

Capítulo 2

Área de Estudo Regional

Autores do Capítulo

Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental Marinho - UFPA

Dr. Marcelo Rollnic

Dra. Thaís Angélica da Costa Borba

Ma. Ângela Carolina Cidon Mascarenhas

Ma. Débora Rodrigues Pereira

Núcleo de Estudos em Geoquímica e Ecologia Marinha Costeira - UERJ

Bel. Lucas Silva Pereira

Prof. Dr. Mário Luiz Gomes Soares

Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia – UFRJ

Dra. Carina Stefoni Böck

Dra. Raquel Toste Ferreira dos Santos

Prof. Dr. Luiz Paulo de Freitas Assad

Prof. Dr. Luiz Landau

Proceano

Me. Gabriel Vieira de Carvalho

Colaboradores

Me. Alex Alves

Ma. Carla Muniz Sabino

Dr. Filipe de Oliveira Chaves

Ma. Maria Rita Olyntho Machado

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., BORBA, T.A.C., MASCARENHAS, A.C.C., PEREIRA, D.R., PEREIRA, L.S., M.R.O., SOARES, M.L.G., BÖCK, C.S., SANTOS, R.T.F., ASSAD, L.P.F., LANDAU, L., CARVALHO, G.V. “Áreas de Estudo”, 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.1. Rio de Janeiro (BR), 2020.

Sumário

2. Área de Estudo	26
2.1. Caracterização dos Aspectos Físicos	29
2.1.1. Geologia e Morfologia	29
2.1.2. Aspectos Meteorológicos	34
2.1.3. Hidrologia	37
2.1.4. Aspectos Oceanográficos	39
2.2. Caracterização dos Manguezais	40
2.3. Referências	41

Índice de Figuras

Figura 2-1: A região da Margem Equatorial Brasileira.	26
Figura 2-2: 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).	28
Figura 2-3: Ilustração dos domínios geomorfológicos do estado do Maranhão. Fonte: CPRM (2013).	32
Figura 2-4: Ilustração dos domínios geomorfológicos do estado do Pará. Fonte: CPRM(2013).	33
Figura 2-5: Ilustração dos domínios geomorfológicos do estado do Amapá. Fonte: CPRM (2013).	33
Figura 2-6: Normal Climatológica dos índices de precipitação e ventos na Margem Equatorial Brasileira para os meses de Janeiro a Junho.	35
Figura 2-7: Normal Climatológica dos índices de precipitação e ventos na Margem Equatorial Brasileira para os meses de Julho a Dezembro.	36
Figura 2-8: Esquema do <i>box model</i> utilizado para estimar a vazão do rio Pará que deságua no oceano Atlântico Tropical. Fonte: Prestes <i>et al.</i> (2020).	38

Lista de Abreviações e Siglas

ANA	Agência Nacional de Águas
CCNE	Contra corrente Norte Equatorial
CNB	Corrente Norte do Brasil
CSE	Corrente Sul Equatorial
MEB	Margem Equatorial Brasileira
NECC	Contra corrente Norte Equatorial
SCE	Subcorrente Equatorial
SNB	Subcorrente Norte do Brasil

2. Área de Estudo

O Brasil possui uma linha de costa de aproximadamente 8.500 km de extensão, dos quais 35% são ocupados pelo litoral amazônico brasileiro. Esta faixa costeira está compreendida entre o rio Oiapoque no Amapá (5°N, 51°W) e a baía de São Marcos no Maranhão (2°S, 44°W) (PEREIRA *et al.*, 2009).

A região de interesse direto do Projeto Costa Norte (PCN) 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. Tal área costeira está inserida na região conhecida como Margem Equatorial Brasileira (MEB), que compreende além das já citadas, três outras Bacias Sedimentares (Potiguar, Ceará e Barreirinhas) e abarca mais de 2.000 km de litoral dos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão, Pará e Amapá (Figura 2-1).

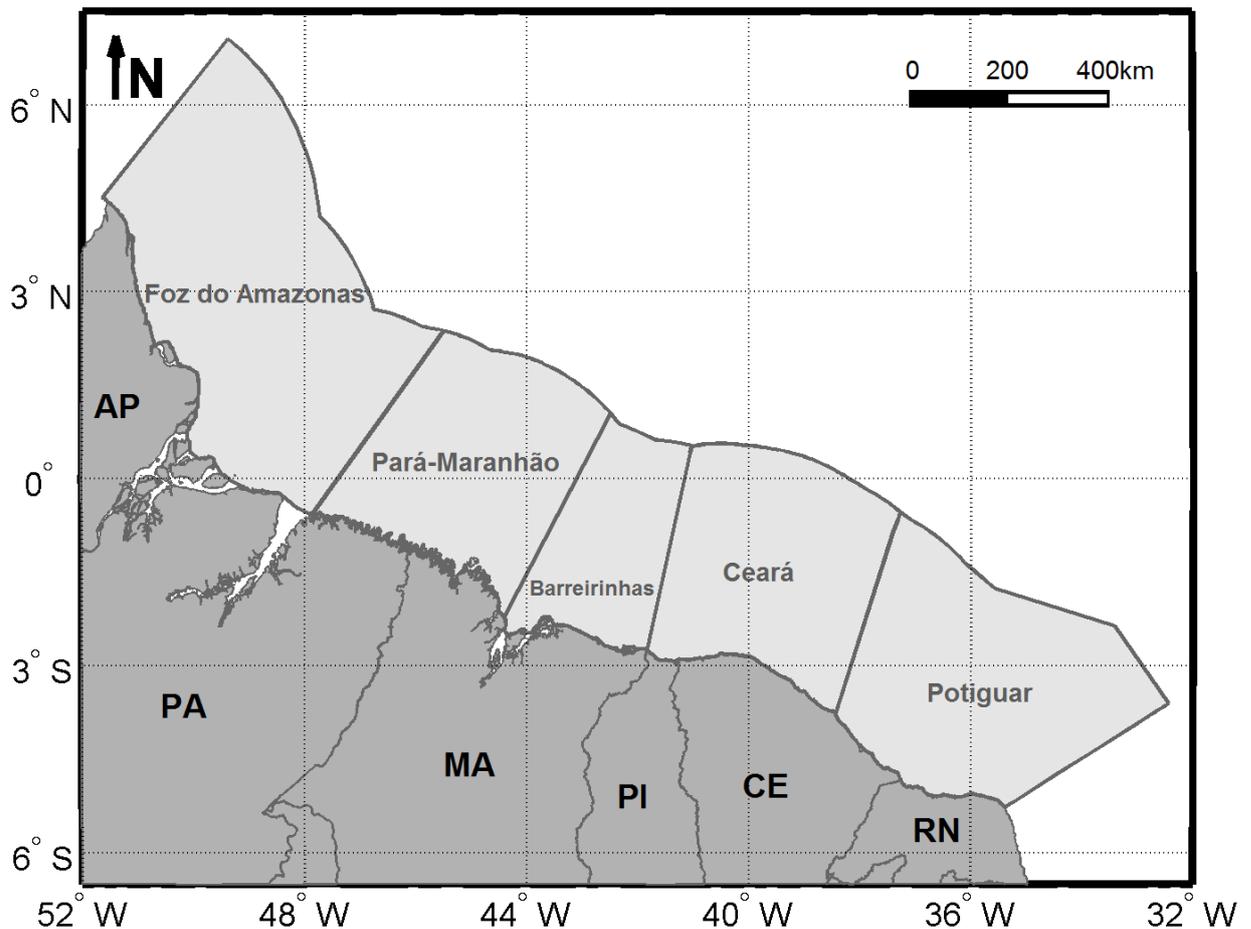


Figura 2-1: A região da Margem Equatorial Brasileira.

A região da Margem Equatorial Brasileira apresenta um clima tropical quente e úmido, com marcada sazonalidade. A variável meteorológica que mais apresenta sazonalidade é a precipitação, reflexo da oscilação anual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A média anual de precipitação varia de 2.750 a 3.500 mm.ano⁻¹ no Amapá (NIMER, 1991), a aproximadamente 2.500 mm.ano⁻¹ no litoral nordeste do Pará e entre 1.258 e 2.221 mm.ano⁻¹ no Maranhão (FEITOSA, 1989). A temperatura média do ar na Margem Equatorial Brasileira fica em torno de 26°C. (FISCH *et al.*, 1998).

Com relação aos processos oceânicos que atuam na MEB destacam-se: a Corrente Norte do Brasil (CNB) e as marés. A CNB é uma intensa corrente de bordo oeste que se origina da bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (CSE) (GEYER *et al.*, 1996; NITTROUER; DEMASTER, 1996). A presença da CNB é importante no transporte da pluma do Rio Amazonas (LIMEBURNER *et al.*, 1995). As correntes marinhas mais intensas sobre a Plataforma Continental Amazônica (PCA) são aquelas geradas pelas marés semi-diurnas. Tais correntes se orientam preferencialmente normais à linha de costa e podem atingir velocidades de até 200 cm.s^{-1} (GEYER *et al.*, 1996).

Assim, a zona costeira amazônica brasileira 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 ($>20 \text{ }^\circ\text{C}$) com baixa variação térmica anual, ampla plataforma continental ($\sim 330 \text{ km}$), regime de meso (amplitudes entre 2 a 4 m) a macro (amplitudes de 4 a 6 m) e hipermaré (amplitudes superiores a 6 m), além de estar sob a influência 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 $180.000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (OLTMAN, 1968, *apud* GEYER *et al.*, 1996), que representa cerca de 16% da drenagem fluvial global para os oceanos, com elevada descarga de sedimentos, nutrientes e matéria orgânica (PEREIRA *et al.*, 2009). Na costa do Amapá a interação da Corrente Norte do Brasil com a descarga do rio Amazonas provoca a dispersão de sedimentos em direção a noroeste (GEYER *et al.*, 1996; LENTZ, 1995). Na plataforma continental interna esse fato acarreta um gradiente deposicional com a taxa de sedimentação (até 10 cm.ano^{-1}) diminuindo na direção do mar (NITTROUER e DEMASTER, 1996). A descarga do rio Amazonas vai se caracterizar como importante controlador tanto de processos biológicos, determinando áreas com elevada produtividade biológica, como de processos geomorfológicos, que caracterizam uma costa altamente dinâmica.

A Costa Equatorial Brasileira possui ainda como particularidade o fato de abrigar cerca de 80% de todas as florestas de mangue do Brasil, caracterizando-se como a maior área contínua de manguezais do planeta (SPALDING *et al.*, 1997).

Portanto a Margem Equatorial Brasileira compreende uma costa 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.

Uma das particularidades do Projeto Costa Norte são as múltiplas escalas de interesse. A área de estudo do PCN vai desde a região oceânica da MEB – onde se encontram as potenciais fontes de vazamento de óleo – até o interior de quatro sistemas costeiros e estuarinos específicos – regiões “piloto” para o desenvolvimento das metodologias de análise de Vulnerabilidade. Tais regiões específicas de interesse do PCN foram escolhidas de forma a representar distintos trechos do litoral das Bacias Pará-Maranhão e Foz do Amazonas. Compreendem as áreas de estudo específicas do PCN o sistema costeiro do rio Sucuriju, no Amapá, o sistema costeiro de Soure e o estuário de São Caetano de Odivelas, no Pará; e a baía de Turiaçu, no Maranhão (Figura 2-2).

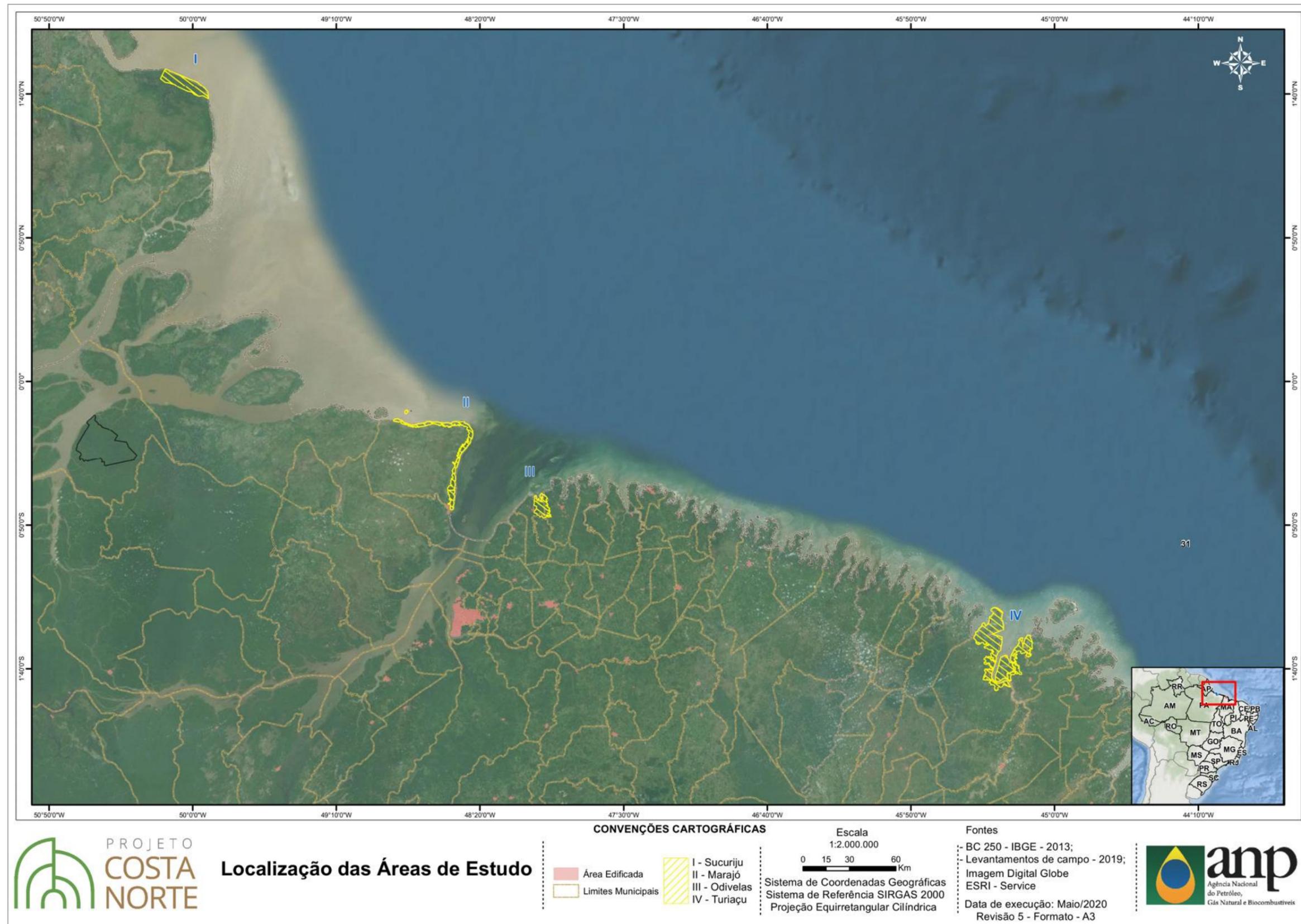


Figura 2-2: Áreas de estudo: (I) Sistema Costeiro de Sucuriju (AP); (II) Sistema Costeiro de Soure (PA); (III) Estuário de São Caetano de Odivelas (PA); (IV) Baía de Turiçu (MA).

Este capítulo tem o objetivo de apresentar as áreas de estudo do PCN e realizar uma caracterização geral dos aspectos físicos e dos manguezais na escala de abrangência das bacias Pará-Maranhão e Foz do Amazonas. A caracterização da área de estudo com enfoque nos sistemas costeiros e estuarinos de interesse do PCN é apresentada no Volume 2 (Capítulo 2).

2.1. Caracterização dos Aspectos Físicos

2.1.1. Geologia e Morfologia

A caracterização geomorfológica da zona costeira na região de estudo é comumente estendida até os limites da plataforma continental interna, devido estas possuírem conexões estreitas com os ambientes ali presentes (praias arenosas, faixa de manguezais, estuários, etc.). A linha de costa apresenta desde formações geológicas do Mesozoico até sedimentos característicos do Pós-Barreiras, sendo constituída por campos de dunas, *salt-marshs*, ecossistema de manguezais, planícies, platôs, dentre outros.

De forma geral, o relevo do litoral maranhense apresenta três padrões morfológicos: litoral ocidental, setor recortado (reentrâncias Maranhenses), com a colonização de florestas de manguezais nas planícies costeiras; Litoral oriental, com formações dunárias; e o Golfão Maranhense (Figura 2-3). O último abriga três unidades geomorfológicas (COSTA et al., 1977): I- Inselbergs, relevos residuais desenvolvidos em metassedimentos do Grupo Gurupi; II- Zonas de platôs, desenvolvidas em sedimentos do Grupo Barreiras; III- Unidades geomorfológicas sustentadas por conglomerados da Formação do Grupo Barreiras, onde os sedimentos quaternários são correlacionáveis à unidade morfoestrutural do litoral de “rias” (BARBOSA e PINTO, 1973), à unidade geomorfológica de planície costeira baixa, caracterizada pelo cinturão de manguezais, e à unidade de planície arenosa, caracterizada pelas praias e cordões dunários.

Os processos litoestratigráficos que formam a bacia sedimentar do litoral maranhense compreende unidades pertencentes desde o Pré-Cambriano até o Cenozóico, onde a abertura do oceano Atlântico equatorial no Mesozóico resultou na criação de bacias extensionais em toda faixa litorânea brasileira, dentre elas as bacias de São Luís e Barreirinhas na região norte (COSTA et al., 1977). Já no Terciário, houve a formação de pequenas bacias e a deposição de sedimentos das formações Pirabas e do Grupo Barreiras.

As reentrâncias da faixa costeira maranhense, formadas essencialmente por baías flúvio-estuarinas, configuram um litoral de “falsas-rias”, caracterizadas por comunidades bióticas que resultam em um macro sistema de manguezais nesta região, que por sua vez ocupa toda a faixa margeada pela foz e margens dos rios, até o limite interno da influência de maré nas reentrâncias maranhenses. De acordo com Dias *et al.*, (2004), na foz das “falsas rias” ocorrem depósitos de lama e areia lamosa, em função da descarga dos estuários. Por se tratar de uma costa transgressiva, estas planícies costeiras possuem significativa dinâmica, onde o regime tectônico e as flutuações do nível do mar controlam a evolução das feições destes ambientes (SOUZA FILHO e EL-ROBRINI, 1998).

Para a compreensão da evolução geomorfológica do estado do Pará em sua totalidade, é necessária uma revisão que data desde o início do Fanerozoico, onde a atual estruturação está relacionada ao evento de fragmentação do Cráton Amazônico e no início do Paleozoico e à individualização dos escudos das Guianas e Sul-Amazônico (DANTAS *et al.*, 2014). Em suma, os autores compartimentam o território paraense em 18 domínios geomorfológicos (ver Figura 2-4). No nordeste paraense, área fortemente influenciada pela ação dinâmica das marés (meso a macromaré), a divisão geomorfológica a insere entre a linha de costa e tabuleiros costeiros que, segundo (DANTAS *et al.*, 2014) são embasados por rochas sedimentares terciárias do Grupo Barreiras e calcários da Formação Pirabas, e apresentam um conjunto de feições deposicionais de origem fluvial e marinha, caracterizando-a como uma unidade de Planícies Fluviomarinhas. Ainda, os

autores indicam em um vasto território de terras baixas (0-5° declividade; topografia < 30 m) e inundáveis, na interface de domínios continental e marinho, recoberto por faixas de manguezais.

Caracterizado como um ambiente dinâmico de erosão e progradação, El-Robrini et al. (2006) dividiram a Zona Costeira Paraense (ZCP) em três setores fisiográficos: Costa Atlântica do Salgado Paraense, que compreende os limites entre a Baía do Marajó ao rio Gurupi, NE paraense, caracterizada por um conjunto de reentrâncias; Setor Insular Estuarino do rio Amazonas, onde a porção ocidental da Ilha do Marajó é inteiramente banhada pelo rio Amazonas e; Setor Continental Estuarino do rio Pará, porção de características semelhantes ao Salgado Paraense.

El-Robrini et al. (2006) destacam que, com exceção da Ilha do Marajó, Costa et al. (1977) caracterizam três unidades distintas no relevo da ZCP: maciço residual, desenvolvido sobre metassedimentos do Grupo Gurupi; zona de Platôs, embasadas em sedimentos do Grupo Barreiras e; Planalto Rebaixado da Amazônia da zona bragantina e Baixo Planalto Costeiro, caracterizado por conglomerados do Grupo Barreiras (relevo de baixa amplitude). A ilha do Marajó, por sua vez, é caracterizada por duas unidades (BARBOSA et al., 1973): Planalto Rebaixado da Amazônia e Planície Amazônica, embasados por sedimentos quaternários. Na borda da Ilha, esta unidade resulta em falésias de sedimentos dos Grupos Barreiras e Pós-Barreiras.

Uma compartimentação morfoestrutural proposta por Franzinelli (1992) destaca duas divisões na unidade de Planícies Fluvio marinhas no noreste paraense: a Plataforma do Pará, com falésias ativas do Grupo Barreiras e; Bacia Bragança-Viseu, com paleofalésias do Grupo Barreiras. Baseado na classificação de Souza Filho e El-Robrini (1996), esta unidade é dividida nos seguintes ambientes: Planícies de intermaré, baixa energia e declividade e sedimentação argiloarenosa; Planícies salinas, recobertas por campos halófilos de várzea (“Campos de Bragança”); Estuários, corpos hídricos comandados por refluxos diurnos de maré e ambientes de trocas de matéria entre o oceano e as planícies fluvio marinhas; Planícies marinhas, composta por cordões arenosos, *cheniers* e dunas.

Com aproximadamente 750 km de extensão, a geomorfologia da Zona Costeira do Amapá (ZCA) é dividida por uma faixa de idade intermediária, com combinações de formações antigas e jovens, estabelecendo, de forma geral, dois setores que são delimitados pela foz do rio Araguari: Costeiro Amazônico e Costeiro Atlântico (TORRES E EL-ROBRINNI, 2006) (Figura 2-5). A carga sedimentar do rio Amazonas moldou a deformação flexural característica da ZCE, além de ser responsável pelo seu caráter lamoso, afetando os depósitos fluviais e costeiros e a rede drenagem (DRISCOLL E KARNER, 1994; TORRES E EL-ROBRINNI, 2006).

Segundo Torres *et al.* (2018), o setor Costeiro Oceânico do Amapá (NW-SE) localiza-se entre a foz dos rios Oiapoque e Araguari, e é caracterizado por uma costa de baixo relevo e de poucas reentrâncias, resultado de acreção pela sedimentação fina do rio Amazonas. Alguns trechos possuem a presença de cordões litorâneos arenosos do tipo *chenier*, o que sugere a ação eventual de tempestades que erodem e retrabalham a parte mais interna das planícies de maré, construindo praias arenosas, que, logo após, são parcialmente recobertas por depósitos lamosos, constituindo uma típica costa deposicional condicionada por macromarés que distribuem lama oriundas do transporte NW realizado pela Corrente Equatorial Brasileira (TORRES *et al.*, 2018). Entre a foz do rio Flechal e o Cabo Norte, em direção referente ao oceano, Torres *et al.* (2018) localiza a ilha de Maracá, que é recortada pelo Canal do Inferno, onde ocorrem pequenas faixas de manguezal. Já à margem esquerda do rio Araguari, na foz do rio Sucuriçu, há a presença de extensivas faixas costeiras de manguezal. Planícies de *Cheniers*, Flúvio-lacustres, flúvio-estuarinos e flúvio-marinhos são alguns dos principais depósitos sedimentares quaternários estabelecidos por Martins *et al.* (2014) na zona costeira oceânica.

O setor Costeiro Estuarino (NE-SW) é delimitado à margem direita da foz do rio Araguari e esquerda do Jari, sendo caracterizada como uma costa plana, baixa e retilínea e submetida a processos fluviais (Canal do Norte do rio Amazonas) e costeiros (maré de enchente), gerando erosão e deposição, contribuindo para o desenvolvimento de planícies alagadas (TORRES E EL-ROBRINNI, 2006). Torres (2001) dividiu a zona costeira estuarina em três setores, dada sua dinâmica sedimentar: alto, médio e baixo setor. O alto setor corresponde ao trecho da baía de Macapá, capital do estado, com planície interrompida por formações sedimentares do Grupo Barreiras. O médio setor é delimitado entre a Ponta do Pau Cavado e a foz do rio Gurijuba, sendo caracterizado pela sua extensa floresta de várzea, trecho que sofre intensa erosão e resulta em bancos longitudinais areno-siltosos que ficam expostos em maré vazante. Por fim, o baixo setor localiza-se no arquipélago do Bailique e caracteriza-se pela acreção constante de sedimentos fluviais. Ainda, neste setor, segundo Torres (2001; 2011), o trecho costeiro entre a foz do rio Araguari e a área norte do arquipélago do Bailique sofre influência da salinidade, em especial no período de descarga mínima do rio Amazonas (outubro-dezembro), conseqüentemente favorecendo a ocorrência de pequenas faixas de mangues, ricas em siriúba (*Avicennia schaueriana*), tolerantes a uma salinidade intersticial mais alta que as dos demais gêneros de mangue. Nesta zona costeira estuarina, Santos et al. (2004) estabeleceram cinco depósitos sedimentares: Planícies Fluviais Antigas, Depósitos de Planícies Flúvio-estuarinas I e II, Depósitos de Planícies Flúvio-estuarinas-marinhas e Depósito de Aluviões.

Em relação à classificação de unidades morfoestruturais, Boaventura e Narita (1974) estabeleceram cinco estados amapaense, sendo elas: 1) Planalto Residual do Amapá, relevo constituído por rochas pré-cambrianas, onde a dissecação fluvial intensa na região dá origem à formas tabulares, características da porção mais elevada da região (altitudes 400 e 550 m); 2) Planalto Rebaixado da Amazônia, constituído por sedimentos do Grupo Barreiras e localizado no setor oriental da região, possuindo uma elevada densidade devido à rede de drenagem do rio Amazonas; 3) Depressão Periférica do Norte do Pará, unidade ligada à bacia sedimentar do Amazonas, limitados em sua porção norte por escarpamentos do Planalto Residual do Amapá e à leste por rebordos do Planalto Rebaixado da Amazônia; 4) Colinas do Amapá, figurando como a maior unidade espacial do estado (altitudes ~150 m) e abrange os principais rios: Oiapoque, Araguari e Jari; 5) Planície Flúvio-Marinha, área correspondente à foz do Oiapoque e é constituída por sedimentos arenosos e siltosos. Torres e El-Robrinni (2006) acrescentam que esta última unidade apresenta dois domínios geomorfológicos principais que, segundo Boaventura e Narita (1974), um é uma área influenciada diretamente pelos processos fluviais característicos da foz do rio Amazonas e, o segundo, segue até o trecho do baixo curso do rio Oiapoque e é caracterizado pela influência marinha e pela formação de restingas resultante das correntes de deriva das Guianas.

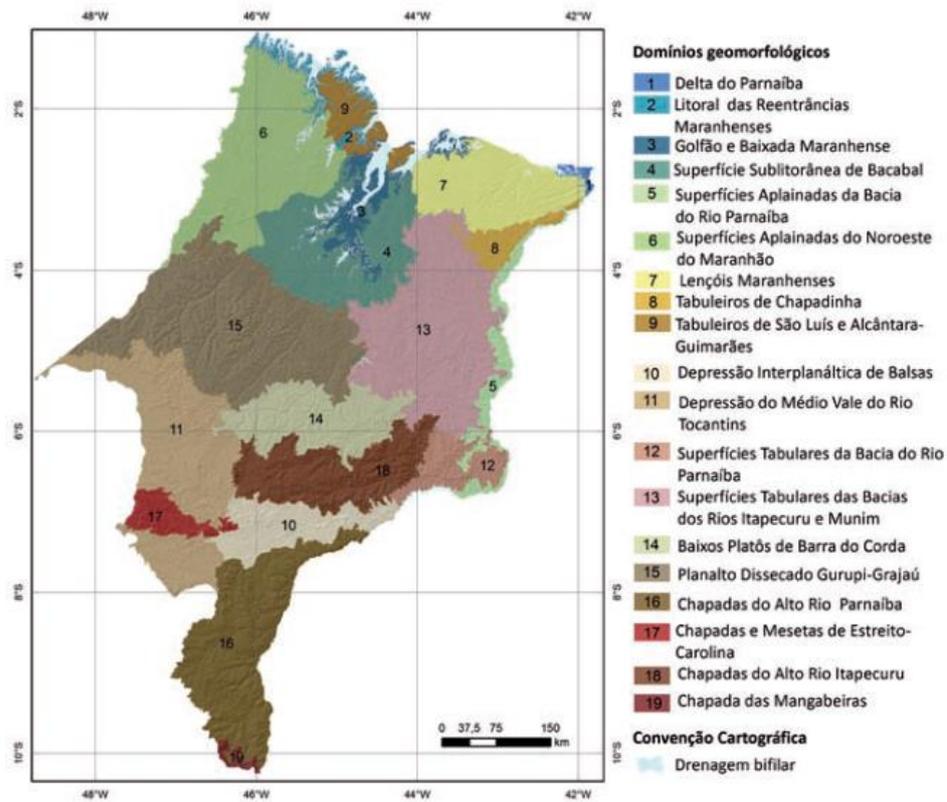


Figura 2-3: Ilustração dos domínios geomorfológicos do estado do Maranhão. Fonte: CPRM (2013).

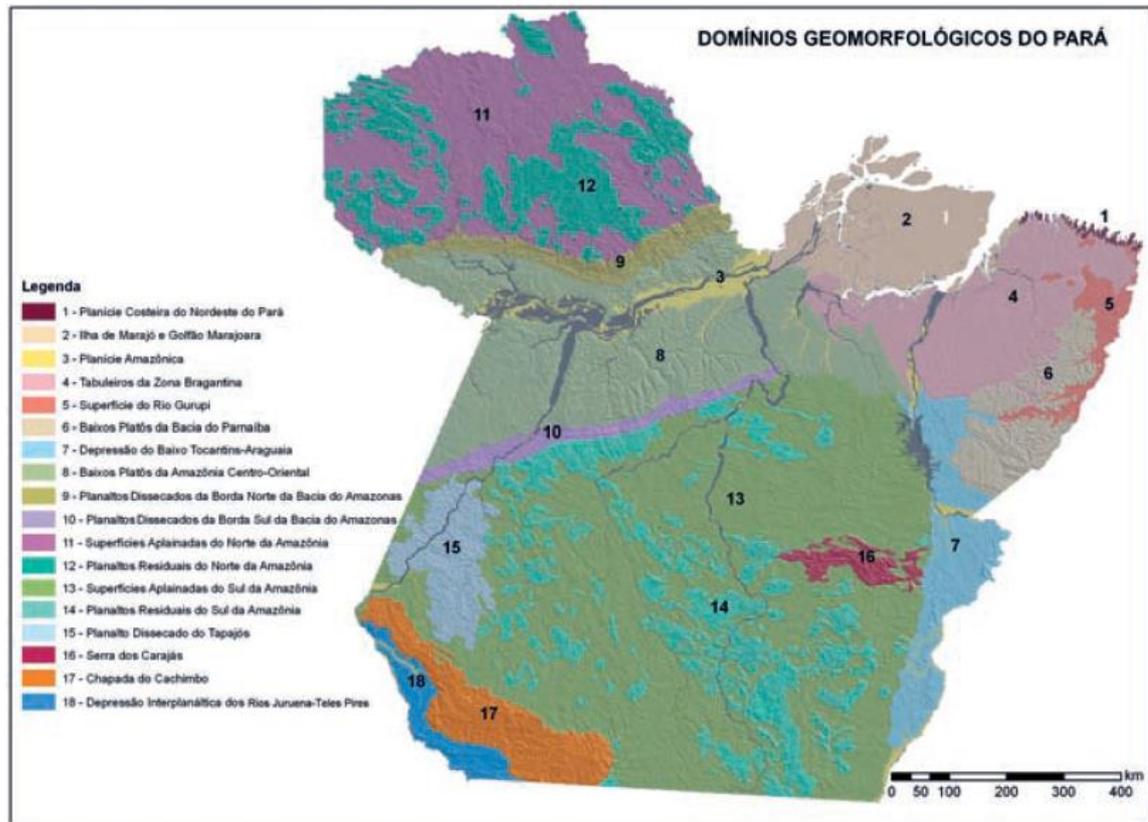


Figura 2-4: Ilustração dos domínios geomorfológicos do estado do Pará. Fonte: CPRM(2013).

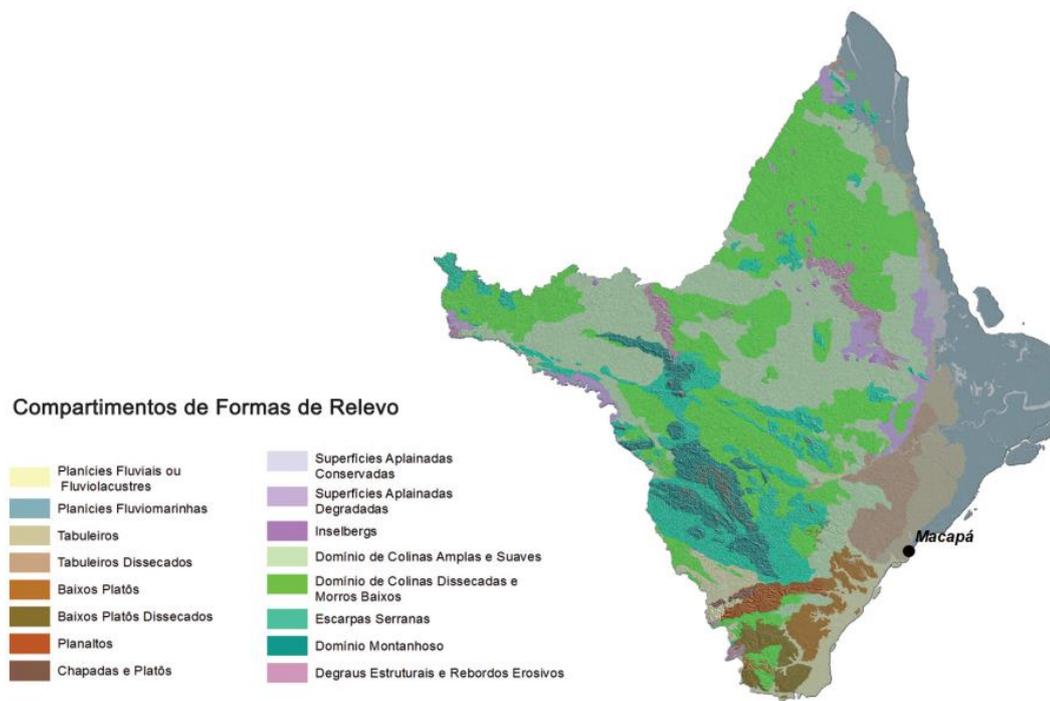


Figura 2-5: Ilustração dos domínios geomorfológicos do estado do Amapá. Fonte: CPRM (2013).

2.1.2. Aspectos Meteorológicos

A interação de processos de diferentes escalas na região costeira e oceânica são responsáveis por determinar o regime meteorológico na margem equatorial brasileira. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), zona decorrente da circulação atmosférica superficial, figura como a principal forçante hidroclimática da região. A ZCIT é uma feição meteorológica caracterizada por uma região de alta precipitação, que oscila entre as latitudes de 14°N e 2°S ao longo do ano (UVO; NOBRE, 1989; FERREIRA, 1996). Este sistema migra sazonalmente em função das diferenças de aquecimento entre os hemisférios. Dessa forma, durante o inverno, devido ao resfriamento do Hemisfério Sul e o aquecimento do Hemisfério Norte, a ZCIT ocupa a sua posição mais ao norte, enquanto no verão a situação é oposta, causando o deslocamento da ZCIT para uma posição mais ao sul (MARTIN *et al.*, 1998). Esta dinâmica migratória, combinada com outras circulações térmicas diretas, resultam na alternância das estações climáticas: os maiores índices pluviométricos são registrados nos meses de dezembro a maio (SANTOS *et al.*, 2005), quando a ZCIT se encontra mais ao sul do Atlântico e o período mais seco da região se dá entre os meses de setembro a novembro (COSTA e SILVEIRA, 1998), com a ZCIT posicionada mais ao norte do Atlântico.

Sob influência direta da ZCIT, os índices de precipitação são elevados e possuem um ciclo anual distinto (Figura 2-6). Configura-se também como uma região onde a precipitação durante todo o ano se origina de sistemas precipitantes, oriundos de linhas de instabilidade, que surgem devido à circulação de brisa marítima ao longo da costa atlântica da Guiana francesa até o norte do Maranhão (COHEN, 1989; COHEN *et al.*, 1995).

Na região do Golfão Maranhense, os dados pluviométricos oscilam entre 1.258 mm e 2.221 mm (FEITOSA, 1989). Com índices superiores, a zona costeira paraense e amapaense registram média de precipitação entre 2500 mm e 3500 mm anuais (NIMER, 1989), onde a costa paraense registra um índice de cerca de 2500 mm anuais e a amapaense varia de 2750 a 3500 mm (TORRES *et al.*, 2018).

O clima na região equatorial é classificado como quente e úmido. Não apresentando significativas variações térmicas ao longo do ano, a temperatura do ar possui uma média anual entre 25 e 27 °C (EL-ROBRINI *et al.*, 2006; TORRES *et al.*, 2018). As temperaturas relacionam-se à sazonalidade do índice de precipitação em cada região, onde as menores temperaturas são observadas durante o período chuvoso e, as maiores, no período seco. A umidade relativa do ar apresenta-se elevada ao longo de todo o ano, sendo os valores observados durante o período chuvoso superiores ao período seco. Isto pode ser atribuído ao fato que, durante o período de menor precipitação da região, é observado uma forte subsidência provocada pela entrada do sistema de alta pressão subtropical, o que eventualmente irá atuar no aumento de insolação e uma elevação nas taxas de evaporação. A umidade relativa do ar varia em aproximadamente 80% e 90% nesta região (EL-ROBRINI *et al.*, 2006; TORRES *et al.*, 2018).

A ação dos ventos exerce um importante papel na dinâmica dos ambientes costeiros, onde sua velocidade e direções preferenciais na margem equatorial são verificadas especialmente pelo deslocamento dos campos de dunas e orientação preferencial das ondas que atingem a linha de costa (EL-ROBRINI *et al.*, 2006; TORRES *et al.*, 2018). Tal regime de vento segue essencialmente a circulação de grande escala (ZCIT) e sua sazonalidade. O deslocamento da ZCIT mais para sul favorece o predomínio, na MEB, dos Ventos Alísios de Nordeste enquanto o deslocamento para Norte favorece a ação dos Ventos Alísios de Sudeste. As maiores velocidades de vento são observadas durante o período seco, onde a influência dos alísios de Sudeste é intensificada sobre a região tropical (Figura 2-6). Segundo El-Robrini *et al.* (2006) e Torres *et al.* (2018) a velocidade dos ventos ao longo das costas varia entre 2 m.s⁻¹ e 7 m.s⁻¹, com direção variável ao longo do ano porém com uma preferência de NE.

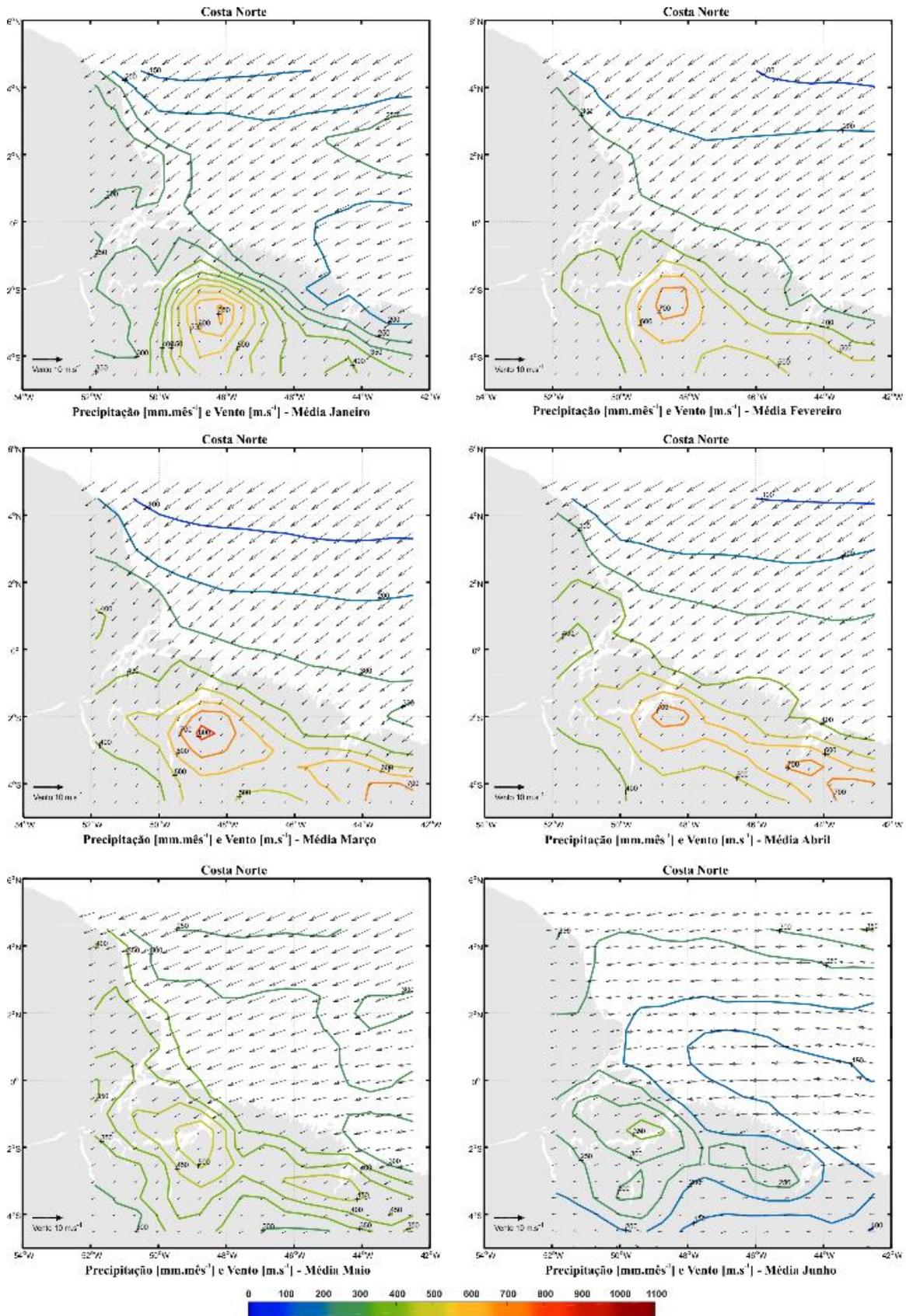


Figura 2-6: Normal Climatológica dos índices de precipitação e ventos na Margem Equatorial Brasileira (grid 0,25) para os meses de Janeiro a Junho. A série temporal utilizada para a reanálise foi de 1980 a janeiro de 2019, disponibilizados pelo banco de dados da National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA.

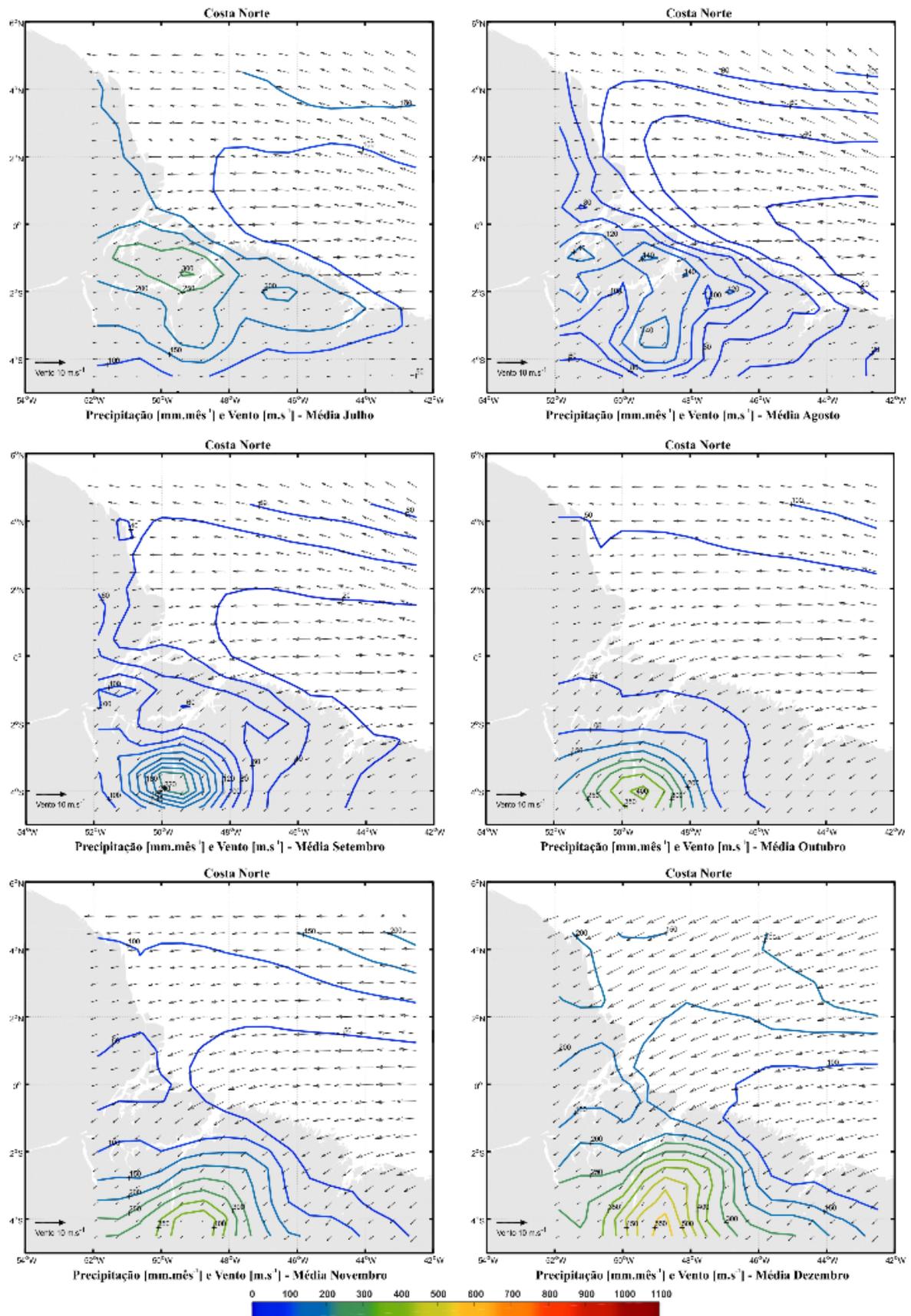


Figura 2-7: Normal Climatológica dos índices de precipitação e ventos na Margem Equatorial Brasileira (grid 0,25) para os meses de Julho a Dezembro. A série temporal utilizada para a reanálise foi de 1980 a janeiro de 2019, disponibilizados pelo banco de dados da National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA.

2.1.3. Hidrologia

A região dos trópicos equatoriais caracteriza-se por intensa precipitação (> 1.500 mm/ano), o que influencia diretamente na descarga dos sistemas hídricos presentes na região norte do Brasil. Estima-se que a região equatorial seja responsável por mais da metade do aporte de água doce, partículas e solutos descarregados nos oceanos do mundo (CAVALCANTE, 2007). A região equatorial abriga inúmeros sistemas hídricos de diferentes dimensões que, juntos, desempenham papel fundamental na dinâmica da Zona Costeira Amazônica (ZCA) e regiões adjacentes. Dentre esses sistemas, três destacam-se na hidrologia da margem equatorial e influenciam fortemente a área da Plataforma Continental Amazônica (PCA): baía de São Marcos, rios Pará e Amazonas.

Consistindo em um grande e complexo sistema estuarino, o Golfão Maranhense é formado pelas baías de São José e São Marcos. Esta última possui aproximadamente 100 km de extensão longitudinal e figura como a maior baía estuarina da costa nordeste brasileira (RIOS, 2001). Pesquisa conduzida especificamente na área da baía verificou que sua descarga hídrica é alimentada principalmente pelos rios Grajaú, Mearim, Munim e Pindaré e, obedecendo os ciclos sazonais, foi estimado uma vazão máxima total na região de aproximadamente $1300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ASA, 2012).

Segundo maior sistema hídrico da região, o rio Pará possui uma descarga líquida em uma ordem de grandeza menor que o rio Amazonas, ou seja, $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ aproximadamente (PRESTES, 2016). Com cerca de 300 km de extensão longitudinal, esse sistema não apresenta uma nascente própria. Bordejando o sudoeste da Ilha do Marajó, Costa (2014) estimou que a contribuição do rio Amazonas para este sistema seja através de pequenos canais conhecidos como Estreito de Breves, sendo mais evidente no período de alta descarga da bacia amazônica. A fim de verificar a vazão média do rio Pará, um modelo de *box model* (Figura 2-8) elaborado por Prestes (2020), estimou os contribuintes hídricos que alimentam o sistema do rio Pará, levando em consideração a descarga líquida dos rios Amazonas e Tocantins, além de outros tributários. A pesquisa apontou o rio Tocantins, sistema que encontra o rio Pará em sua porção intermediária, como seu principal tributário. Ainda, baseado na dinâmica da vazão fluvial associada à energia das marés, verificou que a descarga atinge picos de $300.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ durante a maré vazante e $200.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ durante a enchente.

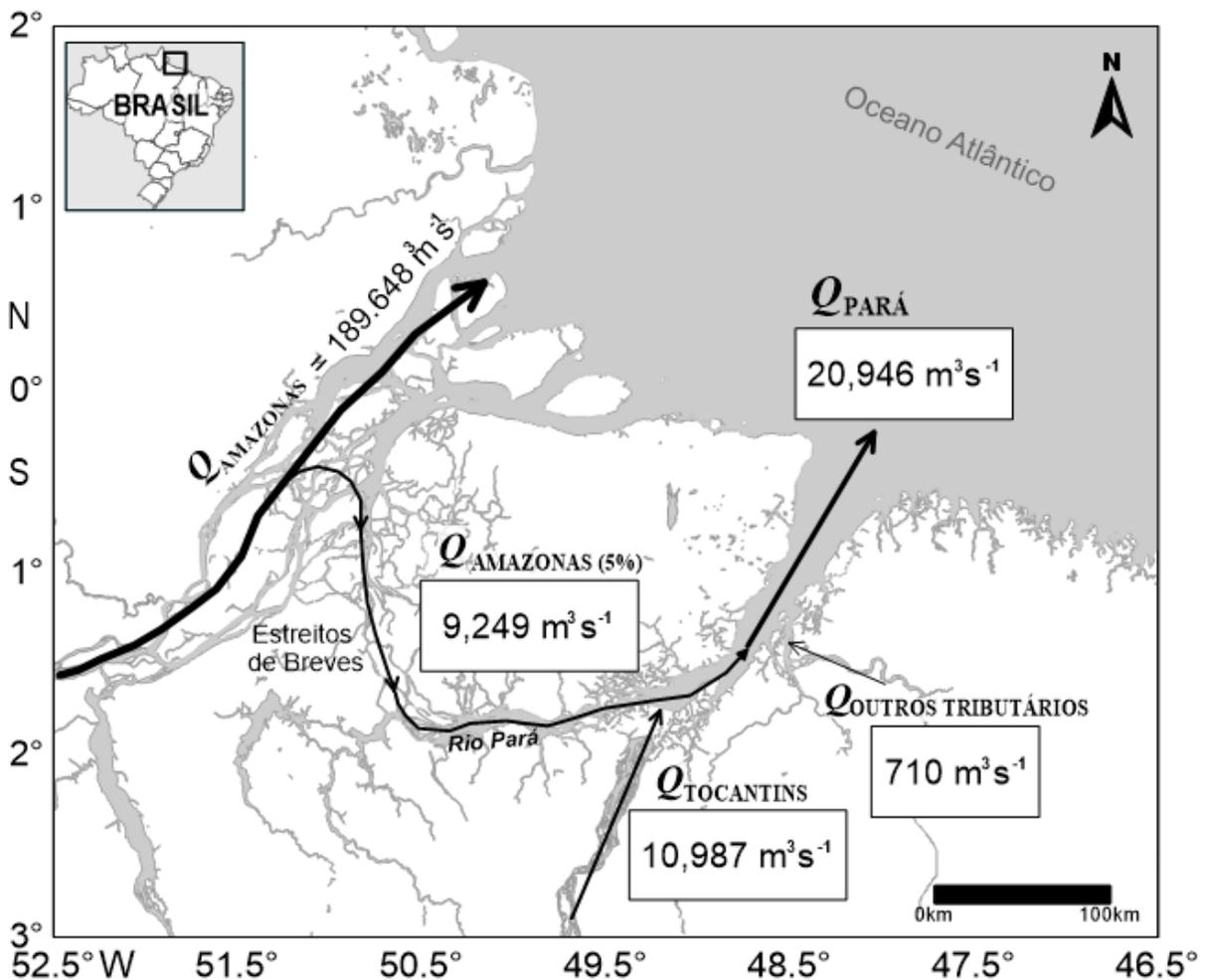


Figura 2-8: Esquema do box model utilizado para estimar a vazão do rio Pará que deságua no oceano Atlântico Tropical. Fonte: Prestes *et al.* (2020).

Foco de diversos estudos ao longo das últimas décadas, o rio Amazonas é o maior e principal sistema da região, onde seu intenso aporte fluvial representa mais de 30% de toda água doce descarregada no oceano Atlântico (DAI e TRENBERTH, 2002). O deságue ao nível do Equador é realizado através de dois canais principais, Norte e Sul, sendo o Norte responsável por cerca de 65% do fluxo das águas (GEYER *et al.*, 1996). Possui uma descarga média anual de aproximadamente $180.000 m^3 s^{-1}$ (OLTMAN, 1968), obedecendo uma sazonalidade. A máxima vazão é observada no mês de maio (período chuvoso), com $220.000 m^3 s^{-1}$ e, a mínima, em novembro (período seco), com $100000 m^3 s^{-1}$ (RICHEY *et al.*, 1986).

A descarga líquida e sólida dos rios Pará e Amazonas insere no oceano Atlântico uma pluma de sedimentos que se estende por vários quilômetros e segue diferentes sentidos na Plataforma Continental Amazônica, possuindo de 3 a 10 m de espessura e 80 a 200 km de largura, segundo Lentz e Limeburner (1995). O encontro da pluma de água doce com água salgada oceânica forma uma intensa frente salina a aproximadamente 150 km da foz do rio Amazonas. A circulação baroclínica característica do encontro das águas fluviais e oceânicas, além dos mecanismos de captura de sedimentos nas proximidades da cunha salina (KINEKE e STERNBERG, 1995), resulta na formação de depósitos de lama e sedimentos finos em alguns setores da PCA. Diferentes pesquisadores (GIBBS, 1972; KINEKE e STERNBERG, 1995; GABIOUX *et al.*, 2005) investigaram a distribuição de sedimentos finos e característica dos depósitos sedimentares ao longo da PCA.

2.1.4. Aspectos Oceanográficos

A Corrente Norte do Brasil (CNB) é a principal feição oceanográfica atuante na região. A CNB é uma forte corrente de contorno oeste formada pela bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (CSE) (GEYER *et al.* 1996), que flui em sentido noroeste ao longo da quebra da plataforma (TALLEY *et al.* 2011) e contribui para o transporte de águas quentes no oceano Atlântico Norte através de seus vórtices (PETERSON e STRAMMA, 1991). O rotacional dos ventos alísios que atua na região forma um fluxo em direção a leste conhecido como Contracorrente Norte Equatorial (CCNE) entre 3° e 10° N, que produz um aumento da vorticidade local e favorece o aparecimento de grandes vórtices anticiclônicos que sazonalmente se desprendem da corrente e fluem em direção oeste como vórtices da CNB (PHILANDER 2001).

Em subsuperfície, a Subcorrente Norte do Brasil (SNB) flui em direção noroeste abaixo da CNB (STRAMMA *et al.* 1995) e a sua retroflexão e a da CNB alimentam a Subcorrente Equatorial (SCE) (SCHOTT *et al.* 1995). A SCE é uma corrente subsuperficial forte que flui em direção leste ao longo do Equador guiada por um gradiente de pressão em direção leste criado pelos ventos alísios (TALLEY *et al.* 2011). A SCE separa o fluxo superficial oposto em dois núcleos representados pelos ramos norte e central da CSE (TALLEY *et al.* 2011), que alimentam a CNB em diferentes latitudes.

A região costeira é extremamente influenciada pelas marés. Estudos conduzidos por Beardsley *et al.* (1995) mostraram que as marés atuantes no Atlântico Equatorial são predominantemente semidiurnas, onde a componente lunar principal M_2 (\approx 13 horas), e a componente solar principal, S_2 (\approx 12 horas), são as mais fortes. Juntas, resultam em fortes balanços quinzenais e mensais de energia: as marés de sizígia e quadratura. De regime de meso a macromaré, a zona costeira apresenta amplitudes entre 3,5 m e 7 m.

Na área da PCA, a maré se comporta como uma onda progressiva em direção ao continente, onde a maior parte da dissipação de energia de maré ocorre na porção interna da plataforma, em profundidades iguais ou inferiores a 20 m, com amplitudes de 1,5 m na foz dos rios Amazonas e Pará. Feitosa (1989) mostrou que, no Golfão Maranhense, a maré, em condições de sizígia, alcança alturas de até 7 m. Na zona costeira paraense e amapaense predominam as mesomaré (\sim 3,5 m), com exceções de algumas localidades na costa do Amapá que exhibe valores de hipermaré, a exemplo do igarapé do Inferno (7,3 m) e na ilha do Maracá (9,8 m).

As correntes forçadas pelo fluxo de descarga dos rios são as principais no interior dos sistemas estuarinos da margem equatorial, onde diversas forçantes afetam a atuação delas. Pesquisa conduzida por Moraes (1977) na baía de São Marcos, principal sistema hídrico do Golfão Maranhense, mostrou que as correntes atingem velocidades de até 2,5 m.s⁻¹. Na região das “falsas rias”, NE do Pará, as correntes de maré podem alcançar 1,5 m.s⁻¹ (LARA *et al.*, 1999), onde as maiores velocidades são registradas na enchente, durante maré de sizígia.

As correntes na costa amapaense são altamente energéticas, excedendo velocidades de 1,5 m.s⁻¹ e têm uma grande influência na dispersão dos sedimentos provenientes da foz do rio Amazonas (NITTROUER *et al.*, 1990). Ainda, nesta costa é registrado o fenômeno da pororoca, que se configura como uma onda de origem relacionada ao regime de macro e hipermarés e que, segundo Santos *et al.* (2005), constitui-se num dos principais mecanismos de modificação morfológica no estuário em função da magnitude dos processos sedimentares.

Os ventos alísios são a principal forçante que rege o clima de ondas na faixa do litoral equatorial. Feitosa (1989) observou que no Golfão Maranhense, os ventos de NE resultam em ondas com média de 1 m, sendo responsáveis pelo transporte de sedimentos e migração de barras arenosas. Na costa do Amapá, o

regime de ondas superficiais é intensamente ativo próximo à foz do rio Amazonas, alcançando altura média entre 1 e 2 m, podendo alcançar 3 m em condições extremas e velocidades aproximadas de $30 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ (CACHIONE *et al.*, 1995).

A descarga líquida e sólida dos rios Amazonas e Pará insere uma pluma de água doce no Oceano Atlântico, sendo responsável pela diminuição de salinidade e aporte de sedimentos em suspensão sobre a PCA. A sazonalidade da vazão fluvial dos rios é o principal fator que regula a variação da salinidade na PCA, onde a pluma de águas fluviais registra os maiores alcances sob condições de máxima vazão fluvial desses rios. O suprimento de material em suspensão e porção de material dissolvido provenientes da descarga sólida do rio Amazonas totaliza cerca entre 7% e 9% de carga sedimentar para os oceanos (MEADE *et al.*, 1985; GIBBS, 1972). Como resultado, Allison *et al.* (2000) afirma que o rio Amazonas é responsável pela formação de uma das mais extensas costas lamosas ($\approx 1600 \text{ km}$), entre as desembocaduras dos rios Amazonas e Orinoco.

2.2. Caracterização dos Manguezais

Na costa brasileira, os manguezais estendem-se de $04^{\circ} 20' \text{ N}$ (Rio Oiapoque-AP) até $28^{\circ} 28' \text{ S}$ (Laguna-SC) sob uma ampla série de condições ambientais (SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 1990; SOARES *et al.*, 2012). Os manguezais da costa norte (abrangendo os estados do Amapá, Pará e Maranhão) se destacam, em primeiro lugar, por sua magnitude espacial. Com cerca de 11.230 Km^2 , correspondem a 80 % dos manguezais do Brasil (ICMBio, 2018), que por sua vez possui a segunda maior área de manguezais do planeta (SPALDING *et al.*, 2010). No contexto mundial, a região norte do Brasil contempla o maior cinturão contínuo de florestas de mangue do planeta, entre a foz do Amazonas (PA) e a baía de São Marcos (MA), com cerca de 7.424 Km^2 (NASCIMENTO JR. *et al.*, 2013).

A grande magnitude espacial dos manguezais da costa norte é explicada por uma conjuntura de características geológicas e oceanográficas que se apresentam na região. Trata-se de região caracterizada por extensas planícies costeiras e sujeita a regime de macromarés, o que possibilita a penetração da água do mar e o consequente estabelecimento de manguezais a dezenas de quilômetros da linha de costa. Nesta região os manguezais podem se estender por mais de 40 km para dentro do continente seguindo o curso de canais (SOUZA-FILHO, 2005) e atingir o máximo em desenvolvimento estrutural para o litoral brasileiro. A região, por ser dominada por um regime de macromarés, é conhecida como *Amazon Macrotidal Mangrove Coast* (AMCC) (NASCIMENTO JR. *et al.*, 2013).

Além da magnitude espacial, os manguezais da costa norte se destacam por seus atributos biológicos. Somam-se ao regime de macromarés, alta radiação solar e temperatura do ar, e um grande aporte de água doce (fluvial e pluvial) e de nutrientes, gerando condições extremamente favoráveis ao desenvolvimento de espécies de mangue (SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 1990, 2000). Com assinatura energética ótima, as florestas de mangue da costa norte estão entre as mais produtivas e desenvolvidas do planeta (Estrada, 2013). As condições climático-oceanográficas favoráveis também se refletem sobre a riqueza de espécies típicas de mangue. Com seis espécies (*Avicennia germinans*, *A. schaueriana*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, *R. harrisonii* e *R. racemosa*) as florestas de mangue da costa norte estão entre as mais ricas em espécies da região biogeográfica do Atlântico e Pacífico Leste (TOMLINSON, 1986).

Sendo os manguezais um dos ecossistemas classificados como de maior capacidade de sequestro e estoque de carbono (DONATO *et al.*, 2011), as florestas da costa norte também se destacam pela contribuição à mitigação do aquecimento global, em função de sua magnitude espacial e elevada produtividade e desenvolvimento estrutural (ESTRADA, 2013).

Outra função que se destaca nos manguezais dessa região é a geração de alimento e renda para povos e comunidades tradicionais costeiras, função reconhecida pela existência de diversas Unidades de Conservação de Uso Sustentável na região que incluem manguezais, com destaque para as Reservas Extrativistas. A relevância dos manguezais da costa norte é verificada ainda pela sua inclusão em unidades de conservação de proteção integral de grande extensão, tais como o Parque Nacional do Cabo Orange (6.631 Km²), a Reserva Biológica do Lago Piratuba (3.953 Km²) e o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (1.578 Km²). Além dessas áreas protegidas, destaca-se também a inclusão de parte desses manguezais em três Sítios Ramsar (Parque Nacional do Cabo Orange; Área de Proteção Ambiental das Reentrâncias Maranhenses; e Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense) e três áreas estratégicas do PAN Manguezal (Plano de Ação Nacional de Conservação de Manguezais – ICMBio/MMA): Cabo Orange-Sucuriju (AP); Marajó (Ilha de Marajó, PA) e Cinturão Pará-Maranhão (Litoral dos Estados do Pará e Maranhão).

2.3. Referências

- ALLISON, M. A. et al. Origin of Amazon banks along the northeastern coast of South America. *Marine Geology*, v. 163, p. 241-256. 2000.
- ASA – Applied Science Associates Latin America. Modelagem de derrame de óleo para suporte ao Plano de Emergência Individual (PEI) do Porto do Itaqui e Porto Grande, baía de São Marcos (MA). Relatório Técnico, p. 116, 2012.
- 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.
- BOAVENTURA, F. M. C.; NARITA, C. Geomorfologia da Folha NA/NB. 22 – Macapá. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Folha NA/NB.22 – Macapá: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Projeto RADAM/BRASIL. Rio de Janeiro: Projeto RADAM, 1974. p. IV-I-IV/84 (Levantamento de Recursos Naturais, 6).
- CACHIONE, D. A. et al. Measurements in the bottom boundary layer on the Amazon subaqueous delta. *Marine Geology*, [S.l.], v. 125, p. 235-239, 1995.
- CAVALCANTE, G. H. Processos oceanográficos na região costeira e estuarina do rio Caeté, Pará, Brasil. Tese doutorado em Geoquímica Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2007.
- COHEN, J. C. P, SILVA DIAS, M. A., NOBRE, C. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. *American Meteorological Society*, [S.l.], v. 123 (11), p. 3129-3143. 1995.
- COHEN, J. C. P. Um estudo observacional de linhas de instabilidades na Amazônia. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos: INPE. 1989.
- 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.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.
- DAI, A., TRENBERTH, K. E. Estimates of freshwater discharge from continents: Latitudinal and seasonal variations. *Journal of hydrometeorology*, v. 3, n. 6, p. 660-687, 2002.
- DANTAS, M. E. et al. 2014. Origem das paisagens. Embrapa Solos-Capítulo em livro científico (ALICE).
- DIAS, G.T.M. et al. Carta de sedimentos do fundo da Plataforma Continental Brasileira (Sul, Centro, Nordeste e Norte) - Área de Oceanografia Geológica, Carta J. 2004.
- DONATO, D., KAUFFMAN, J., MURDIYARSO, D., KURNIANTO, S., STIDHAM, M., KANNINEN, M. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*. 4. 293-297. 10.1038/NGEO1123. 2011.
- DRISCOLL, N. W., & KARNER, G. D. (1994). Flexural deformation due to Amazon Fan loading: A feedback mechanism affecting sediment delivery to margins. *Geology*, 22(11), 1015-1018.
- 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.
- EL-ROBRINI, M. et al. 2006. *Erosão e progradação do litoral brasileiro: Pará*. Ministério do Meio Ambiente.
- ESTRADA, G.C.D. Análise espaço-temporal do sequestro e estoque de carbono na biomassa aérea de manguezais. 2013. Tese de Doutorado. UFRJ, Rio de Janeiro. 2013.
- FEITOSA, A.C. Evolução Morfogenética do Litoral Norte da Ilha do Maranhão. Rio Claro, UNESP: 210p. Dissertação de Mestrado. 1989.
- FERREIRA JR, C. R. P.; COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y. Neotectônica na área da Bacia de São Luís. *Geociências*, v. 15, n. 1, p. 185-208, 1996.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma Revisão Geral Sobre O Clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, 28(2):101-126, 1998.
- FRANZINELLI, E. 1992. Evolution of the geomorphology of the coast of the state of Pará, Brazil. In: PROST, M.T. (Ed.). *Évolution des littoraux de Guyane et de la Zone Caraïbe Méridionale pendant le Quaternaire*. Paris: ORSTOM, p. 203-230.
- GABIOUX, M.; VINZON, S. B.; PAIVA, A. M. Tidal propagation over fluid mud layers on the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, v. 25, n. 1, p. 113-125, 2005.
- 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. doi: 10.1016/0278-4343(95)00051-8.
- GIBBS, R. J. Water chemistry of the Amazon River. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, [S.l.], v. 25, p. 1061-1066, 1972

- KINEKE G. C., STERNBERG, R.W. Distribution of fluid muds on the Amazon Continental Shelf. *Marine Geology*, v. 125, n. 3-4, p. 193-233, 1995. doi: 10.1016/0025-3227(95)00013-O.
- LARA, R.J., BERGER, U., COHEN, M.C.L. Mangrove degradation by sand depositional in Bragança, northern Brazil. Symposium on Tidal Action, Tidal Processes and Tidal Effects on Coastal Evolution. VII Brazillian Association for Quaternary Studies (ABEQUA), Porto Seguro, Oct. 1999.
- LENTZ, S. J.; LIMBURNER, R. The Amazon River Plume during AMASSEDs: Spatial characteristics and salinity variability. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 100, n. C2, p. 2355-2375, 1995.
- LIMBURNER R., BEARDSLEY R. C., SOARES I. D., LENTZ S. J., CANDELA J. Lagrangian flow observations of the Amazon River discharge into the North Atlantic. *Journal of Geophysical Research*, 100, 2401-2415. 1995.
- MEADE, R.H., RICHEY T.U.M.S., SALATI E. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon river of Brazil. *Science*, p. 488-490, 1985.
- MORAIS, J. O. O Processos de Sedimentação na Baía de São Marcos. Estado do Maranhão, Brasil. *Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza*, v. 17, n. 2, p. 153-164. 1977.
- NASCIMENTO JR W.R., SOUZA-FILHO P.W.M., PROISY C., LUCAS R.M., ROSENQVIST A. (2013) Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensory satellite imagery. *Estuar Coast Shelf Sci* 117:83-93
- National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA. Database. Disponível em <www.cpc.ncep.noaa.gov/>. Acesso em junho de 2019.
- NIMER, E. Clima. In: *Geografia do Brasil. Região Norte*. Rio de Janeiro, IBGE. 3: p. 61-72. 1991.
- 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.
- PEREIRA, M.D., SCHETTINI, C.A.F., OMACHI, C.Y. Caracterização de feições oceanográficas na plataforma de Santa Catarina através de imagens orbitais. *Revista Brasileira de Geofísica* 27, 81e93. 2009.
- PETERSON, R., STRAMMA, L.. "Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean", *Progress in Oceanography*, v. 26, pp. 1-73. 1991. doi: 10.1016/0079-6611(91)90006-8.
- PHILANDER, S. "Atlantic Ocean equatorial currents", in: STEELE, J. H. (Ed.), *Encyclopedia of Ocean Sciences*, Academic Press, Oxford, pp. 188-191. 2001 doi: 10.1006/rwos.2001.0361.
- 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.
- PRESTES, Y.O.; SILVA, A.C.; ROLLNIC, M.; ROSÁRIO, R.P. The M2 and M4 tides in the Pará river estuary. *Tropical Oceanography*, 26-37. ISSN 1679-3013. 2016. doi: 10.5914/tropocean.v45i1.15198.

- RICHEY, J. E. et al. Water discharge and suspended sediment concentration in the Amazon River, 1982-1984. *Water Resources Research*, v. 22, p. 756-764. 1986.
- RIOS, L. Estudos de geografia do Maranhão. 3ª ed. São Luís, Ed. Graphis, p. 221,2001.
- SANTOS, V. F. et al. Geologia. In: V. F dos SANTOS e Z. R. FIGUEIRA (org.). Diagnóstico sócio-ambiental participativo do setor costeiro estuarino do Estado do Amapá. Macapá: MMA/GEA/IEPA, 2004. p. 11-34. meio-digital. CD.
- 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. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*, v.13, n.2, pp. 204-218. 1990.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y., CINTRON-MOLERO, G., SOARES, M.L.G., DE-ROSA, T. Brazilian mangroves. *Aquatic Ecosystem Health & Management*. 3. 561-570. 10.1080/14634980008650693. 2000.
- SCHOTT, F. A., STRAMMA, L., FISCHER, J., 1995. "The warm water inflow into the western tropical Atlantic boundary regime, spring 1994", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 100, pp. 24745-24760, doi: 10.1029/95JC02803.
- SOARES, M. L. G., ESTRADA, G.C.D., FERNANDEZ, V., TOGNELLA, M.M.P. Southern limit of the Western South Atlantic mangroves: Assessment of the potential effects of global warming from a biogeographical perspective. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 101. 44-53. 10.1016/j.ecss.2012.02.018. 2012.
- 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.
- SOUZA FILHO, P.W.M.; EL-ROBRINI, M. 1996. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfossedimentares da planície costeira bragantina. *Geonomos*, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 1-16.
- SOUZA FILHO, P.W.M. 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(4): 427-435.
- SPALDING, M., BLASCO, F., AND FIELD, C. *World Mangrove Atlas*. 1997.
- SPALDING, M., KAINUMA, M., AND COLLINS, L. *World Atlas of Mangroves*. A collaborative project of ITTO, ISME, FAO, UNESCO-MAB, UNEP-WCMC, UNU-INWEH and TNC, 319. 2010.
- STRAMMA, L., FISCHER, J., REPPIN, J. 1995. "The North Brazil Undercurrent", *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 42, pp. 773-795, doi: 10.1016/0967-0637(95)00014-W.
- TALLEY, L., PICKARD, G., EMERY, W., et al., 2011. "Descriptive Physical Oceanography: An Introduction", ISBN: 978-0-7506-4552-2, Elsevier, Boston.

TOMLINSON, P.B. The botany of mangroves. Cambridge University Press, Cambridge. 413 pp. 1986.

TORRES, A. M. Dinâmica Fluvial e Evolução Costeira ao longo do Canal do Norte na Foz do Rio Amazonas. [S.l.]: [s.n.], 2001. Projeto de Pesquisa. Desenvolvimento Científico Regional. Relatório Final Global. 21 p.

TORRES, A. M., EL-ROBRINI, M., & COSTA, W. J. P. (2018). Panorama da erosão costeira—Amapá. Panorama da Erosão Costeira no Brasil. Second edition. Ministério do Meio Ambiente, 761