



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**TAYANNE PIRES FERREIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE CORRENTES DA REGIÃO OESTE DO**  
**OCEANO ATLÂNTICO EQUATORIAL**

**FORTALEZA**

**2018**

TAYANNE PIRES FERREIRA

CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE CORRENTES DA REGIÃO OESTE DO OCEANO  
ATLÂNTICO EQUATORIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Paula Morais Krelling

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F444c Ferreira, Tayanne Pires.  
CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE CORRENTES DA REGIÃO OESTE DO OCEANO  
ATLÂNTICO EQUATORIAL / Tayanne Pires Ferreira. – 2018.  
42 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do  
Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira.

Coorientação: Profa. Dra. Ana Paula Morais Krelling.

1. Corrente superficiais. 2. OSCAR. 3. GDP. 4. Sazonalidade. 5. Oceanografia Física. I. Título.

CDD 551.46

---

TAYANNE PIRES FERREIRA

CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE CORRENTES DA REGIÃO OESTE DO OCEANO  
ATLÂNTICO EQUATORIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Oceanografia.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Ana Paula Morais  
Krelling (Coorientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus por todas as bênçãos e lições dadas durante esse 4 anos. Gostaria de agradecer aos meus pais, por sempre me darem todo o suporte para a minha formação e em toda a vida. Agradeço às minhas irmãs, por serem minhas companheiras enquanto nossos pais estavam longe, sem vocês não teria me formado. A Maria Ísis, ter teu sorriso e eu te amo toda vez quando chegava em casa, deixou a vida mais leve e fácil. Vocês todos são os meus pilares.

A professora Ana Paula, por todo o auxílio e suporte, por ter passado todo o conhecimento possível durante a orientação. Obrigada pela calma e a disponibilidade desde o início e obrigada pelos puxões de orelha, principalmente sobre prazos. Obrigada por confiar e não desistir de mim.

A Marina, por ser a melhor parceira de TCC. Durante esse ano, ter o teu apoio ali me ajudou a continuar e manter. Obrigada por todas as pseudo brigas e risadas compartilhadas. Obrigada pelo sofrimento compartilhado, ajudou a ficar mais leve ter alguém com quem conversar e se lamentar.

Ao Laboratório de Oceanografia Física - LOF e a toda galera que trabalha lá, que sempre estiveram dispostos a ajudar como podiam. Obrigada Babi, Jonathan, Erik, Gustavo, Rafael, Airton, Ítele. Obrigada principalmente ao João Matheus, um anjo na Terra eu diria, sem ele minhas rotinas não teriam dado certo, e ao prof Carlos Teixeira por ter me adotado como orientanda e sempre auxiliado como podia.

Ao PET Oceanografia, pelos quase dois anos de muito trabalho e dor de cabeça, que me fizeram crescer como pessoa e como oceanógrafa. A todos os amigos que fiz e pessoas que passaram pelo programa enquanto eu estava lá, foi um prazer enorme participar desse programa com vocês. A prof Maria Ozilea que cuidou e continua cuidando de todos os petianos como filhos, obrigada por todo o suporte dado e palavras incentivadoras.

A Universidade Federal do Ceará pela oportunidade, apoio e incentivo durante a graduação. A todos os docentes do LABOMAR, por todo o conhecimento passado e a preocupação com os alunos. Um obrigada especial ao prof Antônio Geraldo por ter me proporcionado oportunidades incríveis como o evento PIRATA e o embarque para a Ilha de Trindade, foram sem dúvida as melhores oportunidades que eu tive na graduação.

Ao laboratório Zoobentos, pela primeira oportunidade de iniciar realmente na oceanografia. Apesar de ter mudado de área, vocês foram um passo muito importante na minha

formação. Obrigada principalmente à Ítala que até hoje me trata como uma filha, sempre que eu preciso de ajuda ou conselho ela tá lá.

Aos meus amigos da turma de 2015.1, Victor, Lorena, Camila, Derley (que homem!), Anne, Gabriel Gomes, e mais um tanto de gente, vocês são os melhores. Queria que estivéssemos sempre juntos seja em aula, em aulas de campo ou em festas.

As minhas amigas do CPMGEF, Rebeca, Jéssica e Raquel, que me aturaram apesar de eu estar sempre muito ausente e aérea, sempre me deram suporte e me entenderam. Obrigada mesmo.

A todas as pessoas que passaram pela minha vida, seja em Brasília, seja em Fortaleza, ou qualquer canto, todos vocês contribuíram para quem eu sou atualmente, não tenho como agradecer por toda a experiência e conhecimentos compartilhados.

“A resposta certa não importa nada: o essencial é que as perguntas estejam certas.”

(Mario Quintana)

## RESUMO

Este estudo analisou o sistema de correntes na região oeste do oceano Atlântico equatorial, entre as latitudes 10° N e 5° S e as longitudes 35° W e 60° W. A região de estudo é bem documentada, no entanto, a maior parte dos trabalhos são limitados espacialmente ou temporalmente, considerando os processos que ocorrem na região. Assim o presente estudo tem o objetivo de compreender o sistema de correntes atuantes em uma região extensa e utilizando uma série temporal de aproximadamente 10 anos. O estudo foi feito a partir de dados do OSCAR, que contém estimativas das velocidades zonal e meridional, e dados do GDP, que contém dados *in situ* de velocidades medidas por derivadores, que possibilitaram observar os padrões das correntes presentes na região. Os dados foram analisados por trimestre, mas agrupados por semestre devido à similaridade encontrada dos padrões ao longo dos anos. Para o primeiro semestre dos anos, foi evidenciado um escoamento contínuo com sentido noroeste, associado à CNB, próximo à quebra da plataforma, com velocidades variando entre 0,5 e 1 m/s. Mais a leste, próximo de 50° W, e acima da latitude 5° N, foram evidenciadas velocidades menos intensas, se comparadas com a CNB, variando entre 0,5 e 0,8 m/s, correspondentes à CCNE. Essas velocidades foram mais intensas no primeiro trimestre se comparado ao segundo trimestre dos anos. No entanto, houveram alguns meses, como janeiro, fevereiro e março dos anos de 2012 e 2017, que houve uma pequena retroflexão da CNB, não comum para essa época do ano. No segundo semestre, é possível observar a retroalimentação da CCNE pela CNB, devido à retroflexão *offshore* da Corrente Norte do Brasil. Evidenciando maior intensidade, com velocidades variando entre 0,8 e 1,1 m/s próximo à latitude de 6° N e longitude 52° W, a retroflexão é uma importante ponte inter-hemisférica, em que ocorre troca de massa e calor. Os vórtices gerados a partir da retroflexão da CNB são responsáveis pela Corrente das Guianas que, diferentemente das outras correntes marítimas, é uma resultante da média da translação dos vórtices que seguem em sentido noroeste durante os meses de julho a dezembro. Já durante os meses de janeiro a junho a Corrente das Guianas é uma continuação do transporte contínuo para noroeste da CNB. Desta forma, foi possível observar o padrão de correntes no Atlântico equatorial oeste, assim como a sazonalidade que acomete as correntes atuantes na região.

**Palavras-chave:** 1. Correntes Superficiais. 2. OSCAR. 3. GDP. 4. Velocidade. 5. Oceanografia Física.



## ABSTRACT

The present study analyzed the system of currents in the west of the equatorial Atlantic Ocean between latitudes  $10^{\circ}$  N and  $5^{\circ}$  S and longitudes  $35^{\circ}$  W and  $60^{\circ}$  W. The study region is well documented; however, most of the works are limited spatially or temporally, considering the processes that occur in the region. Thus the present study aims to understand the system of currents acting in an extensive region and using a time series of approximately 10 years. The study was made from OSCAR data, which contains estimates of zonal and meridional velocities, and data of GDP, which contains in situ data of velocities measured by drogues, which made it possible to observe the currents patterns present in the region. For the months of January, February, March, April, May and June, a continuous flow with northwest direction, associated with CNB, near the break of the platform, with speeds varying between 0.5 and 1 m/s was evidenced. Further east, near  $50^{\circ}$ W, and above latitude  $5^{\circ}$ N, less intense velocities were evidenced when compared to the CNB, varying between 0.5 and 0.8 m/s, corresponding to the CCNE. These speeds were more intense in the first quarter compared to the second quarter of the year. However, there were a few months, like January, February and March of the years 2012 and 2017, that there was a small retroflexion of the CNB, not common for that time of year. For the months of July, August, September, October, November and December, it is possible to observe the feedback of the CCNE by the CNB, due to the offshore retroflexion of the Northern Brazil Current. Higher intensity, with velocities varying between 0.8 and 1.1 m/s near the latitude of  $6^{\circ}$  N and longitude  $52^{\circ}$  W, retroflexion is an important inter-hemispheric bridge, in which the mass and heat exchange takes place. The eddies generated from the retroflexion of CNB are responsible for the Guianas current which, unlike the other sea currents, is a result of the average translation of the eddies that follow in a northwest direction during the months of July to December. Whereas during the months of January to June the Chain of the Guianas is a continuation of the continuous transport to the northwest of the CNB. In this way, it was possible to observe the pattern of currents in the west equatorial Atlantic, as well as the seasonality that affects currents acting in the region. The quarterly division conducted in this study, as well as the use of 10 years of analysis, proved to be a good resolution and time series for this type of study.

**Keywords:** 1. Surface Currents. 2. OSCAR. 3. GDP. 4. Speed. 5. Physical Oceanography.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa esquemático do sistema de correntes do Atlântico equatorial oeste. Em destaque a Corrente Norte do Brasil com a sigla NBC. . . . .	15
Figura 2 – Mapa da área de estudo contendo a batimetria da região. . . . .	17
Figura 3 – Ilustração bóia traqueada por satélites do GDP. . . . .	18
Figura 4 – Trajetórias percorridas pelos derivadores presentes na área de estudo durante os meses de janeiro, fevereiro e março dos anos de 2008 a 2018. . . . .	21
Figura 5 – Trajetórias percorridas pelos derivadores presentes na área de estudo durante os meses de abril, maio e junho dos anos de 2008 a 2018. . . . .	22
Figura 6 – Trajetórias percorridas pelos derivadores presentes na área de estudo durante os meses de julho, agosto e setembro dos anos de 2008 a setembro de 2017. . . . .	23
Figura 7 – Trajetórias percorridas pelos derivadores presentes na área de estudo durante os meses de outubro, novembro e dezembro dos anos de 2008 a dezembro de 2017. . . . .	24
Figura 8 – Corrente média a 15 m de profundidade para os meses de janeiro, fevereiro e março dos anos de 2008 a 2018. . . . .	26
Figura 9 – Corrente média a 15 m de profundidade para os meses de abril, maio e junho dos anos de 2008 a 2018. . . . .	27
Figura 10 – Corrente média a 15 m de profundidade para os meses de julho, agosto e setembro dos anos de 2008 a 2018. . . . .	29
Figura 11 – Corrente média a 15 m de profundidade para os meses de outubro, novembro e dezembro dos anos de 2008 a 2018. . . . .	29
Figura 12 – Desvio padrão correspondente às médias das velocidades obtidas dos dados do OSCAR (Figuras 8, 9, 10 e 11). (a) Desvio padrão para os meses de janeiro, fevereiro e março, de 2008 a 2018. (b) desvio padrão para os meses de abril, maio e junho, de 2008 a 2018. (c) desvio padrão para os meses de julho, agosto e setembro, de 2008 a 2018. (d) desvio padrão para os meses de outubro, novembro e dezembro, de 2008 a dezembro de 2017. . . . .	31
Figura 13 – Média da velocidade para o ano de 2015 (a) velocidade para os meses de janeiro, fevereiro e março; (b) velocidade para os meses de abril, maio e junho; (c) velocidade para os meses de julho, agosto e setembro; (d) velocidade para os meses de outubro, novembro e dezembro. . . . .	33

Figura 14 – Média da velocidade para o ano de 2012 (a) velocidade para os meses de janeiro, fevereiro e março; (b) velocidade para os meses de abril, maio e junho; (c) velocidade para os meses de julho, agosto e setembro; (d) velocidade para os meses de outubro, novembro e dezembro. . . . .	34
Figura 15 – Média da velocidade para o ano de 2017 (a) velocidade para os meses de janeiro, fevereiro e março; (b) velocidade para os meses de abril, maio e junho; (c) velocidade para os meses de julho, agosto e setembro, de 2008 a 2018. (d) velocidade para os meses de outubro, novembro e dezembro. . . .	36

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCNE	Contra Corrente Norte Equatorial
cCSE	Ramos central da Corrente Sul Equatorial
CNB	Corrente Norte do Brasil
CSE	Corrente Sul Equatorial
GDP	<i>Global Drifter Program</i>
nCSE	Ramo norte da Corrente Sul Equatorial
OSCAR	<i>Ocean Surface Current Analysis Real-time</i>
sCSE	Ramo sul da Corrente Sul Equatorial
SNB	Subcorrente Norte do Brasil
SSE	Subcorrente Sul Equatorial
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	13
<b>1.1</b>	<b>Corrente Norte do Brasil (CNB)</b> . . . . .	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> . . . . .	16
<b>2.1</b>	<b>Geral</b> . . . . .	16
<b>2.2</b>	<b>Específicos</b> . . . . .	16
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> . . . . .	17
<b>3.1</b>	<b>Conjunto de dados</b> . . . . .	17
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> . . . . .	20
<b>4.1</b>	<b>Dados do GDP</b> . . . . .	20
<b>4.1.1</b>	<i>1º Semestre</i> . . . . .	20
<b>4.1.2</b>	<i>2º Semestre</i> . . . . .	22
<b>4.2</b>	<b>Dados do OSCAR</b> . . . . .	24
<b>4.2.1</b>	<i>1º Semestre</i> . . . . .	24
<b>4.2.2</b>	<i>2º Semestre</i> . . . . .	27
<b>4.2.3</b>	<i>Anos específicos</i> . . . . .	32
<b>4.2.3.1</b>	<i>2015</i> . . . . .	32
<b>4.2.3.2</b>	<i>2012</i> . . . . .	33
<b>4.2.3.3</b>	<i>2017</i> . . . . .	35
<b>4.3</b>	<b>Comparação entre as bases de dados</b> . . . . .	36
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> . . . . .	38
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	40

## 1 INTRODUÇÃO

A região equatorial do oceano Atlântico é uma área de grande importância para as trocas inter-hemisféricas, onde ocorrem várias transferências de massa e temperatura, por meio das correntes superficiais e subsuperficiais (GORDON, 1986; SILVA *et al.*, 2007). As correntes de contorno oeste são responsáveis por transportar águas mais quentes e menos salinas dos trópicos para os pólos, enquanto que as correntes de contorno leste transportam águas mais frias e salinas dos pólos para os trópicos (HOGG; JOHNS, 1995).

Na região oeste do oceano Atlântico equatorial faz-se presente um sistema complexo de correntes em superfície e subsuperfície. Em superfície a corrente predominante nessa região é a Corrente Norte do Brasil (CNB), responsável pela forte intrusão e transporte de águas mais quentes para o hemisfério norte, alimentando a Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE) (FLAGG *et al.*, 1986; HOGG; JOHNS, 1995). Alguns autores (RICHARDSON; REVERDIN, 1987; SCHOTT *et al.*, 1993) observaram ainda correntes com menor intensidade em superfície relacionadas ao ramo norte da Corrente Sul Equatorial (nCSE). Já em subsuperfície, observaram-se velocidades mais intensas relacionadas à Subcorrente Equatorial, e velocidades menos intensas relacionadas à Subcorrente Sul Equatorial (SSE), ambas com sentido para leste.

Apesar do pequeno transporte da nCSE, ela possui grande importância na circulação da porção oeste do Atlântico equatorial. Segundo LUMPKIN; GARZOLI (2005), a nCSE se separa do ramo central da Corrente Sul Equatorial (cCSE) em 30° W, onde, o cCSE continua em um movimento para oeste, enquanto que o ramo norte da CSE não chega a costa, mas recircula em direção ao norte pela CCNE. Esta recirculação é particularmente forte entre as longitudes 30-40° W. A oeste desta, a intensidade da nSEC é menor, embora exista uma extensão deslocada para o sul que chega à costa brasileira a 0-2° N e 43-46° W e entra na CNB a leste da retroflexão.

Mais ao norte, próximo a 8°N e 55°W, há um movimento para noroeste relacionado à chamada Corrente das Guianas. Essa corrente tem gerado uma série de desentendimentos entre os autores. RICHARDSON; REVERDIN (1987) afirmam que a Corrente das Guianas é uma resultante da translação dos vórtices gerados pela retroflexão da CNB. Enquanto que LUMPKIN; GARZOLI (LUMPKIN; GARZOLI) afirmam que a Corrente das Guianas varia de acordo com a retroflexão da CNB, ou seja, quando há retroflexão esta corrente apresenta menor intensidade se comparada ao período de ausência da retroflexão.

Segundo FLAGG *et al.* (1986), a circulação dessa parcela do Atlântico equatorial apresenta sazonalidade quanto à velocidade e direção das correntes atuantes na área. Isso se deve

ao regime de ventos, que sofre mudanças de acordo com a migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e a outros fatores relacionados à geostrofia e dinâmica de Ekman.

### 1.1 Corrente Norte do Brasil (CNB)

A CNB é uma corrente de contorno oeste que alimenta os sistemas de giros do oceano Atlântico e participa do giro do Atlântico equatorial. Essa corrente funciona como uma ponte entre os hemisférios, transportando águas mais quentes e salinas do Atlântico Sul para o Atlântico Norte (GORDON, 1986; HOGG; JOHNS, 1995; BOURLÈS *et al.*, 1999; SILVA *et al.*, 2007).

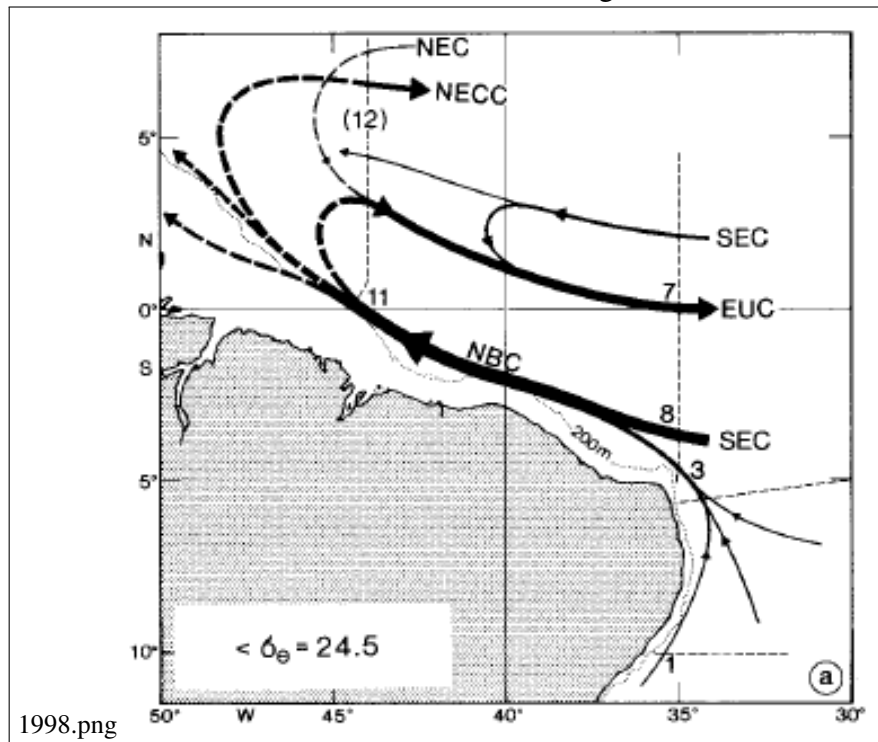
Segundo SILVEIRA *et al.* (1994) a CNB é formada a partir da bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (sCSE). O ramo oriundo dessa bifurcação, que segue em sub superfície para Norte, entre as latitudes 10° S e 5° S, é chamado de Subcorrente Norte do Brasil (SNB), com o núcleo de velocidade entre 100 m e 200 m de profundidade, e transporte de 21 Sv (SILVEIRA *et al.*, 1994). Mais ao norte, após a latitude 5° S, a SNB é somada ao ramo central da CSE e passa a ter um único núcleo de velocidade em superfície, alterando-se o nome para Corrente Norte do Brasil (SCHOTT *et al.*, 1998). Por ser uma corrente de contorno oeste, é estreita e mais rápida que as de contorno leste, se estendendo a mais de 1000 m de profundidade e com transporte de 37 Sv (SCHOTT *et al.*, 1998).

Essa corrente apresenta sazonalidade no sentido em superfície, próximo a 44° W ao norte do Equador (SILVEIRA *et al.*, 2000; GOES *et al.*, 2005). Nos meses de fevereiro a junho ela segue para noroeste, em uma trajetória contínua. Já entre os meses de julho a janeiro, após passar pelo equador, ela retroflete para leste, alimentando a CCNE (FLAGG *et al.*, 1986; HOGG; JOHNS, 1995). Esse padrão é predominante na maior parte do tempo, no entanto, a CNB pode apresentar retroflexão em outros meses, e eventualmente também pode seguir pra noroeste nos meses de julho a janeiro.

Em subsuperfície, de 30 m até 200 m de profundidade, SCHOTT *et al.* (1995) observaram um pequeno ramo oriundo da CNB que apresenta sentido para leste, a oeste de 44° W e a partir de 1° N, no entanto com pequeno transporte de 3,9 Sv. Esse transporte se trata de uma fonte para a Subcorrente Equatorial, que flui em sub superfície para leste (SCHOTT *et al.*, 1995).

Dessa forma, nota-se a importância da CNB nos vários regimes que ocorrem na região oeste do oceano Atlântico equatorial. Existe uma gama de estudos sobre essa corrente, no

Figura 1 – Mapa esquemático do sistema de correntes do Atlântico equatorial oeste. Em destaque a Corrente Norte do Brasil com a sigla NBC.



Fonte: (SCHOTT *et al.*, 1998)

entanto, em geral, os estudos são limitados em espaço e/ou tempo, considerando os processos que atuam nessa região. Assim, este estudo analisa e caracteriza o comportamento da Corrente Norte do Brasil e das correntes superficiais atuantes na região adjacente à plataforma continental da margem equatorial brasileira e parte da margem equatorial sul-americana. Foram utilizados dados observacionais e derivados de dados observacionais, de forma a ter uma visão mais geral dos processos que ocorrem nessa região, considerando 10 anos de observações e abrangendo uma área grande.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Caracterizar a partir de dados de velocidade o sistema de correntes na região oeste do oceano Atlântico equatorial.

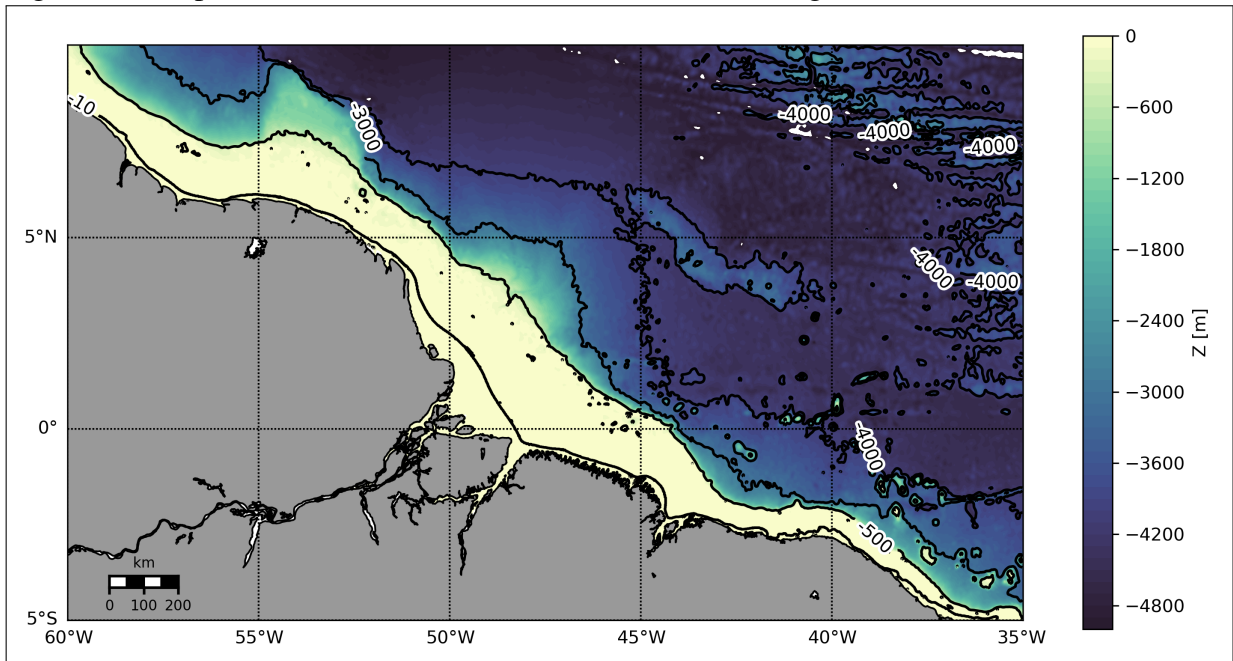
### **2.2 Específicos**

- Identificar e caracterizar fases de retroflexão e não-retroflexão da CNB.
- Analisar a sazonalidade da retroflexão CNB-CCNE.
- Identificar e caracterizar o comportamento da CCNE, assim como suas variações em direção e sentido ao longo do tempo.
- Identificar e caracterizar a Corrente das Guianas e analisar sua sazonalidade.
- Identificar e caracterizar a nCSE.

### 3 METODOLOGIA

O estudo foi realizado com dados observacionais para a região oceânica adjacente à plataforma continental da margem equatorial brasileira e parte da costa de outros países da América do Sul. A área de estudo está contida entre as latitudes  $10^{\circ}$  N e  $5^{\circ}$  S e as longitudes entre  $35^{\circ}$  W e  $60^{\circ}$  W, englobando a costa dos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão, Pará e Amapá, além da costa dos países Guiana, Guiana Francesa e Suriname (Figura 2). A circulação oceânica dessa área é dominada principalmente pela CNB, próxima ao continente, e pela CCNE, mais *off shore*.

Figura 2 – Mapa da área de estudo contendo a batimetria da região.



Fonte: a autora.

#### 3.1 Conjunto de dados

Foram utilizados dados observacionais e originados de dados observacionais de velocidade, zonal e meridional. As bases de dados utilizadas foram o *Ocean Surface Current Analysis Real-time* (OSCAR) e de derivadores do *Global Drifter Program* (GDP), a partir das quais foram plotados mapas com a média de velocidade e trajetória dos derivadores, respectivamente.

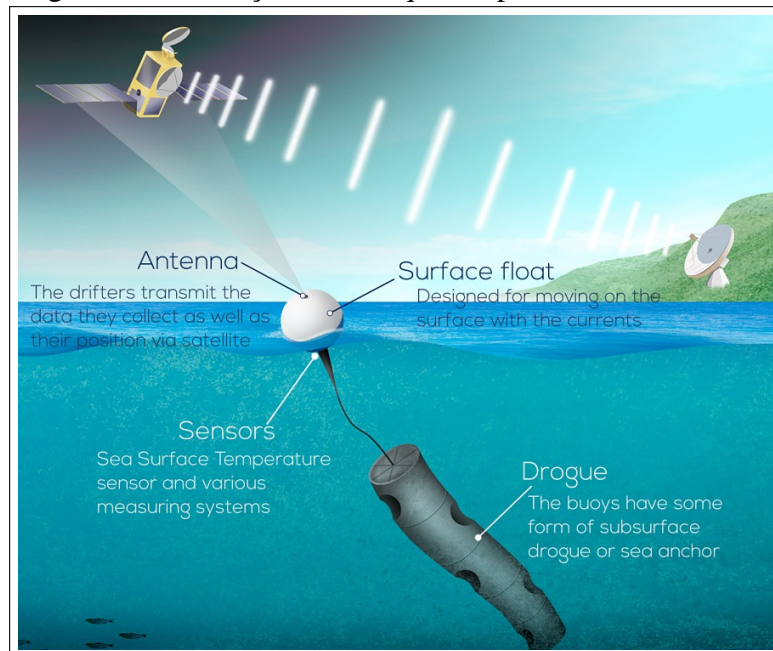
O OSCAR contém estimativas da velocidade das correntes superficiais oceânicas baseadas na resolução de equações de movimento quasi-lineares e quase-constantes (BONJEAN; LAGERLOEF, 2002). Essas equações utilizam dados de altura da superfície do mar, de vento

em superfície e de temperatura da superfície do mar.

Os dados utilizados para as estimativas do OSCAR foram coletados a partir de instrumentos *in situ* e diversos satélites, como: TOPEX / POSEIDON, Jason-1, Jason-2, ERS1-2, GFO e ENVISAT, QScat para velocidade de vento, e possuem uma resolução espacial de  $1/3^\circ$  com uma resolução temporal de 5 dias. Os conjuntos de dados de origem são construídos principalmente a partir de dados de satélite coletados desde outubro de 1992 durante missões que ainda estão em andamento.

O GDP utiliza bóias traqueadas por satélites (Figura 3) que medem velocidade de correntes (combinação das correntes de grande escala a 15 m de profundidade, o fluxo movido pelo vento na parte superior do oceano e o tempo de deslocamento do derivador), temperatura da superfície do mar, pressão atmosférica, vento e salinidade.

Figura 3 – Ilustração bóia traqueada por satélites do GDP.



Fonte: adaptado de NOAA

A parte superficial da bóia contém um transmissor de satélite, um termistor para medir a temperatura da superfície do mar e sensores para medir a pressão barométrica, salinidade e velocidade e direção do vento. A parte submersa chamada de derivador, ou âncora, tem a função de estabilizar e minimizar o efeito do vento e das ondas na superfície flutuante, além de estar centrado a 15 m de profundidade para medir a velocidade das correntes superficiais. Existem outros tipos de derivadores no GDP, como por exemplo, os que não apresentam a âncora a 15 m. No entanto, todos os derivadores utilizados neste estudo possuem o a parte submersa,

obtendo maior estabilidade. Os dados disponibilizados consistem em valores diários observados pelos derivadores presentes na área de estudo, com resolução temporal de 6 horas.

O estudo foi realizado para o período entre janeiro de 2010 e novembro de 2018, totalizando, aproximadamente, 10 anos de dados para análise. Após a compilação dos dados, eles foram analisados no software Python, que permite a visualização das velocidades das correntes, propiciando a identificação das características da CNB e demais correntes superficiais da região. Os dados de ambas bases de dados estão disponíveis gratuitamente para fins acadêmicos nos sites: <<http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/index.phpb>>;<[https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/OSCAR\\_L4\\_OC\\_third-deg](https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/OSCAR_L4_OC_third-deg)>.

## 4 RESULTADOS

Os resultados foram divididos entre os dados do GDP e os dados do OSCAR. Posteriormente, foram comparados os resultados obtidos com cada uma das bases de dados.

### 4.1 Dados do GDP

Os dados do GDP, assim como do OSCAR, foram analisados por trimestre. No entanto, a partir dos dados do OSCAR foram feitas médias trimestrais, enquanto que a partir dos dados do GDP foram feitos mapas com as trajetórias dos derivadores. Inicialmente, foram plotadas as trajetórias dos derivadores em cada trimestre de cada ano e, posteriormente, foram plotadas as trajetórias para cada trimestre para todos os anos como um todo. Por serem dados de derivadores, a quantidade de dados para as diferentes épocas do ano foram diferentes.

A literatura afirma que há retroflexão da CNB dos meses de julho a janeiro. No entanto, no presente estudo, o mês de janeiro foi agrupado com os meses de fevereiro e março, visando facilitar o entendimento dos processos existentes.

#### 4.1.1 1º Semestre

As Figuras 4 e 5 representam o trajeto dos derivadores presentes na área de estudo durante o primeiro e o segundo trimestre dos anos, respectivamente. Na figura 4 existem menos vetores, comparado à Figura 5, pois haviam mais derivadores presentes na região nos meses de abril, maio e junho.

No primeiro semestre, em geral, observa-se um movimento contínuo em sentido oeste próximo à costa e na maior parte da região oceânica. Paralelo à costa, próximo à quebra da plataforma, observa-se um movimento contínuo em direção noroeste, característica da CNB para essa época do ano (FLAGG *et al.*, 1986; JOHNS *et al.*, 1990).

Mais *offshore*, próximo de 5° N e a leste de 50° W, observa-se um transporte em geral para oeste, associado à CCNE. No entanto, existem trajetórias com direção para leste na mesma região. Isso pode indicar a reversão da CCNE para alguns anos, e o movimento padrão para leste da corrente em outro período, respectivamente. Essa sazonalidade já foi observada por BOURLÈS *et al.* (1999), que constatou que a CCNE, devido a mudanças no padrão de ventos, pode permanecer para leste ou, até mesmo, reverter para oeste neste período do ano.

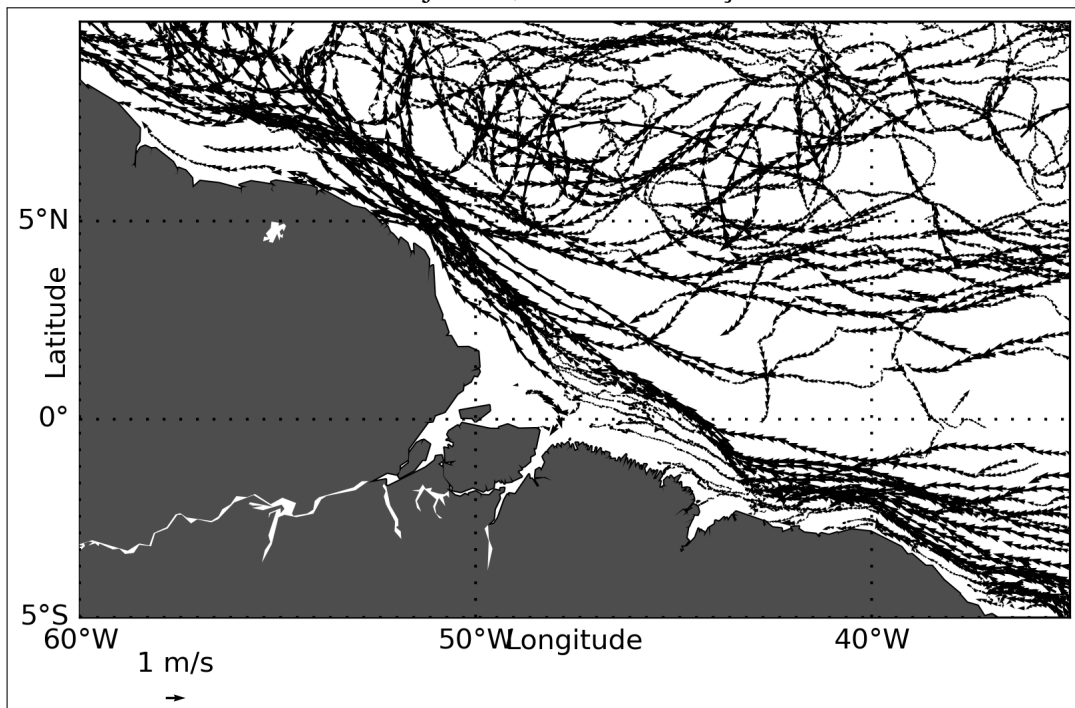
Próximo às latitude e longitude 6° N e 52° W, há um movimento contínuo para

noroeste, associado à chamada Corrente das Guianas. Neste período do ano é possível observar maior intensidade desta corrente, quando comparada ao segundo período do ano. Isso condiz com os resultados encontrados por LUMPKIN; GARZOLI (2005), que relacionaram a variabilidade da intensidade desta corrente à sazonalidade da retroflexão da CNB.

Mais ao sul, nas latitude e longitude  $4^{\circ}$  S e  $32^{\circ}$  W, há uma entrada de água oriunda da cCSE. Nessa região, a cCSE se une à SNB, passando a ser de superfície e renomeada de Corrente Norte do Brasil (CNB) (SCHOTT et al., 1998).

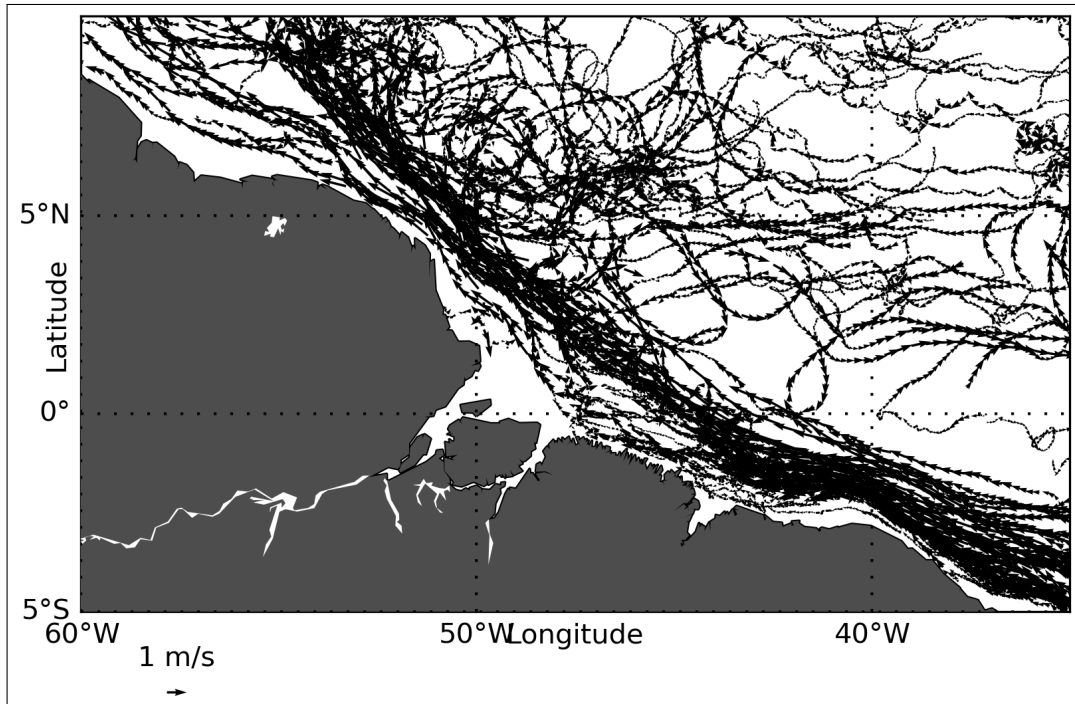
Próximo a  $2^{\circ}$  N e  $35^{\circ}$  W é possível observar trajetórias para oeste com menor intensidade, associadas à nCSE. Segundo LUMPKIN; GARZOLI (2005) parte dessa corrente retroflete alimentando a CCNE entre as longitudes  $30-40^{\circ}$  W, a outra parte chega à costa brasileira entre as latitudes  $0-2^{\circ}$  N e as longitudes  $43-46^{\circ}$  W e entra na CNB. Contudo, o transporte gerado por essa corrente é muito pequeno, assim os derivadores sofrem pouca influência da nCSE no ponto em que ela muda de direção, passando a alimentar a CCNE.

Figura 4 – Trajetórias percorridas pelos derivadores presentes na área de estudo durante os meses de janeiro, fevereiro e março dos anos de 2008 a 2018.



Fonte: a autora.

Figura 5 – Trajetórias percorridas pelos derivadores presentes na área de estudo durante os meses de abril, maio e junho dos anos de 2008 a 2018.



Fonte: a autora.

#### 4.1.2 2º Semestre

No segundo semestre, é possível observar a retroflexão da CNB, bem evidenciada nas Figuras 6 e 7. Ao norte de  $6^{\circ}$  N e próximo a  $52^{\circ}$  W, a CNB retroflete e passa a alimentar a CCNE, que flui para leste aproximadamente na latitude de  $5^{\circ}$  N, conciliando com a literatura (FLAGG *et al.*, 1986; JOHNS *et al.*, 1990; HOGG; JOHNS, 1995).

Nas Figuras 6 e 7 é possível observar oscilações presentes na CCNE. Essas oscilações devido à retroflexão da CNB, essa época do ano é conhecida por ter maior taxa de desprendimento de vórtices (RICHARDSON *et al.*, 1994). Na Figura 7 é possível observar essas feições de mesoescala próximo à longitude  $47^{\circ}$  W, se estendendo até  $52^{\circ}$  W, e acima da latitude de  $5^{\circ}$  N.

Os vórtices alteram a trajetória dos derivadores, colocando-os em uma circulação fechada e, no caso dessa região, transportando-os para noroeste, para a região da chamada Corrente das Guianas. Essa corrente apresenta menor intensidade neste período do ano, devido à intensificação da retroflexão da CNB (LUMPKIN; GARZOLI, 2005).

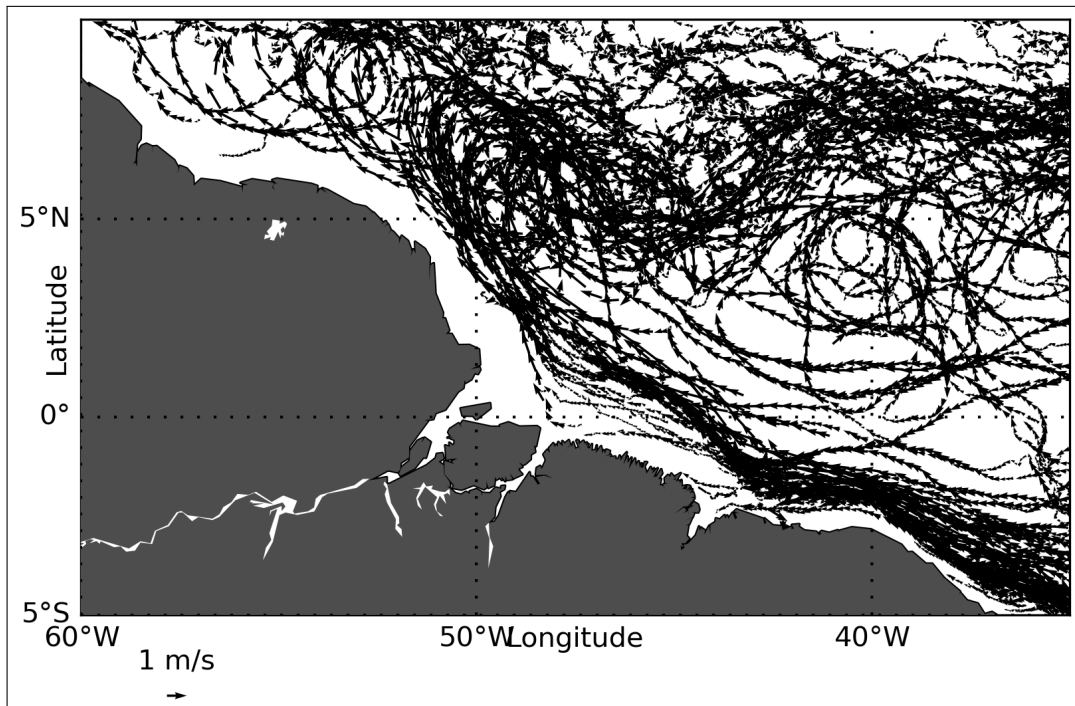
Segundo RICHARDSON *et al.* (1994), a Corrente das Guianas diferencia-se das outras correntes marinhas, pois devido o movimento em sentido noroeste dos vórtices decorrentes

da retroflexão da CNB, ela vem a ser resultante da média da translação desses vórtices. No entanto, ainda existem desentendimentos quanto à origem e comportamento dessa corrente, devido à variabilidade dessas feições de mesoescala (BOURLÈS *et al.*, 1999).

Mais ao sul, próximo de 2° N e 38° W há trajetórias seguindo para oeste, e posteriormente, mudando sua direção para norte, relacionadas a nCSE. Isso condiz com os resultados encontrados por LUMPKIN; GARZOLI (2005), que observaram que a maior parte da água próxima da superfície correspondente a nCSE não alcança a costa, mas recircula em direção ao norte para a CCNE. Esta recirculação é particularmente forte entre as longitudes 30 e 40° W, a oeste desta a nCSE apresenta menos intensidade, embora exista uma extensão deslocada para o sul que chega à costa brasileira a 0-2° N e 43-46° W e entra na NBC a leste da retroflexão.

As velocidades correspondentes à CNB foram próximas a 1,1 m/s, anterior à retroflexão. Após a retroflexão da CNB, ela se junta à CCNE, apresentando maior intensidade com velocidades de aproximadamente 1,3 m/s.

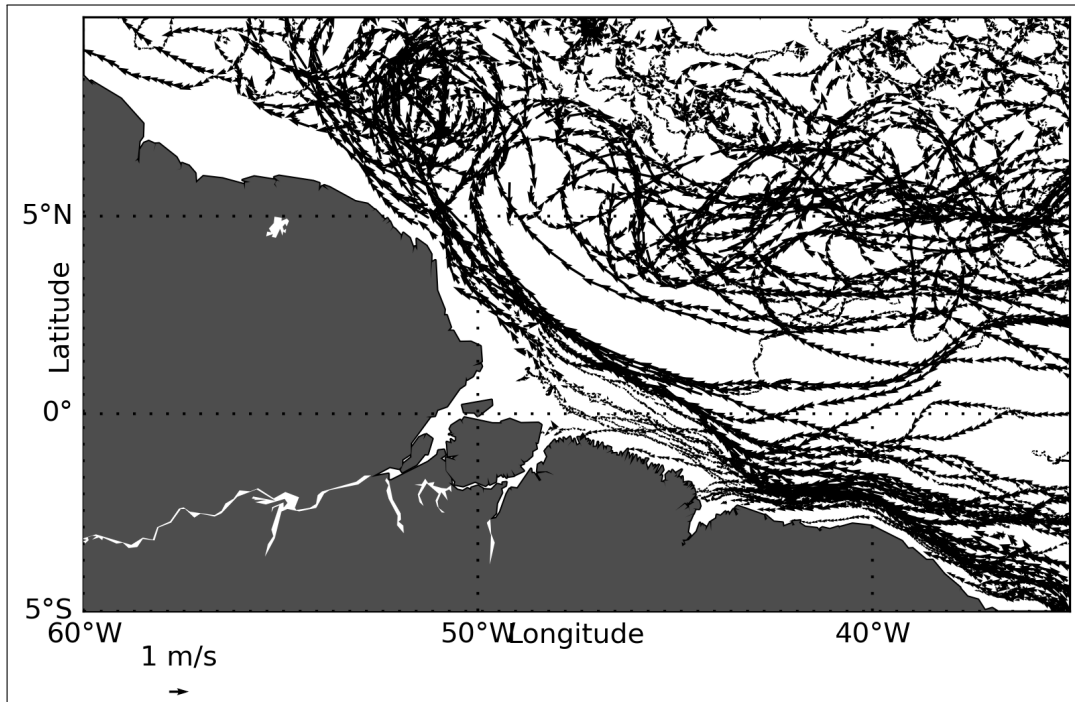
Figura 6 – Trajetórias percorridas pelos derivadores presentes na área de estudo durante os meses de julho, agosto e setembro dos anos de 2008 a setembro de 2017.



Fonte: a autora.



Figura 7 – Trajetórias percorridas pelos derivadores presentes na área de estudo durante os meses de outubro, novembro e dezembro dos anos de 2008 a dezembro de 2017.



Fonte: a autora.

## 4.2 Dados do OSCAR

Foram analisadas médias trimestrais de velocidade para cada ano analisado, e posteriormente foram feitas médias de todos os trimestres de todos os anos, totalizando quatro imagens. No entanto, os dados foram apresentados por semestre devido à similaridade dos padrões encontrados ao longo dos anos.

Apesar de terem sido analisadas médias trimestrais para cada ano, foram apresentadas inicialmente os padrões que ocorrem na região, por semestre. Posteriormente, foram expostas as médias trimestrais obtidas nos anos de 2012, 2015 e 2017, devido às suas similaridades com os padrões observados (2015) ou as suas peculiaridades (2012 e 2017).

### 4.2.1 1º Semestre

No primeiro semestre (Figuras 8 e 9) observa-se um transporte predominantemente para oeste em grande parte da região, com velocidades variando entre 0,5 e 1 m/s. Próximo à quebra da plataforma, ao sul de 5° N e a oeste de 40° W, o transporte é contínuo para noroeste e ligeiramente mais intenso, chegando a 1,1 m/s, correspondente à CNB.

Próximo a 60° W e 9° N (canto superior esquerdo do mapa), observa-se movi-

mento para noroeste, podendo estar relacionado à chamada de Corrente das Guianas. Segundo LUMPKIN; GARZOLI (2005), essa corrente apresenta máxima velocidade quando há um enfraquecimento da retroflexão da CNB. Segundo RICHARDSON *et al.* (1994), a Corrente das Guianas diferencia-se das outras correntes marinhas, pois devido o movimento em sentido noroeste dos vórtices decorrentes da retroflexão da CNB, ela vem a ser resultante da média da translação desses vórtices. No entanto, ainda existem desentendimentos quanto à origem e comportamento dessa corrente. Isso se deve ao fato que entre os meses de julho a dezembro a circulação da região é mascarada por essas feições de mesoescala (BOURLÈS *et al.*, 1999).

Mais *offshore*, próximo de 5° N e a leste de 50° W, o transporte é predominantemente zonal para oeste, com velocidades variando entre 0,5 e 0,8 m/s, associado à CCNE. Segundo BOURLÈS *et al.* (1999), a CCNE exhibe um forte ciclo sazonal, sendo máxima nos meses de fevereiro a junho, e remanescente, algumas vezes até mesmo revertendo para o oeste, como é o caso das Figuras 8 e 9, no final do primeiro semestre, devido à migração sazonal da ZCIT.

Em alguns anos, como o ano de 2012 (Figura 14), é possível identificar, mesmo durante o primeiro semestre, a região em que a CNB retroflete alimentando a CCNE, que flui em sentido leste próximo a 8° N. No entanto, esse não é o comportamento usual da CNB. Segundo JOHNS *et al.* (1990), nos meses de fevereiro a junho, a CNB flui continuamente para noroeste próximo à quebra da plataforma, com velocidades menos intensas que o segundo período do ano.

Esse movimento contínuo para noroeste é mais fácil de ser visto nos meses janeiro, fevereiro e março (Figura 8). Já em abril, maio e junho (Figura 9), a CNB está menos intensa, meandrando e interagindo mais com a plataforma, entre as latitudes 0° e 5° N e as longitudes 40 e 50° W.

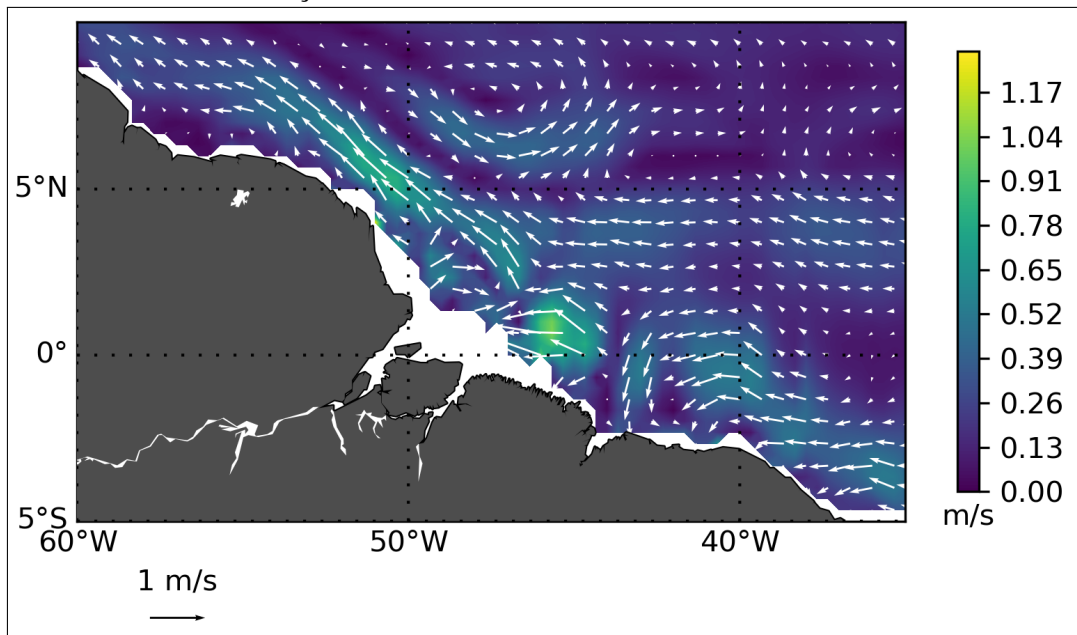
Na Figura 9, mais ao sul próximo de 4° S e 37° W, há um máximo de velocidade com valores variando em torno de 0,8 m/s. Essa maior intensidade está associada às águas oriundas do ramo central da CSE. Nessa região, a cCSE se une à SNB, passando a ser de superfície e renomeada de Corrente Norte do Brasil (CNB) (SCHOTT *et al.*, 1998).

No sistema de correntes dessa região, faz-se presente ainda a nCSE, fluindo para oeste com fraca intensidade. Parte do transporte dessa corrente retroflete alimentando a CCNE entre as longitudes 30-40° W. A outra parte chega à costa brasileira entre as latitudes 0-2° N e as longitudes 43-46° W e entra na CNB a leste da retroflexão (RICHARDSON; REVERDIN, 1987; LUMPKIN; GARZOLI, 2005). Na média do primeiro semestre dos anos (Figuras 8 e 9) não é possível observar essa corrente, pois ela recircula na CCNE para oeste. No entanto, na Figura 14

é possível observar a nCSE recirculando em direção ao norte para a CCNE.

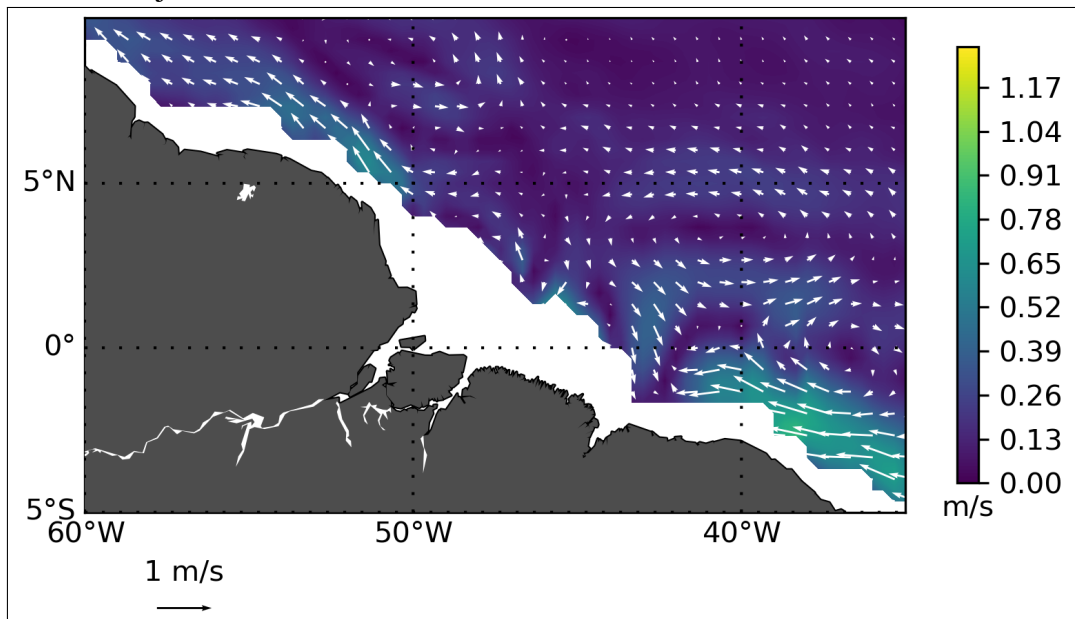
As Figuras 8 e 9 são as médias para o primeiro semestre de todos os anos. Logo, podem haver discrepâncias quanto à realidade para cada ano específico. Isso é resultado de uma sucessão de processos que ocorrem e quando colocados em uma média podem mascarar os processos reais. Isso pode ser confirmado pelas Figuras 13, 14 e 15, presentes na seção 4.2.3, que apresentam médias trimestrais para os anos de 2015, 2012 e 2017, respectivamente. Essas figuras demonstram retroflexões em épocas não comum que ocorreram e foram mascaradas pela média (Figuras 14a e 15a). Assim como, o desprendimento de vórtices e seu movimento para noroeste, que na média aparenta um prolongamento da retroflexão, resultado da média dos vórtices passando pela região (Figuras 15c).

Figura 8 – Corrente média a 15 m de profundidade para os meses de janeiro, fevereiro e março dos anos de 2008 a 2018.



Fonte: a autora.

Figura 9 – Corrente média a 15 m de profundidade para os meses de abril, maio e junho dos anos de 2008 a 2018.



Fonte: a autora.

#### 4.2.2 2º Semestre

No segundo semestre dos anos analisados, a retroflexão da CNB é bem evidenciada próximo a  $7^{\circ}$  N e  $52^{\circ}$  W, com velocidade variando em torno de 0,6 m/s em julho, agosto e setembro (Figura 10), e mais intensas em torno de 0,9 m/s em outubro, novembro e dezembro (Figura 11).

É conhecido por inúmeros autores (FLAGG *et al.*, 1986; JOHNS *et al.*, 1990; HOGG; JOHNS, 1995) que a retroflexão da CNB alimenta a CCNE. Nas Figuras 10 e 11 é possível observar um movimento contínuo para leste, correspondente à CCNE, a partir de  $50^{\circ}$  W e acima da latitude de  $5^{\circ}$  N, com velocidades variando entre 0,6 e 1 m/s. Esse resultado condiz com a literatura, que observaram a alimentação da CCNE pela retroflexão da CNB durante o segundo semestre do ano se estendendo até janeiro (FLAGG *et al.*, 1986; JOHNS *et al.*, 1990).

No entanto, o presente estudo utilizou apenas os meses de julho a dezembro para analisar a retroflexão, enquanto que o mês de janeiro foi agrupado com os meses de fevereiro a junho, em que não há retroflexão. O mesmo modo de divisão foi utilizado por RICHARDSON; REVERDIN (1987), que além de ter dividido o ano analisado em dois períodos (janeiro a junho e julho a dezembro), ainda utilizou dados de boias similares às do GDP.

Neste período do ano a CCNE apresenta oscilações, sendo melhor vistas na Figura 11 acima da latitude  $5^{\circ}$  N e a leste de  $50^{\circ}$  W. Esse resultado condiz com a literatura encontrada.

RICHARDSON; REVERDIN (1987) sugerem que a causa dos meandros seja a rápida reversão da CNB em CCNE, ultrapassando primeiro a CCNE, perto de 50° W, 10° N, em seguida descendo para o sul perto de 45° W, 5° N, e finalmente estabelecendo um padrão de meandro quase estacionário ou onda de Rossby. Essa onda de Rossby se propaga para leste ao norte equador.

Nas latitudes 3-4° N e longitudes de 43-45° W, há uma pequena retroflexão, menos intensa comparada à da CNB, com velocidades próximas a 0,6 m/s, que está associada com a nCSE. Alguns autores, como RICHARDSON; REVERDIN (1987) e LUMPKIN; GARZOLI (2005), observaram que uma extensão do ramo norte da CSE se une à NBC em 2-3° N e 45-46° W. Nas Figuras 10 e 11, próximo a 5° N e 45° W, a nCSE muda sua direção e passa a alimentar a SSE em subsuperfície e a CCNE em superfície, condizendo com os resultados encontrados por GOES *et al.*(2005) e LUMPKIN; GARZOLI (2005).

Nos meses de julho, agosto e setembro (Figura 10) a retroflexão mostrou-se menos intensa se comparada a outubro, novembro e dezembro (Figura 11), com velocidades mais próximas de 0,8 m/s, enquanto que no 4º trimestre as velocidades variaram em torno de 1,05 m/s.

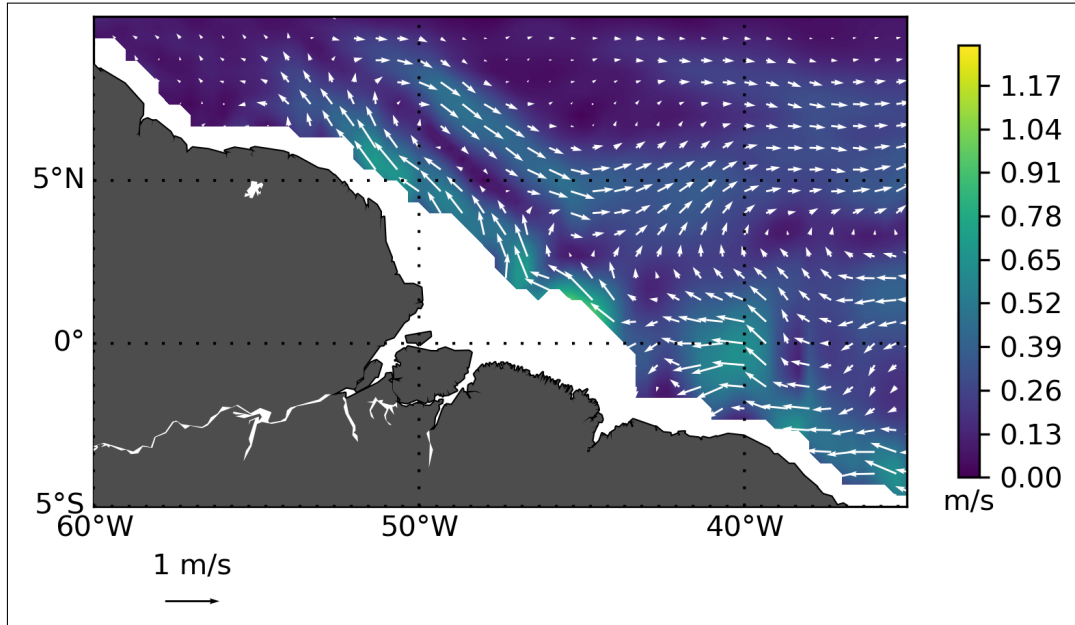
Próximo a 8° N e 55° W, há um movimento para noroeste relacionado à chamada Corrente das Guianas. Segundo LUMPKIN; GARZOLI (2005) essa corrente está indiretamente relacionada ao esfriamento sazonal da retroflexão da CNB e a reversão para oeste da CCNE. Logo, no 2º semestre do ano (Figuras 10 e 11) a Corrente das Guianas apresenta velocidades menos intensas se comparada à primeira parte do ano (Figura 8 e 9). Enquanto que RICHARDSON; REVERDIN (1987) afirmam que a Corrente das Guianas é uma resultante da translação dos vórtices gerados pela retroflexão da CNB.

Essa divergência ocorre, pois entre os meses de julho a dezembro, a circulação da região é mascarada por esses vórtices (BOURLÈS *et al.*, 1999). Quando é feita uma média, essas feições de mesoescala podem demonstrar um movimento contínuo para noroeste.

A partir do presente estudo, pôde-se chegar a conclusão de que durante os meses de janeiro a junho, a Corrente das Guianas trata-se de uma continuação do transporte contínuo para noroeste da CNB. Isso pode ser confirmado a partir das imagens dos derivadores do GDP (Figuras 4 e 5) e das médias geradas a partir do OSCAR (Figuras 8 e 9). Enquanto que nos meses de julho a dezembro, período em que há retroflexão, a Corrente das Guianas está menos intensa, comparada ao primeiro período do ano, pois resulta da translação dos vórtices que são gerados da retroflexão da CNB. Essa menor intensidade pode ser comprovada pelas Figuras 10 e 11, e

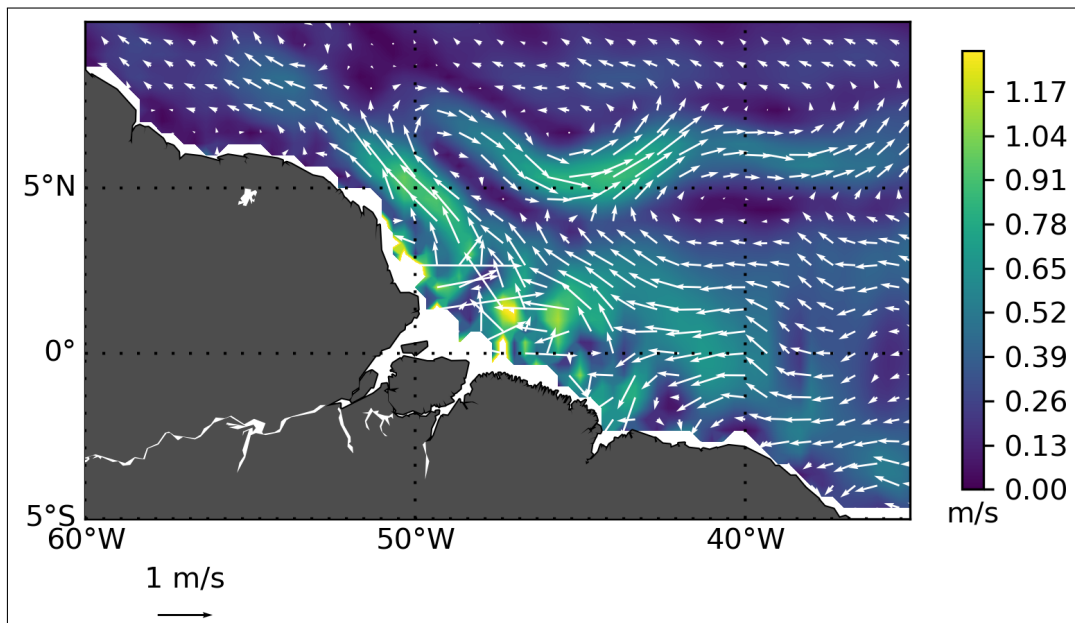
nas Figuras 6 e 7 podem ser observadas essas feições de mesoescala que acometem a região.

Figura 10 – Corrente média a 15 m de profundidade para os meses de julho, agosto e setembro dos anos de 2008 a 2018.



Fonte: a autora.

Figura 11 – Corrente média a 15 m de profundidade para os meses de outubro, novembro e dezembro dos anos de 2008 a 2018.



Fonte: a autora.

A partir das médias geradas oriundas dos dados do OSCAR foram plotados mapas para desvio padrão para todos os anos analisados, totalizando 4 imagens. Os resultados demonstraram-se próximos à média, com desvio padrão máximo de 0,3 (Figura 12). Próximo à

costa o desvio foi mais alto se comparado à região oceânica, demonstrando maior variabilidade das correntes próximas à quebra da plataforma comparadas às encontradas mais *offshore*.

Sugere-se que essa diferença seja devido aos processos que ocorrem nas diferentes regiões. Próximo à plataforma os processos são mais mutáveis e sofrem maiores variações devido a fatores como vento, profundidade, entre outros. Além disso, a região em que se encontra a área de estudo recebe um alto fluxo de água doce provindo do Rio Amazonas, cuja pluma se estende por quilômetros. Já na região oceânica os processos apresentam um caráter mais estacionário, com padrões mais bem definidos devido à geostrofia que atua sobre as correntes marinhas. A maior variabilidade das correntes na região próxima à costa, pode ser melhor visto nas imagens das trajetórias dos derivadores (Figuras 4, 5, 6 e 7), em que se observa maior variabilidade das setas próximas à quebra da plataforma continental. Na Figura 11, esse comportamento também pode ser visto no centro da imagem, próximo a 2° N e 48° W.

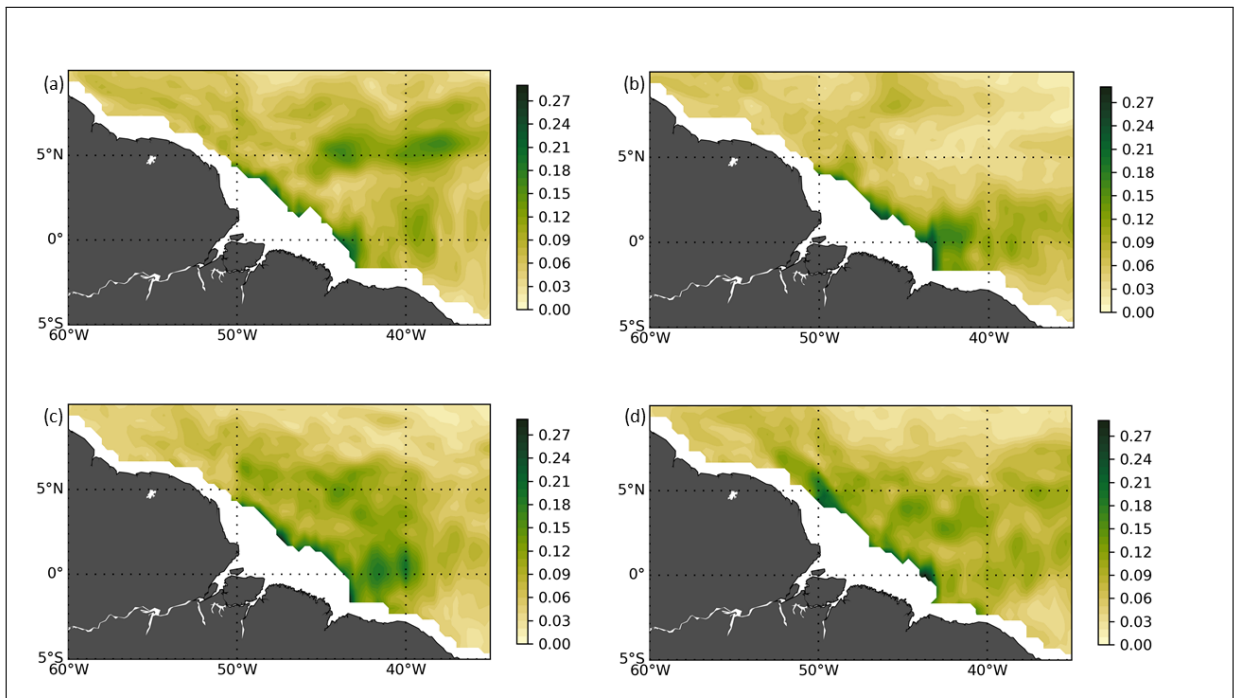
Entre os meses de janeiro, fevereiro e março (Figura 12a), observa-se elevado desvio padrão, próximo a 0,15, mais *offshore*, ao norte de 5° N e entre as longitudes 37° W e 45° W, na região da CCNE. Esses valores mais altos estão relacionados à grande variabilidade da CCNE. Como visto por BOURLÈS *et al.* (1999), a CCNE apresenta sazonalidade na sua direção, tendo, neste período do ano, sentido para leste e em alguns períodos podendo inverter para oeste. Esses diferentes comportamentos podem ser vistos nas Figuras 13a e 14a, em que a primeira mostra a CCNE fluindo para leste e a segunda mostra um comportamento contrário. Isso também pode ser visto na Figura 4, em que há setas apontando para diferentes direções na região em que se encontra a CCNE.

Entre os meses abril, maio e junho (Figura 12b), no geral, observa-se o mínimo de desvio padrão. No entanto, próximo à costa observa-se o máximo de desvio padrão, entre todas as imagens analisadas, próximo de 0,21, associado à interação da CNB com a plataforma.

O segundo semestre dos anos apresentou maior variabilidade quando comparado ao primeiro. Entre os meses analisados, no geral, em outubro, novembro e dezembro (Figura 12d), observa-se o máximo de desvio padrão, demonstrando maior variabilidade das correntes para esse período do ano. Isso condiz com os resultados encontrados, que mostraram a retroflexão da CNB para esta época do ano. Na Figura 12d, é possível observar também a região correspondente à CCNE, ao norte de 5° N e a leste de 50° W, apresentando desvio padrão variando em torno de 0,1. Esse desvio pode estar associado às oscilações que ocorrem na CCNE, caracterizadas como uma onda de Rossby por RICHARDSON; REVERDIN (1987).

Na Figura 12, em todos os períodos, é possível observar um desvio variando entre 0,03 e 0,18, na latitude  $3^{\circ}$  N e longitude  $42^{\circ}$  W. Essa variabilidade está relacionada ao ramo norte da CSE. Parte deste ramo se une à NBC em  $2-3^{\circ}$  N e  $45-46^{\circ}$  W, enquanto a outra parte retroflete e passa a alimentar a CCNE entre as longitudes  $30-40^{\circ}$  W (LUMPKIN; GARZOLI, 2005).

Figura 12 – Desvio padrão correspondente às médias das velocidades obtidas dos dados do OSCAR (Figuras 8, 9, 10 e 11). (a) Desvio padrão para os meses de janeiro, fevereiro e março, de 2008 a 2018. (b) desvio padrão para os meses de abril, maio e junho, de 2008 a 2018. (c) desvio padrão para os meses de julho, agosto e setembro, de 2008 a 2018. (d) desvio padrão para os meses de outubro, novembro e dezembro, de 2008 a dezembro de 2017.



Fonte: a autora.



### 4.2.3 Anos específicos

Como dito anteriormente, os dados foram analisados inicialmente por médias anuais, e em seguida foram feitas as médias para os anos como um todo. Nesta seção, 3 anos foram escolhidos para análise pormenorizada. Os anos de 2012 e 2017 (Figura 14 e 15, respectivamente) foram escolhidos devido às suas peculiaridades nos padrões observados. O ano de 2015 (Figura 13) demonstrou similaridade com os padrões observados.

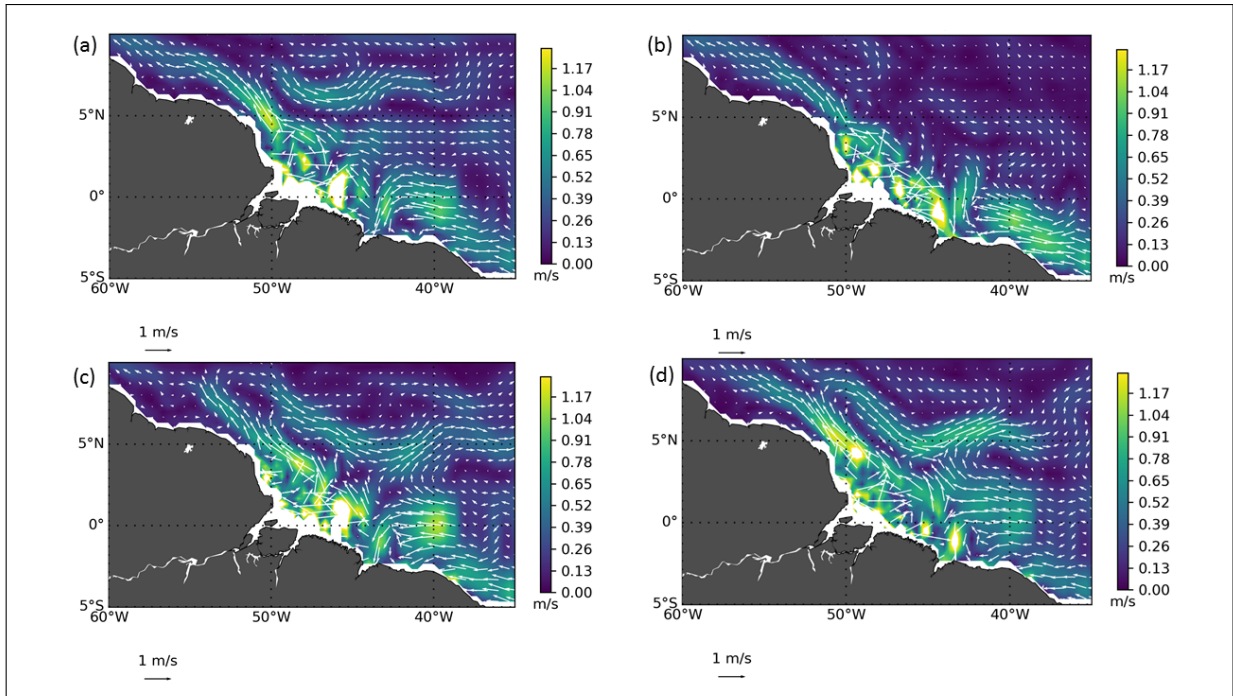
#### 4.2.3.1 2015

No ano de 2015 (Figura 13), houve grande similaridade com os padrões descritos na literatura e os encontrados nas médias feitas para todos os anos. No primeiro período do ano (Figuras 13a e 13b), a CNB flui continuamente para noroeste, paralela à costa e próxima à quebra da plataforma, com velocidades próximas a 1,05 m/s. Mais *offshore*, para o mesmo período do ano, é possível observar um movimento contínuo para leste, acima de 5° N e a leste de 50° W, com velocidades próximas a 0,9 m/s, associado à CCNE.

No segundo período do ano de 2015 (Figuras 13c e 13d), a retroflexão da CNB é bem evidenciada, próximo às latitude e longitude 8° N e 52° W, com velocidades mais intensas, próximas a 1 m/s. Neste mesmo período, acima de 5° N e a leste de 50° W, há um movimento contínuo para leste, com velocidades próximas a 1,05 m/s, associado à CCNE. A onda de Rossby, decorrente das oscilações oriundas da rápida reversão da CNB em CCNE, está bem evidenciada, se estendendo para leste de 50° W.

Na Figura 13d, na latitude 7° N e longitude 52° W, há um movimento contínuo para noroeste, com velocidades próximas a 0,8 m/s, associado à chamada Corrente das Guianas. LUMPKIN; GARZOLI (2005) observaram que a intensidade da Corrente das Guianas varia inversamente de acordo com a retroflexão da CNB, ou seja, quando há retroflexão, a Corrente das Guianas está mais fraca. No entanto, na Figura 13d, a Corrente das Guianas apresenta velocidades similares a outros períodos do ano, como nas Figuras 13a e 13b. Isso pode estar associado aos vórtices decorrentes da retroflexão da CNB. Segundo RICHARDSON *et al.* (1994), a Corrente das Guianas pode ser entendida como uma resultante da média da translação dessas feições de mesoescala.

Figura 13 – Média da velocidade para o ano de 2015 (a) velocidade para os meses de janeiro, fevereiro e março; (b) velocidade para os meses de abril, maio e junho; (c) velocidade para os meses de julho, agosto e setembro; (d) velocidade para os meses de outubro, novembro e dezembro.



Fonte: a autora.

#### 4.2.3.2 2012

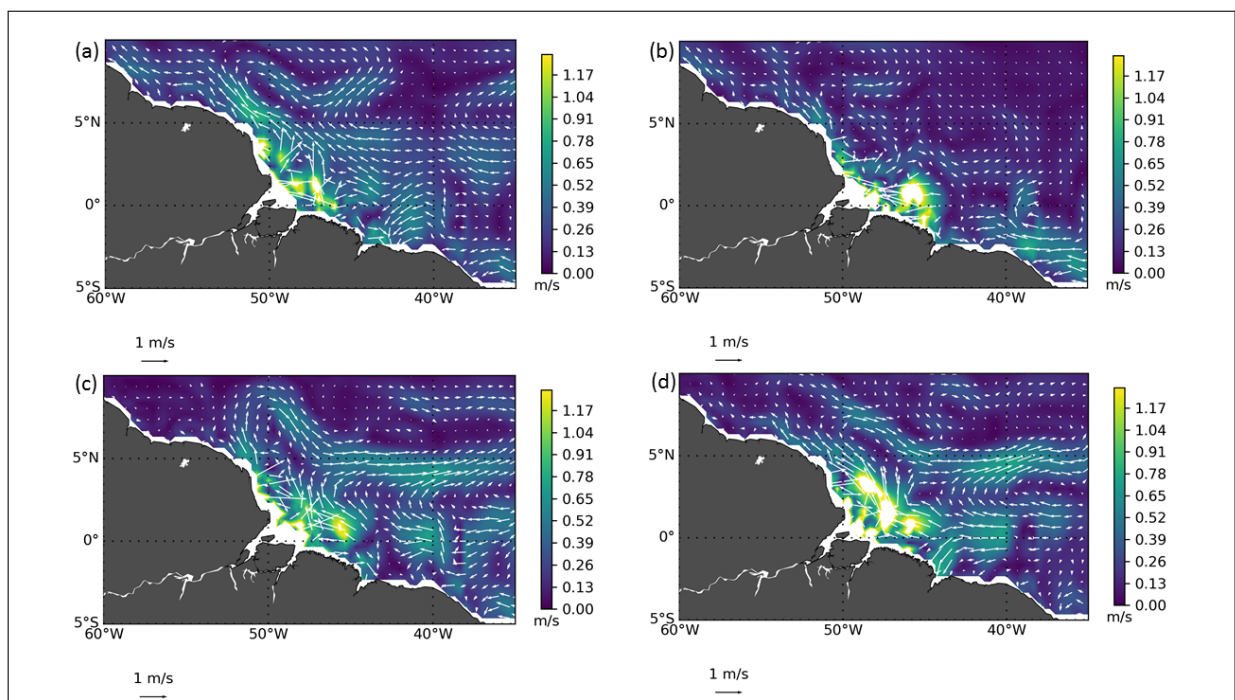
No ano de 2012 (Figura 14) é possível observar uma pequena retroflexão da CNB, não usual, próxima às latitude e longitude  $8^{\circ}$  N e  $52^{\circ}$  W, nos meses de janeiro, fevereiro e março (Figura 14a), com velocidades próximas a  $0,8$  m/s. Mais próxima à costa, outra parcela permanece fluindo para noroeste, com velocidades próximas a  $0,6$  m/s. Contudo, apesar dessa mudança de direção de uma parte da CNB para leste, a CCNE apresenta um movimento, na maior parte, para oeste, contrário ao padrão observado quando há retroflexão, como no 2<sup>o</sup> período do ano (Figuras 14c e 14d). Em algumas regiões de atuação da CCNE é possível observar velocidades com sentido para leste. Isso pode indicar que em algum período dentro dos 3 meses houve um movimento para leste dessa corrente.

A Figura 14a é uma média para janeiro, fevereiro e março, logo, a retroflexão presente pode não ter permanecido em todo o período. Todavia, a presença da retroflexão na média indica que houve retroflexão em algum momento desse período de 3 meses, e ela apresentou grande intensidade e/ou tempo suficiente para ser representativa na média.

Próximo às latitude e longitude  $7^{\circ}$  N e  $55^{\circ}$  W, nas Figuras 14a e 14b, é possível

observar a maior intensidade da chamada Corrente das Guianas, se comparada às velocidades para a mesma região nas Figuras 14c e 14d. Apesar de haver uma pequena retroflexão da CNB no primeiro período do ano, ainda assim a Corrente das Guianas apresenta maior intensidade nesta parte do ano, se comparada ao período em que há de fato a retroflexão da CNB. Isso condiz, em parte, com o observado por LUMPKIN; GARZOLI (2005), que observou maior intensidade da Corrente das Guianas, em períodos sem retroflexão da CNB.

Figura 14 – Média da velocidade para o ano de 2012 (a) velocidade para os meses de janeiro, fevereiro e março; (b) velocidade para os meses de abril, maio e junho; (c) velocidade para os meses de julho, agosto e setembro; (d) velocidade para os meses de outubro, novembro e dezembro.



Fonte: a autora.

#### 4.2.3.3 2017

No ano de 2017 (Figura 15), assim como no ano de 2012, observa-se uma pequena retroflexão da CNB para o primeiro período do ano (Figura 15a), próximo a  $8^{\circ}$  N e  $53^{\circ}$  W, com velocidades menos intensas, quando comparadas ao segundo período do ano (Figura 15c e 15d), próximas de 0,6 m/s.

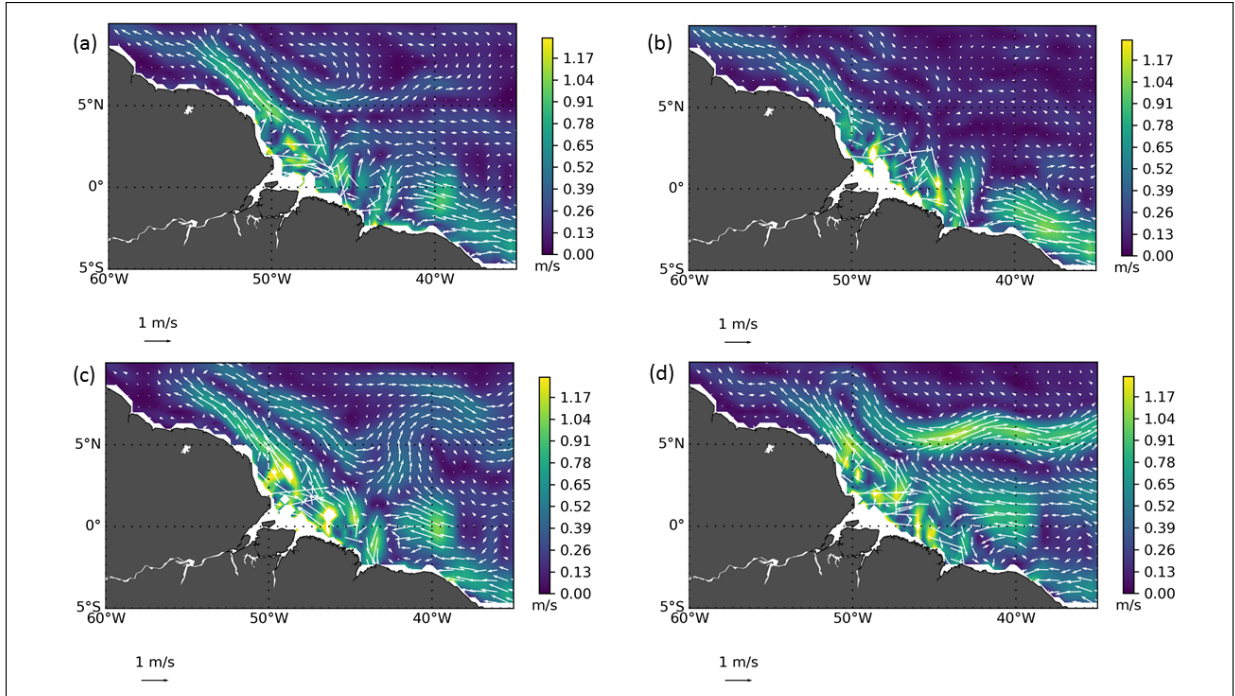
Nos meses de abril, maio e junho (Figura 15b), a CNB apresenta um movimento contínuo para noroeste, como o esperado para esse período do ano. Neste período, mais ao sul, próximo de  $3^{\circ}$  S e  $37^{\circ}$  W, recebe ainda a entrada de águas oriundas da cCSE, com velocidades próximas a 0,9 m/s. Nessa região, a cCSE se une à SNB, passando a ser de superfície e renomeada de Corrente Norte do Brasil (CNB) (SCHOTT *et al.*, 1998).

No segundo período do ano de 2017 (Figura 15c e 15d), a retroflexão da CNB está bem evidenciada, com velocidades variando em torno de 1,05 m/s. No entanto, a posição da retroflexão apresentou divergência do padrão esperado, principalmente nos meses julho, agosto e setembro (Figura 15c). Neste período, ela se encontra mais ao norte do que nos outros períodos analisados, próximo à  $9^{\circ}$  N e  $57^{\circ}$  W. Essa divergência pode estar relacionada aos vórtices originados dessa retroflexão. Essas feições de mesoescala podem ter permanecido na área por tempo suficiente para serem representativas na média, considerando que é uma média de 3 meses. Logo, na média pode aparentar um prolongamento da retroflexão.

Nos meses de outubro, novembro e dezembro (Figura 15d), a posição da retroflexão está mais ao sul, se comparada aos meses anteriores, próxima às latitudes e longitudes  $8^{\circ}$  N e  $52^{\circ}$  W. Neste mesmo período do ano, é possível observar a CCNE fluindo para leste na longitude  $5^{\circ}$  N, apresentando oscilações a leste de  $50^{\circ}$  W relacionadas à onda de Rossby, com velocidades próximas a 1,1 m/s.

No segundo período dos anos analisados separadamente (Figuras 13c, 13d, 14c, 14d, 15c e 15d), na região entre as longitudes  $35-47^{\circ}$  W e na latitude de  $3^{\circ}$  N, é possível observar um movimento para oeste, e posteriormente, uma mudança de direção para o norte, alimentado a CCNE. Esse movimento está associado à nCSE, condizendo em parte com LUMPKIN; GARZOLI (2005), que observaram essa mudança de direção da nCSE entre as longitudes  $30-40^{\circ}$  W, alimentando a CCNE. Enquanto que nos resultados obtidos nesse estudo essa alimentação da CCNE ocorreu até a longitude de  $42^{\circ}$  W.

Figura 15 – Média da velocidade para o ano de 2017 (a) velocidade para os meses de janeiro, fevereiro e março; (b) velocidade para os meses de abril, maio e junho; (c) velocidade para os meses de julho, agosto e setembro, de 2008 a 2018. (d) velocidade para os meses de outubro, novembro e dezembro.



Fonte: a autora.

### 4.3 Comparação entre as bases de dados

Os conjuntos de dados utilizados se diferenciam bastante em relação ao modo de obtenção. O OSCAR contém estimativas das velocidades zonais e meridionais a partir de dados de satélites e outros instrumentos *in situ*, e baseado na resolução de equações de movimento quasi-lineares e quase-constantes. Já os dados de GDP consistem de dados de velocidade *in situ*, medidos por derivadores que estiveram presentes na área de estudo durante a época analisada.

Apesar das diferenças de obtenção de dados, as duas bases de dados demonstraram padrões similares para a região oeste do oceano Atlântico equatorial. Isso pode ser afirmado observando as Figuras 4, 5, 6 e 7, presentes no tópico 4.1 e as Figuras 8, 9, 10 e 11, presentes no tópico 4.2, correspondentes aos dados de velocidade do GDP e do OSCAR, respectivamente.

A partir dos dados do OSCAR foram plotados mapas de desvio padrão, sendo possível analisar a variabilidade dos padrões de correntes na região. A partir dele foi possível determinar a variação da velocidade das correntes atuantes na área de estudo, assim como as variações no sentido e direção. Foi possível também analisar sazonalmente e anualmente, permitindo assim observar as variações que ocorrem em curto prazo.

Um exemplo disso é a região de atuação da CCNE, que apresentou considerável desvio padrão, associado às variações sazonais que ocorrem nessa corrente e às oscilações ou onda de Rossby que ocorrem no seu percurso para leste. A partir dos mapas de desvio padrão, foi possível também determinar a região da retroflexão da CNB. Esta região demonstrou elevado desvio padrão, devido à sua variabilidade sazonal, em que parte do ano ela segue continuamente para noroeste, e outra parte retroflete alimentando a CCNE. Além disso, a CNB demonstrou grande interação com a quebra da plataforma, razão pela qual houve alto desvio padrão próximo à quebra da plataforma.

Os dados do GDP expressaram a trajetória dos derivadores presentes na área de estudo. Por serem dependentes da advecção pelas correntes atuantes, a quantidade de derivadores pode variar de acordo com a época. Igualmente aos dados do OSCAR, a partir dos dados do GDP foi possível analisar os dados sazonalmente e anualmente. No entanto, quanto menor a escala de tempo analisada, menor era a quantidade de derivadores, impedindo conclusões confiáveis a curto prazo, para alguns meses. Logo, conclusões mais confiáveis devem ser tiradas a partir de análises a longo prazo, como as realizadas nesse estudo que utilizou uma série temporal de, aproximadamente, 10 anos.

## 5 CONCLUSÕES

O presente estudo analisou o sistema de correntes na região oeste do oceano Atlântico equatorial, entre as latitudes 10° N e 5° S e as longitudes 35° W e 60° W. O estudo foi feito a partir de dados do OSCAR, que contém estimativas das velocidades zonal e meridional, e dados do GDP, que contém dados *in situ* de velocidades medidas por derivadores, que possibilitaram observar os padrões das correntes presentes na região.

Para os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho, foi evidenciado um escoamento contínuo com sentido noroeste, associado à CNB, próximo à quebra da plataforma, com velocidades variando entre 0,5 e 1 m/s. Mais a leste, próximo de 50° W, e acima da latitude 5° N, foram evidenciadas velocidades menos intensas, se comparadas com a CNB, variando entre 0,5 e 0,8 m/s, correspondentes à CCNE. Essas velocidades foram mais intensas no primeiro trimestre se comparado ao segundo trimestre dos anos. No entanto, houveram alguns períodos, como no primeiro trimestre dos anos de 2012 e 2017, que houve uma pequena retroflexão da CNB, não comum para essa época do ano.

Para os meses de julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, é possível observar a retroalimentação da CCNE pela CNB, devido à retroflexão *offshore* da Corrente Norte do Brasil. Evidenciando maior intensidade, com velocidades variando entre 0,8 e 1,1 m/s próximo à latitude de 6° N e longitude 52° W, a retroflexão é uma importante ponte inter-hemisférica, em que ocorre troca de massa e calor.

A retroflexão da CNB durante o segundo semestre resulta em uma alta taxa de despreendimento de vórtices, feições de mesoescala que transportam águas de temperatura e salinidade iguais da região de origem, nesse caso, do Atlântico Sul para o Atlântico Norte. Essas feições são responsáveis pela Corrente das Guianas que, diferentemente das outras correntes marítimas, durante os meses de julho a dezembro, é uma resultante da média da translação dos vórtices que seguem em sentido noroeste. Durante os meses de janeiro a junho a Corrente das Guianas se trata de uma continuação do transporte contínuo para noroeste da CNB.

Neste estudo podemos observar ainda o baixo transporte associado ao ramo norte da CSE, próximo a 2° N e 37° W. A nCSE possui grande importância na circulação da porção oeste do Atlântico equatorial, pois recircula em direção ao norte alimentando a CCNE. Segundo a literatura, esta recirculação é particularmente forte entre as longitudes 30-40° W, no entanto, neste estudo foi observada ocorrendo até 42° W. A oeste desta, a intensidade da nSEC é menor, embora exista uma extensão deslocada para o sul que chega à costa brasileira a 0-2° N e 43-46°

W e entra na CNB a leste da retroflexão.

Desta forma, foi possível observar o padrão de correntes no Atlântico equatorial oeste, assim como a sazonalidade que acomete as correntes atuantes na região. A divisão trimestral realizada nesse estudo, assim como a utilização de 10 anos de análise, demonstraram ser um bom período e série temporal para esse tipo de estudo. A utilização de dados observacionais demonstrou-se bastante efetiva na aplicação das estimativas do OSCAR. Dados de sensoriamento remoto são fáceis de se obter e possuem boa resolução temporal e espacial. Dados *in situ* possuem alta confiabilidade, assim como boa resolução temporal e espacial, no entanto, ainda estão escassos, apesar da grande importância e necessidade que possuem.



## REFERÊNCIAS

- BONJEAN, F.; LAGERLOEF, G. S. Diagnostic model and analysis of the surface currents in the tropical pacific ocean. **Journal of Physical Oceanography**, v. 32, n. 10, p. 2938–2954, 2002.
- BOURLÈS, B.; GOURIOU, Y.; CHUCHLA, R. On the circulation in the upper layer of the western equatorial atlantic. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 104, n. C9, p. 21151–21170, 1999.
- FLAGG, C. N.; GORDON, R. L.; MCDOWELL, S. Hydrographic and current observations on the continental slope and shelf of the western equatorial atlantic. **Journal of physical oceanography**, v. 16, n. 8, p. 1412–1429, 1986.
- GOES, M.; MOLINARI, R.; SILVEIRA, I. da; WAINER, I. Retroreflections of the north brazil current during february 2002. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, Elsevier, v. 52, n. 4, p. 647–667, 2005.
- GORDON, A. L. Interocean exchange of thermocline water. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 91, n. C4, p. 5037–5046, 1986.
- HOGG, N. G.; JOHNS, W. E. Western boundary currents. **Reviews of Geophysics**, Wiley Online Library, v. 33, n. S2, p. 1311–1334, 1995.
- JOHNS, W. E.; LEE, T. N.; SCHOTT, F. A.; ZANTOPP, R. J.; EVANS, R. H. The north brazil current retroflection: Seasonal structure and eddy variability. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 95, n. C12, p. 22103–22120, 1990.
- LUMPKIN, R.; GARZOLI, S. L. Near-surface circulation in the tropical atlantic ocean. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, Elsevier, v. 52, n. 3, p. 495–518, 2005.
- RICHARDSON, P.; HUFFORD, G.; LIMBURNER, R.; BROWN, W. North brazil current retroflection eddies. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 99, n. C3, p. 5081–5093, 1994.
- RICHARDSON, P.; REVERDIN, G. Seasonal cycle of velocity in the atlantic north equatorial countercurrent as measured by surface drifters, current meters, and ship drifts. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 92, n. C4, p. 3691–3708, 1987.
- SCHOTT, F.; FISCHER, J.; REPPIN, J.; SEND, U. On mean and seasonal currents and transports at the western boundary of the equatorial atlantic. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 98, n. C8, p. 14353–14368, 1993.
- SCHOTT, F. A.; FISCHER, J.; STRAMMA, L. Transports and pathways of the upper-layer circulation in the western tropical atlantic. **Journal of Physical Oceanography**, v. 28, n. 10, p. 1904–1928, 1998.
- SCHOTT, F. A.; STRAMMA, L.; FISCHER, J. The warm water inflow into the western tropical atlantic boundary regime, spring 1994. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 100, n. C12, p. 24745–24760, 1995.
- SILVA, A. C. d.; ARAUJO, M.; PINHEIRO, L. d. S. Caracterização hidrográfica da plataforma continental do maranhão a partir de dados oceanográficos medidos, remotos e modelados. **Revista Brasileira de Geofísica**, SciELO Brasil, v. 25, n. 3, p. 281–293, 2007.

SILVEIRA, I. C. da; BROWN, W. S.; FLIERL, G. R. Dynamics of the north brazil current retroflection region from the western tropical atlantic experiment observations. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 105, n. C12, p. 28559–28583, 2000.

SILVEIRA, I. C. da; MIRANDA, L. B. de; BROWN, W. S. On the origins of the north brazil current. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 99, n. C11, p. 22501–22512, 1994.