

Capítulo 2

Áreas de Estudo Específicas

Autores do Capítulo

Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental Marinho - UFPA

Prof. Dr. Marcelo Rollnic

Me. Maurício da Silva da Costa

Dra. Thaís Angélica da Costa Borba

Me. Adriel Guimarães Carneiro

Ma. Ângela Carolina Cidon Mascarenhas

Me. Yuri Onça Prestes

Dr. Iranilson Oliveira Silva

Me. Leandro de Souza Santana

Núcleo de Estudos de Geoquímica e Ecologia Marinha Costeira - UERJ

Me. Alex Alves

Ma. Carla Muniz Sabino

Ma. Carolina dos Santos Cardoso

Me. Filipe de Oliveira Chaves

Dr. Lucas Silva Pereira

Ma. Maria Rita Olyntho Machado

Prof. Dr. Mario Luiz Gomes Soares

Coordenação Adjunta

Ma. Carla Muniz Sabino

Me. Maurício da Silva da Costa

Coordenação Científica do Projeto Costa Norte

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

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

Dr. Júlio Augusto de Castro Pellegrini –
PROOCEANO

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

Prof. Dr. Marcelo Rollnic – LAPMAR/UFPA

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

Coordenação Geral do Projeto

Ma. Maria Eduarda Pessoa- ENAUTA

Dr. Júlio Augusto de Castro Pellegrini –
PROOCEANO

Bela. Anne Goni Guedes - ENAUTA

Bela. Dyellen Soares Queiroz – ENAUTA

Coordenação de Comunicação do Projeto

Frederico Luna Rinaldi - PROOCEANO

Rebeca Kiperman – ENAUTA

Citação Sugerida

ROLLNIC, M., COSTA, M.S., BORBA, T.A.C., CARNEIRO, A.G., MASCARENHAS, A.C.C., PRESTES, Y.O., SILVA, I.O., SANTANA, L.S., ALVES, A., SABINO, C., CARDOSO, C.S, CHAVES, F.O., PEREIRA, L.S., MACHADO, M.R.O., SOARES, M.L.G. “Áreas de Estudo – Aspectos físicos e biológicos”, Capítulo 2. Em: Projeto Costa Norte, – Desenvolvimento de Metodologias para o entendimento de processos costeiros e estuarinos e da vulnerabilidade de florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira. v.2. Rio de Janeiro (BR), 2020.

Sumário

2.	Áreas de estudo – Aspectos Físicos e Biológicos	274
2.1.	Baía de Turiçu, MA	279
2.1.1.	Aspectos físicos	280
2.1.2.	Aspectos Biológicos	287
2.2.	Estuário de São Caetano de Odivelas, PA	289
2.2.1.	Aspectos físicos	290
2.2.2.	Aspectos Biológicos	299
2.3.	Sistema Costeiro de Soure, PA	301
2.3.1.	Aspectos físicos	302
2.3.2.	Aspectos Biológicos	307
2.4.	Sistema Costeiro de Sucuriju, AP	309
2.4.1.	Aspectos físicos	311
2.4.2.	Aspectos Biológicos	315
2.5.	Referências	317

Índice de Figuras

Figura 2-1: Áreas de estudo: (I) Sistema Costeiro de Sucuriju (AP); (II) Sistema Costeiro de Soure (PA) ; (III) Estuário de São Caetano de Odivelas (PA); (IV) Baía de Turiaçu (MA).....	278
Figura 2-2: Área de estudo Baía de Turiaçu (MA). Em hachurado azul, o polígono que delimita a área de estudo.	279
Figura 2-3: Mapa de fisionomias vegetais na bacia hidrográfica do rio Turiaçu, destaque para os manguezais e formas aluviais (várzeas) e seus lineamentos estruturais, modificado de CPRM (2017).	281
Figura 2-4: Mapa de composição sedimentológica da bacia hidrográfica do rio Turiaçu e seus lineamentos estruturais, modificado de CPRM (2017).....	282
Figura 2-5: Mapa de altimetria da bacia hidrográfica do rio Turiaçu gerada por imagem de radar ALOS PALSAR, modificado de CPRM (2017).	283
Figura 2-6: O rio Turiaçu e sua drenagem no Litoral Ocidental Maranhense com a localização de estações hidrológicas e faixa de manguezais, modificado de CPRM (2017).....	284
Figura 2-7: Normais climatológicas (1981-2010) de Precipitação (mm) e Temperatura (°C). Estação Meteorológica Turiaçu (MA). Fonte: INMET (2017).	285
Figura 2-8: Média histórica de precipitação na bacia hidrográfica de Turiaçu: nas estações de Turiaçu (1966: 1985), Alto Turi - Santa Helena (1966:1998), Cururupu (1986:2017) e rio Paruá - Santa Luzia do Paruá (1981:2017) segundo dados disponibilizados por INMET (2017).	286
Figura 2-9: Média histórica de vazão na bacia hidrográfica de Turiaçu: Alto Turi - Santa Luzia do Paruá (1981:2017) e rio Paruá - Santa Luzia do Paruá (1972:2014), segundo dados disponibilizados por ANA (2017).....	287
Figura 2-10 Aspecto de uma floresta de mangue em zona de franja na Baía de Turiaçu, MA.	288
Figura 2-11: Área de estudo estuário de São Caetano de Odivelas (PA). Em hachurado azul, o polígono que delimita a área de estudo.	290
Figura 2-12: Distribuição geomorfológica do município de São Caetano de Odivelas. O polígono em vermelho indica a área de estudo. Modificado de MMA, 2014.	291
Figura 2-13: Mapa da distribuição da granulometria (esquerda), seleção (meio) e assimetria (direita) do rio Mocajuba. Fonte: PEREIRA (2018).	292
Figura 2-14: Normais climatológicas (1981-2010) de Precipitação (mm) e Temperatura (°C). Estação Meteorológica de Soure (PA). Fonte: INMET (2017).	293
Figura 2-15: Frequência de intensidade e direção do vento dos meses de janeiro a junho de 2016 no rio Mojuim. Fonte: Silva (2017).	294
Figura 2-16: Frequência de intensidade e direção do vento dos meses de julho a dezembro de 2016 no rio Mojuim. Fonte: Silva (2017).	295
Figura 2-17: Variação longitudinal dos parâmetros hidrográficos e de MPS no rio Mocajuba nos períodos seco (a) e chuvoso (b). Fonte: Gomes (2015).	296
Figura 2-18: Zonas halinas identificadas, segundo classificação de Veneza, para o rio Mojuim, nos períodos chuvoso, intermediário e seco. Na legenda, as zonas halinas de acordo com a classificação de Veneza podem ser consultadas. No eixo lateral à esquerda, o '0' corresponde à foz do estuário. Fonte: VALENTIM (2017).	297

Figura 2-19: Propagação da maré ao longo do rio Mocajuba nos períodos seco (a/b) e chuvoso (c/d). Fonte: SILVA (2015).	298
Figura 2-20: Mapa da distribuição da hidrodinâmica ao longo do rio Mocajuba. Fonte: Pereira (2018).	299
Figura 2-21 Aspecto das florestas de mangue no estuário de São Caetano de Odivelas (PA).	300
Figura 2-22: Área de estudo sistema costeiro de Soure (PA). Em hachurado azul, o polígono que delimita a área de estudo.....	302
Figura 2-23: Configuração tectônica simplificada do norte do Brasil com a localização do Rifte do Marajó. Fonte: Costa et al. (2002).....	303
Figura 2-24: Mapa da área identificando os principais sistemas hidrológicos da região ocidental da zona costeira amazônica.	306
Figura 2-25 Aspecto das florestas de mangue do igarapé Turé no sistema costeiro de Soure (PA)....	308
Figura 2-26: Área de estudo sistema costeiro de Sucuriju (AP). Em hachurado azul, a delimitação da área de estudo.	310
Figura 2-27: Normais climatológicas (1981-2010) de Precipitação (mm) e Temperatura (°C). Estação Meteorológica Macapá (AP). Fonte: INMET (2017).....	312
Figura 2-28: Atuação dos ventos na costa do Amapá. a) Direção anual dos ventos alísios incidentes na costa, controlados pela ZCIT; b) e c) Atuação diária dos ventos locais, nos meses de maio (chuvoso) e outubro (seco) na estação meteorológica de Aporema e Tartarugalzinho. Fonte: Matos et al. (2012).	313
Figura 2-29: Influência da Corrente Norte Brasileira no direcionamento da pluma de sedimentos proveniente da descarga do rio Amazonas (NITTROUER <i>et al.</i> , 1991). Fonte: Silveira (1998).	315
Figura 2-30 Aspecto das florestas de franja às margens do rio Sucuriju no sistema costeiro de Sucuriju (AP).	316

Índice de Tabelas

Tabela 2-1: Divisão da costa brasileira e forçantes associadas à ocorrência e desenvolvimento de florestas de mangue, segundo classificações propostas por Silveira (1964), Schaeffer-Novelli <i>et al.</i> (1990), Dominguez (2009) e Muehe (2010).	276
--	-----

2. Áreas de estudo – Aspectos Físicos e Biológicos

No Brasil, os manguezais ocorrem desde o extremo norte (Rio Oiapoque - 04° 20' N), no Amapá, até Laguna, em Santa Catarina (28° 30' S). Dada essa ampla distribuição latitudinal, esse ecossistema está submetido a diferentes combinações de intensidades das forçantes que controlam sua estrutura, funcionamento e dinâmica.

Considerando-se essa alta amplitude latitudinal na ocorrência dos manguezais na costa brasileira, é importante entendermos o comportamento dessas forçantes ao longo desse espectro latitudinal. Nesse sentido, a compartimentação ou segmentação da costa brasileira segundo suas características geológicas, geomorfológicas, oceanográficas e climáticas se torna uma ferramenta importante e possibilita agrupar segmentos da costa submetidos às mesmas condicionantes ambientais.

Diversos autores propuseram a divisão ou classificação da costa brasileira segundo os mais diferentes aspectos (Tabela 2-1). Do ponto de vista geomorfológico, merece destaque o estudo clássico de Silveira (1964), que apresenta os domínios geomorfológicos como marcos importantes para limitação de áreas propícias à ocupação pelos manguezais, considerando-se a penetração da influência marinha na zona costeira. Considerando-se especificamente a variabilidade dos manguezais ao longo da costa brasileira, Schaeffer-Novelli *et al.* (1990) propuseram a divisão da costa, com base em aspectos oceanográficos, climáticos e geomorfológicos (Tabela 2-1). Posteriormente, Dominguez (2009) apresenta uma divisão que considera as interações entre processos oceanográficos, clima, relevo e geomorfologia costeira e dinâmica sedimentar. Por fim, Muehe (2010) propõe uma classificação da costa brasileira, com base em diferentes propostas disponíveis na literatura, enfatizando os aspectos geomorfológicos e a vulnerabilidade às mudanças climáticas (basicamente à elevação do nível do mar e às inundações). É interessante notarmos a grande similaridade entre as divisões propostas pelos diferentes autores. Na Tabela 2-1 são apresentadas, para cada um dos segmentos da costa brasileira, as principais forçantes que controlam tanto a ocorrência de florestas de mangue, como o desenvolvimento estrutural dessas florestas, permitindo que destaquemos as peculiaridades de nossa área de interesse.

Pelas divisões/classificações acima apresentadas (Tabela 2-1), nota-se que a área de estudo do Projeto Costa Norte (PCN), denominada Margem Equatorial Brasileira (MEB) está totalmente inserida no segmento denominado *Litoral Amazônico ou Equatorial* (Silveira, 1964) ou *Costa de Marés do Amazonas* (Dominguez, 2009) ou *Costa Norte Dominada por Marés e Manguezais* (Muehe, 2010), as quais fazem menção direta a importantes características que são destacadas no nosso estudo, como o clima equatorial, o regime de macromarés, a influência do rio Amazonas e a presença marcante de manguezais.

A região de interesse direto do presente estudo, inserida na Margem Equatorial Brasileira (MEB), é a costa das Bacias do Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, a qual possui cerca de 1.400 km de extensão em linha reta. Essa região possui características oceanográficas e meteorológicas bastante peculiares, quando comparadas a outras regiões costeiras do país, apresentando elevada precipitação anual (até 3.300 mm), altas temperaturas (>20 °C) com baixa variação térmica anual, ampla plataforma continental (~ 330 km), regime de meso, macro e hipermarés (com marés que

podem atingir amplitudes superiores a 10 m), além de estar sob a influência da Corrente Norte do Brasil e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que faz com que a região esteja sob a ação dos ventos alísios. Essa região sofre ainda forte influência da descarga de dezenas de rios, com destaque para o rio Amazonas, com vazão média de $180.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (OLTMAN, 1968, *apud* GEYER *et al.*, 1996) e elevada descarga de sedimentos, nutrientes e matéria orgânica (PEREIRA *et al.*, 2009).

Assim, a Margem Equatorial Brasileira caracteriza-se como uma região altamente energética, tanto no que se refere às forçantes climáticas (radiação solar, temperatura, vento, precipitação), como às forçantes fluvio-oceanográficas (descarga de rios, amplitude de marés, correntes marinhas), que vão moldar as características dos manguezais que aí ocorrem.

No que se refere à descrição das características propícias ao desenvolvimento dos mais extensos manguezais do Brasil (cerca de 80 % dos manguezais brasileiros - ICMBio, 2018) e a maior área contínua de manguezais do planeta (SPALDING *et al.*, 1997), essa região possui fisiografias diversificadas, porém com algumas características em comum, que determinam o estabelecimento de grandes extensões de manguezais, como a ocorrência de amplas planícies costeiras e o predomínio de macromarés, que combinados favorecem a intrusão de água salgada de origem marinha por quilômetros e, por conseguinte, uma larga faixa entremarés ocupada por florestas de mangue.

Tabela 2-1: Divisão da costa brasileira e forçantes associadas à ocorrência e desenvolvimento de florestas de mangue, segundo classificações propostas por Silveira (1964), Schaeffer-Novelli *et al.* (1990), Dominguez (2009) e Muehe (2010).

Divisão da Costa Brasileira				Forçantes Associadas à Ocorrência e Desenvolvimento das Florestas de Mangue
Silveira (1964)	Schaeffer-Novelli <i>et al.</i> (1990)	Dominguez (2009)	Muehe (2010)	
Litoral Amazônico ou Equatorial	Costa do Amapá Golfo do Amazonas Salgado Paraense e Reentrâncias Maranhenses	Costa de Marés do Amazonas	Costa Norte Dominada por Marés e Manguezais	Regime de macromarés, clima úmido com excedente hídrico anual, forte aporte sedimentar e de água doce de origem continental, com destaque para o rio Amazonas
Litoral Nordeste ou das Barreiras	Costa Leste do Maranhão ao Cabo Calcanhar (RN) Costa Nordeste do Cabo Calcanhar ao Recôncavo Baiano	Costa com Deficit Sedimentar do Nordeste	Costa Nordeste com Déficit Sedimentar	Domínio de falésias com planícies costeiras pouco desenvolvidas e áreas abrigadas restritas a desembocaduras de rios e estuários, clima com deficit hídrico anual mais acentuado na porção norte
Litoral Oriental	Recôncavo Baiano a Cabo Frio	Costa Leste Dominada por Ondas e Deltas	Costa Dominada por Falésias e Deltas Dominados por Ondas	Regime de micromarés, precipitação e evapotranspiração similares numa base anual, com déficit hídrico em alguns trechos, presença mais acentuada de falésias na porção norte, alternância no domínio de processos climático-oceanoográficos tropical e subtropical
Litoral Sudeste ou das Escarpas Cristalinas	Cabo Frio a Torres	Costa de Alto Relevo do Sudeste	Costa com Lagunas Associadas a Cordões Arenosos Duplos Costa Sudeste Dominada por Costões Rochosos	Regime de micromarés, clima úmido com excedente hídrico anual, domínio da Serra do Mar, com limitação de áreas abrigadas em alguns trechos, as quais ocorrem associadas a sistemas lagunares/planícies costeiras em trechos onde a Serra do Mar se afasta da linha de costa e a desembocaduras de rios
Litoral Meridional ou Subtropical	Costa do Rio Grande do Sul	Costa Arenosa do Rio Grande do Sul	Costa Arenosa do Rio Grande do Sul com Domínio de Cordões Arenosos Múltiplos	Não ocorrência de manguezais por limitação climática

Apesar das características geológicas/geomorfológicas e oceanográficas determinarem a distribuição e extensão das áreas de manguezal ao longo da MEB, a compartimentação da costa segundo as grandes unidades anteriormente apresentadas não é suficiente para o entendimento do desenvolvimento estrutural dos manguezais, tendo em vista que cada uma dessas unidades não apresenta características ambientais homogêneas, tais como clima, aporte de água doce e aporte de nutrientes. Assim, a seguir apresentamos de forma mais detalhada algumas das características de cada um dos sistemas costeiros estudados no escopo do Projeto Costa Norte.

Nesse litoral, foram escolhidas quatro áreas ocupadas por florestas de mangue (Figura 2-1) onde os estudos foram realizados: sistema costeiro do rio Sucuriju, no Amapá; estuário de São Caetano de Odivelas e sistema costeiro de Soure (Ilha de Marajó), no Pará; e baía de Turiaçu, no Maranhão.

A descrição apresentada neste capítulo baseia-se em dados secundários, disponíveis em bibliografia. É importante destacar a diferença de disponibilidade e profundidade das informações existentes para cada uma das áreas de estudo, assim como entre as diferentes variáveis utilizadas na caracterização dessas áreas. Essa constatação ressalta a abrangência, relevância e profundidade do levantamento de dados realizado pelo PCN. Nesse sentido, como resultado do intenso esforço de levantamento de dados, o PCN, além de propor uma abordagem inovadora e interdisciplinar, vem contribuir para o aprofundamento do conhecimento ambiental referente à MEB. As informações geradas no âmbito do PCN são apresentadas ao longo dos capítulos subsequentes.

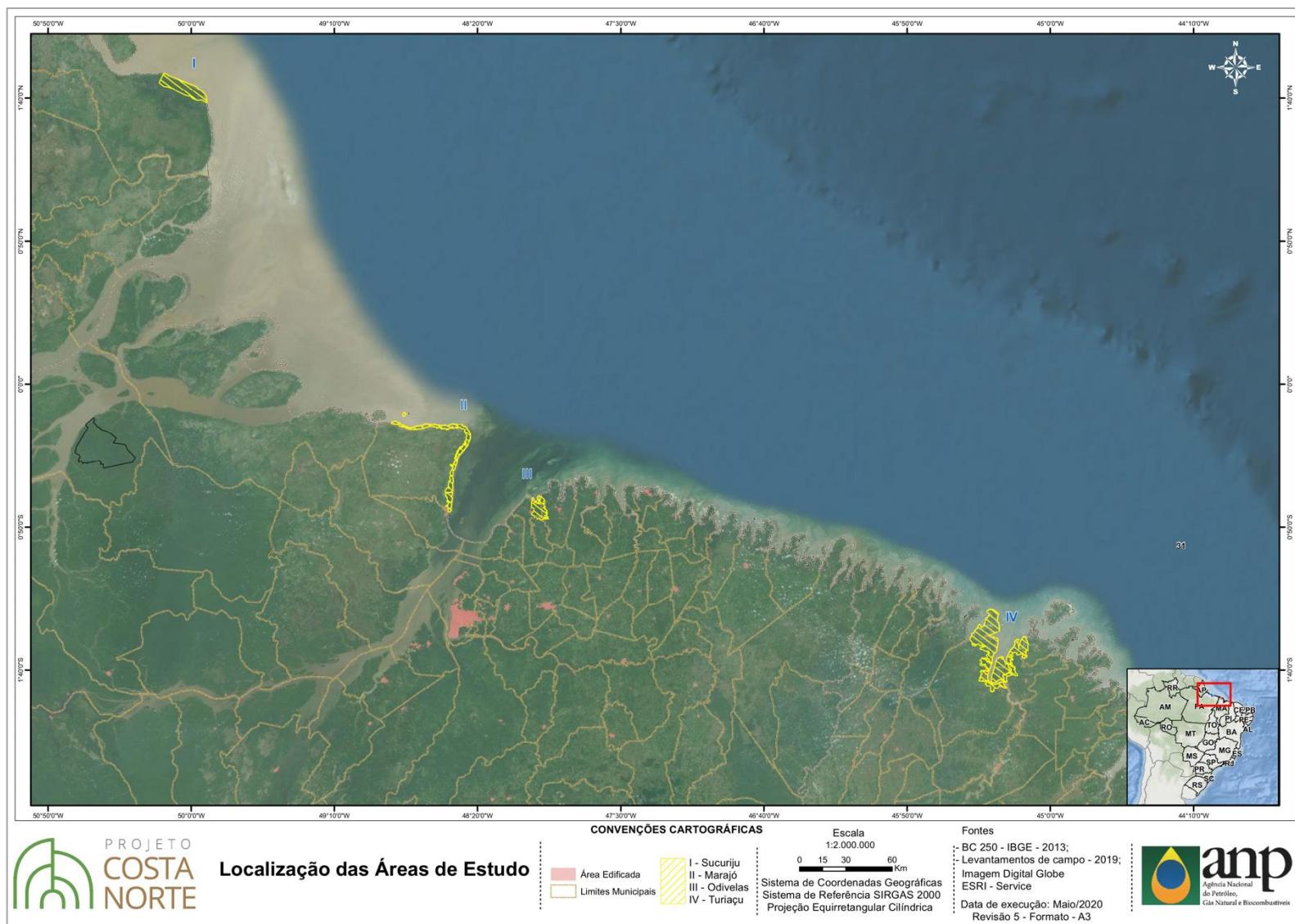


Figura 2-1: Áreas de estudo: (I) Sistema Costeiro de Sucuriçu (AP); (II) Sistema Costeiro de Soure (PA) ; (III) Estuário de São Caetano de Odiveelas (PA); (IV) Baía de Turiçu (MA).

2.1. Baía de Turiaçu, MA

A área de estudo representada pela baía de Turiaçu, MA (Figura 2-2) está inserida na região definida por Muehe (2006) como litoral ocidental, conhecido como a região das “Reentrâncias Maranhenses”, que exibe importantes manguezais e profundos estuários devido às várias reentrâncias.

Segundo a divisão do litoral brasileiro apresentada por Schaeffer Novelli *et al.* (1990), o trecho entre a Ponta Curuçá e a Ponta Mangues Secos, onde se encontra a baía de Turiaçu, possui como característica um litoral de “falsas rias”, com vales fluviais afogados bastante ativos. É nesse contexto costeiro, influenciado por um regime de macromarés, que se desenvolvem florestas de mangue, bordejando as baías e os canais flúvio-estuarinos.

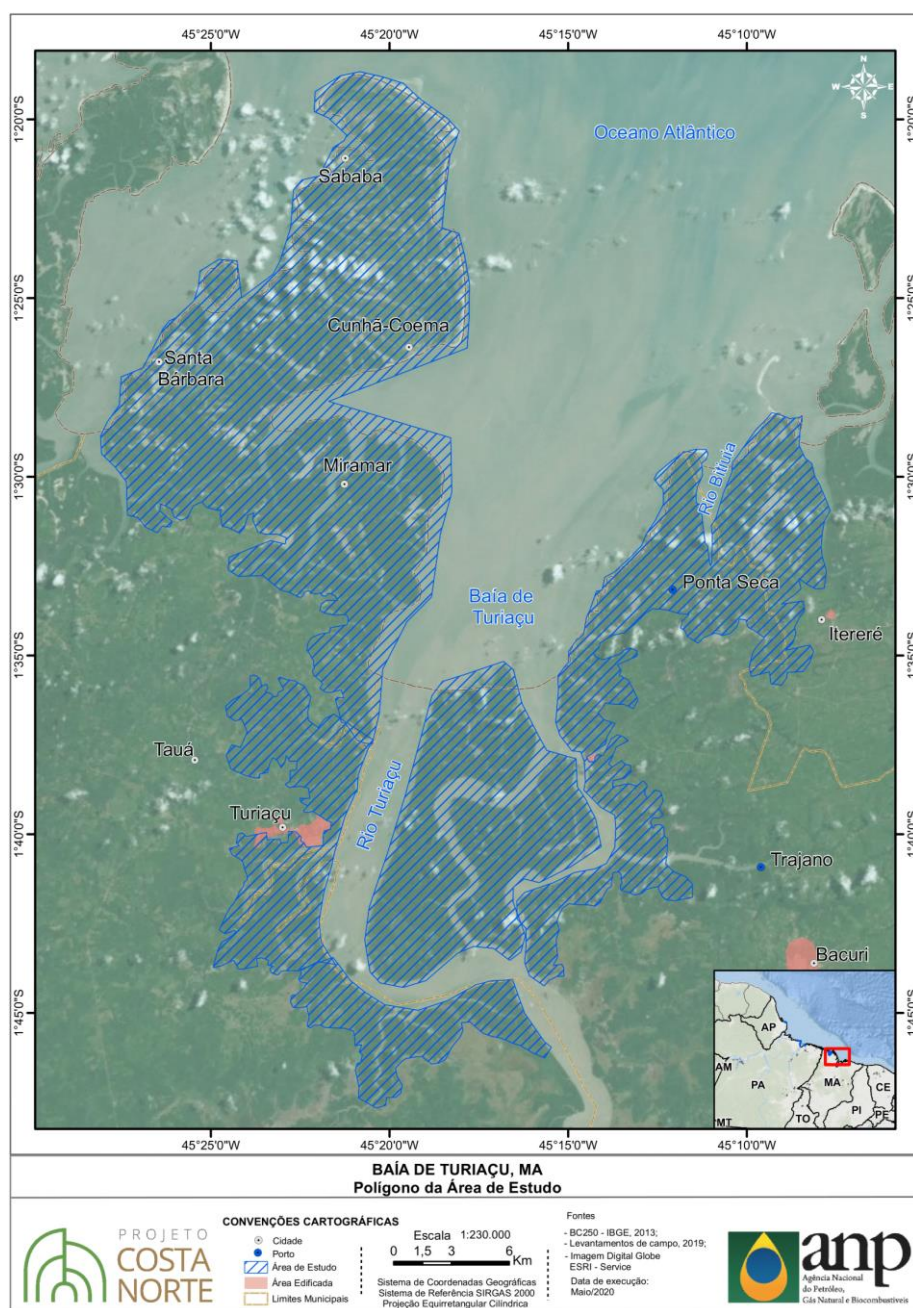


Figura 2-2: Área de estudo Baía de Turiaçu (MA). Em hachurado azul, o polígono que delimita a área de estudo.

2.1.1. Aspectos físicos

2.1.1.1. Geologia e morfologia

A Baía de Turiaçu encontra-se no Litoral Ocidental da Zona Costeira Maranhense (ZCM), na região denominada por SOUZA FILHO (2005) como “Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia”. Três unidades geomorfológicas formam a região do Litoral Ocidental, do qual o rio Turiaçu faz parte: o maciço residual, a zona dos Platôs, esculpidas em sedimentos do Grupo Barreiras, e o Planalto Rebaixado da Amazônia da Zona Bragantina (BARBOSA e PINTO, 1973). Segundo SILVA JR. e EL-ROBRINI (2001), este último é preenchido pelos sedimentos areno-argilosos originados do Grupo Barreiras e Pós Barreiras, relacionado à sedimentação recente e fixação das vegetações de mangue e fluviais nas bordas dos rios (Figura 2-3). A Figura 2-4 traz a composição sedimentológica do rio Turiaçu e adjacências.

A Figura 2-5, modificado da CPRM (2017), mostra as feições de relevo suave e de baixa altitude que, segundo SANTOS (1989), caracterizam o planalto costeiro dessa região, denominado baixo planalto sedimentar costeiro onde, devido à ação sucessiva de águas marinhas sobre os tabuleiros, o processo erosivo resulta na geração de falésias ativas.

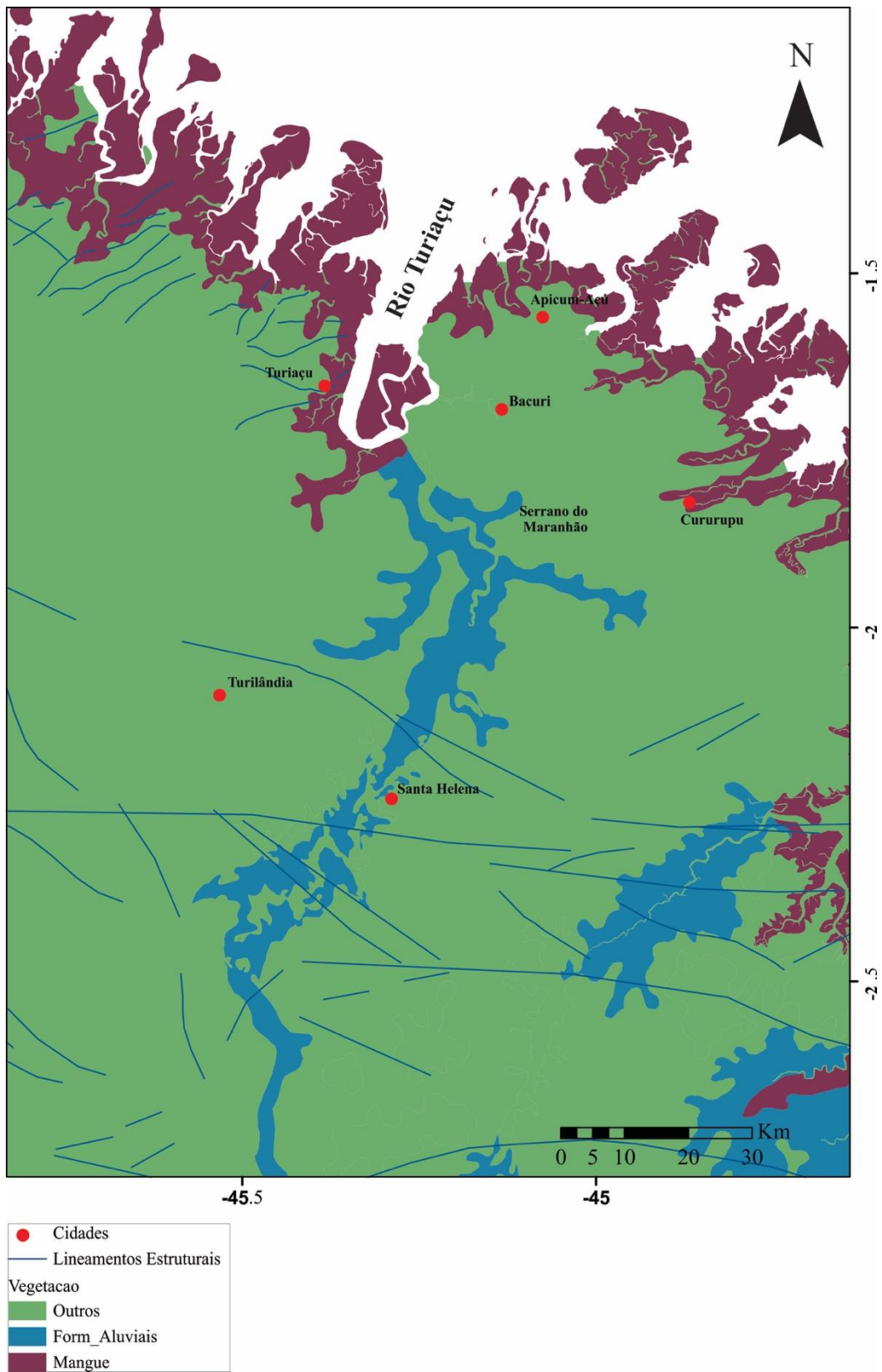


Figura 2-3: Mapa de fisionomias vegetais na bacia hidrográfica do rio Turiacu, destaque para os manguezais e formas aluviais (várzeas) e seus lineamentos estruturais, modificado de CPRM (2017).

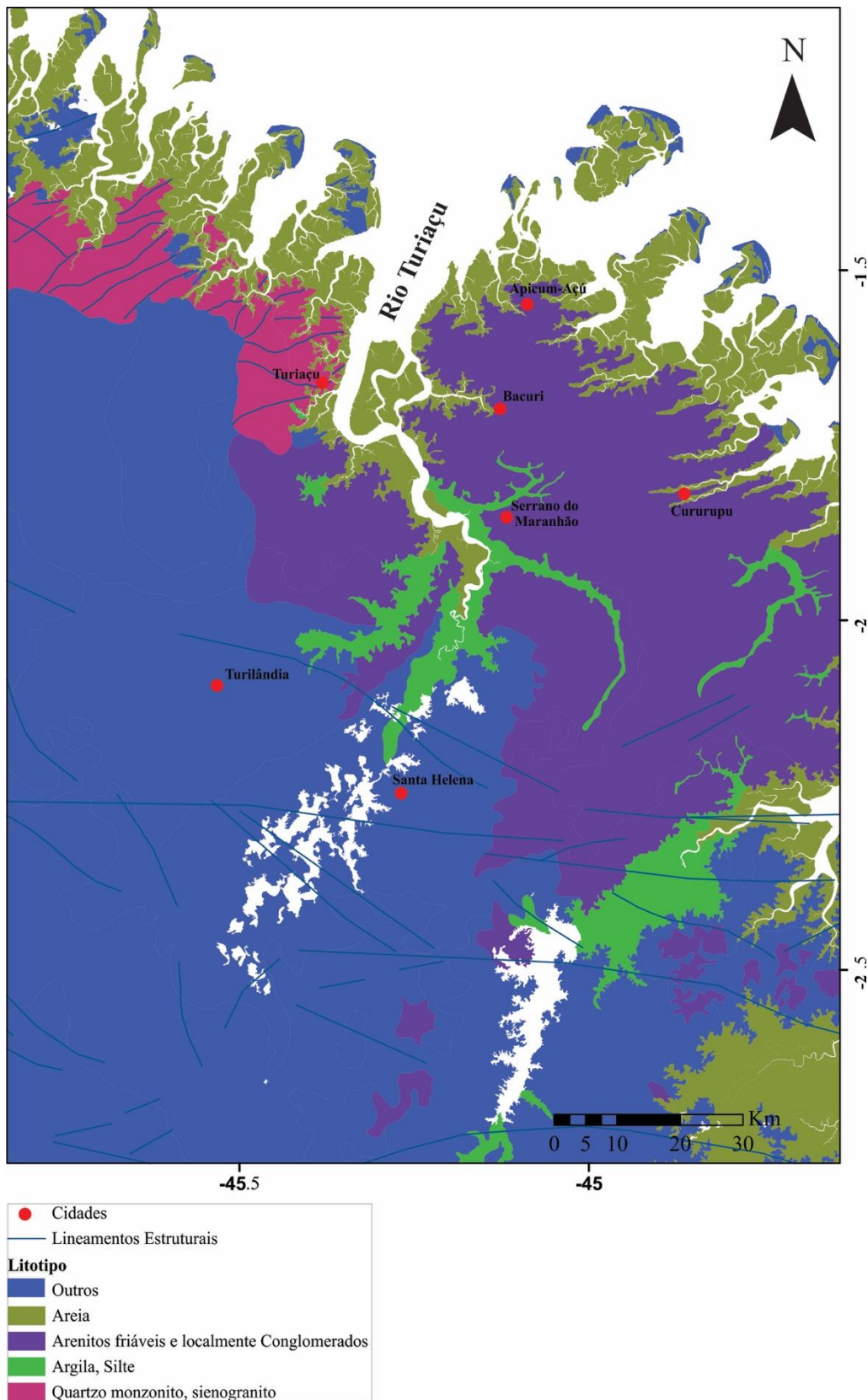


Figura 2-4: Mapa de composição sedimentológica da bacia hidrográfica do rio Turiçu e seus lineamentos estruturais, modificado de CPRM (2017).

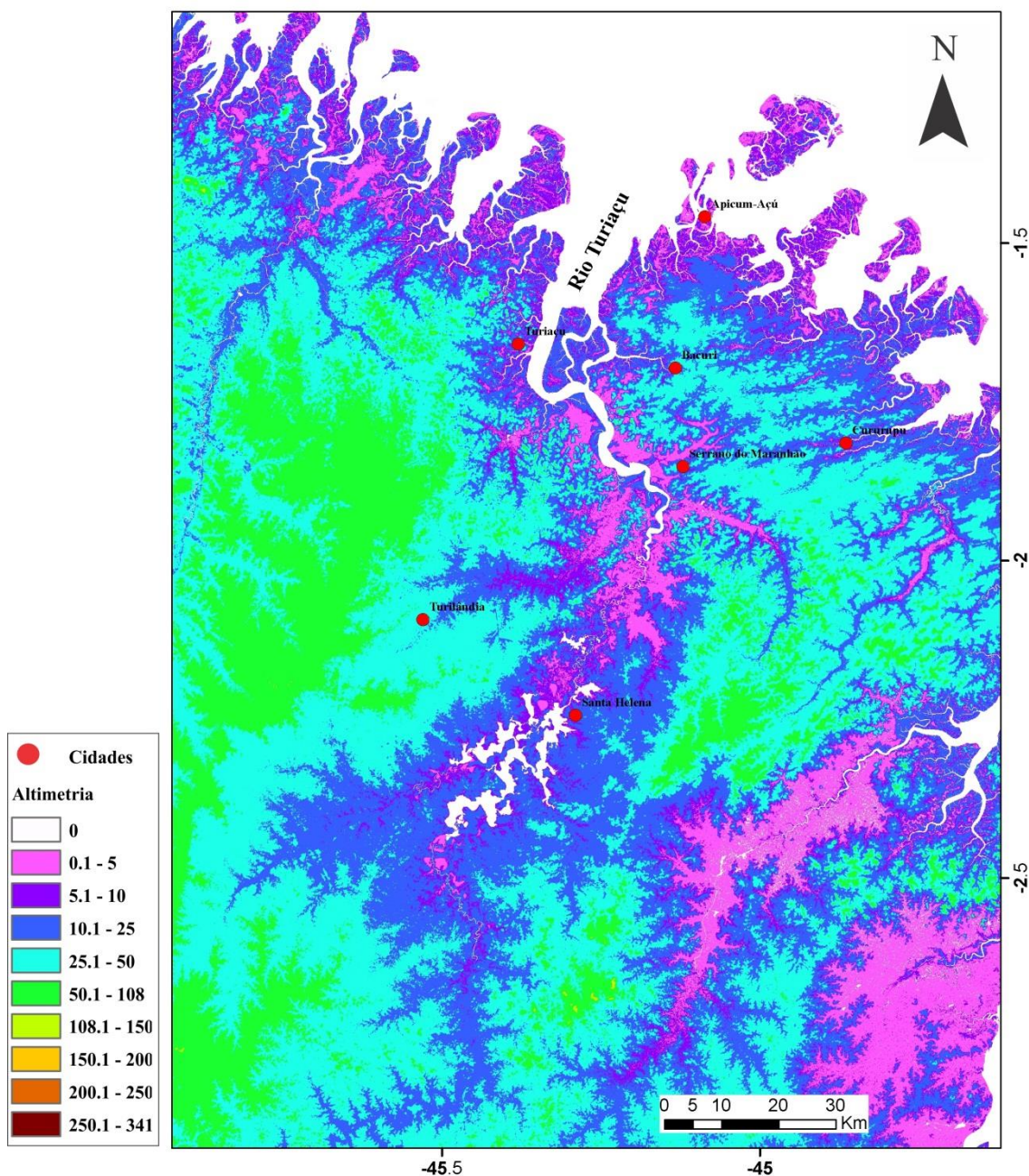


Figura 2-5: Mapa de altimetria da bacia hidrográfica do rio Turiçu gerada por imagem de radar ALOS PALSAR, modificado de CPRM (2017).

A bacia do rio Turiçu é caracterizada por regiões recortadas e com presença de manguezais (Figura 2-6), sendo constituída por rochas de idades geológicas diferentes, que variam desde o Arqueano até o Holoceno (BARBOSA e PINTO, 1973). Segundo BANDEIRA (2013), tal padrão recortado está associado diretamente ao entalhe dos baixos platôs quando em condições de linha de costa regressiva nos períodos glaciais ocorridos durante o Quaternário. O limite norte dessa bacia abriga inúmeras falhas transcorrentes, que atribui bruscas curvaturas aos principais cursos d'água e forte controle na rede de drenagem (FERREIRA JR. *et al.*, 1996).

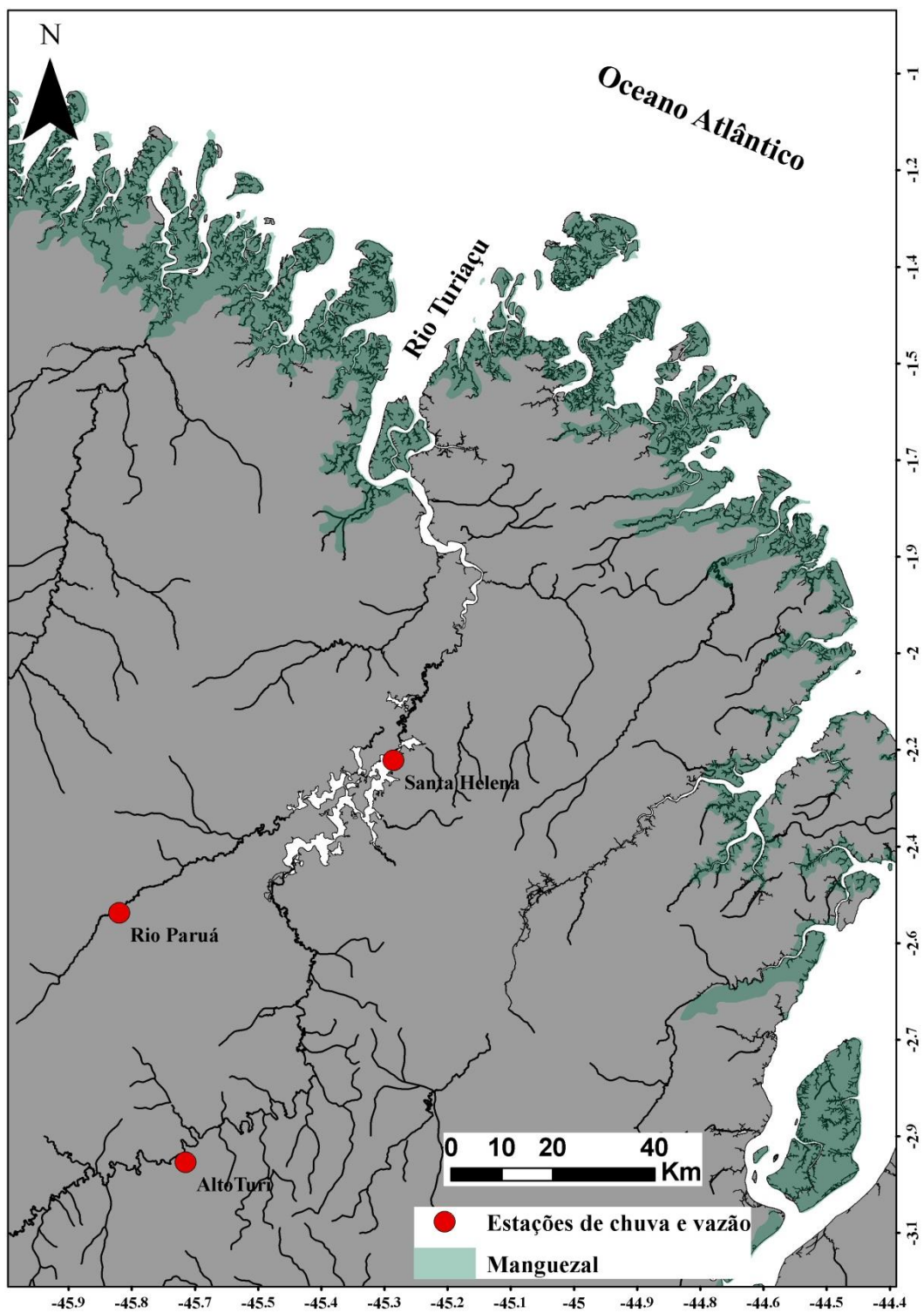


Figura 2-6: O rio Turiaçu e sua drenagem no Litoral Ocidental Maranhense com a localização de estações hidrológicas e faixa de manguezais, modificado de CPRM (2017).

2.1.1.2. Aspectos meteorológicos

A região da baía de Turiçu (MA) apresenta uma sazonalidade climática bem definida, com a estação chuvosa ocorrendo entre os meses de janeiro a julho e precipitação mensal ultrapassando, em geral, a faixa dos 200 mm (Figura 2-7), atingindo resultados superiores a 400 mm mensais em março e abril. O período seco ocorre entre agosto e dezembro, com valores de precipitação mensal oscilando entre 7 mm e 53 mm, para os meses de novembro e dezembro, respectivamente.

Além disso, como esperado para regiões nessa mesma faixa latitudinal (regiões equatoriais), as variações de temperatura apresentam baixa amplitude térmica mensal, com valores de 26,0 °C, em março e abril, a 28,0 °C, em novembro e dezembro. É importante ressaltar que todas as áreas de estudo estão localizadas na região equatorial e, portanto, é esperado não só elevados valores de precipitação como também um baixo gradiente térmico mensal, comportamentos climato-meteorológicos típicos dessa região.

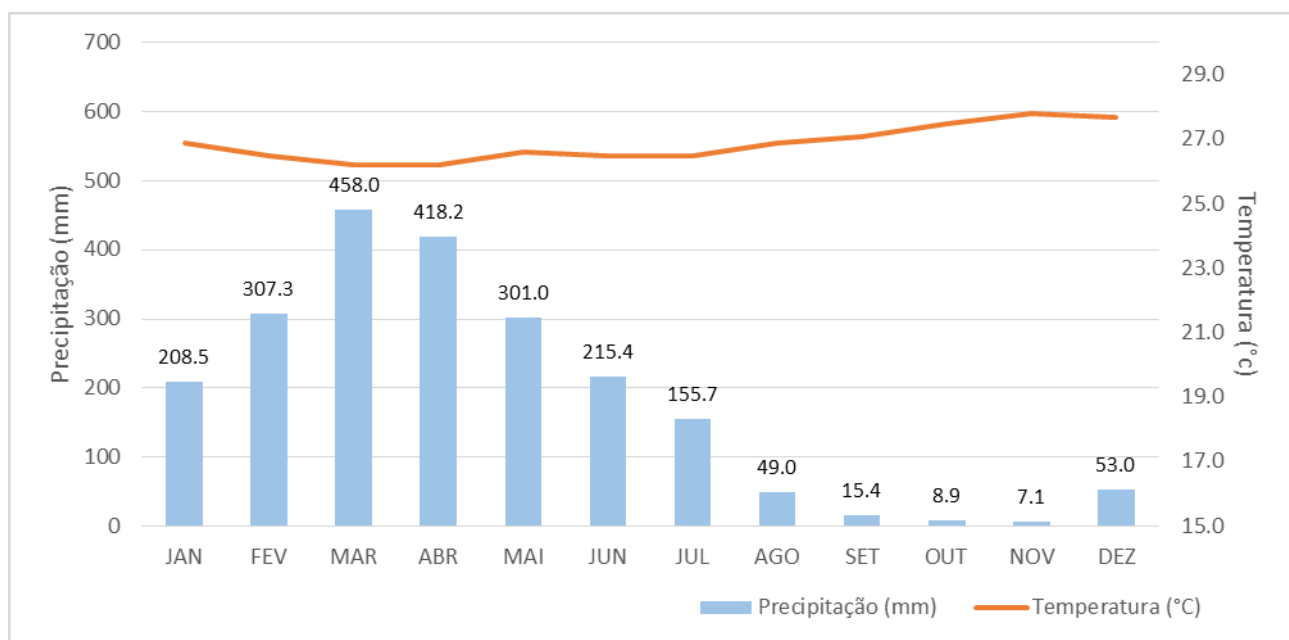


Figura 2-7: Normais climatológicas (1981-2010) de Precipitação (mm) e Temperatura (°C). Estação Meteorológica Turiçu (MA). Fonte: INMET (2017).

A dinâmica hidroclimática da bacia hidrográfica do rio Turiçu segue o regime estabelecido na região equatorial, onde a migração sazonal da ZCIT rege as condições climáticas. Ainda, os fenômenos de Oscilação Sul de anomalias positivas (El Niño) e negativas (La Niña) também figuram como fatores importantes na determinação da variabilidade climática (FERREIRA e MELLO, 2005; MINUZZI *et al.*, 2006; MARCUZZO e ROMERO, 2013).

Na bacia hidrográfica do rio Turiçu, existem outras três estações de medição de precipitação – Alto Turi, Cururupu e rio Paruá – além de Turiçu, cujos dados foram apresentados acima, o que permite observar a variação da precipitação na área da bacia (Figura 2-8). O período chuvoso, considerando as quatro estações meteorológicas, apresenta média mensal de 288 mm; e o seco, 19,9 mm.

A precipitação anual acumulada é de 2.141 mm, sendo o primeiro semestre responsável por aproximadamente 80% da precipitação total anual. Segundo dados do INMET (2017), o mês de abril registra a máxima de precipitação no Alto Turi (520 mm) e, o mês de novembro, a mínima (7 mm), também no Alto Turi.

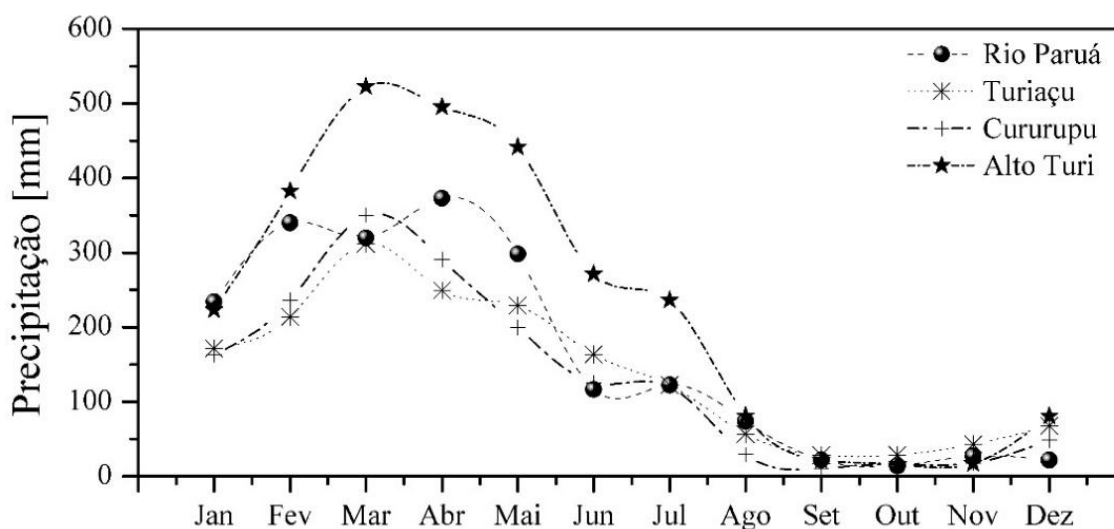


Figura 2-8: Média histórica de precipitação na bacia hidrográfica de Turiaçu: nas estações de Turiaçu (1966: 1985), Alto Turi - Santa Helena (1966:1998), Cururupu (1986:2017) e rio Paruá - Santa Luzia do Paruá (1981:2017) segundo dados disponibilizados por INMET (2017).

A periodicidade com a qual o regime de ventos alísios influencia a região de Turiaçu também é determinada pelo deslocamento da ZCIT ao longo da região equatorial, onde a ação eólica é um fator determinante nos processos ocorrentes à montante do rio. As maiores velocidades são registradas durante período seco da região sob ação dos alísios de sudeste, enquanto o período chuvoso está sob influência dos alísios de nordeste, com menores velocidades. A sazonalidade dos ventos e da precipitação na MEB como um todo é explorado com maior detalhe na caracterização geral da área de estudo no Volume 1, Capítulo 2.

2.1.1.3. Hidrologia

A descarga dos rios é influenciada diretamente pelo índice de precipitação que, por sua vez, varia em diferentes escalas temporais e pela ocorrência de eventos extremos, como El Niño e La Niña. Esses irão determinar um padrão de chuvas intensas (La Niña) ou de seca (El Niño) na região e, conseqüentemente, alteram a média de descarga dos rios.

Através de dados históricos de vazão da bacia hidrográfica de Turiaçu disponibilizados pela Agência Nacional de Águas – ANA (2017), foi possível definir os rios Paruá e Alto Turi como os principais afluentes hídricos do rio Turiaçu, ambos localizados ao sul da região. A média de descarga anual é de $161,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para o rio Paruá e de $84,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para o Alto Turi (Figura 2-9).

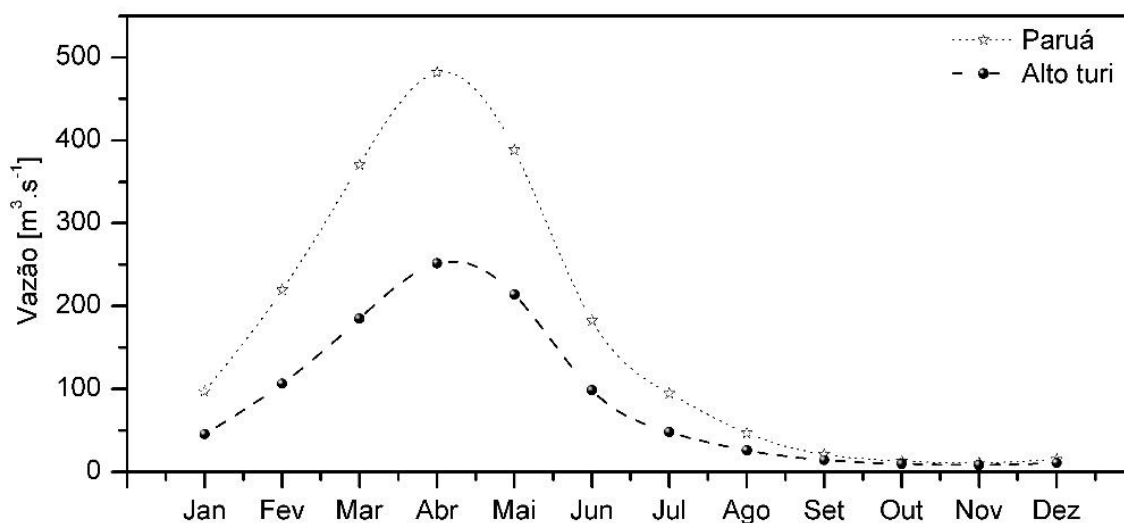


Figura 2-9: Média histórica de vazão na bacia hidrográfica de Turiaçu: Alto Turi - Santa Luzia do Paruá (1981:2017) e rio Paruá - Santa Luzia do Paruá (1972:2014), segundo dados disponibilizados por ANA (2017).

2.1.1.4. Aspectos oceanográficos

As planícies costeiras do Maranhão são caracterizadas por uma dinâmica significativa, sobretudo, por tratar-se de uma costa transgressiva, dominada por macromarés e hipermaré (EL-ROBRINI *et al.*, 2006).

A região compreende canais de maré que podem adentrar até 20 km no continente, com alturas significativas de maré de aproximadamente 6 m. O rio Turiaçu, por sua vez, apresenta valores que lhe atribuem características de um estuário de hipermaré ($H_{m\acute{a}x} > 6$ m), sendo a segunda maior maré do Brasil, com amplitudes que chegam a 6,65 m na sizígia e 5,24 m na quadratura (FEMAR, 2017). O regime de maré é semidiurno, apresentando duas baixa-mares e duas preamares no período de 1 dia lunar.

Ressalta-se que este capítulo baseia-se em dados secundários e que existe grande diferença na disponibilidade e profundidade das informações existentes para cada área de estudo do PCN. Com base no levantamento de dados primários realizado no âmbito do PCN, o leitor encontra no Capítulo 4 (Aquisição de Dados Oceanográficos) uma maior abrangência e aprofundamento dos aspectos oceanográficos da Baía de Turiaçu - detalhamento da circulação hidrodinâmica, mapa batimétrico, caracterização da maré ao longo do estuário, entre outros.

2.1.2. Aspectos Biológicos

No estado do Maranhão, os manguezais estão presentes em grande proporção e são típicos das paisagens costeiras locais, sendo considerados um dos ecossistemas mais representativos do estado (ROCHA-FILHO, 2010). O Maranhão possui cerca de 36 % da área de manguezais do Brasil com aproximadamente 5.055 km² (ICMBio, 2018) e apresenta florestas com estrutura mais complexa, segundo Melo (2002). São encontrados ao longo dos 640 km da costa maranhense, com exceção da área do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, devido ao soterramento ocasionado pelo transporte eólico de areia.

Os manguezais maranhenses são encontrados desde o município de Carutapera, na costa ocidental do estado, estendendo-se pela costa oriental até Tutóia. Ocupam toda faixa de terras abrangidas pela foz e as margens de rios (Figura 2-10), até o limite interno da influência de maré, nas Reentrâncias Maranhenses

(MUEHE, 2006). SCHAEFFER-NOVELLI *et al.* (1990) define essas florestas como franjas dominadas por *Rhizophora*, alcançando 20 m de altura margeadas por *Avicennia* ou *Laguncularia* em partes mais elevadas.



Figura 2-10 Aspecto de uma floresta de mangue em zona de franja na Baía de Turiaçu, MA.

Em estudos utilizando técnicas de sensoriamento remoto para mapear florestas de mangue, Mochel (1999 apud Costa, 2004) menciona a existência, em território maranhense, das espécies *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erectus*. A análise da estrutura de florestas de mangue do litoral maranhense realizada por Mochel *et al.* (1996 apud ROCHA-FILHO, 2010) indicou a contribuição das diferentes espécies através do parâmetro densidade relativa, que indica a participação de cada espécie em relação ao número total de árvores/indivíduos dentro de uma associação vegetal. Os autores apontaram a presença de *Laguncularia racemosa*, com densidade relativa predominante de 51,5%; de *Avicennia schaueriana*, com densidade relativa de 31,2%; de *Rhizophora mangle* com densidade relativa de 10,5%; e de *Avicennia germinans* que apresentou densidade relativa de 7%.

Segundo Mochel (2011), em uma análise estrutural das florestas de mangue realizada na Baía de Turiaçu durante 1997 e 1998, em estações localizadas em sua porção oeste, as florestas de mangue apresentam alta variabilidade estrutural, podendo as espécies estar de forma homogênea, formando tanto florestas monoespecíficas, como florestas mistas com duas ou três espécies. Nesse estudo, a altura das árvores variou de 2 a 20 m e o DAP (diâmetro à altura do peito, por convenção medido à 1,3 m do solo) de 3 a 35 cm, com área basal estimada entre 1 e 50 m².ha⁻¹. A densidade estimada das florestas variou de 200 a 2.000 ind.ha⁻¹. O maior desenvolvimento estrutural foi encontrado em florestas de franjas ao longo das margens da do rio Turiaçu. O menor desenvolvimento estrutural foi encontrado no tipo fisiográfico bacia, em solos secos e arenosos com pouco fluxo de água. Ainda de acordo com Mochel (2011), as espécies mais abundantes e desenvolvidas na Baía de Turiaçu (MA) são *A. germinans*, seguida por *R. mangle*. *L. racemosa* apresenta menor abundância e desenvolvimento estrutural do que as demais, independentemente de estar localizada em áreas de franja, bacia ou ribeirinha.

Os manguezais da Baía de Turiaçu (MA) foram objeto de alguns estudos desenvolvidos na região, conforme descrito nos parágrafos anteriores. O Projeto Costa Norte, no entanto, traz uma contribuição relevante no âmbito da abrangência espacial do levantamento. Foram realizadas medições em 75 estações e mais outras foram visitadas. A malha amostral contemplou as regiões a leste e a oeste da baía, abrangendo áreas nas proximidades de povoados distantes como Santa Bárbara, Miramar, Ponta Seca, Sababa e o município de Apicum-Açu, totalizando uma área de estudo com cerca de 690 km². Os resultados desse levantamento estão apresentados no Capítulo 11.4.1.

2.2. Estuário de São Caetano de Odivelas, PA

O litoral do estado do Pará compartilha uma parcela significativa da extensa faixa de manguezais de macromarés da Amazônia, assim definido por SOUZA-FILHO (2005). No nordeste paraense está inserida uma microrregião denominada de Salgado Paraense, formada por 11 municípios. Dentre tal, localiza-se o município de São Caetano de Odivelas, que abriga um importante sistema estuarino composto pelos rios Mojuim e Mocajuba.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2014), o município faz parte da Reserva Extrativista Marinha Mocapajuba e suas principais atividades econômicas estão ligadas ao sistema Mojuim-Mocajuba. No âmbito da pesquisa científica, o município é avaliado como um ponto estratégico na porção amazônica oriental, uma vez que sua localização se dá próxima da desembocadura do rio Pará, segundo maior sistema hídrico da região e canal de transporte direto do continente para o oceano e, segundo BORBA (2016), devido ao rio Pará possuir um escoamento semelhante ao apresentado pelo rio Amazonas.

A região de estudo localizada em São Caetano de Odivelas (Figura 2-11) está inserida no segmento descrito por Schaeffer-Novelli *et al.* (1990) que se estende entre o Cabo Norte (AP) e a Ponta Curuçá (PA) e abrange a zona estuarina formada pelo delta do rio Amazonas e a porção oeste da costa do Salgado Paraense.

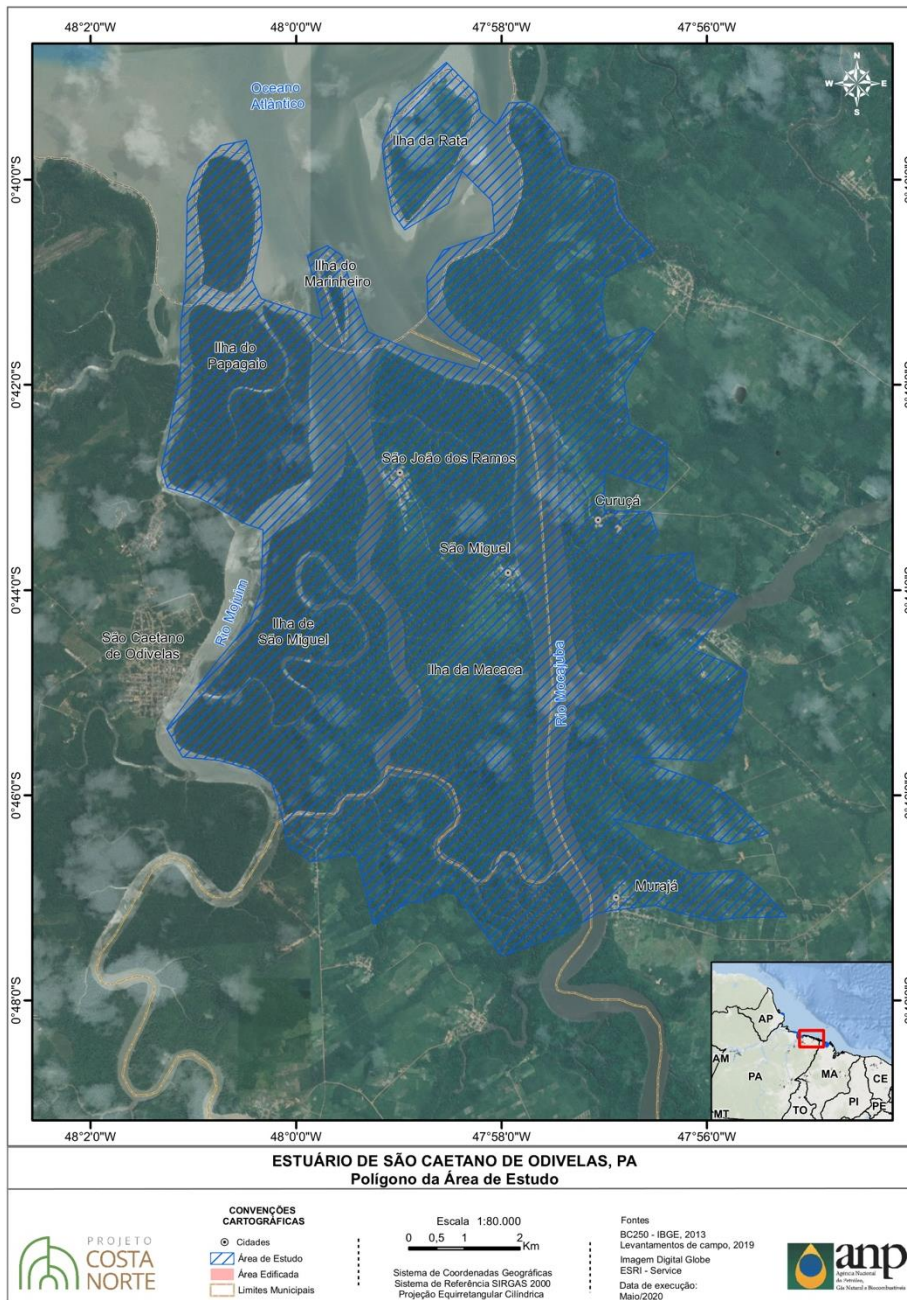


Figura 2-11: Área de estudo estuário de São Caetano de Odivelas (PA). Em hachurado azul, o polígono que delimita a área de estudo.

2.2.1. Aspectos físicos

2.2.1.1. Geologia e morfologia

A área de São Caetano de Odivelas possui feições geomorfológicas características do litoral paraense, com linhas de costa recortadas expondo a Formação Pirabas, os sedimentos do Grupo Barreiras e depósitos inconsolidados do Holoceno (EL-ROBRINI *et al.*, 2006). A costa de baixo relevo recortada por estuários possui uma ligação direta com o oceano Atlântico adjacente, tornando o ambiente propício à formação de extensas áreas de manguezais (PROST *et al.*, 2001).

Segundo definição do Ministério do Meio Ambiente – MMA (2014), a região de São Caetano de Odivelas pode ser dividida em três áreas de classes geomorfológicas (Figura 2-12): I- Pediplano, 1%; II- Planície, 22,4%; e III- Tabuleiro, 76,6%.

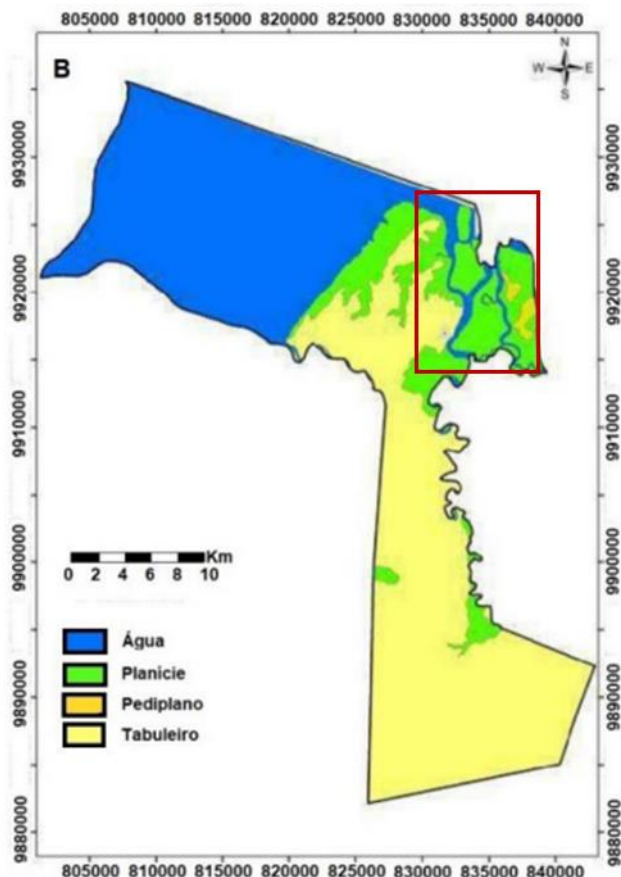


Figura 2-12: Distribuição geomorfológica do município de São Caetano de Odivelas. O polígono em vermelho indica a área de estudo. Modificado de MMA, 2014.

O sistema estuarino apresenta uma morfologia de fundo marcada por numerosos bancos de areia, que seguem a orientação das correntes de maré (MÁCOLA e EL-ROBRINI, 2004). Estudo morfológico realizado por SILVA (2015) apontou o rio Mocajuba como um estuário profundo quando comparado aos outros da região, apresentando uma profundidade máxima de até 40 metros.

A análise sedimentológica realizada por PEREIRA (2018) no rio Mocajuba mostrou uma distribuição sedimentar diversificada ao longo de sua extensão, onde foi possível elaborar um mapa de distribuição quanto à granulometria, grau de seleção e assimetria dentro do estuário (Figura 2-13). Em relação à granulometria, a fração arenosa foi superior à lamosa, com 55% e 45,1%, respectivamente. Dentre a fração arenosa, divide-se: areia muito fina (16%), areia fina (14,1%), areia média (14,1%) e areia grossa (9,9%). Baseado na escala de FOLK e WARD (1957), o grau de seleção se mostrou pobremente selecionado (60,6%) e moderadamente selecionado (23,9%). A assimetria indica a deposição de sedimentos, com predominância positiva, abrangendo 53,5% das amostras.

PROST *et al.* (2001) indica que os sedimentos carregados pelo sistema Mojuim-Mocajuba tendem a ficar parcialmente aprisionados dentro da área estuarina, resultando em depósitos sedimentares arenosos finos e formação de ilhas arenosas e pequenas barras, isto devido ao bloqueio exercido pelas águas do rio Pará sobre esta porção estuarina.

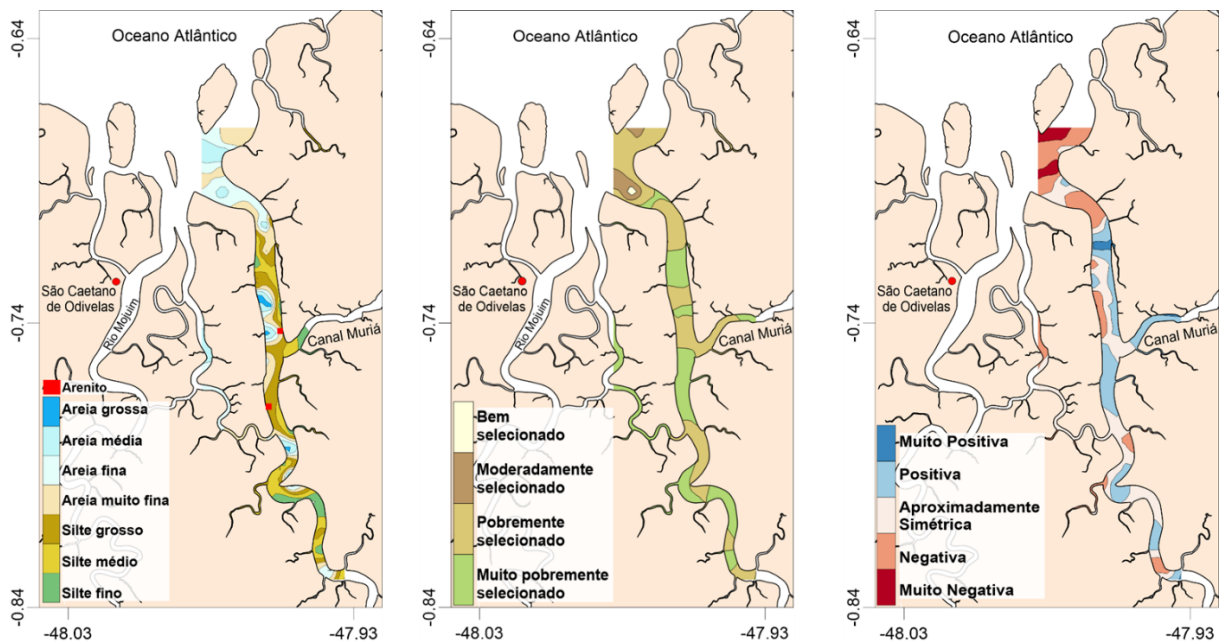


Figura 2-13: Mapa da distribuição da granulometria (esquerda), seleção (meio) e assimetria (direita) do rio Mocajuba. Fonte: PEREIRA (2018).

2.2.1.2. Aspectos meteorológicos

O estuário de São Caetano de Odivelas, inserido na região NE do Pará, que é caracterizada por uma alta pluviosidade média anual (2500 mm/ano) e uma sazonalidade climática bem definida (EL-ROBRINI *et al.* 2006), apresenta um clima do tipo tropical e úmido. O sistema exibe variações de precipitação ao longo do ano e, conseqüente, alterações na descarga dos rios, estabelecendo assim dois períodos sazonais na região: chuvoso e seco.

O estuário de São Caetano de Odivelas apresenta valores de precipitação superiores a 300 mm/mês entre os meses de janeiro e maio (período chuvoso), sendo março o mês mais chuvoso (647 mm/mês). Entre agosto e novembro (período seco), são observados os menores índices de precipitação, com resultados inferiores a 100mm/mês (Figura 2-14).

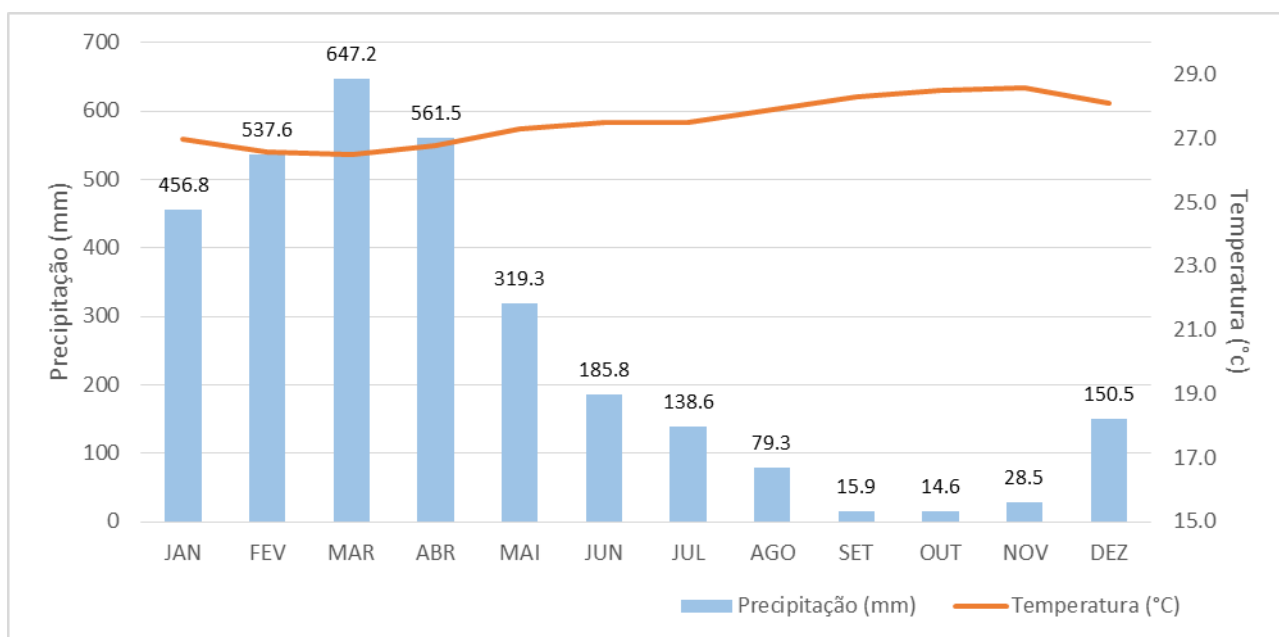


Figura 2-14: Normais climatológicas (1981-2010) de Precipitação (mm) e Temperatura (°C). Estação Meteorológica de Soure (PA). Fonte: INMET (2017).

A temperatura média mensal apresenta baixo gradiente térmico, com mínimos e máximos que variam entre 26,5 °C para o mês março e 28,6 °C para novembro, respectivamente. Além disso, conforme as demais áreas analisadas, o padrão hidroclimático da região segue o mesmo padrão para zonas equatoriais, tendo a ZCIT como sua principal forçante reguladora.

A estação meteorológica utilizada na coleta dos dados apresentados na Normal Climatológica (ver Figura 2-14) está localizada na região costeira de Soure, a aproximadamente 50 km de distância do estuário de São Caetano de Odivelas. Apesar da distância, todos os fenômenos descritos para caracterizar a região possuem grandes escalas de atuação, portando, as informações podem e devem ser consideradas para as duas áreas de estudo, pois localizam-se na mesma região – como corroborado pelo estudo de Silva (2017), que analisou a temperatura e precipitação no rio Mojuim ao longo de 2016 (ano de El-Niño), observando menores valores de temperatura nos meses de fevereiro, março, junho e julho e maiores nos meses de outubro e novembro. O autor também apresenta dados de precipitação anual de 2.048 mm, sendo os primeiros meses do ano os mais chuvosos (janeiro a abril), totalizando cerca de 79% da precipitação total anual.

A umidade relativa do ar, assim como para outros sistemas em regiões equatoriais, se mantém alta durante todo o ano (> 80%), registrando seus maiores índices entre os meses de fevereiro e abril, devido às menores temperaturas características do período chuvoso (LIMA *et al.*, 2005; MORAES *et al.*, 2005). Durante o período seco, há uma variação da umidade relativa do ar entre 67% e 76% (SILVA JR *et al.*, 2006).

A atuação dos ventos na região nordeste paraense mostra uma forte correlação com os alísios quando verificada a predominância de ventos de nordeste. Silva (2017), através de uma estação meteoceanográfica fixada às margens do rio Mojuim, no município de São Caetano de Odivelas, registrou a frequência e intensidade dos ventos durante todo o ano de 2016. A intensidade registrada dos ventos variou de $0,07$ a $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, com predominância da direção Norte-Nordeste (Figura 2-15 e Figura 2-16). As maiores velocidades médias foram registradas nos meses de maio, junho e julho, com $5,87 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $7,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $7,42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente.

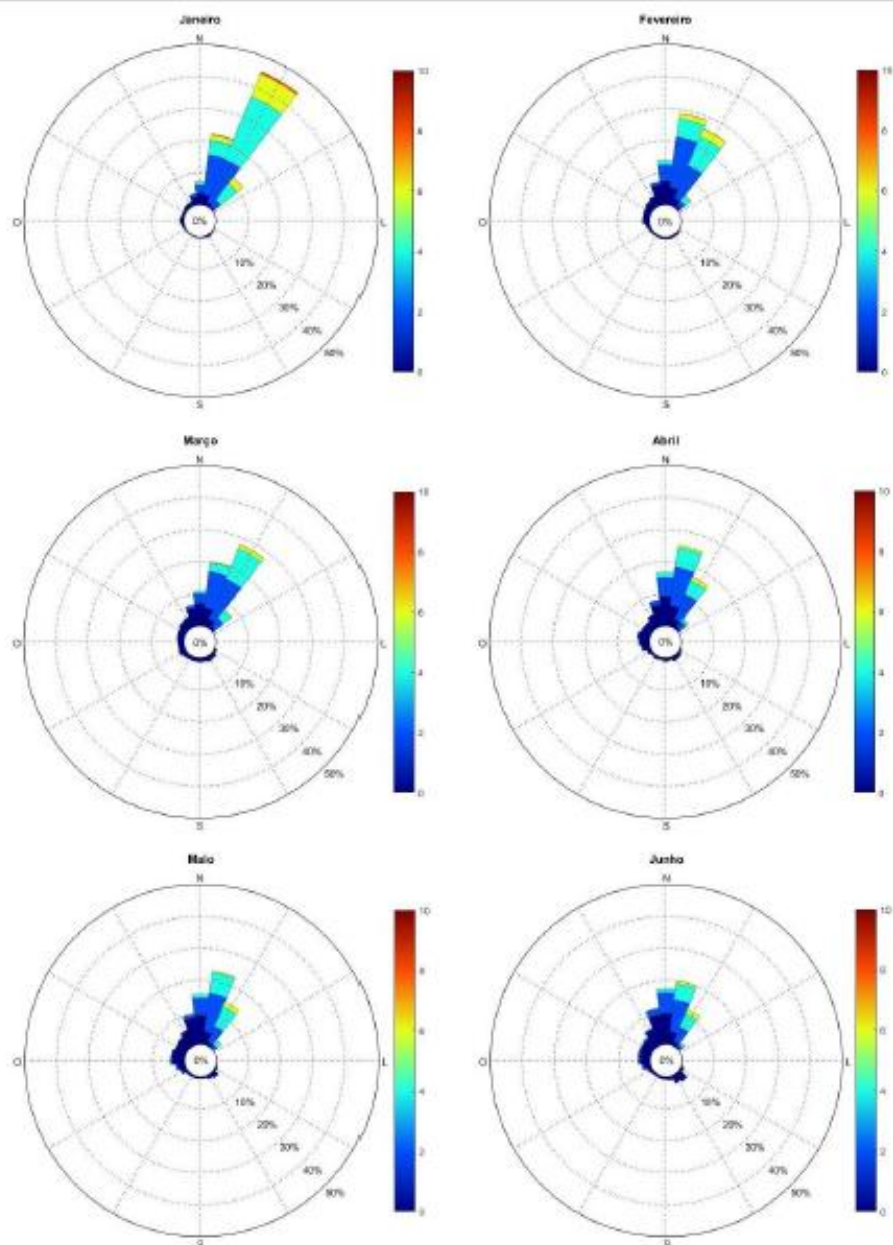


Figura 2-15: Frequência de intensidade e direção do vento dos meses de janeiro a junho de 2016 no rio Mojuim. Fonte: Silva (2017).

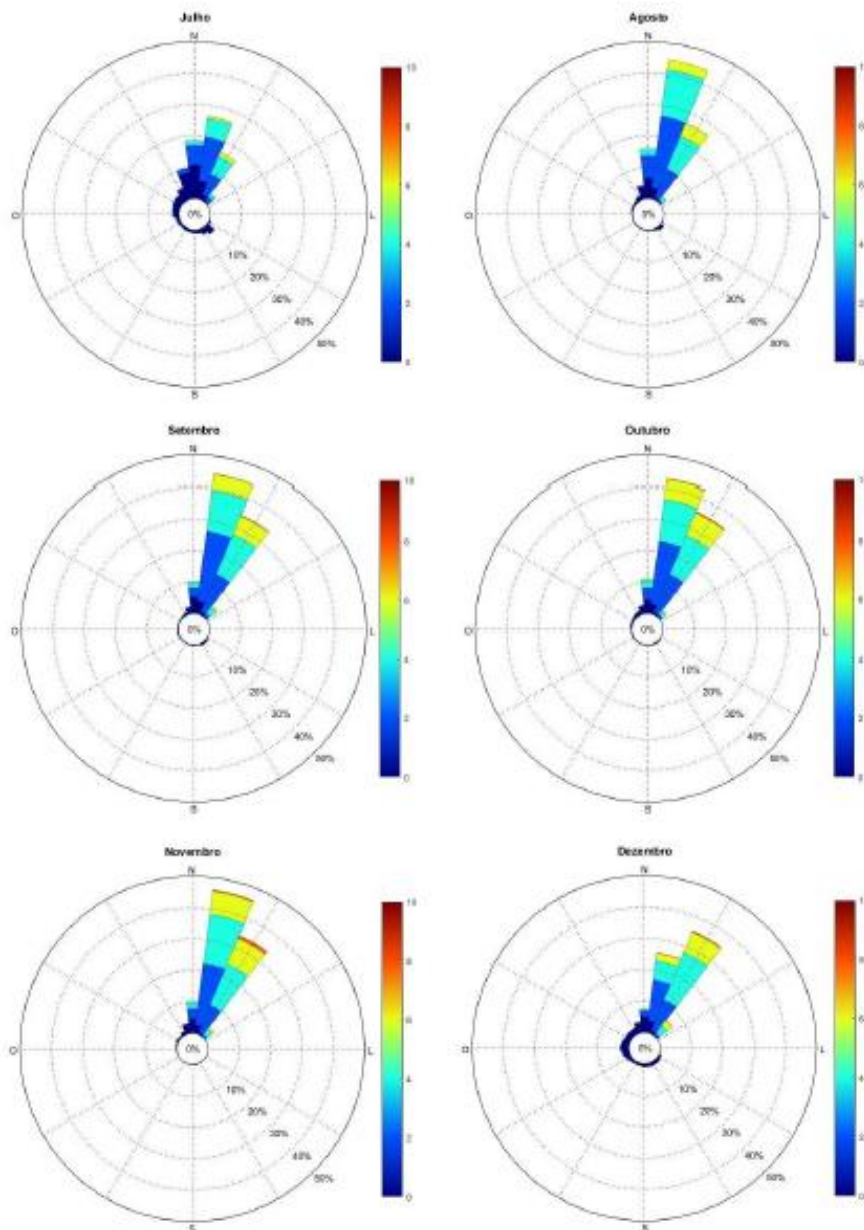


Figura 2-16: Frequência de intensidade e direção do vento dos meses de julho a dezembro de 2016 no rio Mojuim.
Fonte: Silva (2017).

2.2.1.3. Hidrologia

Embora ainda não existam estudos que utilizem dados históricos acerca da hidrologia dos sistemas da região, Asp *et al.* (2013) estimaram, baseado no fato de que a vazão do rio Mocajuba represente cerca de 27% da descarga do rio Caeté, que seus valores atinjam cerca de $68,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de vazão máxima mensal e $11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de vazão média geral.

GOMES (2015) investigou os parâmetros hidrográficos de cinco sistemas estuarinos no nordeste paraense, dentre eles o rio Mocajuba (Figura 2-17). As análises da salinidade durante o período chuvoso demonstraram que o parâmetro possui valores médios de 8,76, variando de 7,25 a 9,20 dentro do estuário. Foram registrados valores superiores durante o período seco, com média igual a 30 e variação de 23,50 à 33,47.

A turbidez apresentou média de 183,43 FTU no período chuvoso, sendo o máximo encontrado (450,88 FTU) nos trechos entre 10 e 16 km à montante da foz. Esse trecho corresponde a Zona de Turbidez Máxima (ZTM). O período seco não registrou ocorrência da ZTM, onde a média de turbidez foi de 50,26 FTU e o máximo, 96,19 FTU. Diretamente proporcional à turbidez, a concentração de material particulado em suspensão (MPS) apresentou o mesmo comportamento, onde as maiores concentrações foram registradas no período seco: máximo de $0,62 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ e valor médio de $0,31 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; no período chuvoso, a média foi de $0,5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ e o máximo $0,21 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

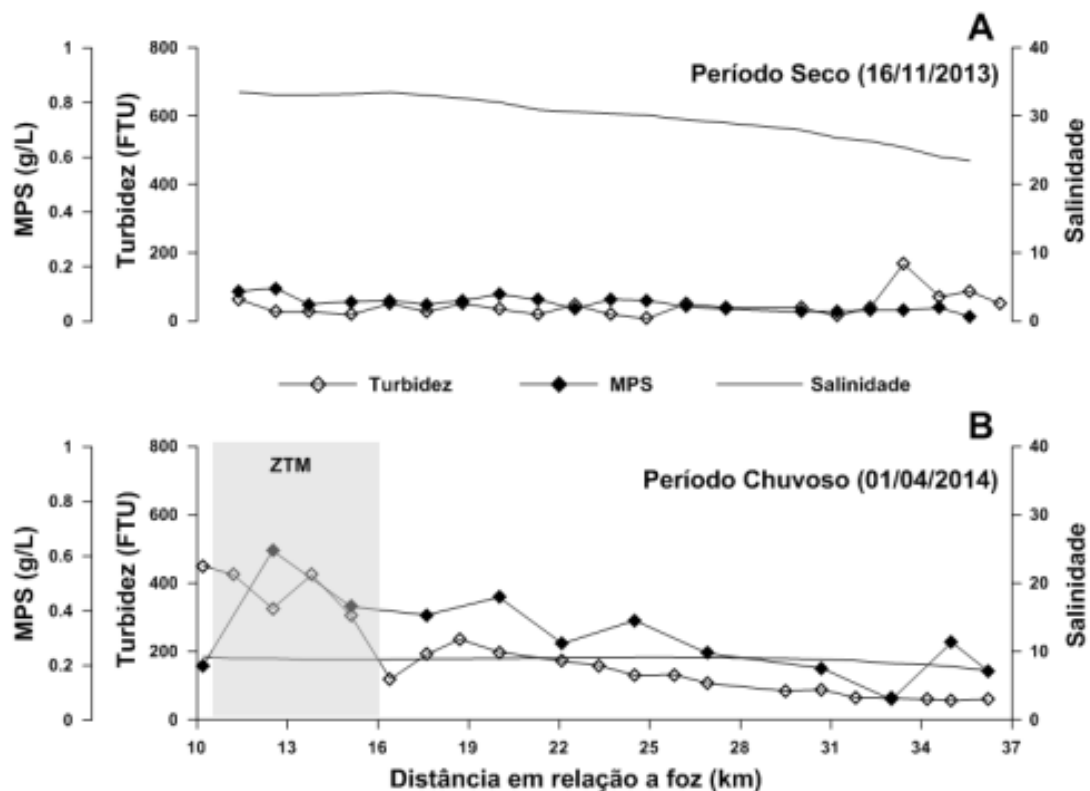


Figura 2-17: Variação longitudinal dos parâmetros hidrográficos e de MPS no rio Mocajuba nos períodos seco (a) e chuvoso (b). Fonte: Gomes (2015).

Estudo conduzido por Valentim (2017) verificou que a salinidade atinge valores superiores à 20, durante o período seco, e inferiores à 15, durante o período chuvoso, no rio Mojuim. A análise da intrusão salina permitiu ao estudo identificar zonas halinas¹ nos diferentes períodos sazonais (Figura 2-18) – seco e chuvoso. A foz foi utilizada como referência longitudinal em direção a região à montante do estuário. No período chuvoso, quatro zonas foram identificadas: I-Polihalina (salinidade entre 18 e 30), zona restrita aos primeiros 6 km da foz; II-Mesohalina (salinidade entre 5 e 18), entre 6 e 25 km da foz; III-Oligohalina (salinidade entre 0,5 e 5), de 25 km até aproximadamente 30 km estuário adentro e; IV-Zona de água doce (salinidade entre 0 e 0,5), tendo início aos 30 km da foz até a porção final do estuário (~ 50 km).

O período seco identificou uma zona halina a mais em relação ao período chuvoso, sendo: I-Euhalina (salinidade entre 30 e 40), zona variável de acordo com a intensificação do período, com máximo de 22 km da foz à montante; II-Polihalina, alcance longitudinal de 22 a 33 km da foz; III-Mesohalina, entre 33 e 45 km da foz; IV-Oligohalina, entre 45 km e aproximadamente 48 km à montante e; V-Água doce, zona de início aos 48 km da foz até a porção final do estuário (~ 50 km).

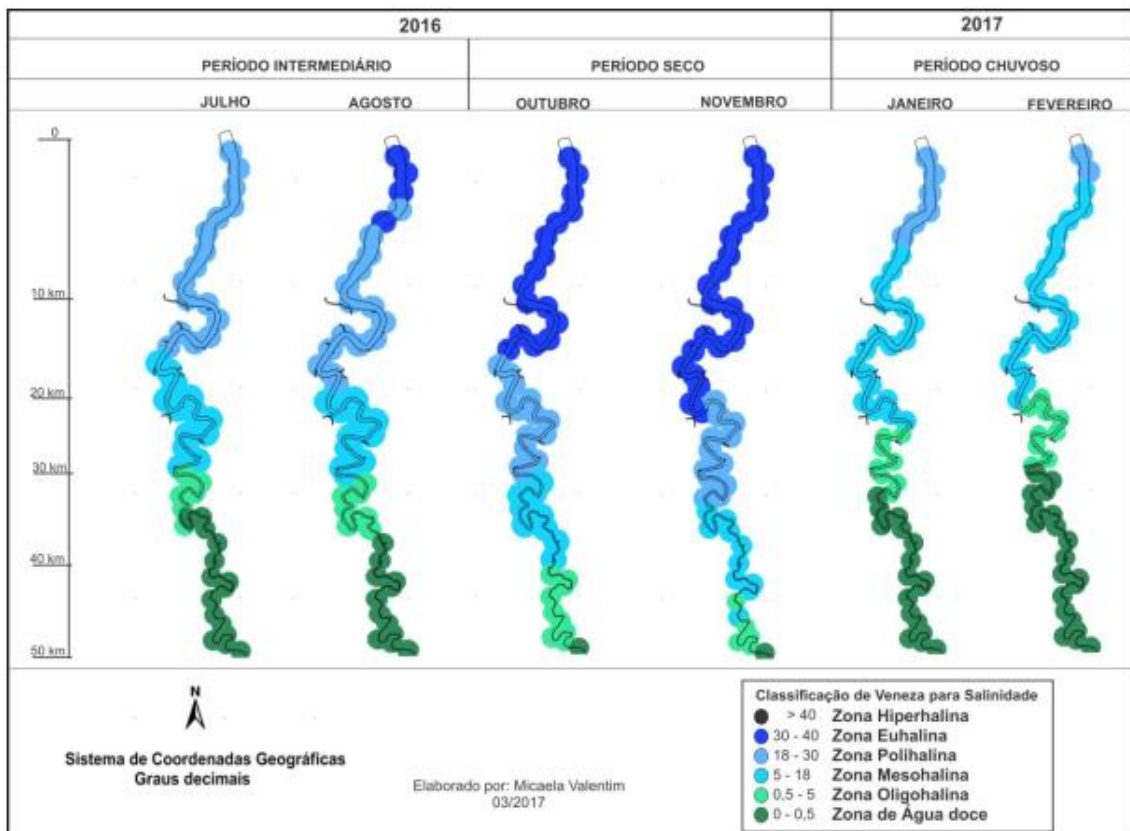


Figura 2-18: Zonas halinas identificadas, segundo classificação de Veneza, para o rio Mojuim, nos períodos chuvoso, intermediário e seco. Na legenda, as zonas halinas de acordo com a classificação de Veneza podem ser consultadas. No eixo lateral à esquerda, o '0' corresponde à foz do estuário. Fonte: VALENTIM (2017).

¹ Zonas halinas são classificações de um corpo d'água quanto a salinidade. Valentim (2017) utilizou a classificação de Veneza, na qual os corpos d'água podem ser classificados em 6 zonas halinas, desde a zona de água doce (salinidade entre 0 e 0,5) até a zona hiperhalina (salinidade maior que 40).

2.2.1.4. Aspectos oceanográficos

Em conformidade com o comportamento da maré no litoral paraense, o estuário de São Caetano de Odivelas está sob influência de um regime semidiurno de meso a macromarés, com amplitude máxima de 5,5 m. Segundo dados da DHN (1994), estação de Mocajuba, a maré atinge uma amplitude média de 4,8 m em maré de sizígia e 2,5 m na quadratura.

A propagação e deformação da maré no rio Mocajuba foi investigada por Silva (2015), nos períodos chuvoso e seco. Constatou-se que a onda de maré avança sem sofrer significativas alterações por até 25 km no rio. Entretanto, no período chuvoso, a maré tende a sofrer atenuações acentuadas nos trechos entre 32 e 35 km da foz. Durante o período seco, a atenuação foi verificada entre 10 e 20 km à montante (Figura 2-19). O autor atribuiu esse comportamento à grande profundidade do estuário, que reduz o processo de fricção e torna a curva de maré similar ao longo do estuário.

No rio Mojuim, Rocha (2015) constatou uma amplitude de 5 metros na desembocadura do estuário, a qual sofre uma atenuação estuário adentro. Essa atenuação foi corroborada por Santos (2016), chegando a 2 metros a 24 km da desembocadura.

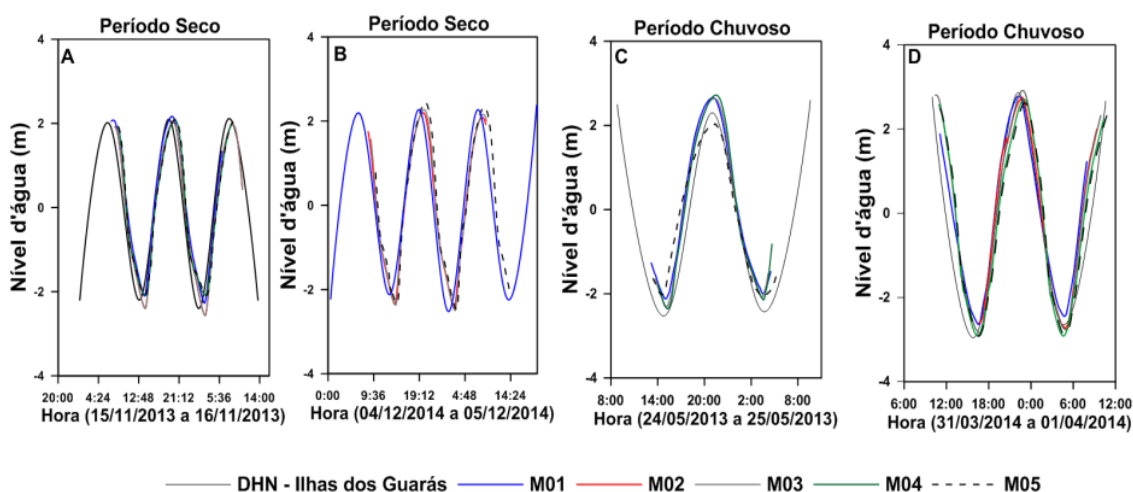


Figura 2-19: Propagação da maré ao longo do rio Mocajuba nos períodos seco (a/b) e chuvoso (c/d). Fonte: SILVA (2015).

Quanto à hidrodinâmica, os rios Mojuim e Mocajuba são classificados como dominados por maré. Foi verificado por Silva (2015) que, no rio Mocajuba, a velocidade de corrente de vazante durante o período chuvoso é superior em relação às de enchente, comportando-se como um estuário dominado por vazante neste período. O período seco não apresenta uma forte assimetria de maré, uma vez que os valores de velocidade de corrente são aproximados. Uma avaliação a partir do Diagrama de Pejrup² (1988), realizado

² Método de classificação da energia hidrodinâmica a partir do percentual de argila na fração de lama do sedimento. O diagrama de Pejrup (1988) define 4 classes de intensidade hidrodinâmica de acordo com o percentual de argila, variando da Classe I, onde o percentual de argila é maior que 80%, indicando ambiente com baixa energia, até Classe IV, onde o percentual de argila na fração lamosa é menor que 20%, indicando ambientes de maior energia hidrodinâmica.

por Pereira (2018), evidenciou que o rio possui uma hidrodinâmica variada ao longo de sua extensão, com predominância de moderada à alta (Figura 2-20).

Segundo estudo realizado por Rocha (2015), o rio Mojuim apresentou resultados semelhantes, onde a maré se mostrou simétrica, com duração de 6,5 h, entre enchente e vazante. Contudo, no período chuvoso, as velocidades e energia de corrente são maiores na maré vazante, isto devido à alta pluviosidade do período que acaba por transportar um volume maior de água para fora do estuário.

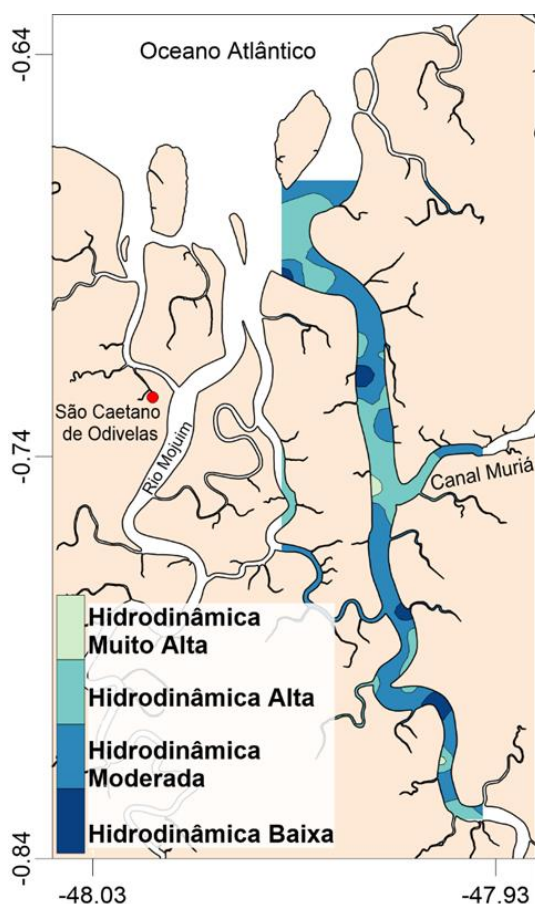


Figura 2-20: Mapa da distribuição da hidrodinâmica ao longo do rio Mocajuba. Fonte: Pereira (2018).

2.2.2. Aspectos Biológicos

Os manguezais desse segmento de costa, onde se insere São Caetano de Odivelas, são caracterizados por florestas de franja dominadas por *Rhizophora* spp. que alcançam 20m de altura (Schaeffer-Novelli *et al.*, 1990). Entretanto, Menezes *et al.* (2008), na sua revisão de estudos, demonstraram haver considerável heterogeneidade na composição de espécies, indicando que a classificação inicial foi bastante generalista e que resultados de estudos locais apontam para uma altura média de 25 m observado em Vigia, com árvores que podem chegar a mais de 30 m de altura e DAP superiores a 1,5 m em Furo do Meio, Península de Ajuruteua.

Somado ao regime de macromarés e à topografia plana, a extensão dos manguezais do nordeste paraense, pode ser explicada por um clima tropical úmido com curto período seco, temperaturas amenas, ausência de tempestades e nenhuma ou moderada deficiência hídrica (PROST; RABELO, 1996). A influência do clima

é observada igualmente pelo aporte abundante de água doce proveniente das bacias-vertentes, que favorece o desenvolvimento dos manguezais.

Os manguezais do nordeste paraense se encontram numa costa profundamente recortada, ao contrário dos manguezais do Amapá. A dinâmica costeira é ativa na fachada atlântica, os manguezais, entretanto, são encontrados em áreas abrigadas, em sua maioria, protegidos por praias e dunas com desenvolvimento nas margens dos estuários (PROST; RABELO, 1996). A Figura 2-21 ilustra o aspecto das florestas de mangue no estuário de São Caetano de Odivelas.



Figura 2-21 Aspecto das florestas de mangue no estuário de São Caetano de Odivelas (PA).

A característica principal dos manguezais paraenses de acordo com Prost e Rabelo (1996) é a predominância de *Rhizophora* spp., seguida por *Avicennia* spp. e *Laguncularia racemosa*, e por espécies associadas como *Rhaddadenia biflora* e *Achroscopicum aureum*, colonizando amplas áreas baixas que favorecem o acúmulo de sedimentos finos e que são cobertas pelas marés altas. As florestas de *Avicennia* ocupam terrenos ligeiramente mais elevados, sendo pouco comuns no nordeste paraense, ocorrendo nas áreas de franja interna dos estuários. As árvores são altas (25-30 m), espaçadas e de aspecto senescente.

De acordo com Prost *et al.* (2013), em um estudo realizado nos estuários dos rios Marapanim e Mojuim localizados nos municípios de Marapanim e São Caetano de Odivelas, respectivamente, análises de satélites mostraram que existe uma área de 138,6 km² ocupada por manguezais no estuário do rio Mojuim. Em levantamentos florísticos realizados na foz deste estuário, especificamente na Ilha Nova (atualmente denominada ilha da Rata), foram encontradas as seguintes espécies: *Rhizophora mangle* L. *Avicennia germinans* L.; *Avicennia schaueriana* Stodd e Leech e *Laguncularia racemosa* Gaertn. É descrita a dominância de *Avicennia germinans* (dominância relativa de 59,60 %) seguida de *Rhizophora mangle* (dominância relativa de 32,06 %). Bancos de *Achroscopicum aureum*, que são indicadores de baixa salinidade do meio, são descritos em zonas mais internas das florestas mistas, entretanto os valores de salinidade da água intersticial registrados nas áreas onde ocorrem são elevados, cerca de 32. Também foi observado para esta região um padrão de menor tamanho de vegetação nas franjas. Os autores também indicam que

os tensores ambientais atuantes no estuário do rio Mojuim são eminentemente naturais, correspondendo a processos erosivos, soterramento de manguezais por bancos arenosos e ataque biológico da vegetação.

Estruturalmente, segundo Alves (2017), as florestas de mangue às margens do rio Mojuim, especificamente na ilha de São Miguel, apresentam um predomínio de *Rhizophora* spp., que compõe de 50 a 60% da vegetação, mescladas com indivíduos de *Avicennia germinans*. A altura média é $7,81 \pm 9,24$ m, e há, neste local, presença de extenso banco de jovens, fazendo com que ocorra grande variabilidade de altura entre os indivíduos; grande parte com cerca de 2 m de altura, e alguns, ultrapassando 30 m. A densidade média de troncos vivos é baixa, característica típica de florestas com alto desenvolvimento estrutural, com $1.473 \text{ tr. ha}^{-1}$.

As poucas informações encontradas na literatura para os manguezais de São Caetano de Odivelas (PA) abrangem pequenas áreas desta região. Prost *et al.* (2013) realizaram levantamento na foz do estuário de São Caetano de Odivelas, especificamente na ilha Nova (atualmente, ilha da Rata), enquanto em Alves (2017) o levantamento foi em uma área na porção intermediária do estuário, especificamente na ilha de São Miguel. Assim, o Projeto Costa Norte traz uma importante contribuição para o aprofundamento do conhecimento das florestas de mangue que ocupam as margens desse estuário, especificamente dos rios Mojuim e Mocajuba, considerando que sua malha amostral distribuiu-se por todo o estuário e suas ilhas – ilha Nova (ilha da Rata), ilha de São Miguel, ilha de Taipu, ilha do Papagaio, ilha da Macaca e ilha do Marinheiro. Também foram coletados dados próximo às cidades de Murajá e Curuçá, totalizando uma área de estudo de cerca de 106 km^2 . Os resultados desse levantamento estão apresentados no Capítulo 11.4.2.

2.3. Sistema Costeiro de Soure, PA

A Ilha do Marajó, localizada no extremo norte do estado do Pará, está inserida no setor insular estuarino do rio Amazonas, de acordo com a classificação dada pelo MMA (1996). Região de interação direta com o rio Pará, o setor oriental da ilha abrange inúmeros canais de maré, localmente chamados de igarapés (por exemplo, Barra Velha, Glória, Cajuuna, Turé, Cambu, Onça e Pesqueiro) que, juntos ao principal corpo hídrico da região, o rio Paracauari, no município de Soure, ditam a dinâmica estuarina na zona leste costeira da Ilha do Marajó.

A área de estudo sistema costeiro de Soure, localizada na Ilha de Marajó, está inserida na zona de influência direta do rio Amazonas (Figura 2-22). Essa área pode ser dividida em um segmento leste, que se estende, sob influência do rio Pará, a partir da sede do município, na porção sul, em direção ao norte, até a inflexão da porção leste da Ilha de Marajó na ponta do Maguari e um segundo segmento a norte que se estende na orientação leste/oeste, na porção “marinha” da Ilha de Marajó até as proximidades da Ilha do Machado, sob maior influência da descarga do rio Amazonas.

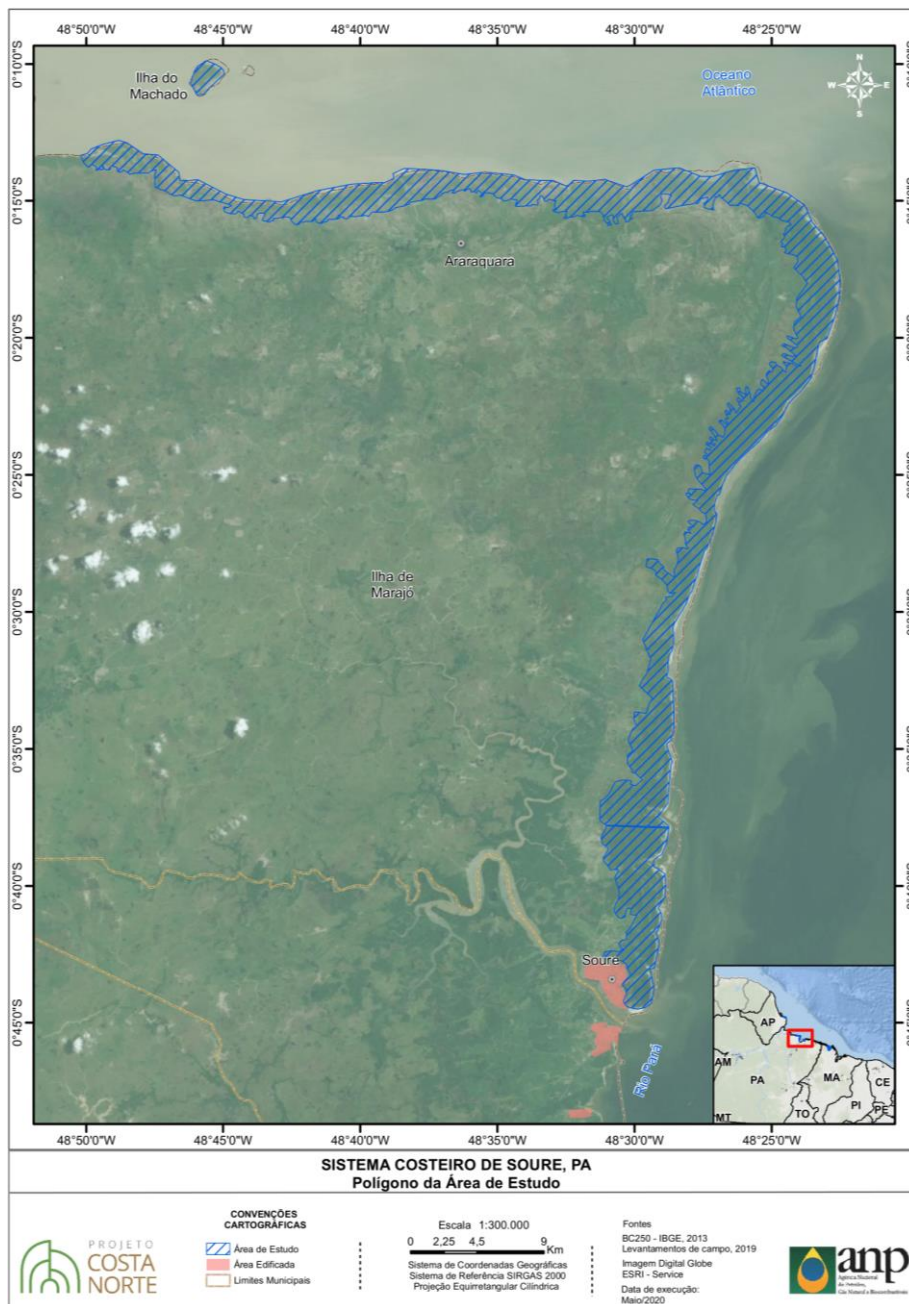


Figura 2-22: Área de estudo sistema costeiro de Soure (PA). Em hachurado azul, o polígono que delimita a área de estudo.

2.3.1. Aspectos físicos

2.3.1.1. Geologia e morfologia

A Ilha do Marajó está inserida na bacia sedimentar da foz do rio Amazonas e compreende uma porção emersa, conhecida como bacia do Marajó, e uma porção submersa, situada na plataforma continental (BEMERGUY, 1981), totalizando uma área de 180.000 km² (TEIXEIRA e COSTA, 1992). A bacia sedimentar da foz do rio Amazonas é constituída pelos grabens de Limoeiro e Mexiana, e pelas plataformas continentais do Pará e Amapá (TANCREDI, 1986) (Figura 2-23).

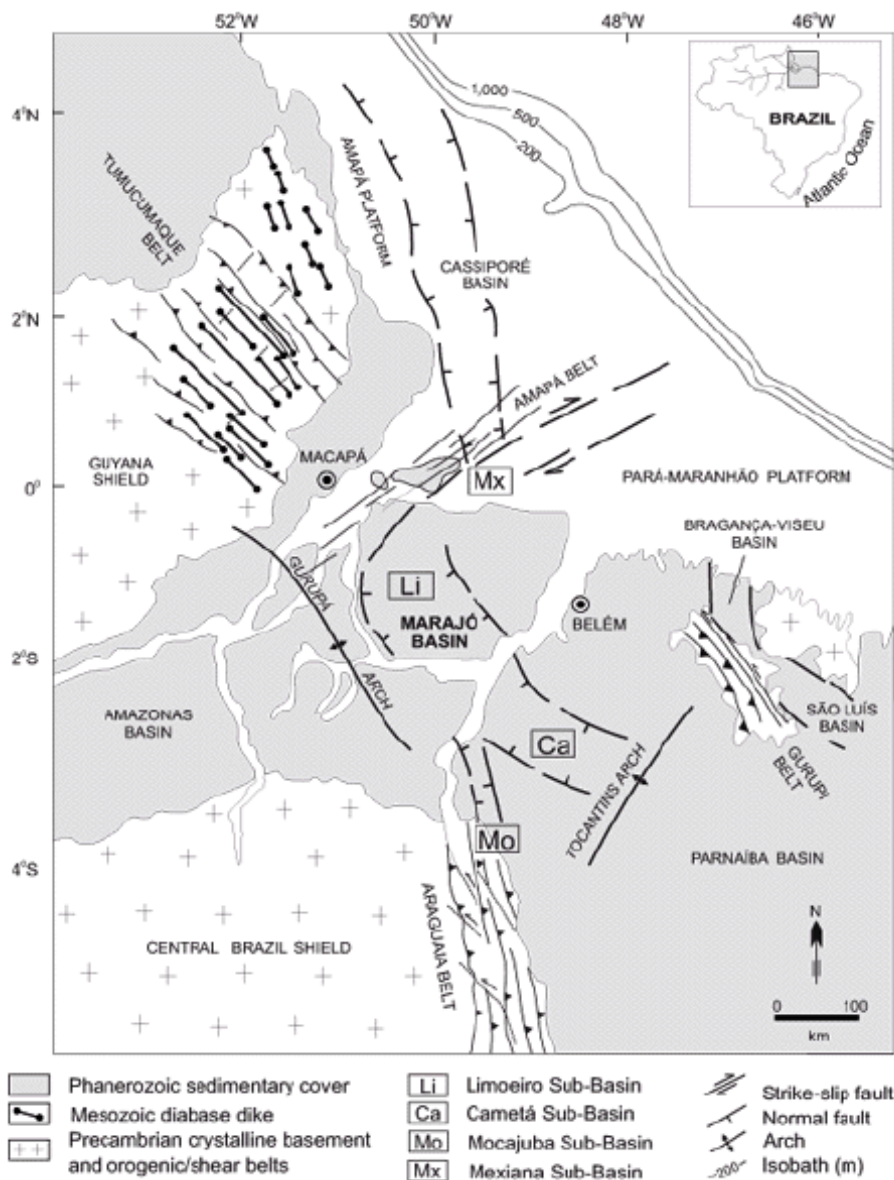


Figura 2-23: Configuração tectônica simplificada do norte do Brasil com a localização do Rifte do Marajó. Fonte: Costa et al. (2002).

A bacia do Marajó possui a forma alongada em direção NW-SE, onde uma das suas principais características é a ocorrência de anomalia gravimétrica positiva no eixo central da bacia, interpretada como intrusão de material mais denso na crosta (MILANI, 1991). Ainda, é caracterizada por falhas normais NW e NNW e direcionais NE e EE, que modelam a geometria da bacia. Com uma espessura acima de 11.000 m (COSTA *et al.*, 2002), é constituída pelas sequências pre-rifte, sinrifte e pós-rifte, datando do Cretáceo até o atual.

Sob influência estrutural, o setor leste da ilha do Marajó apresenta um forte contraste morfológico, sendo o rio Paracauari o divisor entre os blocos: ao norte, Soure é representada por uma topografia baixa, onde pode-se observar uma extensa planície flúvio-estuarina e ao sul, Salvaterra é caracterizada por um alto estrutural (FRANÇA, 2003).

A estratigrafia da região do estuário do rio Paracauari data do Quaternário e é composta pelas unidades dos aluviões, os quais formam a ampla planície aluvial do rio Amazonas, na região da ilha do Marajó, Caviana, Mexiana e ilha Grande de Gurupá (RADAM BRASIL, 1974). Com espessuras inferiores a 500 m, a

linha d'água recorta especialmente sedimentos do Grupo Barreiras nessa zona estuarina. Análise da cobertura sedimentar no rio Paracauari, realizada por FERREIRA (2013), verificou que a área é constituída de areia, areia síltica, silte arenoso e silte argiloso, atribuindo uma hidrodinâmica alta e muito alta para essa região.

A Ilha do Marajó apresenta topografia suave, com altitudes que não atingem duas dezenas de metros, e em grande parte constitui uma extensa planície sujeita às inundações periódicas pelas chuvas ou pelas cheias dos rios, os quais estão sob influência de marés (TEIXEIRA E COSTA, 1992). Segundo Barbosa e Pinto (1973), o relevo da ilha é constituído por duas grandes unidades morfoestruturais: Planalto Rebaixado da Amazônia e Planície Amazônica. A última possui até 4 km de largura em Soure, sendo menos larga quando comparada ao nordeste Paraense (≈ 40 km), e se caracteriza por um conjunto de estreitos paleocanais em forma de meandros e planícies fluviais, se encaixando nos sedimentos do Grupo Barreiras e apresentando um certo controle estrutural (EL-ROBRINI, 2001; FRANÇA, 2003).

A morfologia costeira da Ilha do Marajó apresenta escarpas em sequências transicionais do Terciário Superior, enquanto no interior da ilha dominam elevações sustentadas por crosta laterítica do Pleistoceno Médio. No leste da Ilha do Marajó, são reconhecidas várias gerações de paleocanais (ROSSETTI *et al.*, 2008) com sequências estuarinas associadas, enquanto no lado oeste predomina uma planície flúvio-marinha (COSTA *et al.*, 2002).

2.3.1.2. Aspectos meteorológicos

Toda a região que compreende o sistema costeiro de Soure, mais precisamente a margem leste da Ilha do Marajó, está inserida no nordeste Paraense, assim como a região onde localiza-se o estuário de São Caetano de Odívalas. Considerando a proximidade entre essas duas áreas, que distam cerca de 53 km em linha reta, é possível assumir que ambas estão submetidas às mesmas forças e características climato-meteorológicas. Dessa forma, a mesma dinâmica climática descrita no item 2.2.1.2 (Aspectos Meteorológicos no estuário de São Caetano de Odívalas) aplica-se ao sistema costeiro de Soure.

Conforme as Normais Climatológicas de precipitação e temperatura do ar referentes ao período 1981-2010, representadas na Figura 2-14, o sistema costeiro de Soure apresenta o período chuvoso entre os meses de janeiro e maio, com médias da precipitação sempre superiores a 300 mm/mês, atingindo valores acima de 500 mm entre fevereiro e abril. O período seco ocorre entre agosto e novembro, com precipitação oscilando entre 14 mm e 80 mm por mês. A temperatura média mensal nessa região permanece constante e elevada ao longo de todo o ano, oscilando entre 26,5 °C e 28,6 °C.

O clima do setor oriental da Ilha do Marajó é classificado como sendo do tipo “Am” – clima tropical úmido, de acordo com o sistema de classificação de Köppen, obedecendo a dois períodos sazonais – chuvoso e seco, influenciados pelo deslocamento da ZCIT, conforme mencionado para as outras áreas de estudo. O período chuvoso, que abrange os meses de dezembro a maio, apresenta os maiores índices de pluviosidade, com média de 2.566 mm.ano⁻¹. O período seco apresenta média de 414 mm e se estende de junho a novembro (LIMA, 2002). Os índices anuais são superiores a 3.000 mm (MARTORANO *et al.*, 1993).

Apresentando pequena variação mensal e anual, a média anual da temperatura é de 27 °C. Os valores médios mensais variam de 25 °C e 29 °C. Por outro lado, há uma diminuição considerável da temperatura no período noturno, o que torna as variações diárias mais significativas (LIMA *et al.*, 2005). Associados à temperatura e índice de precipitação, a umidade relativa do ar é elevada, sendo superior aos 80% em todos os meses do ano (TEIXEIRA e COSTA, 1992). Os maiores valores de umidade relativa do ar (89%) são registrados durante período chuvoso, isto devido às menores temperaturas do período (MORAES *et al.*, 2005).

A maior parte do litoral paraense possui uma predominância de ventos de direção leste. Segundo constatado por LIMA *et al.* (2005), a velocidade de vento no setor oriental da Ilha do Marajó é superior à ocidental. Na área Sul do município de Soure, na região do rio Paracauari, a velocidade é de 6 m.s⁻¹ no período chuvoso e, no seco, de 7 m.s⁻¹ (LIMA, 2002).

2.3.1.3. Hidrologia

A hidrografia da Ilha do Marajó é influenciada diretamente pelos afluentes dos rios Amazonas, Pará e Tocantins. Bemerguy (1981) dividiu a drenagem da ilha em dois grupos: I-Portão oeste, com uma rede de drenagem ativa e caracterizada por um aglomerado de canais interligados (“furos”); II-Portão leste, com uma rede de drenagem ampla, com alguns rios intermitentes e inúmeros lagos. O fluxo e volume de água segue a sazonalidade da região.

A bacia hidrográfica do sistema Tocantins e Araguaia possui uma área para além de 960.000 km², abrangendo o território de diversos estados e, segundo PRESTES *et al.* (2020), é o sistema de principal contribuição líquida para o rio Pará. Este, por sua vez, é o principal sistema hidrológico que cobre a região oriental da Ilha do Marajó (Figura 2-24).

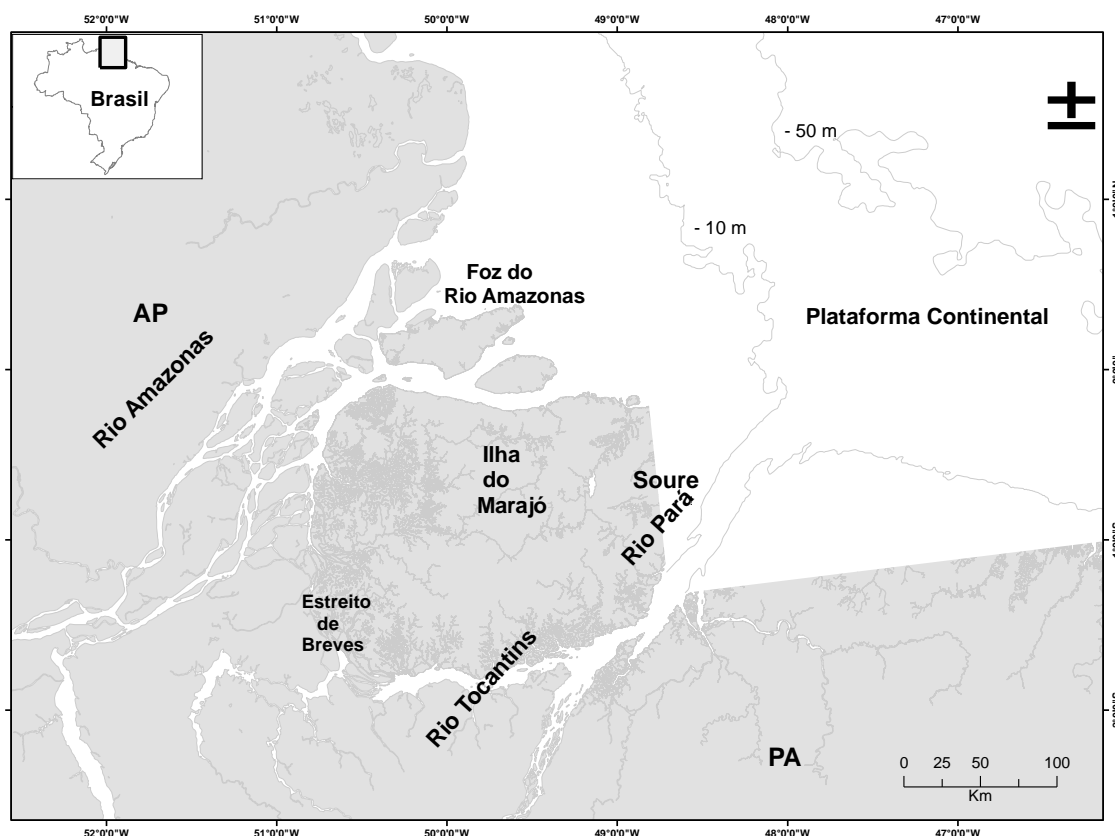


Figura 2-24: Mapa da área identificando os principais sistemas hidrológicos da região ocidental da zona costeira amazônica.

Com uma área de aproximadamente 608 km² e elementos estruturais do quadro neotectônico (FRANÇA, 2003), a bacia de drenagem do rio Paracauari é sinuosa com alguns desvios de seu curso d'água, onde, para montante, flui leste-oeste; e para jusante, sofre alta inflexão, fluindo norte-sul e sudeste (SOUZA e ROSSETTI, 2009). Com uma largura de até 1 km, o sistema do rio Paracauari desemboca no rio Pará. Canais menores ligados ao rio Pará concentram-se em sua maioria na região nordeste e completam a rede de drenagem da porção leste da ilha.

Rosário *et al.* (2016), através da aplicação de um modelo numérico, verificou que, em condições de baixa descarga fluvial (período seco), há uma intrusão salina de até 130 km no rio Pará. Sendo a salinidade um parâmetro determinante na dinâmica de um corpo hídrico, a intrusão de águas oceânicas em período de baixa descarga fluvial influencia diretamente os rios e canais de maré presentes nesta região, onde está inserido o rio Paracauari, uma vez que a costa leste da ilha do Marajó é toda banhada pelo rio Pará.

Tendo em vista essas características, a região é formada por um sistema costeiro com intensa descarga de água doce marcado pela presença de numerosas aflorações de água denominadas igarapés. Esses igarapés são colonizados por manguezais, que tanto drenam águas da parte interna alagada na época chuvosa (dos campos alagados), como permitem a intrusão de águas das marés. Essas feições estão distribuídas ao longo de toda costa leste da Ilha de Marajó, exemplificados pelos: igarapés do Farol, Glória e Barra Velha próximos ao centro urbano de Soure; e os igarapés do Céu e Cajuuna, próximos a Comunidade do Céu.

Em relação às características físico-químicas, Monteiro (2009), investigou a variabilidade de parâmetros hidroquímicos no rio Paracauari, e verificou que o pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos

totais dissolvidos, salinidade e o material particulado em suspensão possuem uma relação direta com as oscilações de maré. Os resultados obtidos pela autora permitiram concluir que a sazonalidade da descarga dos rios, o regime de precipitação, ação dos ventos e a maré são as forçantes de controle predominante na variação dos parâmetros, indicando que o rio Paracauari é influenciado por águas continentais durante o período chuvoso e por oceânicas, durante o período seco.

2.3.1.4. Aspectos oceanográficos

A região de Soure está inserida em um ambiente de regime semidiurno, de meso a macromarés (3 a 5 m). ROSÁRIO *et al.* (2016) obtiveram dados de maré e corrente em pontos estabelecidos nas margens em até 130 km à montante do estuário. De forma geral, a maré foi assimétrica, com o período de enchente inferior ao de vazante e, no período de baixa descarga fluvial, a preamar foi registrada junto à máxima velocidade de enchente e a baixa-mar junto à máxima de vazante, caracterizando um comportamento de onda progressiva da maré.

No litoral paraense, as correntes de maré são as principais responsáveis pela presença dos inúmeros bancos de areias, que se dispõem perpendicularmente à costa (MÁCOLA e EL-ROBRINI, 2004). No rio Paracauari, as correntes de maré superficiais apresentaram seus valores máximos durante a vazante ($0,61 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) e no início da enchente ($0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) durante a maré de quadratura (ROSÁRIO *et al.*, 2009).

Sob influência dos ventos alísios, as ondas geradas no litoral norte apresentam alturas abaixo de 1,5 m em mar aberto. Trabalhos técnicos realizados mostram a ocorrência episódica de ondas oceânicas geradas por Ciclones Tropicais do Atlântico Norte, que alcançam períodos de 20 s e altura de 3 m no litoral norte, onde as variações de intensidade das correntes superficiais acompanham as variações de intensidade das rajadas de vento medidas, com predominância de direção NE-E (MÁCOLA e EL-ROBRINI, 2004).

2.3.2. Aspectos Biológicos

As florestas de mangue da Ilha de Marajó (PA) (Figura 2-25) estão entre as menos estudadas do litoral brasileiro. De acordo com Carvalho (2016), as florestas de mangue de Soure apresentam valores médios de altura de 11,6 m e DAP de 23,3 cm. *Avicennia germinans* apresenta maiores valores de altura e diâmetro, com média de 14,5 m e 45,9 cm, respectivamente. *Rhizophora racemosa* apresenta os maiores valores de densidade relativa (59,09%), dominância relativa (77,59%), valor de cobertura (68,34%) e valor de importância (59,85%).

Na Ilha de Marajó, há diversas condições que proporcionam o desenvolvimento de manguezais (CARVALHO; JARDIM, 2017). Nas florestas de mangue de Soure, verifica-se uma relação direta com os atributos geomorfológicos e hidrodinâmicos daquele setor do litoral paraense, em contato com a baía de Marajó, como características de salinidade associadas ao regime de meso e macromarés (3,0 e 5,0 m), ventos e ondas que se formam na própria baía, e predominância de deposição lamosa nos setores mais abrigados (FRANÇA; PIMENTEL, 2012), que se traduzem em condições peculiares propícias para o desenvolvimento de bosques de mangue.



Figura 2-25 Aspecto das floretas de mangue do igarapé Turé no sistema costeiro de Soure (PA).

Entretanto, como citado anteriormente, não há muitas informações dos manguezais da região da Ilha de Marajó (PA). Tais florestas de mangue estão entre as menos estudadas na costa brasileira. O presente Projeto torna-se de extrema importância para essa região devido à grande abrangência espacial, contemplando uma área de estudo de cerca de 160 km², percorrendo grande parte da costa leste da ilha de Marajó, além de sua porção voltada para o oceano Atlântico.

Os levantamentos foram feitos desde a cidade de Soure (PA) até a Ilha do Machado (PA). Na porção mais ao sul da área estudada, percorrendo boa parte da costa leste da Ilha de Marajó, foram amostradas estações próximas a diversos igarapés, como por exemplo o igarapé do Farol, igarapé Barra Vermelha, igarapé Turé, igarapé Cajuuna, igarapé Envideira e igarapé Onça. Na porção mais ao norte, foi percorrida grande parte da porção da ilha voltada para o oceano Atlântico até o limite oeste, próximo a ilha do Machado, com diversas estações vistoriadas ao longo dos principais igarapés dessa região, como os igarapés Pacoval e Araraquara. Os resultados desse extenso levantamento estão apresentados no Capítulo 11.4.3.

2.4. Sistema Costeiro de Sucuriju, AP

A zona costeira do Amapá estende-se por mais de 600 km, podendo ser dividida em dois setores: Estuarino e Atlântico. Constitui uma área de alta complexidade e abriga uma vasta diversidade de habitats, além de estar submetida às forçantes típicas da região equatorial brasileira. É nesse cenário que se situa um dos principais sistemas da região, o rio Sucuriju, no setor denominado de Cabo Norte.

O sistema costeiro do rio Sucuriju (01° 39' 49"N e 49° 55' 43"W) encontra-se no limite leste do segmento que se estende desde o Cabo Orange até o Cabo Norte, no Amapá, segundo a divisão apresentada por Schaeffer-Novelli *et al.* (1990) (Figura 2-26). Caracteriza-se, em linhas gerais, por dois sub-sistemas: (a) planície inundável fluvio-marinha, com sedimentos fixados predominantemente por manguezais (NETO, 2003), sob influência direta da pluma do rio Amazonas, que transporta e deposita estes sedimentos na direção Noroeste; (b) sistema de lagos associados à Reserva Biológica do Lago Piratuba, composto pelos lagos Piratuba, Comprido, dos Ventos e dos Gansos.

Muehe (2006) define esta região como zona costeira oceânica ou atlântica de frente para o oceano Atlântico e a foz do rio Araguari constitui um marco divisório entre a zona costeira oceânica ao norte, que tem regime de macro a hipermaré, e a zona costeira estuarina ao sul, que exhibe mesomaráis.



Figura 2-26: Área de estudo sistema costeiro de Sucuriçu (AP). Em hachurado azul, a delimitação da área de estudo.

2.4.1. Aspectos físicos

2.4.1.1. Geologia e morfologia

Com uma extensão aproximada de 16 km, o rio Sucuriçu está inserido na faixa costeira caracterizada por planícies inundáveis flúvio-marinhas, composta em sua maioria por sedimentos originados no Quaternário e de vegetação típica de florestas de mangue (XAVIER, 2009). O aporte sedimentar, as áreas periodicamente inundáveis e a topografia da área são fatores atribuídos à geomorfologia da região.

Análises granulométricas de testemunhos realizados por Xavier (2009) ao longo do rio Sucuriçu apresentaram como principais resultados mineralógicos a presença de micas, K-feldspato, quartzo e caulinita, além de argilo-minerais, como esmectita e illita. Estes resultados sedimentológicos caracterizam a área por um alto dinamismo resultante da sobreposição de forçantes, fatores que contribuem diretamente na modificação da linha de costa da região e nos processos de sedimentação.

A hidrodinâmica, somada às sazonalidades climáticas, são os principais fatores que influenciam a sedimentação local, onde períodos de menor pluviosidade e conseqüente baixa descarga fluvial, possibilitam que a circulação fluvial faça o carreamento de quantidades maiores de sedimentos arenosos. O oposto ocorre em período de maior pluviosidade, com predominância de frações finas na sedimentação. Xavier *et al.* (2012) verificaram que, pela forma sinuosa característica do rio Sucuriçu, a porção continental (mais interna) possui predominantemente a sedimentação de frações finas (silte e argila) e, a porção mais próxima à foz, onde a influência marinha é maior, a sedimentação predominante é da fração de granulometria mais grossa.

2.4.1.2. Aspectos meteorológicos

Estudos como Santos *et al.* (2005) e Costa e Silveira (1998), que quantificaram e qualificaram alguns dos principais aspectos climáticos do sistema costeiro de Sucuriçu, ainda são escassos na região. Embora boa parte desse sistema esteja inserida na Reserva Biológica (ReBio) do Lago Piratuba, a área tem na carência de informações uma das maiores dificuldades em estudar a região.

Com dois períodos sazonais estabelecidos, a dinâmica da região é refletida em altos índices pluviométricos, registrando cerca de 3.000 mm anuais. O estudo realizado por Santos *et al.* (2005) estimou que os meses de dezembro a maio, referentes ao período chuvoso, apresentam cerca de 70% dos índices de pluviométricos da região. Por outro lado, o período seco registra déficit no regime de chuvas nos meses de setembro a novembro (COSTA e SILVEIRA, 1998).

A caracterização climática do sistema costeiro de Sucuriçu segundo as Normas Climatológicas do período de 1981 – 2010 foi realizada a partir de informações disponíveis referentes à estação meteorológica de Macapá, a aproximadamente 220 km do distrito de Sucuriçu. Pequenas divergências entre as características climato-meteorológicas dessas regiões são esperadas dada a distância entre elas, contudo, não inviabiliza a caracterização do sistema costeiro de Sucuriçu através dessas informações, tendo em vista as escalas dos fenômenos atmosféricos e meteorológicos.

A exemplo dos demais sistemas estudados, o sistema costeiro de Sucuriçu é caracterizado por elevada pluviosidade anual e uma sazonalidade climática bem definida; o período chuvoso ocorre entre janeiro e junho, com valores de precipitação oscilando entre 244mm e 395 mm; e o período seco, de julho a dezembro, com precipitação variando de 28 mm a 153 mm (Figura 2-27). A temperatura média mensal é

elevada e relativamente constante ao longo do ano, oscilando entre 26,0 °C, em fevereiro, e 28,5 °C, em outubro (Figura 2-27).

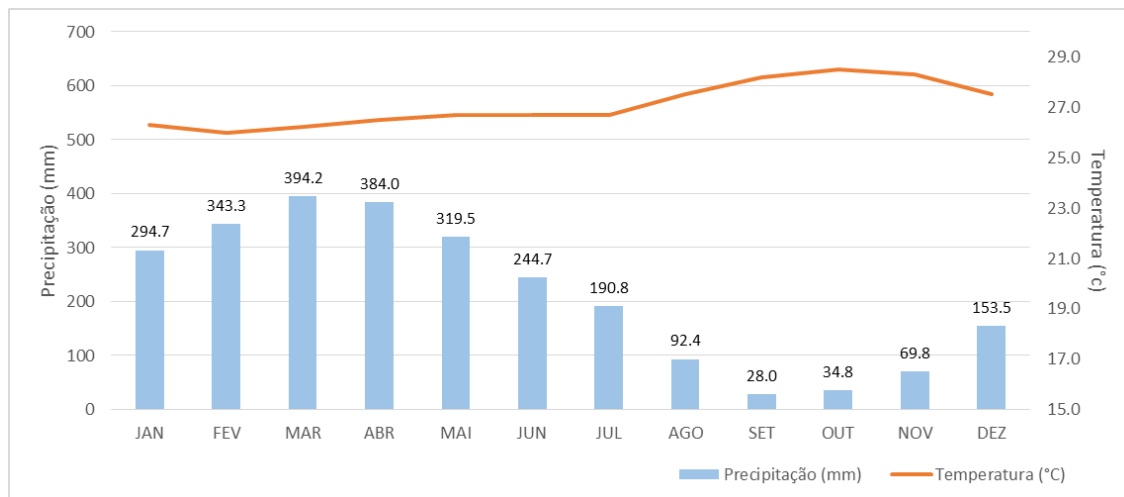


Figura 2-27: Normais climatológicas (1981-2010) de Precipitação (mm) e Temperatura (°C). Estação Meteorológica Macapá (AP). Fonte: INMET (2017).

O regime climático no qual a região da costa amapaense se configura é ditado essencialmente pela atuação da forçante atmosférica ZCIT, que determina o regime de ventos alísios, índices de pluviosidade, alternância das estações climáticas e a hidrologia local, como acontece nas demais áreas de estudo do Projeto Costa Norte.

A alternância sazonal na região de Sucuriju também é controlada fortemente pela ação dos ventos alísios, conforme mencionado. Esses ventos, frequentes ao longo de todo o ano, apresentam variações na velocidade com a qual atingem à costa. Os meses de dezembro a maio apresentam alísios de direção nordeste e menor intensidade. Nos meses de junho a novembro, são provenientes de sudeste e possuem maiores intensidades, conforme ilustra a Figura 2-28 (NITTROUER e DEMASTER, 1996; MATOS *et al.*, 2012).

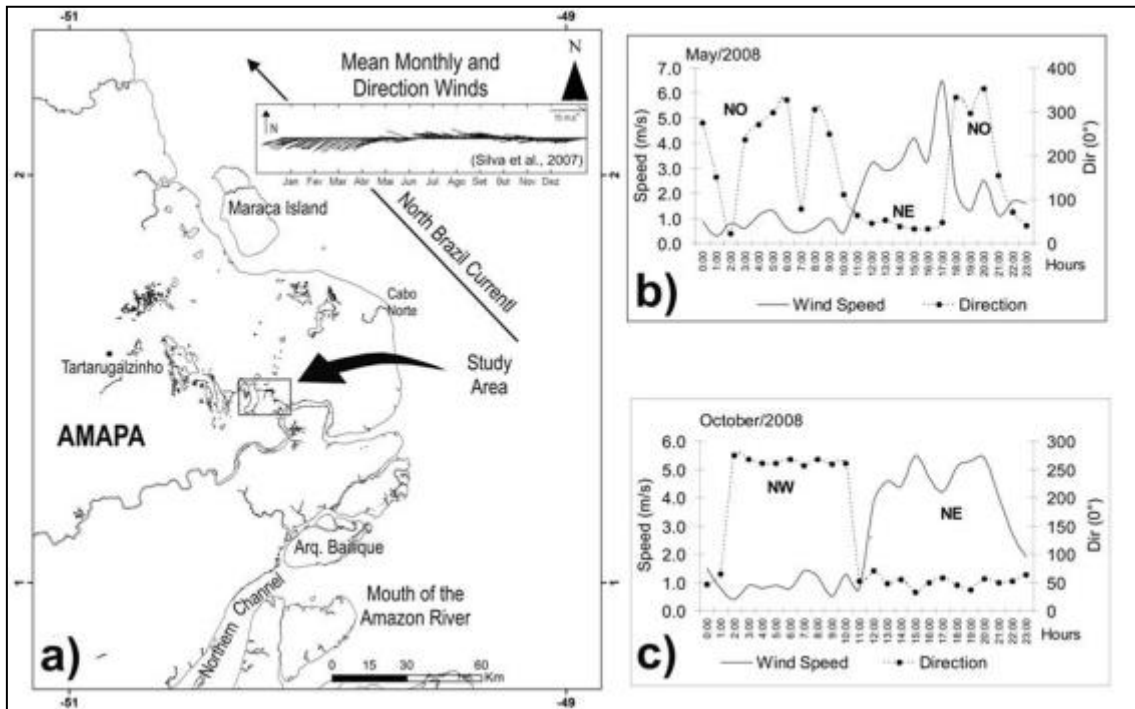


Figura 2-28: Atuação dos ventos na costa do Amapá. a) Direção anual dos ventos alísios incidentes na costa, controlados pela ZCIT; b) e c) Atuação diária dos ventos locais, nos meses de maio (chuvoso) e outubro (seco) na estação meteorológica de Aporema e Tartarugalzinho. Fonte: Matos et al. (2012).

2.4.1.3. Hidrologia

Estudos numéricos que determinem quais são os principais afluentes de contribuição hídrica para o rio Sucuriju ainda não foram realizados. Em uma caracterização geral dessa área, Xavier (2009) apontou que a vazão do rio Sucuriju é influenciada pelos rios Jaburu, Urubu e Igarapé Piratuba, além da contribuição pluviométrica da região.

As variações sazonais interferem diretamente na intensidade da cunha salina na parte mais interna do rio, modificando os parâmetros físico-químicos da água, assim como o teor de matéria orgânica presente no sedimento. O estudo realizado por Xavier *et al.* (2012) determinou, através da análise das variações verticais desses parâmetros, duas zonas de diferentes características ao longo do rio: I- Zona oxidante, próxima à foz, sob maior influência oceânica, com valores maiores de salinidade (média de 13) e pH alcalino ($\approx 7,4$); e II-Zona redutora, à montante do rio, sob maior influência continental, com média de salinidade menor ($\approx 9,6$) e pH levemente ácido ($\approx 6,96$).

2.4.1.4. Aspectos oceanográficos

O rio Sucuriju está inserido em um cenário semidiurno de macro e hipermaré, podendo atingir alturas máximas de até 12 m em condições extremas. A maré é assimétrica, onde o tempo de vazante é superior ao de enchente: aproximadamente 8 e 4 horas, respectivamente.

Há um predomínio dos processos associados à atuação da maré no rio, onde as condições oceanográficas, somadas à morfologia de fundo, propiciam a ocorrência periódica do fenômeno da *pororoca*, entre os meses de março e setembro, especialmente em condições de maré de sizígia e potencializado nos períodos de equinócio (SANTOS, 2005). Este fenômeno pôde ser estudado a partir dos dados coletados no PCN e encontra-se descrito no Capítulo 6 (Processos Costeiros e Estuarinos).

Os estuários de hipermarés apresentam amplificação de processos físicos (circulação, mistura, transporte), onde a intensidade dessa amplificação irá variar de acordo com as características de cada ambiente (vazão hídrica, morfologia de fundo, entre outros).

O sistema costeiro em que se insere o rio Sucuriçu apresenta características típicas de um ambiente de hipermaré, sendo um sistema que sofre grande variabilidade em um intervalo curto de tempo, o que atribui um alto dinamismo à região, trazendo a necessidade de uma compreensão mais aprofundada desse sistema.

A influência da Corrente Norte do Brasil na plataforma adjacente exerce um importante papel no direcionamento da pluma de sedimentos proveniente do rio Amazonas (Figura 2-29), impedindo a dispersão para regiões mais afastadas e facilitando sua deposição ao longo da costa amapaense (SANTOS, 2006; PORFIRIO, 2011). Assim como na costa, a hidrodinâmica é uma das principais forçantes que atuam na sedimentação no rio Sucuriçu, sendo também um dos fatores que resultam em condições favoráveis à ocorrência do fenômeno da *pororoca*, gerando correntes com grande poder de remobilização e erosão dos sedimentos (SANTOS, 2006).

O clima de ondas caracteriza-se como pouco atuante na região (SFRENDRECH, 2009), possuindo uma ação maior no litoral oriental do Amapá, agindo mais no retrabalhamento dos sedimentos arenosos. Ondas de pequeno porte atingem a região da foz do rio Sucuriçu sempre associadas à incidência de ventos da ZCIT, bem como aos alísios do Hemisfério Norte.

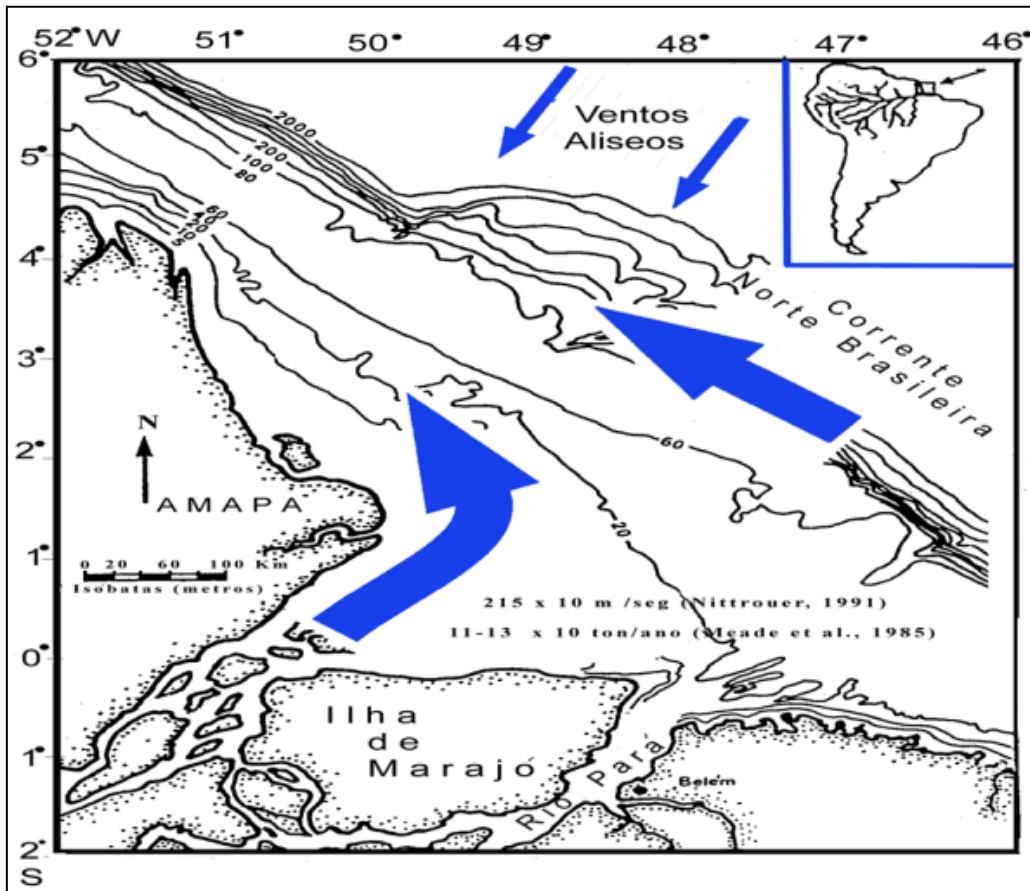


Figura 2-29: Influência da Corrente Norte Brasileira no direcionamento da pluma de sedimentos proveniente da descarga do rio Amazonas (NITTROUER *et al.*, 1991). Fonte: Silveira (1998).

2.4.2. Aspectos Biológicos

Os bancos lamosos que compõem toda a costa do Amapá são ocupados por florestas de mangue homogêneas e bem formadas, dominadas por *Avicennia germinans*, que atingem de 15 a 20 metros de altura, os chamados siriubais (SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 1990). Os siriubais aparecem a partir do rio Gurijuba e Araguari, e expandem-se até Sucuriju, no Cabo Norte, constituindo ecossistemas de grande importância na ilha de Maracá. Entre os rios Flechal e Cunani, os siriubais tornam-se mais estreitos, devido ao processo de erosão, aumentando em seguida nos Cabos Cassiporé e Orange.

Rabelo *et al.* (1994, *apud* PROST; RABELO, 1996) identificaram 4 setores para os manguezais da costa no Amapá: setores I, II e III, onde os manguezais sofrem erosão; e setor IV, onde ocorre expansão dos manguezais.

O setor I corresponde ao limite meridional dos manguezais, encontra-se entre o rio Gurijuba, o arquipélago de Bailique e a margem esquerda do rio Araguari. Os siriubais são dominantes, com espécies associadas de várzea e muitas palmeiras. São formas pioneiras: *Ludwigia spp.*, *Echinodorus sp.*, *Eichhornia spp.*. O setor II, onde está inserido o sistema costeiro do rio Sucuriju, está situado entre a margem esquerda do rio Araguari e rio Flechal, incluindo o Cabo Norte e as ilhas de Maracá e Jipioca. Neste setor, os siriubais continuam associados com espécies de várzea, porém não há ocorrência de palmeiras. No interior, entre o lago Piratuba e o Cabo Norte, vastas populações de *Rhizophora sp.* prosperam em situação abrigada e sob forte

influência de água doce. O setor III, situado mais ao norte, entre os rios Flechal e Cunani, apresenta maior homogeneidade e menor extensão dos siriubais com predomínio de população jovem em associação com espécies de várzea. No setor IV, considerado o setor de expansão de manguezais (PROST & RABELO, 1996), entre os cabos Cassiporé e Orange, os siriubais colonizam depósitos lamosos intertidais, nos quais *Laguncularia racemosa* se estabelece como espécie pioneira.

Os manguezais mais desenvolvidos da costa brasileira estão distribuídos na costa do Amapá, onde ocorrem as condições ideais para a constituição desse ecossistema: presença do maior rio do mundo em volume de água; localização próxima à linha do Equador, com temperaturas elevadas e radiação solar elevada e presente o ano todo; alta pluviosidade; grandes amplitudes de maré; e água salina ou salobra (SCHAEFFER-NOVELLI e CINTRON, 1988; COSTA-NETO, 2003).

Costa-Neto *et al.* (2003) caracterizaram sete tipos de florestas de mangue ao longo do rio Sucuriju (Figura 2-30): Floresta Mista, Floresta Madura de *Rhizophora*, Floresta Madura de *Avicennia*, Floresta Senil, Florestas Maduras com *Pterocarpus*, Florestas Maduras com *Euterpe* e Florestas de *Rhizophora* em borda de lago. Essas florestas sofrem a influência do aporte de sedimento, inundação periódica e topografia da área. Na foz do rio Sucuriju são encontradas florestas mistas, drenadas por canais de maré com sedimentos recentes, os gêneros *Rhizophora* e *Avicennia* são dominantes, com 330 indivíduos.ha⁻¹, DAP médio de 20 cm e altura média de 9 metros. Florestas maduras também são encontradas, com predominância de *Rhizophora* ou *Avicennia*, com densidades em torno de 600 ind.ha⁻¹, a primeira com DAP médio maior, 19 cm, e a segunda com as maiores alturas, com média de 14 ms.



Figura 2-30 Aspecto das florestas de franja às margens do rio Sucuriju no sistema costeiro de Sucuriju (AP).

Nas áreas topograficamente mais elevadas, há ocorrência de Florestas Senis, com dominância de *Avicennia germinans*, com densidades baixas, 90 ind.ha⁻¹, apresentando DAP médio de 46 cm e altura média de 20 metros, localizados sobre a feição geomorfológica “mud lump”. Devido à baixa densidade de indivíduos e, conseqüentemente, excessiva penetração de luz no sub-bosque, há ocorrência de espécies associadas a vegetação de mangue como *Guadua glomerata* (taboca) e a presença de muitas lianas, como *Cydista aequinoctialis* (L.) Miers., *Arrabidaea sp.*, *Ipomoea alba* L. e *Paulinia pinnata* L. nessas florestas de áreas

elevadas (Costa-Neto *et al.* 2006). Florestas de mangue associadas com *Pterocarpus* (mututi) e *Euterpe oleracea* (açai) surgem na porção a montante do rio. As florestas de mangue associadas com *Pterocarpus* (mututi) possuem maiores densidades (860 ind. ha^{-1}), DAP médio de 22 cm e altura média de 12 m, e as florestas de mangue associadas com *Euterpe oleracea* (açai) possuem densidade de 250 ind. ha^{-1} , 19 cm de DAP médio e 13 m de altura média. No contato com a borda do lago, denominado regionalmente de “escavado”, ocorrem florestas menos desenvolvidas estruturalmente, com 10 m de altura média, 25 cm de DAP médio e dominância de *Rhizophora* (Costa-Neto *et al.*, 2003).

O sistema costeiro de Sucuriju é uma das áreas de estudo com mais estudos desenvolvidos e disponíveis na literatura sobre florestas de mangue. O presente levantamento, no entanto, amplia a abrangência espacial dos estudos existentes, pois possui estações distribuídas tanto em áreas próximas às margens do rio Sucuriju, como nas áreas costeiras, voltadas para o Oceano Atlântico, totalizando cerca de 230 km^2 de área de estudo. Adicionalmente, o Sistema Costeiro de Sucuriju (AP) está inserido, em boa parte, na Reserva Biológica (ReBio) do Lago Piratuba, o que torna os levantamentos de dados realizados pelo Projeto Costa Norte de grande relevância para a conservação e manejo deste ambiente.

2.5.Referências

- ALVES, A. Estoque de carbono na biomassa aérea e subterrânea de manguezais na costa brasileira. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação Pós-Graduação em Ecologia - Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ. Orientador: Mario Soares. 2017.
- ASP, N. E.; FREITAS, P. T. A.; GOMES, V.; GOMES, J. D. Hydrodynamic overview and seasonal variation of estuaries at the eastern sector of the Amazonian coast. *Journal of Coastal Research*, n. 65, p. 1092-1097, 2013.
- BARBOSA, G. V., PINTO, M. N. Geomorfologia da Folha SA-23 (São Luís) e parte da Folha SA- 24 (Fortaleza). Projeto Radam In: BRAZIL. Brazil. Rio de Janeiro: [S.N], cap.2, p. 3-26, 1973.
- BEMERGUY, R.L. Estudo Sedimentológico dos Paleocanais da Região do Rio Paracauari, Ilha do Marajó - Estado do Pará. Belém (PA): NCGG-UFPA. Dissertação de Mestrado. 95 p., 1981.
- BORBA, T. A. C. Hydrodynamic modelling in amazonian estuary: a flexible mesh approach. MSc Thesis – CPGf/UFPA, Belém, p. 46, 2014.
- CARVALHO, E. A. Caracterização estrutural e ambiental de bosques de mangue da costa paraense, como subsídios à conservação e qualidade de vida. Orientador: Mário Augusto Gonçalves Jardim. 2016. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém, 2016.
- CARVALHO, E. A., JARDIM, M. A. G. Composição e estrutura florística em bosques de manguezais paraenses, Brasil. *Ciênc. Florest.*, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 923-930. 2017.
- COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BEMERGUY, R.L.; SOARES-JUNIOR, A.V.; VILLEGAS, J. M. C. Tectonics and Paleogeography of the Marajó Basin, Northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 74 (3): p. 1-13, 2002.

- COSTA, J. L.; ARAÚJO, A. A. F.; VILLAS BOAS, J. M.; FARIA, C. A. S.; SILVA NETO, C. S., WANDERLEY-FILHO, V. J. R. Projeto Gurupi. Relatório Final. DNPM/CPRM. Belém, v. 1, p. 258, 1977.
- COSTA, L. T. R.; SILVEIRA, O. F. M. The Araguary Estuary: an example of tidal dominated estuary. In: Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 70, n. 2, p. 201-211. 1998.
- COSTA, M. R. P. Análise da sustentabilidade das áreas de manguezal frente à implantação do pólo ecoturístico da floresta dos guarás - área de proteção ambiental das reentrâncias maranhenses, Cururupu, MA, Brasil. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas) - Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2004.
- COSTA, M. S. Aporte hídrico e do material particulado em suspensão para a baía do Marajó: influência dos rios Amazonas e Tocantins. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará. p. 71, 2014.
- COSTA-NETO, S. V.; VIEIRA, I. M., SARQUIS, R. do S. F. R.; TOSTES, L. C. L.; VIANA, A. F. Dinâmica e estrutura dos manguezais do rio Sucuriju, Amapá, Brasil. In: MANGROVE, 2003. Articulando pesquisa e gestão participativa de estuários e manguezais: Resumos. Salvador: UFBA, 2003.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. GeoSGB - sistema de geociências. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 01 jan. 2017.
- EL-ROBRINI M., ALVES M. A. M. S., SOUZA FILHO P. W. M., EL-ROBRINI M. H. S., SILVA JR O. G., FRANÇA C. F. Pará. In: Dieter Muehe. (org.). Erosão e progradação no litoral brasileiro. Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente, p. 46, 2006.
- FEITOSA, A. C. Evolução morfogenética do litoral norte da ilha do Maranhão. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1989.
- FERREIRA, A.G., Mello, N.G.S. 2005. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. Revista Brasileira de Climatologia, 1(1): 15 - 28.
- FERREIRA, G.P. Caracterização hidrodinâmica e do transporte de sedimentos na região fluvio-estuarina do rio Paracauari, Ilha de Marajó, Pará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2013.
- FRANÇA, C. F.; PIMENTEL, M. A. S. Diversidade paisagística das margens oeste e leste da baía de Marajó, Pará, norte do Brasil. Revista Geonorte, Manaus, v. 3, n. 4, p. 900-910, 2012.
- FRANÇA, Carmena Ferreira de. Morfologia e mudanças costeiras da margem leste da Ilha de Marajó - (PA). Orientador: Maâmar El-Robrini. 2003. 144 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003.
- GEYER, W. R., BEARDSLEY, R.C., LENTZ, S.J., CANDELA, J., LIMEBURNER, R., JOHNS, W. E., CASTRO, B. M., SOARES, I.D. Physical oceanography of the Amazon Shelf. Continental Shelf Research, v. 16, n. 5- 6, p. 575-616. 1996.

- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados climatológicos do nordeste paraense. Acesso em 05/2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Atlas dos Manguezais do Brasil. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 176 p. : il 2018.
- MARCUZZO, F. F. N., ROMERO, V. 2013. Influência Do El Niño E La Niña Na Precipitação Máxima Diária Do Estado De Goiás. Revista Brasileira de Meteorologia, 28(4):429 – 440.
- MELO, O. T. Dinâmica de nutrientes e da matéria orgânica no manguezal do Igarapé Nunca Mais - Ilha de São Luís (MA). Orientador: Waterloo Napoleão de Lima. 2002. 150 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.
- MENEZES, M.P.M.; BERGER, U.; MEHLIG, U. 2008. Mangrove vegetation in Amazonia: a review of studies from the coast of Pará and Maranhão States, north Brazil. *Acta Amazonica*. vol. 38(3) 2008: 403 – 420.
- MILANI, E. J. Anomalias Gravimétricas em Bacias do Tipo Rift: Exemplos Brasileiros. In: 2nd International Congress of the Brazilian Geophysical Society. European Association of Geoscientists & Engineers, p. cp-316-00034, 1991.
- MINUZZI R. B. et al. 2006. Influência do fenômeno climático El niño no período chuvoso da região sudeste do brasil. *Geografia*, 15(2):5 – 19.
- MMA - Ministério de Meio Ambiente. Estudo Socioambiental Referente à Proposta de Criação de Reserva Extrativista Marinha no Município de São Caetano de Odivelas, Estado do Pará. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2014.
- MMA - Ministério de 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: 301. 1996.
- MOCHEL, F.R. Structural variability of mangrove forests in Turiaçu Bay, Amazonian Coast of Maranhão, Brazil. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, 23, p.27-32. 2011.
- MUEHE, D. *Erosão e Progradação no litoral brasileiro*. Brasília, MMA. 2006.
- NITTROUER, C. A. et al. A multidisciplinary amazon shelf sediment study. *EOS Transactions - American Geophysical Union, Estados Unidos*, v. 71, n. 45: p. 1771-1777. 1990.
- NITTROUER, C. A., DEMASTER, D. J. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental shelf research*, v. 16, n. 5-6, p. 553-573, 1996.
- OLTMAN, R. E. Reconnaissance investigation of discharge and water quality of the Amazon River. *US Geological Survey Circular*, Washigton DC, v. 552, p. 1-16. 1968.
- PEJRUP, M. 1988. 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.

- PRESTES, Y. O., BORBA, T. A. C., SILVA, A. C., ROLLNIC, M. A discharge stationary model for the Pará-Amazon estuarine system. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 28, 2020. doi: 10.1016/j.ejrh.2020.100668.
- PROJETO RADAM BRASIL. Levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro, DNPM. 5(1). Il. 1974.
- PROST, M. T. R. C.; RABELO, B. V. Variabilidade fito-espacial de manguezais litorâneos e dinâmica costeira: exemplos da Guiana Francesa, Amapá e Pará. *Boletim do Museu. Paranaense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*, v. 8, p. 101-121, 1996.
- PROST, M.T.; Mendes, A.C.; Faure, J.F.; Berredo, J.F.; Sales, M.E.; Furtado, L.G.; Santana, M.G.; Silva, C.A.; Nascimento, I.; Gorayeb, I.; Secco, M.F.; Luz, L. Manguezais e estuários da costa Paraense: Exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). *In: PROST, Maria Thereza; MENDES, Amilcar Carvalho (org.). Ecosistemas Costeiros: Impactos e gestão ambiental. 2. ed. Ver. Atual. – Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. p. 74-88, 2013*
- RABELO, B.V., SOUZA, C. B., CHAGAS, M. A., QUINTAS, D. F. P., AVILA, J. E. S., GIBSON, V. M. Abordagens sobre os manguezais do Amapá: contribuições para debate. *Workshop ECOLAB, 2. Macapá, CEMAJAP, mar. 1994.*
- REBELO-MOCHEL, F. Caracterização espectral e mapeamento dos manguezais por sensoriamento remoto na Baía de Turiaçu, Maranhão, Brasil. *Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 153p., January, 1999.*
- RIOS, L. *Estudos de geografia do Maranhão. 3ª ed. São Luís, Ed. Graphis, p. 221, 2001.*
- ROCHA-FILHO, A. C. R. Avaliação estrutural da vegetação de bosques de mangues potencialmente vulneráveis ao derrame de óleo na baía de São Marcos - Maranhão, Brasil / Augusto Cesar Ribeiro Rocha Filho. - São Luís, 2010. 68 f.: il. *Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Universidade Estadual do Maranhão, 2010.*
- ROSÁRIO, R. P. *Análise de processos oceanográficos no estuário do rio Pará. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.*
- ROSSETTI, D. F.; VALERIANO, M. M.; GOÉS, A. M.; THALÊS, M. Palaeodrainage on Marajó Island, northern Brazil, in relation to Holocene relative sea-level dynamics. *The Holocene*, v. 18, n. 6, p. 923-934, 2008.
- SANTOS, J. H. S. *Análise por geoprocessamento da ocupação na franja costeira ao norte da cidade de São Luís—MA. Rio de Janeiro: IGEO/PPGG/UFRJ, 1996.*
- SANTOS, J.H.S. *Introdução ao Estudo Geomorfológico da Praia da Ponta D'areia – São Marcos. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 1989.*
- SANTOS, V. F. et al. *Processos sedimentares em área de macro-marés influenciados pela pororoca-estuário do rio Araguari-Amapá-Brasil. Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, X, Guarapari -ES. Boletim de Resumos Expandidos. ABEQUA, X, v. 1, 2005.*

- SCHAEFFER-NOVELLI, Y., CINTRON-MOLERO, G., ADAIME, R.R., CAMARGO, T.M., 1990, Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*, v.13, n.2, pp. 204-218.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y., CINTRON-MOLENO, G. Expedição nacional aos manguezais do Amapá, ilha de Maracá. Relatório técnico. Brasília: CNPq. 99p. 1988.
- SILVA, A, M, da P. Estudos dos parâmetros meteoceanográficos de um estuário Amazônico, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.
- SILVEIRA, J. D. Morfologia do litoral. In: Azevedo, A. Brasil, A Terra e o Homem. São Paulo Cie., Ed. Nacional, v.1, p. 254-305. 1968.
- SOUZA FILHO, P. W. M., EL-ROBRINI, M. As variações do nível do mar e a estratigrafia de sequências da planície costeira bragantina - nordeste do Pará, Brasil. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra, [S.l.], v. 10, p. 45-78. 1998.
- TEIXEIRA, J. V. B.; COSTA, L. T. Estudo integrado da região de Soure-Salvaterra (Marajó). Estágio de Campo III, Departamento de Geologia, UFPA, 1992.
- TORRES, A. M., EL-ROBRINI, M., COSTA, W. Panorama da erosão costeira do estado Amapá. In: Dieter Muehe. (Org.). Panorama da Erosão Costeira no Brasil. 1 ed. Brasília: MMA, v. 1, p. 19-64. 2018.
- VALENTIM, M. M. Relação da salinidade e turbidez nos limites de um estuário amazônico. Trabalho de conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém. 2017.