



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**CARACTERIZAÇÃO DA BANDA DUPLA DA ZONA  
DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (ZCIT) NO  
OCEANO ATLÂNTICO**

---

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO**

**Thales Alves Teodoro**

**Itajubá, MG, Brasil**

**2018**

# **CARACTERIZAÇÃO DA BANDA DUPLA DA ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (ZCIT) NO OCEANO ATLÂNTICO**

---

**por**

**Thales Alves Teodoro**

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Bacharel em Ciências Atmosféricas.**

**Orientadora: Dra. Michelle Simões Reboita**

**Coorientador: Dr. Gustavo Carlos Juan Escobar**

**Itajubá, MG, Brasil  
2018**

**Universidade Federal de Itajubá  
Instituto de Recursos Naturais  
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

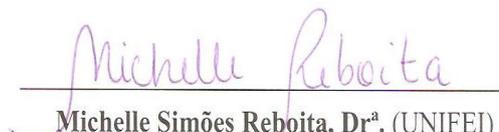
**CARACTERIZAÇÃO DA BANDA DUPLA DA ZONA DE  
CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (ZCIT) NO OCEANO  
ATLÂNTICO**

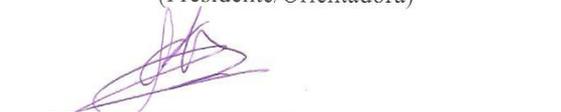
elaborada por

**Thales Alves Teodoro**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Bacharel em Ciências Atmosféricas**

**Comissão Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
**Michelle Simões Reboita, Dr<sup>a</sup>. (UNIFEI)**  
(Presidente/Orientadora)

  
\_\_\_\_\_  
**Gustavo Carlos Juan Escobar, Dr. (CPTEC/INPE)**

  
\_\_\_\_\_  
**Roger Rodrigues Torres, Dr. (UNIFEI)**

Itajubá, 26 de setembro de 2018.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por me dar força interior para sempre seguir em frente.

Aos meus pais Reginaldo e Magda pelo incentivo durante toda minha vida acadêmica. Ao meu avô Antônio por sempre torcer por mim.

A minha orientadora Michelle Reboita por toda paciência em ensinar e por sempre estar disposta a ajudar quando precisei. Sem seu valioso apoio não seria possível realizar este trabalho.

Ao Dr. Gustavo Carlos Juan Escobar por me mostrar o caminho da ciência e por todo envolvimento e sugestões neste estudo.

À minha amiga Bruna pela ajuda imensurável nos momentos de desespero.

Agradeço também aos meus amigos, Eduardo, Lara, Mateus, Rayan, Robson e Vitor pelo companheirismo durante toda a graduação.

Aos professores do curso de Ciências Atmosféricas por todos os ensinamentos.

Dedico aos meus pais, Reginaldo e Magda.

A disciplina é a parte mais importante do sucesso.

Truman Capote

.

## **RESUMO**

Monografia de Graduação  
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

### **CARACTERIZAÇÃO DA BANDA DUPLA DA ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (ZCIT) NO OCEANO ATLÂNTICO**

AUTOR: THALES ALVES TEODORO  
ORIENTADORA: Dra. MICHELLE SIMÕES REBOITA  
COORDENADOR: Gustavo Carlos Juan Escobar  
Local e Data da Defesa: Itajubá, 26 de setembro de 2018.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é uma região de convergência dos ventos em baixos níveis da atmosfera na região equatorial que origina uma banda de nuvens que é identificada nas imagens de satélite. Concomitantemente com a ZCIT, em alguns dias do ano, também ocorre uma banda de nebulosidade secundária similar à ZCIT que recebe a denominação de banda dupla da ZCIT. Considerando a importância que a banda dupla da ZCIT do Atlântico representa para a estação chuvosa do norte do Nordeste brasileiro, o objetivo deste trabalho é identificar as ocorrências de banda dupla sobre o oceano Atlântico Tropical nas estações de verão e outono, no período de 2010 a 2017, e realizar uma análise estatística dessas ocorrências. Objetiva-se ainda, indicar as variáveis meteorológicas que melhor registram a ocorrência de banda dupla no Atlântico. Para identificar os casos de banda dupla foram utilizadas as cartas sinóticas de superfície elaboradas pelo Grupo de Previsão do Tempo (GPT) do CPTEC/INPE, pois essas já apresentam a representação dos casos de banda dupla, bem como a reaplicação da metodologia do GPT para confirmar se os casos registrados realmente apresentavam banda dupla. Para indicar as variáveis meteorológicas que melhor definem a banda dupla da ZCIT no Atlântico, utilizou-se a técnica de composição de casos e a anomalia (média das variáveis meteorológicas nos dias de banda dupla menos a média climatológica) com dados de reanálise. Os resultados indicaram que as bandas duplas da ZCIT não abrangem toda a extensão longitudinal do Atlântico Tropical. Esses sistemas atmosféricos ocorrem entre os meses de janeiro a maio, mas sendo os casos dos meses de março e abril com maior tempo de vida médio (7,1 e 4,6 dias, respectivamente). Nem todas as variáveis atmosféricas registram claramente a ocorrência das bandas duplas da ZCIT. Nesse estudo, as bandas duplas foram mais evidentes nos campos de precipitação, radiação de onda longa, velocidade vertical em 500 hPa e água precipitável. O processo de formação das bandas duplas ainda continua sendo uma lacuna no conhecimento em Ciências Atmosféricas.

Palavras-chave: Análise estatística. Atlântico Tropical. Banda dupla. Variáveis meteorológicas. ZCIT.

## **ABSTRACT**

Graduation Monograph  
Graduate Program in Atmospheric Sciences  
Federal University of Itajubá, MG, Brazil

### **CHARACTERIZATION OF THE DOUBLE BAND OF THE INTERTROPICAL CONVERGENCE ZONE (ITCZ) IN THE ATLANTIC OCEAN**

AUTHOR: THALES ALVES TEODORO

ADVISOR: MICHELLE SIMÕES REBOITA

Location and Date of Defense: Itajubá, September 26, 2018.

The Intertropical Convergence Zone (ITCZ) is a convergence region of the low-level atmosphere winds in the equatorial region that contributes to a band of clouds that is easily identified on the satellite images. Concomitantly with the ITCZ, in some days of the year, there is also a secondary cloudiness band similar to the ITCZ that is called double-band of the ITCZ. Over the Atlantic Ocean, this secondary band always occurs southward of the main band (ITCZ). The objective of this work is to identify the double-band of ITCZ occurrences over the Tropical Atlantic Ocean in the seasons of summer and autumn, from 2010 to 2017, and to perform a statistical analysis of these occurrences. Moreover, we will indicate the meteorological variables that better record the occurrence of double band. In order to identify the double-band cases, the surface synoptic charts developed by the CPTEC / INPE Time Prediction Group (GPT) were used, since they already represent the double-band case representation, as well as the reapplication of the GPT methodology for confirm if the recorded cases actually had double band.. In order to indicate the meteorological variables that best define the double band of the ITCZ in the Atlantic, the technique of case composition and the anomaly (mean of the meteorological variables in the double band days less the climatological average) were used with reanalysis data. The results indicated that the double bands of the ITCZ does not cover the entire longitudinal extension of the Tropical Atlantic. These atmospheric systems occur between January and May, but the cases of the months of March and April have a longer average life (7.1 and 4.6 days, respectively). Not all atmospheric variables clearly record the occurrence of dual bands of the ITCZ. In this study, double bands were most evident in the fields of precipitation, long wave radiation, vertical velocity at 500 hPa e precipitable water. The process of forming double bands still remains a gap in knowledge in Atmospheric Sciences.

Keywords: Statistical analysis. Tropical Atlantic. Double band. Meteorological variables. ITCZ.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Média anual (1980-2008) da temperatura do ar (°C) a 2 metros de altura .....	3
FIGURA 2- Representação esquemática da circulação geral da atmosfera terrestre .....	4
FIGURA 3- Imagem do satélite GOES 13 + METEOSAT 10 no canal infravermelho no dia 11/05/2017, às 00 UTC.....	5
FIGURA 4- Média sazonal da intensidade (m/s) e direção dos ventos a 10 m de altura no período de 1988.....	7
FIGURA 5- Representação do Transporte de Ekman no HS.....	9
FIGURA 6- Campos meteorológicos no dia 13/02/2013: água precipitável e ômega em 500 hPa; umidade relativa média entre os níveis de 850 e 700 hPa e e linhas de corrente em 925 hPa; precipitação e vento em 925 hPa.....	12
FIGURA 7- Exemplo de ocorrência de banda dupla da ZCIT no oceano Atlântico no dia 13 de fevereiro de 2013 as 12 Z.....	13
FIGURA 8- Temperatura de brilho (°C, tons de cinza); ilustrando a banda dupla da ZCIT em 13/02/2013, às 12 UTC.....	14
FIGURA 9- Posição média das bandas principal (verde) e secundária (vermelho) em cada caso de banda dupla.....	19
FIGURA 10- Campo de água precipitável sobre o oceano Atlântico Tropical.....	20
FIGURA 11- Campo de umidade relativa média entre os níveis de 850 e 700 hPa sobre o oceano Atlântico Tropical.....	21
FIGURA 12- Campo de precipitação sobre o oceano Atlântico Tropical.....	22
FIGURA 13- Campo de convergência de massa e vento a 10 metros da superfície sobre o oceano Atlântico Tropical.....	23
FIGURA 14- Campo de divergência e vento em 250 hPa sobre o oceano Atlântico Tropical.....	24
FIGURA 15- Campo de ômega em 500 hPa sobre o oceano Atlântico Tropical.....	25
FIGURA 16- Campo de ROL sobre o oceano Atlântico Tropical.....	26
FIGURA 17- Campo de TSM e vento a 10 metros da superfície sobre o oceano Atlântico Tropical.....	27
FIGURA 18- Campo de fluxo de calor latente e vento a 10 metros da superfície sobre o oceano Atlântico Tropical.....	28

FIGURA 19- Campo de fluxo de calor sensível e vento a 10 metros da superfície sobre o oceano Atlântico Tropical.....	29
FIGURA 20- Campo do fluxo de umidade integrado verticalmente e convergência /divergência de umidade sobre o oceano Atlântico Tropical.....	30
FIGURA 21- Campo de temperatura do ar sobre o oceano Atlântico Tropical.....	31
FIGURA 22- Campo da magnitude e direção do vento a 10 metros da superfície sobre o Atlântico Tropical.....	32
FIGURA 23- Campo de intensidade da componente U do vento a 10 metros da superfície sobre o oceano Atlântico Tropical.....	33
FIGURA 24- Campo de intensidade da componente V do vento a 10 metros da superfície sobre o oceano Atlântico Tropical.....	34

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Estrutura da planilha utilizada para caracterizar a banda principal e secundária da ZCIT.....	15
TABELA 2- Número de ocorrências de bandas duplas da ZCIT no oceano Atlântico Central Oeste entre 2010 e 2017.....	17
TABELA 3- Tempo de vida médio mensal (em horas) das bandas duplas da ZCIT no oceano Atlântico Central Oeste entre 2010 a 2017.....	18
TABELA 4- Distribuição de frequência do tempo de vida (em horas) das bandas duplas.....	18

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

AS – América do Sul

ASAN – Alta Subtropical do Atlântico Norte

ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul

BP – Banda Principal

BS – Banda Secundária

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

GFS – Global Forecast System

GPCP – Global Precipitation Climatology Project

GPT – Grupo de Previsão do Tempo

GRADS – Grid Analysis and Display System

HN – Hemisfério Norte

HS – Hemisfério Sul

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

NCDC – National Climatic Data Center

NCEP – National Centers for Environmental Prediction

NEB – Nordeste Brasileiro

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

OLR – Daily Outgoing Longwave Radiation

PNM – Pressão ao nível do Mar

ROL – Radiação de Onda Longa

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

WHOI – Woods Hole Oceanographic Institution

ZCA – Zona de Confluência dos Alísios

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>x</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
2.1 CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA E A ZCIT.....	3
2.2 BANDA DUPLA DA ZCIT.....	7
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
3.1 IDENTIFICAÇÃO DA BANDA DUPLA DA ZCIT .....	10
3.2 ESTATÍSTICA BÁSICA .....	15
3.3 ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO .....	15
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>17</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS MÉDIAS .....	17
4.2 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS .....	19
4.3 ANÁLISE DA HIPÓTESE DE FORMAÇÃO DA BANDA DUPLA.....	31
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>35</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é originada pela convergência dos ventos alísios de nordeste, oriundos do Hemisfério Norte (HN), e dos ventos alísios de sudeste, provenientes do Hemisfério Sul (HS) (GLICKMAN, 2000). A ZCIT caracteriza-se pela ocorrência de movimentos ascendentes, baixas pressões em superfície, por ser uma banda de nebulosidade e por favorecer a ocorrência de chuvas (KRISHNAMURTI et al., 2013). De acordo com Ferreira (1996), a ZCIT exerce forte influência na precipitação da região equatorial dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico e nas áreas adjacentes dos continentes africano, americano e asiático. Outra característica peculiar desse sistema é que sua posição coincide com as áreas oceânicas que possuem anomalias positivas de Temperatura da Superfície do mar (TSM), evidenciando-se o acoplamento oceano/atmosfera.

A ZCIT pode ser identificada através de imagens de satélite e também pela análise de um conjunto de variáveis meteorológicas, tais como: água precipitável, radiação de onda longa (ROL), velocidade vertical na troposfera média, convergência de massa em superfície, umidade na camada limite planetária, TSM entre outras (KRISHNAMURTI et al., 2013). É importante salientar que a nebulosidade associada à ZCIT é mais bem identificada nas áreas oceânicas, uma vez que sobre os continentes a intensa atividade convectiva favorecida por esse sistema dificulta a sua detecção (UVO, 1989).

A posição da ZCIT apresenta grande variação com a estação do ano e a longitude. Considerando a região do Atlântico Equatorial, a ZCIT localiza-se mais ao norte (aproximadamente 10°N) durante o inverno austral e posiciona-se mais ao sul (em torno de 3°S) durante fevereiro a abril (HASTENRATH, 1991). Nesse oceano, Uvo (1989) verificou que é a permanência mais duradoura ou mais curta da ZCIT, em sua posição mais austral, que determina a quantidade de precipitação da estação chuvosa do norte do Nordeste Brasileiro (NEB). Ainda segundo essa autora, os anos secos no norte do NEB ocorrem quando a ZCIT inicia sua migração para o norte no final de fevereiro e início de março, enquanto em anos chuvosos, a ZCIT inicia sua migração para norte no final de abril ou início de maio. Dentre os estados nordestinos que mais recebem a influência da ZCIT estão: norte e centro do Maranhão e Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e sertões da Paraíba e Pernambuco (MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 1989).

Desde a década de 1960 que vem sendo documentada uma característica peculiar da ZCIT no oceano Pacífico (HUBERT et al., 1969; WALISER e GAUTIER, 1993 e ZHANG, 2001): a presença de uma segunda banda de nebulosidade, que é denominada de banda dupla da ZCIT. Banda dupla é uma nomenclatura utilizada para se referir à formação de uma banda de nuvens secundária ao sul da banda principal da ZCIT.

No oceano Atlântico, um dos primeiros estudos a abordar a ocorrência de bandas duplas foi a de Uvo (1989). Segundo a autora, a formação de banda dupla da ZCIT sobre o Atlântico Oeste acontece geralmente nos primeiros meses do ano (fevereiro, março e abril), e mostra-se relacionada com anos chuvosos no norte do NEB. Mais recentemente, Penna et al. (2013) realizaram uma análise estatística da ocorrência de bandas duplas da ZCIT no oceano Atlântico Oeste nas estações do verão e outono austral dos anos de 2009 a 2012. Para tanto, utilizaram os registros de banda dupla das análises sinóticas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). Entre os resultados Penna et al. (2013) mostraram que as bandas duplas do outono são mais duradouras, sendo que o mês preferencial de aparecimento desse sistema foi o mês de abril.

Considerando a importância que a banda dupla da ZCIT possui durante a estação chuvosa do norte do NEB (março e abril), e a ainda escassez de estudos sobre esse sistema no oceano Atlântico, o presente trabalho tem como objetivos:

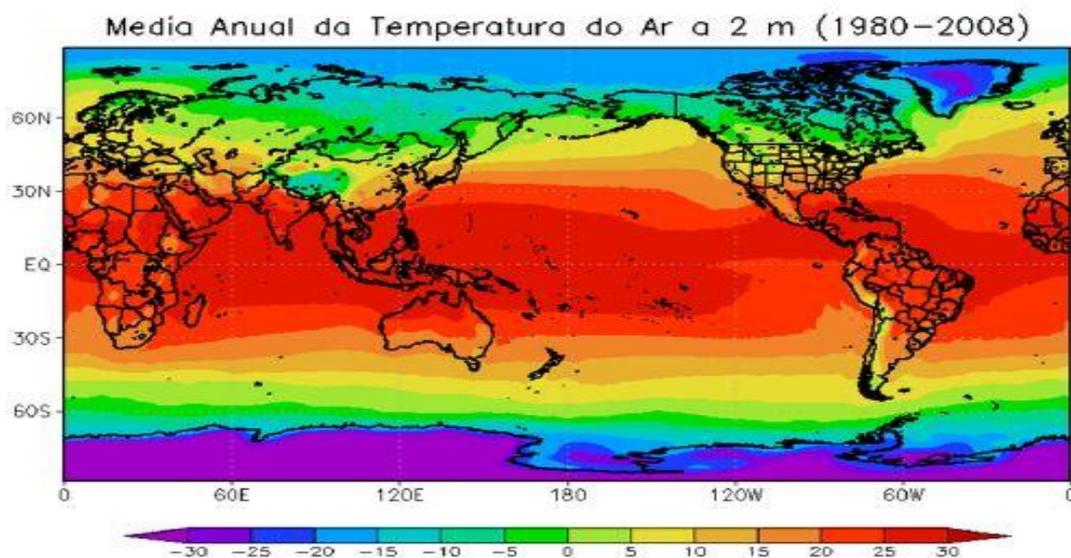
- identificar as ocorrências de banda dupla sobre o oceano Atlântico Central e Oeste nos meses de verão e outono austral no período de 2010 a 2017;
- realizar uma análise estatística das ocorrências de bandas duplas da ZCIT sobre o oceano Atlântico Central e Oeste;
- indicar as variáveis meteorológicas que melhor registram/identificam a ocorrência de banda dupla da ZCIT na região de estudo e
- testar uma hipótese que tenta explicar a formação das bandas duplas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Circulação Geral da Atmosfera e a ZCIT

A circulação geral da atmosfera é responsável principalmente por realizar as trocas de calor entre as regiões mais aquecidas (regiões tropicais) e as regiões menos aquecidas (regiões polares), reduzindo assim os gradientes de temperatura entre elas (YNOUE, 2017).

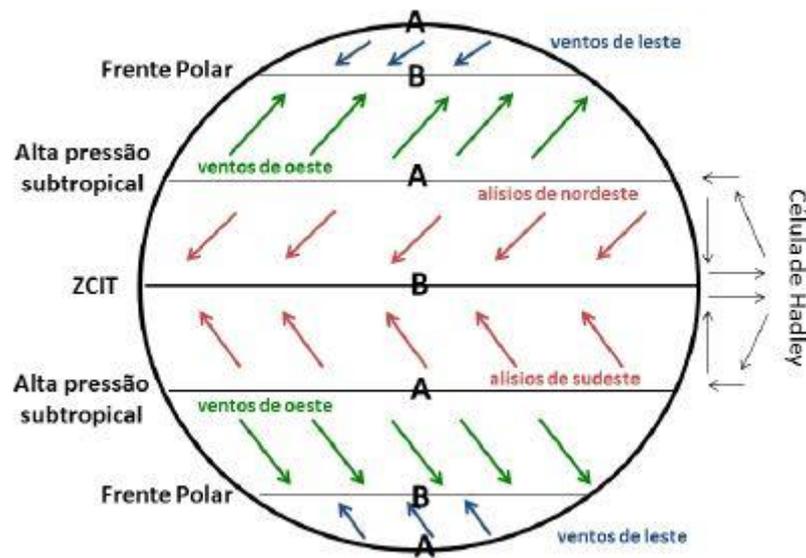
O aquecimento desigual da superfície terrestre é causado pelo ângulo de incidência que os raios solares fazem com a superfície do planeta. Na região tropical a radiação solar atinge à superfície de forma quase perpendicular, enquanto nas regiões mais próximas aos polos a radiação atinge a superfície de forma oblíqua (REBOITA et al., 2012). Em caráter ilustrativo, a figura 1 apresenta o padrão climatológico da temperatura média do ar próximo à superfície. Nota-se que, pelas áreas próximas ao equador receberem maior quantidade de energia por unidade de área, essas regiões apresentam uma temperatura média anual mais elevada do que os polos.



**Figura 1-** Média anual (1980-2008) da temperatura do ar (°C) a 2 metros de altura. Dados obtidos da reanálise do NCEP/NCAR. Fonte: Reboita et. al (2012).

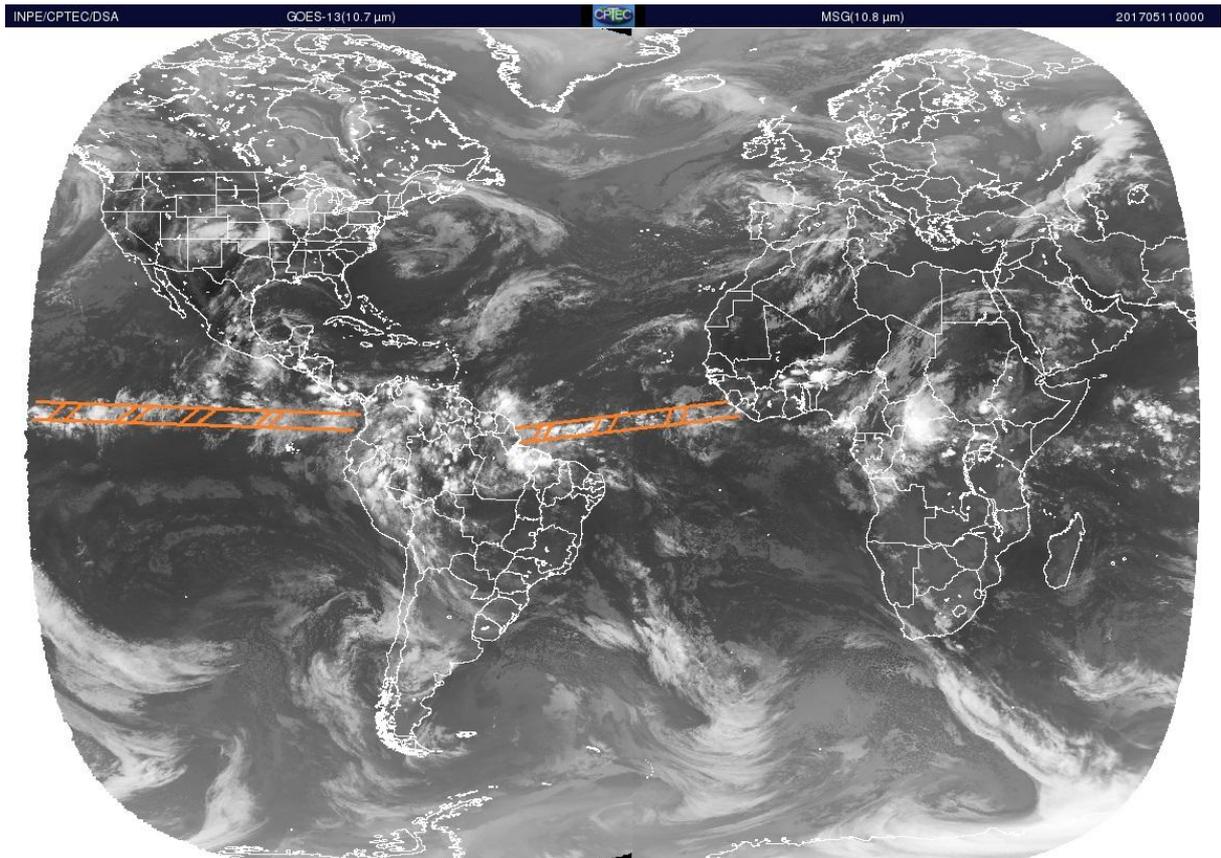
Na região equatorial, o excesso de energia contribui para convecção e convergência, fazendo o ar aquecido ascender na atmosfera, induzindo a formação de nuvens. Esse ar, após ascender, diverge na alta troposfera e segue em direção aos polos em ambos os hemisférios. Porém, durante esse deslocamento, o ar torna-

se mais denso por resfriamento, de tal forma que começa a subsidir entre 20°- 30° de latitude em ambos os hemisférios. Desse ar que subside, uma parte segue para os polos, e a outra volta para equador. O ar que volta para o equador forma os ventos alísios de sudeste do HS e os ventos alísios de nordeste do HN (figura 2). A célula formada pelo ar que ascende no equador e desce até entre 20°- 30° de latitude é denominada Célula de Hadley. Nas regiões onde o ar subside estão localizados os sistemas de alta pressão subtropical.



**Figura 2-** Representação esquemática da circulação geral da atmosfera terrestre. Fonte: Reboita et. al (2012).

É a convergência dos ventos alísios em superfície a responsável pela formação da ZCIT (figura 3). A ZCIT é definida como uma banda de nebulosidade com grande desenvolvimento vertical que se estende até a alta troposfera (YNOUE et al., 2017).



**Figura 3-** Imagem do satélite GOES 13 + METEOSAT 10 do canal infravermelho no dia 11/05/2017, às 00 UTC. A marcação em laranja representa a localização da ZCIT sobre os oceanos Pacífico e Atlântico. Modificada de: DSA/CPTEC/INPE.

Segundo Melo et al. (2002) e Coelho et. al (2004), a ZCIT exerce grande influência no clima de várias regiões tropicais, incluindo a região do norte do NEB. Quando há anomalias positivas de TSM no oceano Atlântico Tropical Sul, a ZCIT localiza-se sobre essa região, favorecendo as chuvas no NEB. Já quando são observadas anomalias negativas de TSM no oceano Atlântico Tropical Sul, a convecção dessa região fica enfraquecida, inibindo assim a geração de precipitação sobre o NEB (MOURA e SHUKLA, 1981).

Sobre os oceanos equatoriais há a interação de um conjunto de variáveis atmosféricas que definem a ZCIT: Zona de Confluência dos Alísios (ZCA), Cavado Equatorial, a zona de máxima TSM e convergência de massa, e a banda de máxima cobertura de nuvens convectivas (UVO, 1989). Inicialmente, os estudos sobre formação da ZCIT, indicavam que essas variáveis se apresentavam sobre uma mesma latitude, porém Hastenrath e Lamb (1977) e Estoque e Douglas (1978) mostraram que tais variáveis não se apresentam sobrepostas em uma mesma latitude, mas próximas umas das outras. De acordo com Uvo (1989), a identificação

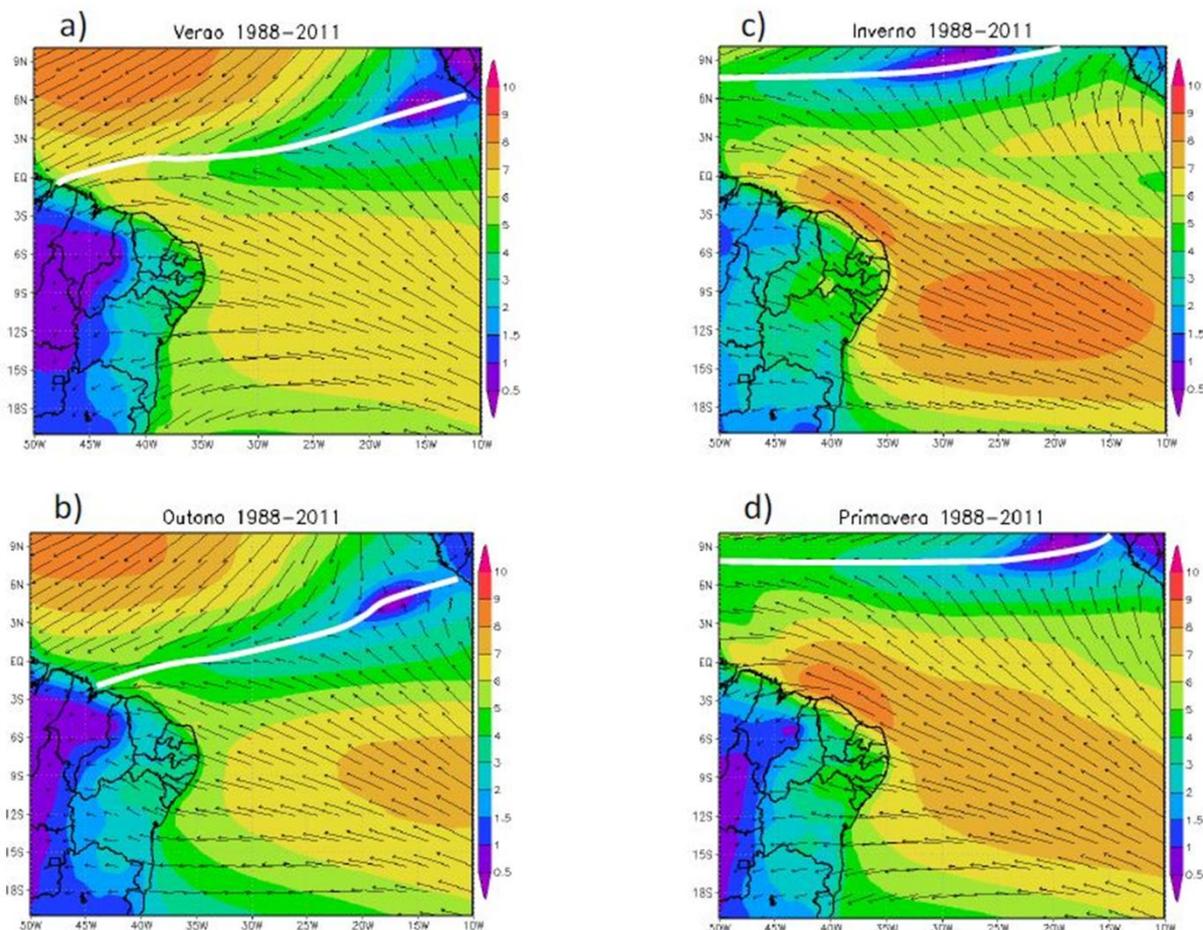
da ZCIT por qualquer uma dessas variáveis é bastante representativa, pois os deslocamentos desses sistemas possuem alta correlação entre si.

Gadgil e Guruprasad (1989) utilizaram dados de ROL e albedo, em pontos de grade de resolução de  $2,5^\circ\text{lat} \times 2,5^\circ\text{lon}$ , a fim de elaborar uma tabela dessas variáveis para catalogar os tipos de nuvens associadas. Para a identificação dos pontos de grade com fração de nuvens convectivas, aplicou-se o filtro com valor de  $\text{ROL} < 185 \text{ W/m}^2$  e  $\text{albedo} > 0.5$ , com isso foi obtido um método básico para delimitação da posição da ZCIT diariamente.

Xavier et al. (2000) identificou a ZCIT no oceano Atlântico com base na componente meridional do vento. De acordo com a metodologia utilizada neste trabalho, as posições da ZCIT são obtidas na linha de convergência dos alísios do HN e os alísios do HS, linha esta na qual a velocidade meridional do vento é nula.

A posição da ZCIT varia sazonalmente, sendo que esse sistema posiciona-se sobre as áreas oceânicas com anomalias de TSM positivas e anomalias de Pressão ao Nível do Mar (PNM) negativas (HASTENRATH, 1991). Estudos como os de Hastenrath e Lamb (1977) e Xavier et al. (2000) sugerem que a ZCIT localiza-se mais ao norte durante agosto e setembro e atinge sua posição mais austral entre março e abril.

A figura 4 ilustra a posição média sazonal da ZCIT no Atlântico do período de 1988 a 2011 calculada por Reboita et al. (2016). Por essa figura fica nítido que a ZCIT atinge latitudes mais austrais no setor oeste do oceano Atlântico se comparado com o setor leste desse mesmo oceano. Reboita et al. (2016) observam também que os ventos de baixos níveis que atingem a costa leste do NEB no verão e outono são praticamente de leste, enquanto no inverno e primavera esses ventos tornam-se de sudeste, ou seja, perpendiculares à costa.



**Figura 4-** Média sazonal da intensidade (m/s) e direção dos ventos a 10 m de altura no período de 1988 a 2011. O vetor de referência é 2 m/s. A linha branca representa a posição média sazonal da ZCIT. Fonte: Reboita et. al (2016).

Melo (2002) enfatiza que os anos de seca no norte do NEB ocorrem quando simultaneamente a Alta Subtropical do Atlântico Norte (ASAN) está enfraquecida, e a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) mais intensa, além do Atlântico Subtropical Norte e Atlântico Subtropical Sul estarem com águas mais aquecidas e mais frias, respectivamente. O inverso ocorre em anos chuvosos.

## 2.2 Banda Dupla da ZCIT

Define-se como banda dupla da ZCIT o aparecimento de uma segunda banda de nebulosidade convectiva ao sul da banda principal (UVO, 1989). Apesar dessa definição de 1989, a nomenclatura banda dupla da ZCIT já foi utilizada anteriormente por Hubert et al. (1969) para o oceano Pacífico.

Nos estudos de Hubert et al. (1969) observou-se que sobre o Pacífico Oeste, as bandas duplas da ZCIT ocorrem normalmente durante a primavera boreal quando

a TSM ao sul do equador atinge um máximo. Ainda segundo esses autores, a precipitação relacionada à banda secundária pode se estender desde 150°W até a costa da AS.

A banda dupla da ZCIT do Pacífico também foi identificada em trabalhos como os de Mitchell e Wallace (1992), Waliser e Gautier (1993), Zhang (2001) e Lietzke et al. (2001). Para a identificação, esses autores utilizaram observações de satélite (ROL, nuvens altamente refletivas, distribuição de precipitação e sondagens de umidade).

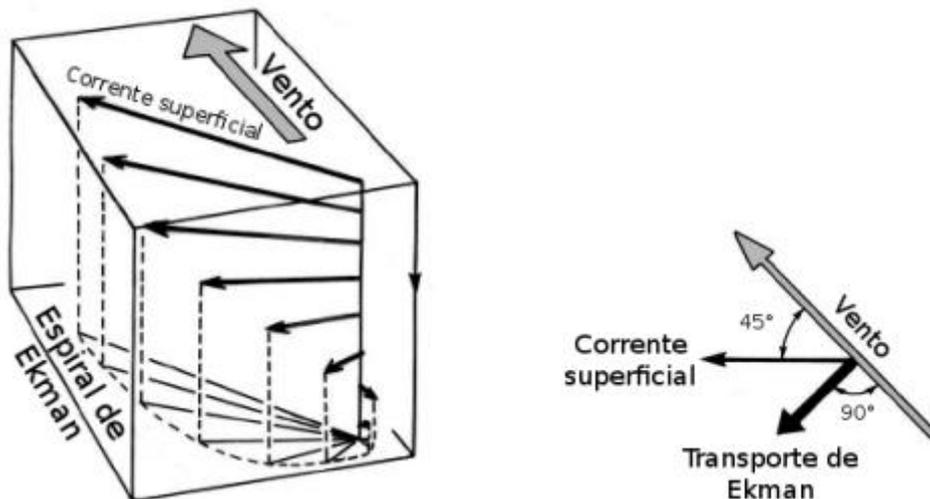
No oceano Atlântico, Uvo (1989) ao analisar a influência do deslocamento da ZCIT sobre a precipitação da região norte do NEB também identificou a presença de bandas duplas no oceano Atlântico Central Oeste. As bandas duplas identificadas nesse estudo apresentaram tempo de vida bastante variável, às vezes ela surgiu em um ou dois dias num mês, desapareceu e voltou a surgir em um ou dois dias no mês seguinte. Em outras ocasiões ela permaneceu por quatro ou cinco dias, desapareceu por dois ou três dias, em seguida voltou a aparecer, permanecendo por vários dias consecutivos.

Uvo (1989) identificou que a banda secundária (banda de nebulosidade ao sul da principal) acompanha o deslocamento latitudinal da banda principal. Verificou ainda que a distância entre a banda principal e secundária pode variar de 1° até 10° de latitude, e que os anos em que a banda dupla permaneceu por mais de dois dias correspondeu aos anos de maiores índices pluviométricos sobre o norte do NEB.

Sabendo que os mecanismos que sustentam o aparecimento de bandas duplas da ZCIT ainda não estão esclarecidos, foi realizado uma comunicação pessoal com os professores doutores Roger Rodrigues Torres e Michelle Simões Reboita (ambos professores da Universidade Federal de Itajubá) com o intuito de tentar identificar quais podem ser esses mecanismos. Durante essa comunicação uma hipótese levantada seria de que nos dias da ocorrência de banda dupla, os ventos alísios sopram de forma mais intensificada se comparados com os dias sem a presença da banda dupla, de modo a impulsionar o transporte de águas oceânicas equatoriais em direção aos polos, estimulando assim uma ressurgência de águas mais profundas e frias sobre a região equatorial. Isto significa que as águas mais quentes ficam no lado polar dessa área de ressurgência devido à intensificação do transporte de Ekman. A atividade convectiva vai ocorrer, portanto, sobre as duas

regiões de TSMs mais aquecidas, originando assim a banda dupla da ZCIT, e entre elas aparecerá uma região de águas relativamente mais frias devido à ressurgência.

O transporte de Ekman é resultado de uma interação do vento com a superfície oceânica, onde ocorre transferência de momentum da atmosfera para o oceano (BROWN et al., 2001). Nesse transporte, assume-se que o vento em superfície (ventos alísios) transporta massas d'água oceânicas com um desvio de  $90^\circ$  à direita do sentido do vento no HN e  $90^\circ$  à esquerda no HS, devido ao efeito de Coriolis. O vento ao mover essa massa d'água superficial coloca as camadas subjacentes em movimento através do transporte de energia da superfície para baixo, sendo que cada camada abaixo se move numa velocidade inferior e direção mais à direita daquela lâmina d'água que a colocou em movimento (figura 5).



**Figura 5-** Representação do Transporte de Ekman no HS. Fonte: Cushman-Roisin (1994).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Identificação da banda dupla da ZCIT

Para registrar a ocorrência de bandas duplas da ZCIT (banda principal e secundária) no oceano Atlântico Tropical foi utilizado dois procedimentos: (1) a análise das cartas sinóticas de superfície elaboradas pelo Grupo de Previsão do Tempo (GPT) do CPTEC/INPE no período de 2010 a 2017, pois essas já apresentam a representação dos casos de banda dupla e (2) a reaplicação da metodologia do GPT nos dias de registro de banda dupla nas cartas sinóticas para confirmar que os casos registrados realmente apresentavam tal característica e, também, para localizar a posição mais a leste do sistema já que as cartas do CPTEC limitam-se a 25°W.

A metodologia empregada pelo GPT para identificar as bandas duplas consiste na análise visual dos campos meteorológicos de água precipitável, umidade relativa média entre os níveis de 850 e 700 hPa, precipitação convectiva prevista nas próximas 6 horas, velocidade vertical ( $\omega$ ) em 500 hPa e linhas de corrente em 925 hPa obtidas da análise do *Global Forecast System* (GFS) e também de imagens de satélite no canal do infravermelho. Nessa análise, buscam-se regiões com máximo de água precipitável, umidade, precipitação, presença de movimentos ascendentes e convergência dos ventos. A existência de banda dupla ocorre quando há duas regiões com essas características na região de estudo. É importante mencionar que a característica de banda dupla nem sempre aparece em todas as variáveis.

Como as cartas sinóticas do CPTEC têm seu limite norte em 12 °N, e uma vez que a ZCIT pode ocupar posições ao norte dessa latitude durante o inverno austral, este estudo se restringiu apenas na identificação de bandas duplas entre os meses de dezembro a maio, já que é entre esses meses que a ZCIT se encontra próxima de sua posição mais austral.

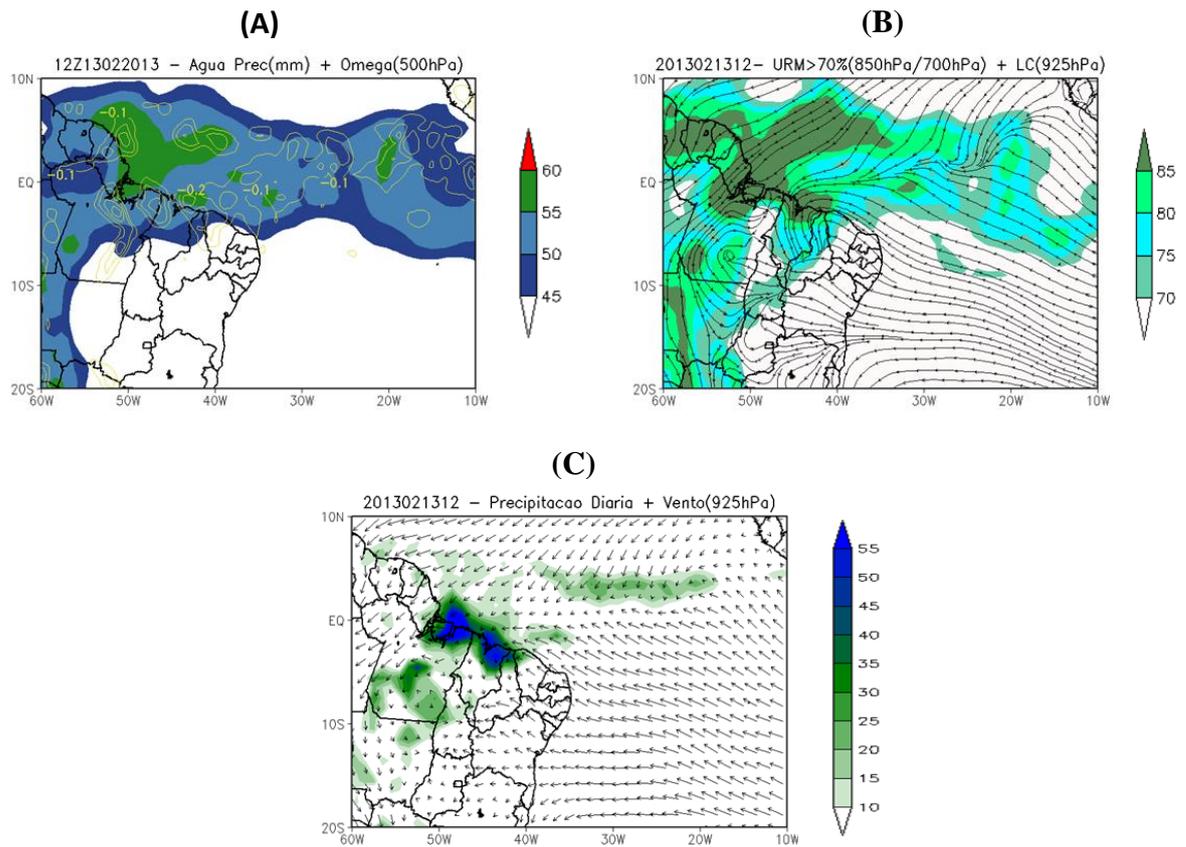
Durante o processo de identificação das bandas duplas, as bandas de nebulosidade da ZCIT foram classificadas em: banda principal (BP) e banda secundária (BS), sendo que a BP se refere à banda já existente e a BS a que se forma após a existência da principal (que é a banda dupla).

Para a validação das ocorrências de banda dupla e obtenção do posicionamento latitudinal da BP e BS, se construíram mapas (10°N-20°S e 10°W-60°W) com as seguintes variáveis atmosféricas obtidas da reanálise ERA-Interim (DEE et al., 2011): água precipitável, umidade relativa média entre os níveis de 850 e 700 hPa, velocidade vertical (ômega) em 500 hPa, linhas de corrente em 925 hPa (componente zonal e meridional do vento). Os dados dessa reanálise possuem resolução espacial de 0,75° de latitude por 0,75° de longitude e frequência temporal de 6 horas.

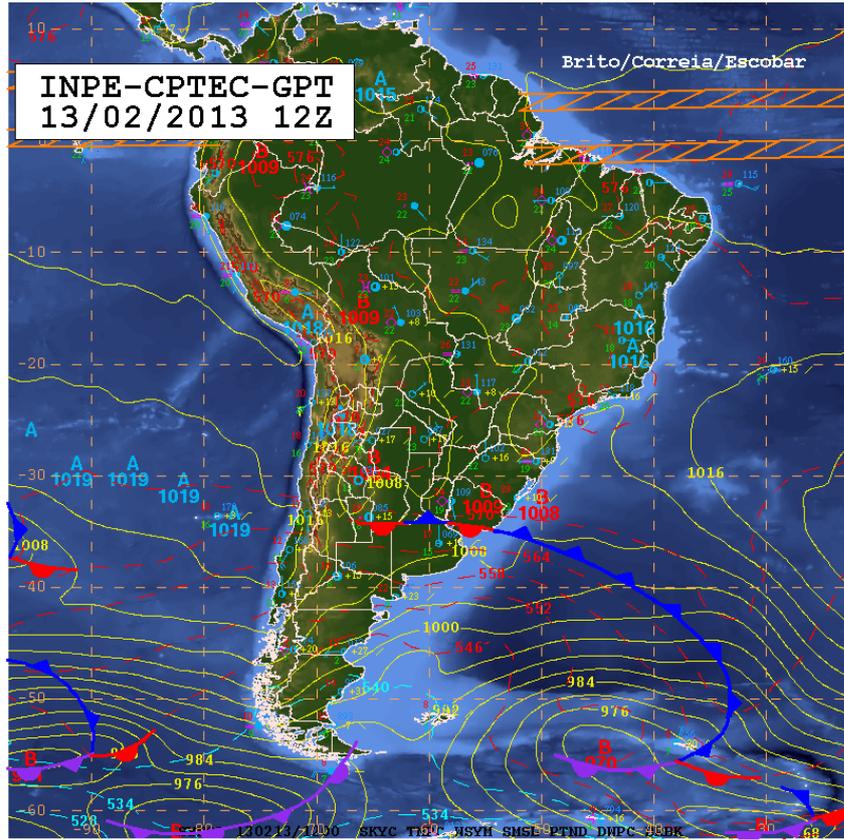
Dados de precipitação diária obtidos do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) com resolução espacial de 1° x 1° de lat/lon também foram utilizados. Imagens de satélite, geradas a partir de dados de temperatura de brilho do topo das nuvens no canal infravermelho obtidas do *The National Climatic Data Center* (NCDC) – *Gridded Satellite Data* com resolução de 0,07° de latitude por longitude foram utilizadas para dar suporte no momento da confirmação dos eventos de banda dupla.

Para exemplificar como foi realizada a identificação e marcação das bandas duplas da ZCIT, a figura 6 apresenta os campos meteorológicos utilizados para confirmar se no determinado dia de interesse (13/02/2013, às 12UTC) existiu presença de banda dupla, como indica a carta sinótica do CPTEC (figura 7).

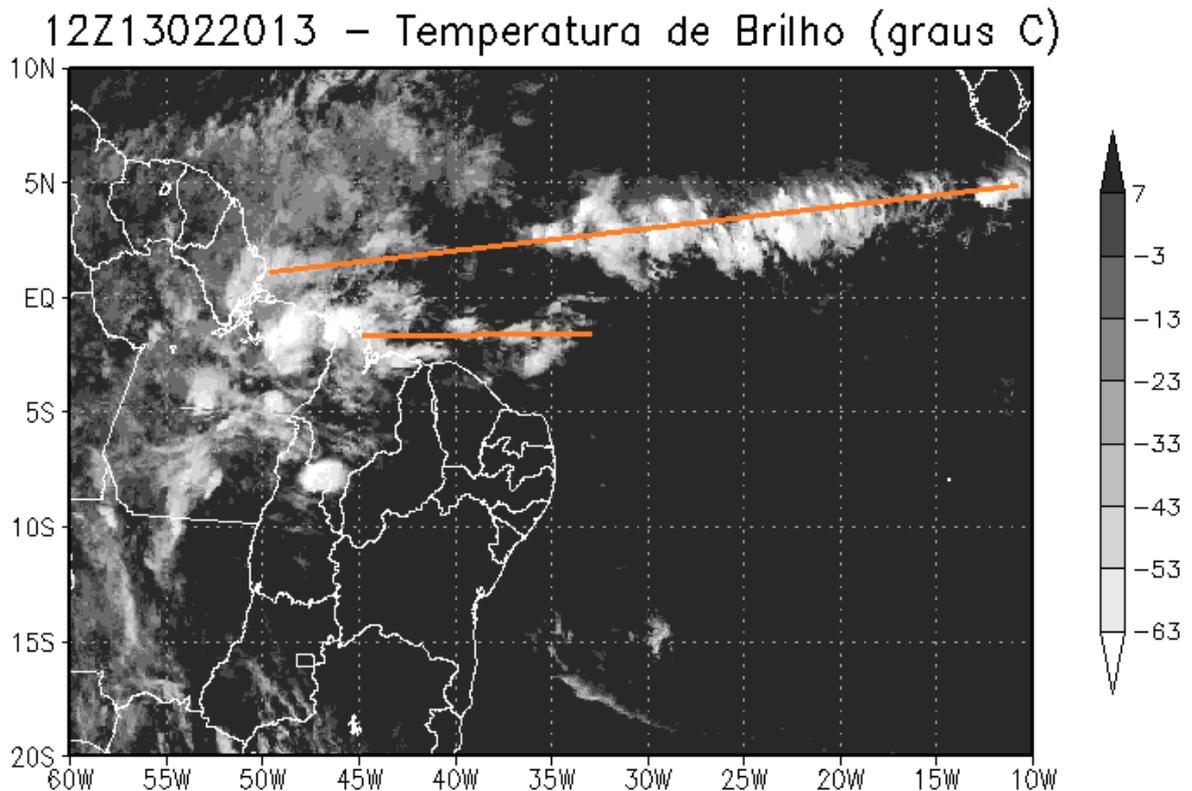
Nos três quadros apresentados da figura 6, o que melhor indica a ocorrência de banda dupla é o da precipitação junto com o vento (Figura 6c). Entretanto, também há sinal da banda dupla no campo da umidade relativa média (Figura 6b). A figura 8 apresenta a imagem de satélite desse mesmo dia, com a banda dupla (BP e BS) da ZCIT do Atlântico destacada na cor laranja.



**Figura 6-** Campos meteorológicos no dia 13/02/2013 de (a) água precipitável ( $\text{kg m}^{-2}$ ) e ômega em 500 hPa ( $\text{Pa s}^{-1}$ ); (b) umidade relativa média entre os níveis de 850 e 700 hPa (%) e linhas de corrente em 925 hPa ( $\text{m s}^{-1}$ ); (c) precipitação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e vento em 925 hPa ( $\text{m s}^{-1}$ ).



**Figura 7-** Exemplo de ocorrência de banda dupla da ZCIT no oceano Atlântico no dia 13 de fevereiro de 2013 às 12 Z. Fonte: CPTEC-INPE.



**Figura 8-** Temperatura de brilho ( $^{\circ}\text{C}$ , tons de cinza); ilustrando a banda dupla da ZCIT em 13/02/2013, às 12 UTC.

Uma vez identificada a ocorrência de banda dupla, foi realizada uma análise visual de imagens de satélite e dos campos meteorológicos utilizados pelo GPT, para definir a posição latitudinal da BP e BS. As posições latitudinais da BP e BS foram obtidas nas longitudes de início e término que essas bandas realmente ocupavam.

As informações referentes à data de aparecimento e desaparecimento da banda dupla, longitudes nos pontos mais oeste e leste da BP e BS e posição latitudinal dessas, foram computadas. As posições latitudinais e longitudinais das bandas de nebulosidade da ZCIT foram obtidas nos horários sinóticos da 0 Z e 12 Z durante todo o tempo de vida da banda dupla. A escolha desse intervalo de tempo foi utilizada pois a ZCIT não apresenta grandes variações de posicionamento latitudinal entre os horários sinóticos.

A tabela 1 exemplifica como os dados foram registrados. Ressalta-se que essa tabela apresenta as informações de apenas um caso de banda dupla dentre o total de casos identificados. Para esse caso específico, foi observado que a banda dupla apareceu no dia 30/03/2010 às 12 Z e foi observada pela última vez no dia

01/04/2010 às 0 Z, ou seja, essa banda dupla teve tempo de vida de aproximadamente 36 horas.

As colunas nomeadas por BP(I) e BP(F) apresentam o posicionamento latitudinal da BP nas longitudes de início e término da mesma. Já as colunas nomeadas por BS(I) e BS(F) indicam, respectivamente, a posição latitudinal da BS, também nas coordenadas longitudinais de início e fim da mesma.

**Tabela 1-** Estrutura da planilha utilizada para caracterizar a banda principal e secundária da ZCIT.

Dia	Mês	Ano	Hora	BP(I)		BP(F)		BS(I)		BS(F)	
				Lon	Lat	Lon	Lat	Lon	Lat	Lon	Lat
-	-	-	-	Lon	Lat	Lon	Lat	Lon	Lat	Lon	Lat
30	3	2010	12	50°W	3°N	10°W	3°N	45°W	3°S	25°W	3°S
31	3	2010	0	50°W	2°N	10°W	2°N	45°W	3°S	25°W	3°S
31	3	2010	12	50°W	3°N	10°W	3°N	45°W	3°S	25°W	3°S
1	4	2010	0	50°W	1°N	10°W	2°N	45°W	2°S	25°W	2°S

### 3.2 Estatística Básica

A partir da obtenção dos dados e da ordenação como exemplificados na Tabela 1, foram computados os totais anuais e mensais de ocorrências de banda dupla. Uma média mensal do tempo de vida das bandas duplas identificadas foi realizada. Foi construída uma tabela de distribuição de frequências com os valores do tempo de vida desses sistemas. O intuito dessa tabela é mostrar de uma forma simplificada a quantidade de ocorrências de banda dupla que se enquadram dentro de um intervalo específico de tempo de vida.

Com os dados da planilha também foi obtida a posição média latitudinal de cada caso de banda dupla, além disso, foi calculado o extensão longitudinal média da BP e BS.

### 3.3 Análise de Composição

A identificação da banda dupla nas variáveis atmosféricas mencionadas no item 3.1 não é tarefa fácil, pois nem todas as variáveis mostram claramente as bandas duplas. Em alguns casos, uma variável é mais sensível do que outra na identificação. Tendo em vista essa dificuldade, propõe-se aqui, a aplicação da técnica de composição, isto é, computar médias das variáveis atmosféricas para os

casos de ocorrência de banda dupla, a fim de verificar as características médias da atmosfera quando há ocorrência desse fenômeno. As composições realizadas aqui foram calculadas com dados diários durante todo o tempo de vida das bandas duplas. Além disso, foi computada ainda uma média climatológica dessas variáveis no período de 1998 a 2017 para, posteriormente, se computar a diferença (média das variáveis atmosféricas nos dias de ocorrência de banda dupla menos a média climatológica). As médias climatológicas foram calculadas considerando o período de janeiro a maio e, também na estação de outono.

Nessa análise, além das variáveis já citadas no item 3.1, são utilizadas as variáveis atmosféricas: temperatura do ar a 2 metros da superfície, pressão ao nível médio do mar, componente zonal e meridional do vento e umidade específica em 9 níveis verticais (1000, 925, 850, 750, 700, 500, 300 e 200 hPa), componente zonal e meridional do vento a 10 metros da superfície (convergência de massa e magnitude do vento), divergência em 250 hPa, obtidas também da reanálise ERA-Interim, e ROL com resolução espacial de 1° de latitude por 1° de longitude, obtido da *Nacional Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) of Daily Outgoing Longwave Radiation (OLR), Version 1.2* (LEE, 2014). Foi utilizado ainda dados de TSM do *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)* com resolução espacial de 0,25° de latitude por 0,25° de longitude (REYNOLDS et al., 2007), e dados dos fluxos de calor latente e sensível obtidos da análise do *Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI; YU et al. 2004)* com resolução de 1° e frequência diária.

Através das variáveis pressão ao nível médio do mar, umidade específica e componentes do vento nos nove níveis de pressão citados acima, foi possível obter o fluxo de umidade integrado na vertical e sua convergência/divergência.

Propõe-se nessa análise identificar quais são as variáveis meteorológicas que melhor caracterizam a presença de banda dupla da ZCIT no Atlântico e também investigar as possíveis causas de ocorrência de banda dupla a partir da hipótese citada no item 2.2.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Características Médias

A tabela 2 apresenta o número de casos de bandas duplas sobre a região de estudo. Ao todo foram identificadas 50 ocorrências de banda dupla entre 2010 e 2017. Dentre os meses analisados, o mês de dezembro foi o único em que não se identificaram casos de banda dupla.

O maior número de ocorrências de bandas duplas ocorreu no ano de 2011 (10 casos), representando 20% do total no período em estudo (tabela 2). O aparecimento de bandas duplas ocorre principalmente nos meses de fevereiro, março e abril, o que concorda com a análise de Uvo (1989).

É interessante ressaltar que os meses de máximos de precipitação sobre o norte do NEB ocorrem simultaneamente (março e abril) aos meses com maior frequência de bandas duplas. Isso é um indicativo de que a banda dupla contribui para a chuva sobre o norte do NEB.

**Tabela 2-** Número de ocorrências de bandas duplas da ZCIT no oceano Atlântico Central/Oeste entre 2010 e 2017.

Meses	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total Mensal
Dez	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jan	-	1	-	1	-	-	-	-	2
Fev	-	2	2	2	-	1	1	1	9
Mar	1	2	2	3	2	3	2	1	16
Abr	5	3	1	1	1	4	1	3	19
Mai	1	2	-	-	1	-	-	-	4
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>50</b>

As bandas duplas dos meses de março e abril são mais duradouras do que as que ocorrem nos demais meses (Tabela 3). Já as bandas duplas do mês de maio são aquelas que se mostram com tempo de vida médio mensal inferior a dois dias. As bandas duplas com tempo de vida entre 12 e 85 horas ocorrem com maior frequência (correspondendo a 54% dos casos), enquanto as bandas duplas com tempo de vida maiores do que 381 horas se mostram pouco frequentes (tabela 4).

**Tabela 3-** Tempo de vida médio mensal (em horas) das bandas duplas da ZCIT no oceano Atlântico Central Oeste entre 2010 a 2017.

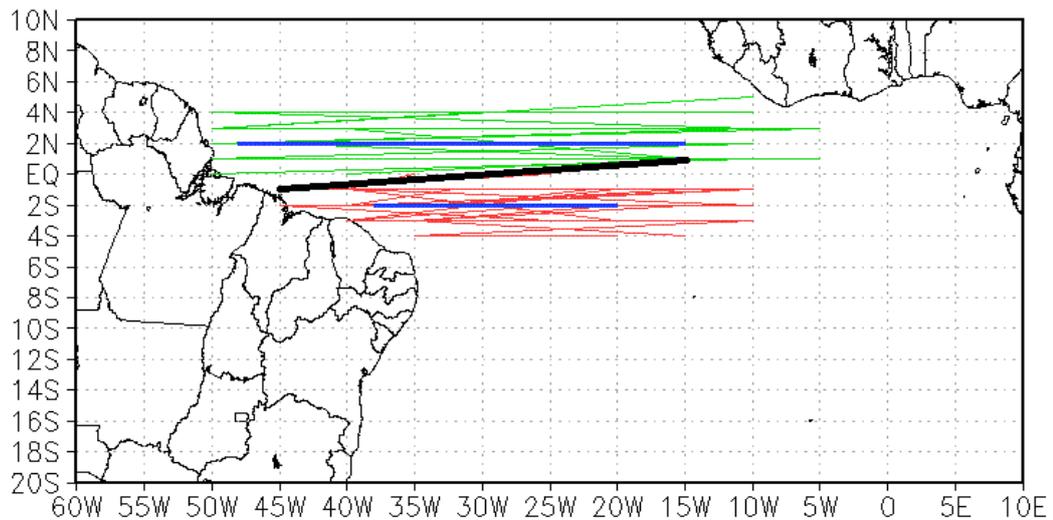
Meses	Tempo de Vida Médio (horas)	Tempo de Vida Médio (dias)
Dez	-	-
Jan	81	3,4
Fev	95	3,9
Mar	171	7,1
Abr	110	4,6
Mai	45	1,9

**Tabela 4-** Distribuição de frequência do tempo de vida (em horas) das bandas duplas.

Tempo de Vida	Nº de Casos
12 < t ≤ 84	27
85 < t ≤ 157	11
158 < t ≤ 230	4
231 < t ≤ 303	3
304 < t ≤ 376	3
377 < t ≤ 449	1
450 < t ≤ 522	1

A figura 9 mostra na cor verde o posicionamento médio da BP e em vermelho o da BD, em cada caso de ocorrência da BD. De modo geral, na costa da AS a posição média latitudinal da BP nos dias de BD é 2°N (linha azul), enquanto o da BD é 2°S (linha azul). Portanto, a BP e BD encontram-se distanciadas em média em 4° de latitude. A posição da BP da ZCIT, nos dias sem a ocorrência de BD, é representada pela linha laranja.

O comprimento médio da BP nos dias de BD é da longitude 48°W a 15°W, enquanto o da BD é entre as longitudes de 38°W e 20°W. Apesar dessa diferença, a figura 9 indica que a distribuição dessas bandas é bem parecida, com uma extensão apenas um pouco maior da BP.

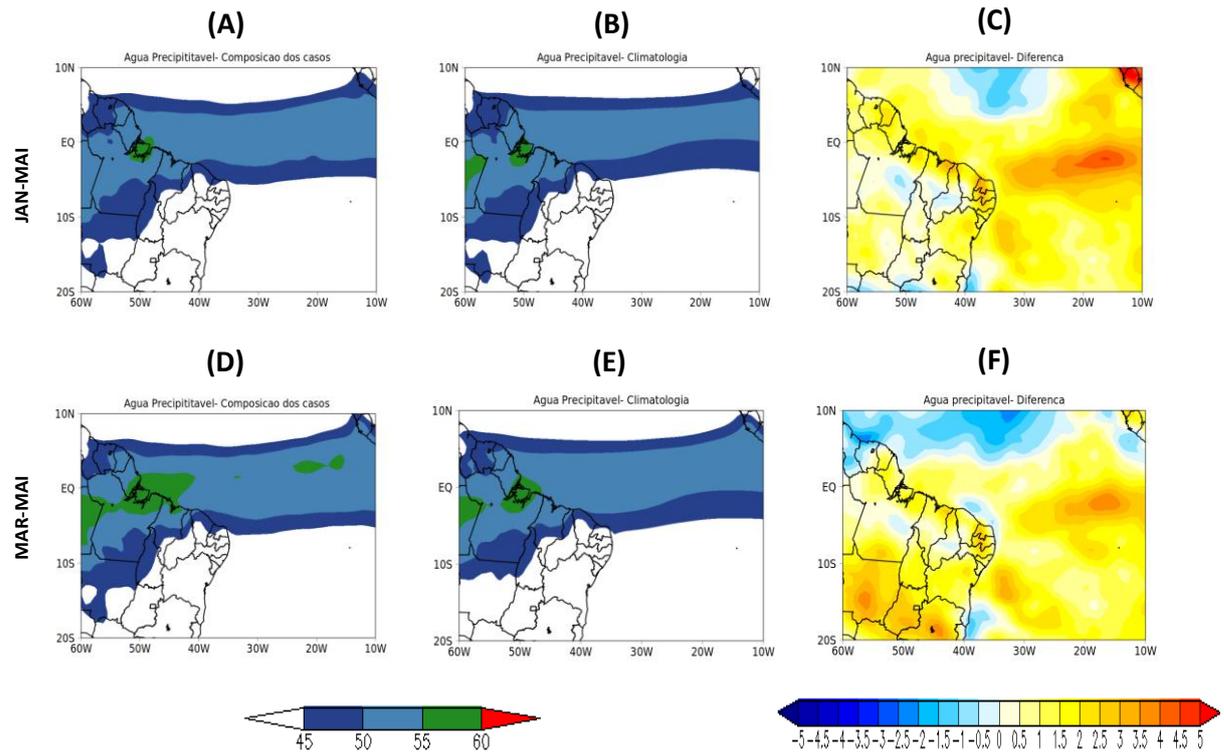


**Figura 9** - Posição média das bandas principal (verde) e secundária (vermelho) em cada caso de banda dupla. As linhas em azul representam a posição média latitudinal e longitudinal da BP e BD, considerando todos os dias de BD identificados nesse estudo. A linha na cor preta representa a posição média da BP nos dias em que não há presença de BD.

#### 4.2 Análise das variáveis meteorológicas

A composição de casos de banda dupla considerando diferentes variáveis atmosféricas e a média climatológica foi realizada considerando dois períodos: janeiro a maio e março a maio (outono). O período maior se deve ao fato de que as bandas duplas identificadas na região de estudo ocorrem entre os meses de janeiro a maio, já o período de março a maio é devido a maior frequência de casos de banda dupla durante o outono.

Considerando a variável água precipitável no período de janeiro a maio (Figura 10a), quando há banda dupla, há mais água precipitável na área que se estende do litoral do nordeste do Brasil em direção a África. Isto também é observado no outono (Figura 10d). Portanto, nos dias de banda dupla, a quantidade de água precipitável sobre a região em que a BS se posiciona, é maior do que a média climatológica (Figuras 10c e 10f).

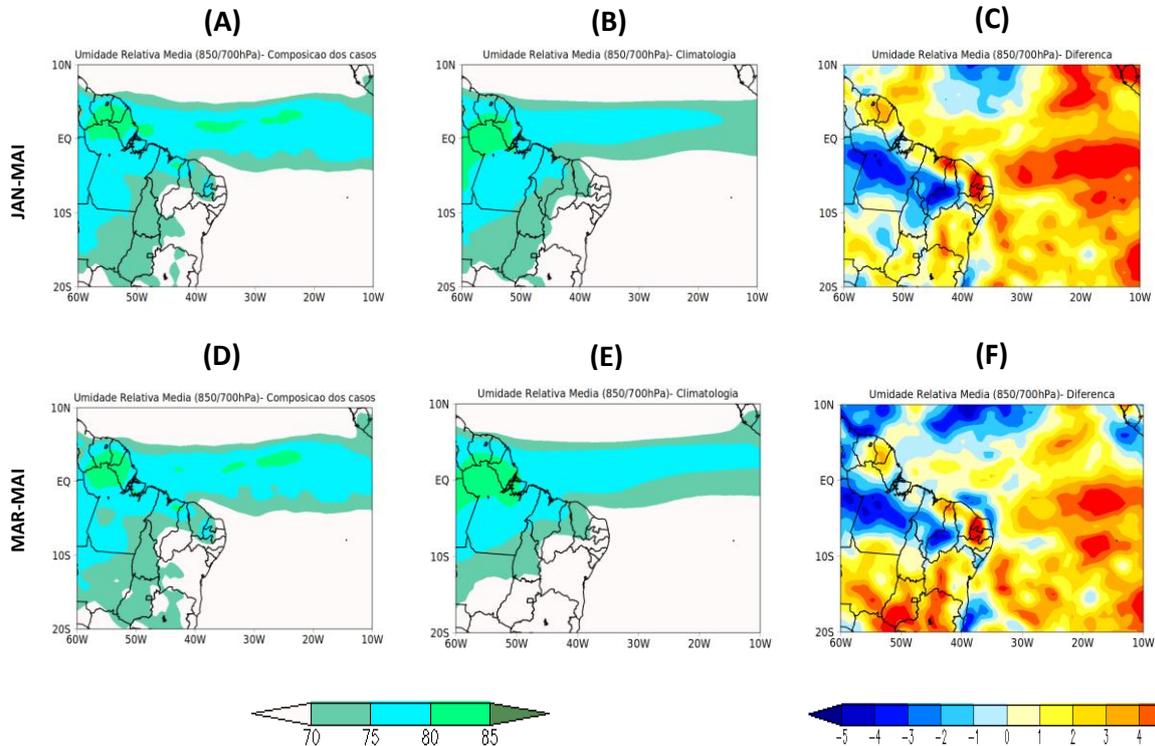


**Figura 10-** Campo de água precipitável ( $\text{kg m}^{-2}$ ) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

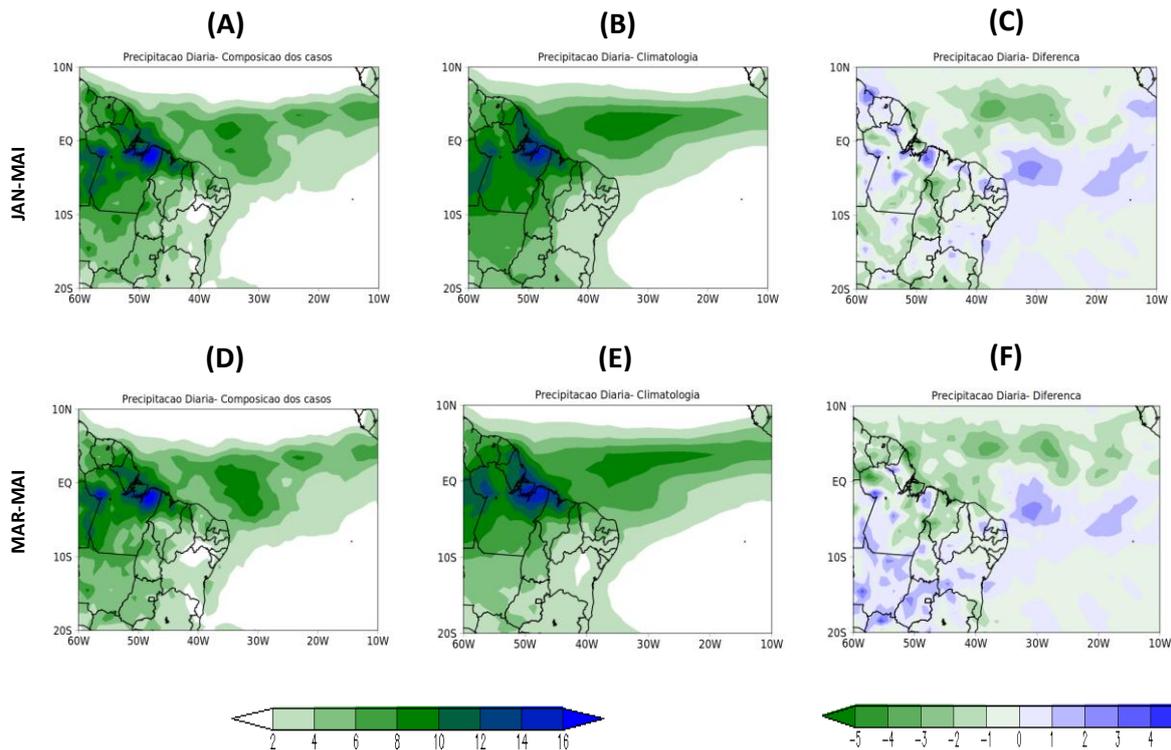
A umidade relativa média entre os níveis de 850 e 700 hPa mostra uma banda com maior umidade nas composições em relação à climatologia (Figuras 11a e 11d). De fato, ocorrem anomalias positivas de umidade sobre o oceano entre as latitudes de 2°S a 10°S na ocorrência de bandas duplas (Figuras 11c e 11f). Um fato interessante é que embora a Figura 9 mostre concentração das BS próximo ao litoral brasileiro, às anomalias tanto de água precipitável quanto de umidade relativa são mais intensas em direção ao leste do oceano Atlântico. Porém, isso não ocorre na precipitação (Figura 12), uma vez que as anomalias positivas ocorrem próximo ao litoral do nordeste do Brasil, na região onde as bandas duplas ocorrem com frequência.

O campo da precipitação em dias de banda dupla (Figuras 12a e 12d) se diferencia daquele da climatologia, pois há um núcleo estendido na direção norte-sul entre as latitudes 2°N e 5°S enquanto na climatologia a máxima precipitação ocorre numa banda mais zonal. Isso também se reflete nas anomalias, pois nos episódios

de banda dupla há mais precipitação próxima ao litoral do nordeste do Brasil. Já as anomalias negativas ocorrem a norte do equador.

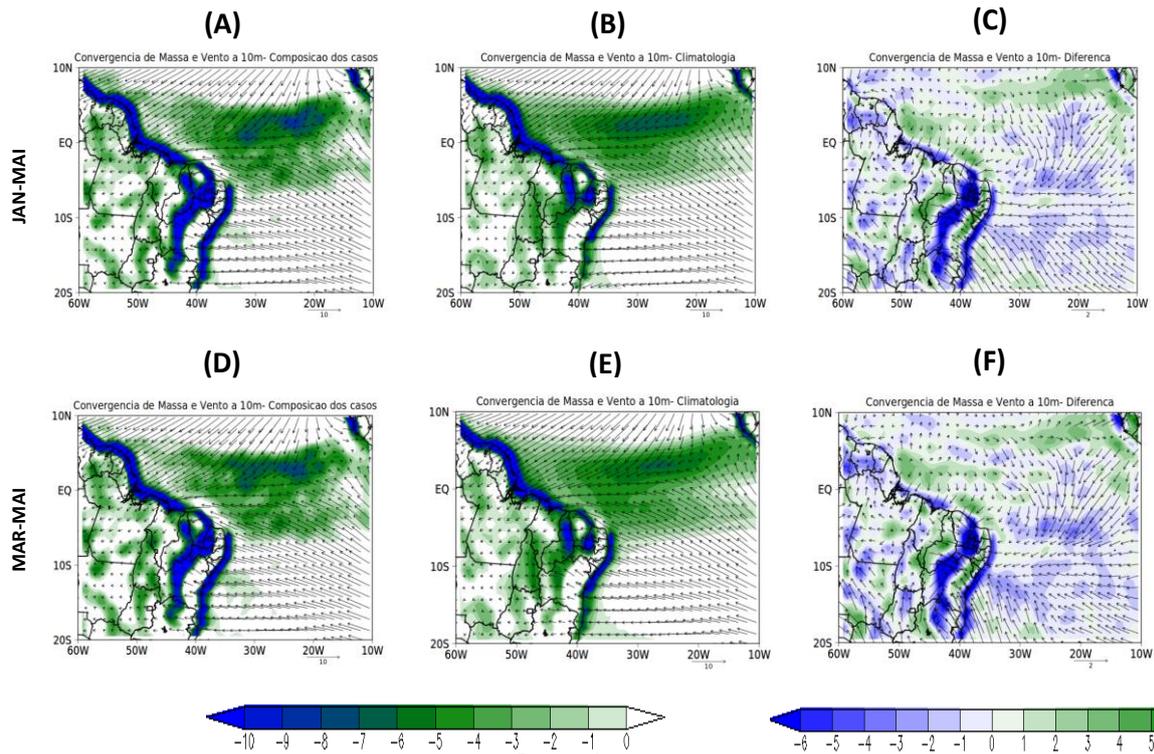


**Figura 11** - Campo de umidade relativa média entre os níveis de 850 e 700 hPa (%) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

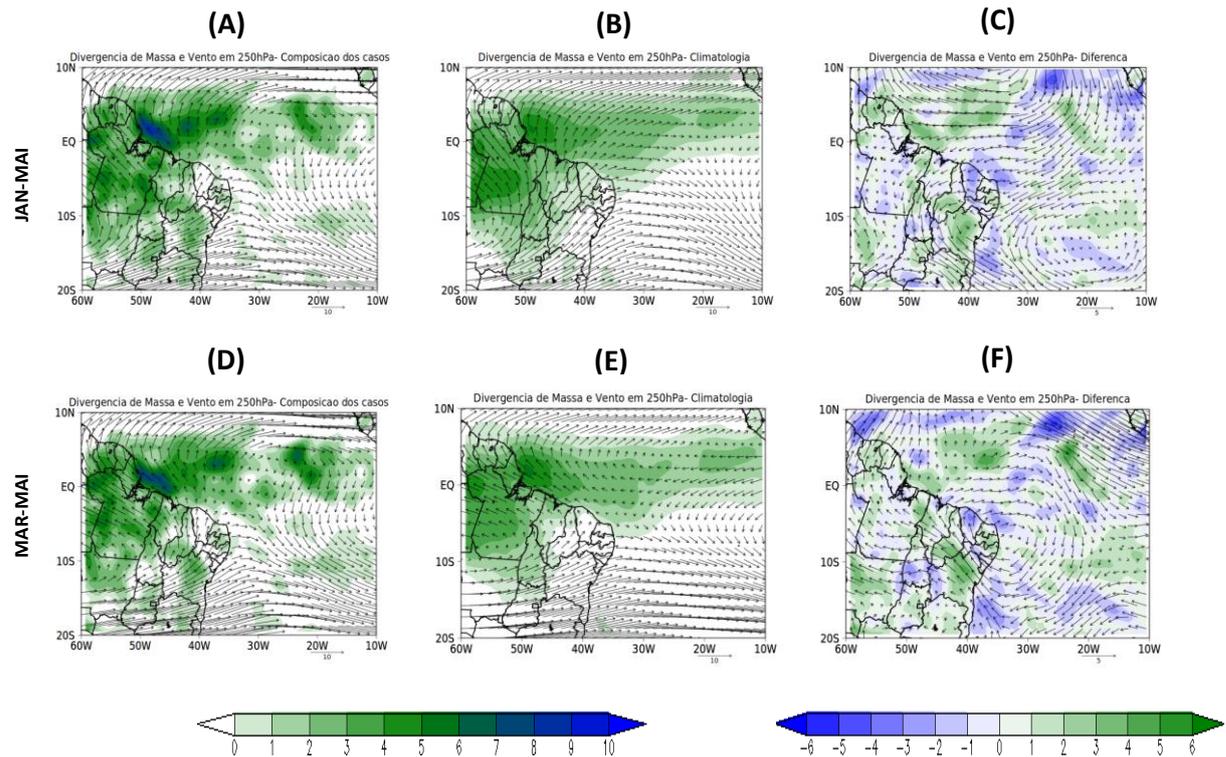


**Figura 12** - Campo de precipitação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

O campo de convergência de massa a 10 metros da superfície (Figura 13) mostra que na composição das bandas duplas, aproximadamente em  $5^{\circ}\text{S}$ , a convergência de massa é mais intensa entre  $32^{\circ}\text{W}$  a  $15^{\circ}\text{W}$ . Isso pode ser visualizado pelos valores do campo da diferença (Figuras 13c e 13f). Nesse campo, anomalias negativas (positivas) indicam que a convergência nos dias de banda dupla é mais intensa (fraca) do que na climatologia. Já a divergência de massa em 250 hPa não mostra padrão na região de ocorrência da banda dupla (Figura 14). A característica mais marcante nesse campo é a divergência mais intensa próxima à costa dos estados do Amapá e Pará. Isso fica evidente no campo da diferença indicado nas Figuras 14c e 14f.



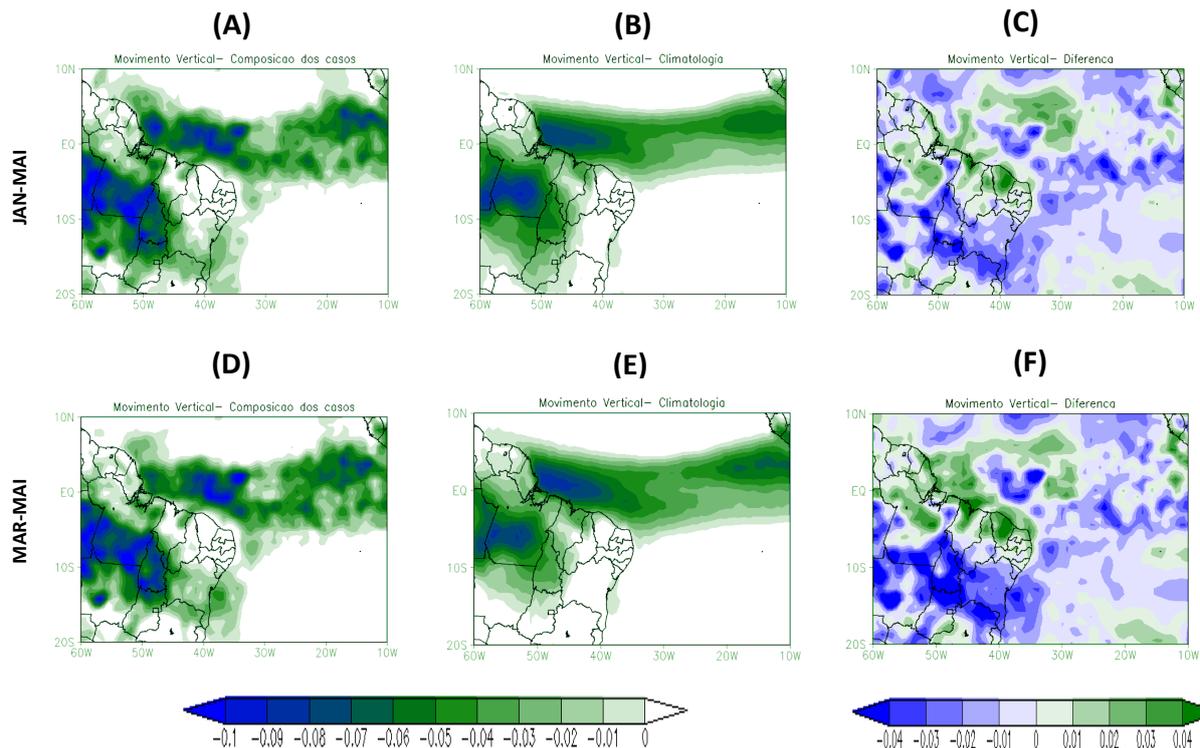
**Figura 13** - Campo de convergência ( $10^5 \text{ kg s}^{-1}$ ) de massa e vento a 10 metros da superfície ( $\text{m s}^{-1}$ ) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.



**Figura 14** - Campo de divergência ( $10^5 \text{ kg s}^{-1}$ ) e vento em 250 hPa ( $\text{m s}^{-1}$ ) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

Em 500 hPa a variável ômega apresenta duas faixas de movimentos ascendentes sobre a região da ZCIT nos dias de banda dupla (Figuras 15a e 15d). Os movimentos ascendentes na faixa mais ao sul localizam-se, aproximadamente, entre as latitudes de  $2^\circ\text{S}$  a  $4^\circ\text{S}$ . Essa configuração é um indicador de formação de banda dupla, já que para a formação de nebulosidade um dos mecanismos importantes é a presença de movimentos ascendentes (YNOUE et al., 2017). Na climatologia os movimentos ascendentes mais intensos sobre a região da ZCIT concentram-se apenas em uma faixa (Figuras 15b e 15e).

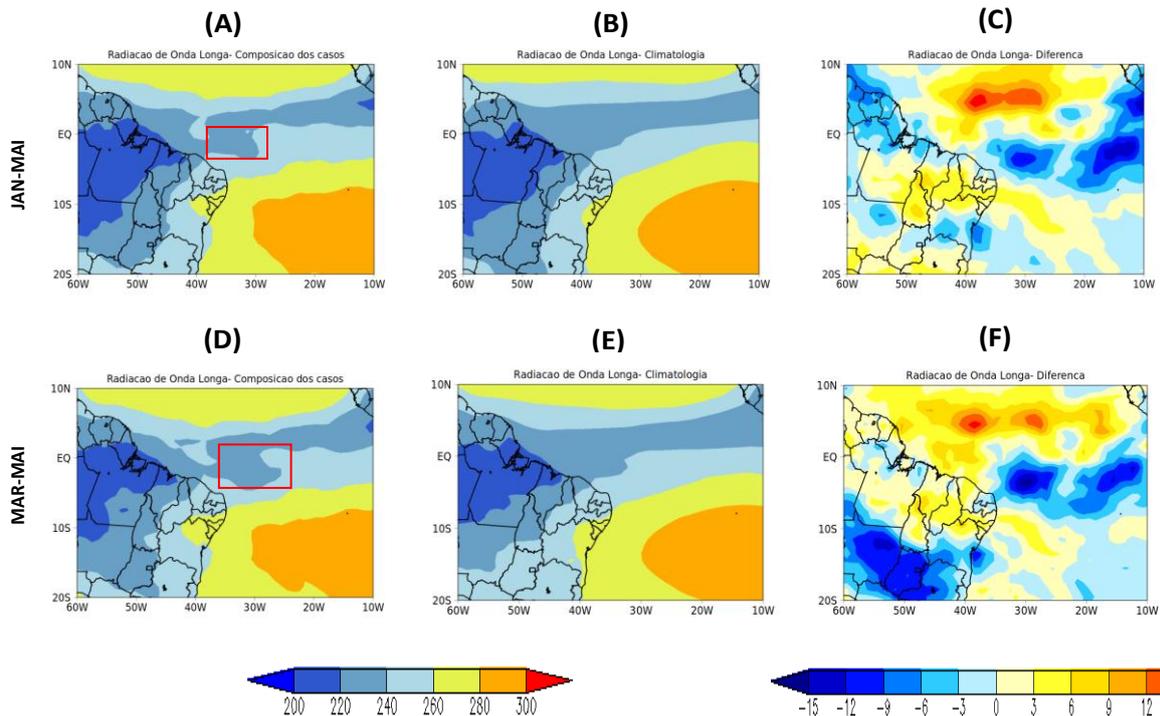
As anomalias negativas de ômega sobre a região da BS indicam, de fato, os movimentos ascendentes (Figuras 15c e 15f). Constata-se ainda no campo da diferença que a faixa mais ao norte (aproximadamente,  $42^\circ\text{W}$ - $28^\circ\text{W}$  em  $5^\circ\text{N}$ ), apresenta valores positivos de ômega, isto é, movimentos ascendentes mais fracos que na região da banda dupla. Em outras palavras, nos dias de banda dupla, os movimentos ascendentes sobre a faixa mais ao norte não são tão preponderantes quanto os da climatologia.



**Figura 15** - Campo de  $\omega$  em 500 hPa ( $\text{Pa s}^{-1}$ ) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

Considerando a variável ROL nos casos de banda dupla (Figuras 16a e 16d), próximo à costa da AS, a ZCIT apresenta uma região secundária de mínimos valores de ROL (região demarcada em vermelho). Os menores valores de ROL indicam que o fluxo de radiação de onda longa emergente diminui, devido a maior nebulosidade. É importante destacar que a região secundária de mínimos valores de ROL, no período de março a maio, é mais espessa que a do período de janeiro a maio. Na climatologia, não aparece a região secundária com mínimos valores de ROL e há um padrão mais zonal do que nos casos de banda dupla (Figuras 16b e 16e).

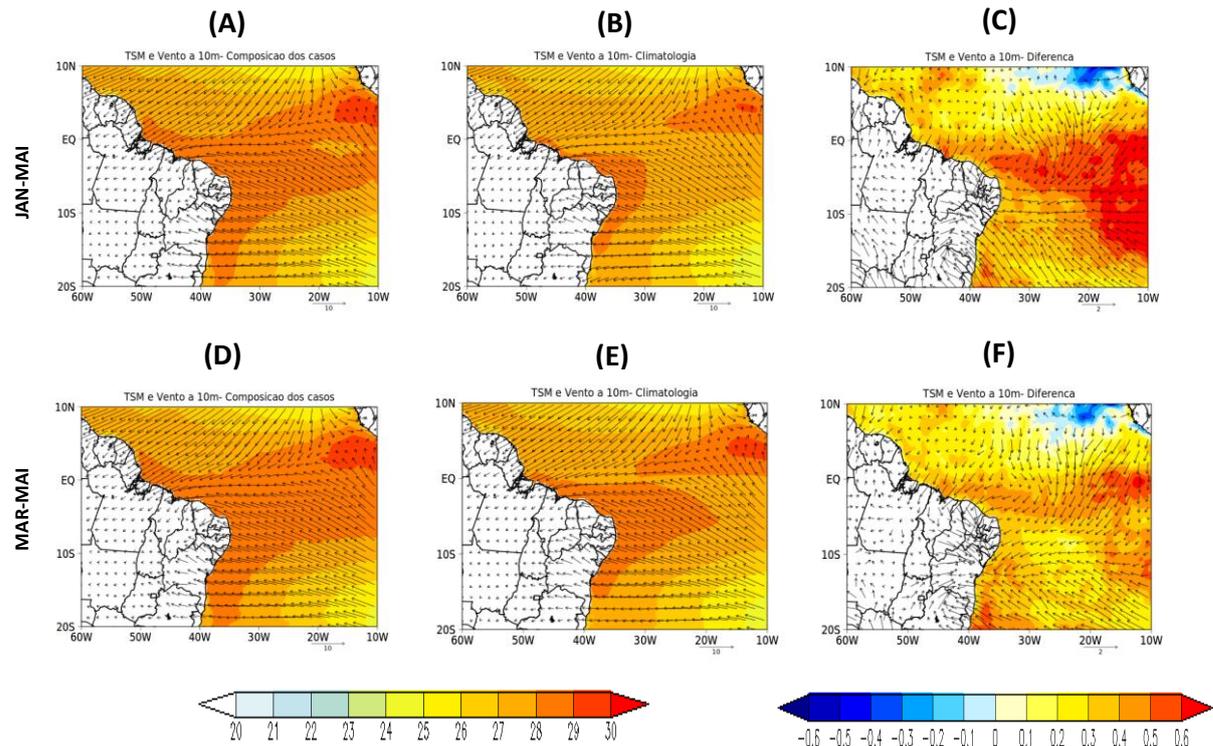
No campo da diferença (Figuras 16c e 16f), as anomalias de ROL na região da BS são da ordem de  $-3$  a  $-15 \text{ W m}^{-2}$ , indicando que a perda radiativa por onda longa nos dias de banda dupla é menos intensa do que na climatologia. Na região da BP, as anomalias positivas indicam o contrário, ou seja, que naquela região a perda radiativa é mais intensa na composição do que na climatologia (menos nebulosidade na região).



**Figura 16** - Campo de ROL ( $W m^{-2}$ ) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

A TSM nos dias de banda dupla (Figuras 17a e 17d) mostra que o oceano está mais aquecido do que na climatologia. Isso significa que nos dias de banda dupla os fluxos turbulentos de calor latente e sensível do oceano para a atmosfera podem ser maiores do que na climatologia. Para verificar essa hipótese, são apresentados os campos de calor latente e sensível nas Figuras 18 e 19 e discutidos na sequência.

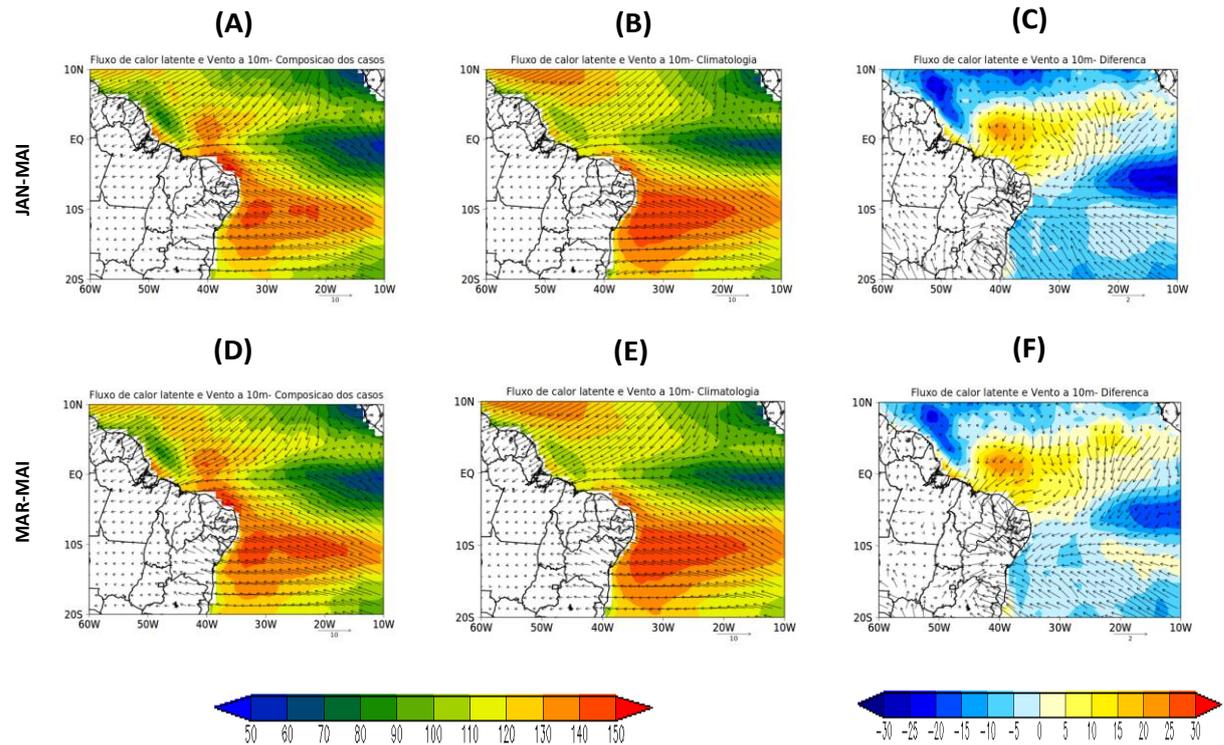
Vale destacar que na climatologia da TSM, do período de março a maio, os valores mais acentuados se distribuem por quase todo o oceano Atlântico Tropical (Figura 17e), enquanto na climatologia de janeiro a maio os valores mais acentuados de TSM ficam mais restritos à costa dos continentes sul americano e africano (Figura 17b). Em termos de anomalias, na Figura 17c e 17f nota-se que existe uma faixa de anomalias mais positivas sobre o Atlântico Sul, que se estende por todo o oceano. Nessa faixa as anomalias possuem valores de 0,4 a 0,6 °C. Nas demais áreas oceânicas de atuação da ZCIT, as anomalias são menos intensificadas. Próximo à costa da África ocidental, a TSM apresenta valores negativos de anomalia, o que não ocorre no restante do oceano.



**Figura 17** - Campo TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) e vento a 10 metros da superfície ( $\text{m s}^{-1}$ ) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

O fluxo de calor latente (Figura 18) revela que os máximos valores são da ordem de  $130\text{-}150 \text{ W m}^{-2}$ , e ocorrem sobre o Atlântico Sul (aproximadamente  $10^{\circ}\text{S}$ ). Na região da ZCIT, o fluxo de calor latente possui valores entre  $50$  a  $150 \text{ W m}^{-2}$ , tanto nos casos de banda dupla quanto na climatologia.

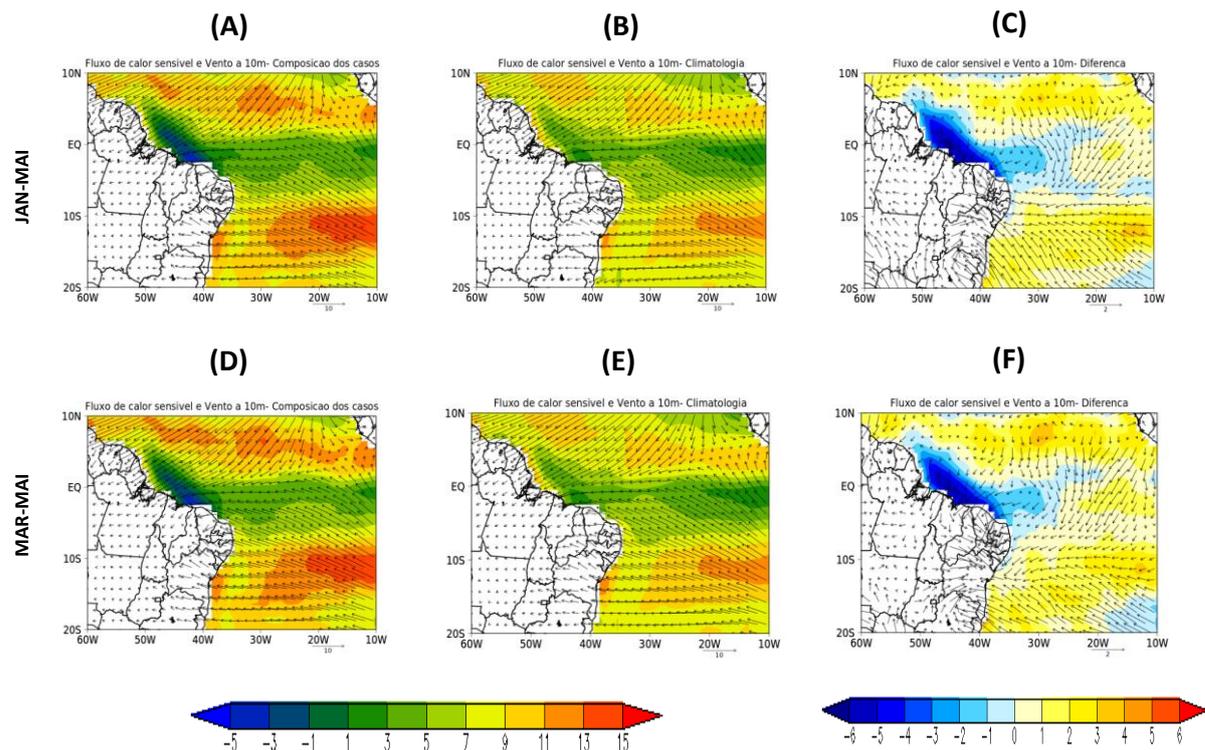
No campo da diferença (Figuras 18c e 18f), anomalias positivas são evidentes somente sobre a região da banda dupla (até cerca de  $4^{\circ}\text{S}$  e  $20^{\circ}\text{W}$ ). Isso significa que na região da ZCIT a liberação de calor latente do oceano para a atmosfera nos dias de banda dupla é mais intensa que na climatologia.



**Figura 18** – Fluxo de calor latente ( $W m^{-2}$ ) e vento a 10 metros da superfície ( $m s^{-1}$ ) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

A figura 19 apresenta os campos de fluxo de calor sensível sobre o oceano Atlântico. Os valores positivos dessa variável indicam transferência de calor do oceano para a atmosfera, enquanto os valores negativos indicam transferência de calor da atmosfera para o oceano.

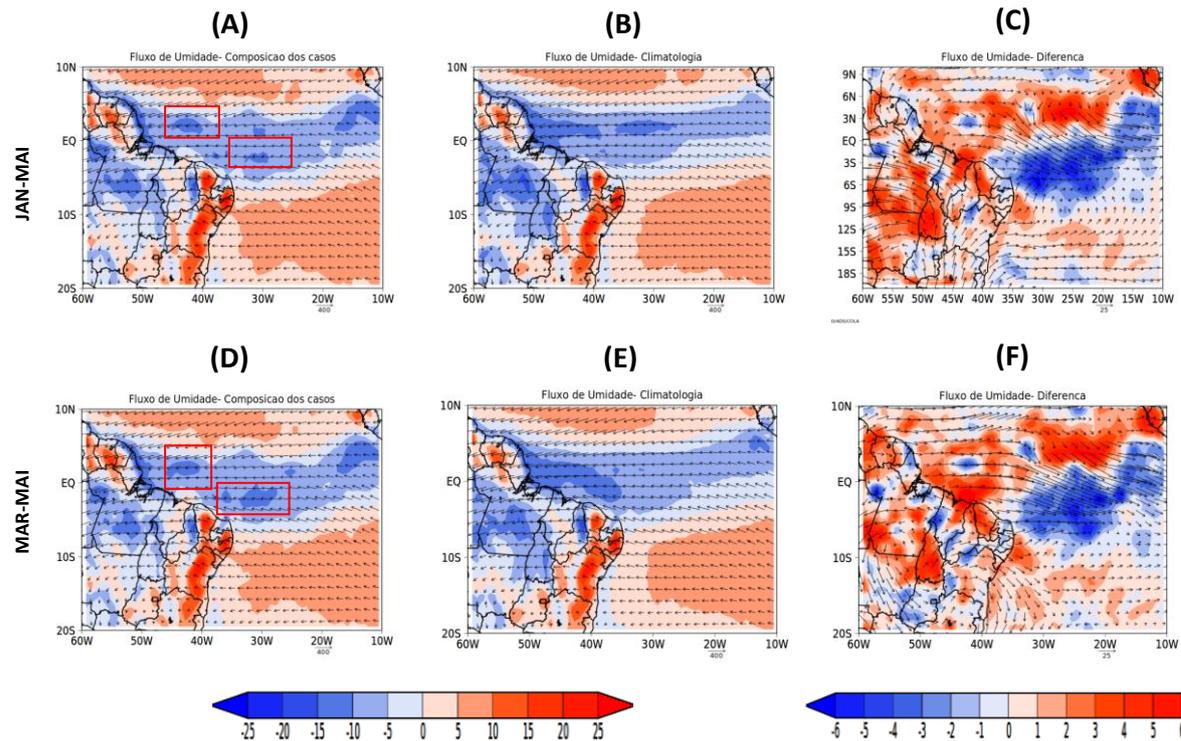
Na climatologia (Figuras 19b e 19e) os fluxos de calor sensível possuem valores da ordem de 1 a 7  $W m^{-2}$ , na região da banda dupla. Nos casos, sobre a costa do estado brasileiro do Maranhão e na posição da BS há valores negativos (Figuras 19a e 19d). Isso sugere que nos dias de banda dupla na região da BS, a atmosfera transfere energia para o oceano (Figuras 19c e 19f).



**Figura 19** – Fluxo de calor sensível ( $\text{W m}^{-2}$ ) e vento a 10 metros da superfície ( $\text{m s}^{-1}$ ) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

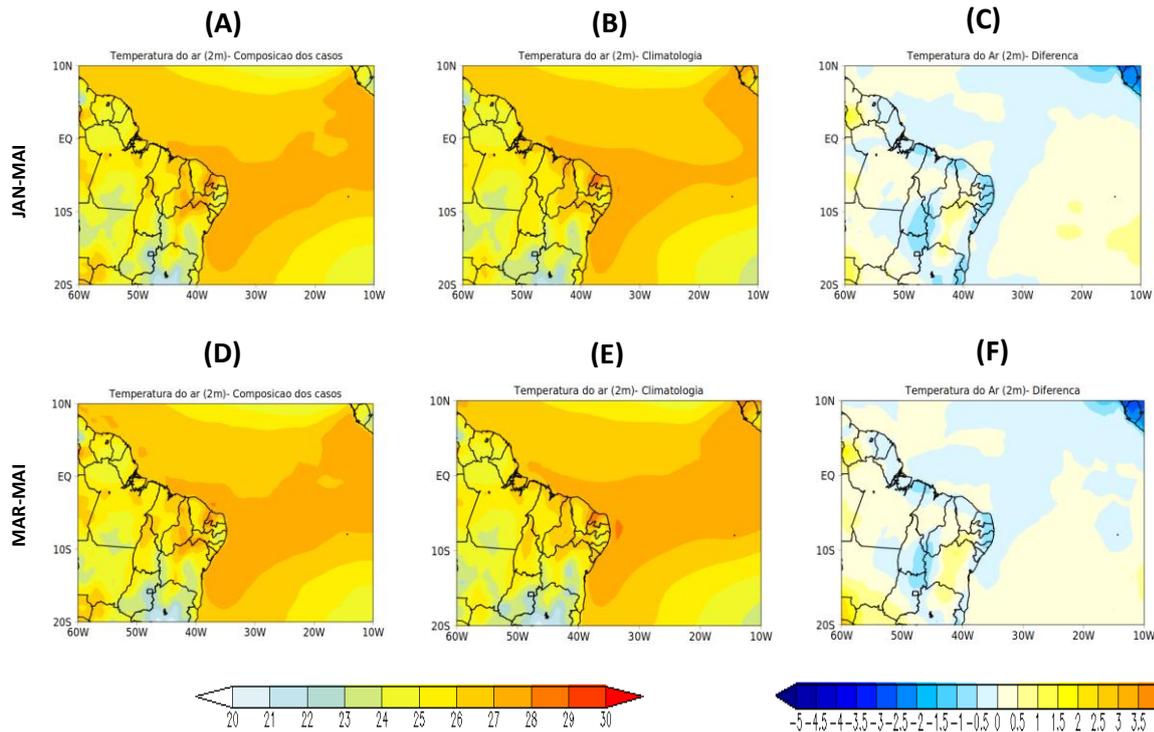
Considerando o campo do fluxo de umidade integrado verticalmente, quando há banda dupla (Figuras 20a e 20d), verifica-se que existe no Atlântico Oeste duas regiões com convergência de umidade mais intensas, sendo que a região mais ao sul é justamente a região em que a BS posiciona-se. Na climatologia (Figuras 20b e 20e), a região de convergência do fluxo de umidade mais intenso se dá apenas em uma região, porém essa se apresenta mais alongada que aquelas da composição dos casos.

No campo da diferença (Figuras 20c e 20f), os valores negativos ocorrem na região da BS. Isso indica que nos dias de ocorrência de banda dupla, a convergência de umidade sobre essa região é intensificado. Já os valores positivos sobre a região da BP indicam que nos dias de banda dupla a convergência sobre essa região não é tão intensa quanto na climatologia.



**Figura 20** – Fluxo de umidade integrado verticalmente ( $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) e convergência/divergência de umidade ( $10^5 \text{ kg s}^{-1}$ ) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

O campo de temperatura do ar a 2 metros da superfície nos dias de banda dupla (Figuras 21a e 21d) não apresenta grandes diferenças em relação à média climatológica (Figuras 21b e 21e). De modo geral, se observa que no Atlântico Oeste, a máxima temperatura do ar se concentra ao sul do equador, enquanto no Atlântico Leste as máximas posicionam-se acima do equador. Os campos da diferença (Figuras 21c e 21f) mostram anomalias negativas (positivas) de temperatura do ar na ordem de  $-0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) em grande parte da região da ZCIT.

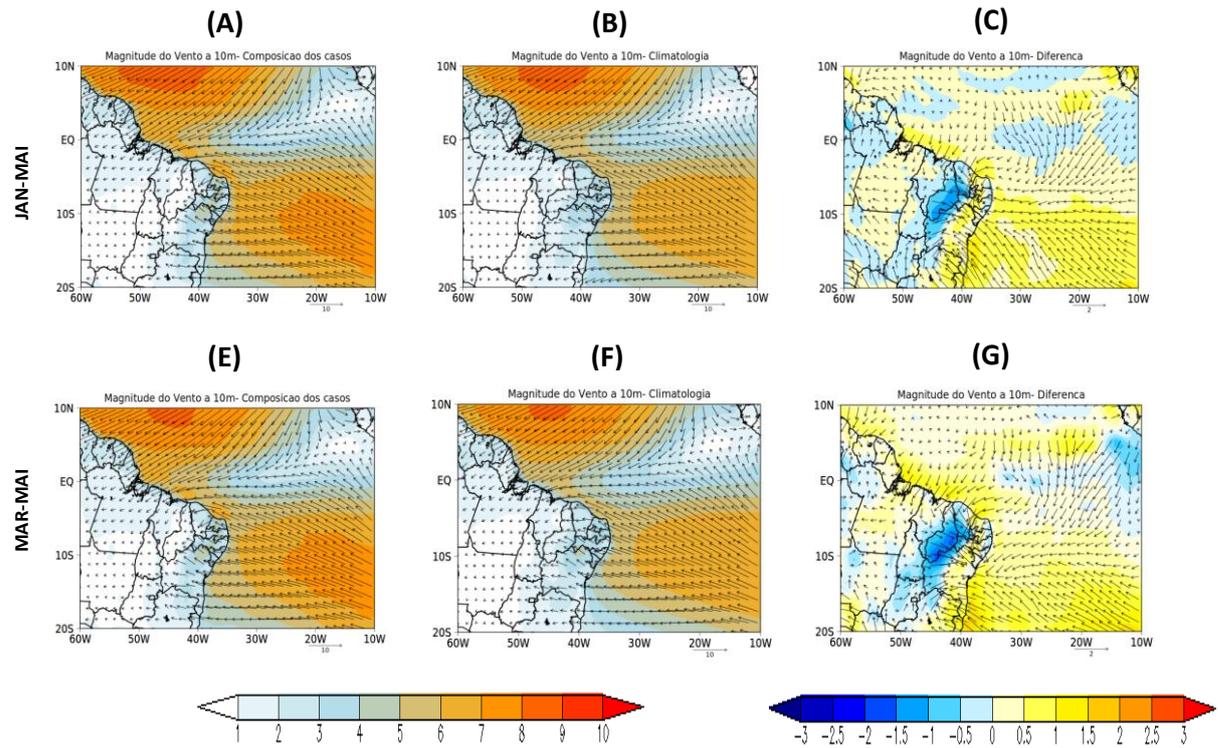


**Figura 21** - Campo temperatura do ar (°C) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

### 4.3 Hipótese de formação da banda dupla

Com o objetivo de testar a hipótese enunciada no item 2.2, foram analisadas as seguintes variáveis: magnitude e direção do vento a 10 metros da superfície, a intensidade de suas componentes (U e V), a TSM e ômega.

Apesar do campo da magnitude e direção do vento dos dias de banda dupla (Figuras 22a e 22d) exibir características bastante semelhantes com a climatologia (Figuras 22b e 22e), nota-se que nos casos de banda dupla, os ventos alísios provenientes da ASAS apresentam um núcleo mais intensificado do que a climatologia. De fato, isso é mostrado pelas anomalias positivas no Atlântico sul (Figuras 22c e 22f).



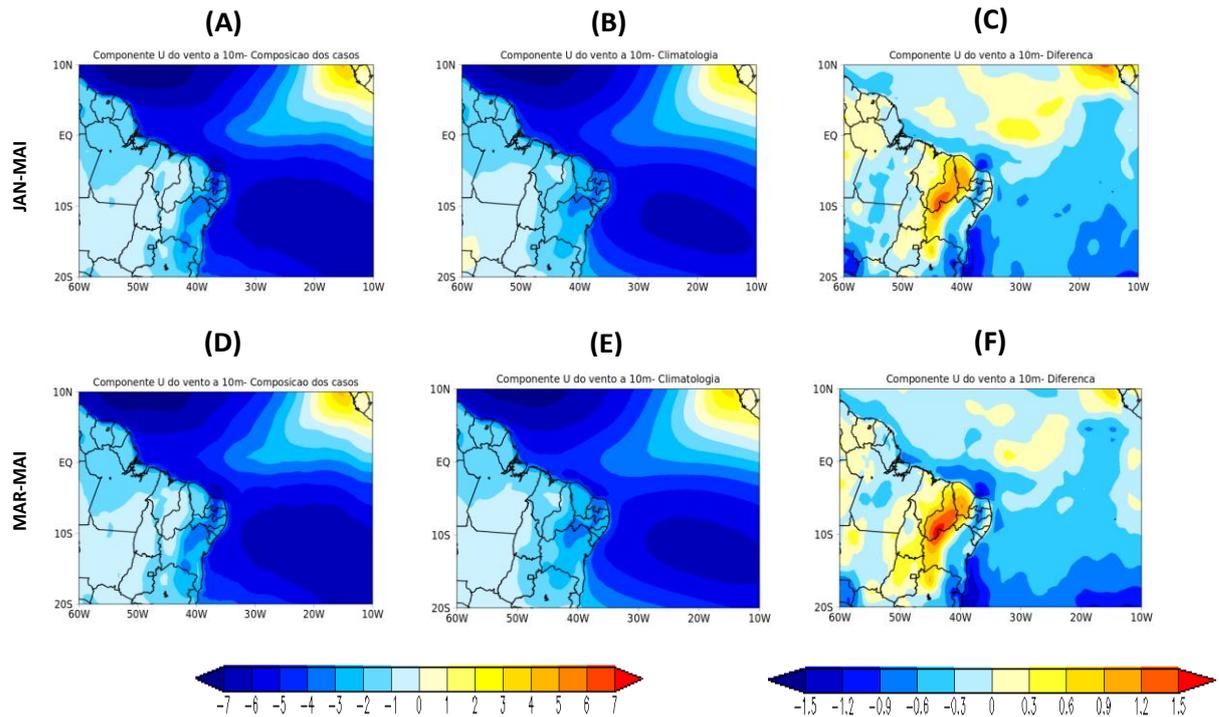
**Figura 22-** Campo da magnitude e direção do vento a 10 metros da superfície ( $\text{m s}^{-1}$ ) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

Como visto na figura 17, a TSM sobre o Atlântico tropical nos dias de banda dupla apresentou temperaturas entre 28 a 29°C. Na composição dos casos de banda dupla, as duas regiões de TSMs mais aquecidas e a região de águas relativamente mais frias sobre a região da ZCIT, enunciadas na hipótese de formação da banda dupla, não aparecem. Observa-se apenas que nos dias de banda dupla o oceano é mais aquecido do que na climatologia.

As composições de ômega nos dias de banda dupla evidenciaram a presença de duas faixas de movimentos ascendentes na região da ZCIT. Enquanto a faixa mais ao norte estende-se desde o oceano até o continente sul-americano, a faixa mais ao sul não alcança o continente. A presença da segunda faixa de movimentos ascendentes na região da ZCIT é uma característica que denota a BS.

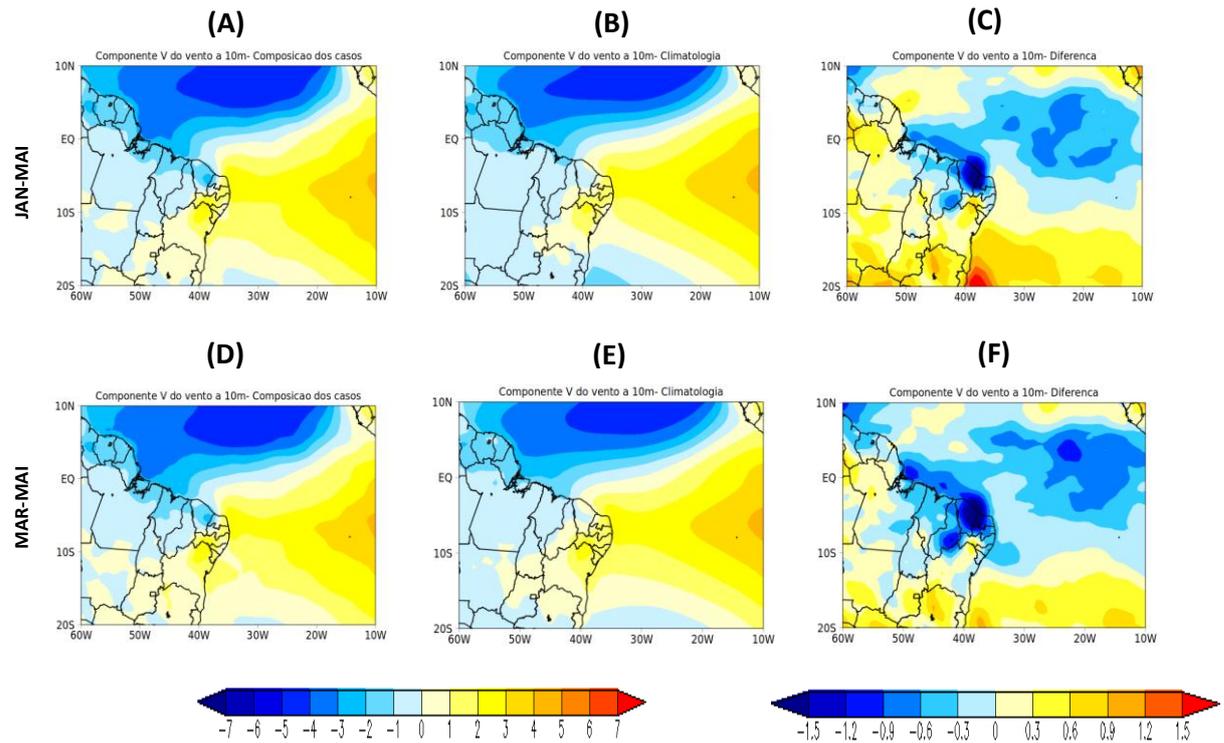
Analisando o campo da intensidade da componente zonal (U) do vento a 10 metros da superfície, é notável que a composição dos casos de banda dupla

apresenta o mesmo padrão que a média climatológica (Figura 23a, 23b, 23d e 23e). De modo geral, observam-se ventos de leste com intensidade máxima de  $7 \text{ m s}^{-1}$ . Ventos de oeste só são vistos sobre a costa da África Ocidental. Ao sul do equador, as anomalias negativas na Figura 23c e 23f indicam que os ventos de leste são mais intensos nos dias de banda dupla em relação à climatologia,



**Figura 23-** Campo de intensidade da componente U do vento a 10 metros da superfície ( $\text{m s}^{-1}$ ) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

A partir da análise da componente meridional do vento a 10 metros da superfície, é possível perceber pelo campo da diferença que a sul de  $10^\circ \text{ S}$ , os ventos de sul são mais intensos (Figuras 24c e 24f), enquanto a norte dessa latitude até a região da ZCIT os ventos de norte são mais intensos. Portanto, na região da ZCIT, os ventos de norte são mais intensos nos casos de banda dupla do que na climatologia.



**Figura 24-** Campo de intensidade da componente V do vento a 10 metros da superfície ( $\text{m s}^{-1}$ ) sobre o oceano Atlântico Tropical: (a) composição dos dias de banda dupla identificados no período de janeiro a maio entre 2010 e 2017; (b) média climatológica de 1998 a 2017 no período de janeiro a maio; (c) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de janeiro a maio; (d) composição dos dias de banda dupla identificados no período de março a maio entre 2010 e 2017; (e) média climatológica de 1998 a 2017 no período de março a maio; (f) diferença entre a composição de casos nos dias de banda dupla e a média climatológica do período de março a maio.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo permitiram verificar que as bandas duplas na costa leste da AS ocorrem entre os meses de janeiro a maio. A posição média latitudinal da BP nos dias de banda dupla é 2°N, enquanto o da BS é 2°S.

As bandas duplas dos meses de março e abril apresentaram maior tempo de vida que os casos que ocorrem nos demais meses. Bandas duplas com tempo de vida entre 12 e 85 horas são as que ocorrem com maior frequência. Este estudo ainda indicou que a BS é uma banda de nebulosidade que não se estende por todo o Atlântico tropical como a BP.

A banda dupla é uma característica atmosférica que não é registrada em todas as variáveis atmosféricas. Nesse estudo, a banda dupla foi mais evidente nos campos de precipitação, ROL e velocidade vertical em 500 hPa. Portanto, sugere-se que esses três campos sejam sempre analisados quando se deseja identificar bandas duplas da ZCIT no Atlântico oeste, juntamente com imagens de satélite.

Com respeito à hipótese de formação da banda dupla, não foi possível detectar se realmente o aumento da intensidade dos ventos alísios favorece a formação de duas regiões mais aquecidas de TSM na região da ZCIT, pois não há sinais no campo da TSM. Desse modo, a causa de formação da banda dupla, não pôde ser esclarecida neste estudo.

Para estudos futuros sugere-se a formulação de outras hipóteses bem como outras metodologias para a formação da banda dupla da ZCIT. Além disso, deve-se incluir além da análise do comportamento de variáveis atmosféricas, a análise do comportamento de variáveis oceânicas, como a circulação oceânica, por exemplo.

## 6. REFERÊNCIAS

BROWN, E.; COLLING, A.; PARK, D.; PHILLIPS, J.; ROTHERY, D.; WRIGHT, J. **Ocean Circulation**. 2. ed. New York: Elsevier, 2001.

COELHO, M.S.; GAN, M.A.; CONFORTE, J.C. Estudo da variabilidade da posição e da nebulosidade associada à ZCIT do Atlântico, durante a estação chuvosa de 1998 e 1999 no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 23-34, 2002.

CUSHMAN-ROISIN, B. **Introduction to Geophysical Fluid Dynamics**. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1994. 320 p

DEE, D.P.; UPPALA, S.M.; SIMMONS, A.J.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M.A.; BALSAMOS, G.; BAUER, P.; BECHTOLD, P.; BELJAARS, A.C.M.; VAN DE BERG, L.; BIDLOT, J.; BORMANN, N.; DELSOL, C.; DRAGANI, R.; FUENTES, M.; GEER, A.J.; HAIMBERGER, L.; HEALY, S.B.; HERBACH, H.; HÓLM, E.V.; ISAKSEN, L.; KÅLLBERG, P.; KÖHLER, M.; MATRICARDI, M.; MCNALLY, A.P.; MONGE-SANZ, B.M.; MORCRETTE, J.J.; PARK, B.K.; PEUBEY, C.; ROSNAY, P.; TAVOLATO, C.; THÉPAUT, J.N.; VITART, F. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 137, p. 553-597, 2011.

ESTOQUE, M.A.; DOUGLAS, M. Structure of the Intertropical Convergence Zone over the GATE area. **Tellus**, v.30, n.1, p. 55-61, 1978.

FERREIRA, N. S. Zona de Convergência Intertropical. **Climanálise**. Edição Especial de 10 anos. Cachoeira Paulista, SP. 1996. 235 p.

GADGIL, S; GURUPRASAD, A. An Objective Method for the Identification of the Intertropical Convergence Zone. **Journal of Climate**, v.3, n.1, p. 558-567, 1989.

GLICKMAN, T. S. **Glossary of Meteorology**. Boston; AMS, 2000. 855 p.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.103, n. 435, p. 77-92, 1977.

HASTENRATH, S. **Climate Dynamics of Tropics**. Dordrecht: Kluwer, 1991. 488 p.

KRISHNAMURTI, T.N.; STEFANOVA, L.; MISRA, V. **Tropical Meteorology - An Introduction**. New York: Springer, 2013.

L. F. HUBERT, A. F. KRUEGER, J. S. WINSTON. The Double Intertropical Convergence Zone - Fact or Fiction?. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.26, p.771-773, 1969.

LEE, H.-T. Climate Algorithm Theoretical Basis Document (C-ATBD): Outgoing Longwave Radiation (OLR) - Daily. **NOAA's Climate Data Record (CDR) Program, CDRP-ATBD-0526**, 46 p, 2014.

LEITZKE, C. E.; DESER, C.; HAAR, T.H.V. Evolutionary Structure of the Eastern Pacific Double ITCZ Based on Satellite Moisture Profile Retrievals. **Journal of Climate**, v.14, p. 743-751, 2001.

MELO, A.B.C.; NOBRE, P.; MELO, M.L.D.; SANTANA, S. C. Estudo climatológico da posição da ZCIT no Atlântico Equatorial e sua influência sobre o Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2000. p. 1142-1146.

MELO, A. B. C; CAVALCANTI, I. F. A.; SOUZA, P. P. 2.1 – **Aspectos meteorológicos característicos da ZCIT**. 2.2 – **Variabilidade interanual**. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da; DIAS, Maria Assunção Faus da Silva (Org.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 26-34.

MELO, A.B.C.; NOBRE, P.; MENDES, D.; BOTTINO, M. J. A Zona de Convergência Intertropical sobre o oceano Atlântico: Climatologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBMet, 2002. p. 682-686.

MITCHELL, T.P.; WALLACE, J.M. The annual cycle in equatorial convection and sea surface temperature. **Journal of Climate**, v. 5, p. 1140-1156, 1992.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of the droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulations model. **Journal of the Atmospheric Science**, v.38, n. 12, p.2653-2673, 1981.

PENNA, A. C.; REIS, C.; GOUVEIA, C.; DIAS, C.; PORTO, F.; BARROS, K.; SANTOS, L. F.; REBOITA, M. S.; PEREIRA, R.; VILELA, R.; FERREIRA, R.; SANTOS, T.; LOPES, V. Estudo das Características da Banda Dupla da ZCIT no Oceano Atlântico. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS NATURAIS (SEMEAR), 8., 2013, Itajubá. **Anais...** Itajubá: UNIFEI, 2013.

REBOITA, M.S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.P. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

REBOITA, M.S.; RODRIGUES, M.; ARMANDO, R.P.; FREITAS, C.; MARTINS, D.; MILLER, G. Causas da semiaridez do sertão nordestino. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, p. 254-277, 2016.

REYNOLDS, R. W.; SMITH, T.M.; LIU, C.; Chelton, D.B.; CASEY, K.S.; SCHLAX, M.G. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature. **Journal of Climate**, v. 20, p. 5473-5496, 2007.

UVO, C. B. **A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro.** 1989. 99 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

WALISER, D. E.; GAUTIER, C. A satellite-derived climatology of the ITCZ. **Journal of Climate**, v.6, p. 2162–2174, 1993.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, P. L. S.; DIAS, M. A. F. S. A Zona de Convergência Intertropical - ZCIT e suas relações com a chuva no Ceará (1964-98). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, n. 1, p. 27- 43, 2000.

YU, L.; R. A. WELLER.; B. SUN. Mean and variability of the WHOI daily latent and sensible heat fluxes at in situ flux measurement sites in the Atlantic Ocean. **Jornal Climate**, v. 17, p. 2096–2118, 2004.

YNOUE, R.Y.; REBOITA, M.S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, G.A.M. **Meteorologia: noções básicas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 184 p.

ZHANG, C. Double ITCZs. **Journal of Geophysical Research**, v.106, p.785-792, 2001.