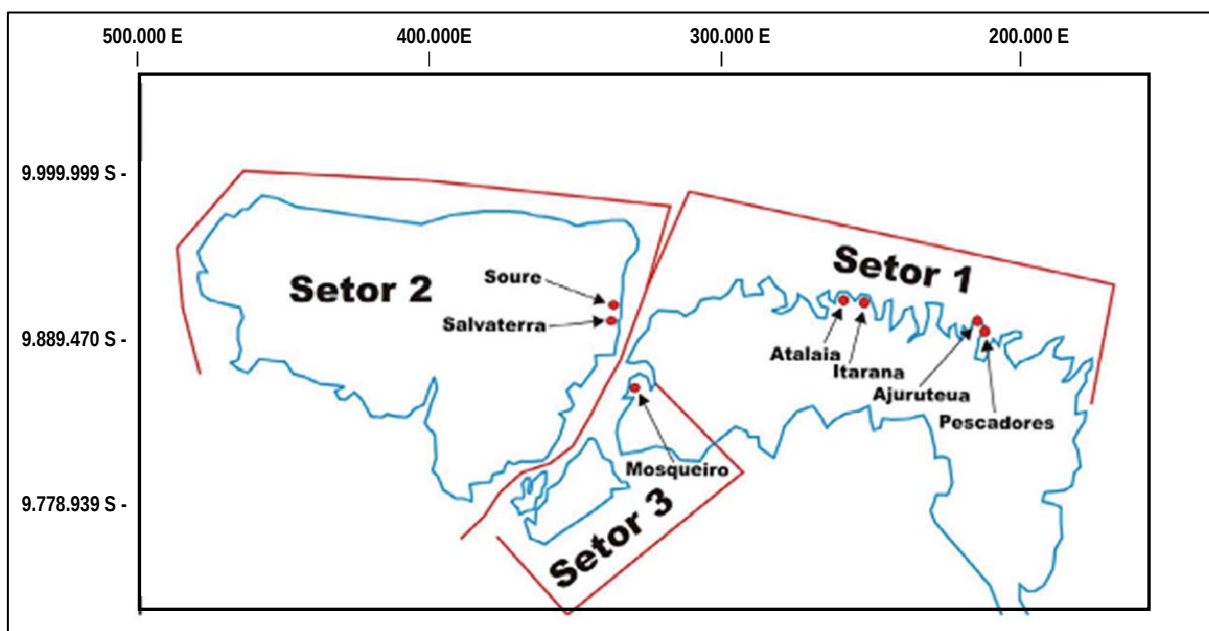


Figura 4. Setores da Zona Costeira Paraense (ZCP). FONTE: EL-ROBRINI et al. (2006).

A Ilha do Marajó faz parte do Arquipélago de Marajó e está localizada no extremo norte do estado do Pará, limitando a norte com o estado do Amapá e o oceano Atlântico; ao sul com o rio Pará; a leste com a baía de Marajó; e a oeste com o estado do Amapá (LIMA et al. 2005).

A área de estudo abrange o rio Paracauari desde sua confluência com os rios do Saco e Mangueiras até sua desembocadura na baía de Marajó (UTM 22M, 777319-768956 W; 9917154-9928449 S) e está localizada na margem leste da ilha de Marajó no estado do Pará, no setor 2, insular estuarino.

Os trabalhos foram conduzidos de forma a representarem a sazonalidade climática da região, com amostragens em julho/2011, durante o período de menor volume de precipitação (período de estiagem – junho a novembro) e em março/2012, durante o período de maior volume de precipitação (período chuvoso - dezembro a maio). Para cada uma das estações sazonais, as amostragens consideraram ainda a variabilidade ao longo do ciclo das marés.

Nos levantamentos consideraram-se três seções transversais à calha principal de cada rio, com a seção 1, próxima a foz do rio Paracauari; a seção 2 correspondendo à confluência com o rio do Saco, e a seção 3 na região de confluência com o rio Mangueiras (Fig. 5). Essas seções foram estabelecidas de forma a permitir conhecer as contribuições do sistema do rio Paracauari como um todo, desde os rios que o formam até sua foz, bem como investigar a influência dos rios do Saco e Mangueiras. Em cada uma das seções experimentais, foram estabelecidas três estações amostrais: uma no canal principal, ponto mais profundo da seção (CP), outra na margem direita (MD) e outra na esquerda (ME) para um observador que olha em direção ao mar e denominados pelo número da seção (1, 2 ou 3) seguidos das abreviações CP, MD ou ME, previamente apresentadas.

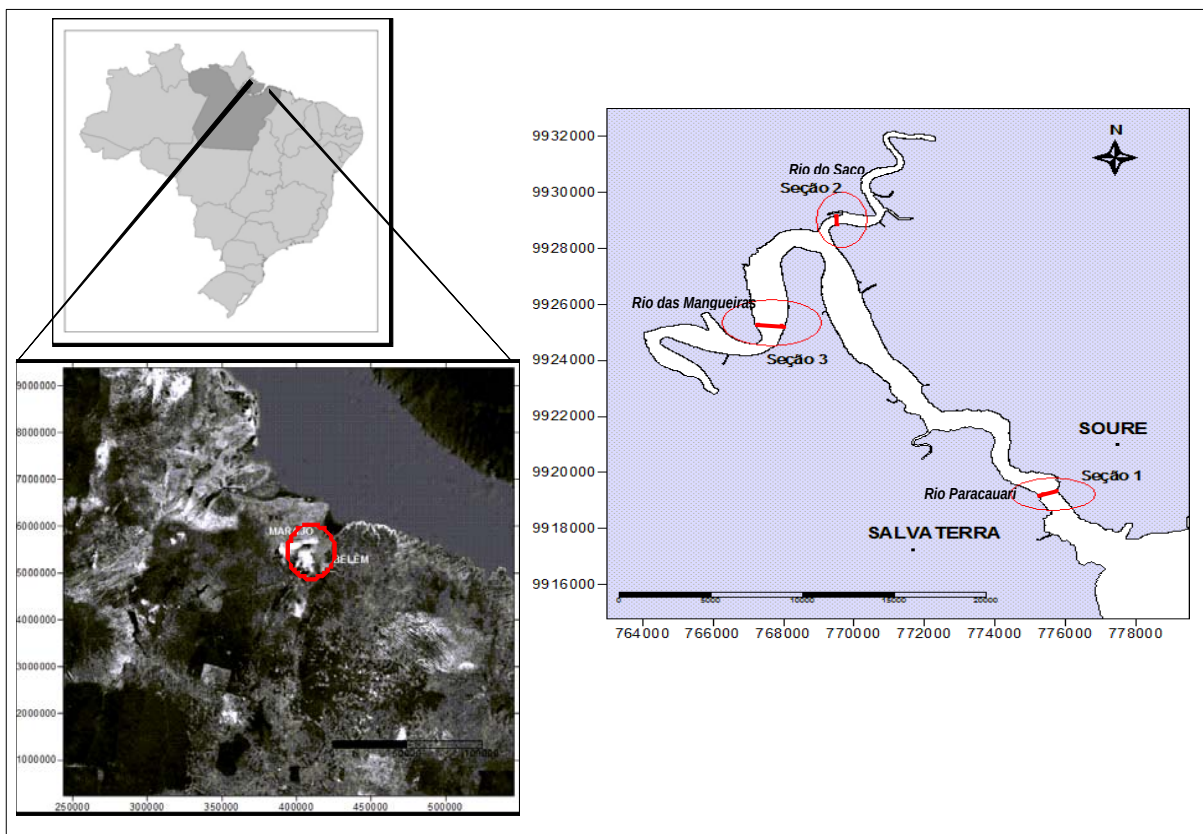


Figura 5. Vista geral da área de estudo com indicação das sessões amostrais nos rio Paracauari, do Saco e das Mangueiras.

6.2 Levantamento das Condições Climáticas e Meteorológicas

Registros da precipitação pluviométrica para os períodos de coleta (julho/2011 e março/2012) foram obtidos para a estação meteorológica de Soure (A227), mantida pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Esta estação é do tipo automática e está localizada no município de Salvaterra, na Ilha do Marajó (UTM 22M, 9910386,1; 776021,3E). Esses registros foram compilados e processados de forma a caracterizar as condições climáticas e meteorológicas representativas da região de estudo correspondente aos períodos de coleta, e utilizados na análise na interpretação dos dados de vazão, corrente, salinidade e descarga sólida obtidos em campo.

6.3 Levantamento Morfobatimétrico

Um levantamento batimétrico da área de estudo foi realizado em julho/2011 e março/2012. As sondagens foram realizadas seguindo uma malha amostral de 202 perfis, espaçados em 100 m entre linhas de sondagem, empregando-se um ecobatímetro GARMIN 520s (Fig. 6), com o transdutor fixado a uma embarcação de 4m de comprimento, 0,5 m abaixo da linha d'água.

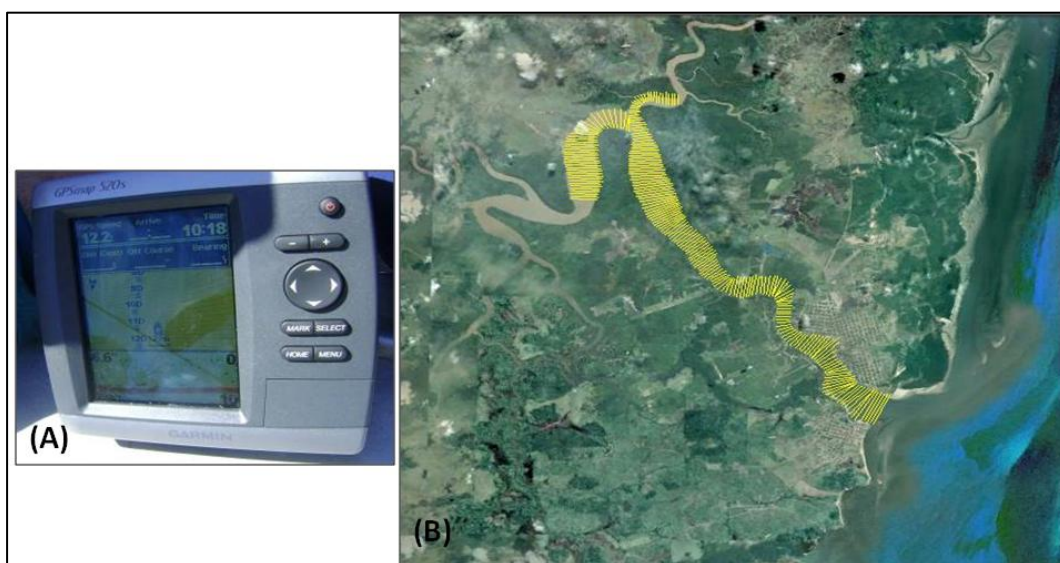


Figura 6. Sonda GARMIN 520s utilizada para o levantamento batimétrico (A); Malha da sondagem batimétrica (B).

Os registros batimétricos obtidos foram posteriormente tratados para correção da profundidade do transdutor e reduzidos ao nível de maré baixa, com base em registros da oscilação do nível das marés, obtidos simultaneamente às sondagens batimétricas, por dois sensores de pressão Infinity ATU75W-USB (Fig. 7) instalados sobre o leito do rio, um próximo à foz do rio Paracauari e outro na confluência dos rios do Saco e Mangueiras (Fig. 8). As sondagens assim reduzidas foram então empregadas na geração de uma malha interpolada pelo método “krigging” e de um mapa batimétrico da área.



Figura 7. Sensores de pressão utilizados na obtenção dos registros de variação de nível.

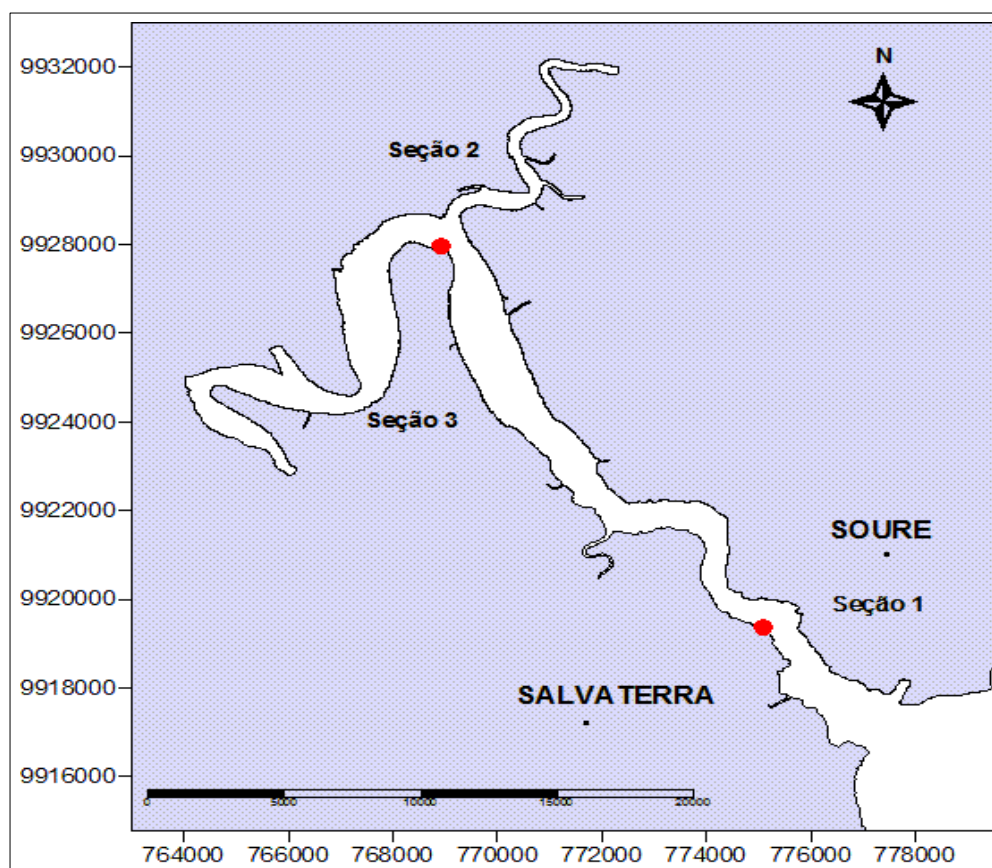


Figura 8. Pontos de instalação dos sensores de pressão.

6.4 Levantamento Hidrológico

Foram realizados perfis verticais com uso de um perfilador CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*) SeaBird SBE37 em cada seção (seções 1, 2 e 3) e estação amostral (MD, CP e ME) desde a superfície até o fundo (Fig.9), obtidos ao longo de um ciclo de maré de sizígia, a intervalo horário, durante os períodos de estiagem (28-30 de julho/2011) e chuvoso (21-23 de março/2012).

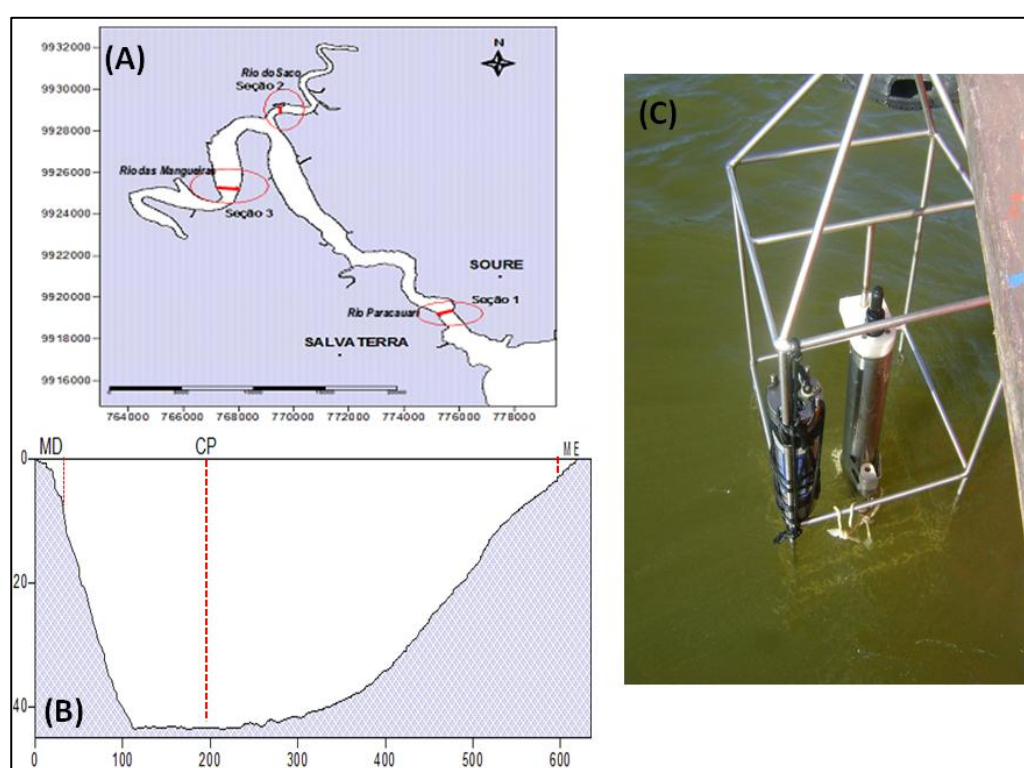


Figura 9. Seções amostradas (A); Pontos amostrados em cada seção (B); CTD modelo *SeaBird SBE 37* utilizado nas coletas com sensor OBS acoplado (C).

Em laboratório os registros obtidos foram transferidos para micro-computador, filtrados, reduzidos, editados (eliminação de dados fora d'água, dados faltosos, etc.) e arquivados em formato padrão, em preparação para sua análise.

6.5 Turbidez e Sólidos Totais em Suspensão (STS)

Para a determinação da concentração de sólidos totais em suspensão, foram coletadas amostras de um litro de água à superfície e próximo ao fundo, em cada um dos três pontos de cada uma das as três seções amostrais, durante os estágios de preamar e de baixa-mar, nos períodos de estiagem e chuvoso, com uso de uma garrafa tipo Van Dorn. As amostras obtidas foram transferidas para garrafas plásticas devidamente identificadas e transportadas para o Laboratório de Análises Físico-Químicas do Instituto Evandro Chagas (IEC), de Belém, PA, para processamento.

Em laboratório, volumes conhecidos das amostras foram filtrados através filtros membranas em celulose, com porosidade nominal de 0,45 μm , previamente secos e pesados em balança analítica de precisão. Os filtros foram então novamente secos em estufa a 100°C e pesados. A concentração de STS foi determinada pela diferença de pesos após e antes a filtração, relativa ao volume filtrado.

Simultaneamente às coletas de amostras de água para determinação de STS, registros da turbidez foram obtidos com dois sensores Infinity-turbi ATU75W-USB um acoplado ao CTD (Fig.9), e outro acoplado à garrafa coletora de água. Esses sensores são calibrados e através de um algoritmo interno, relacionam a quantidade de luz dispersa e absorvida pela água com as concentrações equivalentes de partículas de Caulim onde (1 unidade de turbidez = 1 mg.L-1 Caulim).

Os dados fornecidos por ambas as sondas foram tabelados, processados e apresentados em gráficos para análise de sua distribuição espacial e temporal, bem como comparação com os valores de STS obtidos por filtração.

6.6 Vazão Fluvial e Regime das Correntes de Maré

Registros da intensidade e direção das correntes foram obtidos por meio de um perfilador ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) operando a 600 MHz, com células de leitura a cada 0,5 m e sua bússola configurada para o norte magnético, interligado a um GPS, para a determinação da descarga fluvial através das seções amostrais. Os levantamentos foram realizados em julho/2011 e março/2012 com medições transversais contínuas (de margem a margem) ao longo de um ciclo de maré de sizígia.

As campanhas foram realizadas a bordo de embarcação de madeira típica amazônica com aproximadamente 3,5 m de comprimento e 1,5 m de calado, tendo o sensor do instrumento sido fixado a ela por meio de uma haste metálica (Fig. 10).



Figura 10. Perfilado ADCP acoplado à embarcação.

Em laboratório, os registros obtidos foram transferidos para um computador e processados com uso do software WinRiver© II, para os cálculos das vazões através das seções amostrais e para derivar informações sobre intensidade e direção das correntes de maré ao longo da coluna d'água.

Para calcular os dados de vazão líquida, ou seja, estimar o sentido do fluxo e quantificar o volume de água transferido entre a baía de Marajó, o rio Paracauari e os rios do Saco e Mangueiras ao final de um ciclo de maré, foram somados os valores de vazão negativa (direção à montante – rio acima) e os de vazão positiva (direção à foz – rio abaixo), estes dois totais foram subtraídos entre si, o valor resultante correspondeu à vazão líquida em um ciclo de maré. Para este cálculo, foram utilizados os dados de vazão reais, e não os interpolados, com exceção do rio Mangueiras no período chuvoso em decorrência de um imprevisto em campo que nos impediu de completar as 13 horas de medição.

Para um maior detalhamento do comportamento das correntes no sistema, valores médios e interpolados das componentes transversal ($\bar{u}$) e longitudinal ($\bar{v}$) da velocidade de corrente de cada transecto realizado com o ADCP nas seções amostrais foram obtidos, empregando-se rotinas. Selecionou-se então para cada período sazonal e seção amostral, aqueles correspondentes às vazões máximas de descarga (pico de vazante) e de carga (pico de enchente) do sistema, e ao momento de descarga mínima, geralmente durante o estofo de baixa-mar ou de preamar. Foram analisados os dados ao longo de cada seção, em suas margens e canal principal bem como ao longo da coluna d'água em cada um desses pontos.

6.7 Caracterização da Cobertura Sedimentar

Amostras dos primeiros 20 cm da cobertura sedimentar foram obtidas durante os períodos de estiagem (julho/2011) e chuvoso (março/2012) em cada ponto amostral (MD, CP e ME) das seções (seções 1 a 3) com uso de uma draga tipo Petersen (Fig. 11).

As amostras (cerca de 1 kg) coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e transportadas para o Laboratório Institucional de Oceanografia Geológica (LIOG - UFPA) onde foram lavadas com água destilada para eliminação de sais e secas em estufa a peso constante. Em seguida, alíquotas de cerca de 100g dessas amostras foram desagregadas em almofariz de porcelana com utilização de um pistilo com proteção de borracha, lavadas com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) até completa eliminação da matéria orgânica e novamente lavadas com água destilada por três vezes, em preparação para as análises granulométricas.

Os tamanhos dos grãos componentes de cada amostra foram determinados por difração a laser, com uso de um analisador de partículas a laser Shimadzu SALD-2201 (Fig. 12) do Laboratório de Oceanografia Química (LOQ) da Universidade Federal do Pará.

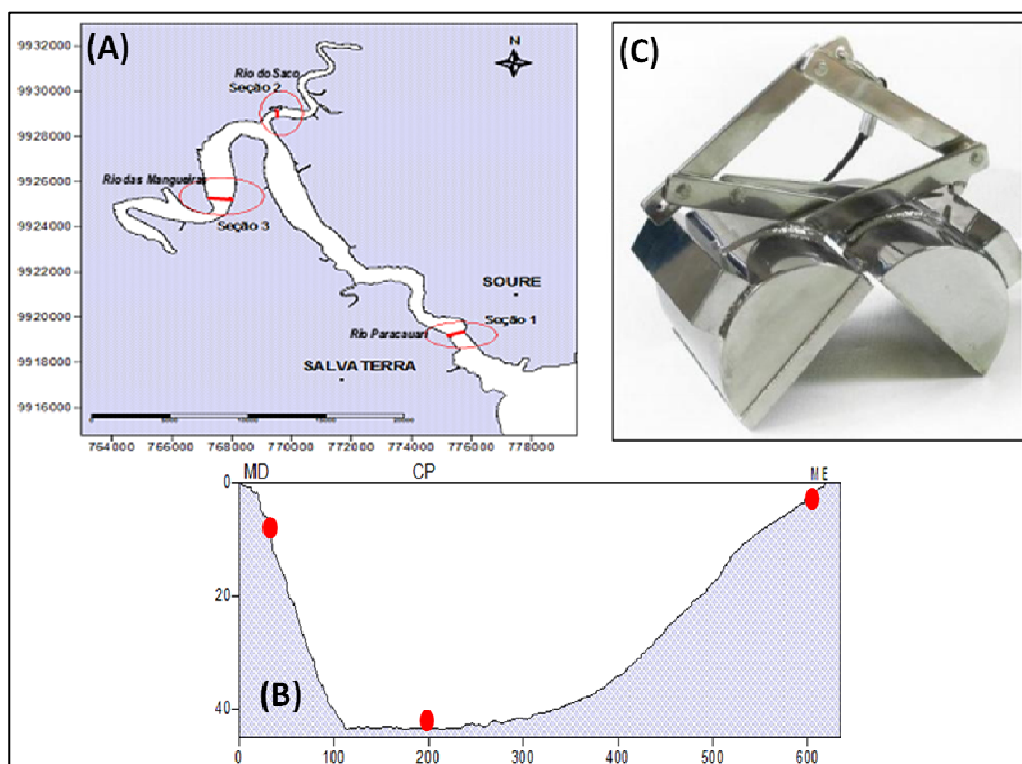


Figura 11. Seções amostradas (A); Pontos amostrados em cada seção (B); Draga tipo Petersen utilizada nas coletas de sedimento (C).



Figura 12. Analisador de partículas a laser Shimadzu SALD-2201.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Condições Climáticas e Meteorológicas

A ilha de Marajó apresenta climas distintos em suas porções este e oeste. Na porção leste da ilha, onde esta inserida a área de estudo, o clima é tropical úmido de monção, do subtipo “Am” (Fig. 13) de acordo com o sistema de classificação climática de Köppen, apresentando temperatura média anual de 27,3° C e pluviosidade anual superior a 3.000 mm (MARTORANO et al. 1993).

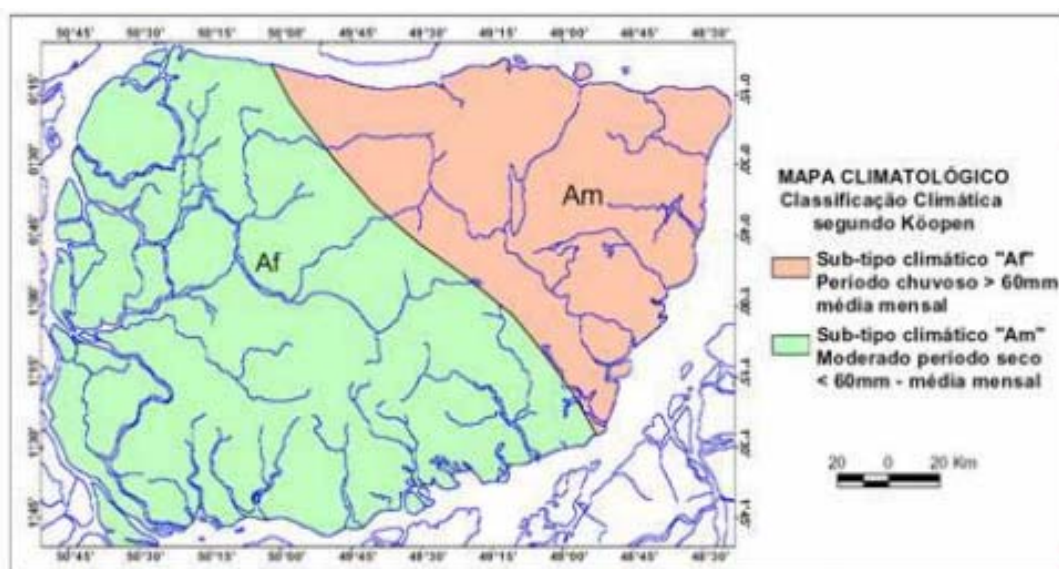


Figura 13. Classificação climatológica da ilha de Marajó. FONTE: LIMA et al. (2005).

7.1.1 Precipitação Pluviométrica

Dois períodos sazonais de precipitação pluviométrica são descritos para a região um período mais chuvoso compreendido entre os meses de dezembro a maio e outro menos chuvoso entres os meses de junho a novembro (LIMA et al., 2005). Entre as duas estações ocorre um período de transição em que pode haver retardo ou antecipação das chuvas com maior ou menor intensidade.

O ano de 2011 apresentou um comportamento próximo ao da normal climática com um volume anual de chuvas de 3.298 mm (Fig. 14). O mês com maior volume de chuva foi janeiro (667 mm) e o menor, setembro (15 mm). As amostragens representativas do período

de estiagem foram realizadas de 28 a 30 de julho/2011 quando a precipitação acumulada do mês foi de 132 mm; sem ocorrência de chuvas nos dias específicos das amostragens (Fig. 15).

No ano de 2012 (Fig. 14) o mês de maior precipitação pluviométrica ocorreu em março (884 mm), mês em que foram realizadas as amostragens representativas do período chuvoso. Neste ano não choveu nos meses de janeiro, outubro, novembro e dezembro. No período específico das amostragens (21 a 23 de março) o volume diário médio de chuvas foi de 15 mm (Fig. 15).

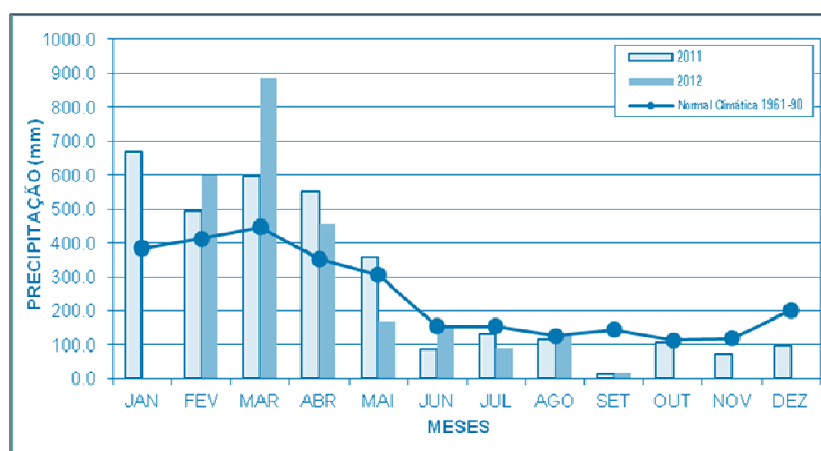


Figura 14. Chuva mensal acumulada para os meses de coleta X Normal Climatológica. Dados extraídos do INMET.

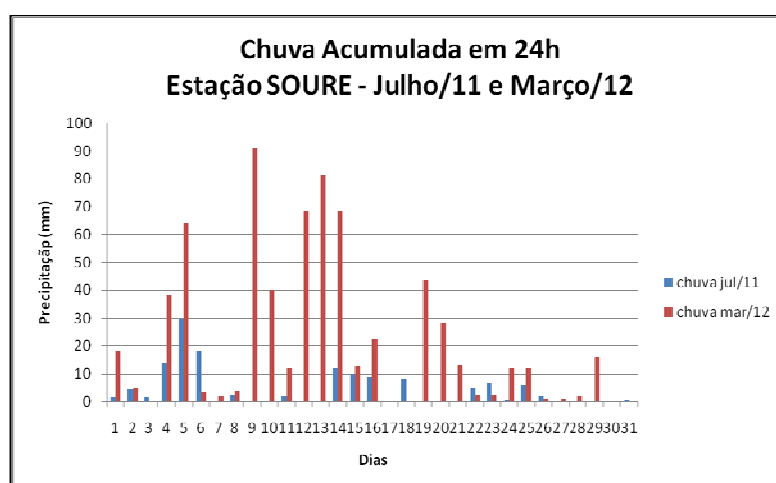


Figura 15. Chuva acumulada diária nos meses de coleta. Dados extraídos do INMET.

7.2 Aspectos Fisiográficos e Batimétricos

A Ilha do Marajó insere-se num contexto estuarino desde o Mioceno até o presente. O arranjo estratigráfico e a constituição litológica da Ilha estão ligados à história sedimentar da bacia da foz do rio Amazonas e à influência dos estuários do Amazonas, a oeste, e do Pará-Tocantins, a leste (FRANÇA, 2003). A estratigrafia Cenozóica da Bacia Sedimentar do Marajó é composta pelos grupos Pirabas (Oligoceno Superior ao Mioceno Inferior), Barreiras (Mioceno Médio ao Superior) e Pós-Barreiras (Plioceno Superior ao Holoceno Inferior) (ROSSETI, 2001).

O Grupo Barreiras/Pós-Barreiras constitui o Planalto Rebaixado da Amazônia e aflora na costa sudeste da Ilha de Marajó, ao sul da foz do rio Paracauari, formando falésias de até 20m de altura. Ao norte desta foz, os afloramentos diminuem de altura e desaparecem sob os sedimentos (FRANZINELLI, 1990 apud. FRANÇA, 2003).

As costas de Soure e Salvaterra (Fig. 17) diferem entre si na compartimentação do relevo, na geologia e litologia, no gradiente costeiro e na distribuição dos ecossistemas, onde se observa duas principais unidades morfológicas: Planalto Costeiro e Planície Costeira (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2006).

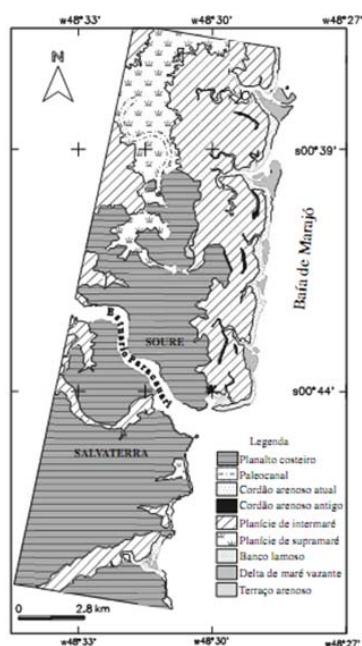


Figura 16. Mapa morfológico da zona costeira dos municípios de Soure e Salvaterra. FONTE: FRANÇA; SOUZA FILHO (2006).

O Planalto Costeiro apresenta topografia que varia de 5 a 20m acima do nível do mar, formado por sedimentos do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras, que dão origem a falésias ativas quando sofrem solapamento pela ação das ondas. Na base destas falésias, encontram-se praias estreitas, de estirâncio que varia entre 33 e 85,7m (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2003), a exemplo da Praia Grande, em Salvaterra. Seu limite com a Planície Costeira, na parte interna da ilha, caracteriza-se por desníveis topográficos de baixo gradiente ou por pequenas falésias inativas de 0,5 a 1,5m de altura.

A Planície Costeira não possui relevo superior a 5 m e se limita na zona de influencia da maré. É constituída por sedimentos lamosos e arenosos depositados por processos flúvio-marinhos e eólicos durante o Holoceno em condições de progradação da linha de costa e regressão ou estabilidade do nível do mar (SOUZA FILHO, 1995; 2000). De acordo com FRANÇA; SOUZA FILHO (2006), esta unidade apresenta ambientes de planície de maré, manguezal, cordão de praia e dunas.

Os ambientes deposicionais presentes na Planície Costeira são representados por: terraços arenosos, planície lamosa de supramaré recoberta por campos, planície lamosa de intermaré recoberta por manguezais, cordões arenosos antigos (cheniers), cordões arenosos de dunas e praias atuais, canais de maré e deltas de maré vazante, segundo estudos de FRANÇA, (2003) e FRANÇA; SOUZA FILHO (2006).

Na área de estudo, as praias estendem-se pela porção oriental da Planície Costeira, sob a dinâmica da baía de Marajó e do estuário do rio Paracauari. O posicionamento espacial das praias e suas características obedecem a um possível controle estrutural e às diferenças fisiográficas entre as costas de Soure e Salvaterra. Atualmente, na costa sul de Soure ocorre uma maior deposição de sedimentos lamosos promovendo uma progradação de manguezais. Na parte oriental de Soure e nas falésias de Salvaterra apresenta maior retrogradação costeira. Na área oriental de Soure ocorre recuo de praia com migração de depósitos de praia e duna sobre manguezais, formação de terraços, e migração de canais. Em Salvaterra, as falésias sofrem processo de solapamento e desmoronamento pela ação das ondas, constituindo plataformas de abrasão de lateritas que indicam a retrogradação do Planalto Costeiro, que forma escarpas de até 6 m (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2003).

A bacia de drenagem do Paracauari ocupa uma área de 608 km². O curso do Paracauari é caracterizado como altamente meandrante, especialmente em seu canal principal, e seu possui desvios classificados como moderados (SOUZA; ROSSETTI, 2009).

A área de estudo prospectada apresenta profundidades que variam entre 3 até 50 m. Seu trecho mais profundo corresponde àquele entre a região dos portos dos municípios de Soure e Salvaterra e na região de sua desembocadura no rio Pará (Fig. 17).

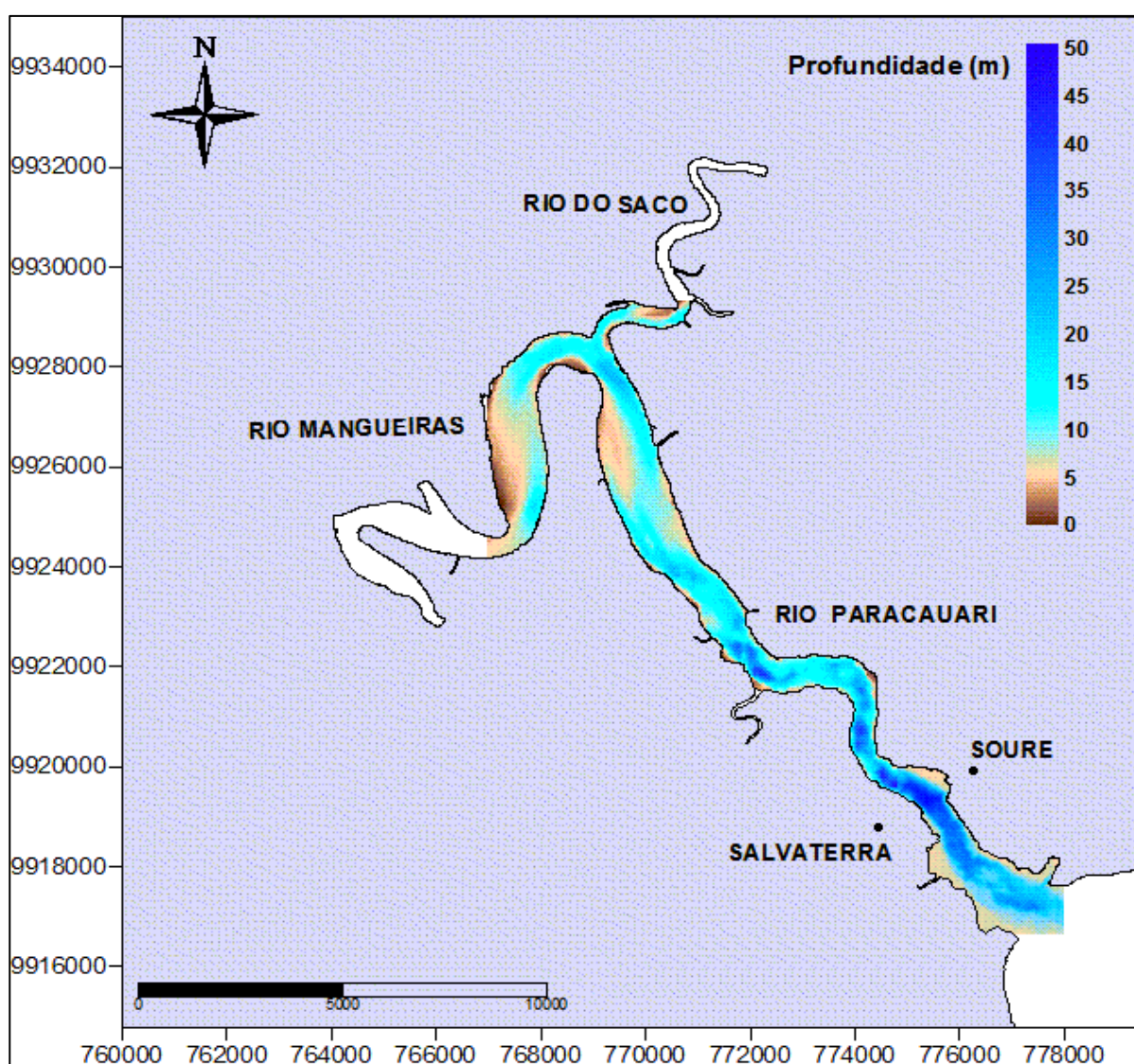


Figura 17. Configuração morfobatimétrica da área de estudo.

No trecho abrangido pelo levantamento morfobatimétrico, o rio das Mangueiras apresentou-se como o mais raso, com profundidade máxima em torno de 12 m e apresentando bosques de mangue ao longo de sua margem esquerda e extensas áreas que são emersas nas baixa-mares, configurando um ambiente de planície lamosa. No rio do Saco, os registros das sondagens indicaram profundidades de 2 a 15 m, também com ocorrência de bancos rasos e bosques de mangue ao longo de suas margens.

A zona mais profunda prospectada correspondeu a região da foz do rio Paracauari, com profundidade de 26 a 50 m. A morfobatimetria da calha do rio sugere uma orientação de NW-SE, porém sua confirmação com um levantamento sísmico se faz necessária. Estudos anteriores indicam que os canais fluviais na Amazônia possuem controle estrutural e, especialmente na região leste do Marajó, ocorrem orientações NW-SE, NE-SW, E-W a ENE-WSW que podem ser atribuídas às falhas tectônicas normais e transcorrentes (ROSSETTI et al., 2008; MANTELLI;ROSSETTI, 2009).

7.3 Caracterização Hidrológica

As marés estão dentre os forçantes que controlam a hidrodinâmica de sistemas estuarinos, condicionando seu padrão de circulação e o transporte e balanço local de sedimentos. As marés em Soure são semidiurnas ($F=0.13$) com uma altura média de sizígia de 3,86 m e altura média de quadratura de 2,19 m e ciclos simétricos de enchente e vazante com duração de seis horas cada (BEZERRA et al., 2011).

As análises dos parâmetros físico-químicos da água e sua distribuição são de fundamental importância para a caracterização da qualidade da água que entra no sistema tanto proveniente do rio quanto da baía e como as diferentes propriedades destas interagem e modificam o sistema da baía do Marajó. As distribuições espaciais da salinidade nas seções amostrais 1, 2 e 3 para os períodos de estiagem e chuvoso ao longo do ciclo das marés são apresentadas, respectivamente, nas figuras 18 a 20 e 21 a 23.

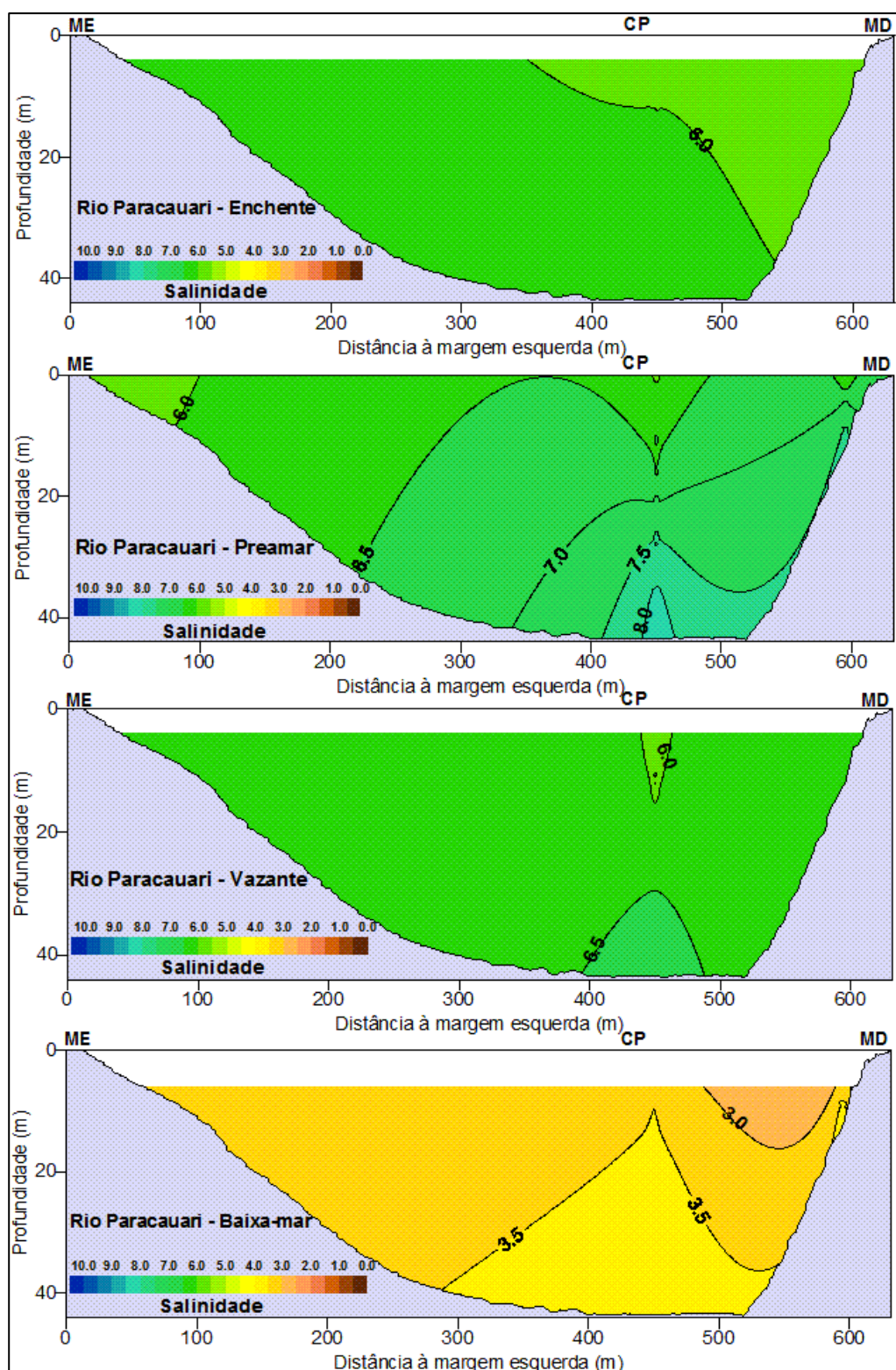


Figura 18. Distribuição espacial da salinidade a seção 1 (rio Paracauari) nos estágios de enchente, preamar, vazante e baixa-mar, durante o período de estiagem.

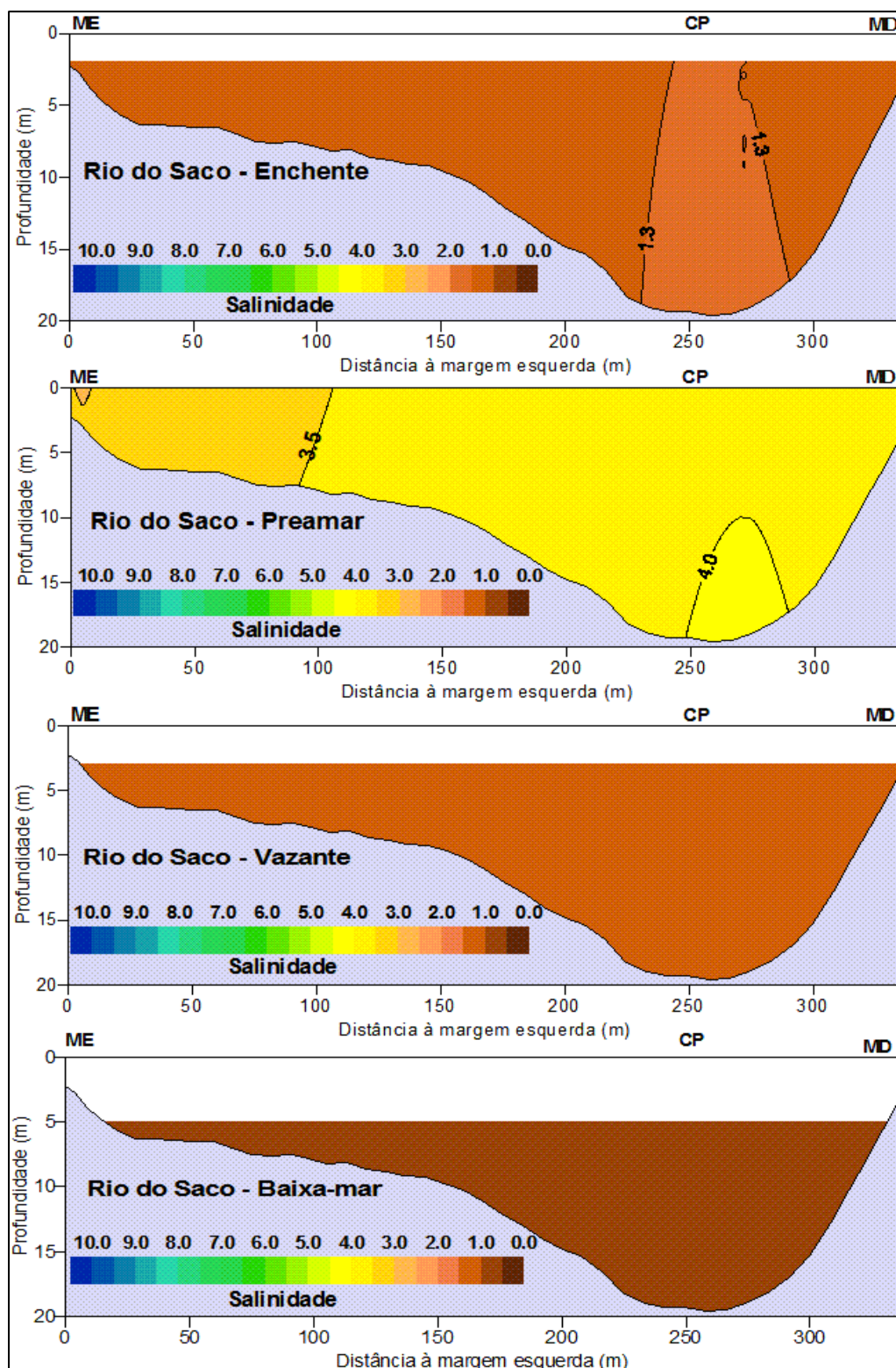


Figura 19. Distribuição espacial da salinidade a seção 2 (rio do Saco) nos estágios de enchente, preamar, vazante e baixa-mar, durante o período de estiagem.

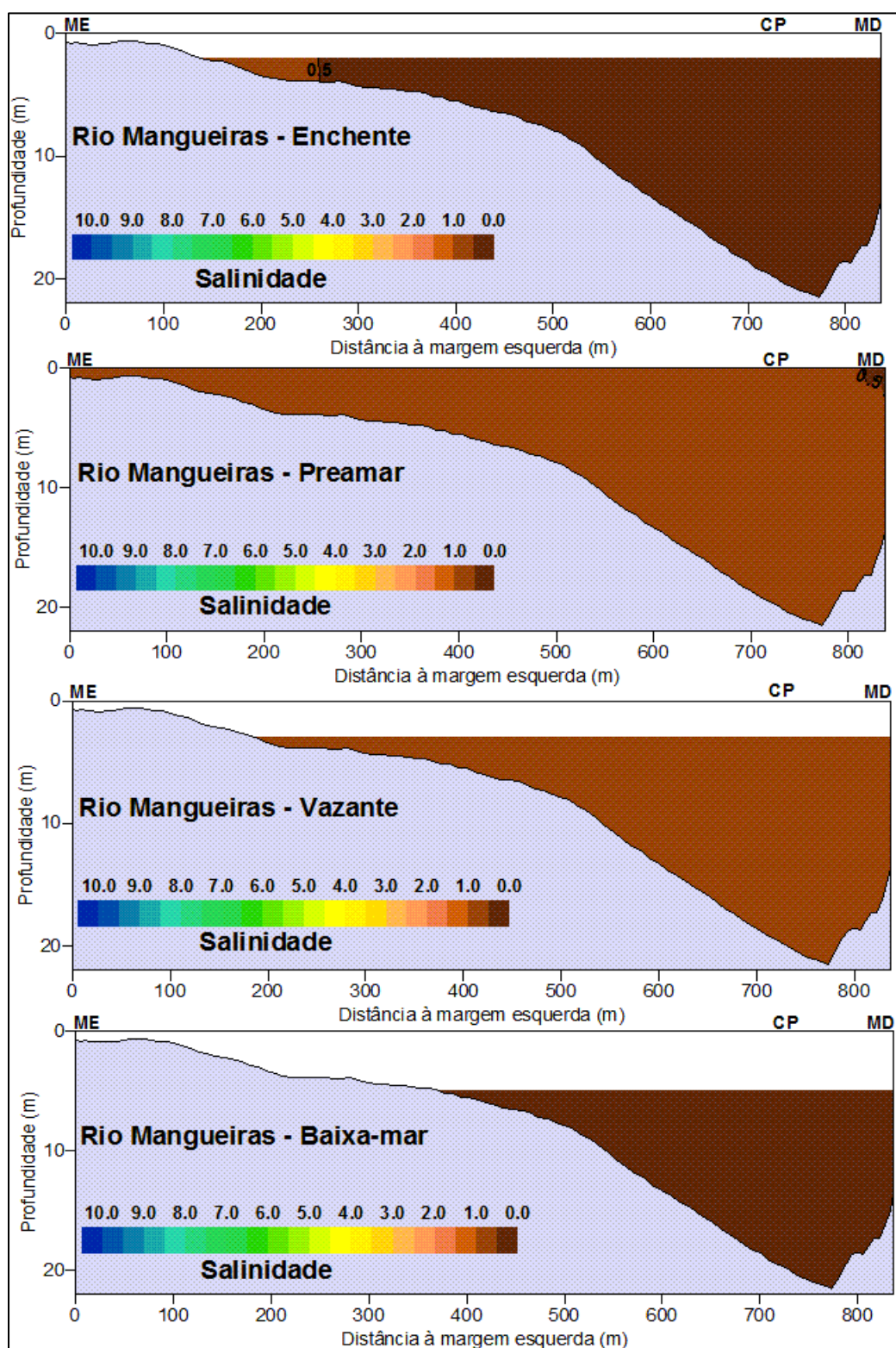


Figura 20. Distribuição espacial da salinidade a seção 3 (rio das Mangueiras) nos estágios de enchente, preamar, vazante e baixa-mar, durante o período de estiagem.

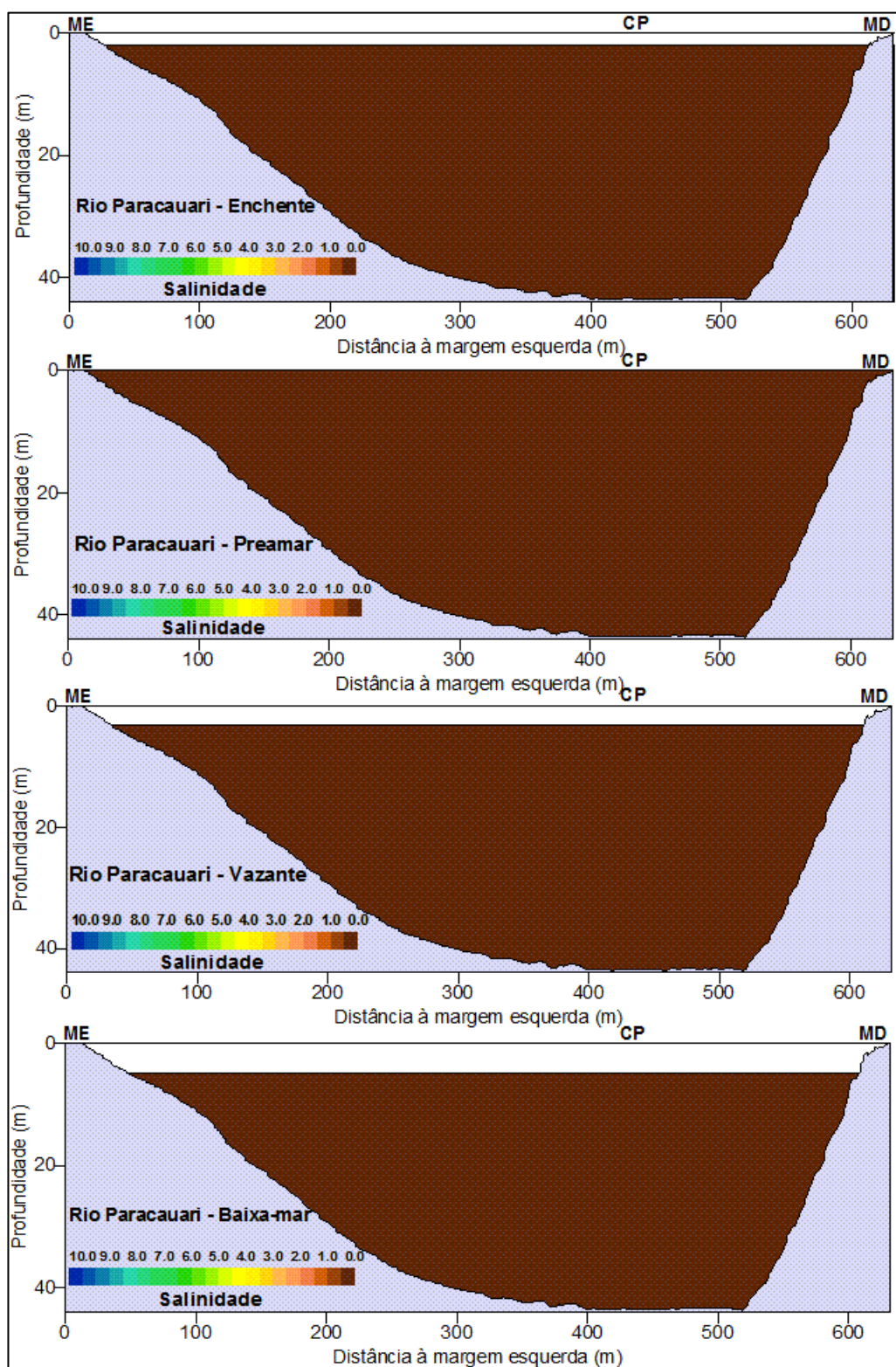


Figura 21. Distribuição espacial da salinidade a seção 1 (rio Paracauari) nos estágios de enchente, preamar, vazante e baixa-mar, durante o período chuvoso.

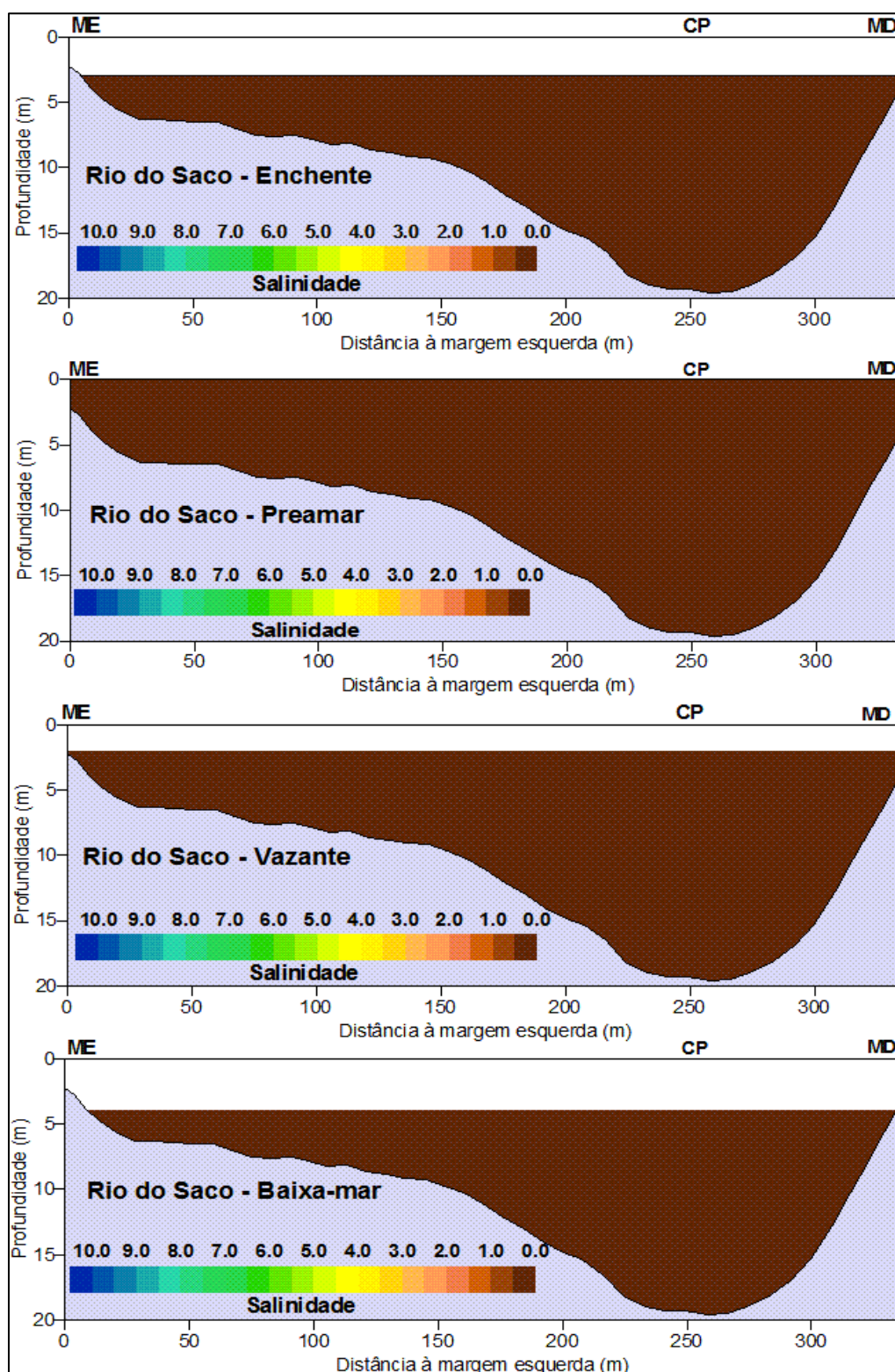


Figura 22. Distribuição espacial da salinidade a seção 2 (rio do Saco) nos estágios de enchente, preamar, vazante e baixa-mar, durante o período chuvoso.

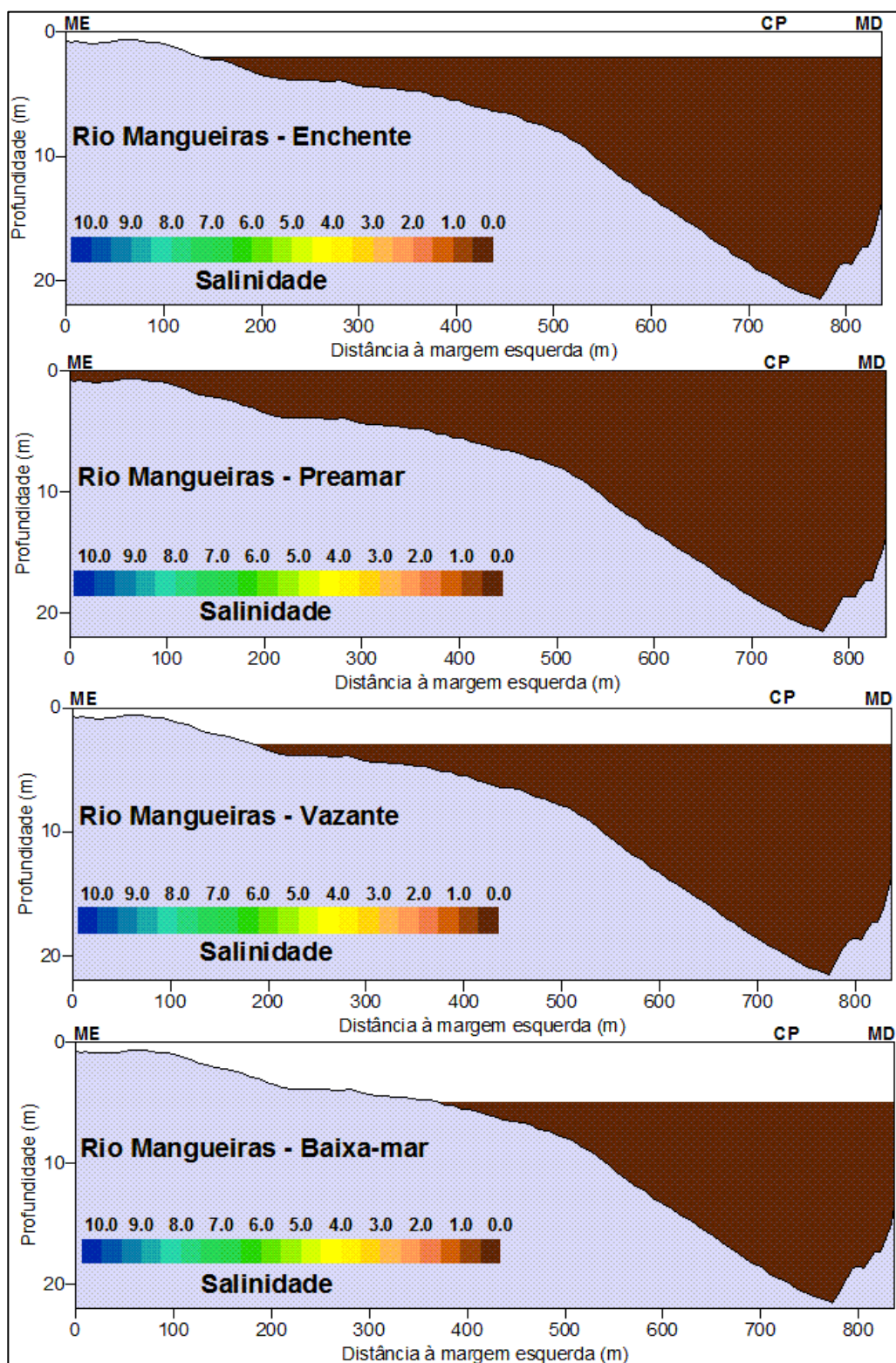


Figura 23. Distribuição espacial da salinidade a seção 3 (rio das Mangueiras) nos estágios de enchente, preamar, vazante e baixa-mar, durante o período chuvoso.

Durante o período de estiagem, à foz do Paracauari (seção 1) a salinidade varia de 3,0 a 8,0 ao longo do ciclo das marés (Fig. 18). A coluna d'água apresenta-se bem misturada com as maiores salinidades (7,0 a 8,0) sendo observadas próximo ao fundo na região do canal principal, durante a preamar, e as salinidades mais reduzidas (3,0 a 3,5) durante a baixa-mar. Nos estágios de enchente e vazante, quando as correntes são mais intensas, toda a seção acha-se lateralmente homogênea, em contraste com uma pequena estratificação lateral nos estágios de preamar e baixa-mar (Fig. 18).

No período de estiagem a influencia salina alcança a seção 2, na região de confluência com o rio do Saco (Fig. 19). Nesta seção, a salinidade varia de 1 a 4 ao longo do ciclo das marés com as maiores salinidades sendo observadas durante as preamares e as menores, durante as baixa-mares.

Ainda no período de estiagem, a influencia de águas marinhas à seção 3 (rio Mangueiras) é bastante reduzida, com salinidades de 1,0 a 1,5 durante os estágios de preamar e vazante, e predominância de salinidades inferiores a 1,0 nos estágios de vazante e baixa-mar (Fig. 20)

No período chuvoso, o sistema apresenta-se homogêneo lateralmente e em profundidade e dominado pelas descargas da drenagem fluvial, com salinidades próximas a zero e sempre inferiores a 0,4 em toda a área de estudo, independentemente do estágio do ciclo das marés (Fig. 21 a 23). É importante também considerar que o rio Paracauari não deságua diretamente no oceano, mas sim na baía de Marajó, foz do rio Pará, que configura um corpo d'água estuarino onde a água marinha é diluída pela drenagem da bacia do rio Pará, cujo volume drenado é elevado, particularmente no período chuvoso.

A configuração de concentração da água mais salina na região próxima ao fundo, principalmente no canal principal, é comum em ambientes estuarinos, tendo sido observado nas três seções estudadas, especialmente no período de estiagem, quando a intrusão da água marinha foi maior. Isto acontece pela maior densidade da água de maior salinidade, comparada à massa d'água proveniente da drenagem continental que corre pela camada superficial da coluna d'água, por ser menos densa (MIRANDA et al., 2002).

A diferença sazonal da salinidade demonstra valores mais elevados no período de estiagem e próximos a zero durante o período chuvoso, quando a influência da água proveniente da drenagem da bacia do Paracauari é maior em relação à água marinha, padrão inverso ao observado no período de estiagem. Pesquisas corroboram esta afirmação quando apontam que a resposta da salinidade à mudança da descarga fluvial é quase imediata. Este fato demonstra a diferença na penetração da água marinha no sistema estuarino, que está intimamente relacionado ao regime de chuvas e à sazonalidade da descarga fluvial, decorrente deste balanço de forças entre a onda de maré e a vazão do rio (BLANTON et al., 2001).

Pesquisas anteriores indicaram que durante o período de estiagem a salinidade do rio Paracauari, decresce da sua foz em direção a sua montante, com valores que variaram de 3,6 a 7,5 valores bastante próximos aos obtidos nesta pesquisa, e que no, período chuvoso, a tendência inversa era observada, com aumento da salinidade em direção à montante (MONTEIRO, 2009), fato também comprovado no presente levantamento, embora os valores de salinidade fossem bem reduzidos (0,1 a 0,3).

Esta configuração acontece porque durante o período mais chuvoso e aumento do nível d'água do rio, as áreas de várzea e mangue, existentes na região à montante do estuário do rio Paracauari, são alagadas e ocorre exportação dos sais presentes nestas regiões em direção ao rio, elucidando a importância que a vegetação da várzea e áreas alagáveis representam para o equilíbrio de sais neste sistema, especialmente durante o período de maior pluviosidade, maior vazão do rio e menor influência da água salina marinha (MONTEIRO, 2009).

7.4 Turbidez e Sólidos Totais em Suspensão (STS)

Os registros de turbidez obtidos com o sensor óptico acoplado ao CTD foram empregados na geração dos valores médios, máximos e mínimos para as seções 1 a 3 (Tabela 1) e das distribuições espaciais nessas seções, para os estágios de preamar e baixa-mar durante os períodos de estiagem e chuvoso e são apresentadas, respectivamente nas figuras 24 a 25.

Tabela 1. Turbidez média, mínima e máxima (ppm equivalente) às seções 1, 2 e 3, durante os estágios de baixa-mar e preamar nos períodos de estiagem e chuvoso.

PERÍODO	LOCAL	ESTAGIO DE MARÉ	TURBIDEZ MÉDIA (ppm)	TURBIDEZ MÍNIMA (ppm)	TURBIDEZ MÁXIMA (ppm)
ESTIAGEM Jul/2011	Rio Paracauari	BM	114	99	121
		PM	108	15	241
	Rio do Saco	BM	284	197	342
		PM	152	58	259
	Rio Mangueiras	BM	189	157	214
		PM	170	143	291
CHUVOSO Mar/2012	Rio Paracauari	BM	190	136	269
		PM	185	113	229
	Rio do Saco	BM	272	244	340
		PM	170	90	235
	Rio Mangueiras	BM	214	161	354
		PM	195	158	270

A concentração média de partículas em suspensão na coluna d'água, de forma geral, foi mais elevada nas baixa-mares que nas preamares, e no período chuvoso que no de estiagem (Tabela 1). A variabilidade espacial (vertical e lateral) e ao longo do ciclo das marés, foi também mais reduzida no período chuvoso relativo ao período de estiagem, indicando a menor influência de águas salinas com menor teor de material em suspensão e um maior aporte e carreamento de material para a área pela drenagem fluvial e/ou capacidade de suspender e manter esse material em suspensão dentro do sistema no período de chuvas mais intensas.

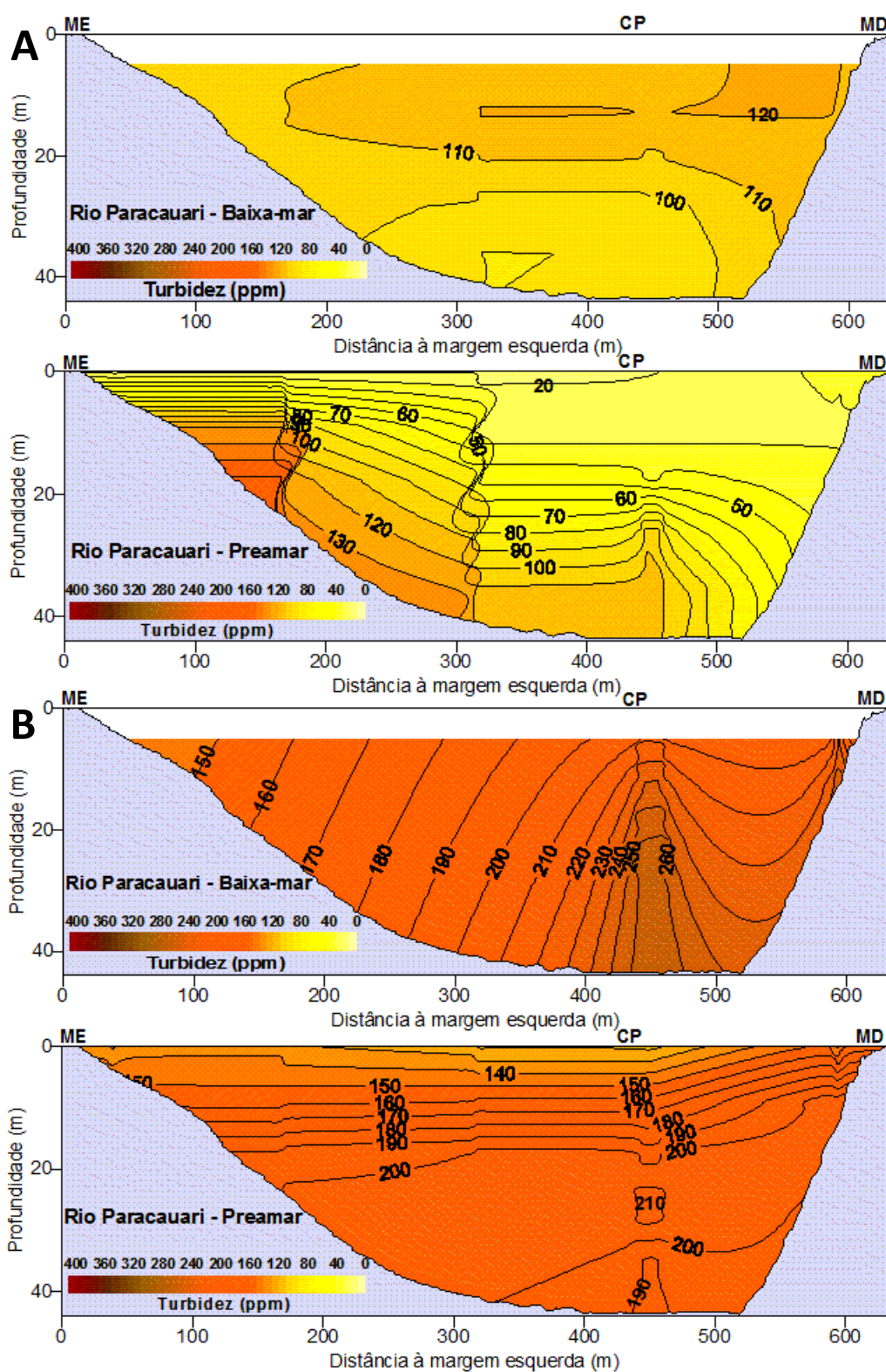


Figura 24. Distribuição espacial da turbidez (ppm) a seção 1 (rio Paracauari) nos estágios de baixa-mar e preamar, durante os períodos de (A) estiagem e (B) chuvoso.

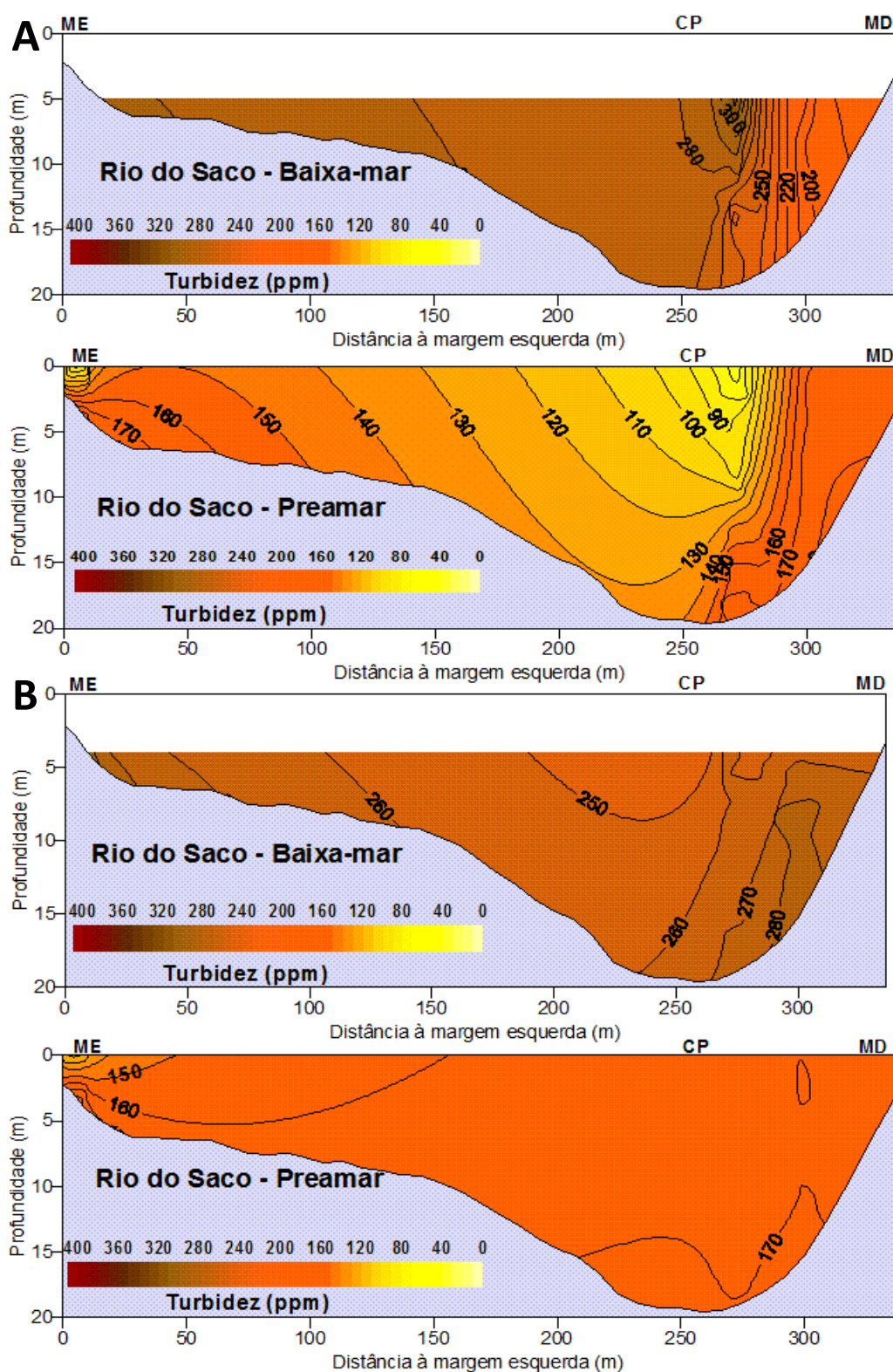


Figura 25. Distribuição espacial da turbidez (ppm) a seção 2 (rio do Saco) nos estágios de baixa-mar e preamar, durante os períodos de (A) estiagem e (B) chuvoso.

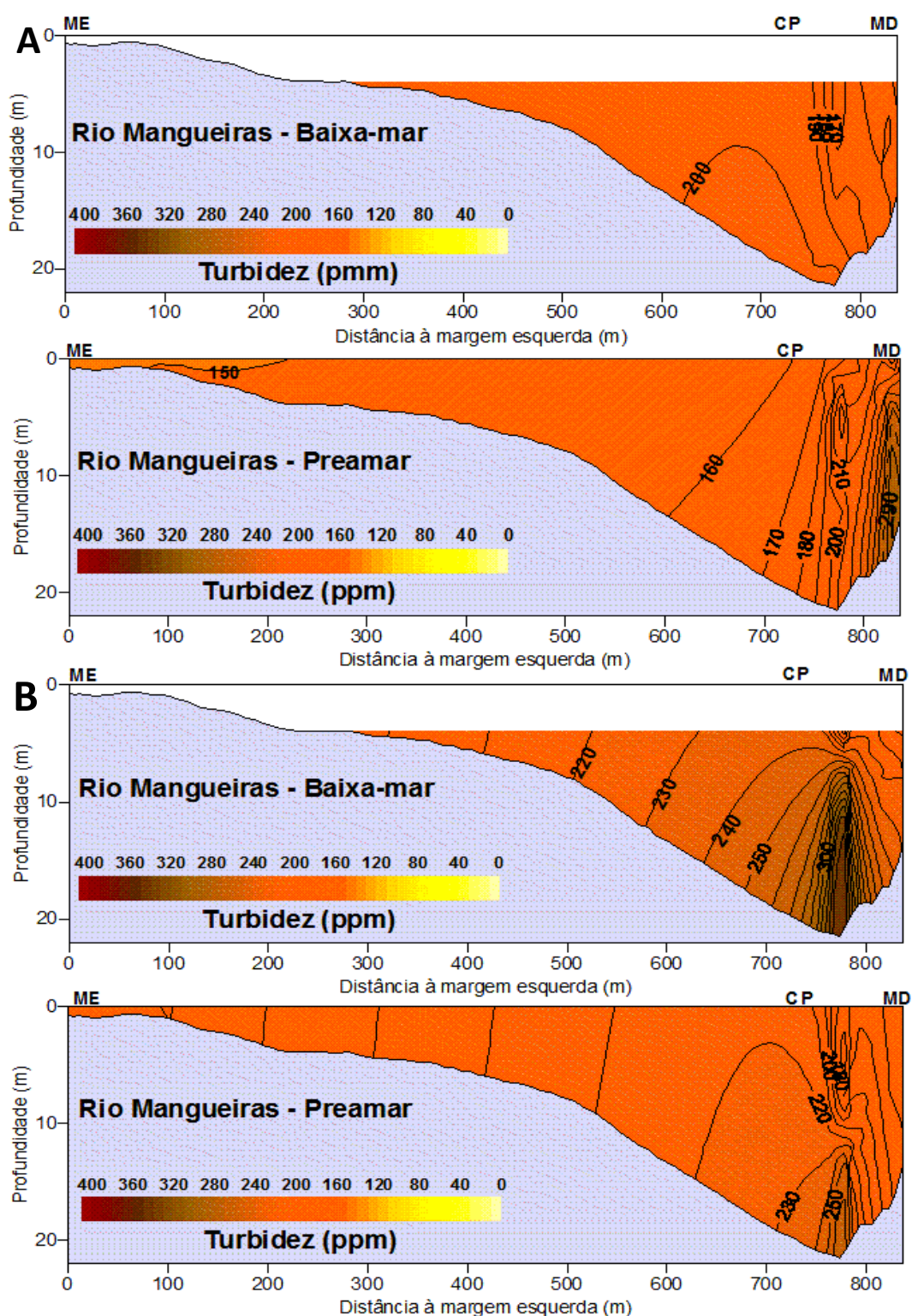


Figura 26. Distribuição espacial da turbidez (ppm) a seção 3 (rio das Mangueiras) nos estágios de baixa-mar e preamar, durante os períodos de (A) estiagem e (B) chuvoso.

À foz do Paracauari (seção 1) durante o período de estiagem os valores de turbidez observados variaram de 99 a 121 ppm (média=114 ppm) na baixa-mar e de 15 a 241 ppm (média=108 ppm) na preamar, com os menores valores à superfície e os maiores próximos ao fundo no canal principal e à margem esquerda (Fig. 25A). Durante o período chuvoso, na baixa-mar, o valor mínimo de turbidez registrado foi de 136 ppm, na camada superficial próximo à margem esquerda e o máximo foi de 269 ppm, adjacente ao fundo do canal principal (Fig. 24B). Durante a preamar, a turbidez média observada foi de 185 ppm, a turbidez máxima foi de 229 ppm próximo ao fundo do canal principal e a mínima observada foi de 113 ppm, nas águas superficiais do canal principal (Fig. 24B).

Na área de confluência com o rio do Saco (seção 2) os valores de turbidez foram em geral mais elevados que na sessão 1 (Tabela 1; Fig. 25). Durante o período de estiagem (Fig. 25A), na baixa-mar, a turbidez média foi de 284 ppm, com os valores de turbidez oscilando entre um mínimo de 197 ppm observado na camada superficial do canal principal e um máximo de 342 ppm próximo ao fundo da margem esquerda. A turbidez média e a sua amplitude de variação espacial durante a preamar foram de respectivamente, 152 ppm e de 201 unidades, com valor mínimo de 58 ppm e máximo de 259 ppm registrados, respectivamente, para a camada superficial próxima à margem direita e para a camada de fundo próxima a margem esquerda (Fig. 25B). Durante o período chuvoso, nesta mesma seção, os valores de turbidez média nos estágios de baixa-mar e preamar foram de respectivamente, 272 ppm e 170 ppm (Tabela 1). No estágio de baixa-mar o valor máximo de turbidez atingido foi de 340 ppm próximo ao fundo da margem esquerda, e o mínimo de 244 ppm na camada superficial da margem direita. Na preamar a variação de turbidez ao longo da seção foi de 145 ppm, com valor máximo de 235 ppm próximo ao fundo da margem direita, e mínimo de 90 na superfície da margem esquerda.

Na seção 3, os valores de turbidez indicam concentrações médias intermediárias entre aquelas registradas para as sessões à foz do rio Paracauari e à confluência do rio do Saco (Tabela 1). A variabilidade ao longo da seção, no entanto, foi mais acentuada nesta seção, com os maiores valores de turbidez associados à camada de fundo e ao canal principal (Fig. 26). No período de estiagem, a turbidez média nessa seção foi de 189 ppm (mínima de 157 ppm e máxima de 214 ppm) no estágio de baixa-mar e de 170 ppm (mínima de 143 ppm e máxima de 291 ppm) no estágio de preamar. No período chuvoso, a turbidez

média nessa seção foi de 214 ppm (mínima de 161 ppm e máxima de 354ppm) no estágio de baixa-mar e de 170 ppm (mínima de 158 ppm e máxima de 270 ppm) no estágio de preamar.

A concentração de partícula nas águas do sistema Paracauari foi também investigada através da coleta e filtragem de amostras de água, nos períodos de estiagem e chuvoso para os estágios de preamar e baixa-mar. Os resultados assim obtidos são apresentados nas figuras 27, 28 e 29, respectivamente para as seções 1 (foz do Paracauari), 2 (rio do Saco) e 3 (rio Mangueiras).

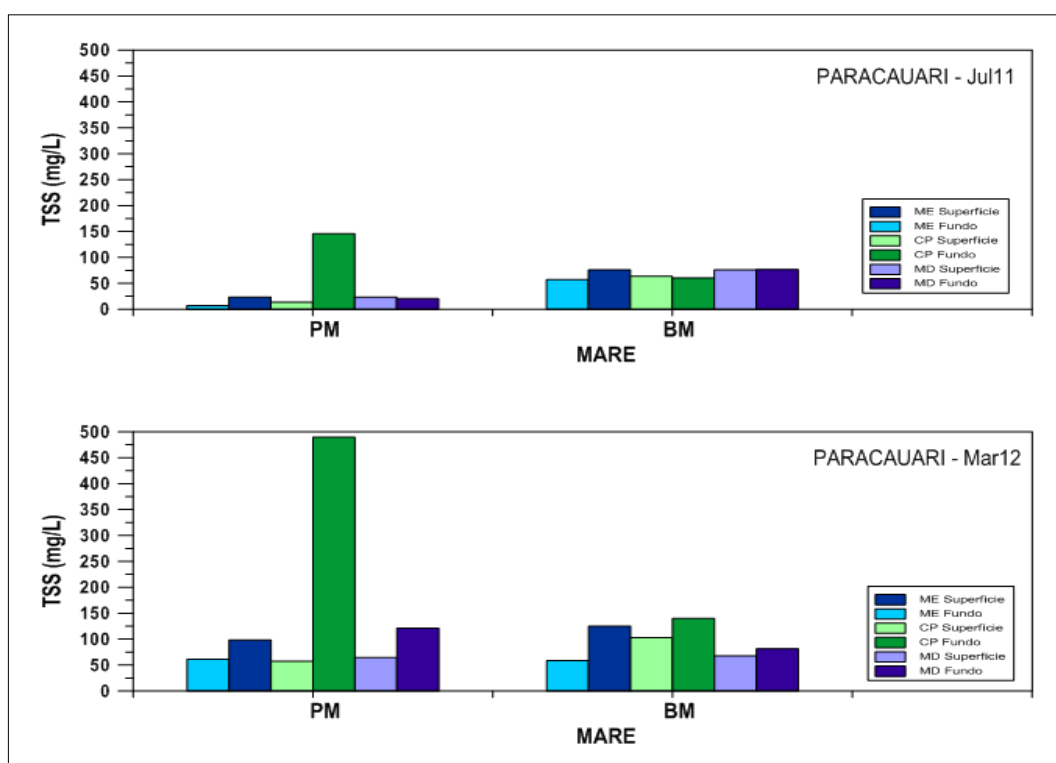


Figura 27. Variação espacial da concentração de Sólidos Totais em Suspensão (mg.L^{-1}) a seção 1 (Rio Paracauari) nos períodos de estiagem(jul/2011)e chuvoso (mar/2012).

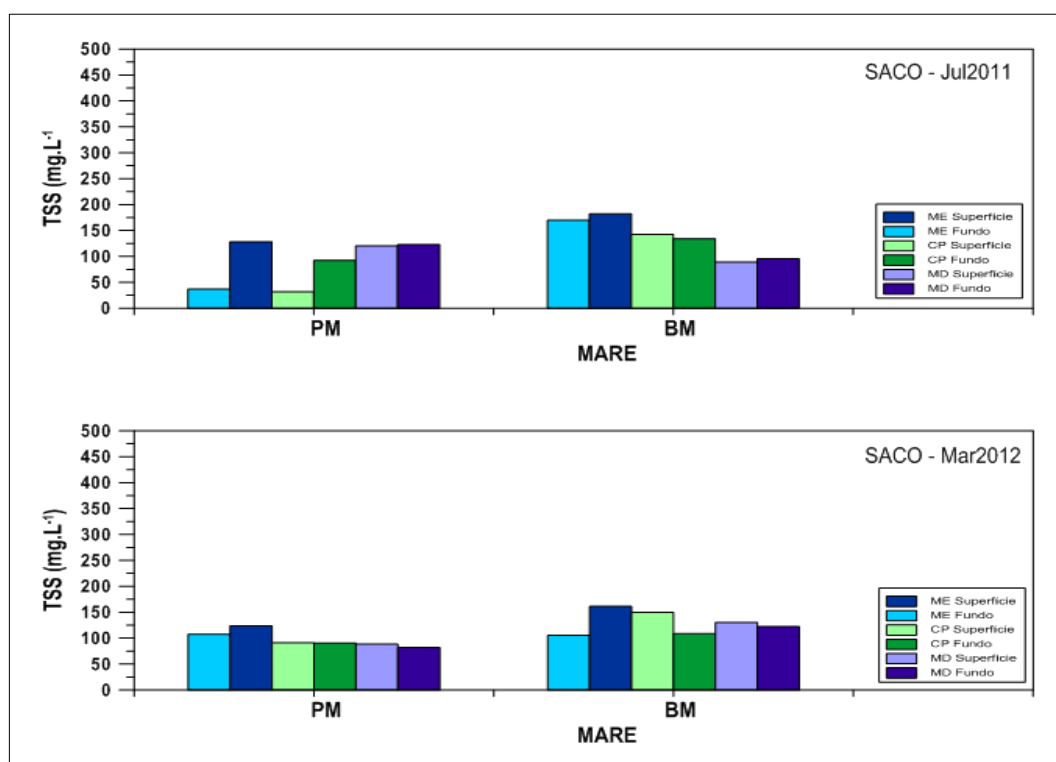


Figura 28. Variação espacial da concentração de Sólidos Totais em Suspensão (mg.L^{-1}) a seção 2 (Rio do Saco) nos períodos de estiagem (jul/2011) e chuvoso (mar/2012).

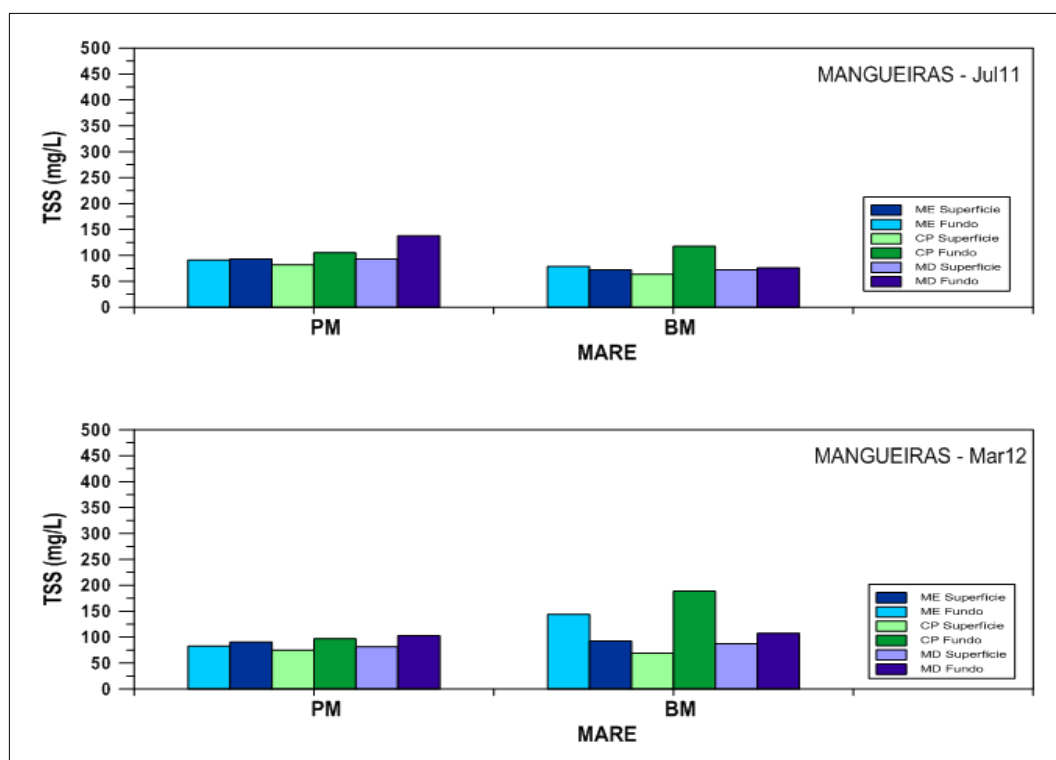


Figura 29. Variação espacial da concentração de Sólidos Totais em Suspensão (mg.L^{-1}) a seção 3 (Rio Mangueiras) nos períodos de estiagem (jul/2011) e chuvoso (mar/2012).

À foz do Paracauari (seção 1) no período de estiagem as concentrações de STS na preamar variaram de 7,1 mg.L⁻¹ a 145,7 mg.L⁻¹ (média=51,6 mg.L⁻¹) e de 57,2 a 76,7 (média=66,3 mg.L⁻¹) na baixa-mar em contraste com valores para o período chuvoso de 57,5 mg.L⁻¹ a 489,9 mg.L⁻¹ (média=148,9 mg.L⁻¹) na preamar e de 58,4 mg.L⁻¹ a 140,1 mg.L⁻¹ (média=96,0 mg.L⁻¹) na baixa-mar. O valor de 489,9 mg.L⁻¹ está bem acima do universo dos valores registrados e possivelmente corresponde a um valor extremo (*outlier*) pode refletir um erro de análise, já que não foi detectado pelo sensor óptico, eliminando a possibilidade de erro amostral por choque da garrafa com o fundo.

Na região de confluência com o rio do Saco (seção 2) as concentrações médias de STS medidas no período de estiagem foram de 88,8 mg.L⁻¹ (Min.=31,8 mg.L⁻¹; Max.=128,4 mg.L⁻¹) e 135,6 mg.L⁻¹ (Min.=89,2 mg.L⁻¹; Max.=182,1 mg.L⁻¹) respectivamente nos estágios de preamar e baixa-mar. No período chuvoso, as concentrações de STS nesta seção variaram de 81,8 mg.L⁻¹ a 123,6 mg.L⁻¹ (média=97,1 mg.L⁻¹) na preamar e de 105,3 mg.L⁻¹ a 161,2 mg.L⁻¹ (média=129,7 mg.L⁻¹) na baixa-mar.

Na sessão correspondente ao rio Mangueiras (seção 3) as concentrações de STS no período de estiagem oscilaram entre 81,8 mg.L⁻¹ e 137,9 mg.L⁻¹ (média=107,5 mg.L⁻¹) na preamar e entre 63,9 mg.L⁻¹ e 117,7 mg.L⁻¹ (média=86,7 mg.L⁻¹) na baixa-mar. Para o período chuvoso, as amostras analisadas, indicaram concentrações de STS de 74,8 mg.L⁻¹ a 102,7 mg.L⁻¹ (média= 88,2 mg.L⁻¹) na preamar e de 69,0 mg.L⁻¹ a 188,6 mg.L⁻¹ (média=114,8 mg.L⁻¹) na baixa-mar.

A distribuição das concentrações dos sólidos totais em suspensão (STS) corroborou os padrões e tendências gerais identificadas com os registros de turbidez, sazonalmente com concentrações mais elevadas durante o período chuvoso e ao longo do ciclo das marés com menores concentrações e maior variabilidade ao longo da seção ocorrendo nas preamares e concentrações mais elevadas e mais homogêneas distribuídas na seção nas baixas-mares. No entanto os valores quantitativos obtidos pelo sensor óptico não sempre corresponderam aos valores obtidos pela filtração das amostras.

Na figura 30, os valores de turbidez (ppm equivalente de Caulim) são plotados contra os valores de STS (mg.L⁻¹) obtidos por filtração e a melhor função obtida, ajustada pelo método dos mínimos quadrados.

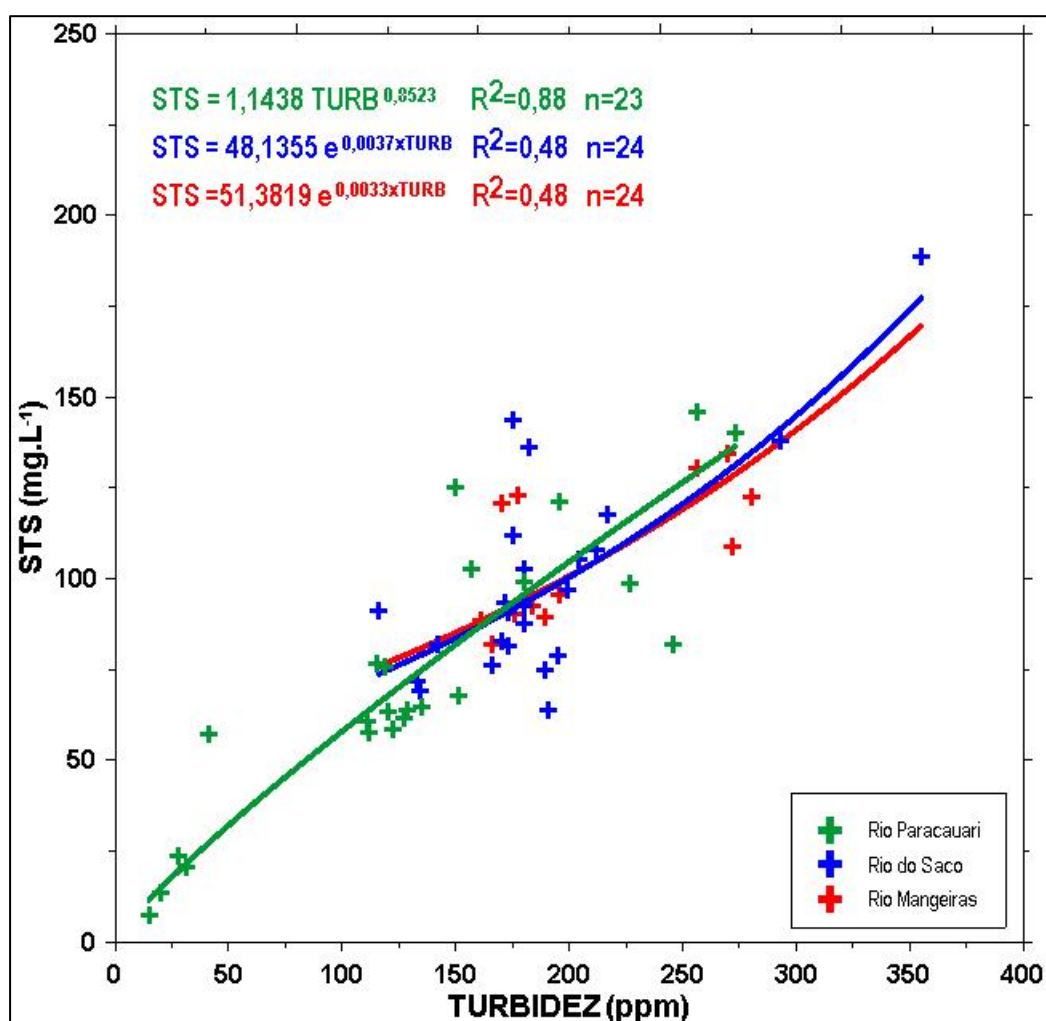


Figura 30. Turbidez (ppm equivalente a Caulim) *versus* concentrações de Sólidos Totais em Suspensão (mg.L⁻¹) às seções do rio Paracauari, rio do Saco e rio Mangeiras em melhores ajustes.

Nas sessões à foz do Paracauari (seção 1) se obteve um bom ajuste, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,88. O melhor ajuste tendo sido obtido com uma função de potência $f(x)=ax^b$, onde a e b são constantes, com a correspondendo a um fator de escala e b ao expoente que indica a taxa de crescimento ou decaimento da função. Nas seções correspondentes aos rios do Saco e Mangeiras, as duas variáveis não apresentam boa correlação. O melhor ajuste foi obtido com uma função exponencial ($f(x)=ae^{bx}$) onde a é o ponto de interseção com o eixo OY, b um fator de escala e e a base neperiana (2,7182), e que resultou, em ambos os casos, em um coeficiente de correlação não significativa de 0,48.

A turbidez é uma expressão das propriedades ópticas de uma amostra de água que faz com que um raio de luz seja parcialmente ou totalmente desviado/absorvido ao invés de

atravessá-la em linha reta. Boa parte da dispersão e absorção se dá pela presença de partículas (silte, argila, plâncton, e outros microorganismos, etc.) na água.

Apesar de ser primariamente qualitativa esta, em muitos sensores, é associada a medidas de um padrão primário (formazina, caulim, etc.) permitindo a obtenção de valores quantitativos, como é o caso do sensor utilizado neste trabalho. Coloração da água, presença de bolhas e a densidade das partículas estão dentre os fatores que podem causar erros de leitura e a diferença entre as medições realizadas por sensores ópticos e por filtragem de amostras. A baixa correlação encontrada para as seções dos rios do Saco e Mangueiras pode ser indicativa de que alguns desses fatores (microorganismos, coloração devido à presença de ácidos úmicos, taninos, etc.) possam estar presentes naquelas áreas e interferindo nas medições ópticas.

As concentrações mais elevadas de STS e valores de turbidez no período chuvoso se devem ao aumento de volume das chuvas e conseqüentemente do volume drenado pela bacia do rio Paracauari, resultando em um maior aporte de sedimentos para a área estuarina, bem como maior escoamento superficial e carreamento de materiais de uma maior extensão de áreas alagadas e pela intensificação das correntes, conforme será discutido mais a frente, que exercendo um maior atrito sobre o fundo e margens da calha do rio, podem ressuspender e manter sedimentos na coluna d'água.

7.5 Cobertura Sedimentar

Visando caracterizar a cobertura sedimentar na área de estudo, os resultados das análises granulométricas realizadas em amostras de sedimentos obtidas para as regiões das margens e do canal principal às três seções amostrais foram plotados nos diagramas triangulares de Pejrup e de Shepard. Os gráficos obtidos são apresentados nas figuras 31 e 32, respectivamente para as amostras coletadas nos períodos de estiagem e chuvoso.

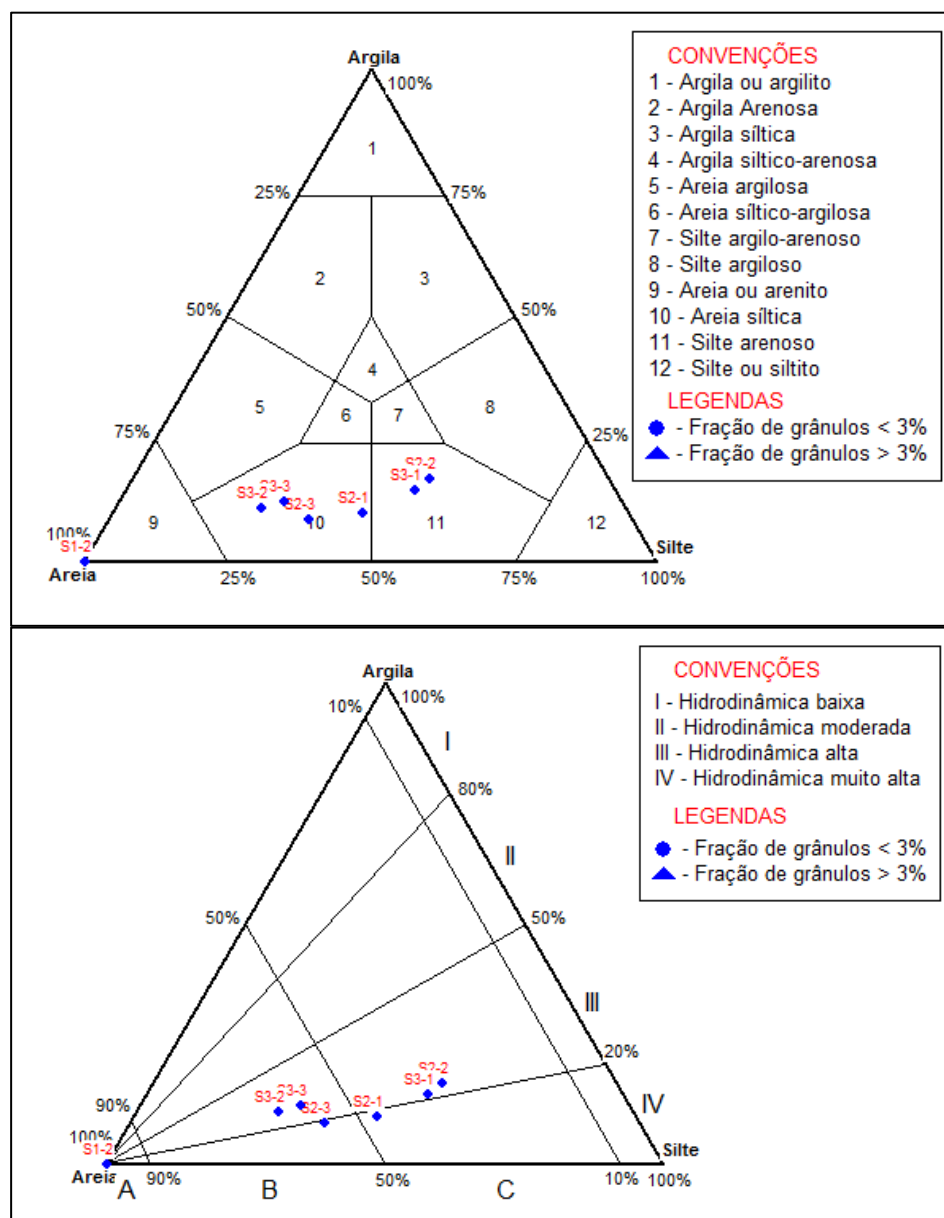


Figura 31. Classificação da cobertura sedimentar segundo os diagramas de Shepard e Pejrup, para as amostras obtidas durante o período de estiagem (julho/2011).

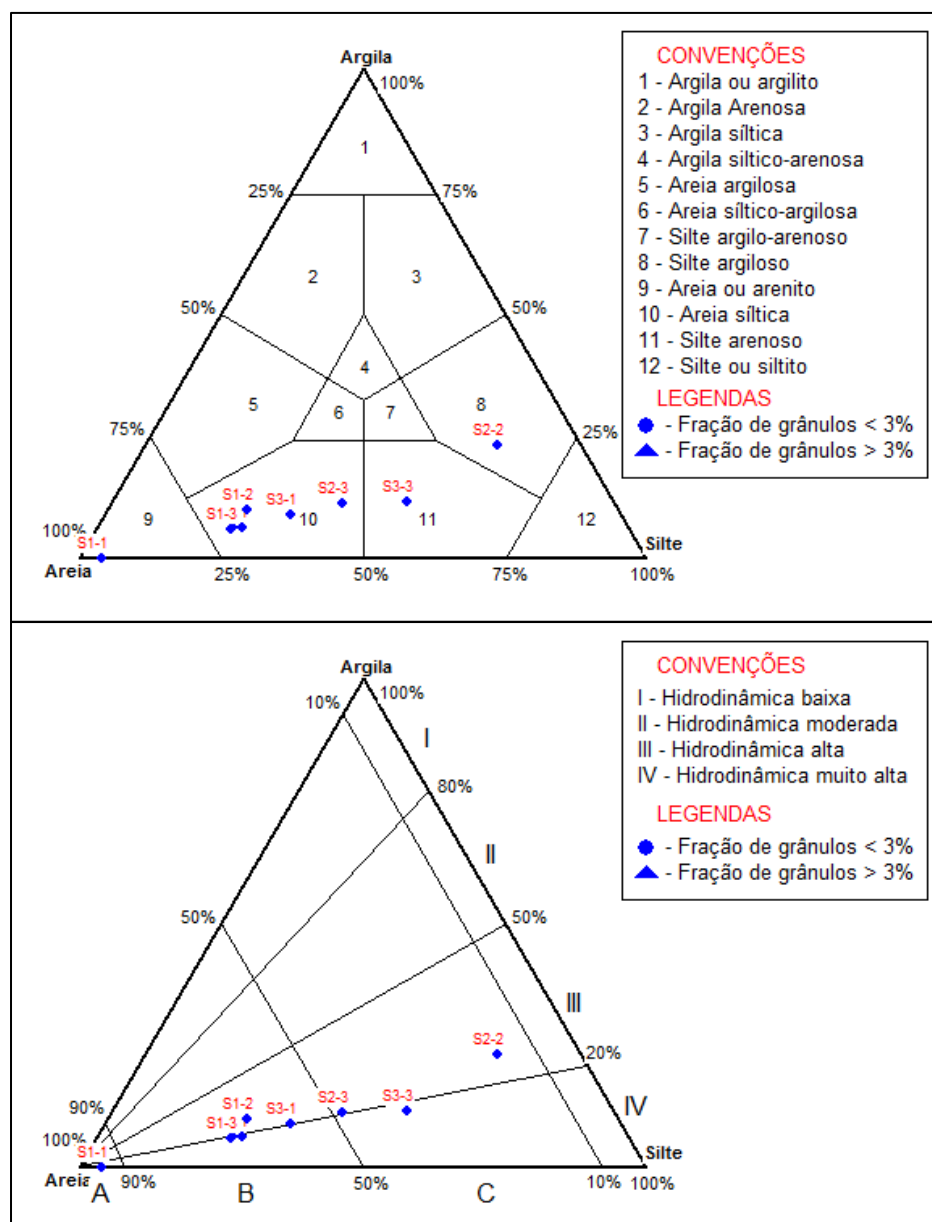


Figura 32. Classificação da cobertura sedimentar segundo os diagramas de Shepard e Pejrup, para as amostras obtidas durante o período chuvoso (março/2012).

Segundo o sistema de classificação de Shepard, a composição da cobertura sedimentar na área de estudo está constituída de areia, areia siltica, silte arenoso e silte argiloso. A interpretação do diagrama Pejrup, indica que em ambos os períodos sazonais, todos os pontos das três seções amostradas experimentam hidrodinâmica alta e muito alta.

Próximo à foz do Paracauari (seção 1) no período de estiagem, as amostras de sedimento de fundo nas margens esquerda e direita evidenciaram a presença de grandes fragmentos de rocha, especialmente laterita, provenientes da plataforma de abrasão. A amostra de sedimento obtida a 43 m de profundidade, no canal principal, correspondeu a classe areia segundo o diagrama de Shepard e ao grupo IV-A do diagrama de Pejrup, que corresponde a uma hidrodinâmica muito alta.

Análise dos diagramas de Shepard e Pejrup para as amostras coletadas à margem direita (S2-1), durante o período de estiagem à seção 2, indicaram respectivamente, presença de areia siltica e sedimentos com 10 a 50% de areia submetido a uma hidrodinâmica muito alta. No canal principal desta seção (S2-2), os sedimentos correspondem a silte arenoso e a sedimentos compostos por cerca de 40% de areia, sob hidrodinâmica alta. Os sedimentos da margem esquerda (S2-3) correspondem a areia siltica pelo sistema de Shepard, e com um teor de cerca de 60% de areia sob hidrodinâmica muito alta, pelo sistema de classificação de Pejrup.

Ainda no período de estiagem, a cobertura sedimentar da margem direita da seção 3 (S3-1) corresponde a silte arenoso, com cerca de 40% de areia e sob hidrodinâmica alta (grupo III-C). No canal principal (S3-2) e na margem esquerda (S3-3), os sedimentos de fundo correspondem areia siltica pelo sistema de Shepard, compostos por 50% a 90% de areia e sob hidrodinâmica alta pelo sistema de classificação de Pejrup.

No período chuvoso (Fig. 32), quando o volume drenado pela bacia do Paracauari é mais elevado, verificou-se uma maior proporção de material mais arenoso nas amostras coletadas, relativo ao período de estiagem e um ambiente sob hidrodinâmica alta e muito alta permaneceu.

A seção 1, na margem direita (S1-1), a cobertura sedimentar foi classificada segundo o diagrama de Shepard como areia, que variou de areia grossa a areia muito fina. Segundo o diagrama Pejrup, a dinâmica neste ponto durante sua sedimentação foi classificada como pertencente ao grupo IV-A (hidrodinâmica muito alta) com teor de areia entre 90% e 100%.

No canal principal da (S1-2), o sedimento de fundo foi classificado como areia siltica e pertencente ao grupo III-B (hidrodinâmica alta) com teor de areia de aproximadamente 70%, segundo os sistemas de Shepard e Pejrup, respectivamente. Na margem esquerda (S1-3) a cobertura sedimentar pelo sistema Shepard correspondeu a areia siltica e pelo sistema Pejrup a sedimentos do grupo IV-B, ou seja, ambiente sob hidrodinâmica muito alta.

Os sedimentos da margem direita da seção 2 (S2-1) correspondem a areia siltica, segundo o sistema de Shepard, e se enquadram no grupo IV-B (hidrodinâmica muito alta e teor de areia próximo a 70%,) segundo o sistema de Pejrup. A cobertura sedimentar na região do canal principal (S2-2) é do tipo silto argilosa segundo Shepard e correspondente ao grupo III-C (hidrodinâmica é alta predominante composta por silte e argila e com teor de areia é próximo de 20%,) pelo sistema de Pejrup. Os sedimentos da margem esquerda (S2-3) correspondem a areia siltica pela classificação de Shepard, e do grupo III-C (hidrodinâmica alta, porém com teor de areia próximo a 50%) pelo sistema de Pejrup.

Os sedimentos da margem direita à seção 3 (S3-1) correspondem a areia siltica, segundo o diagrama de Shepard e pertencente ao grupo III-B o qual representa sedimentos que experimentam hidrodinâmica alta com um teor de areia de aproximadamente 60%, pelo diagrama Pejrup. No canal principal desta seção (S3-2), o sedimento de fundo foi também classificado como areia siltica pelo sistema de Shepard, porém correspondendo ao grupo IV-B do diagrama Pejrup, ou seja sujeito a uma hidrodinâmica muito alta e com um teor de areia próximo a 70%. Os sedimentos da margem esquerda (S3-3), foram classificado como silto arenoso pelo diagrama de Shepard, e pertencente são grupo IV-C (hidrodinâmica muito alta e teor de *areia* próximo a 40%).

Os solos da ilha de Marajó são, em geral, hidromórficos indiscriminados e hidromórficos gleyzados (CORRÊA et al. 1974). Os tipos de solo presentes na bacia do rio Paracauari (Fig. 33) variam entre Pintossolo Háplico (ou Laterita Hidromórfica), que configura a maior parte do solo desta área, caracterizado por ser profundo, arenoso e com alta acidez; Latossolo Amarelo, que é presente próximo à foz do rio Paracauari em ambas as margens, possui textura média, com presença de argila em até 35%, porém também arenoso; Gleissolo Háplico, que ocorre em uma pequena região interna da bacia do Paracauari, especificamente no rio das Mangueiras, e possui textura mais argilosa; e solo de

mangue, presente em uma pequena área localizada na margem direita do rio Paracauari, mais presente no litoral da Ilha de Marajó, fato confirmado durante a presente pesquisa.

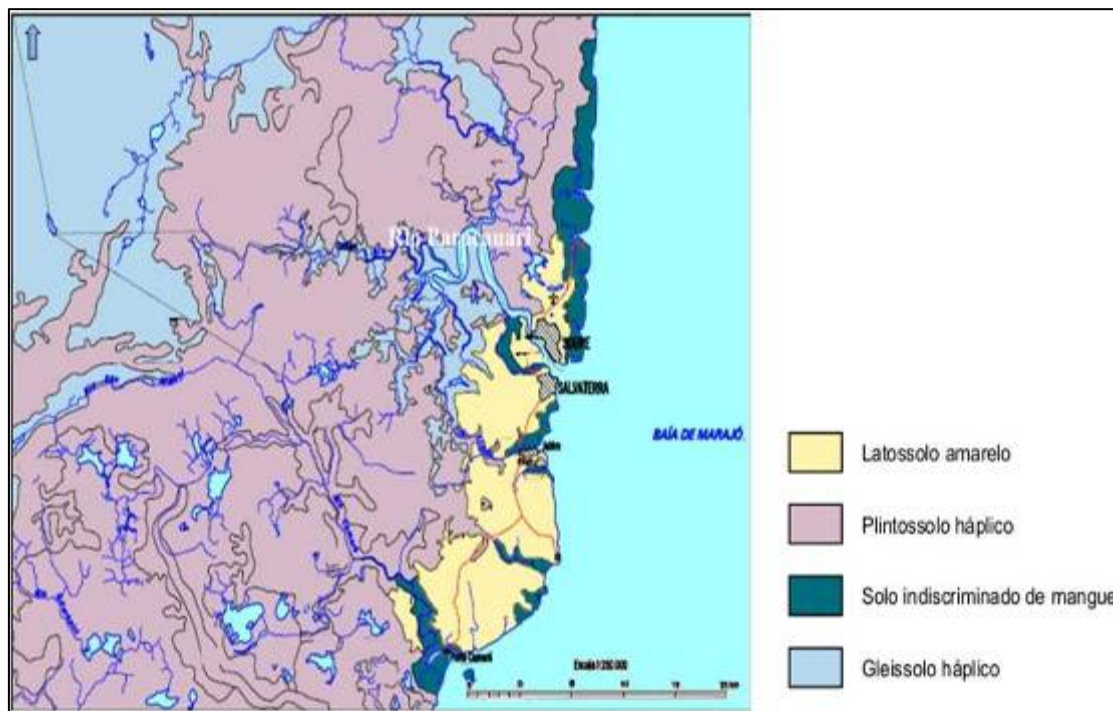


Figura 33. Mapeamento dos tipos de solo presentes na bacia do rio Paracauari – Ilha de Marajó.
FONTE: MONTEIRO, 2009 – Modificado.

Verifica-se certa homogeneidade quando se comparam as três seções em estudo em suas classificações sedimentares em relação à hidrodinâmica de deposição através do diagrama Pejrup, uma vez que todas foram classificadas entre os grupos III e IV caracterizados por hidrodinâmica alta e muito alta, respectivamente, em ambos os períodos amostrados.

Resultados semelhantes foram reportados por para a baía do Guajará (GREGÓRIO, 2007), localizada a sudeste da Ilha de Marajó, onde análises dos diagramas de Pejrup apontaram para uma região sob alta hidrodinâmica com sedimentos compostos por 50 a 100% de areia. Segundo a classificação de Shepard, a cobertura sedimentar na baía de Guajará está composta por areia, silte, areia siltica e silte argiloso, composição semelhante à encontrada para a área de estudo do presente trabalho.

7.6 Vazão Fluvial e Regime das Correntes

7.6.1 Vazão Fluvial

As vazões líquidas e máximas de descarga e carga através seções 1, 2 e 3 para os períodos de estiagem e chuvoso são sumarizados na tabela 2.

Tabela 2. Vazões líquidas e máximas de descarga e carga através das sessões amostrais dos rios Paracauari, do Saco e Mangueiras durante os períodos de estiagem e chuvoso.

PERÍODO	LOCAL	Q _{Max.} DESCARGA (m ³ .s ⁻¹)	Q _{Max.} CARGA (m ³ .s ⁻¹)	Vazão Líquida (m ³ .s ⁻¹)
ESTIAGEM Jul/2011	Rio Paracauari	11.828	-10.258	98.594
	Rio do Saco	2.584	-2.671	51.358
	Rio Mangueiras	5.603	-4.212	23.219
CHUVOSO Mar/2012	Rio Paracauari	14.442	-11.962	65.269
	Rio do Saco	3.003	-2.781	19.408
	Rio Mangueiras	8.310	-6.157	5.040*

*Para a seção do rio Mangueiras no período chuvoso, foram utilizados os dados de vazão interpolada, como explicado anteriormente no item de Metodologia.

O regime de vazão do sistema apresenta forte variabilidade sazonal em consequência da diferença no aporte pluviométrico entre os períodos climáticos estudados. Durante o período chuvoso, a vazão líquida pela foz do rio Paracauari para a baía de Marajó foi de 14.442 m³.s⁻¹ no final do ciclo de maré aferido, 82% superior aquela medida no período de estiagem (11.828 m³.s⁻¹). A vazão líquida do rio Mangueiras para o rio Paracauari medida no período chuvoso ao final do ciclo de maré aferido, foi de 5.040 m³.s⁻¹ e no período de estiagem de 23.219 m³.s⁻¹. O rio do Saco apresenta a segunda maior vazão líquida em ambos os períodos sazonais, sendo no valor de 19.408 m³.s⁻¹ no período chuvoso, e 51.358 m³.s⁻¹ no período de estiagem.

Durante o período chuvoso a vazão líquida pela foz do rio Paracauari para a baía de Marajó foi menor quando comparado ao período de estiagem, enquanto que a situação

normal na maioria dos rios é que a vazão seja maior no período chuvoso em consequência do maior aporte de chuvas. Isto indica que a água que aporta no sistema é retida pelo ao longo de seu curso através das várias áreas alagáveis localizadas no seu entorno (mangues, baixios, canais de maré, etc). Outra possibilidade a se considerar é que, durante o período chuvoso, a vazão na foz do rio Pará e na baía do Marajó seja mais elevada que no de estiagem, exercendo maior pressão na região da foz do rio Paracauari e maior resistência para exportação de água na direção do rio Paracauari para a baía. Situação análoga foi observada por BLANTON et al. (2001) no estuário de Satilla, Georgia, EUA, e por FERREIRA (2010) em canais de maré na porção nordeste da ilha de Marajó.

Porém, em ambos os períodos medidos, o sentido do fluxo resultante do sistema do rio Paracauari foi em direção à baía do Marajó, atuando como agente exportador de sedimento, nutrientes e outras propriedades físico-químicas.

7.6.2 Regime das Correntes

Visando caracterizar as correntes e o dinamismo do sistema do rio Paracauari, gráficos polares e vetoriais da direção e intensidade das correntes, para os três pontos amostrais (margem esquerda, margem direita e canal principal) foram gerados a partir dos valores médios e interpolados das componentes transversal ($\bar{u}$) e longitudinal ($\bar{v}$) da velocidade de corrente levantados nos vários transectos de ADCP ao longo de cada uma das seções amostrais. Para este fim, foram selecionados e analisados os comportamentos das correntes correspondentes aos instantes de máxima vazão de descarga e carga, e de vazão mínima.

Os gráficos relativos aos períodos de estiagem para as seções 1 a 3 são apresentados nas figuras 34 a 36, 37 a 39 e 40 a 42, respectivamente. Os gráficos representativos do período chuvoso são apresentados nas figuras 43 a 45, 46 a 48 e 49 a 51, respectivamente para as seções amostrais 1, 2 e 3.

No período de estiagem (julho de 2011), a foz do Paracauari (seção 1), a velocidade média das correntes ao longo da seção, em regime de descarga máxima, foi de $0,41 \text{ m.s}^{-1}$. Na margem direita, o valor médio para a coluna d'água foi de $0,27 \text{ m.s}^{-1}$ a 140°Az , com valores de $0,34 \text{ m.s}^{-1}$ 150°Az à superfície e de $0,36 \text{ m.s}^{-1}$ 312°Az próximo ao fundo (Fig. 34-

A). No canal principal desta seção, a intensidade média da corrente foi de $1,08 \text{ m.s}^{-1}$ com direção 196°Az , a maior nesta seção, com valores de $1,31 \text{ m.s}^{-1}$ direção de 176°Az na camada superficial e de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ com direção de 196°Az na camada de fundo (Fig. 34-B). A margem esquerda, as correntes médias apresentaram intensidade de $0,33 \text{ m.s}^{-1}$ e direção 205° , com valores de $0,25 \text{ m.s}^{-1}$ a 187°Az , e $0,63 \text{ m.s}^{-1}$ a 266°Az respectivamente, próximo à superfície e ao fundo (Fig. 34-C).

No mesmo período e seção, em regime de vazão mínima ($181 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$), a velocidade média da corrente na seção foi de $0,02 \text{ m.s}^{-1}$ direção. À margem direita, a corrente média flui a $0,24 \text{ m.s}^{-1}$, com direção 211°Az , com valores à superfície e próximos ao fundo de $0,28 \text{ m.s}^{-1}$ a 171°Az e $0,28 \text{ m.s}^{-1}$ a 254° , respectivamente (Fig. 35-A).

No canal principal da seção 1 no período de estiagem, a intensidade média da corrente ao longo da coluna d'água foi de $0,28 \text{ m.s}^{-1}$ com direção 183°Az . Neste ponto as correntes medidas nas camadas superficial e de fundo apresentaram valores de $0,32 \text{ m.s}^{-1}$ a 159°Az e $0,34 \text{ m.s}^{-1}$ a 137°Az (Fig. 35-B). A margem esquerda, a intensidade e direção médias da corrente na coluna d'água foram $0,27 \text{ m.s}^{-1}$ e 215°Az . A superfície, a intensidade da corrente foi de $0,31 \text{ m.s}^{-1}$ a 160°Az , e no fundo, de $0,42 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 262°Az (Fig. 35-C).

Os registros obtidos no período de estiagem a foz do Paracauari (seção 1) em regime de vazão máxima de carga, resultaram em uma velocidade media para a seção de $0,56 \text{ m.s}^{-1}$ com direção 360°Az . Na margem direita, a velocidade média foi $0,45 \text{ m.s}^{-1}$ a 189°Az , sendo de $0,36 \text{ m.s}^{-1}$ a 191°Az à superfície e de $0,94 \text{ m.s}^{-1}$ a 344°Az no fundo (Fig. 36-A). No canal principal, a média da intensidade e direção das correntes foi de $0,9 \text{ m.s}^{-1}$ a 148°Az . Na superfície do canal principal, a intensidade da corrente foi de $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ a 187°Az , e no fundo de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$ a 328°Az (Fig. 36-B). Na margem esquerda, a velocidade média da corrente foi $0,56 \text{ m.s}^{-1}$ com direção 229°Az . Na superfície deste ponto, a corrente foi de $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ a 216°Az , enquanto que no fundo foi de $0,65 \text{ m.s}^{-1}$ a 244°Az (Fig. 36-C).

À seção 2 (rio do saco), registros das correntes para o período de estiagem sob regime de vazão de descarga máxima, indicaram uma velocidade média na seção de $0,65 \text{ m.s}^{-1}$. Na margem direita, a intensidade e direção médias da corrente foram $0,34 \text{ m.s}^{-1}$ a 270°Az , sendo que na sua superfície, a intensidade foi de $0,44 \text{ m.s}^{-1}$ à 272°Az , enquanto que no

fundo, a corrente teve intensidade de $0,28 \text{ m.s}^{-1}$ e direção de 302°Az (Fig. 37-A). No canal principal desta seção, na vazão máxima, a média da intensidade da corrente na coluna d'água foi de $0,58 \text{ m.s}^{-1}$ com direção média de 272°Az , sendo que na superfície, a corrente teve intensidade de $0,92 \text{ m.s}^{-1}$ à 296°Az e, no fundo, de $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ à 305°Az (Fig. 37-B). Na margem esquerda a corrente média apresentou intensidade de $0,58 \text{ m.s}^{-1}$ com direção de 258°Az , com velocidades à superfície de $0,53 \text{ m.s}^{-1}$ na direção de 268°Az , e ao no fundo de $0,42 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 238°Az (Fig. 37-C).

Sob regime de vazão mínima ($130 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) a velocidade média a seção 2 (rio do Saco) no período de estiagem foi de $0,03 \text{ m.s}^{-1}$. Neste regime, a corrente média a margem direita foi de $0,12 \text{ m.s}^{-1}$, na direção 211°Az . Na superfície desta margem, a corrente apresentou intensidade e direção de $0,24 \text{ m.s}^{-1}$ e 223°Az , e no fundo, $0,16 \text{ m.s}^{-1}$ e 79° (Fig. 38-A). No canal principal, a intensidade média da corrente na mudança da fase de maré foi de $0,23 \text{ m.s}^{-1}$ com direção média de 164° , enquanto que na sua superfície e seu fundo, esses valores foram de $0,23 \text{ m.s}^{-1}$ à 135°Az e $0,45 \text{ m.s}^{-1}$ à 67°Az , respectivamente (Fig. 38-B). Na margem esquerda, a intensidade e direção médias da corrente foi de $0,36 \text{ m.s}^{-1}$ à 249°Az . A superfície desta margem, a corrente apresentou intensidade de $0,39 \text{ m.s}^{-1}$ e direção de 255°Az , enquanto que ao fundo, estes valores foram de $0,19 \text{ m.s}^{-1}$ e 5° (Fig. 38-C).

Na fase de enchente, a média de intensidade da corrente foi de $0,62 \text{ m.s}^{-1}$ em toda a seção 2 (rio do Saco). Na margem direita, a intensidade e direção médias da corrente de enchente foram $0,76 \text{ m.s}^{-1}$ e 136° , respectivamente. Na superfície desta margem, a corrente de enchente apresentou intensidade de $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ e direção de 145° , enquanto que na camada de fundo, estes valores foram de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ e 143° , respectivamente (Fig. 39-A). No canal principal, a média da intensidade da corrente de enchente foi $0,8 \text{ m.s}^{-1}$ com direção média de 125° , sendo que na superfície desde ponto, a corrente de enchente deve intensidade de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$ e direção de 122° , enquanto que no fundo, a intensidade teve valor de $0,52 \text{ m.s}^{-1}$ e direção 156° (Fig. 39-B). Na margem esquerda, a corrente da enchente apresentou intensidade média de $0,23 \text{ m.s}^{-1}$ e direção média de 164° . Na superfície desta margem, a intensidade da corrente foi $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ com direção a 143° , e no fundo, $0,28 \text{ m.s}^{-1}$ a 164° (Fig. 39-C).

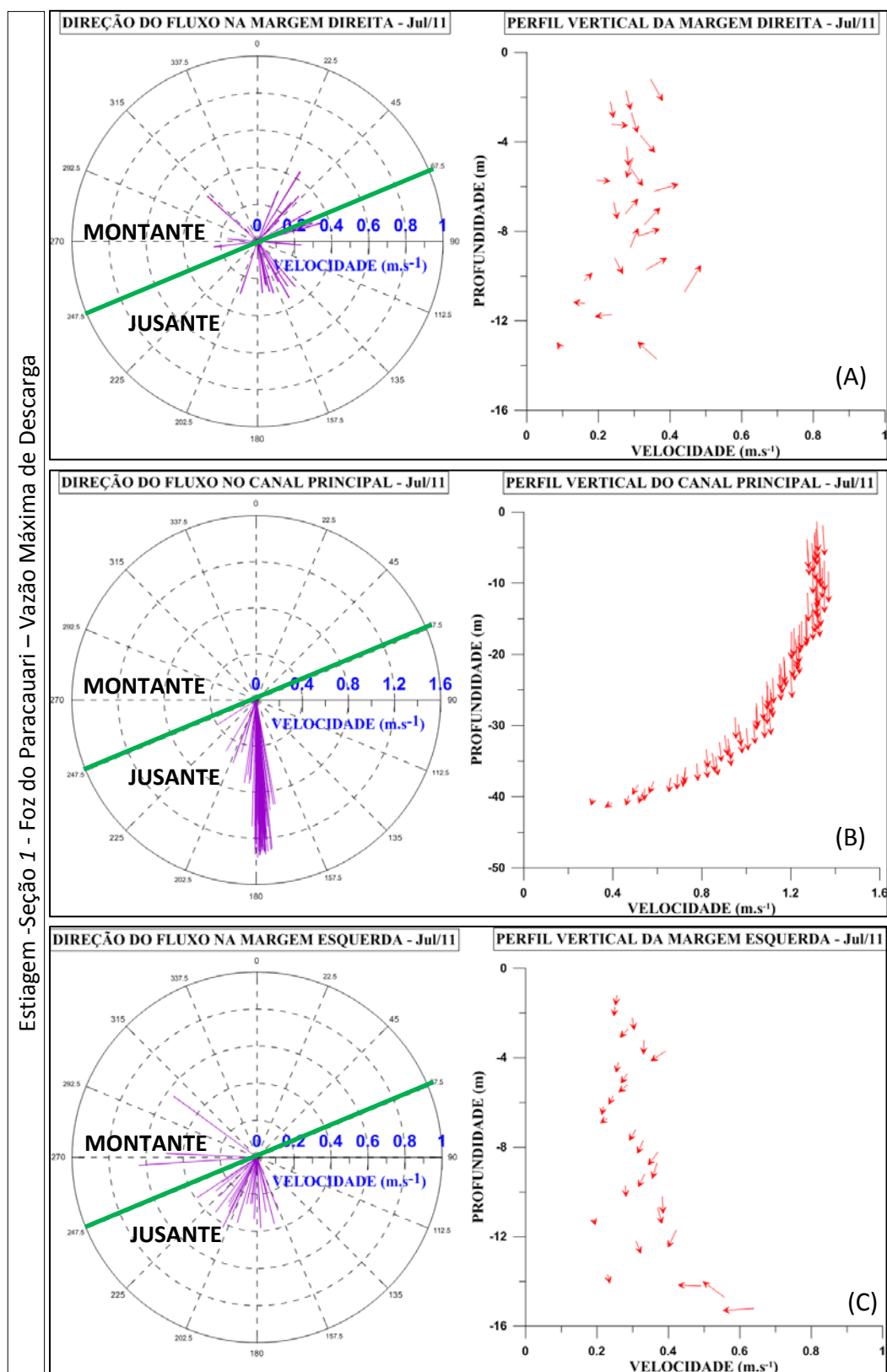


Figura 34. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem à seção 1 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de descarga.

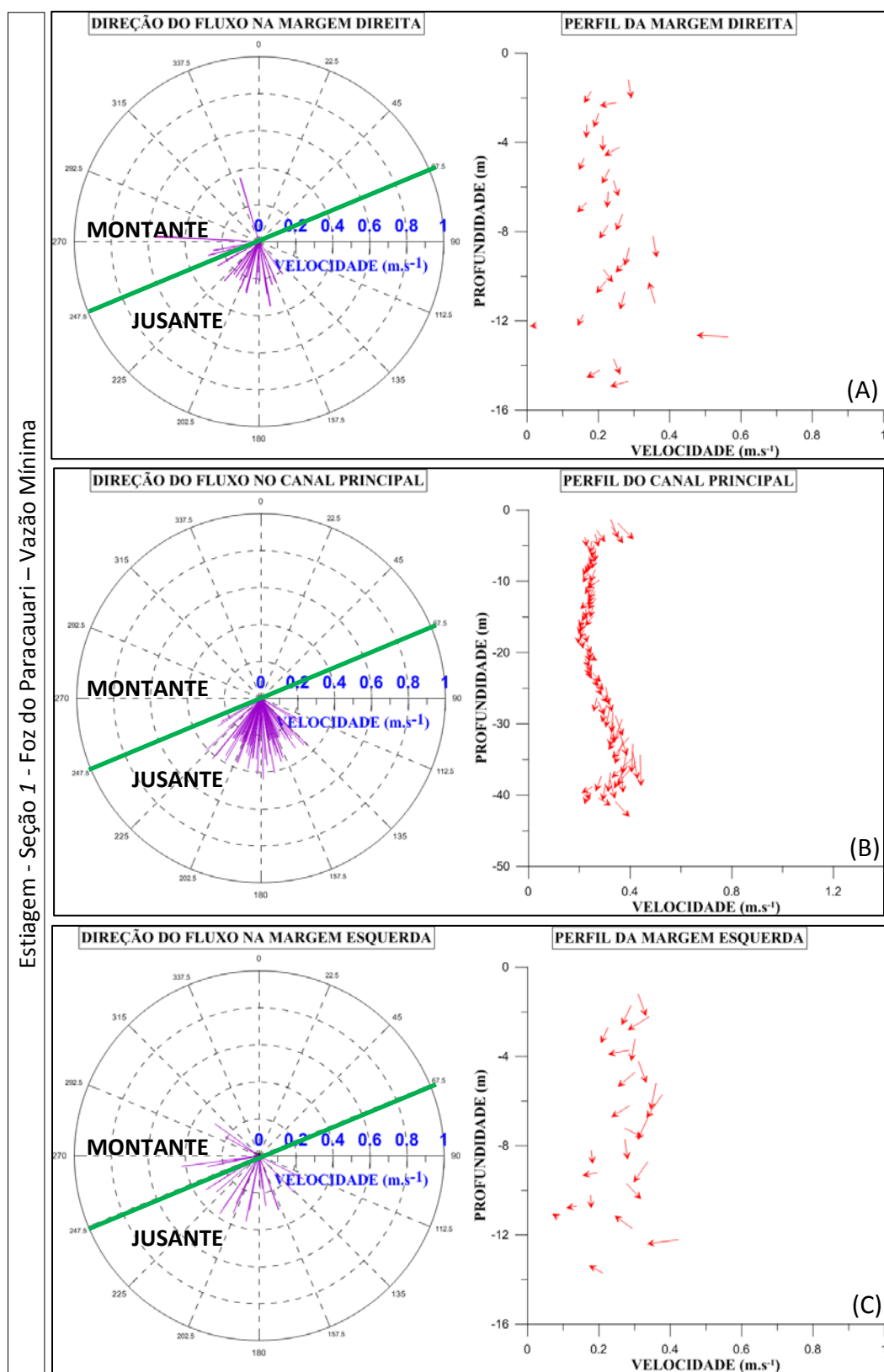


Figura 35. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem à seção 1 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão mínima.

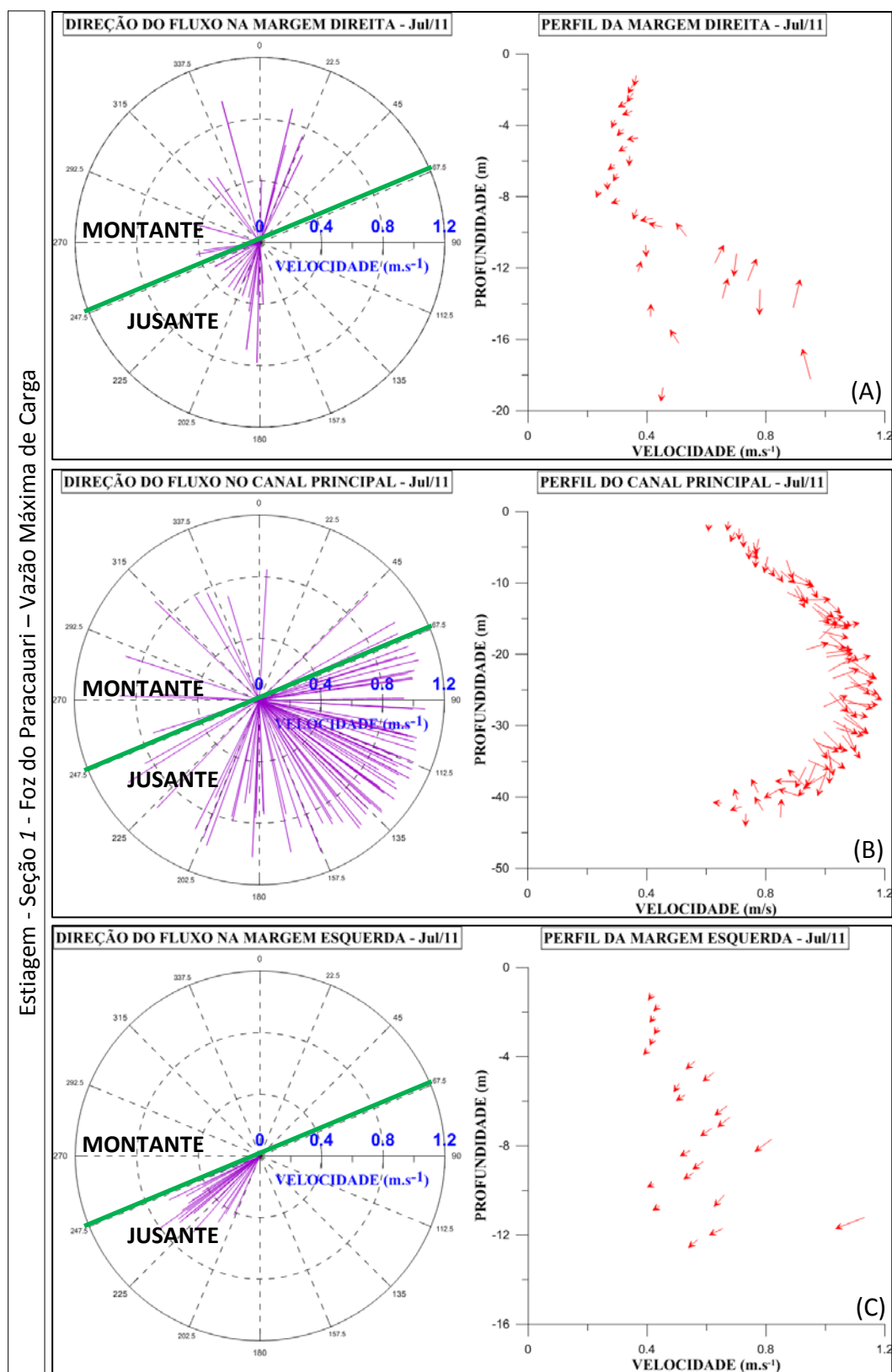
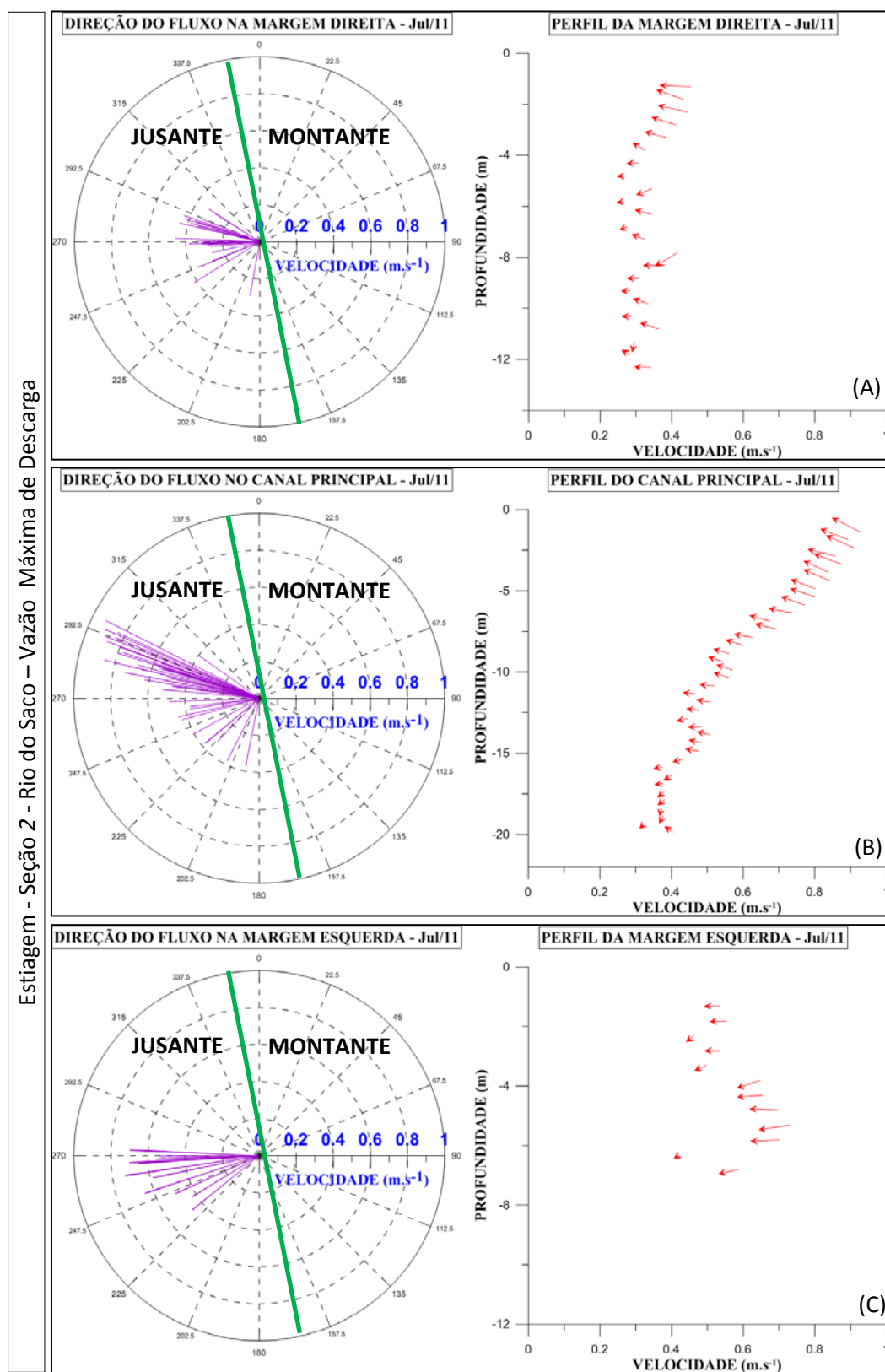


Figura 36. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem, a seção 1 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de carga.



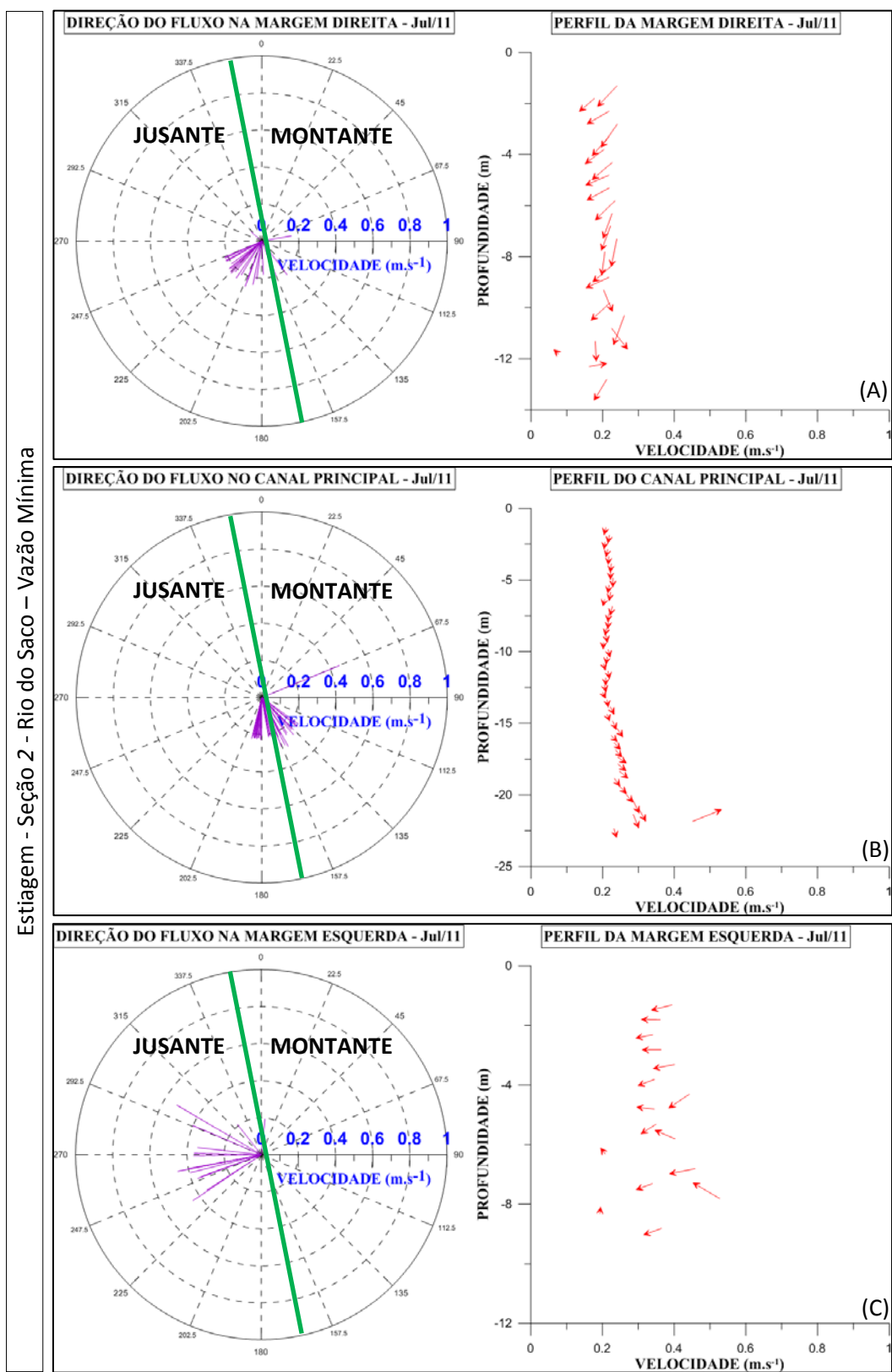


Figura 38. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem, a seção 2 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão mínima.

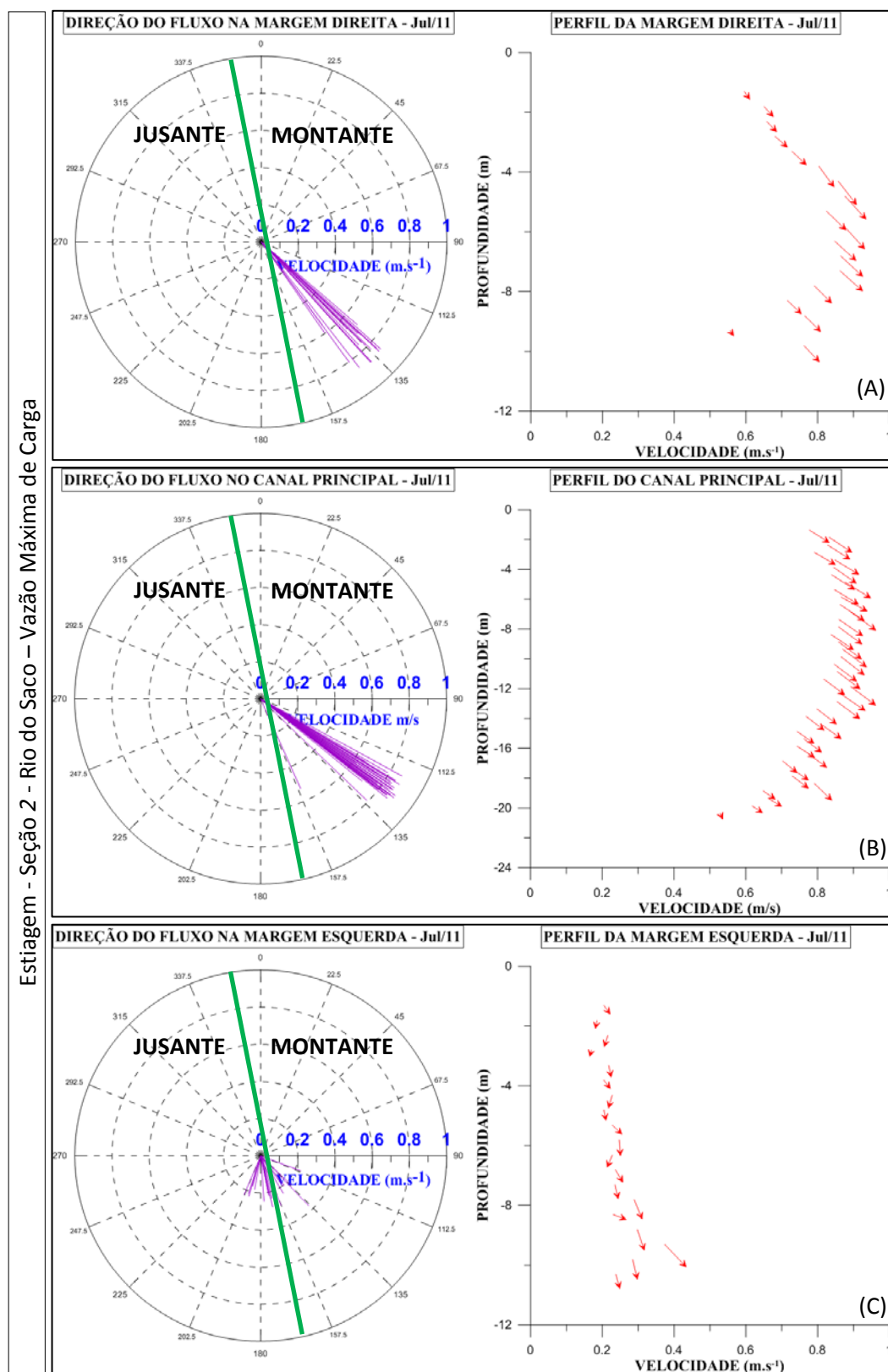


Figura 39. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem, a seção 2 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de carga.

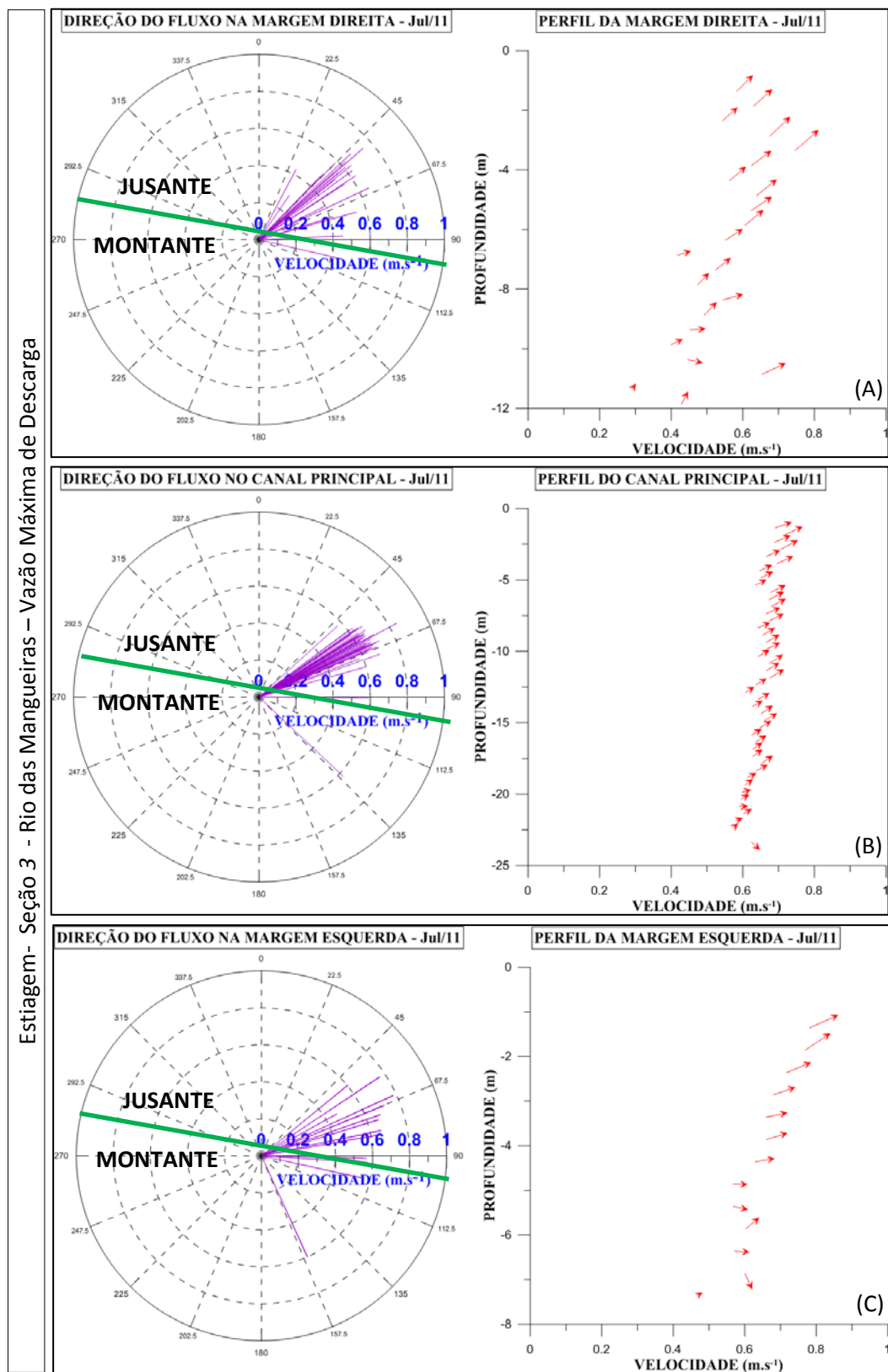


Figura 40. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem, a seção 3 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de descarga.

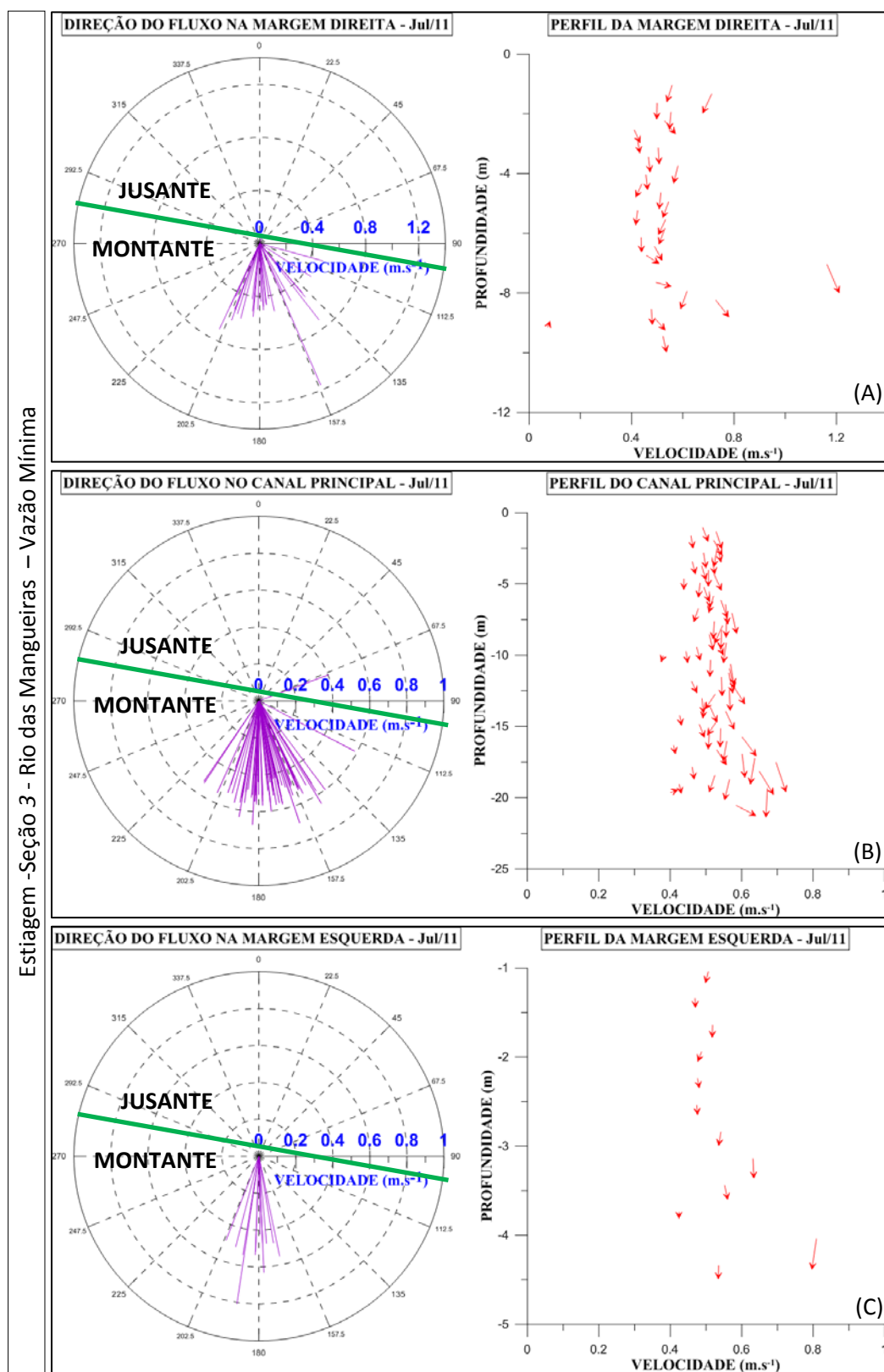


Figura 41. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem, a seção 3 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão mínima.

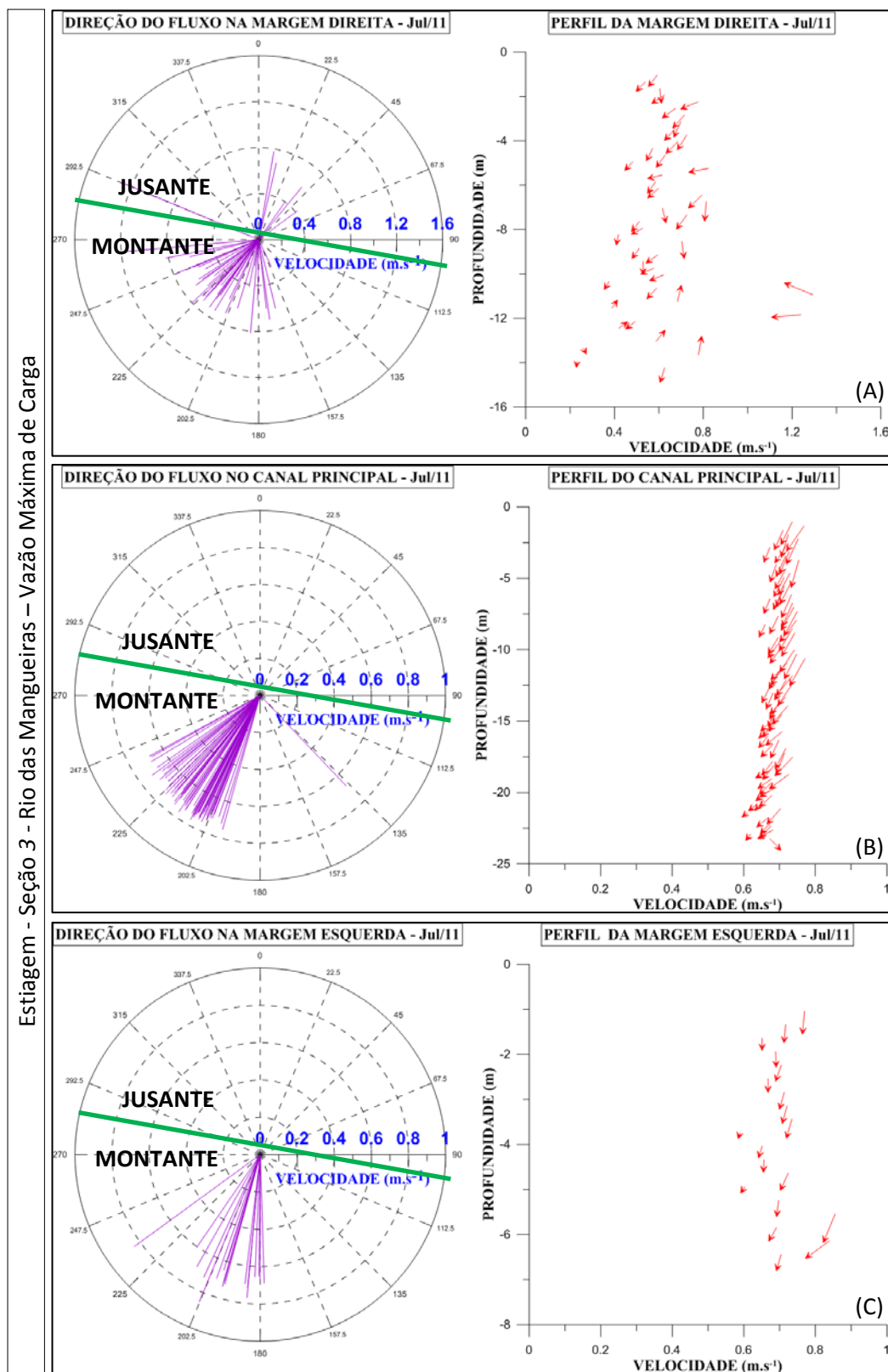


Figura 42. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período de estiagem, a seção 3 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de carga.

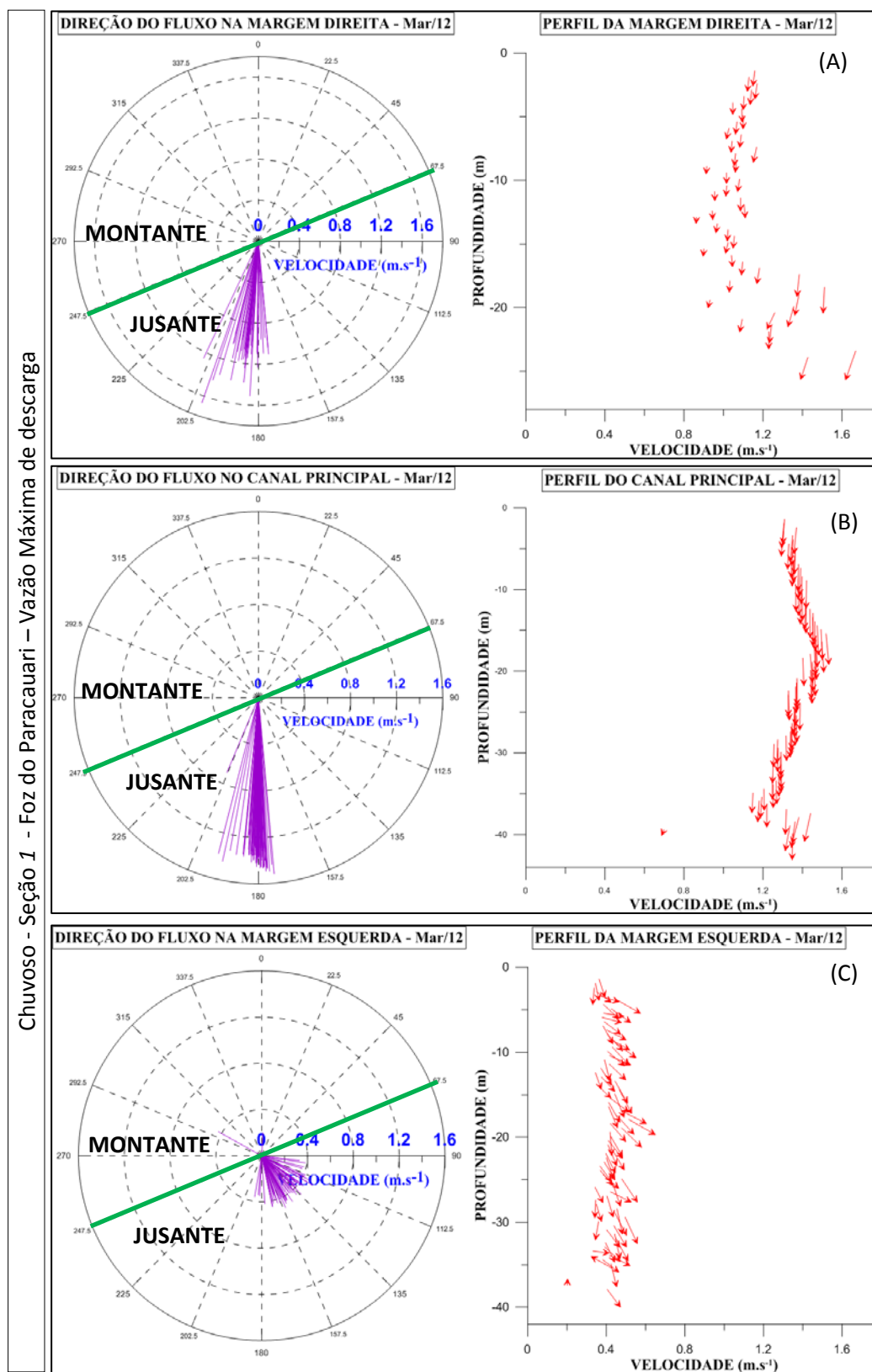


Figura 43. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 1 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de descarga.

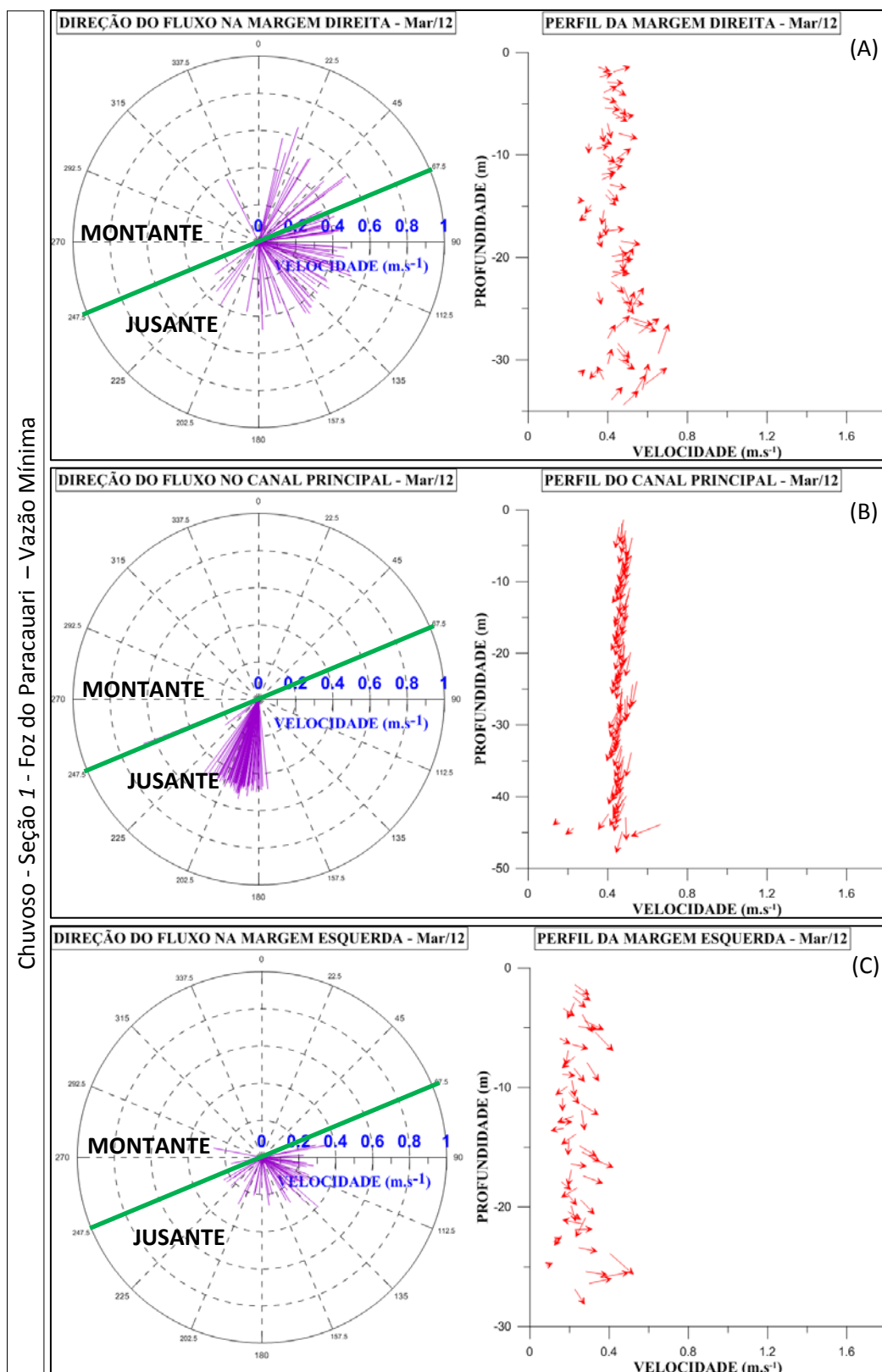


Figura 44. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 1 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão mínima.

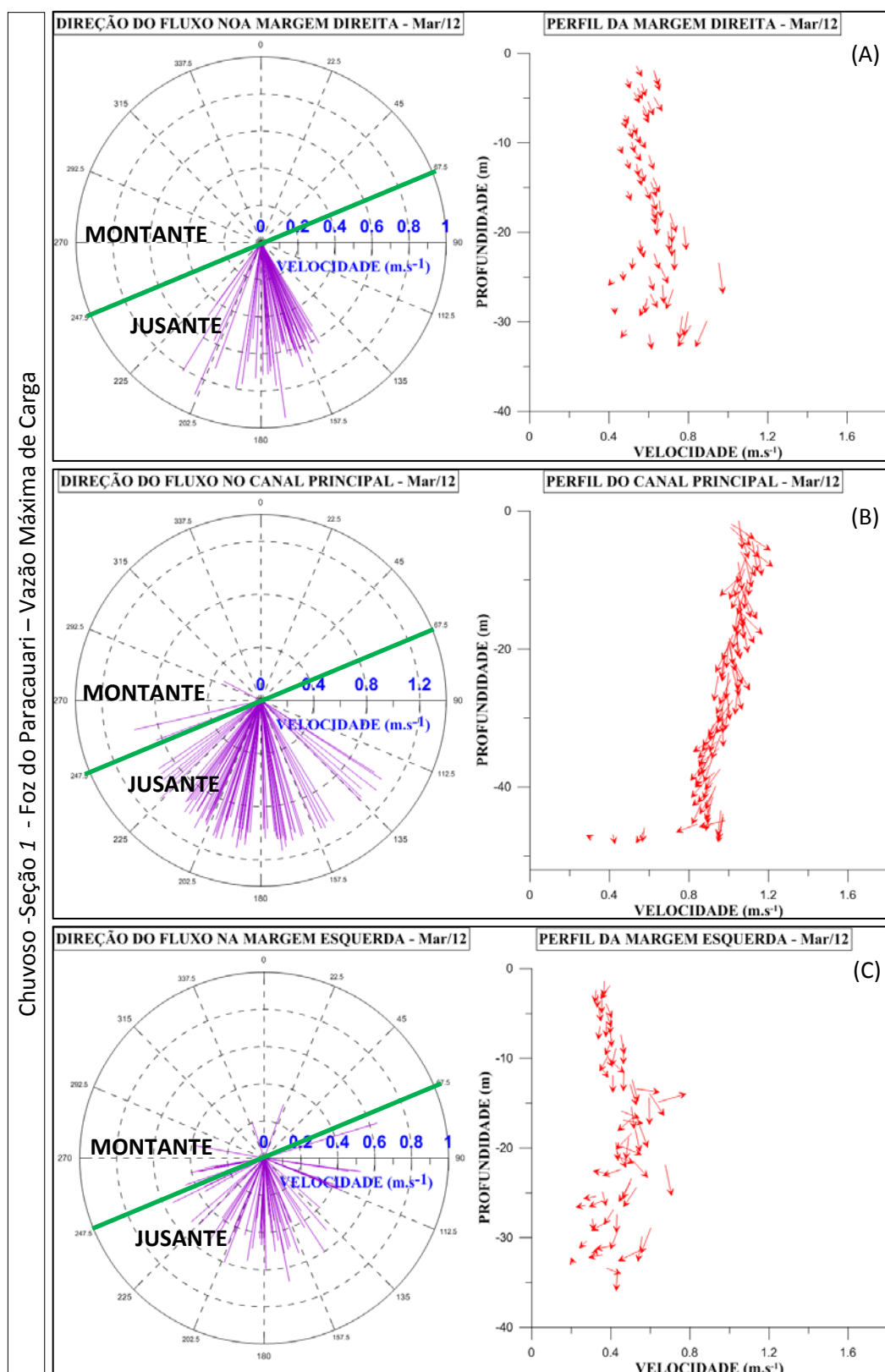


Figura 45. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 1 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de carga.

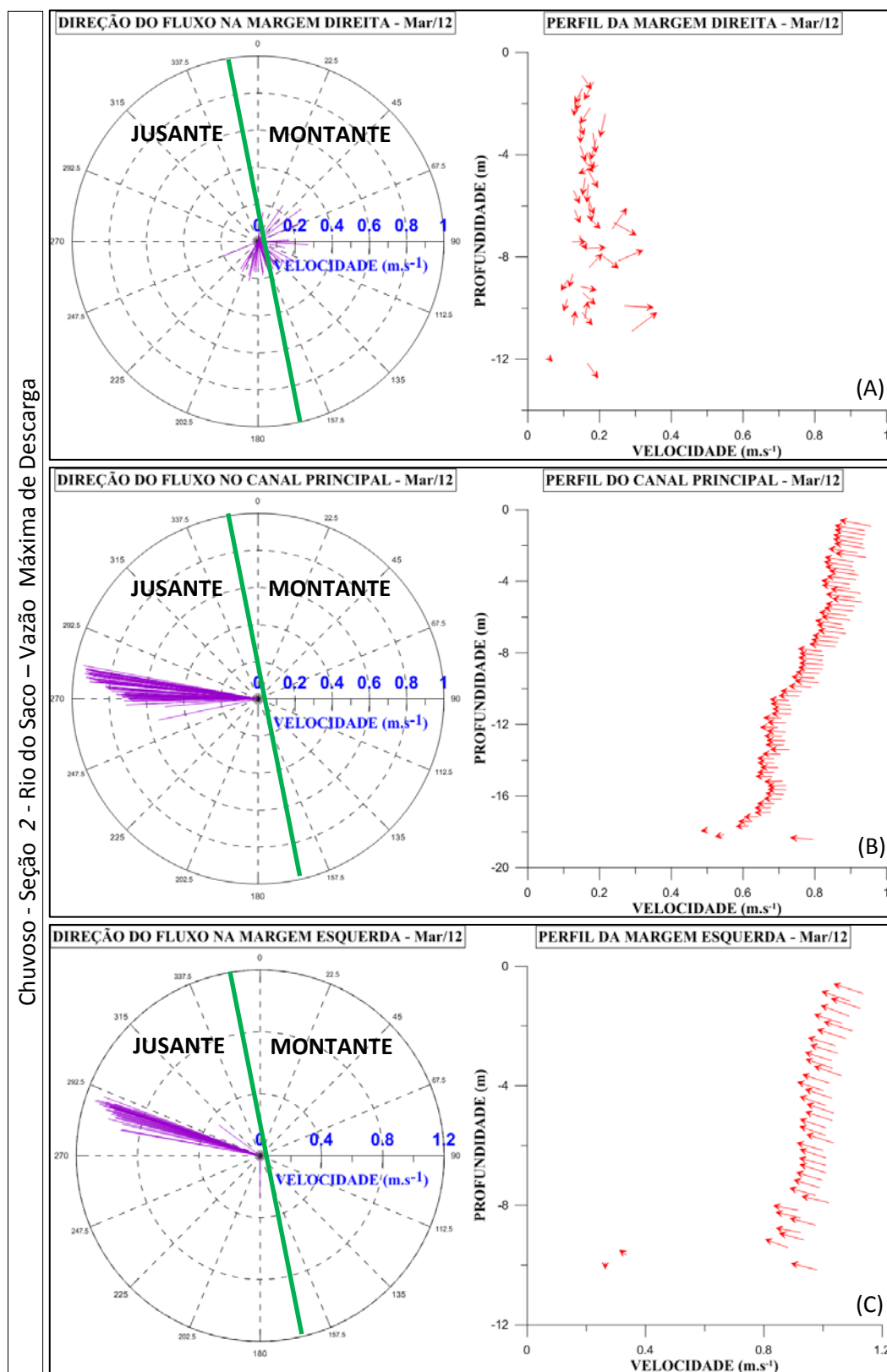


Figura 46. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 2 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de descarga.

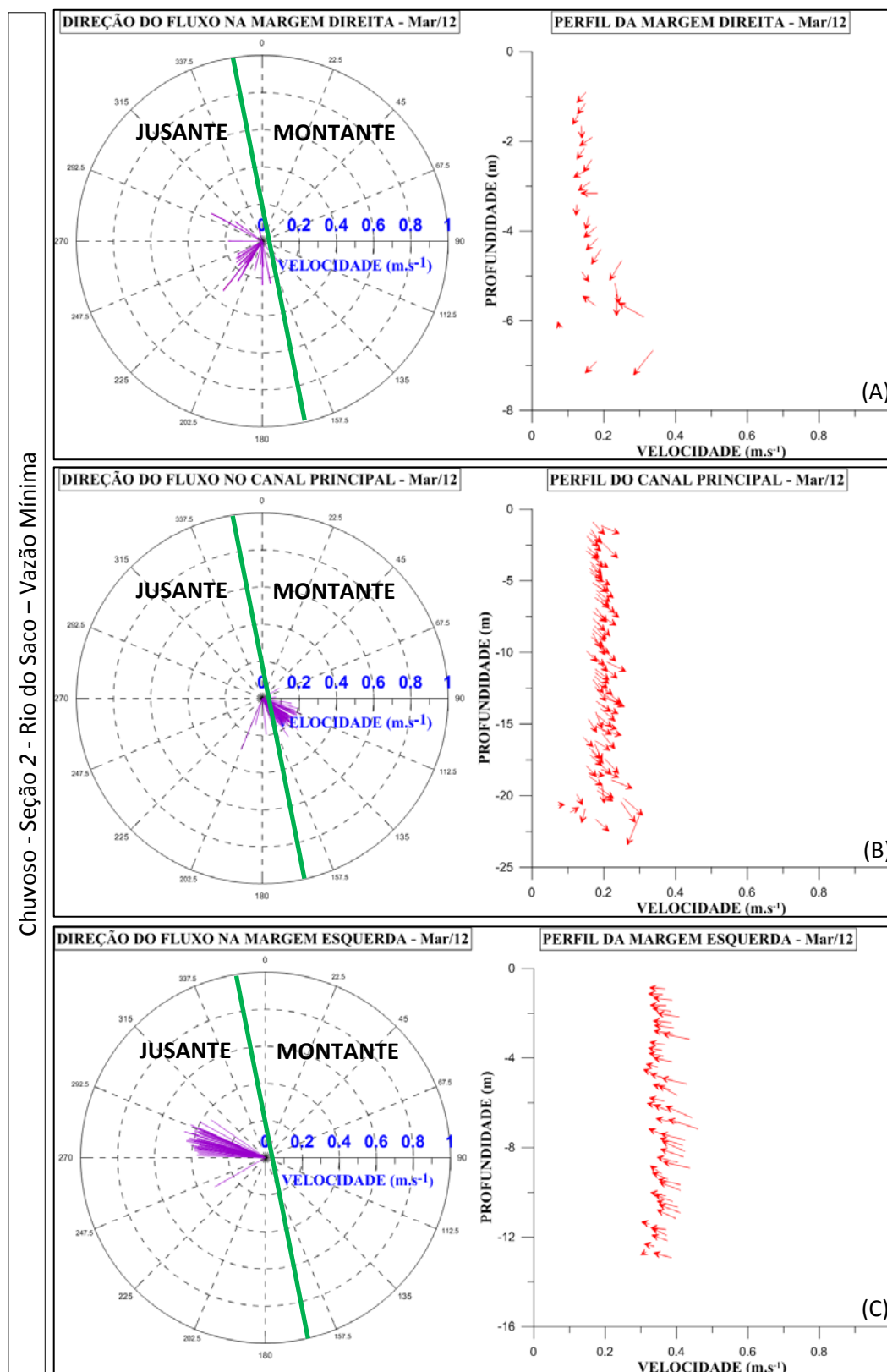


Figura 47. Intensidade (m.s⁻¹) e direção (°Az) das correntes no período chuvoso, a seção 2 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão mínima.

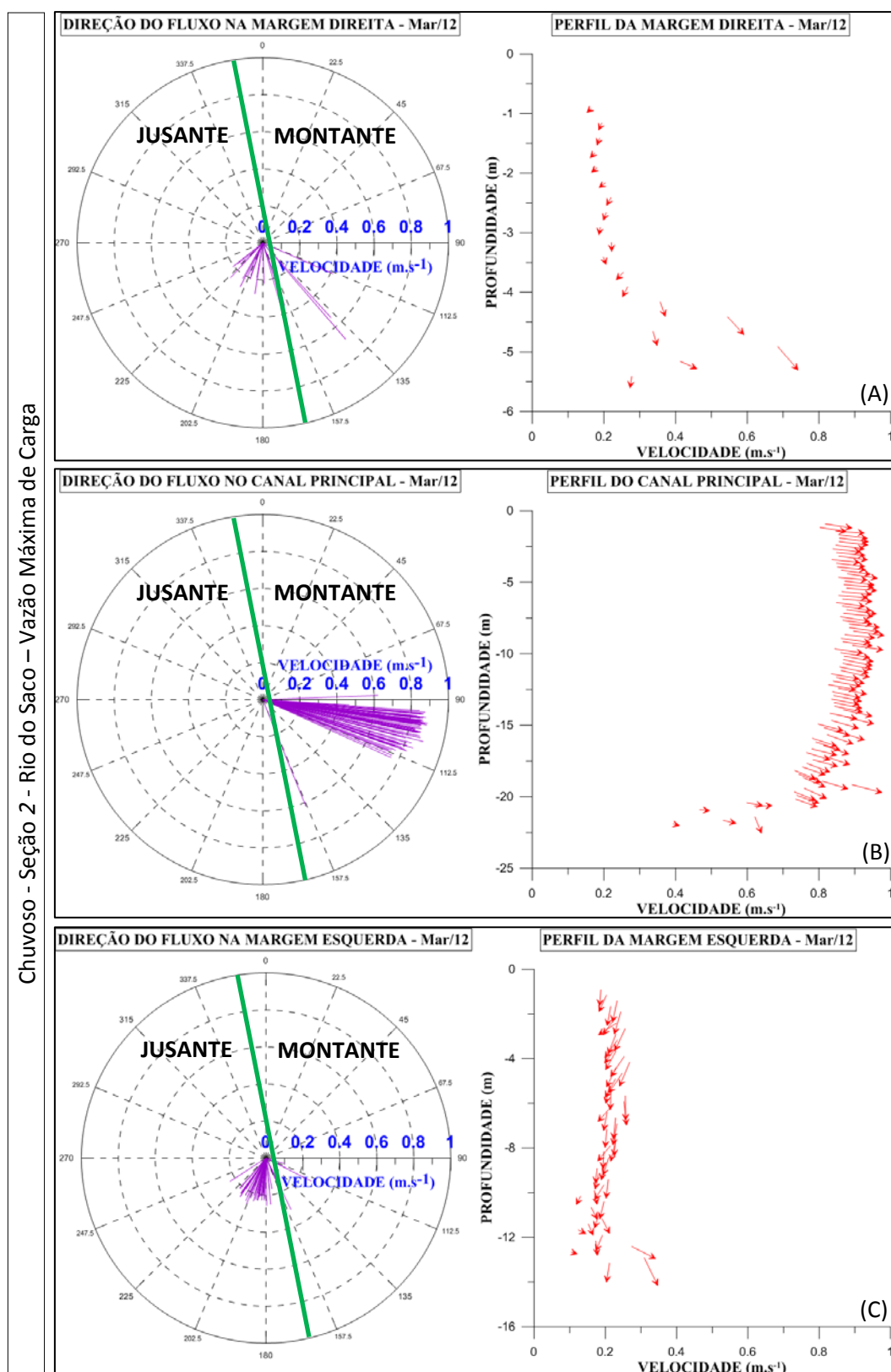


Figura 48. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 2 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de descarga.

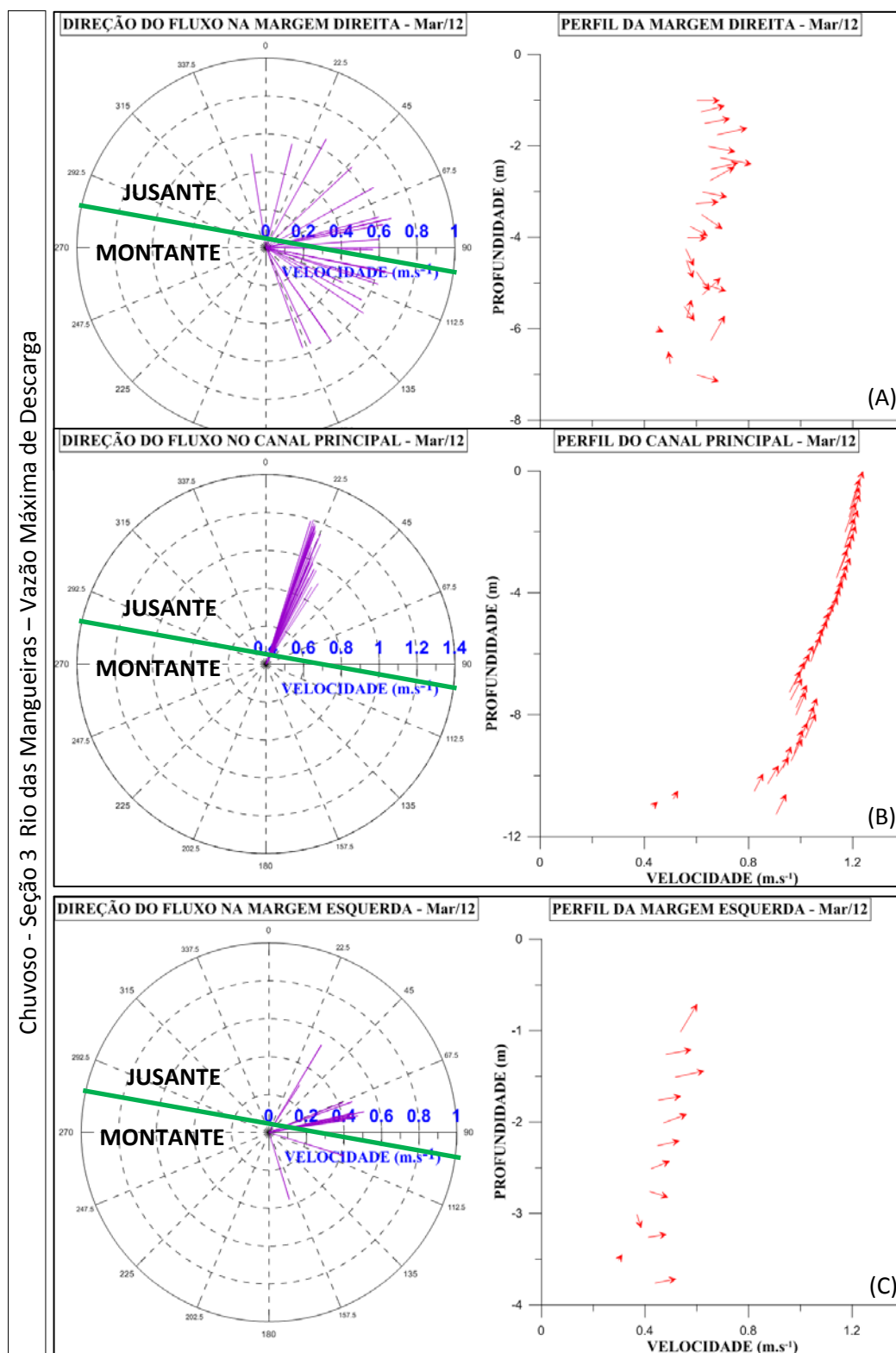


Figura 49. Intensidade (m.s^{-1}) e direção ($^{\circ}\text{Az}$) das correntes no período chuvoso, a seção 3 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de descarga.

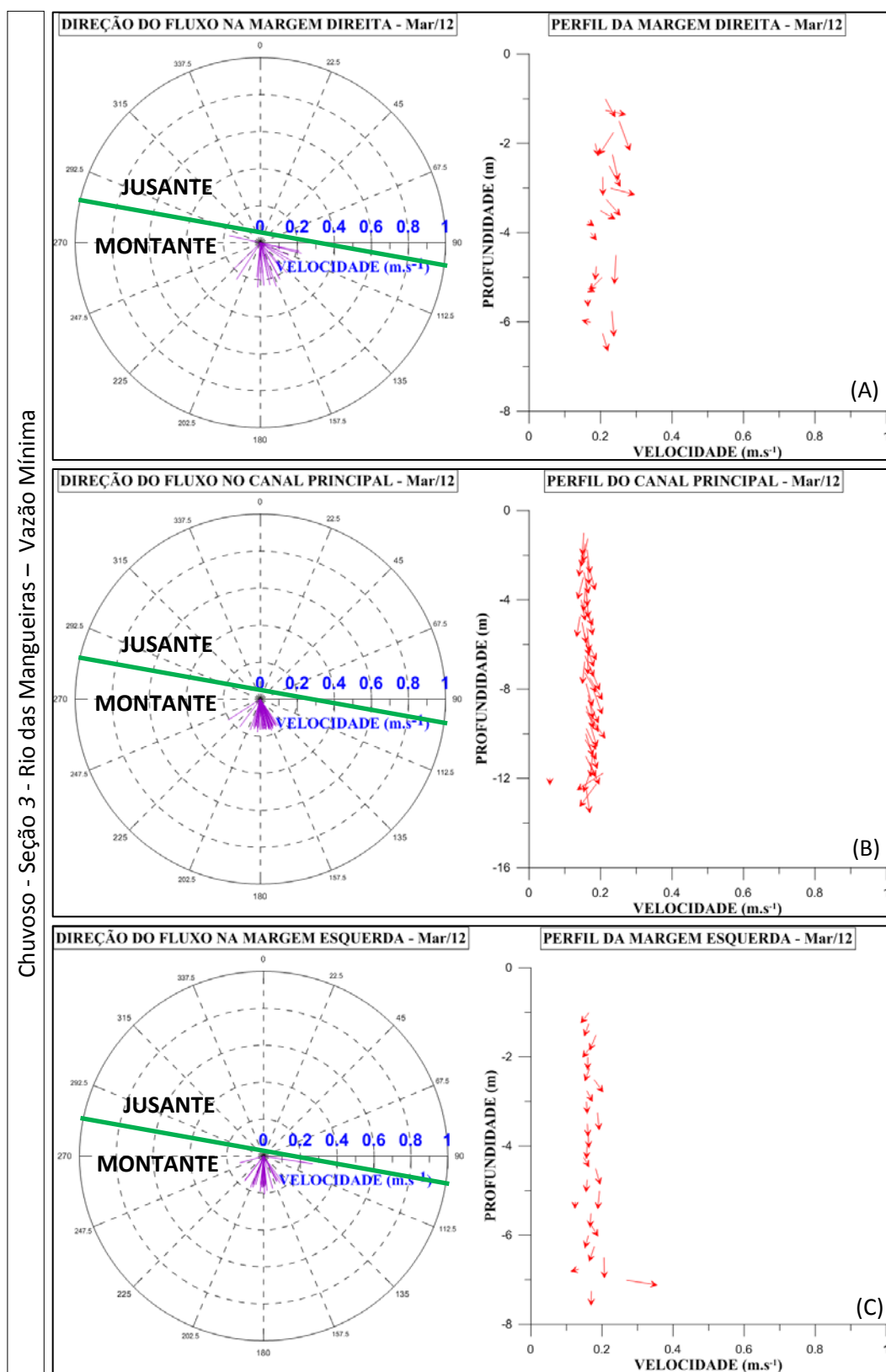


Figura 50. Intensidade ($m.s^{-1}$) e direção ($^{\circ}Az$) das correntes no período chuvoso, a seção 3 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão mínima.

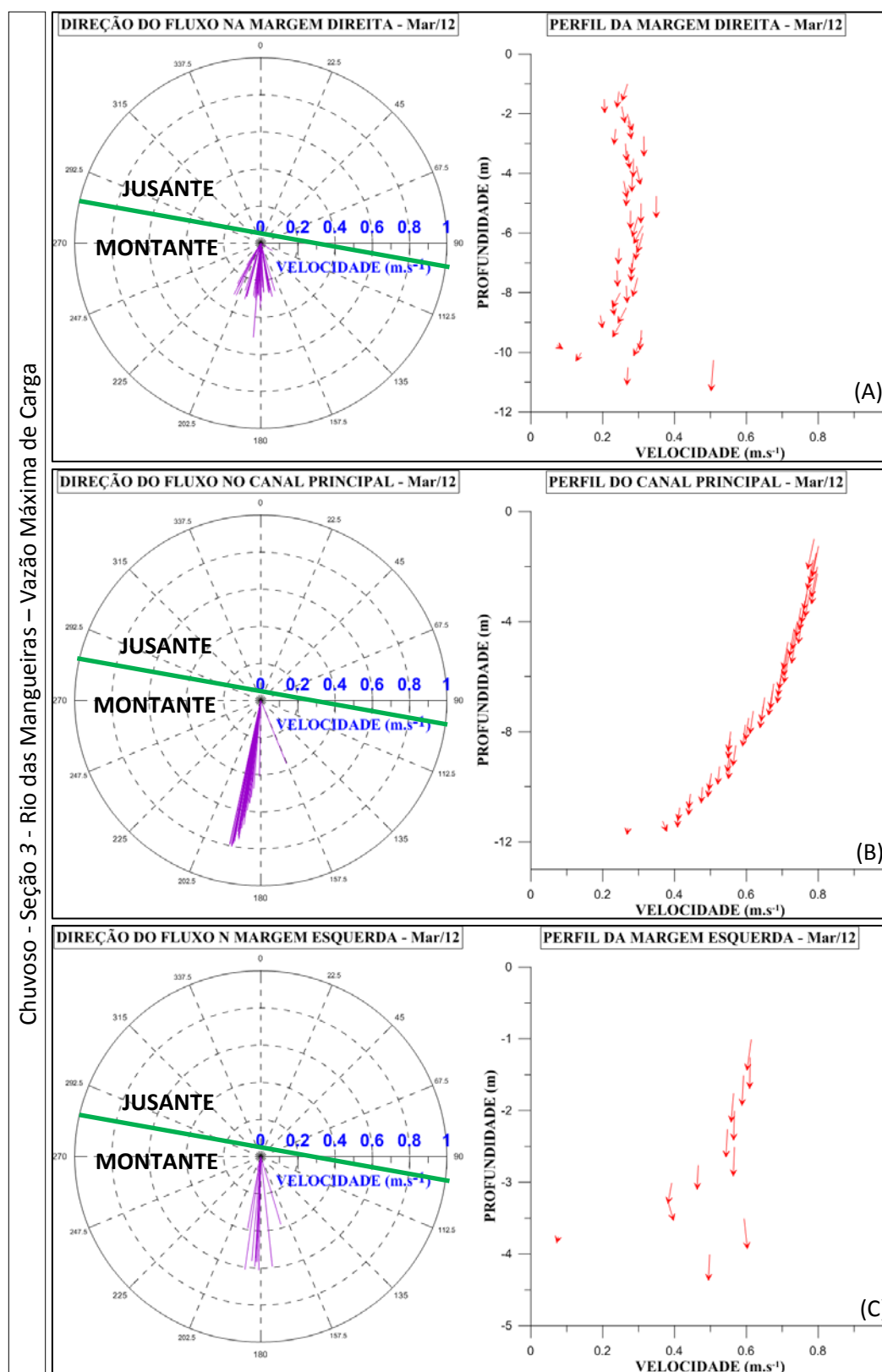


Figura 51. Intensidade ($m.s^{-1}$) e direção ($^{\circ}Az$) das correntes no período chuvoso, a seção 3 (A) margem direita; (B) canal principal e (C) margem esquerda. Vazão máxima de carga.

No período de estiagem a seção 3 (rio Mangueiras) no máximo de vazão, a média da velocidade da corrente em toda a seção foi de $0,68 \text{ m.s}^{-1}$ na direção de 45°Az . Na margem direita, a intensidade média da corrente foi $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ na direção de 55°Az . Na superfície desta margem, a corrente apresentou intensidade de $0,58 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 55°Az , enquanto que no fundo, a intensidade da corrente de vazante foi $0,42 \text{ m.s}^{-1}$ com direção de 27°Az (Fig. 40-A). No canal principal, a corrente média apresenta intensidade de $0,65 \text{ m.s}^{-1}$ e direção 63°Az . Na superfície deste ponto, a velocidade da corrente foi $0,7 \text{ m.s}^{-1}$, com direção de 70°Az , enquanto que na camada próxima ao fundo estes valores foram $0,62 \text{ m.s}^{-1}$ e 133°Az , respectivamente (Fig. 40-B). Já na margem esquerda desta seção, a velocidade média da corrente de vazante foi de $0,78 \text{ m.s}^{-1}$ com direção média de 80° . Na sua superfície, a intensidade da corrente foi $0,78 \text{ m.s}^{-1}$ com direção de 65°Az , enquanto que na camada de fundo, a velocidade da corrente foi $0,46 \text{ m.s}^{-1}$ com direção 60°Az (Fig. 40-C).

Sob regime de mínima vazão ($50 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$), no período de estiagem, a corrente média à seção 3 (rio das Mangueiros) tem intensidade de $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ e direção 182°Az . Na margem direita, a intensidade média da corrente neste momento foi de $0,52 \text{ m.s}^{-1}$ com direção média de 117°Az com valores à superfície de $0,49 \text{ m.s}^{-1}$ com direção 159°Az , e próximo ao fundo de $0,58 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 117°Az (Fig. 41-A). No canal principal, a corrente na coluna d'água foi de $0,52 \text{ m.s}^{-1}$ com direção de 167°Az com valores à superfície e de fundo, respectivamente, de $0,49 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 159°Az e de $0,58 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 117°Az (Fig. 41-B). Na margem esquerda, a intensidade média de corrente foi de $0,53 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 182°Az . Neste ponto as correntes superficiais apresentaram intensidade de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ e direção 194°Az , e as de fundo, intensidade de $0,8 \text{ m.s}^{-1}$ e 188°Az (Fig. 41-C).

Ainda na seção do rio das Mangueiras (seção 3) e período de estiagem, a velocidade média sob regime máximo de carga foi de $0,52 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 222°Az . Na margem direita, a corrente média foi de $0,62 \text{ m.s}^{-1}$ com direção 197°Az . A superfície desta margem, a corrente foi de $0,59 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 216°Az , enquanto que no fundo, a corrente foi de $0,23 \text{ m.s}^{-1}$ a 188°Az (Fig. 42-A). No canal principal a corrente média registrada apresentou intensidade de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$ e direção 213°Az , com valores a superfície e próximos ao fundo de , respectivamente, $0,73 \text{ m.s}^{-1}$ a 206°Az e $0,67 \text{ m.s}^{-1}$ a 136°Az (Fig. 42-B). Registros para a margem esquerda, indicaram correntes médias de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 195°Az , correntes à superfície de $0,76 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 185°Az , e correntes de fundo de $0,83 \text{ m.s}^{-1}$ na direção

243 °Az (Fig. 42-C).

No período chuvoso (março de 2012), a seção 1, a corrente média em regime de descarga foi mais intensa que no período de estiagem com intensidade de $1,08 \text{ m.s}^{-1}$ e direção 179 °Az. A margem direita, a corrente média na coluna d'água foi de $1,12 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 186 °Az, com valor à superfície de $1,15 \text{ m.s}^{-1}$ a 187 °Az e ao fundo de $1,42 \text{ m.s}^{-1}$ à 198 °Az (Fig. 43-A). No canal principal, a intensidade média da corrente na coluna d'água foi de $1,38 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 181 °Az. As correntes à superfície e ao fundo neste ponto apresentaram intensidade e direções de respectivamente, $1,3 \text{ m.s}^{-1}$ e 183 °Az e de $1,33 \text{ m.s}^{-1}$ e 190 °Az (Fig. 43-B). Na margem esquerda, a intensidade e a direção média da corrente foi de $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ e 143 °Az, com corrente de $0,36 \text{ m.s}^{-1}$ à 161 °Az à superfície e de $0,43 \text{ m.s}^{-1}$ à 298 °Az ao fundo (Fig. 43-C).

Quando em vazão mínima ($98,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) no período chuvoso, a velocidade média da corrente na seção 1 foi de $0,03 \text{ m.s}^{-1}$ à 127 °Az. Na margem direita, a média intensidade da corrente foi $0,42 \text{ m.s}^{-1}$, com direção média de 107°. Na superfície desta margem, a intensidade e direção da corrente foram $0,35 \text{ m.s}^{-1}$ à 110°, enquanto que na camada próxima ao fundo, as corrente apresentou intensidade de $0,47 \text{ m.s}^{-1}$ à 47° (Fig. 44-A). No canal principal, a corrente apresentou intensidade média de $0,47 \text{ m.s}^{-1}$ com direção média de 195° ao longo da coluna d'água. Na superfície, a intensidade da corrente foi de $0,47 \text{ m.s}^{-1}$ à 190°, já na camada de fundo, a intensidade da corrente foi $0,22 \text{ m.s}^{-1}$ com direção de 232° (Fig. 44-B). Na margem esquerda, a intensidade e direção médias da corrente na coluna d'água foram $0,22 \text{ m.s}^{-1}$ a 147°. Na superfície deste ponto, a intensidade da corrente foi também de $0,22 \text{ m.s}^{-1}$ com direção de 125°, e no fundo, de $0,29 \text{ m.s}^{-1}$ à 77° (Fig. 44-C).

No período chuvoso, em regime de carga máxima, a intensidade média da corrente na Seção 1 foi de $0,68 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 3 °Az. Na margem direita, a velocidade média da corrente na coluna d'água foi de $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ a 170 °Az. A superfície desta margem, a intensidade e direção da corrente foram $0,54 \text{ m.s}^{-1}$ e 153°, e ao fundo de $0,48 \text{ m.s}^{-1}$ à 215° (Fig. 45A). No canal principal a corrente média foi de $0,97 \text{ m.s}^{-1}$ a 190°. Neste ponto as correntes à superfície e ao fundo foram, respectivamente de intensidade $1,05 \text{ m.s}^{-1}$ e $0,31 \text{ m.s}^{-1}$ e direções 172 °Az e 297 °Az (Fig. 45-B). Na margem esquerda, a corrente de enchente teve intensidade média de $0,43 \text{ m.s}^{-1}$ com direção média de 183°. Na superfície deste ponto,

a corrente de enchente apresentou intensidade de $0,37 \text{ m.s}^{-1}$ à 182° , enquanto que no fundo, de $0,38 \text{ m.s}^{-1}$ a 111° (Fig. 45-C).

A seção 2 (rio do Saco) sob máxima vazão de descarga no período chuvoso a média para a seção foi de $0,72 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 278°Az . A margem direita a velocidade média foi de $0,16 \text{ m.s}^{-1}$ a 144°Az ao longo da coluna d'água, sendo a superfície de $0,15 \text{ m.s}^{-1}$ à 145°Az , e ao fundo de $0,05 \text{ m.s}^{-1}$ a 136°Az (Fig. 46-A). No canal principal desta seção, a velocidade média em profundidade foi de $0,8 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 274°Az , com intensidade e direção à superfície de $0,95 \text{ m.s}^{-1}$ e 280°Az e ao fundo, de $0,54 \text{ m.s}^{-1}$ e 257°Az (Fig. 46-B). Na margem esquerda, a intensidade da corrente foi maior do que em outros pontos, com valor médio para a coluna de $0,97 \text{ m.s}^{-1}$ e direção 284°Az . A superfície a corrente apresentou a velocidade máxima de toda a seção, $1,13 \text{ m.s}^{-1}$ na direção de 288°Az , enquanto que no fundo, a intensidade foi de $0,26 \text{ m.s}^{-1}$ à 180° (Fig. 46-C).

No momento de vazão mínima registrada, $-22,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (estuário acima) a velocidade média na seção 2 (rio do Saco) foi $0,01 \text{ m.s}^{-1}$. Neste momento a margem direita desta seção, a intensidade média da corrente foi $0,17 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 224°Az , com corrente à superfície de $0,14 \text{ m.s}^{-1}$ a 221°Az , e no fundo de $0,33 \text{ m.s}^{-1}$ a 218°Az (Fig. 47-A). No canal principal, a intensidade da corrente média foi $0,17 \text{ m.s}^{-1}$ na direção média 131°Az , a superfície e no fundo deste ponto, as correntes mediram $0,17 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 131°Az e $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 202°Az (Fig. 47-B). Na margem esquerda, a intensidade e direção da corrente média foi de $0,36 \text{ m.s}^{-1}$ e 284°Az , com valor a superfície de $0,37 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 274°Az , e no fundo de $0,31 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 240°Az (Fig. 47-C).

A seção 2 (rio do Saco), em regime de vazão máxima de carga no período chuvoso, a corrente média foi de $0,56 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 98°Az . A margem direita, a intensidade e direção da corrente média na coluna d'água foram $0,27 \text{ m.s}^{-1}$ a 188°Az . A superfície desta margem, a corrente foi de $0,16 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 226°Az e no fundo de $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 113°Az (Fig. 48-A). A corrente média na coluna d'água do canal principal, foi $0,81 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 102°Az , sendo à superfície de $0,81 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 99°Az , e ao fundo, de $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 104°Az (Fig. 48-B). Na margem esquerda, a corrente apresentou intensidade média de $0,21 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 189°Az . a superfície desta margem, a corrente foi $0,18 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 184°Az , e no fundo de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 154°Az (Fig. 48-C).

Quando em vazão máxima de descarga no período chuvoso, a corrente média para a seção 3 (Rio Mangueiras) foi de 1 m.s^{-1} na direção 17°Az . Na margem direita, a corrente média para a coluna d'água foi de $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ a 106°Az . A superfície nesta margem, a corrente apresentou intensidade de $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 89° e ao fundo, intensidade de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 351°Az (Fig. 49-A). No canal principal, a corrente de vazante apresentou intensidade média de $0,9 \text{ m.s}^{-1}$ com direção média de 26° , com velocidade de $1,2 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 18°Az à superfície e velocidade de $0,43 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 45°Az ao fundo (Fig. 49-B). Na margem esquerda, a corrente média foi de $0,48 \text{ m.s}^{-1}$ à 79°Az e de $0,53 \text{ m.s}^{-1}$ a 31°Az e de $0,29 \text{ m.s}^{-1}$ à 33°Az , respectivamente para as camadas superficial e de fundo (Fig. 49-C).

A vazão mínima registrada no período chuvoso à seção 3 (rio Mangueiras) foi de $-171 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (estuário acima) com uma corrente média para a seção de $0,27 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 31°Az . A margem direita, a intensidade média da corrente neste momento foi $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ à 163° , com valores à superfície e ao fundo de respectivamente $0,21 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 151°Az , e $0,17 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 282°Az (Fig. 50-A). No canal principal, a média da velocidade da corrente foi $0,16 \text{ m.s}^{-1}$ com direção 171°Az , com valores de $0,15 \text{ m.s}^{-1}$ e direção 183°Az e de $0,18 \text{ m.s}^{-1}$ e 216°Az nas camadas superficial e de fundo, respectivamente (Fig. 50-B). Na margem esquerda, a velocidade média de corrente sob vazão mínima foi de $0,17 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 181°Az . As camadas superficiais e de fundo com velocidades de $0,16 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 217°Az e de $0,27 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 98°Az , respectivamente (Fig. 50-C).

A velocidade média em regime de máxima vazão de carga durante o período chuvoso a seção 3, rio das Mangueiras foi de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 190°Az . Na margem direita, a intensidade média de corrente foi de $0,27 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 183°Az . A superfície desta margem, a intensidade foi $0,26 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 198°Az , já no fundo, foi de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ à 184°Az (Fig. 51-A). No canal principal desta seção, a corrente média foi de $0,64 \text{ m.s}^{-1}$ a 188°Az , sendo que à superfície foi de $0,78 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 192°Az e no fundo de $0,27 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 189°Az (Fig. 51-B). A margem esquerda, a corrente média foi de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ na direção 182°Az . A superfície e ao fundo, respectivamente, com valores de $0,61 \text{ m.s}^{-1}$ a 188°Az e de $0,007 \text{ m.s}^{-1}$ à 195°Az (Fig. 51-C).

Analisando o comportamento geral para as três seções amostrais ao longo do ciclo das marés e nos dois períodos sazonais, verificou-se que as correntes à superfície tendem a

ser mais intensas que próximas ao fundo, especialmente no canal principal, com um fluxo unidirecional ao longo da coluna d'água, o que é mais comum. O atrito com as margens, fundo e entre a própria coluna d'água, resulta em perda de energia com o aumento da profundidade reduzindo a velocidade na camada próxima ao fundo (MIRANDA, 2002). Padrão semelhante foi reportado para levantamentos realizados à foz do Paracauari (BEZERRA et al., 2011) no período de estiagem em 2007, com correntes de $0,05 \text{ m.s}^{-1}$ nos estofos de preamar e baixa-mar e de $0,7 \text{ m.s}^{-1}$ nos estágios de enchente e vazante.

Este padrão não se repetiu para as áreas de margens da seção do rio Paracauari na presente pesquisa, especialmente nos picos de vazante e nos estofo, quando se observou corrente mais intensas no fundo e menor à superfície, bem como mudança aleatória na direção da corrente nesta profundidade. Dois fatores que podem contribuir para esse padrão são: (1) a presença de plataformas de abrasão de laterita e fragmentos de estruturas de cimento de antigos portos, que podem ter acelerado e perturbado o fluxo d'água próximo ao fundo e (2) o tráfego de embarcações motorizadas, causando turbulência nas camadas mais profundas e em direção as margens já que estes pontos se localizam próximos aos portos dos municípios de Soure e Salvaterra.

No período de estiagem, sob regime de vazão de carga máxima, observou-se a inversão do sentido das correntes nos pontos da margem direita e do canal principal da seção 1 (foz do rio Paracauari), com um fluxo à superfície em direção à baía de Marajó, e direcionado para montante próximo ao fundo, ou seja, um decréscimo do componente baroclínico do gradiente de pressão (movimento estuário acima) e aumento do componente barotrópico (movimento estuário abaixo) (MIRANDA, 2002). A descarga fluvial mais reduzida o período de estiagem, não impede a intrusão salina próxima ao fundo durante o estágio de enchente.

No período chuvoso, a seção do rio do Saco, observou-se uma inversão lateral das correntes em regime de vazão mínima, com um fluxo próximo as margens em direção a baía de Marajó e um fluxo de carga (para montante) no canal principal. Esta configuração de resulta da ação da componente de pressão gerada pela descarga de água doce proveniente da bacia de drenagem, forçante barotrópica, que encontrando menor pressão hidrostática nas margens que no canal principal, onde ainda domina a forçante da maré e prevalece a

componente baroclínica. A circulação média na maioria dos estuários é bidirecional, com movimento estuário abaixo na camada superficial e estuário acima próximo ao fundo (MIRANDA, 2002). A inversão da corrente, tanto lateral quando vertical, foi observada em estuários como o de Cananéia (SP) e de Araruama (RJ) (MIRANDA, 1995; LESSA, 1991).

A intensidade da corrente foi mais elevada no canal principal em todas as seções nos dois períodos levantados, quando comparado às suas margens, especialmente na camada superficial da coluna d'água e durante o estágio de vazante. Isto ocorre em função da geometria das seções. Nas margens, que são regiões mais rasas, o atrito atuante nas laterais e no fundo é maior e se propagada até a camada superficial (MIRANDA, 2002). Já no canal principal, o efeito de fronteira está mais limitado ao fundo e nem sempre se propaga até a superfície, resultando em um perfil logarítmico da velocidade, conforme registrado em várias oportunidades.

No período chuvoso, as correntes foram cerca de 30% mais intensa que no período de estiagem em todas as três seções amostradas, especialmente durante o estágio de vazante. Este padrão é consequência do maior aporte pluviométrico na bacia do rio Paracauari ocorrente no período chuvoso levantado, quando houve máximo de chuva acumulada no ano de 2012, aumentando assim, a vazão e a velocidade da corrente em toda a bacia. A sazonalidade da vazão de bacias e sub-bacias amazônicas, sua sincronia e relação direta com a variabilidade pluviométrica da região foram também observadas por MARENGO (1991; 1992; 1995), MARENGO; HASTENRATH (1993) e por RICHEY et al. (1989).

O diagrama de Perjup mostrou-se uma ferramenta efetiva na inferência do nível hidrodinâmico durante a sedimentação, com boa correspondência entre os níveis indicados pelo diagrama e os valores de correntes medidos em campo, tanto no período de estiagem quanto chuvoso. O maior teor de areia detectado nas amostras do período chuvoso indicativos de um regime hidrodinâmico de maior energia corresponderam a medições de valores de correntes mais intensas nesse período, quando a drenagem fluvial em resposta ao maior volume de chuvas, move os sedimentos de granulometria mais fina em direção à baía de Marajó e da foz do rio Pará.

Em linhas gerais, pode-se afirmar que o sistema estuarino do Paracauari apresenta uma hidrodinâmica energética, tanto no período de estiagem quanto no chuvoso.

Caracterização semelhante foi realizada para a baía do Guajará (GREGÓRIO, 2007), localizada próximo à cidade de Belém, a sul da Ilha de Marajó. O regime hidrodinâmico deste sistema foi classificado como alto e muito alto pelo diagrama de Perjup, tendo o autor concluí que os sedimentos arenosos presentes na baía do Guajará sejam provavelmente provenientes da baía de Marajó e do rio Pará.

7.7 Circulação e Estratificação

O Diagrama de Estratificação-Circulação de Hansen & Rattray (1966) foi aplicado para a classificação do comportamento do estuário na região das três seções estudadas (Fig. 52). Da análise, verifica-se que em ambos os períodos climáticos e nas três regiões o sistema se enquadra no tipo 1, porém na região das seções 1 e 2 (foz do Paracauari e confluência com o rio do Saco) oscilando entre o subtipo 1a, fracamente estratificado no período de estiagem para o subtipo 1b, que possui estratificação moderada, no período chuvoso. Na região da seção 3 (rio Mangueiras), o sistema apresentou-se como do subtipo 1a tanto no período de estiagem quanto chuvoso.

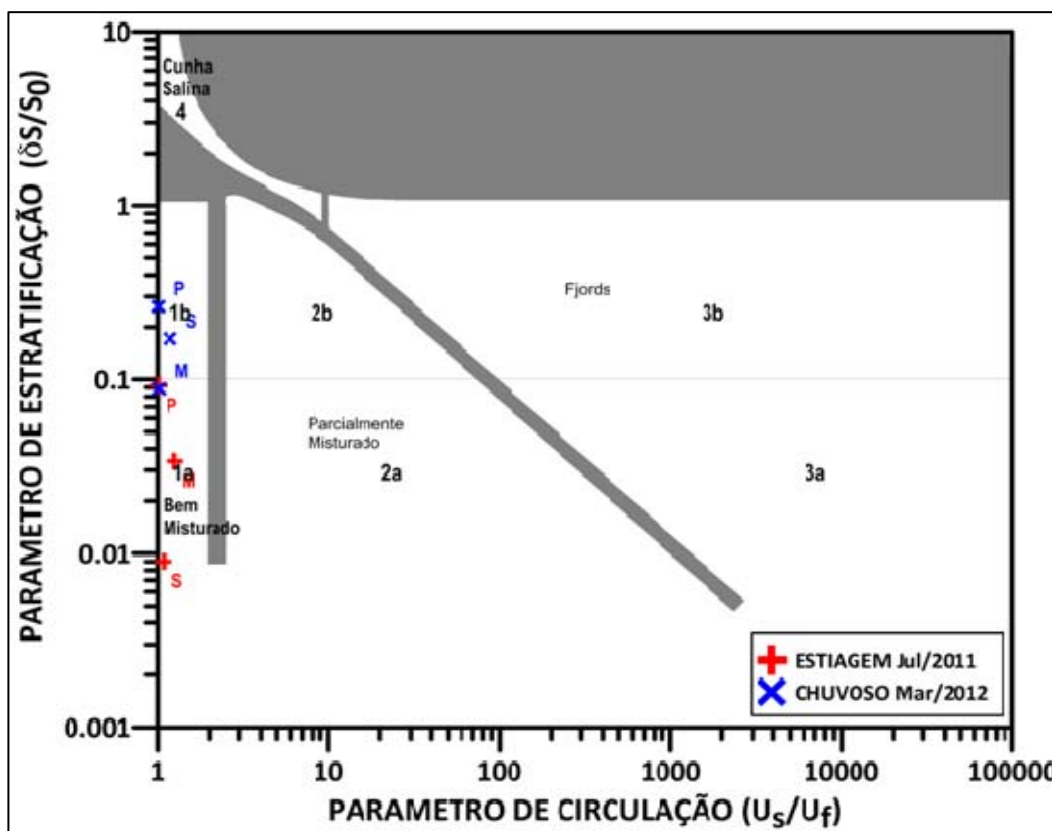


Figura 52. Classificação estuarina segundo Hansen & Rattray (1966) às sessões amostrais do rio Paracauari (P), rio Mangueira (M) e rio do Saco (S).

O trecho fluvio-estuarino do Paracauari corresponde ao Tipo 1 do sistema de classificação de Hansen & Rattray, correspondendo a um estuário onde o fluxo residual (ou resultante) se dá estuário abaixo, ou seja em direção ao mar, em todas as profundidades, e com o transporte de sal ocorrendo apenas por efeito da difusão turbulenta.

Estuários classificados como dos subtipos 1a e 1b pelo diagrama de Hansen & Rattray são considerados, em termos gerais, como bem misturados, caracterização típica de estuários dominados por maré com uma amplitude capaz de promover homogeneização vertical da coluna d'água e se propagar a consideráveis distâncias estuário acima (PEREIRA et al., 2010; MIRANDA, 2002).

A descarga fluvial induz estratificação na coluna d'água ao passo que a propagação da maré produz mistura (SIEGLE et al., 2009). No período de maior vazão (período chuvoso) o parâmetro de estratificação foi mais elevado em todas as seções estudadas relativo ao período de estiagem, quando a influência da descarga da bacia do rio Paracauari que tenderia a contribuir para a estratificação da coluna d'água é menor. Assim os resultados obtidos guardam coerência com o embasamento teórico.

BEZERRA et al. (2011) também classificaram o comportamento do sistema à foz do estuário do rio Paracauari de acordo com o diagrama de Hansen & Rattray no período de estiagem em 2007, como Tipo 1a, assim como na seção 1 da presente pesquisa. Assim, nota-se que durante o período de estiagem, em anos diferentes, a foz do estuário em questão se comporta analogamente a um estuário bem misturado.

8. CONCLUSÕES

A Bacia Hidrográfica do rio Amazonas exerce influência direta e indireta na modelação e controle de toda a Zona Costeira Amazônica, e na região de estudo desta pesquisa está inserida neste conjunto. Por se localizar na foz do rio Amazonas, a Ilha do Marajó, bem como sua região oceânica adjacente, também é regida pelo seu domínio. Por este motivo, o estudo hidrodinâmico do rio Paracauari, maior rio da região nordeste da ilha, é imprescindível para a compreensão do funcionamento deste sistema e sua relação com a Baía do Marajó.

A formação e a batimetria do rio Paracauari é provavelmente influenciada por controle estrutural, pois a orientação NW-SE de sua região mais profunda, que possui profundidade próxima a 50 m, e a delimitação de formações geomorfológicas distintas indicam a possibilidade da presença de uma falha tectônica, porém é necessária uma investigação sísmica apropriada para a sua confirmação. Há também algumas áreas expostas quando na baixa-mar, formando planícies lamosas e florestas de mangue, especialmente próximo às margens e à confluência do rio Paracauari com o rio Mangueiras, que é o rio mais raso na área amostrada nesta pesquisa.

O sistema da região estuarina da bacia do rio Paracauari é diretamente influenciado pelo regime pluviométrico local, que atua na sazonalidade da descarga da bacia e interage com os outros parâmetros como salinidade, aporte de material particulado em suspensão, aporte sedimentar e de nutrientes, por exemplo, bem como na sua relação com a baía de Marajó. O aporte de chuvas nesta região é intenso durante todo o ano, especialmente durante o período chuvoso, porém sua diminuição no período de estiagem é sentido em toda a região, bem como no rio Paracauari.

A água no rio Paracauari se apresentou mais salobra no período de estiagem, com salinidade média de 6 nas três seções estudadas. Porém, nos dois períodos estudados, a salinidade permaneceu relativamente baixa quando comparado a estuários que não possuem a influência direta de uma bacia de vazão considerável, especialmente no período chuvoso, quando a salinidade foi próxima a zero em toda a área de estudo. Neste período, apesar da região perceber os efeitos da co-oscilação da onda de maré, a penetração de água

marinha foi bem menor do que no período de estiagem. A região demonstrou ser bem misturada, tanto lateral quanto verticalmente, em todo o período de estudo.

No período de estiagem, percebeu-se que a salinidade adentra preferencialmente no rio do Saco em relação ao rio Mangueiras. No período chuvoso, a maior salinidade percebida se deu próximo à região de várzea, no rio Mangueiras, por influência desta vegetação que retém sais e os exporta para o rio.

Os diagramas de Shepard e Pejrup, utilizados para interpretação dos dados de sedimento de fundo, indicaram hidrodinâmica entre alta e muito alta, sugerido pela prevalência de sedimentos arenosos, apesar da presença de sedimentos finos (silte e argila).

A distribuição das concentrações dos sólidos totais em suspensão (STS) confirma os padrões e tendências gerais identificadas com os registros de turbidez, sazonalmente com concentrações mais elevadas durante o período chuvoso e ao longo do ciclo das marés com menores concentrações e maior variabilidade ao longo da seção ocorrendo nas preamares e concentrações mais elevadas e mais homogeneamente distribuídas na seção nas baixamares. No entanto os valores quantitativos obtidos pelo sensor óptico não sempre corresponderam aos valores obtidos pela filtragem das amostras. Coloração da água, presença de bolhas e a densidade e tamanho das diferentes partículas estão dentre os fatores que podem causar erros de leitura, e diferenças entre medições realizadas por sensores ópticos e por filtragem de amostras. A baixa correlação encontrada para a seção do rio Mangueiras pode ser indicativa de que alguns desses fatores (microorganismos, coloração devido a ácidos úmicos, taninos, etc.) possam estar presentes na área e interferindo nas medições ópticas. Apesar de menos prático, as determinações paralelas da turbidez com uso de sensores ópticos devem ser validadas por determinações de STS pelo método de filtração, sempre que possível.

As vazões, tanto de descarga quando de carga, foram maiores em todos os três rios estudados durante o período chuvoso, quando o aporte pluviométrico foi mais elevado. Isto resultou no aumento da intensidade das correntes de maré, especialmente as de vazante, mantendo um padrão de maior intensidade na superfície do que no fundo, como consequência da perda de energia cinética por atrito com o fundo e com as margens. Porém, a vazão efetiva foi mais intensa no período de estiagem que no chuvoso, em decorrência da

menor pressão hidrodinâmica exercida pela baía do Marajó sob a foz do rio Paracauari como consequência do menor aporte de chuva nesta região, e maior facilidade de penetração da água exportada pelo rio Paracauari nesta baía.

Este padrão só não se repetiu nas margens da seção do rio Paracauari, onde a intensidade da corrente foi maior no fundo do que na superfície, bem como há a mudança aleatória da direção da corrente, por provável consequência da presença da plataforma de abrasão de laterita, ou de fragmentos de cimento de antigos portos, ou pela própria influência das embarcações motorizadas que percorrem próximo a seção de estudo, onde há portos dos municípios de Soure e Salvaterra.

Foram notadas inversões lateral (seção 3, no período chuvoso) e vertical (seção 1 no período de estiagem) de corrente, quando há a oposição simultânea dos componentes baroclínico e barotrópico do gradiente de pressão, resultando em num movimento bidirecional na seção e/ou na coluna d'água.

De acordo com o Diagrama de Estratificação – Circulação de Hansen & Rattray (1966), a região estuarina da bacia do rio Paracauari, se enquadra no *Tipo 1*, variando entre os tipos *1a* e *1b*, no qual de forma geral o fluxo resultante se dá estuário abaixo em todas as profundidades da coluna d'água, confirmando que este sistema atua como exportador de sedimentos, nutrientes e outras substâncias para a baía de Marajó.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Disponível em: http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/rh_amazonica.htm Acesso em: 10 nov. 2012.

AVELINE, L. C. Fauna dos manguezais brasileiros. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, n. 42, p.786-821. 1980.

BEMERGUY, R. L. **Estudo Sedimentológico dos Paleocanais da Região do Rio Paracauari, Ilha do Marajó – Estado do Pará**. 1981. 95 p. Dissertação de Mestrado – NCGG-UFPA. Belém (PA), 1981.

BEZERRA, M. O.; MEDEIROS, C.; KREELING, A. P. M.; ROSÁRIO, R. P.; ROLLNIC, M. Physical oceanographic behavior at the Guamá/Acará-moju and the Paracauari river mouths, Amazon Coast (Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 64, p. 1448-1452. 2011.

BLANTON, J.; ALBER, M.; SHELDON, J. Salinity Response of the Satilla River Estuary to Seasonal Changes in Freshwater Discharge. Proceedings of the 2001 Georgia Water Resources Conference, March 26-27, 2001.

CAMERON & PRITCHARD, 1963. Estuaries. In: HILL, M. N. (Ed.) **The Seas. Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas**. New York, Interscience, PP. 306-324.

CORREA, P. R. S.; PERES, R. N.; VIEIRA, L. S. Solos. In: Brasil. PROJETO RADAM (Eds.). *Folha Belém SA-22*. Rio de Janeiro: DNPM (Levantamento de Recursos Naturais). v.5, p. 1-53. 1974.

CORRÊA, I. C. S. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da Baía de Marajó - PA. **Pesquisas em Geociências**. Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre, RS - Brasil. v.32, n.2, p.109-118. 2005.

EL-ROBRINI, M.; SILVA, M. A. M. A.; SOUZA FILHO, P. W. M.; EL-ROBRINI, M. H. S.; SILVA JÚNIOR, O. G. da; FRANÇA, C. F. de. **Atlas de erosão e progradação da zona costeira do estado do Pará - região amazônica: áreas oceânica e estuarina**. In: Dieter Muehe. (Org.). Atlas de erosão e progradação da zona costeira brasileira. 1ed. São Paulo: p. 1-34. 2006.

FERREIRA, G.P. **Circulação em Canais de Maré na Ilha de Marajó – PA**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará. Belém. 2010.

FRANÇA, C. F. **Morfologia e Mudanças Costeiras da Margem Leste da Ilha de Marajó (PA)**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará. 2003.

FRANÇA, C. F.; SOUZA FILHO, P. W. M. Análise das Mudanças Morfológicas Costeiras de Médio Período na Margem Leste da Ilha de Marajó (Pa) em Imagem Landsat. **Revista Brasileira de Geociências**. 127-136p. 2003.

FRANÇA, C. F. ; SOUZA FILHO, P. W. M. Compartimentação morfológica da margem leste da Ilha de Marajó: Zona Costeira dos municípios de Soure e Salvaterra – Estado do Pará. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 7, nº1, 33-42. 2006.

FRANZINELLI, E. Evolution of the geomorphology of the coastal of the state of Pará, Brazil. Symposium PICG 274, ORSTOM, Cayene: 203-230. 1990.

GREGÓRIO, A. M. S. **Contribuição à Gestão Ambiental da Baía de Guajará (Belém-Pará-Amazônia) Através de Estudo Batimétrico e Sedimentológico**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2007.

HANSEN, D. V; RATTRAY Jr., M. New Dimensions in Estuary Classification. **Limnology and Oceanography**., n. 3, v. 11, 319-325. 1966.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acessado em agosto/2011 e abril/2012.

LESSA, G.C. Dinâmica de maré e transporte de sedimentos no canal de Itajuru – Laguna de Araruama (RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21(4), p. 378-386. 1991.

LIMA, A. M.; OLIVEIRA, L. L.; FONTINHAS, R. L.; LIMA, R. J. S. Ilha do Marajó: Revisão Histórica, Climatológica, Bacias Hidrográficas e Propostas de Gestão. **HOLOS Environment**, v.5 n.1- p 65. 2005.

MARTORANO, L. G.; PEREIRA L. C.; CÉSAR, E. G. M.; PEREIRA, I. C. B.; SANTOS, E. C. D. dos; SANTOS, F. A. C. dos; MORAES, W. F. M.; NERY, F. de A. S.; RODRIGUES, T. E.; ROLIM, P. A. M. Estudos climáticos do estado do Pará, Classificação Climática (KÖPPEN) e Deficiência Hídrica (THORNTHWAITE, MATHER). Belém, **Sudam/Embrapa**. 53 p. 1993.

MANTELLI, L. R.; ROSSETTI, D. F. Significado Tectônico de Lineamentos de Drenagem no Sudoeste da Ilha do Marajó. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 39 (1), p. 42-54. 2009.

MARENGO, J.: 1991, Extreme climatic events in the Amazon Basin and their associations with the circulation of the global tropics. Tese de Doutorado. Department of Meteorology, University of Wisconsin-Madison, 147 pp.

MARENGO, J. A. Variations and Change on South American Streamflow. **Climate Change**, v.31, p. 99-117. 1995.

MARENGO, J. A. Interannual Variability of Surface Climate in the Amazon Basin, **International Journal of Climatology**, v.12, p. 853-863. 1992.

MARENGO, J. A. ; HASTENRATH, S. Case Studies of Extreme Climatic Events in the Amazon Basi. **Journal of Climatology**, v.6, p. 617-627. 1993.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC. **Perfil dos Estados Litorâneos do Brasil**: Subsídios à Implantação do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro. Coordenações Estaduais do Gerenciamento Costeiro. Brasília, Programa Nacional do Meio Ambiente. 301p. 1996.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

MIRANDA, L. B.; MESQUITA, A. R.; FRANÇA, C. A. S. Estudo da circulação e dos processos de mistura no extremo sul do mar de Cananéia: Condições de dezembro de 1991. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v. 43(2), p.153-164. 1995

MONTEIRO, S. M. **Dinâmica dos parâmetros abióticos na zona de mistura do estuário do Rio Paracauari, Ilha de Marajó – PA**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém. 2009.

OFFICER, C. B. Physics of Estuarine Circulation. In: KETCHUM B. H. (Ed.) **Estuaries and Enclosed Seas**. Amsterdam, Elsevier, 26, PP. 15-41. 1983.

PEREIRA, M. D.; SIEGLE, E.; MIRANDA, L. B.; SCHETTINI, C. A.F. Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: Estuário de Caravelas (BA). **Revista Brasileira de Geofísica**, v.28(3), p.427-444. 2010.

PEJRUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: BOER, P. L.; van GELDER, A. & NIO, S. D. (Ed). **Tide-influenced Sedimentary Environments and Facies**. D. Reidel, Dordrecht. P. 289-300. 1988.

PRITCHARD, D.W. Estuarine hydrography. In: LANDSBERG, H.E. (ed.). **Advances in Geophysics 1**. Academic Press, New York. pp. 243-280. 1952.

PRITCHARD, 1955. Estuarine Circulation Patterns. Proceedings of the American Society of Civil Engineering. 81(717): 1-11. 1955.

PRITCHARD, D. W. 1967. What is an Estuary: Physical Viewpoint, In: Lauff GH (Ed), Estuaries, American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, p 3-5.

RANIERI, L. A. **Comportamento morfo-sedimentar da praia do Pesqueiro – Soure, Ilha de Marajó/PA**. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Oceanografia. Universidade Federal do Pará. Belém. 2008.

RICHEY, J. A.; NOBRE, C.; DESER, C. Amazon River Discharge and Climate Variability: 1903 to 1985. **Science**, v. 246, p. 101-103. 1989.

ROSSETI, D. F. Late Cenozoic Sedimentary Evolution in Northeastern Pará, Brazil, Within the Context of Sea Level Changes. **Journal of South American Earth Sciences**, v.14, p. 77-89, 2001.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; VALERIANO, M.M.; MIRANDA, A.C.C. Quaternary Tectonics in a Passive Margin: Marajó Island, Northern Brazil. **Journal of Quaternary Science**, v.23, p.121-135. 2008.

SHEPARD, F.P., Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 24, p. 151-158. 1954.

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(2), p. 123-135. 2009.

SILVA, I.O. **Distribuição da vazão fluvial do estuário do rio Amazonas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2009.

SILVA, J.B.; GALVÍNCIO, J.D.; CORRÊA, A.C.B.; SILVA, D.G.; MACHADO, C.C.C. Classificação Geomorfológica dos Estuários de Pernambuco (Brasil) com Base em Imagens do LANDSAT 5/TM. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.01, p.118-133. 2011.

SILVA, M. S. F. **Caracterização granulométrica dos sedimentos arenosos das praias Grande e Joanes – Salvaterra (Ilha de Marajó/PA)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Oceanografia. Universidade Federal do Pará. Belém. 2008.

SILVA, C. G.; et al. 2004 In: BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. (org). **Introdução à geologia marinha**. Rio de Janeiro: Interciência,. 279 p.

SOUZA FILHO, P. W. M. **A planície costeira bragantina (NE do Pará): influência das variações do nível do mar na morfoestratigrafia costeira durante o Holoceno**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós- Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará. 1995.

SOUZA FILHO, P. W. M. **Avaliação e aplicação de dados de sensores remotos no estudo de ambientes costeiros tropicais úmidos, Bragança, Norte do Brasil**. Tese de Doutorado, Curso de Pós- Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará. 2000.

SOUZA, L. S. B.; ROSSETTI, D. F. Análise morfoestrutural na porção leste da Ilha do Marajó/PA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3387-3394. 2009.