



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO OBSERVACIONAL DE PARÂMETROS METEO-
OCEANOGRÁFICOS NA COSTA PARAENSE: SUBSÍDIO AO ESTUDO
DE BLOOMS DE SARGASSUM SP. NO LITORAL AMAZÔNICO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado por:

JOÃO PEDRO MANCIO DE AMORIM

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Melo Casseb do Carmo (UFPA)

BELÉM
2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO OBSERVACIONAL DE PARÂMETROS METEO-
OCEANOGRÁFICOS NA COSTA PARAENSE: SUBSÍDIO AO ESTUDO
DE BLOOMS DE *SARGASSUM* SP. NO LITORAL AMAZÔNICO.**

JOÃO PEDRO MANCIO DE AMORIM

**BELÉM
2017**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Amorim, João Pedro Mancio de, 1996-

Estudo observacional de parâmetros meteo-oceanográficos na costa paraense: subsídio ao estudo de *blooms* de *Sargassum* sp. no litoral amazônico / João Pedro Mancio de Amorim. – 2017.

xi, 42 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Alexandre Melo Casseb do Carmo

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2017.

1. Oceanografia – Amazônia. 2. Florações de algas – Amazônia. 3. Precipitação (Meteorologia) – Amazônia. 4. Costa - Pará. I. Título.

CDD 22. ed.: 551.4609811

Elaborado por
Hélio Braga Martins
CRB-2/698



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

**ESTUDO OBSERVACIONAL DE PARÂMETROS METEO-
OCEANOGRÁFICOS NA COSTA PARAENSE: SUBSÍDIO AO ESTUDO
DE BLOOMS DE SARGASSUM SP. NO LITORAL AMAZÔNICO.**


APRESENTADO POR:


JOÃO PEDRO MANCIO DE AMORIM

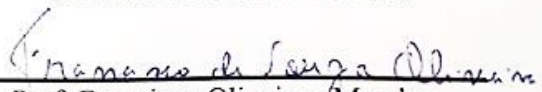
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia

Data da Aprovação: 21/12 /2017

Banca Examinadora:


Prof. Alexandre Casseb - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará


Prof. Renan Peixoto - Membro
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará


Prof. Francisco Oliveira - Membro
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará

A Camila (*in memoriam*), por ter sido uma amiga incrível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Universo, por todas as coisas que já aconteceram na minha vida até hoje, principalmente pela sorte de ter nascido em uma família incrível.

Aos meus pais, Regina e Ivaldo, por sempre me apoiarem e incentivarem a seguir o que acreditava. Essa é, e sempre vai ser, para e por vocês.

A minha avó, Mundinha, pelas incontáveis conversas, conselhos e apoio, desde sempre.

Aos meus irmãos, José Neto e Raissa, pela irmandade. A Raissa principalmente, pelas brincadeiras e distrações.

A toda minha família, em especial a minha tia Ivelise, por todo incentivo e pelo livro que continua me inspirando, e a minha tia Ivone, pelo notebook sem o qual realizar esse trabalho seria muito mais complicado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre Casseb, pelas oportunidades que me foram dadas dentro do Laboratório de Oceanografia Física. Agradeço por toda sua orientação e paciência desde o terceiro semestre até o final da graduação.

Ao Prof. Dr. Renan Peixoto, por todo incentivo e apoio, além da inspiração enquanto profissional.

Ao Prof. Dr. José Eduardo Martinelli Filho, pelo financiamento deste trabalho no âmbito do projeto “Blooms de organismos nocivos no litoral paraense: padrões, previsibilidade e sustentabilidade”.

Aos meus amigos-irmãos que fiz nesses anos, Felipe, Lucas, Yago e Matheus, por cada momento de descontração, viagens, campo, fazendo esse período ser muito menos cansativo e um pouco maluco. Espero que essa amizade dure bastante ainda.

A todos os meus amigos da turma de 2014, foi um prazer passar os últimos 4 anos na companhia de vocês, vocês são incríveis, desejo muito sucesso para cada um nessa vida oceanográfica.

Aos meus amigos do Laboratório de Oceanografia Física, os que já saíram e os que ainda se encontram, em especial ao Artur e à Rayssa, pelas incontáveis conversas durante as tardes em frente aos computadores.

A todos os professores da Faculdade de Oceanografia, pela disposição em repassar conhecimento e formar profissionais.

A todos os amigos da Oceano, pela amizade e que de certa forma contribuíram, direta ou indiretamente, para o meu crescimento, seja pessoal ou profissional.

A todas as pessoas que passaram pela minha vida, me fazendo ser quem sou hoje.

RESUMO

A região de Salinópolis, um dos principais polos turísticos do estado do Pará, localizada no nordeste paraense, apresentou, nos meses de maio de 2014 e abril de 2015 episódios de *blooms* de macroalgas do gênero *Sargassum* sp. No presente trabalho, objetivou-se avaliar o papel do vento e das correntes superficiais regionais nas ocorrências de *blooms* de macroalgas na costa Amazônica, visando identificar padrões favoráveis ao transporte desses organismos. Foram utilizados dados de precipitação pluviométrica, direção e intensidade do vento, registrados por uma estação meteorológica convencional, localizada no município de Tracuateua-PA, no período de 1993-2015; assim como dados mensais de reanálises para as variáveis: temperatura da superfície do mar -TSM- (OISST V2), circulação de ventos a 10 metros (MERRA) - ambos entre 1983-2015 - e circulação oceânica superficial (GLORYS2V4), entre 1993 e 2015, sobre a porção do Atlântico Equatorial delimitada entre 60°W,5°S,15°E e 15°N. As condições físicas do período de 2014 a 2015, em especial dos meses de ocorrência dos eventos, foram analisadas considerando-se, como referência, o estado médio obtido através das séries históricas. A precipitação na região apresentou valores extremos durante o primeiro semestre de ambos os anos, sendo os meses de *blooms* classificados como extremamente chuvosos (+82,91 mm em maio de 2014 e +211,62 mm em abril). Os resultados obtidos para as anomalias de TSM não demonstraram relação com os eventos de *blooms*, entretanto, verificou-se similaridades entre o campo de anomalias do vento superficial e o campo de anomalias das correntes oceânicas. Em ambos os casos, a direção de propagação de massa esteve direcionada para a costa paraense, representando um transporte líquido no sentido Norte-Sul. Além disso, a forte influência da Zona de Convergência Intertropical sobre o litoral, nos meses de ocorrência, indica que a precipitação convectiva também pode estar associada aos eventos de *blooms*. Os resultados obtidos sugerem ainda que as algas encalhadas em Salinópolis vieram, possivelmente, de uma fonte de *Sargassum* sp. localizada à Norte da foz do rio Amazonas, no oceano Atlântico. Dessa forma, tais eventos, que ocorreram durante o período chuvoso da região, estiveram possivelmente associados à efeitos combinados de precipitação convectiva e transporte de massa no sentido Norte-Sul, sendo tais fatores bons indicadores da ocorrência desses fenômenos.

Palavras-chaves: *Blooms* de *Sargassum* sp., Meteo-Oceanografia, Precipitação, Litoral Paraense.

ABSTRACT

The region of Salinópolis, one of the main tourist centers in the state of Pará, located on northeast, presented, during May 2014 and April 2015, episodes of macroalgae blooms of the genus *Sargassum* sp. In the present work, the objective was to evaluate the role of wind and regional ocean surface currents in the occurrence of macroalgal blooms on the Amazon coast, in order to identify patterns favorable to the transport of these organisms. Data provided by a conventional meteorological station, located in the municipality of Tracuateua-PA, in the period 1993-2015 were used, as well as monthly reanalysis data for the following variables: sea surface temperature-SST (OISST V2), wind circulation at 10 meters (MERRA) - both between 1983-2015 - and superficial ocean currents (GLORYS2V4) between 1993 and 2015, to the portion of the equatorial Atlantic delimited between 60 ° W, 5 ° S, 15 ° E and 15 ° N. The physical conditions from 2014 to 2015, especially the months of the events, were analyzed considering, as reference, the average state obtained through the historical series. The precipitation in the region presented extreme values during the first semester of both years, with blooms months being classified as extremely rainy (+82,91 mm in May 2014 and +211,62 mm in April). The results obtained for the SST anomalies were not related to blooms events, but also, there were similarities between the field of surface wind anomalies and the field of ocean currents anomalies. In both cases, the direction of mass propagation was directed towards to Pará's coast, representing a liquid transport in the North-South direction. In addition, a strong influence of the Intertropical Convergence Zone on the coast during the months of occurrence indicates that convective precipitation may also be associated with blooms events. The results obtained also suggest that the algae stranded in Salinópolis came, possibly, from a *Sargassum* sp. spot located north of the Amazon River mouth, on Atlantic ocean. Thus, these events, which occurred during the rainy season of the region, are possibly associated with combined effects of mass propagation transport in the north-south direction and convective precipitation, being these factors such good indicators of the occurrence of the phenomena.

Keyword: *Sargassum* sp. Blooms, Meteo-Oceanography, Precipitation, Pará Coast.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Biomassa de <i>Sargassum</i> sp. encalhada em Salinópolis-PA.	2
Figura 2. Desenho esquemático da célula de Hadley. Fonte: adaptado de NASA.....	4
Figura 3. Média anual da temperatura da superfície do mar (1971-2000).	5
Figura 4. Fotografia aérea de biomassa de <i>Sargassum</i> flutuante.	6
Figura 5. Regiões de acúmulo de biomassa flutuante de <i>Sargassum</i> sp. ao redor do globo encontradas na literatura. A) Mar de Sargasso (Coston-Clements et al., 1991); B) Golfo do México (Franks et al., 2016); C) Norte da foz do Amazonas (Gower et al., 2013); D) Costa Oeste da África (Franks et al.,2016); E) Mar Vermelho (Markkaveeva, 1965) ; F) Mar do Japão (Ida et al., 1967).	7
Figura 6. Localização Geográfica da Área de Estudo.	8
Figura 7. Média histórica da Precipitação em Tracuateua e a classificação dos meses com base na técnica dos Quantis (Xavier, 1999).....	12
Figura 8. Frequências mensais de intensidade e direção do vento na estação meteorológica de Tracuateua (1993-2015).	14
Figura 9. Valor médio da TSM na região em cada mês durante o período 1983-2015 com base na reanálise OISSTV2.	15
Figura 10. Distribuição espacial da TSM e circulação superficial de ventos (1983-2015) com base nas reanálises MERRA E OISSTV2.	16
Figura 11. Médias residuais das componentes u e v do vento em cada mês (1983-2015) com base na reanálise MERRA.....	17
Figura 12. Circulação média das correntes superficiais oceânicas (1993-2015) com base na reanálise GLORYS2V4.	18
Figura 13. Precipitação mensal em Tracuateua nos anos de 2014 e 2015 e os intervalos de classificação com base na técnica dos Quantis (Xavier, 1999).	19
Figura 14. Anomalias de precipitação mensal nos anos de 2014 e 2015 delimitada sobre os percentis de 0.15 e 0.85	20
Figura 15. Frequências mensais de intensidade e direção do vento na estação meteorológica de Tracuateua em 2014.....	22
Figura 16. Frequências mensais de intensidade e direção do vento na estação meteorológica de Tracuateua em 2015.....	23
Figura 17. Distribuição espacial das anomalias de TSM e circulação de ventos em 2014 com base nas reanálises MERRA e OISSTV2.	25

Figura 18. Distribuição espacial das anomalias de correntes superficiais em 2014 com base na reanálise GLORYS2V4.	26
Figura 19. Distribuição espacial das anomalias de TSM e circulação de ventos em 2015 com base nas reanálises MERRA e OISSTV2.	28
Figura 20. Distribuição espacial das anomalias de correntes superficiais em 2015 com base na reanálise GLORYS2V4.	29
Figura 21. Distribuição espacial das taxas de precipitação em 2014 com base na reanálise TRMM. * Mês de ocorrência do blooms.	31
Figura 22. Distribuição espacial das taxas de precipitação em 2015 com base na reanálise TRMM. * Mês de ocorrência do blooms.	32
Figura 23. Área fonte de Sargassum sp identificada no trabalho de Gower et al., 2013.	35
Figura 24. Anomalias dos ventos superficiais próximas ao litoral Paraense durante os meses de ocorrência dos blooms. A) maio 2014; B) abril 2015.	36
Figura 25. Anomalias de correntes superficiais próximas ao litoral Paraense durante os meses de ocorrência dos blooms. A) maio 2014; B) abril 2015.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Conjunto de dados de reanálises utilizados.	10
Tabela 2. Intervalo de classificação dos Quantis.....	11
Tabela 3. Índices de El-Niño para os trimestres referentes ao ano de 2014 e 2015 (Cores em vermelho indicam El-Niño). Fonte: NCEP	34
Tabela 4. Condições físicas durante os eventos de blooms.....	37

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	v
AGRADECIMENTOS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA REGIONAL	4
3.2 TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR	5
3.3 <i>SARGASSUM</i> PELÁGICO	6
4 MATERIAL E MÉTODOS	8
4.1 ÁREA DE ESTUDO	8
4.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS	8
5 RESULTADOS	12
5.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS GERAIS DA REGIÃO	12
5.1.1 Regime Pluviométrico	12
5.1.2 Ventos	13
5.1.3 Distribuição de parâmetros Meteorológicos e Oceanográficos	15
5.2 ESTUDO DE CASO PARA OS ANOS DE 2014 E 2015	19
5.2.1 Regime Pluviométrico	19
5.2.2 Ventos	21
5.2.3 Distribuição de parâmetros Meteorológicos e Oceanográficos	24
5.2.4 Estimativas da precipitação sobre o Atlântico Equatorial	30
6 DISCUSSÃO	33
6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS GERAIS DA REGIÃO	33
6.2 ESTUDO DE CASO PARA OS ANOS DE 2014 E 2015	34
6.3 CONDIÇÕES FAVORÁVEIS AO TRANSPORTE DE <i>SARGASSUM</i>	35
7 CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A pesca representa uma importante fonte de renda, senão de subsistência, para diversas regiões no Brasil, em especial para comunidades tradicionais da região Norte. No Estado do Pará, essa atividade assume importante papel socioeconômico na ocupação de mão-de-obra, geração de renda e oferta de alimentos para a população, especialmente para as comunidades tradicionais (Santos, 2005). As reações da biosfera aquática regional às mudanças climáticas são, ainda, pouco conhecidas. Uma delas tem sido o encalhe de grandes quantidades de macroalgas em praias em diversas regiões do globo. Durante os últimos 20 anos, a ocorrência deste fenômeno tem crescido, tanto em frequência quanto em área (Smetacek & Zingone, 2013). Massas flutuantes de *Sargassum* foram registradas em águas na plataforma adjacente do litoral Amazônico por Szécky *et al.* (2012), porém, o encalhe de grandes quantidades em praias Amazônicas ainda não havia sido registrado até os episódios de 2014 e 2015 (Sissini *et al.*, 2017).

A região de Salinópolis, no estado do Pará, localizada no nordeste paraense, um dos principais polos turísticos de praias Amazônicas, apresentou, nos meses de maio de 2014 e abril de 2015 episódios de *blooms* de macroalgas do gênero *Sargassum* sp. Uma enorme quantidade de biomassa de alga encalhou sobre as praias do município (figura 1). Segundo Hansson *et al.* (2005), tais ocorrências podem ser prejudiciais à comunidade local e turistas, uma vez que a frequência e intensidade de *blooms* de organismos podem afetar negativamente a economia pesqueira. Além disso, o *Sargassum* sp. pelágico tem o potencial de levar espécies exóticas e associadas para diferentes ecossistemas, comprometendo seu equilíbrio (Ferreira *et al.*, 2009).

Os mecanismos responsáveis pela formação, transporte e dispersão desses *blooms* são complexos e variados. Smetacek & Zingone (2013), sugerem que as componentes físicas relacionadas com a hidrografia de uma dada região podem exercer considerável influência. Neste contexto, os movimentos característicos da atmosfera sobre a grande área entre o Atlântico tropical e o litoral Norte do Brasil, compõe-se de uma ampla variedade de fenômenos de diversas escalas, tais como, a típica tempestade convectiva (cumulonimbus), de microescala; as Linhas de Instabilidade (LI), de mesoescala; as Ondas de Leste, de escala sinótica, e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), de escala global (Hastenrath, 1985; Moraes, *et al.* 2005). Tais fenômenos são caracterizados por intensa atividade turbulenta,

convergência de umidade e grande quantidade de precipitação e podem ser observados sobrepostos ao padrão de ventos próximo a superfície, predominantemente de leste, conhecido como “ventos alísios”. Portanto, pode-se assumir que para cada fenômeno atmosférico, dada sua escala espacial e temporal, haverá um padrão de anomalias imposto ao escoamento dos alísios e, por sua vez, ao transporte de massa próximo a superfície.

Estudos de processos físicos de larga escala têm demonstrado que as anomalias de temperatura no Pacífico Equatorial (processos El Niño-Southern Oscillation), e no Atlântico (Dipolo do Atlântico), também exercem um importante papel na modulação da dinâmica dos fenômenos responsáveis pelo regime pluviométrico da Amazônia brasileira (Nobre e Shukla, 1996; Pezzi e Cavalcanti, 2001).

No presente trabalho, avaliaram-se as relações entre variáveis meteorológicas e oceanográficas, e a ocorrência de *blooms* de macroalgas na costa Amazônica, com o objetivo de encontrar padrões favoráveis ao fenômeno. Os resultados deste trabalho têm o potencial de subsidiar os setores governamentais em ações visando à previsibilidade do fenômeno.



Figura 1. Biomassa de *Sargassum* sp. encalhada em Salinópolis-PA. Fonte: Adaptado de Sissini *et al.*,2017.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Obter os padrões físicos ambientais, através dos campos de variáveis meteorológicas e oceanográficas, associados às ocorrências de *blooms* de *Sargassum* sp. no litoral paraense.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- A) Identificar padrões de vento e correntes oceânicas que possam estar relacionados ao transporte de organismos no litoral paraense.
- B) Identificar padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e precipitação pluviométrica (PRC) que possam estar relacionados às ocorrências de *blooms* no litoral paraense.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA REGIONAL

A Circulação Geral Atmosférica (CGA) é uma consequência da distribuição latitudinal da energia solar e da distribuição assimétrica de continentes e oceanos, e impõe as características gerais do clima de uma região (Molion, 1987). Na região tropical, a principal componente da CGA atuante é a Célula de Hadley (figura 2), e esta resulta da diferença de aquecimento entre os trópicos e as latitudes médias, ocasionando a formação de uma circulação meridional com movimento de ar ascendente sobre áreas equatoriais e movimento descendente sobre as latitudes subtropicais, tendo na sua base a circulação dos ventos alísios.

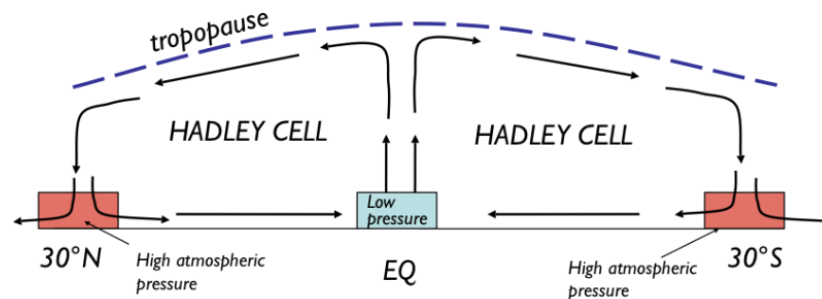


Figura 2. Desenho esquemático da célula de Hadley. Fonte: adaptado de NASA.

A região Norte do Brasil está confinada na região tropical, área caracterizada por apresentar uma atmosfera úmida e com grande e intensa atividade convectiva, devido à disponibilidade de energia solar durante todo ano (Bezerra & Cavalcanti, 2008). Além da Célula de Hadley, outro importante sistema atmosférico atuante no clima da região Norte do Brasil é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). De acordo com Ferreira (1996), a ZCIT é caracterizada por uma região de interações atmosféricas e oceânicas, como a Zona de Confluência dos Alísios (ZCA), zona do cavado equatorial, zona de máxima temperatura da superfície do mar, zona de máxima convergência de massa e máxima cobertura de nuvens convectivas. Sobre o Atlântico, é caracterizada pelo deslocamento norte-sul ao longo do ano, onde, segundo Hastenrath & Heller (1977), migra de sua posição mais ao norte, cerca de 8°N durante o verão do Hemisfério Norte, para a posição mais ao sul, cerca de 1°S, durante o mês de abril. Na Amazônia, a ZCIT e suas interações com outros sistemas contribuem com aproximadamente 70% da precipitação (Rocha, 2001).

3.2 TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR

A temperatura da superfície do mar (TSM) pode ser considerada como a temperatura da água na superfície oceânica. O significado exato de "superfície" irá variar de acordo com o método de medição utilizado, um radiômetro infravermelho instalado em satélites irá medir a temperatura do oceano indiretamente considerando uma fina camada de água (cerca de 10 micrometros). Já uma boia equipada com termômetros irá medir a temperatura da superfície considerando uma camada maior, em torno de um metro.

De acordo com Hastenrath (1984), a variabilidade interanual da temperatura da superfície do mar sobre o Atlântico é modulada pelo ciclo anual de aquecimento solar, dessa forma, há uma variação da temperatura em função da latitude, onde os valores máximos ocorrem na região equatorial (em torno de 28°C a 29°C) e um decréscimo em direção às altas latitudes (figura 3).

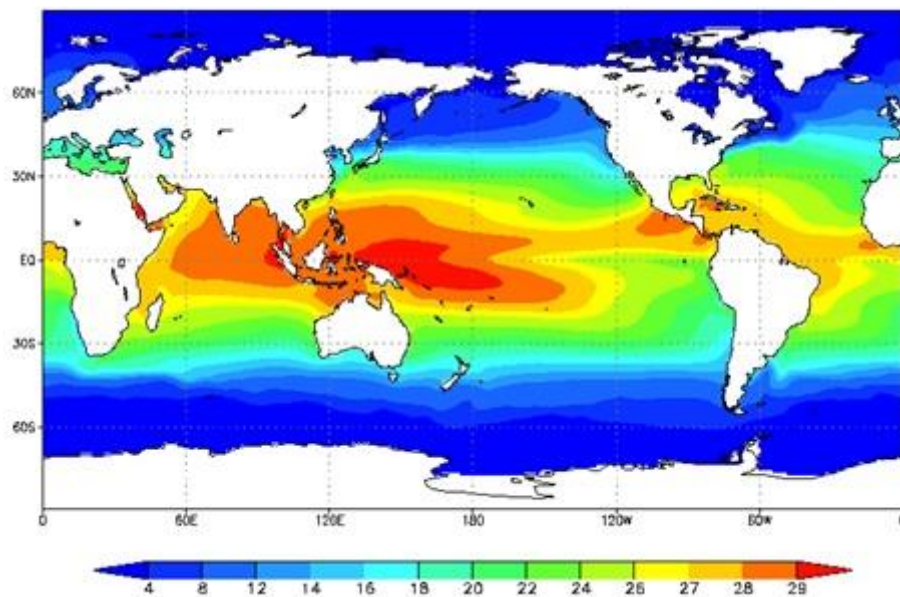


Figura 3. Média anual da temperatura da superfície do mar (1971-2000) . Fonte: adaptado de NOAA.

O padrão de anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical referido na literatura como "padrão de dipolo" apresenta anomalias de TSM com sinais opostos ao norte e ao sul do equador sobre o Atlântico Tropical (Ferreira, 1996). Esse padrão de anomalias de TSM propicia a ocorrência de gradientes meridionais de anomalias de TSM, os quais impactam fortemente na posição latitudinal da ZCIT, modulando assim a distribuição sazonal de precipitação pluviométrica sobre o Atlântico Equatorial, parte norte do Nordeste do Brasil, até a parte central da Amazônia (Nobre & Shukla, 1996).

Além disso, outro importante fenômeno dominante na variabilidade climática nos trópicos é o El Niño-Oscilação Sul (ENSO). Segundo Trenberth (1997), o termo “*El-Niño*” pode ser definido como um aquecimento anômalo das águas oceânicas ao longo da bacia do Pacífico Tropical, alterando os padrões climáticos globais, enquanto o termo Oscilação Sul refere-se à componente atmosférica associada a esse aquecimento. O termo “*La-Niña*” corresponde à fase oposta desse fenômeno, estando associado à um resfriamento anômalo das águas, e também pode ser denominado como a fase fria do ENSO.

3.3 SARGASSUM PELÁGICO

O gênero de algas marrons *Sargassum* sp pertencente à ordem Fucales e a classe Phaeophyceae, contém muitas espécies com vesículas ou bexigas para flutuabilidade (Fine, 1970). Tais estruturas permitem com que populações flutuantes dessas algas se desenvolvam na região pelágica dos oceanos tropicais e subtropicais ao redor do globo. No trabalho de Woodcock's (1950), o qual estudou a flutuabilidade dessas algas, verificou-se que elas se encontram em seu habitat natural quando em alto mar, e não são algas costeiras com uma vida pelágica curta.

De acordo com Huffard *et al.* (2014), a biomassa flutuante de *Sargassum* sp pode ser classificada em: “aglomerados”, referindo-se à cordões individuais ou pequenos emaranhados de cordões individuais que variam do tamanho de um punho à um prato de jantar (9-28 cm de diâmetro); “balsas”, referindo-se a uma maior agregação de aglomerados (figura 4), formando habitats contíguos com metros de extensão (um amontoado de *Sargassum* sp. formado pela circulação de Langmuir poderia ser um exemplo) e em “elementos” quando se trata de massas flutuantes grandes o bastante para serem detectadas por satélites.



Figura 4. Fotografia aérea de biomassa de Sargassum flutuante. Fonte: Széchy *et al.* (2012)

Diversas assembléias de organismos estão associadas a biomassa flutuante de *Sargassum* sp, incluindo epibiontes anexados e fauna móvel, variando de microbiota a peixes (Carpenter 1970; Ryland 1974; Butler *et al.* 1983). Dessa forma, o encalhe dessas algas em ambientes costeiros pode representar uma ameaça a espécies locais, já que espécies invasoras podem ser levadas para esses ambientes.

Dentre as regiões com grande biomassa de *Sargassum* sp. flutuante bem documentadas, destaca-se o Mar de Sargassum no Caribe, localizado aproximadamente entre 20°–40°N e 30°–75°W (Coston-Clements *et al.* 1991), no Golfo do México (Franks *et al.*, 2016) mas o gênero também ocorre em torno do Japão (Ida *et al.*, 1967), no Mar Vermelho (Markkaveeva, 1965) e recentemente uma nova área foi descoberta, localizada a norte da foz do rio Amazonas no Oceano Atlântico (Gower *et al.*, 2013), com possível transporte para a Costa Oeste da África (Franks *et al.*, 2016). Na figura 5 encontram-se localizadas regiões do oceano com grande biomassa de *Sargassum* sp. flutuante já documentadas na literatura.

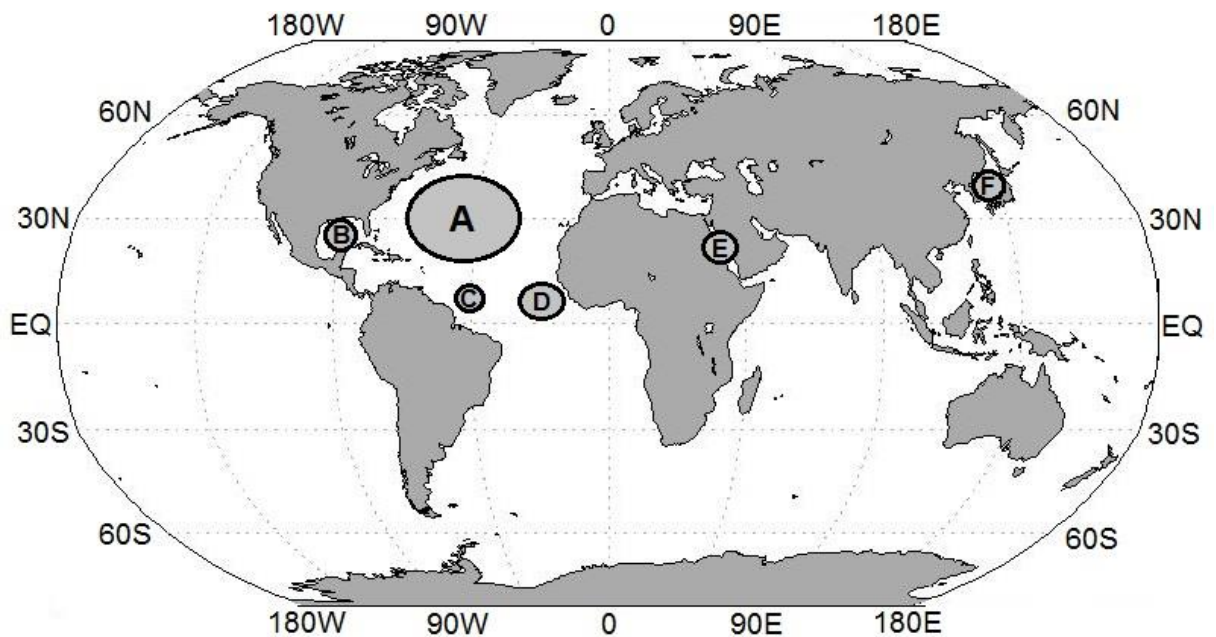


Figura 5. Regiões de acumulo de biomassa flutuante de *Sargassum* sp. ao redor do globo encontradas na literatura. A) Mar de Sargasso (Coston-Clements *et al.*, 1991); B) Golfo do México (Franks *et al.*, 2016); C) Norte da foz do Amazonas (Gower *et al.*, 2013); D) Costa Oeste da África (Franks *et al.*, 2016); E) Mar Vermelho (Markkaveeva, 1965) ; F) Mar do Japão (Ida *et al.*, 1967). Fonte: Autor.

4 MATERIAL E METÓDOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho abrange parte da bacia oceânica do Atlântico Tropical, em coordenadas geográficas ela encontra-se delimitada entre 60°W, 5°S, 15°N e 15°E. Na figura 6 é apresentado um mapa da área de estudo assim como a localização do município de Salinópolis. Devido ao fato de ser uma área de estudo relativamente grande, diferentes processos oceanográficos e meteorológicos atuam entre seus limites.

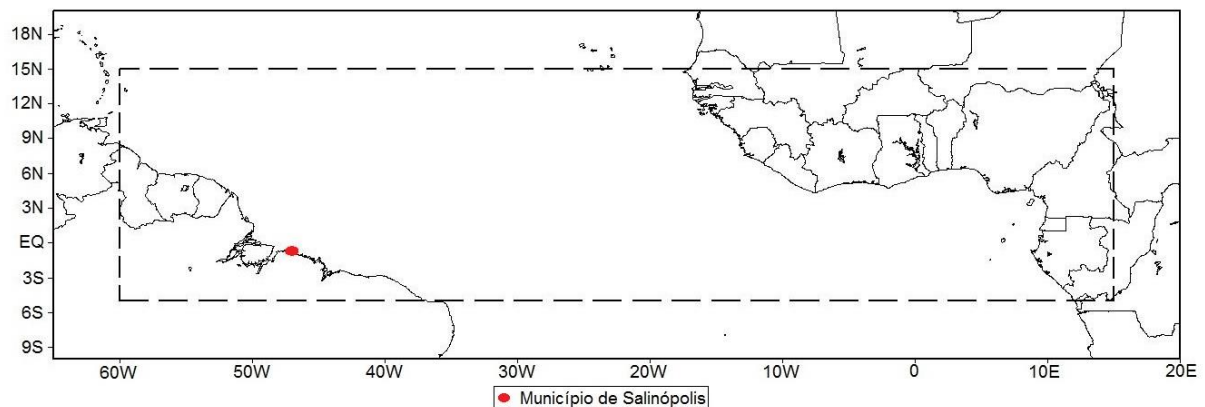


Figura 6. Localização Geográfica da Área de Estudo.

4.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Foi obtida uma série histórica de dados de precipitação mensal acumulada para o município de Tracuateua, no período de 1993 a 2015, através de uma estação meteorológica convencional - mantida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Dados nos horários 00:00 GMT, 12:00 GMT e 18:00 GMT da direção e velocidade do vento também foram adquiridos da mesma estação e período. A escolha do município de Tracuateua (distante cerca de 70 km de Salinópolis) deu-se em virtude da ausência de dados recentes para o município de Salinópolis.

Além disso, diferentes conjuntos de dados de reanálises foram obtidos para a porção do oceano atlântico tropical já supracitada. Um sistema de reanálise consiste da combinação de um modelo de previsão (como *background*) e um sistema de assimilação de dados (Quadro, 2012). Como as observações *in situ* possuem uma distribuição irregular no espaço e no tempo, a assimilação combina essas informações disponíveis com o modelo de previsão para gerar uma nova análise.

Dados mensais da temperatura da superfície do mar foram obtidos através da reanálise Optimum Interpolation (OI) Sea Surface Temperature (SST) V2 produzida pela National Oceanic and Atmosphere Administration (NOAA). Tais dados consistem de uma interpolação com resolução espacial de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, combinando medições *in situ* e dados obtidos de satélites, uma descrição mais detalhada a respeito desses dados encontra-se em Reynolds *et al.* (2002). Além disso, dados médio-mensais das componentes zonal e meridional do vento à 10 metros da superfície foram utilizados a partir da reanálise MERRA (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications), produzida pela National Space Agency (NASA). Esta reanálise consiste em um conjunto de dados obtidos a partir de satélites utilizando o Goddard Earth Observing System Model Data Assimilation versão 5 (GEOS-5), a resolução espacial destes dados é de $0.5^{\circ} \times 0.6225^{\circ}$ e eles encontram-se melhor descritos em Bosilovich *et al.* (2008). O período utilizado de ambos os dados é de 1983 a 2015.

Adicionalmente, dados das componentes u e v oceânicas foram extraídos da Global Ocean Physics Reanalysis (GLORYS2V4), reanálise fornecida pela UE Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS). GLORYS2V4 contém dados mensais das componentes u e v , com uma resolução espacial de 0.25° , esta reanálise é feita a partir de dados assimilados de satélites, e baseada na versão 3.1 do NEMO (Nucleus for European Models of the Ocean) Ocean Model (Madec, 2008). Na superfície, é forçada por variáveis atmosféricas oriundas da reanálise ERA-Interim e o período de abrangência desses dados é de 1993 a 2015, uma melhor descrição a respeito deste conjunto de dados encontra-se em Garric *et al.* (2017). É válido ressaltar que nessa reanálise, a dinâmica das camadas superiores no equador encontra-se de acordo com o observado em instrumentos fixados, além disso, Lima *et al.* (2016), utilizaram esse conjunto de dados em estudos sobre a Corrente do Brasil próximo a 22°S , demonstrando a utilidade dos dados em estudos de correntes oceânicas.

Especificamente para os anos de 2014 e 2015, também foram obtidos dados de precipitação do projeto TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Tais dados consistem de uma estimativa mensal da precipitação mesclando dados de satélites e dados de calibração em pontos de grade com uma resolução de $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, uma descrição mais completa destes dados encontra-se em Huffman *et al.* (2007). Segundo Almeida *et al.* (2015), que utilizou esse conjunto de dados para estudos sobre a precipitação na Amazônia, os dados foram similares aos de superfície e representaram bem a variabilidade sazonal das chuvas, apresentando-se como uma fonte alternativa de dados de qualidade.

Na tabela 1 encontram-se resumidos os conjuntos de dados de reanálise utilizados no presente trabalho, assim como as resoluções espaciais, temporais, e o período analisado.

Tabela 1. Conjunto de dados de reanálises utilizados.

Variável	Fonte	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Período
TSM	OISST V2	1° x 1°	Mensal	1983 – 2015
Vento	MERRA	0.5° x 0.6225°	Mensal	1983 – 2015
Correntes	GLORYS2V4	0.25° x 0.25°	Mensal	1993 - 2015
Precipitação	TRMM 3B43	0.25° x 0.25°	Mensal	2014 – 2015

4.2 ANÁLISE DOS DADOS

Foram aplicadas metodologias estatísticas básicas para identificar as características sazonais atmosféricas e oceanográficas através das séries históricas disponíveis. Com relação aos dados de precipitação, da estação meteorológica, calculou-se a média histórica dos totais mensais (\overline{Prc}) (Equação 1). A partir da média histórica mensal, foram calculadas as anomalias de precipitação (Prc') para cada mês do período de 2014 e 2015 (Equação 2).

$$\overline{Prc}(jan) = \frac{\sum_{i=1}^n Prcjan(i)}{n} ; \dots ; \overline{Prc}(dez) = \frac{\sum_{i=1}^n Prcdez(i)}{n}; \text{ Média Histórica Mensal} \quad (1).$$

$$Prc'(jan) = Prcjan(i) - \overline{Prc}(jan) ; \dots ; Prc'(dez) = Prcdez(i) - \overline{Prc}(dez); \text{ Anomalias} \quad (2).$$

Além disso, com o objetivo de avaliar os meses mais chuvosos e menos chuvosos da região, assim como anomalias extremas, utilizou-se a técnica dos Quantis (Pinkayan 1966; Xavier & Xavier 1999). A técnica dos Quantis pode ser aplicada a uma série mensal de chuva acumulada $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ao longo de um intervalo de tempo, para determinada área. Esta sequência pode ser representada como uma variável aleatória contínua e o quantil permite delimitar a distribuição desta após observações ao longo de n anos. Após a definição dos intervalos dos valores de Q_p , expressos em termos percentuais, é possível enquadrar os meses para a área estudada em: 1) Muito Seco; 2) Seco; 3) Normal; 4) Chuvoso e 5) Muito Chuvoso. Neste trabalho, adotou-se os intervalos de Q_p iguais ao de Xavier & Xavier (1999), e eles encontram-se dispostos na tabela 2.

Tabela 2 - Intervalo de classificação dos Quantis segundo Xavier & Xavier (1999).

Classe	Quantil
Muito Seco	$X_i \leq Q_{p0,15}$
Seco	$p_{0,15} < X_i \leq Q_{p0,35}$
Normal	$p_{0,35} < X_i < Q_{p0,65}$
Chuvoso	$p_{0,65} \leq X_i < Q_{p0,85}$
Muito Chuvoso	$Q_{p0,85} \leq X_i$

Para os dados horários de vento da estação meteorológica de Tracuateua, houve uma grande quantidade de dados ausentes na série histórica durante todos os meses, sendo que para o mês de abril a fração de dados ausentes foi superior a 2 terços da série. Entretanto, optou-se por utilizar a fração de dados válidos em virtude da ausência de outra estação costeira. Dessa forma, foram calculadas as direções predominantes de cada mês através da distribuição de frequências com relação aos dados válidos, e as velocidades foram agrupadas em classes. Esse tratamento foi feito utilizando o software WRPLOT View®, e os resultados para a série histórica do mês de abril devem ser analisados com a devida cautela.

Com relação aos dados de vento e correntes superficiais das reanálises, foram calculadas as médias históricas referentes a cada componente (u e v) para que então fossem plotados os vetores referentes à velocidade média e direção (\vec{V}_H) (Equação 3). Obteve-se também o transporte líquido de massa (V'), representado pelos vetores referentes às anomalias de ambos os parâmetros em cada mês dos anos de 2014 e 2015 (Equação 4).

$$\vec{V}_H = \bar{u}\hat{i} + \bar{v}\hat{j}; \text{ onde: } \bar{u} = \sum_{i=1}^n \frac{u^i}{n} \text{ e } \bar{v} = \sum_{i=1}^n \frac{v^i}{n} \quad (3).$$

$$V' = \vec{V} - \vec{V}_H; \text{ onde: } \vec{V} = u\hat{i} + v\hat{j} \quad (4).$$

Para os dados de TSM, foram calculadas médias mensais com base na série histórica, assim como as anomalias mensais (TSM') durante os anos de 2014 e 2015. O cálculo das anomalias é realizado retirando-se o ciclo sazonal médio do campo original de TSM através da subtração do valor de TSM de cada mês pelo respectivo valor da média histórica. Médias espaço-temporais das componentes do vento ($\langle \bar{u} \rangle, \langle \bar{v} \rangle$) assim como da TSM ($\langle \overline{TSM} \rangle$), também foram calculadas, sendo interpretadas como um valor médio, no domínio do tempo e espaço. Por fim, as condições físicas do ano de 2014 e 2015 foram analisadas considerando-se, como referência, o estado médio obtido através das séries históricas.

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS GERAIS DA REGIÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados referentes às características médio-históricas dos parâmetros analisados: precipitação, TSM, vento e correntes superficiais.

5.1.1 Regime Pluviométrico

Os resultados referentes à média histórica de precipitação para o município de Tracuateua encontram-se dispostos na figura 7. A média anual de precipitação é 2331,6 mm, e o período chuvoso estende-se de fevereiro a maio, com precipitação total de 1536 mm (compreendendo aproximadamente 65% do total anual). O período seco compreende os meses de setembro a dezembro, totalizando juntos 86,1 mm de precipitação (contribuindo com aproximadamente 3,5% do total anual). Dentre os meses mais chuvosos, tem-se março e abril, sendo ambos considerados como muito chuvosos, enquanto que os menos chuvosos são os meses de outubro e novembro.

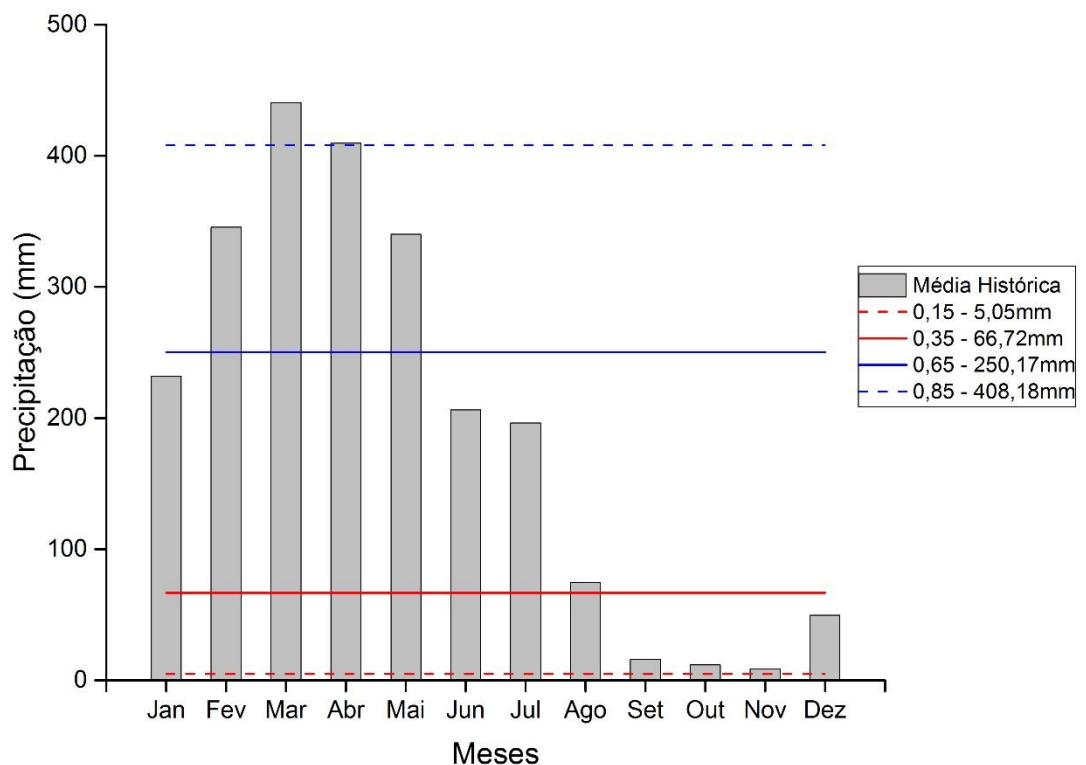


Figura 7. Média histórica da Precipitação em Tracuateua e a classificação dos meses com base na técnica dos Quantis (Xavier, 1999).

5.1.2 Ventos

Na figura 8 observam-se os principais modos de direção do vento atuantes no município de Tracuateua ao longo de cada mês. Nos meses de janeiro e fevereiro, a direção predominante dos ventos é de Leste, possuindo também frações de Nordeste e Norte. Entre março e abril há uma atuação conjunta entre os três modos: Norte, Nordeste e Leste. A partir do mês de maio, até dezembro, ocorre novamente um predomínio da direção Leste, atuando em conjunto com a direção Nordeste.

A velocidade do vento ao longo do ano encontra-se subdividida em 4 classes, variando entre 0,5 m/s a 6,5 m/s. No período de janeiro a agosto, há em maior proporção, predomínio das classes de 0,5 – 3,5 m/s para todas as direções, enquanto que de setembro a dezembro ocorre um aumento das frações de classes entre 3,5 e 6,5 m/s.

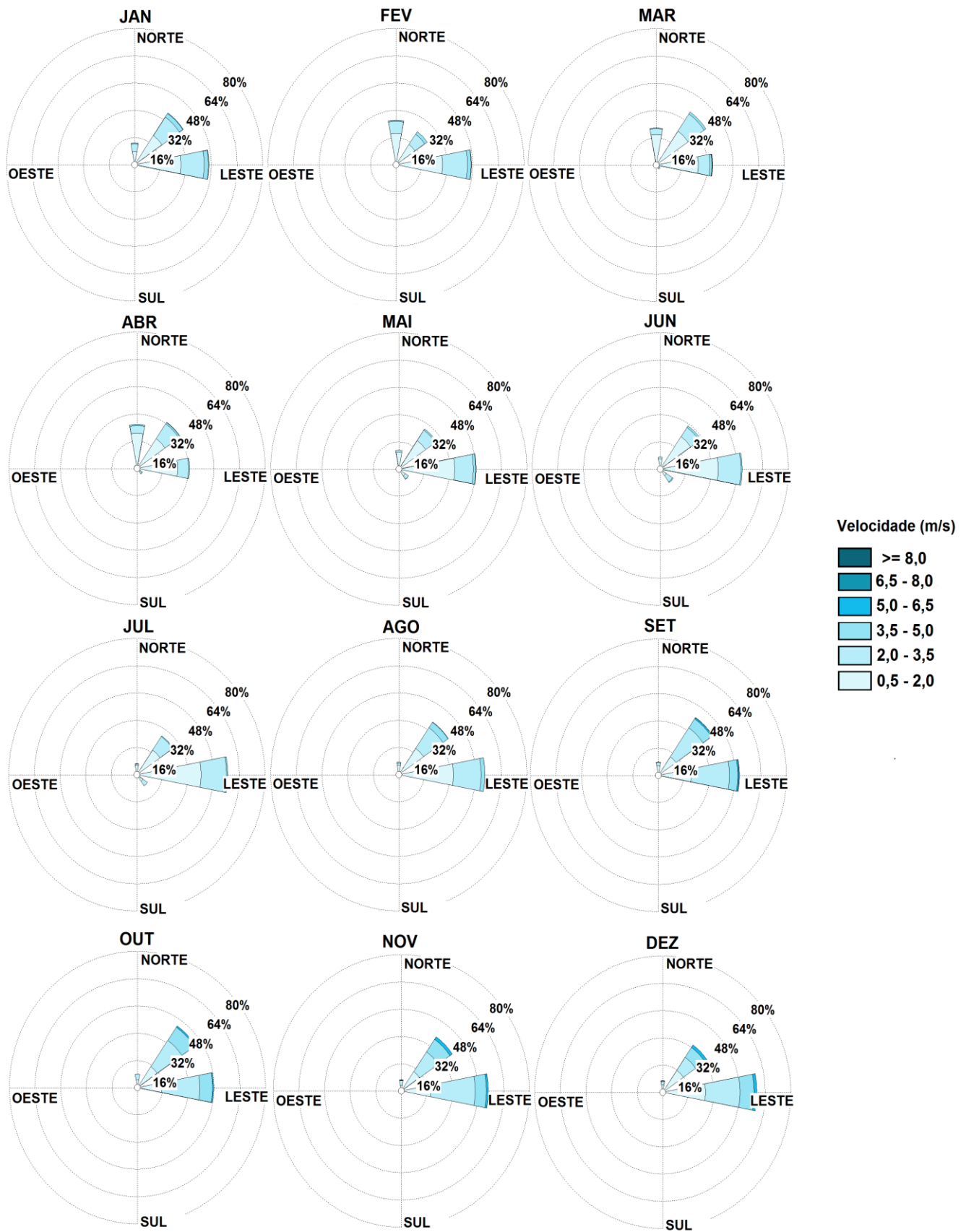


Figura 8. Frequências mensais de intensidade e direção do vento na estação meteorológica de Tracuateua (1993-2015).

5.1.3 Distribuição de parâmetros Meteorológicos e Oceanográficos

O valor médio da TSM na região estudada é de 27,07°C, obtendo o valor máximo no mês de maio (27,46°C) e mínimo no mês de agosto (26,50°C). Na figura 9 encontra-se dispostos os valores médios da TSM, observa-se que ao longo do ano a região passa por dois períodos distintos de aquecimento: o primeiro de fevereiro a maio, e o segundo de setembro a novembro.

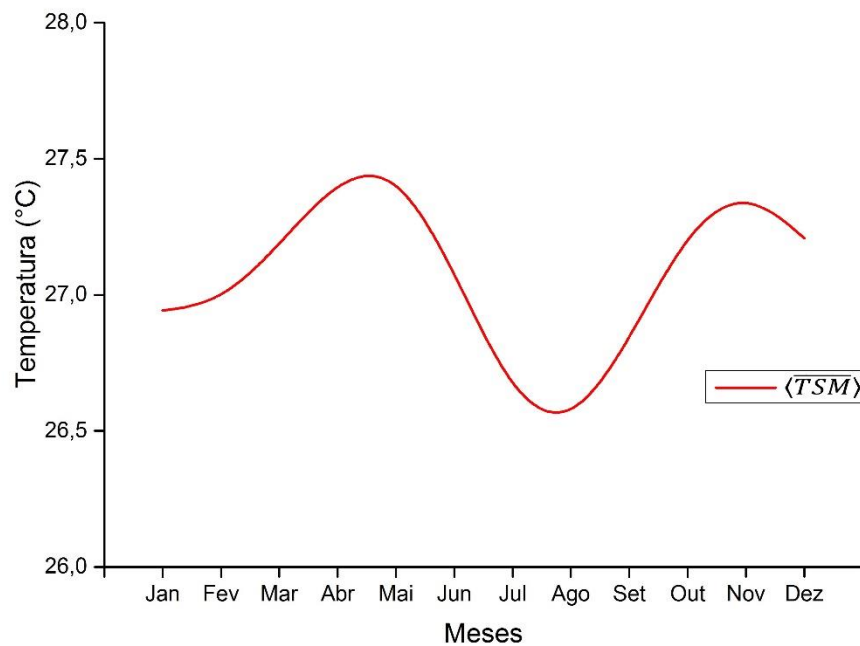


Figura 9. Valor médio da TSM na região em cada mês durante o período 1983-2015 com base na reanálise OISSTV2.

Na figura 10 encontram-se dispostos a distribuição espacial da média histórica mensal da TSM e da circulação superficial de ventos. Há uma variação zonal da TSM, resultando em gradientes ao longo de cada mês, de regiões mais frias para regiões mais quentes. Durante os meses de janeiro e fevereiro a região mais aquecida encontra-se próxima a 1°N e a partir do mês de março há um deslocamento desta zona para latitudes ao sul do equador, onde permanece durante o mês de abril. A partir do mês de maio há um deslocamento desta zona mais aquecida para o hemisfério norte, alcançando latitudes entre 10°-12°N durante os meses de setembro e outubro. Tal zona volta então a deslocar-se para o sul a partir do mês de novembro, alcançando latitudes próximas de 3°N durante o mês de dezembro.

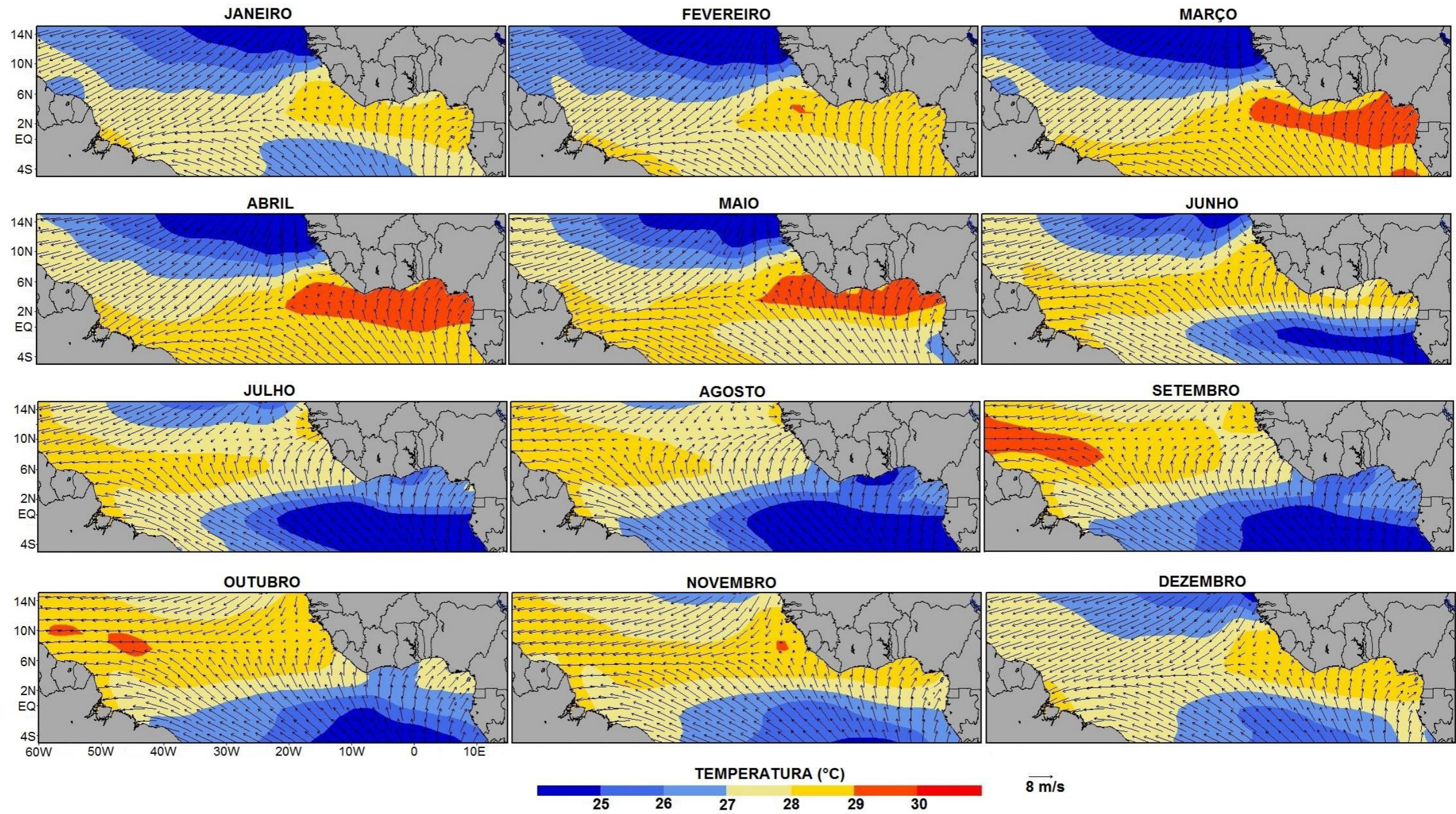


Figura 10. Distribuição espacial da TSM e circulação superficial de ventos (1983-2015) com base nas reanálises MERRA E OISSTV2.

Há uma variação anual da zona de convergência dos ventos em função da zona de máxima temperatura da superfície do mar, obtendo um padrão de migração semelhante ao da temperatura. A variação anual da velocidade média do vento na região é de 1,06 m/s, sendo a máxima no mês de dezembro (3,32 m/s) e mínima no mês de setembro (2,26 m/s).

Na figura 11 observa-se a variação anual do valor médio das componentes u e v do vento na região. Durante o período de dezembro a abril, os valores da componente v são negativos, indicando maior atuação dos ventos alísios de Nordeste, possuindo maior magnitude no mês de fevereiro (1,01 m/s). No período de maio a novembro tal componente possui valores positivos, com magnitude máxima em agosto (2,02 m/s), indicando predomínio dos alísios de Sudeste. A componente u possui valores negativos ao longo do ano inteiro, sendo este máximo em dezembro (magnitude de 3,31 m/s) e mínimo em agosto (magnitude igual a 1,10 m/s).

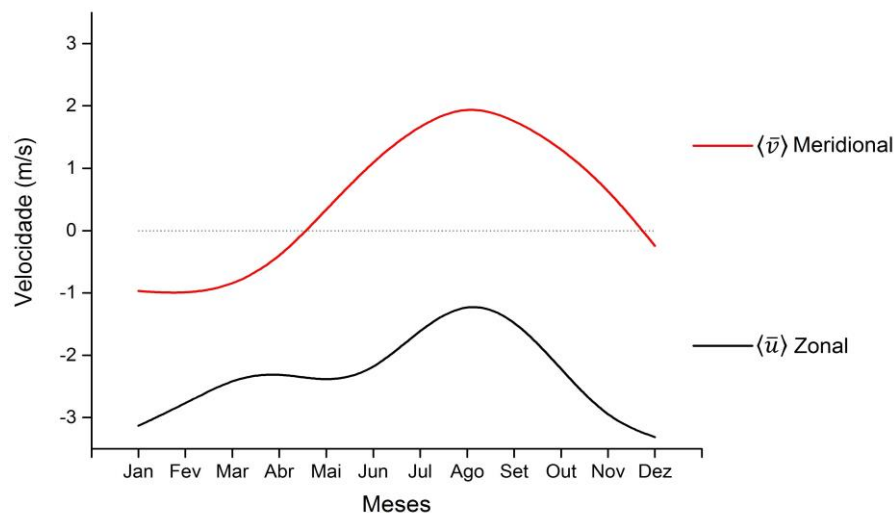


Figura 11. Médias residuais das componentes u e v do vento em cada mês (1983-2015) com base na reanálise MERRA.

Os resultados obtidos para a circulação oceânica superficial encontram-se dispostos na figura 12. Observa-se que a corrente de maior intensidade superficial atuando na região é a Corrente Norte do Brasil (CNB), possuindo vetores de maior magnitude em todos os meses ao longo do ano. No período de fevereiro a maio, ela flui majoritariamente para Noroeste, acompanhando a costa da América do Sul, e a partir de junho, uma fração dessa corrente inicia um movimento contrário à sua direção de propagação, próximo à latitude de 6°N , juntando-se à Contra-Corrente Norte Equatorial (CCNE), entre as latitudes 6°N e 8°N . No período de junho a setembro, observa-se um aumento da magnitude dos vetores localizados na CCNE em função da influência da retroflexão da CNB.

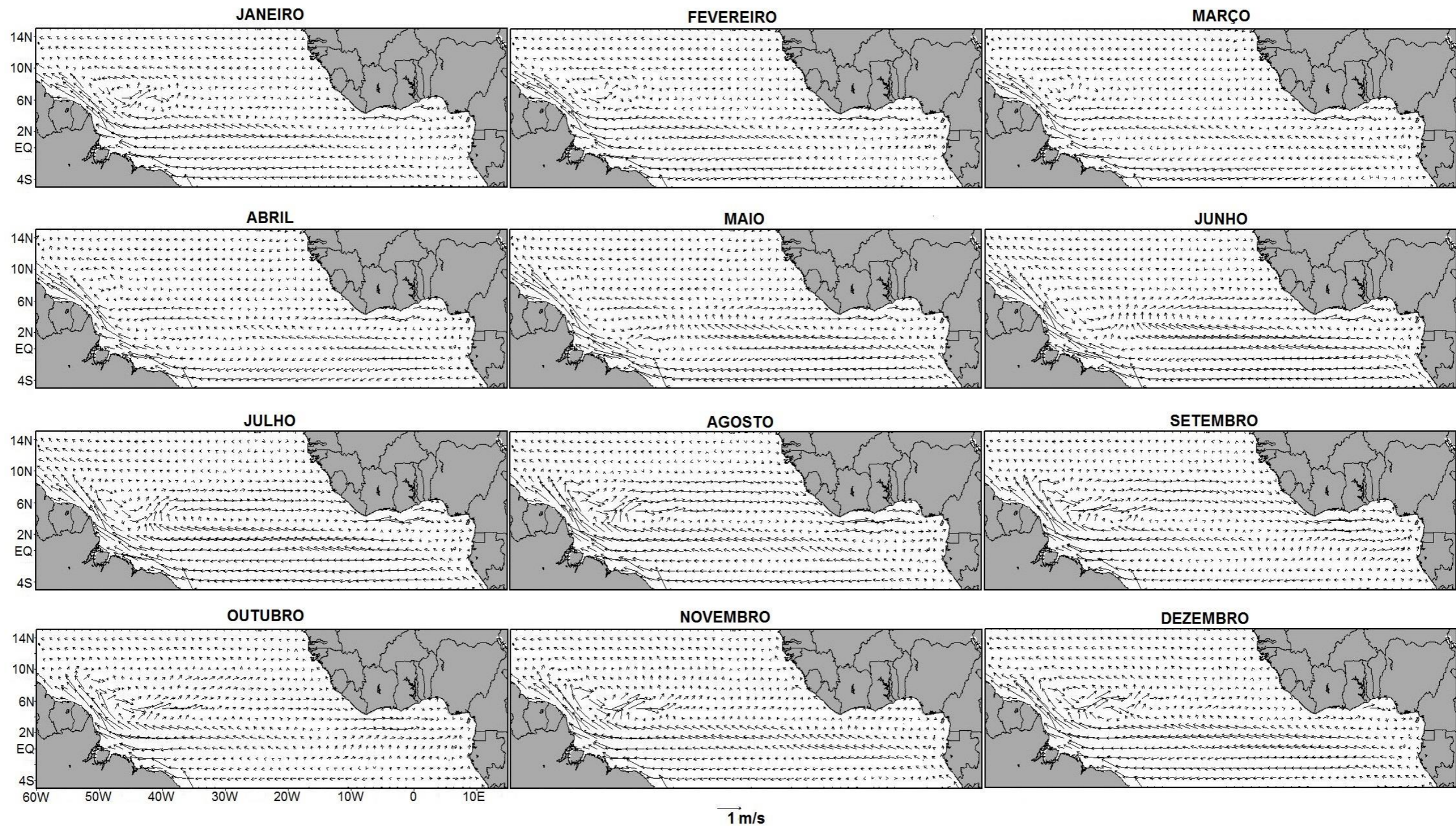


Figura 12. Circulação média das correntes superficiais oceânicas (1993-2015) com base na reanálise GLORYS2V4.

5.2 ESTUDO DE CASO PARA OS ANOS DE 2014 E 2015

Nesta seção serão apresentados os resultados referentes às variações mensais dos parâmetros estudados tendo como referência o estado médio histórico apresentado.

5.2.1 Regime Pluviométrico

Durante o ano de 2014, a precipitação anual em Tracuateua foi de 2066,3 mm. Os meses de fevereiro, abril e maio foram considerados como “muito chuvosos”, uma vez que ultrapassaram o quantil de 0,85 (figura 13), tendo uma precipitação mensal de 445,2 mm, 432,4 mm e 423,2 mm, respectivamente, totalizando juntos 62,9% do total anual. Os meses menos chuvosos foram os meses de setembro, novembro e dezembro, sendo os dois últimos classificados como “muito secos”, com uma precipitação de 0 e 0,6 mm respectivamente.

Em 2015, a precipitação anual foi de 1981,3 mm, sendo os meses de março e abril classificados como muito chuvosos, com precipitação mensal de 485,4 mm em março e 621,3 mm em abril, contribuindo com 55,8 % do total anual. O último quadrimestre do ano esteve todo classificado como muito seco, onde a precipitação foi nula em setembro e novembro, e em outubro e dezembro, o total mensal foi de 0,1 mm e 2,2 mm, respectivamente.

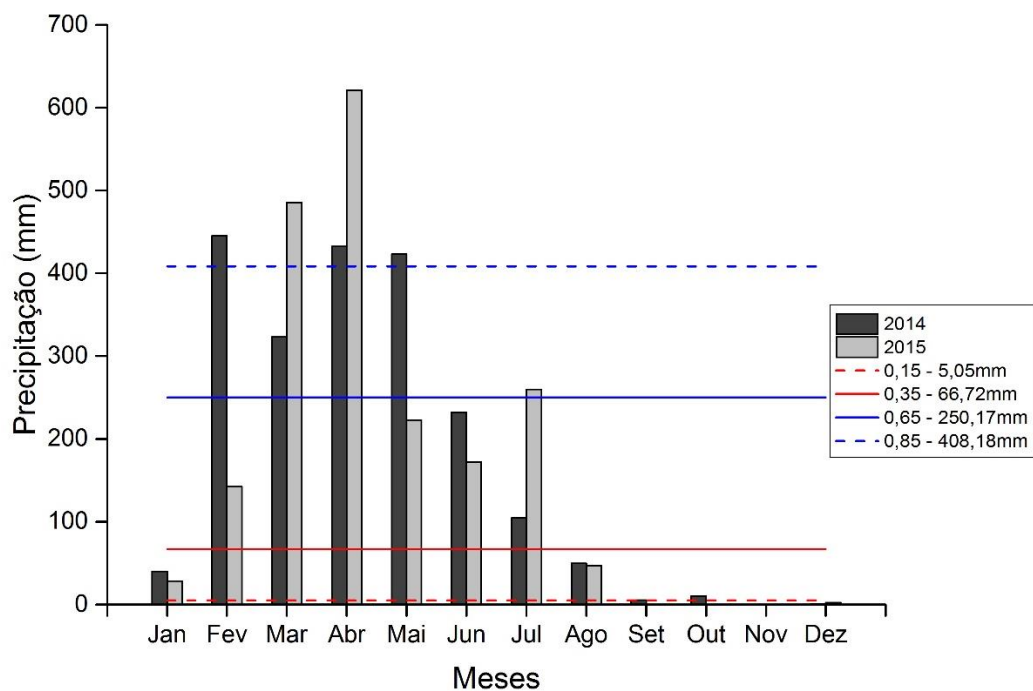


Figura 13. Precipitação mensal em Tracuateua nos anos de 2014 e 2015 e os intervalos de classificação com base na técnica dos Quantis (Xavier, 1999).

As anomalias de precipitação para os anos de 2014 e 2015 encontram-se na figura 14. No ano de 2014, os meses em que a anomalia ultrapassou os valores extremos foram os meses de janeiro, março e julho (extremos negativos) e fevereiro e maio (extremos positivos). Em janeiro, março e julho de 2014, a anomalia de precipitação foi de -192,08 mm e -117,30 mm e - 91,81 mm, respectivamente. Para o mês de fevereiro a anomalia de precipitação foi de 99,58 mm, e em maio o valor encontrado foi de 82,91 mm.

No ano de 2015, os meses que apresentaram anomalias extremas de precipitação foram janeiro, fevereiro, abril e maio. A anomalia de precipitação de janeiro, fevereiro e maio foi extremamente negativa, atingindo valores de -203,88 mm, -203,21 mm e -117,78 mm, respectivamente. O mês de abril foi o único a apresentar anomalia de precipitação extremamente positiva, chovendo 211,62 mm a mais do que o esperado. Em ambos os anos, os meses em que houveram eventos de *blooms* foram meses cujas anomalias de precipitação foram extremamente positivas.

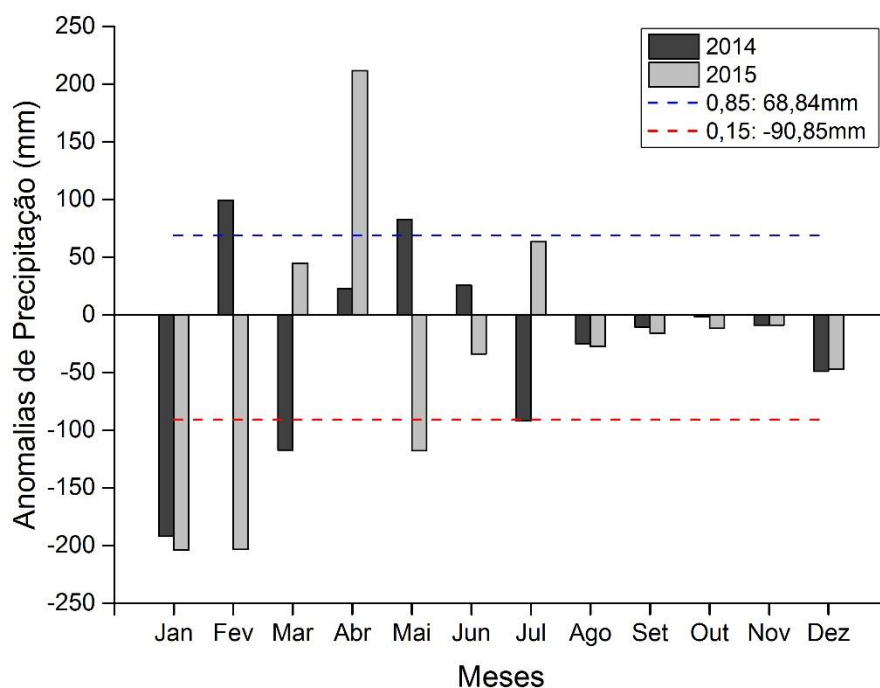


Figura 14. Anomalias de precipitação mensal nos anos de 2014 e 2015 delimitada sobre os percentis de 0,15 e 0,85

5.2.2 Ventos

No mês de janeiro de 2014 há uma atuação conjunta dos modos Norte, Nordeste e Leste, entretanto, a partir de fevereiro houve uma mudança na direção predominante, alterando-se para Norte, persistindo até o mês de maio (figura 15). Em junho há um domínio da direção Nordeste, e a partir de julho há dois modos de direção (Norte e Nordeste), com a Nordeste sendo predominante, o que perdura até o mês de dezembro, sendo que neste último mês há uma contribuição da direção Leste.

Em de janeiro de 2015 houve um predomínio da direção Nordeste, enquanto que em fevereiro há a atuação de três modos predominantes: Norte, Nordeste e Leste (figura 16). Em março e abril, ventos de Norte constituíram a maior fração da direção de chegada do vento, e a partir de maio ocorreu um domínio da direção Nordeste, persistindo até dezembro. Apesar de possuírem como primeiro modo a direção Nordeste, houveram meses nesse período onde outros modos estiveram presentes de forma significativa. Os meses de junho e julho apresentaram frações significativas das direções Norte e Leste, enquanto que novembro e dezembro possuíram frações significativas da direção Leste.

A velocidade do vento, tanto em 2014 quanto em 2015, esteve sempre inferior ou igual a 3,5 m/s durante todos os meses. Em ambos os anos ela esteve de forma dominante no intervalo de 0,5 a 2,0 m/s, com alguns meses possuindo velocidades no intervalo de 2,0 a 3,5 m/s. Observa-se que, nos meses em que houve a ocorrência dos eventos de *blooms*, a direção predominante do vento foi de Norte, com frequência de distribuição igual a 55,26% em maio de 2014 e 57,14% em abril de 2015.

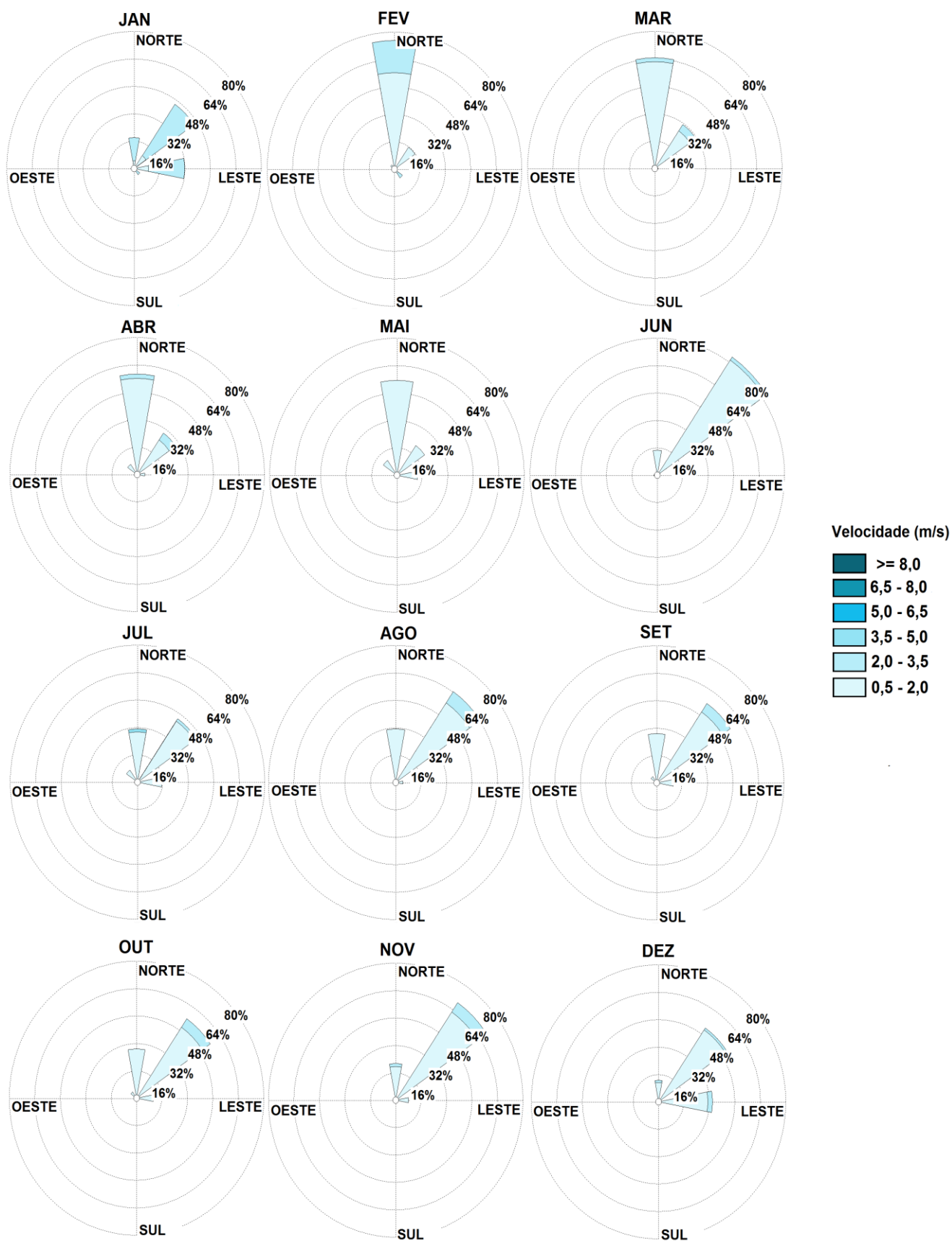


Figura 15. Frequências mensais de intensidade e direção do vento na estação meteorológica de Tracuateua em 2014.

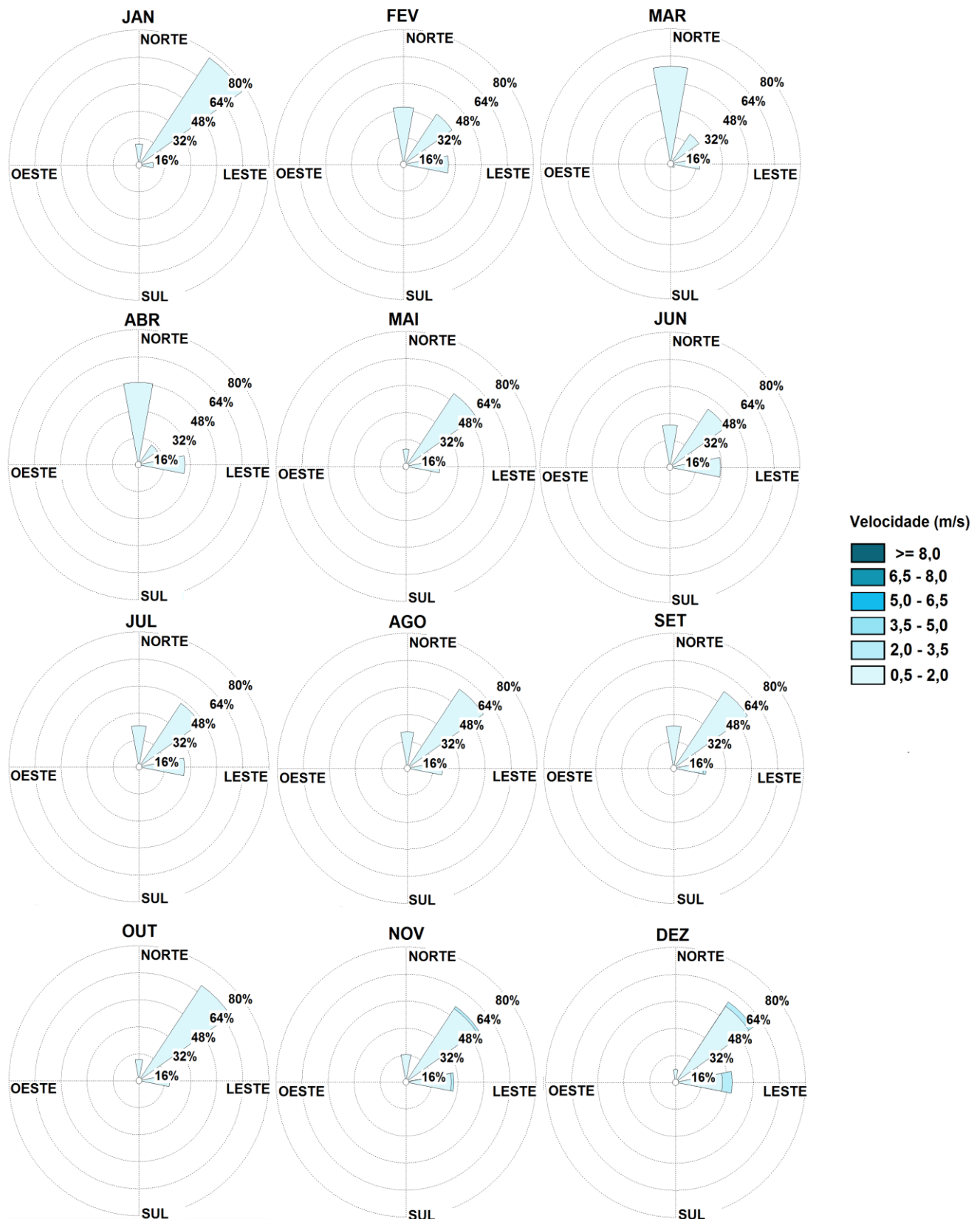


Figura 16. Frequências mensais de intensidade e direção do vento na estação meteorológica de Tracuateua em 2015.

5.2.3 Distribuição de parâmetros Meteorológicos e Oceanográficos

A figura 17, dispondo a distribuição espacial das anomalias de TSM e circulação de ventos em 2014, mostra que a região estudada esteve, em grande parte, anormalmente neutra ao longo do ano inteiro (anomalias inferiores a 0.5°C). Entretanto, houveram regiões pontuais em que foi possível verificar a formação de bolsões de água anormalmente quentes e frios. Em fevereiro, houve a formação de uma região mais fria, com anomalias negativas superiores à $1,5^{\circ}\text{C}$, próxima a costa do continente africano no hemisfério norte, entre 15°W e 25°W . Tal região evolui no mês de março, ampliando sua área até -40°W , e em abril começa a dissipar-se. No mês de maio ocorre a formação de uma região mais aquecida (valores entre 1 e $1,5^{\circ}\text{C}$), próxima à costa africana, entre as latitudes 2°N e 4°S . No período de junho a outubro, grande parte da bacia esteve neutra, possuindo locais com anomalias de TSM inferiores a 1°C , e em novembro e dezembro tem-se o surgimento de uma área com anomalias negativas, localizada próxima ao equador, na porção central da bacia.

As anomalias no campo de circulação do vento, ainda na figura 16, mostram que houve uma variação anual muito grande nas direções de propagação do transporte líquido de massa, dessa forma, haverá um maior foco na região mais próxima da costa paraense, localizada entre $1^{\circ}\text{S}, 50^{\circ}\text{W}, 9^{\circ}\text{N}$ e 40°W , representada pelo polígono na figura. No mês de janeiro houve um transporte preferencial no sentido Sul-Norte, com os vetores direcionando-se para o hemisfério norte, já em fevereiro o sentido preferencial é de Leste-Oeste. No mês de março ocorre um enfraquecimento das anomalias, e em abril inicia-se uma propagação com sentido preferencial Norte-Sul, persistindo até junho. Em julho e agosto, houve um transporte orientado em Nordeste-Sudoeste, em setembro os vetores posicionam-se orientados para Oeste, e a partir de outubro ocorre um transporte preferencial de Sul para Norte, persistindo até dezembro.

Ainda para a região do polígono delimitado, no primeiro trimestre de 2014, as anomalias de correntes tiveram um fluxo em sua maioria caótico, sem direção pré-definida. No mês de abril ocorre um fluxo para oeste, e em maio tem-se a formação de um fluxo de norte para sul na região mais próxima a costa paraense (figura 18). No mês de junho ocorre um enfraquecimento dos vetores, e a partir de julho, até dezembro, as anomalias encontram-se em um fluxo caótico, sem direção preferencial.

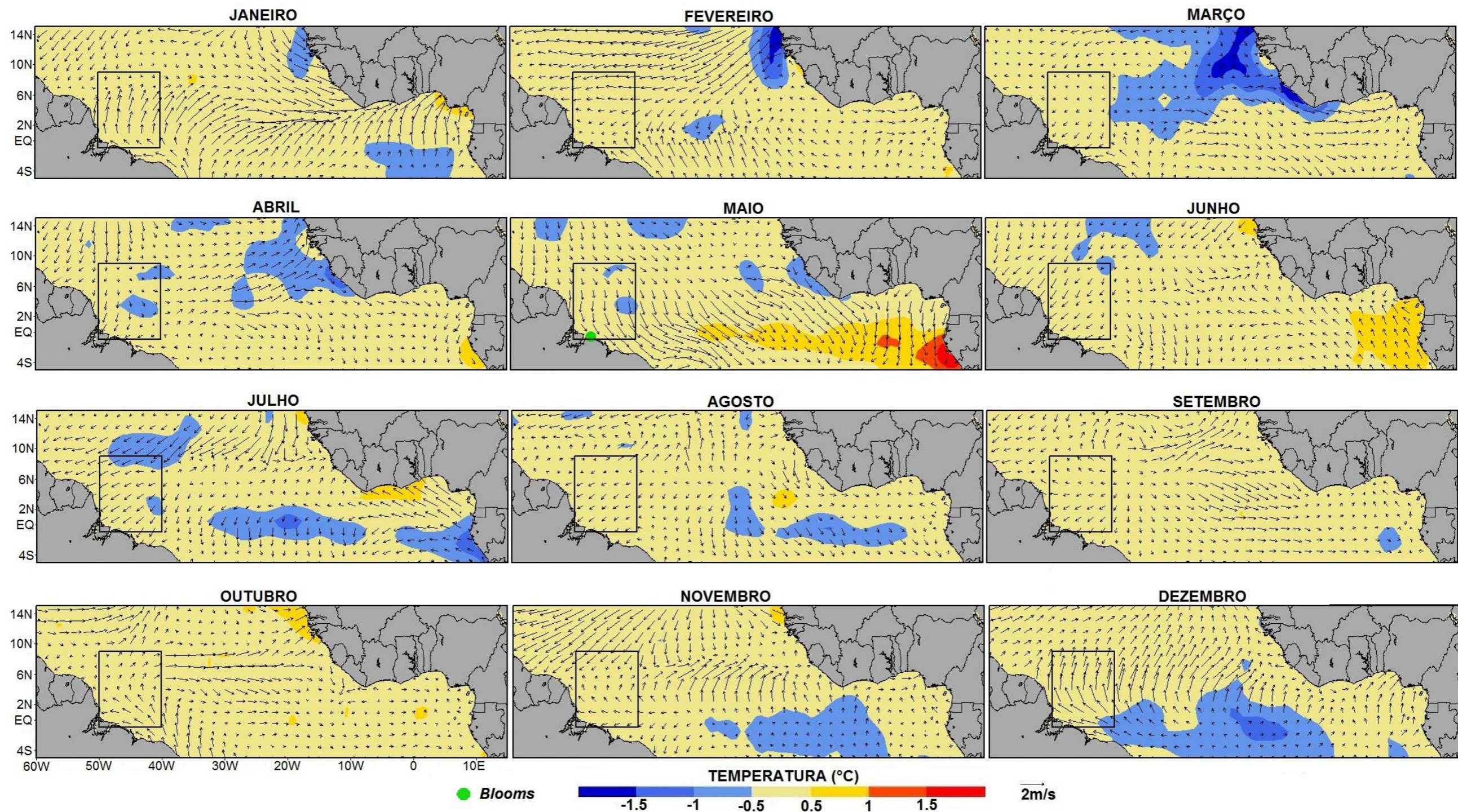


Figura 17. Distribuição espacial das anomalias de TSM e circulação de ventos em 2014 com base nas reanálises MERRA e OISSTV2.

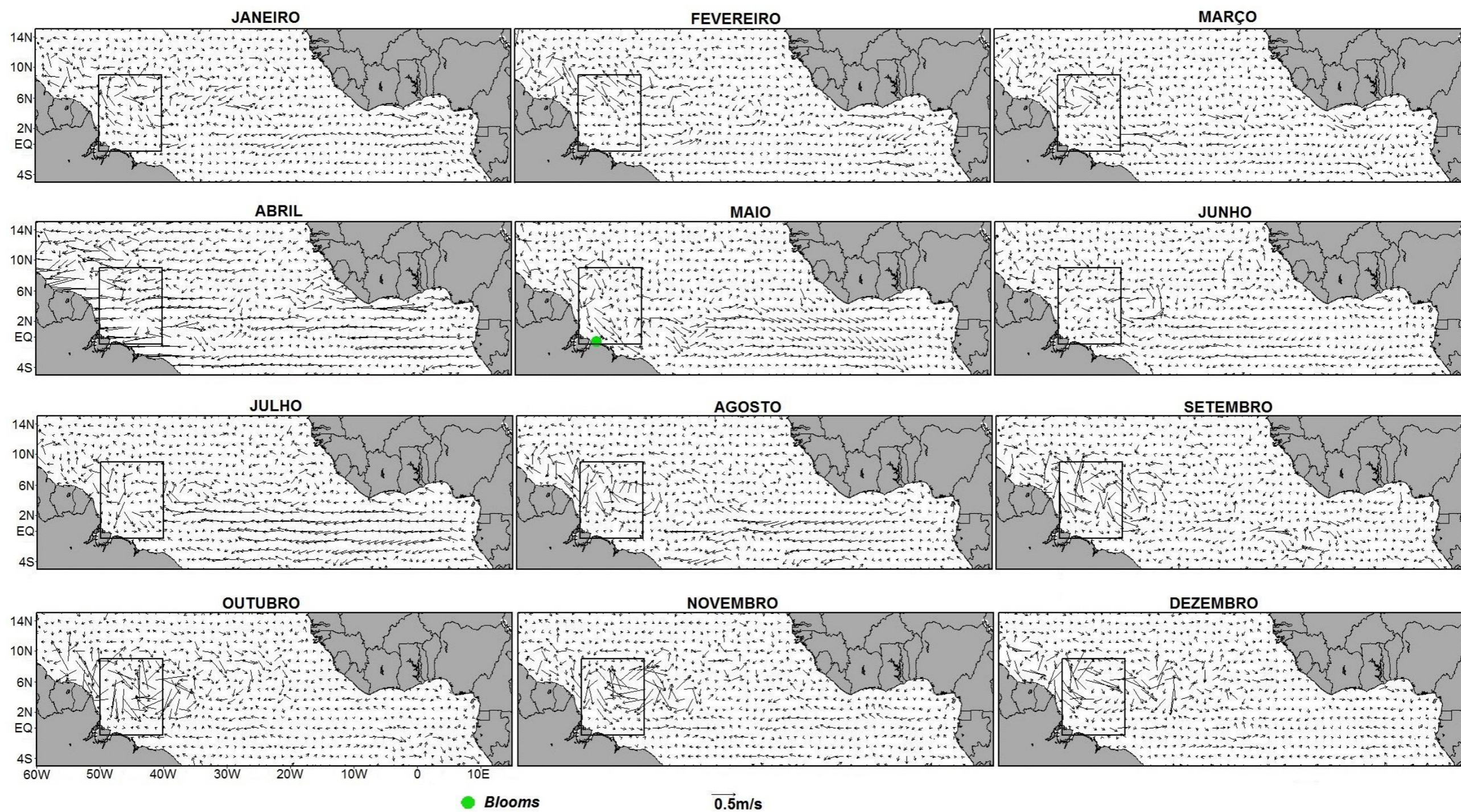


Figura 18. Distribuição espacial das anomalias de correntes superficiais em 2014 com base na reanálise GLORYS2V4.

Em 2015, no período de janeiro a abril, grande parte da bacia esteve anormalmente neutra, excetuando-se uma região com anomalias negativas próximas ao continente africano (figura 19). Durante o mês de maio ocorre o surgimento de uma área mais aquecida na porção Leste da bacia, obtendo valores de anomalia positiva acima de $1,5^{\circ}\text{C}$. No mês de junho a região encontra-se com anomalias neutras, e de julho a setembro observam-se pequenas frações do oceano com anomalias positivas fracas ao norte e negativas fracas ao sul. No último trimestre, tem-se um predomínio de anomalias positivas, posicionando-se à Norte, ao Centro e a Leste, nos meses de outubro, novembro e dezembro, respectivamente.

Ainda na figura 19, as anomalias do vento, para a região mais próxima a costa paraense, mostram que no período de janeiro a março, há um transporte sobretudo de Sul para Norte. A partir do mês de abril, até junho, ocorre um transporte de massa líquido preferencialmente de Norte para Sul. Nos meses de julho e agosto a direção predominante do transporte foi de Leste, em setembro e outubro ocorrem dois modos de transporte, para Norte, acima de aproximadamente 3°N , e para Sul, abaixo dessa posição. Por fim, nos meses de novembro e dezembro há um transporte orientado para Sul.

As anomalias das correntes superficiais (figura 20) mostram que nos meses de janeiro e fevereiro há um predomínio de correntes mais intensas na região da retroflexão da CNB, e nos meses de março e abril, ocorre um enfraquecimento das anomalias nessa região, assim como uma atuação do fluxo no sentido Noroeste-Sudeste em regiões mais próximas à costa paraense. Durante maio e junho há, sobretudo, um enfraquecimento dos vetores próximos ao litoral Paraense, e a partir de julho o fluxo anômalo adquire um padrão caótico, perdurando até o mês de dezembro.

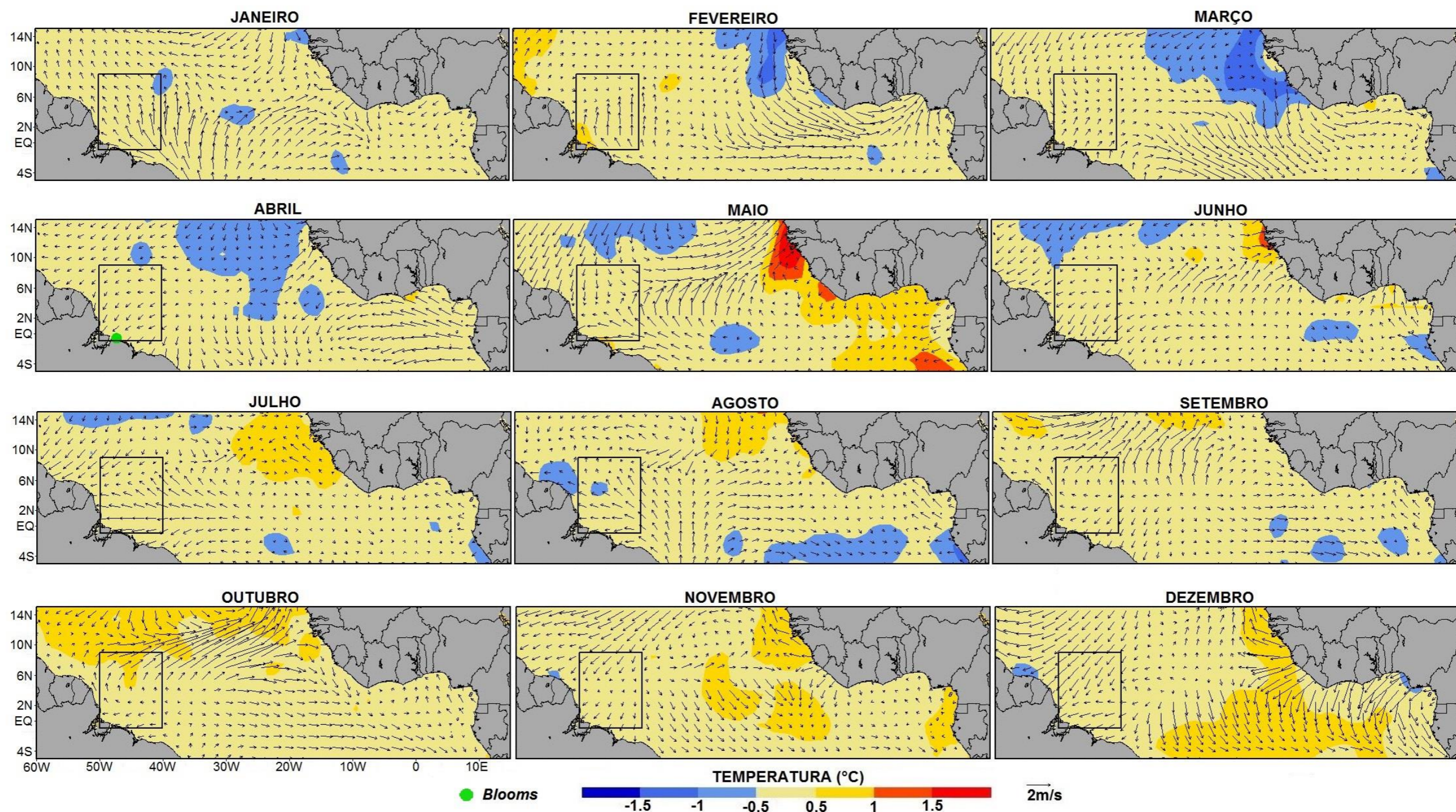


Figura 19. Distribuição espacial das anomalias de TSM e circulação de ventos em 2015 com base nas reanálises MERRA e OISSTV2.

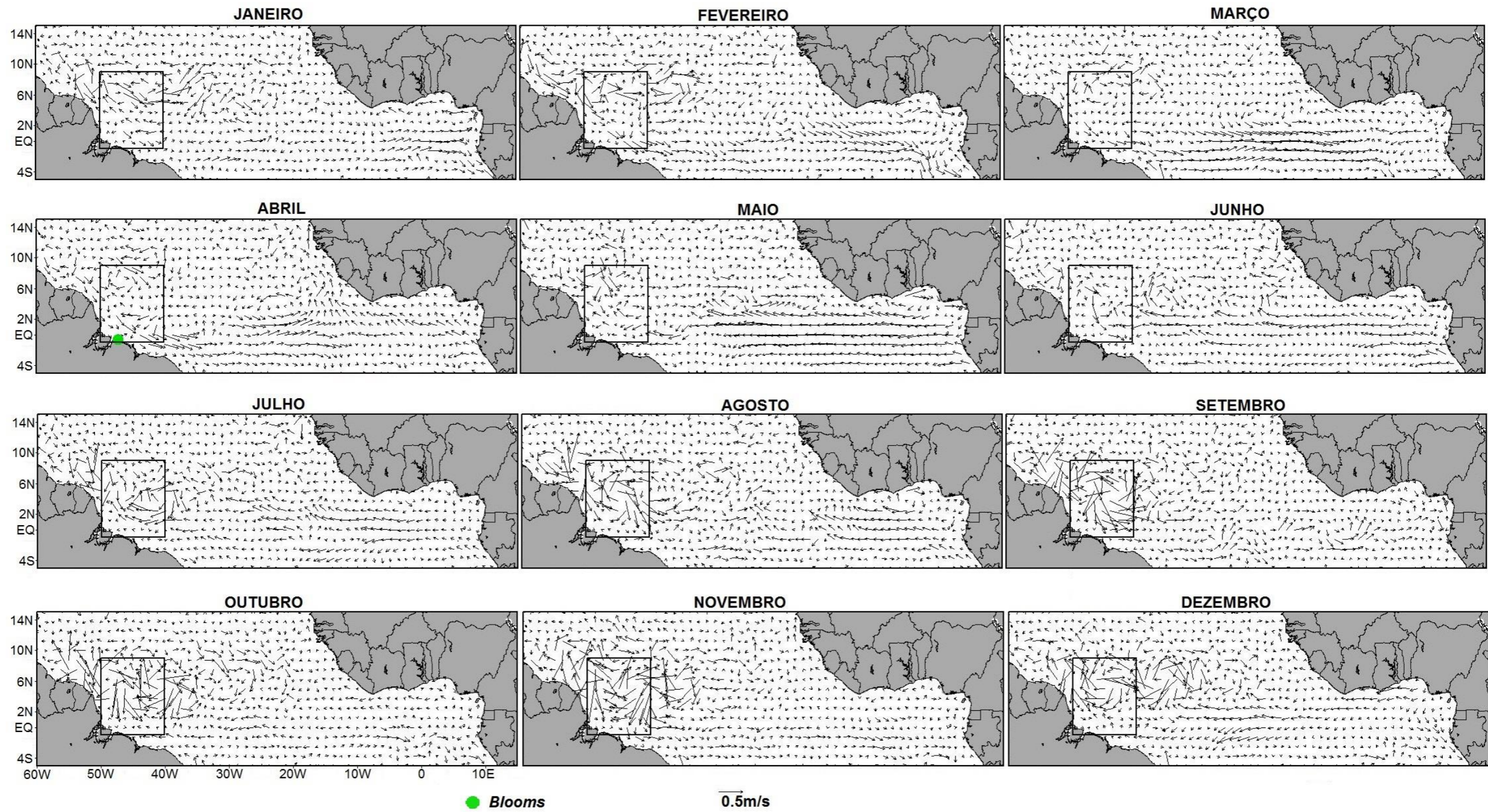


Figura 20. Distribuição espacial das anomalias de correntes superficiais em 2015 com base na reanálise GLORYS2V4.

5.2.4 Estimativas da precipitação sobre o Atlântico Equatorial

Os resultados obtidos para as estimativas de precipitação sobre a porção do Atlântico Equatorial estudada, em 2014 e 2015, encontram-se dispostos nas figuras 21 e 22, respectivamente. É possível observar que em ambos os anos há uma variação zonal dos máximos de precipitação, migrando de uma posição mais ao Sul da região de estudo, durante janeiro a maio, para uma posição mais ao Norte da região durante junho a dezembro.

Em 2014 (figura 21), observa-se que, o período de fevereiro a maio foi aquele em que o litoral Paraense esteve sob maior influência dessa banda de precipitação, em grande parte, próximo a áreas com precipitação entre 500 e 700 mm/mês. Durante os meses de junho a dezembro, o gradual afastamento dessa zona faz com que haja uma diminuição dos níveis de precipitação sobre o litoral paraense, permanecendo inferior a 100 mm/mês a partir de agosto.

No ano de 2015 (figura 22), os meses em que o litoral Paraense esteve, em sua maioria, sob maior influência da zona de precipitação, foram os meses de fevereiro a abril, sendo que nos meses de março e abril nota-se a presença de regiões com taxas acima de 600mm sobretudo próximas onde localizam-se os municípios de Tracuateua e Salinópolis. A partir do mês de maio há uma diminuição da influência dessa banda de precipitação sobre o Pará, iniciando sua migração para o hemisfério Norte, onde permanece até o mês de dezembro.

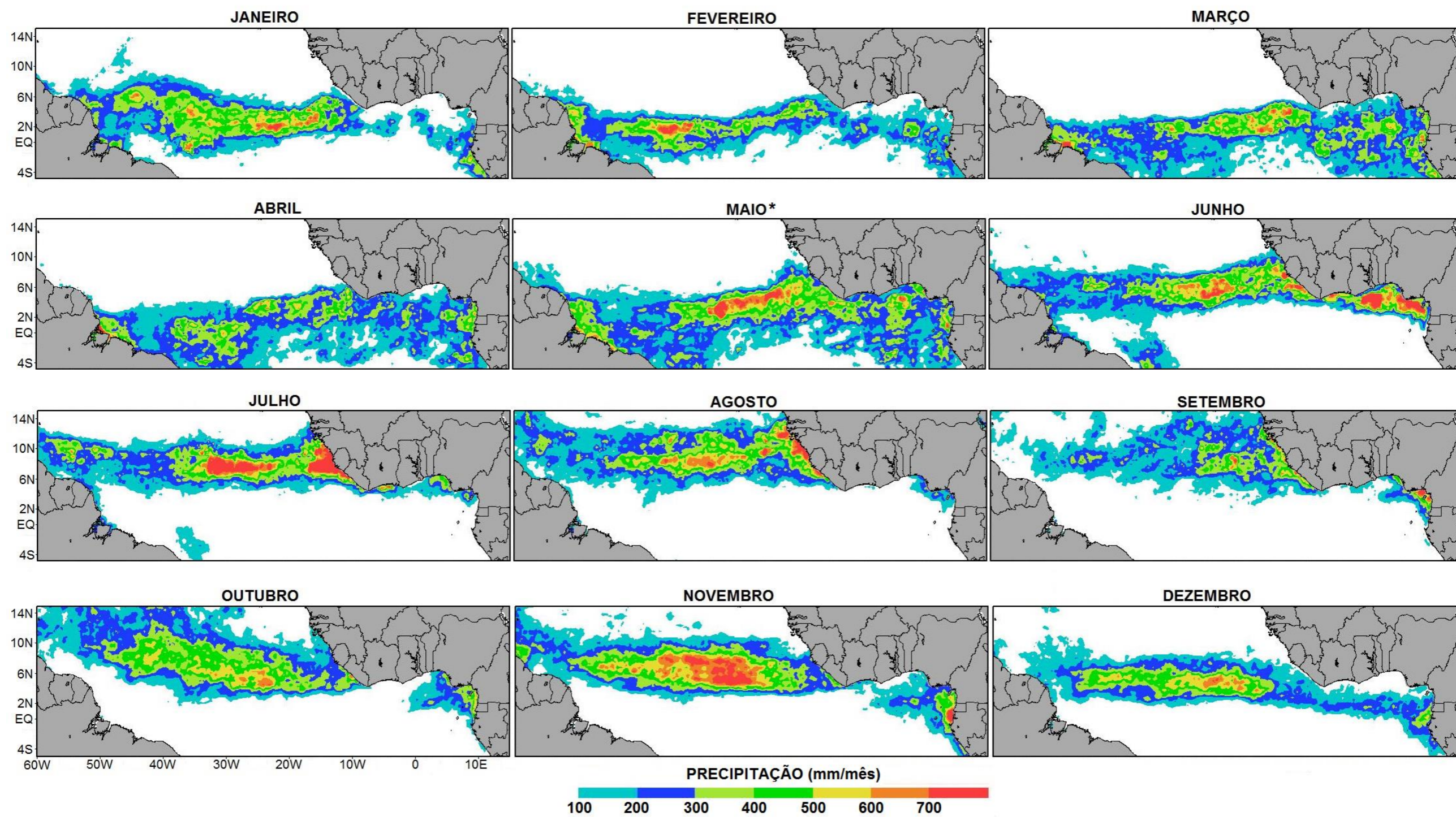


Figura 21. Distribuição espacial das taxas de precipitação em 2014 com base na reanálise TRMM. * Mês de ocorrência do *blooms*.

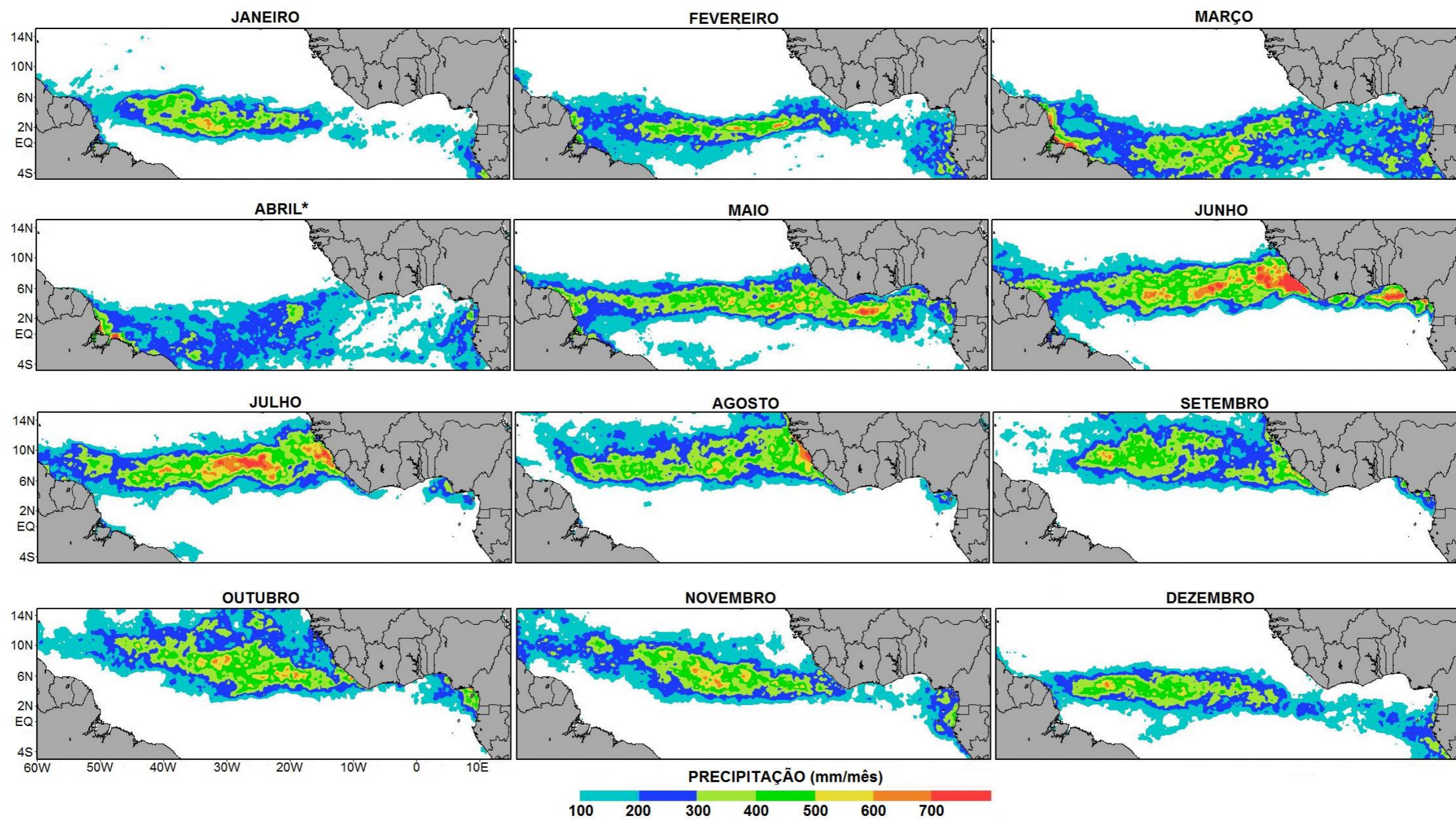


Figura 22. Distribuição espacial das taxas de precipitação em 2015 com base na reanálise TRMM. * Mês de ocorrência do *blooms*.

6 DISCUSSÃO

6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS GERAIS DA REGIÃO

A análise da série histórica do vento, obtida através da estação meteorológica de Tracuateua-PA, mostrou que a direção predominante do vento no litoral Paraense, durante o período de janeiro a maio, é sobretudo Norte (19%), Nordeste (32%) e Leste (42%); enquanto que a direção predominante a partir do mês de junho é Leste (53%) e Nordeste (35%). Isso ocorre devido à intensificação dos ventos alísios de Sudeste atingindo seu auge entre os meses de agosto e setembro, enquanto que no primeiro semestre há, sobretudo, maior influência dos ventos alísios de Nordeste. A banda de convergência dos ventos alísios superficiais, espalhada pela bacia oceânica inteira, define a ZCIT, sendo que esta possui uma migração anual acoplada à variabilidade térmica do Atlântico Tropical. De acordo com Nobre (1996), o padrão espacial predominante do ciclo anual e da variabilidade interanual das TSM e ventos à superfície sobre o Atlântico apresenta uma estrutura norte-sul mais pronunciada do que a estrutura leste-oeste.

A ZCIT apresenta uma migração meridional sazonal a partir de uma posição aproximadamente equatorial em fevereiro/março para até 8N em agosto/setembro no setor oeste do Atlântico, e de 14N no setor leste (Hastenrath & Lamb, 1977). Desta forma, refletindo a migração da ZCIT, o período chuvoso da região coincide com o posicionamento mais ao sul da ZCIT, próxima ao Equador, enquanto que o período seco coincide com a migração mais ao norte desse sistema. Sendo assim, o deslocamento meridional da ZCIT no Atlântico é um dos principais responsáveis pelo estabelecimento do regime de chuvas no município de Tracuateua e adjacências.

Os resultados obtidos para o cenário médio das correntes superficiais estiveram de acordo com o encontrado na literatura, apontando a CNB como a corrente superficial de maior velocidade na região. De acordo com Moraes (2011), entre o final do verão e outono (de fevereiro a junho), a CNB tende a apresentar um fluxo contínuo ao longo da costa brasileira, no sentido noroeste. Johns *et al.* (1990), caracterizaram esse padrão como sendo um aumento no fluxo da CNB sobre o talude continental. Já entre o inverno e verão (de julho a janeiro), a CNB retroflete para leste alimentando a CCNE, após a sua passagem pelo equador, entre 5°N e 10°N (Flagg *et al.*, 1986; Field, 2005), diminuindo assim, o seu fluxo sobre o talude continental. Franks *et al.* (2016) sugerem que, nos meses em que ocorre a retroflexão da CNB e a alimentação da CCNE, há o estabelecimento de uma região denominada Região de

Recirculação Norte Equatorial (NERR), e o *Sargassum* sp. pelágico pode ser retido nos meses de julho a setembro nessa área.

6.2 ESTUDO DE CASO PARA OS ANOS DE 2014 E 2015

Segundo Costa (2016), apesar de maio de 2014 não ter sido o mês mais chuvoso da região, foi o mês em que mais ocorreram eventos extremos de precipitação, devido a reorganização dos sistemas atmosféricos na região, que passa a ter maior presença das instabilidades tropicais e com forte participação da ZCIT.

No ano de 2015, o mês de abril, além de ter sido o mais chuvoso do ano, foi também o mês em que as anomalias estiveram extremamente positivas. Os elevados valores de anomalias positivas de precipitação nesses períodos podem estar associados à presença de linhas de instabilidade tropicais. Estudos preliminares feitos por Cohen, Silva Dias e Nobre (1989) mostraram que estas LI's contribuem com até 45% da chuva que cai durante o período chuvoso no nordeste paraense, sendo que estas podem originar-se devido a convergência associada à ZCIT, que com base nos resultados de precipitação sobre o Atlântico Equatorial, encontrou-se localizada sobre a região durante a ocorrência dos eventos.

Não houve variabilidade anual, significativa, das anomalias de TSM em 2014 e 2015, permanecendo neutras em grande parte da bacia durante os dois períodos. A principal diferença concentrou-se no último trimestre, quando em 2014 houve um resfriamento fraco das águas, e em 2015 um aquecimento. Na tabela 3, observa-se que 2015 foi um ano de El-Niño, o que pode justificar o aquecimento das águas no Atlântico Equatorial durante esse período, uma vez que estudos apontam a existência de diferentes padrões de evolução das anomalias de TSM no Atlântico Equatorial em relação as teleconexões com o ENOS (Kayano *et al.* 2011; Araújo *et al.* 2013). Durante os meses de ocorrência dos *blooms* não foi possível verificar relação direta da TSM' e eventos de encalhe de algas.

Tabela 3. Índices de El-Niño para os trimestres referentes ao ano de 2014 e 2015 (Cores em vermelho indicam El-Niño).
Fonte: NOAA 2017.

	Meses (Trimestre)											
	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6

6.3 CONDIÇÕES FAVORÁVEIS AO TRANSPORTE DE *SARGASSUM*

No trabalho de Gower *et al.* (2013), observações de satélite mostraram uma nova área fonte de *Sargassum* sp. no oceano Atlântico, localizada ao norte da foz do rio Amazonas, centrada em 7°N e 45°W (figura 23). Segundo os mesmos autores, as observações ampliam consideravelmente a área sobre a qual o *Sargassum* sp. pelágico é conhecido por crescer e formar balsas, mesmo que esse crescimento possa ocorrer esporadicamente. Sendo assim, tal área pode ser a fonte das algas encalhadas no município de Salinópolis, transportadas pelo vento e correntes em períodos nos quais as anomalias dos campos superficiais estiveram favoráveis à chegada na costa Paraense.

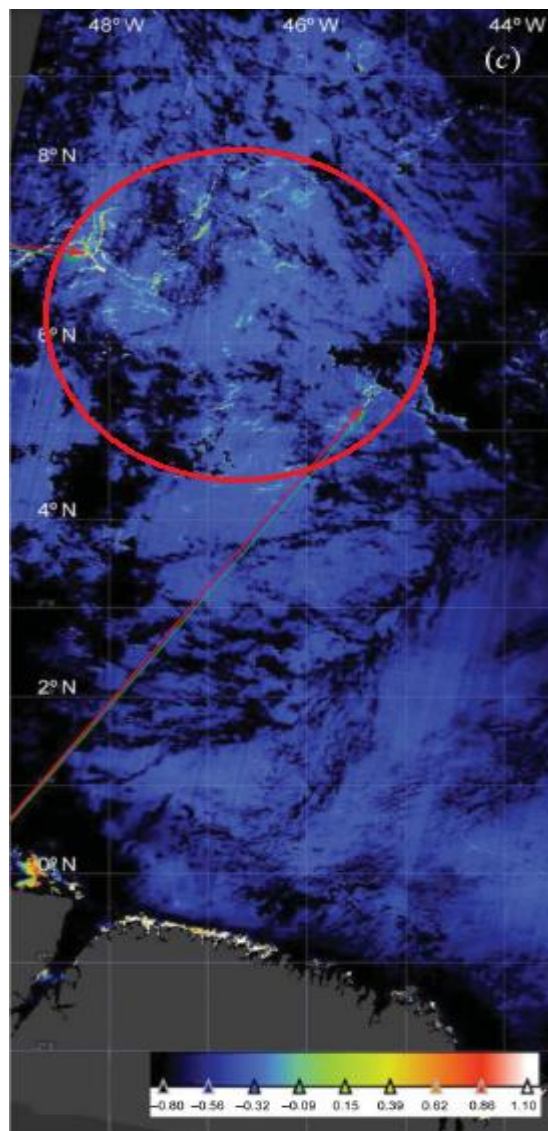


Figura 23. Área fonte de *Sargassum* sp identificada no trabalho de Gower *et al.*, 2013. Fonte: Adaptado de Gower *et al.*, 2013.

Os resultados obtidos demonstram que, nos meses de ocorrência dos eventos, houve um predomínio do transporte líquido de massa, tanto oceânico quanto atmosférico, de regiões ao Norte para o litoral Paraense (figuras 24 e 25). Por mais que em 2014 tenham ocorrido anomalias mais intensas, observa-se que em ambos os anos houve uma semelhança entre as anomalias, ambas se direcionando do hemisfério Norte para a costa. Sissini *et al.* (2017), sugerem que alterações no padrão de circulação superficial no Atlântico poderiam ser responsáveis pelas massas de *Sargassum* sp. observadas em 2015 em novas áreas. Ainda no mesmo trabalho, os autores identificaram uma área próxima de 10°N e 50°W com grandes concentrações de *Sargassum* sp. no mês de abril de 2015.

Outro fator a ser considerado são os elevados níveis de precipitação durante os meses de ocorrência devido à presença do arco de precipitação oriundo da ZCIT, uma vez que as tempestades podem atuar como um mecanismo capaz de fragmentar biomassas de algas, facilitando seu transporte, bem como aumentando o aporte de nutrientes continentais, favoráveis ao crescimento de algas (Cronin & Hay 1996; McCook 1999). Além disso, Barrett *et al.* (2017), verificaram que a passagem de sistemas meteorológicos pode induzir à mudanças na circulação superficial oceânica e no campo de ventos superficiais.

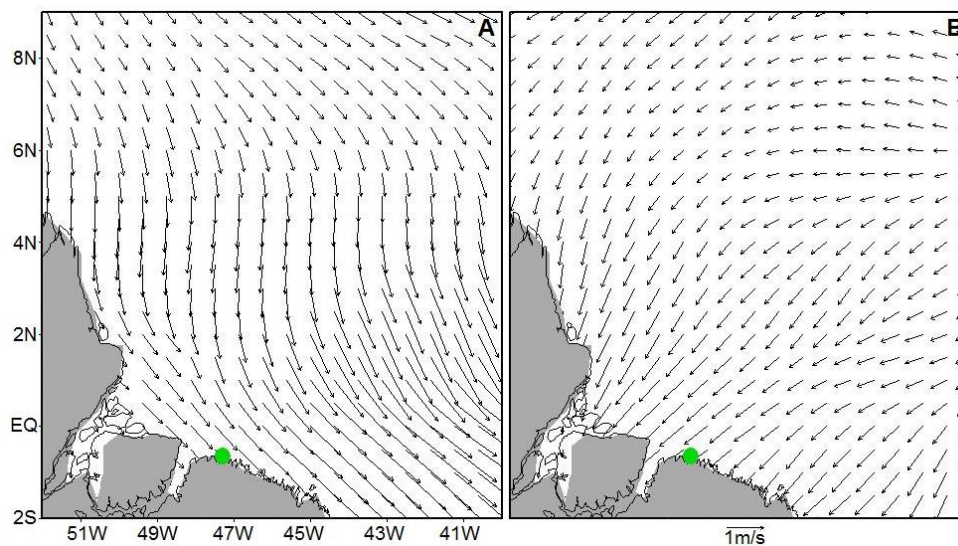


Figura 24. Anomalias dos ventos superficiais próximas ao litoral Paraense durante os meses de ocorrência dos *blooms*. A) maio 2014; B) abril 2015.

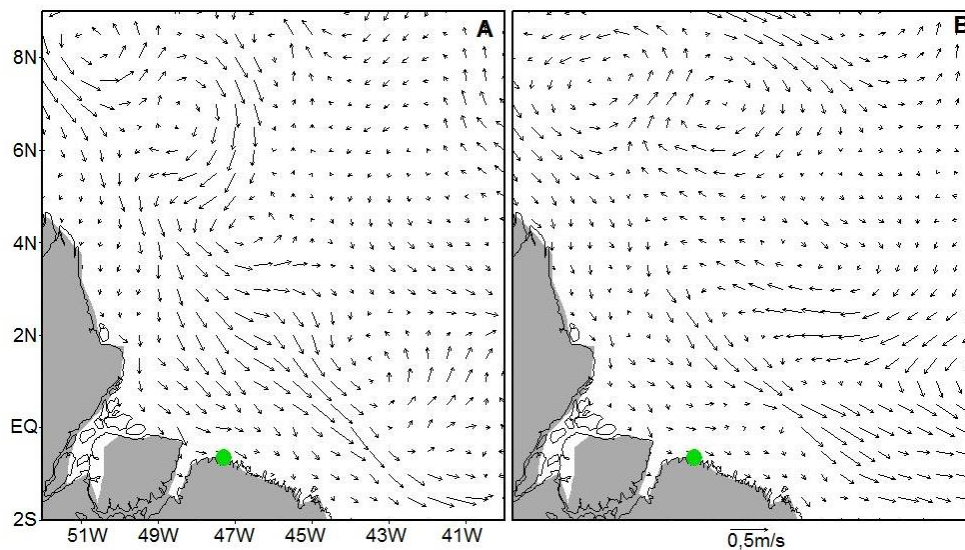


Figura 25. Anomalias de correntes superficiais próximas ao litoral Paraense durante os meses de ocorrência dos *blooms*. A) maio 2014; B) abril 2015.

Segundo Zhong (2012), as algas do gênero *Sargassum* sp. alinham-se com o vento local, e de acordo com Cavalcante (2007), a influência dos ventos incidentes perpendiculares à costa é mais intensa sobre a dinâmica das águas costeiras do Pará em comparação a componente paralela à costa. Desse modo, o predomínio da direção Norte, nos meses de ocorrência dos *blooms*, verificada na estação meteorológica, juntamente com o cenário já citado, demonstra mais um indicativo de condições favoráveis ao transporte dessas algas, na tabela 4 é possível observar as condições atuantes na região durante os meses dos eventos. De acordo com Schell *et al.* (2015), nos anos de 2014 e 2015, a concentração das formas de *Sargassum* sp. localizadas à oeste no Atlântico tropical esteve cerca de 300 vezes maior que de qualquer outro outono nas últimas duas décadas, sustentando a hipótese de que essa região foi possivelmente a fonte das algas.

Tabela 4. Condições físicas durante os eventos de *blooms*

Evento	Condições			
	Vento (Estação)	V' (Vento)	V' (Correntes)	ANM (mm)
Maio de 2014	Norte	N e NO	NO	+ 82,91
Abril de 2015	Norte	NE	NO	+ 211,62

7 CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho sugerem que nos anos de 2014 e 2015, a região marinha adjacente ao nordeste paraense apresentou condições físicas favoráveis às ocorrências de *blooms* de *Sargassum* sp. nas praias de Salinópolis-PA. Através da análise descritiva apresentada, as anomalias de TSM não justificaram as ocorrências dos *blooms* estudados. Dessa forma, tais eventos no litoral Paraense, que ocorreram durante o período chuvoso da região, estiveram possivelmente associados a efeitos combinados de precipitação convectiva, em virtude da presença da ZCIT, e transporte de massa, tanto atmosférico quanto oceânico, no sentido Norte-Sul direcionado à costa. Observou-se que nos meses de ocorrência dos eventos, esses fatores apresentaram padrões semelhantes sobre a região.

Os resultados sugerem ainda que as algas do gênero *Sargassum* sp., que atingiram o litoral de Salinópolis foram, possivelmente, transportadas de uma região localizada na porção Oeste do Atlântico Equatorial, sobretudo próxima à foz do rio Amazonas, onde trabalhos anteriores indicaram a presença de grande biomassa dessas algas. A inter-relação dos seguintes fatores: elevados índices de precipitação (indicando a presença de atividade convectiva na atmosfera), anomalias do vento orientado para Sul e anomalias de correntes superficiais oceânicas direcionadas para o litoral Paraense podem ser considerados como bons indicadores da ocorrência desses eventos na região. Num contexto de previsibilidade, os resultados sugerem que a combinação desses padrões ocorre preferencialmente no período chuvoso da região, durante os meses em que a ZCIT exerce maior influência sobre o clima regional.

Espera-se que os resultados obtidos no presente trabalho possam servir como subsídios, aos setores governamentais, no estabelecimento de ações de contenção de riscos e de gerenciamento costeiro contra os efeitos negativos do encalhe dessas algas. Isto pode ser positivo as comunidades locais, uma vez que esses fenômenos influenciam diretamente nas atividades econômicas locais. Ainda, espera-se que mais estudos sejam realizados visando entender fatores relacionados ao crescimento e manutenção dessas algas em regiões *offshore*.

REFERÊNCIAS

- Almeida C.T., Delgado R.C., Junior J.F.O., Gois G., Cavalcanti A.S. 2015. Avaliação das estimativas de precipitação do produto 3b43-TRMM do estado do Amazonas. *Floresta e Ambiente*, **22** (3): 279-286.
- Araújo R.G., Andreoli R.V., Candido L.A., Kayano M.T., Souza R.A.F. 2013. A influência do evento El-Niño-Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. *Acta Amazônica*, **43**(4):469-480.
- Barret B.S., Davies A.R., Rose J. 2017. Wind-Driven Response of the Upper Ocean Along the U.S. West Coast to Tropical MJO Convection. *Journal of Geophysical Research: Oceans*.
- Bezerra A.C.N. & Cavalcanti E.P. 2008. Energia estática sobre o Norte e Nordeste do Brasil relacionada com a temperatura da superfície do mar. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **23**(2):239-263.
- Butler J. N., Morris B. F., Cadwallader J., Stoner A. W. 1983. Studies of *Sargassum* and the *Sargassum* community. Bermuda Biological Station for Research St Georges 22.
- Carpenter E J. 1970. Diatoms attached to floating *Sargassum* in the western Sargasso Sea. *Phycologia*, **9**:269–274.
- Cavalcante G.H. 2007. *Processos oceanográficos na região costeira e estuarina do rio Caeté, Pará, Brasil*. PhD Thesis, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 139p.
- Cohen J.C., Silva Dias M.A.F., Nobre C. 1989. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. *Climanálise*. **4** (11): 34-40.
- Costa T., Wollmann, A. 2016. Eventos de precipitação extrema e impacto meteórico na bacia hidrográfica do igarapé Cereja, área urbana de Bragança-Pa, durante o inverno amazônico de 2014. *Revista do Departamento de Geografia USP*, volume especial:51-69.
- Coston-Clements L., Settle L. R., Hoss D. E., Cross F. A. 1991. *Utilization of the Sargassum habitat by marine invertebrates and vertebrates: a review*. NOAA. Technical Memorandum NMFS-SEFSC-296
- Cronin G. & Hay M.E. 1996. Effects of light and nutrient availability on the growth, secondary chemistry, and resistance to herbivory of two brown seaweeds. *Oikos* **77**: 96–106.
- Ferreira C.E.L., Junqueira A.O.R., Villac A M.C., Lopes R.M. 2009. Marine bioinvasions in the Brazilian Coast: brief report on history of events, vectors, ecology, impacts and management of non-indigenous species. In: Rilov G. & Crooks J.A. (Ed.). *Biological invasions in marine ecosystems*. Springer, Berlin. p. 459–477.
- Ferreira N.S. 1996. Zona de Convergência Intertropical. *Climanálise Especial*, **11**:135- 140.
- Ffield A. 2005. North Brazil Current Rings Viewed by TRMM Microwave Imager SST and the Influence of the Amazon Plume. *Deep-Sea Research*, **52**:137–160.
- Fine M.L. 1970. Faunal variation on pelagic *Sargassum*. *Marine Biology*, **7**:112–122.

Flagg C., Gordon R. L., MCDowell S. 1986. Hydrographic and current observations on the continental slope and shelf of the western equatorial Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, **16**:1412-1429.

Garric G., Parent L., Greiner E., Drévilion M., Hamon M., Lellouche J.M., Regnier C., Desportes C., Galloudec O., Bricaud C., Drillet Y., Hernandez F., Traon P.Y.2017. Performance and quality assessment of the global ocean eddy-permitting physical reanalysis GLORYS2V4. *Geophysical Research Abstracts*, **19**.

Gower J. F. R., Young E., King S. 2013. Satellite images suggest a new *Sargassum* source region in 2011. *Remote Sensing Letters*. **4**:764–773.

Hansson L. J., Moeslund O., Kiorboe T., Rissgard H. U. 2005. Clearance rates of jellyfish and their potential predation impact on zooplankton and fish larvae in a neritic ecosystem (Limfjorden, Denmark). *Marine Ecology Progress Series*, **304**: 117-131.

Hastenrath S. & Heller L. 1977. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **103** (435):77-92.

Hastenrath S.1984. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. *Monthly Weather Review*, **112**:1097-1107.

Hastenrath S. & Lamb P.J. 1977. *Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans*. University of Wisconsin Press, 177 p.

Huffard C., Thun S. V., Sherman A. D., Sealey K., Smith Jr K. L. 2014. Pelagic *Sargassum* community change over a 40-year period: temporal and spatial variability. *Marine Biology*, **161**:2735–2751.

Huffman G.J., Adler R.F., Bolvin D.T., Gu G., Nelkin E.J. Bowman K.P., Hong Y., Stocker E.F., Wolff D.B.2007. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of Hydrometeorology*, **8**: 38-55.

Ida H., Hiyama Y., Kusaka T. 1967. Study of fishes gathering around floating seaweed: I. Abundance and species composition. *Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish*, **33**(10):923-929.

Johns, W. E., T. N. Lee, F. Schott, R. Zantopp, & R. H. Evans, 1990: The North Brazil Current Retroection: Seasonal Structure and Eddy Variability. *Journal of Physical Oceanography*, **95**(22): 103-120.

Kayano M.T., Andreoli R.V., Souza R.A.F.2011. Evolving anomalous SST patterns leading to ENSO extremes: relations between the tropical Pacific and Atlantic Oceans and the influence on the South American rainfall. *International Journal of Climatology*, **31**: 1119-1134.

Lima M.O., Cirano M., Mata M.M., Goes M., Goni G., Baringer M.2016. An assessment of the Brazil Current baroclinic structure and variability near 22°S in distinct ocean forecasting and analysis systems. *Ocean Dynamics*, **66**(7): 893-916.

Madec, G.2008. *NEMO ocean engine*. Note du Pôle de modélisation, Institut Pierre-Simon

- Markkaveeva E. G. 1965. The biocenosis of Sargasso algae in the Red Sea (In Russian). *Bentos Kiev: Dumka Nauk*. 81-93.
- McCook L.J. 1999. Macroalgae, nutrients and phase shifts on coral reefs: scientific issues and management consequences for the Great Barrier Reef. *Coral Reefs* **18**: 357–367.
- Molion L., 1987. Climatologia dinâmica da região Amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **2**: 107-117.
- Moraes S.O.C.2011.*Caracterização da Corrente Norte do Brasil na região da Retroflexão*. Ms Dissertation, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 81p.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2017. Banco de Dados. Disponível em: <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>>. Acessado em: 29 de novembro de 2017.
- Nobre P. & Shukla J.1996. Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, **9**: 2464-2479.
- Nobre P. 1996. Variabilidade interanual do Atlântico tropical e sua influência no clima da América do Sul. *Climanálise* - Edição Comemorativa.
- Pezzi L.P. & Cavalcanti I.F.A. 2001. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic SST anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. *Climate Dynamics*, **17**: 205-212.
- Pinkayan S. 1966, Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area. *Hidrologia papers* Colorado: State University, Boulder-Co, **12**.
- Quadro M.F.L., Dias M.A.F.S., Herdies D.L., Gonçalves L.G.G.2012. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. *Revista Brasileira de Meteorologia*,**27**(2):152-162.
- Reynolds R.W., Rayner N.A, Smith T.M., Stokes D.C., Wang W. 2002. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *Journal of Climate*, **15**(1): 1609-1625
- Rienecker M.M., Suarez M.J.,Gelaro R.,Todling R.,Bacmeister J.,Liu E.,Bosilovich M., Schubert S.D., Takacs L., Kim G., Bloom S., Chen J., Collins D., Molod A.A., Owens T., Pawson S., Pegion P., Redder C.,Reichle R., Robertson F.R.,Ruddick A.G., Sienkiewicz M., Woollen J.2011.MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. *Journal of Climate Special MERRA Collection*, **24**.
- Rocha E.J.P. 2001. *Balanço de umidade e influência de condições de contorno superficiais sobre a precipitação da Amazônia*. PhD Thesis. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,São José dos Campos, 176p.
- Ryland J. S. 1974. Observations on some epibionts of gulf-weed, *Sargassum natans* (L.) Meyen. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*,**14**:17–25.
- Santos M.A.S.2005. A cadeia produtiva da pesca artesanal no estado do Pará: Estudo de caso no Nordeste Paraense. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, **1**(1).

Schell J.M., Goodwin D.S., Siuda A.N.S.2015. Recent Sargassum inundation events in the Caribbean: Shipboard observations reveal dominance of a previously rare form. *Oceanography*,**28**(3):8-10.

Sissini M.N.,Barreto M.B.B.B., Széchy M.T.M., Lucena M.B., Oliveira M.C., Gower J., Liu G., Bastos E.O., Milstein D., Gusmão F., Martinelli-Filho J.E., Lima C.A., Colepicolo P., Ameka G., Graft-Johnson K., Gouvea L., Torrano-Silva B., Nauer F., Nunes J.M.C., Barufi J.B., Rorig L., Riosmena-Rodriguez R., Mello T.J., Lotufo L.V.C., Horta P.A.2017. The floating Sargassum (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean-likely scenarios. *Phycologia*,**56**(3):321-328.

Smetacek V. & Zingone A. 2013. Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature*, **504**: 84-88.

Széchy M. T. M., Guedes P. M., Baeta-Neves M. H., Oliveira E. N. 2012. Verification of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon (Heterokontophyta: Phaeophyceae) from the Sargasso Sea off the coast of Brazil, western Atlantic Ocean. *Checklist*,**8** (4): 638-641.

Trenberth E. 1997. The definition of El Niño. *Bulletin of American Meteorological Society*.

Woodcock's A. H. 1950. Subsurface pelagic *Sargassum*. *Journal of Marine Research*, **9**: 77-92.

Xavier T.M.B & Xavier A.F.S. 1999. Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará através da Técnica dos Quantis: 1964-1998. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **14**(2): 63-78.

Zhong Y., Bracco A., Villareal T.2012. Pattern formation at the ocean surface: *Sargassum* distribution and the role of the eddy field. *Limnology and Oceanography: Fluids and Environments*,**2**(1):12-27.