



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**INFLUÊNCIA DAS LIGAÇÕES DAS CORRENTES DE JATO ENTRE OS
HEMISFÉRIOS NA FORMAÇÃO DE FENÔMENOS METEOROLÓGICOS
ADVERSOS NO NORDESTE BRASILEIRO**

ANA LETICIA MELO DOS SANTOS

MACEIÓ, AL

2021

ANA LETICIA MELO DOS SANTOS

INFLUÊNCIA DAS LIGAÇÕES DAS CORRENTES DE JATO ENTRE OS
HEMISFÉRIOS NA FORMAÇÃO DE FENÔMENOS METEOROLÓGICOS ADVERSOS
NO NORDESTE BRASILEIRO

Dissertação submetida ao colegiado do
Curso de Pós-Graduação em Meteorologia no
instituto de Ciências Atmosféricas da
Universidade Federal de Alagoas – UFAL,
como parte dos requisitos necessários para
obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientadores:

Prof. Dra. Natalia Fedorova

Prof. Dr. Vladimir Levit

MACEIÓ, AL

2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 - 1767

S237i Santos, Ana Leticia Melo dos.
Influência das ligações das correntes de jato entre os hemisférios na formação de fenômenos meteorológicos adversos no Nordeste brasileiro / Ana Leticia Melo dos Santos. – 2021.
88 f. : il.

Orientadora: Natalia Fedorova.

Orientador: Vladimir Levit.

Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 75-84.

Apêndices: f. 85-88.

1. Corrente de jato (Meteorologia) - Brasil, Nordeste. 2. Vórtices ciclônicos. I.
Título.

CDU: 551.509(812/813)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-176.

***“INFLUÊNCIA DAS LIGAÇÕES DAS CORRENTES DE JATO
ENTRE OS HEMISFÉRIOS NA FORMAÇÃO DE FENÔMENOS METEOROLÓGICOS
ADVERSOS NO NORDESTE BRASILEIRO.”***

Ana Letícia Melo dos Santos

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Assinatura manuscrita em tinta preta, provavelmente da orientadora.

Profa. Dra. Natalia Fedorova
(Orientadora)

Assinatura manuscrita em tinta preta, provavelmente do membro interno.

Prof. Dr. Vladimir Levit
(Membro Interno)

Fevereiro /2021

Heliofabio Barros Gomes

Prof. Dr. Heliofabio Barros Gomes
(Membro Interno)

Micejane da Silva Costa

Profª. Dra. Micejane da Silva Costa
(Membro Externo)

João de Athaydes S.Jr.

Prof. Dr. João de Athaydes Silva Junior
(Membro Externo)

Fevereiro /2021

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Lista de fenômenos identificados nos boletins do METAR.	37
TABELA 2: Ligações entre CJNEB com outras CJ.....	39
TABELA 3: Quantidade de CJNEB ligados com outros CJ de acordo com o tipo de ligação nos anos analisados.	44
TABELA 4: Frequência dos processos Meridional (M), Zonal (Z) e Transversal (T) por mês nos anos de 2017, 2018 e 2019.....	46
TABELA 5: Frequência (por eventos) anual de CJNEB Meridional, Transversal e Zonal de acordo com sua direção (de onde está soprando) e as regiões da CJNEB no NEB (entrada ou saída da CJNEB, lado quente ou frio da CJNEB).	47
TABELA 6: Ocorrência de fenômenos por estação meteorológica e ano de acordo com os processos M, Z e T.....	55
TABELA 7: Identificação de direção, entrada e saída dos processos meridionais que ocorreram no dia 22 de dezembro de 2017. 22* é a segundo processo.....	60
TABELA 8: Identificação de direção, entrada e saída dos processos meridionais que ocorreram no dia 16 de julho de 2018.	64
TABELA 9: Identificação de direção, entrada e saída dos processos meridionais que ocorreram no dia 16 de julho de 2018.	68
TABELA 10: Identificação de direção, entrada e saída dos processos meridional, transversal e zonal, que ocorreram no dia 10 de janeiro de 2018.....	72

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

AB – Alta da Bolívia
ASAS - Alta Subtropical do Atlântico Sul
CAN – Cavado em Altos Níveis
Cb - Cumulonimbus
CJ – Corrente de Jato
CJNEB – Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro
CJP – Corrente de Jato Polar
CJPHN – Corrente de Jato do Hemisfério Norte
CJPHS - Corrente de Jato do Hemisfério Sul
CJST – Corrente de Jato Subtropical
CJSTHN – Corrente de Jato Subtropical do Hemisfério Norte
CJSTHS – Corrente de Jato Subtropical do Hemisfério Sul
E - Leste
ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecast
GrADS – Grid Analysis and Display System
HN – Hemisfério Norte
hPa – HectoPascal
HS - Hemisfério Sul
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
IR – Infravermelho
Km – Quilmetros
M - Meridional
m/s – Metros por segundo
N - Norte
NCAR – National Center for Atmospheric
NCEP – National Centers for Environmental Prediction
NEB – Nordeste Brasileiro
NO - Nordeste
NVM – Núcleo de vento Máximo
O – Oeste
OL – Ondas de Leste
S – Sul

SE – Sudeste

T - Transversal

VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

UTC – Coordinated Universal Time

Z – Zonal

W - Oeste

WMO - Organização Mundial de Meteorologia

SUMARIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1.	OBJETIVOS	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.	Correntes de Jato (CJ)	17
2.2.	Movimentos verticais na Corrente de Jato	18
2.3.	Tipos de Correntes de Jato	20
2.3.1.	Corrente De Jato Do Nordeste Brasileiro (CJNEB).....	20
2.3.2.	Correntes de jato subtropical (CJT).....	23
2.3.3.	Correntes de Jato Polar (CJP).....	24
2.4.	Correntes de Jato pelas Imagens de Satélite.....	24
2.5.	Vórtice Ciclônico De Altos Níveis (VCAN)	25
2.5.1.	Origem e Formação do VCAN.....	26
2.5.2.	Tipos de VCAN.....	27
2.5.3.	Nebulosidade e Precipitação Associada ao VCAN.....	29
2.6.	Alta da Bolívia (AB)	30
2.7.	Fenômenos Adversos	31
2.7.1.	Precipitação (RA).....	31
2.7.2.	Trovoada (TS)	32
2.7.3.	Nevoeiro (FG), Névoa úmida (BR) e Névoa seca (HZ).....	33
2.7.4.	Granizo (GR).....	34
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1.	Área de estudo	35
3.2.	Softwares utilizados.....	36
3.3.	Dados	36
3.4.	Métodos	38
3.4.1.	Identificação das CJ.....	38

3.4.2.	Ligações CJNEB com as outras correntes de jato.....	39
3.4.3.	Análise dos processos zonal, meridional e transversal com Altura Geopotencial e anomalia da Altura Geopotencial	39
3.4.4.	Contagem dos fenômenos adversos	40
3.4.5.	Ligação das CJNEB com os fenômenos adversos.....	41
3.4.6.	Estudos de Caso.....	41
4.	RESULTADOS.....	43
4.1.	As frequências das correntes de jato e suas ligações.....	43
4.2.	As frequências dos tipos de processos.....	45
4.3.	Frequências dos Fenômenos Meteorológicos.....	47
4.3.1.	Frequências dos grupos de precipitações, trovoadas e chuvisco.....	48
4.3.2.	Frequências de fenômenos por estações meteorológicas	51
4.3.3.	Frequências de fenômenos de acordo com os processos M, Z e T	54
4.4.	Estudos de Caso	58
4.4.1.	CJNEB Meridional.....	59
4.4.2.	CJNEB Zonal	63
4.4.3.	CJNEB Transversal	66
4.4.4.	CJNEB com mais de um processo, evento raro.	70
4.4.5.	Comparação das CJNEB Meridional, Zonal e Transversal.....	75
5.	CONCLUSÃO	76
6.	REFERENCIAS	78
7.	APÊNDICES.....	88

DEDICATÓRIA

Aos que me amam e me admiram, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Neste período tão atormentador para a humanidade agradeço primeiramente e infinitamente a Deus pela minha vida.

Sou grata pela vida e pelo amor que recebo de minha mãe Nailza e irmã Lucyana. Por toda paciência e profundo apoio nos dias em que precisei me ausentar de dias importantes para nós.

Gratidão sem fim a Mailson, Solange e Maildo que são minha família de coração que tanto me apoiam e me dão carinho, pra vocês todo meu afeto e amor.

Aos professores do instituto que tive a honra de ser aluna, agradeço o empenho de vocês para que eu possa ser uma profissional capacitada. Em especial ao prof. Ricardo Amorim, todo meu carinho.

Aos professores Natália e Vladimir, meus orientadores, que são pessoas que tanto me inspiram como profissional. Obrigada pela dedicação de vocês perante a mim em momentos que me ajudaram e orientaram. Sem vocês nada disso seria concebido.

Aos amigos e colegas que conquistei no mestrado. Obrigada, Douglas, Patrícia, Thiago, Eduardo, Matheus, as Meninas do Galax e a toda minha turma, vocês que em momentos em que precisei me deram socorro e companhia.

Agradeço também ao prof. Dr. Hélio Fábio, Dra. Micejane e ao Dr. João de Athayde que aceitaram ao convite de participarem desta banca, com contribuições essenciais para que eu finalize da melhor forma minha pesquisa.

RESUMO

As Correntes de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB) são as principais Correntes de Jato (CJ) que influenciam em todo Nordeste Brasileiro (NEB), mas suas ligações com fenômenos adversos ainda não foram estudadas. Os fenômenos adversos influenciam diretamente a sociedade com a formação de nevoeiros e névoas na atmosfera estável e trovoadas e chuva intensa na atmosfera instável. Estes fenômenos causam muitos danos a população, por exemplo, afetam a segurança aérea, no momento de pouso e decolagem das aeronaves. Os objetivos da pesquisa foram estudar a influência das ligações das CJNEB entre os Hemisférios Norte (HN) e Hemisfério Sul (HS) na formação de fenômenos meteorológicos adversos no NEB. O estudo foi realizado no período de 2017 a 2019. Os dados de reanálise do *NCEP- DOE Reanalysis 2*, com a resolução de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ no nível de 200 hPa foram utilizados para este estudo. As informações dos fenômenos meteorológicos adversos foram obtidas do banco de dados do REDMET do aplicativo API de todas as capitais do NEB. Todas as CJNEB foram divididas em três padrões de circulação: Meridional, Zonal e Transversal. Os exemplos dos eventos Meridional, Zonal e Transversal foram apresentados em detalhes com as análises da Altura Geopotencial (Ag) no nível de 200 hPa. Os fenômenos adversos registrados foram identificados de acordo com sua posição de entrada (lado quente e frio) e na saída (lado quente e frio) das CJNEB. As ligações entre os hemisférios foram identificadas e quantificadas segundo as ligações de CJNEB com os outros tipos de CJ (Correntes de Jato Subtropical (CJST) e Correntes de Jato Polar (CJST)). As CJNEB foram identificadas a cada mês. As ligações entre os hemisférios foram detectadas principalmente nos meses mais frios do HS durante os anos de estudo. As análises dos processos Meridionais, Zonais e Transversais mostrou que os processos Transversais ocorreram em maior frequência que os outros. As ligações mais frequentes foram CJNEB+CJSTHS+CJPHS, CJNEB+CJSTHN+CJPHN e CJNEB sem ligações foram frequentemente observados. Os fenômenos mais frequentes foram chuva fraca, tempestade com chuva fraca e neblina úmida. De todas as estações meteorológicas ao longo dos anos analisados os fenômenos mais frequentes foram: chuva fraca, trovoadas com chuva fraca e névoa úmida. Os fenômenos adversos foram mais frequentes no processo transversal (lado quente de entrada e lado frio de saída da CJNEB). A trovoadas ocorreu principalmente nos aeroportos do norte do NEB.

Palavras-chave: Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro. Ligação Inter-hemisférica. Fenômenos adversos.

ABSTRACT

Brazilian Northeast Jet Streams (BNEJS) are the main Jet Stream (JS) that influence throughout Brazilian Northeast (BNE), but their connections with adverse phenomena have not yet been studied. Adverse phenomena directly influence society with the formation of fogs and mists in the stable atmosphere and thunderstorms and heavy rain in the unstable atmosphere. These phenomena cause many damage to population, for example, affect air safety, no time of landing and aircraft take-off. Research aims were to study the influence of BNEJS connections with both Northern (NH) and Southern (SH) Hemispheres in the formation of adverse meteorological phenomena in the BNE. The study was carried out from 2017 to 2019. The data from NCEP-DOE Reanalysis 2, with a resolution of $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ at the level of 200 hPa were used in this study. The adverse meteorological phenomena information was obtained from the REDMET database of the API application of all BNE capitals. All BNEJS were divided into three circulation patterns: Southern, Zonal and Transversal. Examples of the Southern, Zonal and Transversal events are presented in detail with the analysis of the Geopotential Height (Ag) at the level of 200 hPa. The adverse phenomena recorded were identified according to their position at the entrance (hot and cold side) and exit (hot and cold side) of the BNEJS. Connections between hemispheres were identified and quantified: the BNEJS links with other JSs types (Subtropical Jet Stream-STJS and Polar Jet Stream-PJS) were detected. BNEJS were identified every month. Connections between the hemispheres were detected mainly in the coldest months of SH during study years. Analysis of the Southern, Zonal and Transversal processes showed that Transversal processes occurred more frequently than others. The most frequent links were BNEJS + STJSSH + PJSSH, BNEJS + STJSNH + PJSNH and BNEJS without connections were also often observed. The most frequent phenomena were light rain, thunderstorm with light rain and humid mist. Adverse phenomena were more frequent in the transverse process (hot side of entrance and cold side of exit of the CJNEB). Thunderstorm occurred mainly at airports in the north of the BNE.

Keywords: Jet Stream of Northeast Brazil. Interhemispheric link. Adverse phenomena.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Modelo conceitual da circulação transversal na entrada e saída da CJ em curvatura ciclônica (a) e anticiclônica (b) para o Hemisfério Norte, indicando as regiões de convergência e divergência em altos níveis, onde as linhas tracejadas indicam as linhas de isotacas.	19
FIGURA 2: (a) Padrão idealizado do movimento ageostrófico na entrada e saída da CJ para o Hemisfério Sul; (b) Circulação transversal direta (entrada); (c) Circulação transversal indireta (saída).	19
FIGURA 3: Representação esquemática do eixo da CJ. Isotacas - Linhas tracejadas.	20
FIGURA 4: Tipos de Jatos Nordeste do Brasil (CJNEB): (a, b) Tipo I: uma CJNEB de sul entre a Alta da Bolívia e a parte superior do Cavado (CAN) de sudeste e sul (a) e o vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) de sudoeste (b);(c, d) Tipo II: um norte CJNEB entre a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e o CAN do noroeste (c) e o VCAN do norte (d); e (e) tipo III: uma CJNEB de oeste entre o VCAN-HN e o CAN-HS.....	22
FIGURA 5: Seção vertical, mostrando a zona de forte baroclínia na troposfera (entre A e C); zona frontal e corrente de jato (J), situada sobre a vertical B.....	23
FIGURA 6: Sequência esquemática para a formação de Vórtice ciclônico em 200 hPa no Atlântico Sul.....	28
FIGURA 7: Localização das áreas de identificação das CJ. Na área 1, onde ocorrem as CJ no HN e no HS. A área 2, a menor região, onde ocorre a CJNEB.....	35
FIGURA 8: Intervalos de ângulos utilizados para classificação da direção das CJNEB.	38
FIGURA 9: Número de CJNEB por mês nos anos de 2017, 2018 e 2019.....	44
FIGURA 10: Ocorrência de tipos de ligação nos anos 2017, 2018 e 2019.....	45
FIGURA 11: Frequência dos fenômenos adversos identificados em 2017, 2018 e 2019.	48
FIGURA 12: Frequência dos fenômenos adversos nos grupos chuva (a), trovoadas(b) e chuvisco (c) e (d) identificados em 2017, 2018 e 2019.....	50

FIGURA 13: Localização das estações com chuva fraca por anos.	52
FIGURA 14: Localização das estações com trovoadas por anos.....	53
FIGURA 15: Localização das estações com chuvisco por anos.....	54
FIGURA 16: Mapa com frequência de dias com fenômenos adversos com processo meridional nos anos 2017, 2018 e 2019.	56
FIGURA 17: Mapa com frequência de dias com fenômenos adversos com processo zonal nos anos 2017, 2018 e 2019.....	57
FIGURA 18: Mapa com frequência de dias com fenômenos adversos com processo transversal nos anos 2017, 2018 e 2019.	58
FIGURA 19: Mapas de linha de corrente do dia 22 de dezembro de 2017 as 00 UTC, com as identificações das CJNEB e sua ligação na Área 1 (a) e Área 2 (b).	59
FIGURA 20: Mapa da posição das estações dos registros de fenômenos por grupos.	60
FIGURA 21: Mapas de Ag absoluta (a) e Anomalia de Ag (b) no dia 22 de dezembro de 2017, as 00 UTC no nível de 200 hPa	61
Figura 22: Imagem de satélite no dia 22 de dezembro de 2017, as 00 UTC (a), 06:15 UTC (b), 12 UTC (c) e 18 (UTC).....	62
FIGURA 23: Mapas de linha de corrente do dia 16 de julho de 2018 as 00 UTC, com as identificações das CJNEB e sua ligação na Área 1 (a) e Área 2 (b).	63
FIGURA 24: Mapa da posição das estações dos registros de fenômenos por grupos.	64
FIGURA 25: Mapas de Ag absoluta (a) e Anomalia de Ag (b) no dia 16 de julho de 2018, as 00 UTC no nível de 200 hPa.	65
FIGURA 26: Imagem de satélite no dia 16 de julho de 2018, as 00 UTC (a), 06 UTC (b), 12 UTC (c) e 18 (UTC).....	66
FIGURA 27: Mapa de linha de corrente do dia 25 de julho de 2019 as 00 UTC com as identificações das CJNEB e sua ligação na Área 1 (a) e Área 2 (b).....	67

FIGURA 28: Mapa da posição das estações dos registros de fenômenos por grupos.	68
FIGURA 29: Mapas de Ag absoluta (a) e Anomalia de Ag (b) no dia 25 de julho de 2019, as 00 UTC no nível de 200 hPa.	69
FIGURA 30: Imagem de satélite no dia 25 de julho de 2019, as 00 UTC (a), 06:15 UTC (b), 12 UTC (c) e 18 (UTC).....	70
FIGURA 31: Mapa de linha de corrente do dia 10 de janeiro de 2018 as 00 UTC com as identificações das CJNEB e sua ligação na Área 1 (a) e Área 2 (b).	71
FIGURA 32: Mapa da posição das estações dos registros de fenômenos por grupos.	72
FIGURA 33: Mapas de Ag absoluta (a) e Anomalia de Ag (b) no dia 10 de janeiro de 2018, as 00 UTC no nível de 200 hPa.	73
FIGURA 34: Imagem de satélite no dia 10 de janeiro de 2018, as 00 UTC (a), 06 UTC (b), 12 UTC (c) e 18 (UTC).....	74
FIGURA 35: Comparação anual da ocorrência dos processos Meridional (M), Zonal (Z) e Transversal (T).....	75

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência dos fenômenos meteorológicos adversos pode provocar acidentes de trânsito, problemas sociais e até perdas econômicas e de vidas humanas. Esses fenômenos podem ser as trovoadas, chuva, névoa úmida, névoa seca, nevoeiro entre outros. A formação desses fenômenos tem uma forte relação com as condições específicas da região, como relevo, vegetação típica e proximidade com oceanos, por isso, estudos são necessários para cada região em particular. Tanto o nevoeiro quanto a névoa úmida são fenômenos adversos que consistem em uma grande quantidade de gotículas d'água em suspensão à superfície da terra e que levam a redução da visibilidade horizontal (VAREJÃO-SILVA, 2006).

As correntes de jato (CJ) são uns dos principais sistemas de escala sinótica a serem analisados para a formação dos fenômenos adversos e estão presentes em ambos Hemisférios e com ligações inter-hemisféricas (GOMES, 2003, REPINALDO, 2010, COSTA, 2010, COSTA ET AL. 2013, VAZ, 2014). As CJ têm ventos com aproximadamente 6 km de altitude nas regiões extratropicais, provocados por grandes diferenças de temperatura entre a troposfera e a estratosfera, mais especialmente na tropopausa, entre o ar tropical quente e o ar frio polar (PALMÉN e NEWTON, 1969).

Sobre o Nordeste brasileiro (NEB), observa-se a presença de um tipo de CJ, que são as Correntes de Jato do Nordeste brasileiro (CJNEB) que se localizam próximas dos 200 hPa na tropopausa tropical, entre as latitudes de 20°S e o Equador, com maior ocorrência e desenvolvimento durante os meses de inverno (GOMES, 2003 e CAMPOS e FEDOROVA, 2006). Recentemente foi estabelecido internacionalmente a existência e o nome desta corrente, como CJNEB (FEDOROVA et al., 2018a).

A CJNEB pode criar as ligações inter-hemisféricas, sendo o meio para que as ligações ocorram. A influência destas ligações na formação de fenômenos adversos associados a presença das CJNEB não foi investigada ainda.

Nesse estudo foi possível identificar a interação das CJ entre os hemisférios norte e sul e a ocorrência de ligações entre as CJNEB e as Correntes de Jato do Hemisfério Norte (CJHN) e as Correntes de Jato Subtropicais do Hemisfério Sul (CJHS) e os fenômenos adversos associados as CJ. De acordo com os dados internacionais CJP e CJT são definidos como as correntes de ar em altos níveis de troposfera com as velocidades do vento do maior ou igual a 30 m/s (AYOADE, 1998; Zimmermann (2017), FEDOROVA, 2008, FEDOROVA,

2018a e 2018b). As CJNEB possuem menor velocidade do que as CJST ou CJP (VIRGI, 1981; GOMES, 2003). (FEDOROVA et al., 2018a e 2018b).

As análises feitas das CJNEB e as ligações inter-hemisféricas são importantes para o auxílio da previsão do tempo de fenômenos adversos e também para a segurança aérea. O estudo das ligações entre as CJ dos HN e HS com as CJNEB servirá como uma ferramenta para os meteorologistas operacionais, para o aperfeiçoamento das previsões de tempo de curto prazo, dessa forma o presente trabalho fará um estudo a esse respeito.

O desenvolvimento do trabalho trata-se da análise dos fenômenos adversos em conjunto com os sinóticos que ocorrem com a presença das ligações de CJ que podem ocorrer entre dois hemisférios com influência direta no Nordeste Brasileiro (NEB).

1.1. OBJETIVOS

GERAL:

ANALISAR as ligações da CJNEB com as correntes de jato de dois Hemisférios e a sua influência na formação de fenômenos adversos no NEB.

ESPECÍFICOS:

IDENTIFICAR as ligações de CJ conforme seus tipos CJT, CJP e CJNEB em ambos os Hemisférios.

QUANTIFICAR as ligações de CJNEB que houve a interação entre os Hemisférios.

ANALISAR os processos zonais e meridionais e suas intensidades que ocorreram na presença de CJNEB com ligações entre os Hemisférios.

COMPARAR os processos meridionais, zonais e transversais das CJNEB e com ligações entre os Hemisférios.

VERIFICAR os fenômenos adversos ocorridos sobre o NEB com a presença de CJNEB.

SERVIR como mais uma ferramenta para a previsão de curto prazo, com análises diárias das ligações de CJ para que seja mais precisa para a população que sofre prejuízos econômicos e risco de vida.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa sessão serão revisadas as definições de pesquisas e trabalhos que foram relacionados as Correntes de Jato e seus tipos: Corrente de Jato Subtropical (CJT), Corrente de Jato Polar (CJP) e Corrente de jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB) correlacionadas a Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN), Alta da Bolívia (AB).

2.1. CORRENTES DE JATO (CJ)

As CJ são possuem uma grande relevância para análise e previsão do tempo reconhecida por Rossby (1947). A CJ é um escoamento com ventos fortes, superiores a 30 m/s, alcançando por vezes, mais de 40 m/s, concentra-se ao longo de um eixo quase horizontal na troposfera superior ou estratosfera acima de 500 hPa, onde pode ocorrer um forte cisalhamento vertical e lateral do vento característico a sua existência (AYOADE, 1998; FEDOROVA, 2008).

O jato é uma zona onde os ventos são máximos e a geram velocidades máximas de vento em altura que depende de modo direto ao gradiente horizontal de temperatura (HOUTON, 1979). Palmén e Newton (1969) notaram que em algumas regiões poderá ocorrer a presença de mais de uma CJ. O posicionamento do centro de velocidades máximas varia e a corrente pode persistir por 24h e as vezes, por 3 a 4 dias (FEDOROVA, 2009). As CJ se dão devido as diferenças de temperatura que ocorre entre as regiões mais quentes que são os Trópicos e as regiões Polares que são mais frias. Quando duas massas de ar se unem, um vento de alta velocidade ou jato é criado. De acordo com o giro da Terra, o ar flui mais rápido ao redor do planeta. Quanto maior o a diferença de temperatura, mais rápido é o jato.

A maioria dos sistemas sinóticos de latitudes médias parecem desenvolver-se como o resultado da instabilidade da CJ. Esta instabilidade baroclínica necessita principalmente do cisalhamento vertical do vento (HOLTON, 1979).

Chu (1985) mostrou em sua pesquisa a climatologia dos altos níveis da atmosfera, utilizando a altura geopotencial, temperatura e vento, adquiridos a partir de raras estações de radiossonda, no período de 1980 a 1984. Onde ele identificou que na baixa troposfera, a altitude do Atlântico Sul domina os padrões de altura geopotencial que se estendem profundamente no interior do Brasil no inverno do sul. Na alta troposfera, os gradientes de contorno estão concentrados ao redor da região subtropical no inverno. Hoskins (1989)

apresentou mapas diagnósticos da circulação global atmosférica, usando médias trimestrais dos dados do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast), no período de 1979 a 1989. Nestes mapas pôde-se notar a presença dos jatos no HS. A posição longitudinal e intensidade dos jatos no HS apresentam uma variação interanual (JAMES e ANDERSON, 1984). As estações do ano influenciam na velocidade das CJ, se serão mais velozes e mais intensas devido a mudança do gradiente de temperatura. No inverno são mais intensas e no verão os ventos enfraquecem.

Cavalcante et al. (2009) diz que a principal característica da CJ é o forte cisalhamento horizontal e vertical que ocorre nela. Normalmente o cisalhamento do vento é aproximadamente de 5-10 m/s por km e o cisalhamento lateral, de 5m/s por 100 km.

As CJ estão presentes tanto no Hemisfério Norte (HN) quanto no Hemisfério Sul (HS) e são denominadas conforme sua região. Nas regiões dos Trópicos pode-se encontrar as Correntes de Jato Subtropical (CJT) e nas regiões polares as Correntes de Jato Polar (CJP) (AHRENS, 2000). Posteriormente, houve o conhecimento desses ventos fortes em altas altitudes sobre o Nordeste Brasileiro (NEB) com os estudos de Gomes (2003) e Campos (2005) que mostraram que as Correntes de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB) existiram.

O indicativo comum da posição do eixo da CJ é a presença de nuvens cirrusformes (CONOVER, 1960; VALOVICIN, 1968; DOSWELL, 1976), dirigem-se a sua formação no sul ou no sudeste do HS.

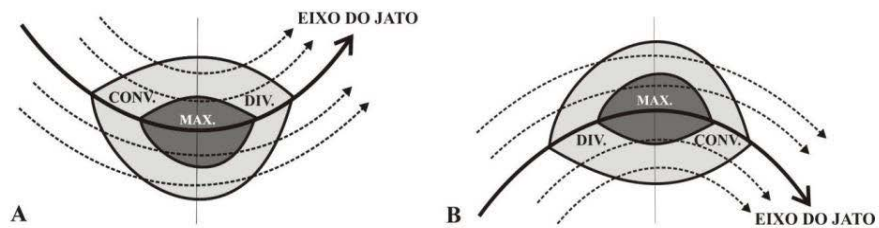
A propagação das CJ se dá de forma ondulatória, através de cristas e cavados, isso possibilita uma troca de ar, o mais frio que vem dos Polos para o Equador, enquanto o ar mais quente propaga-se na direção contrário (VAZ, 2014). Os ventos zonais possuem uma menor amplitude, a mistura do ar não é tão intensa e os ventos meridionais possuem altas amplitudes da onda do jato. Essas amplitudes das ondas dos jatos, irão determinar as condições do tempo.

2.2. MOVIMENTOS VERTICAIS NA CORRENTE DE JATO

É muito importante estudar a existência das circulações nas CJ, devido a relação com a atividade convectiva. A existência de uma CJ garante que um certo processo de ajuste dos campos da massa esteja ocorrendo na entrada e e região de saída dos núcleos de ventos máximos (NVM) do jato, devido ao aumento ou diminuição de velocidade nestas regiões (REPINALDO, 2010).

Beebe e Bates (1955) indicam que uma CJ com curvatura ciclônica teria divergência mais pronunciadas no lado ciclônico. O contrário é verdadeiro para jatos com curvatura anticiclônica.

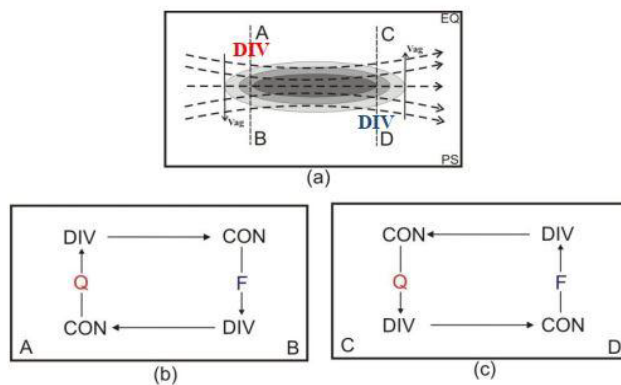
FIGURA 1: Modelo conceitual da circulação transversal na entrada e saída da CJ em curvatura ciclônica (a) e anticiclônica (b) para o Hemisfério Norte, indicando as regiões de convergência e divergência em altos níveis, onde as linhas tracejadas indicam as linhas de isotacas.



FONTE: Adaptado de Bee e Bates (1955).

Com a entrada da C ocorre uma aceleração da parcela de ar implicando numa componente ageostrófica do vento negativa, tornando-se direcionada para menores alturas geopotenciais (em direção ao polo). Na região de saída da CJ ocorre o contrário, a parcela de ar desacelera implicando numa componente ageostrófica positiva, direcionada para maiores alturas geopotenciais (em direção ao equador). Portanto, na entrada da CJ existe uma circulação térmica direta onde ascende ar quente no lado equatorial do jato e desce ar frio no lado polar. E na saída da corrente de jato a circulação térmica é indireta, com ar frio ascendente no lado polar do jato e ar quente subsidente no lado equatorial.

FIGURA 2: (a) Padrão idealizado do movimento ageostrófico na entrada e saída da CJ para o Hemisfério Sul; (b) Circulação transversal direta (entrada); (c) Circulação transversal indireta (saída).

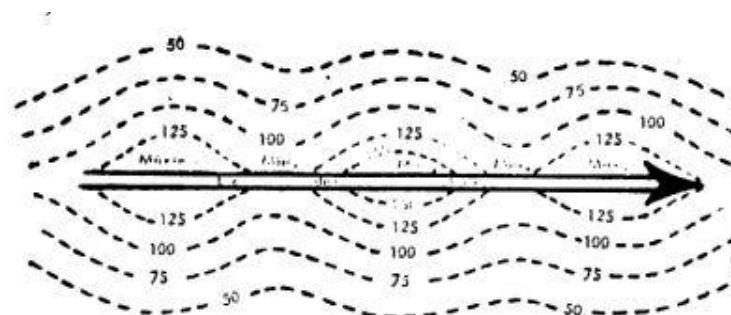


FONTE: Adaptado Uccellini e Kocin (1987);

A Corrente de Jato vista na Figura 3, é definido como na região de NVM ao longo ou embebidos no eixo da corrente de jato e podem atingir ou superar velocidades de 65 m/s (PLAMÉN e NEWTON, 1969; BLUESTEIN, 1993. Normalmente, esses núcleos deslocam-se ao longo do eixo, no mesmo sentido do vento (MEDINA, 1976), mas a velocidade do vento no NVM de uma corrente de jato é maior do que a velocidade com que este núcleo se move.

Esses NVM encontram-se presentes nos regimes de escoamento extratropical e, devido a sua importância como precursores de ciclôgenese e tempos severos, e tem recebido significativa atenção da comunidade sinótica (CARLSON, 1991; BLUESTEIN, 1993).

FIGURA 3: Representação esquemática do eixo da CJ. Isotacas - Linhas tracejadas.



FONTE: MEDINA, 1976.

2.3. TIPOS DE CORRENTES DE JATO

2.3.1. Corrente De Jato Do Nordeste Brasileiro (CJNEB)

VIRGI (1981), notou que os ventos com componente sul entre a AB e o CAN cuja velocidade pode alcançar a 20 m/s ou maiores velocidades. Nos estudos de Ramirez (1996), mostraram essa existência de ventos fortes níveis mais altos também entre o setor nordeste da AB e o setor sudoeste do VCAN (que pode ser associado ao jato subtropical) que, contribuem para que o vórtice seja conservado.

A CJ é um escoamento estreito de ventos intensos e superiores a 30m/s nos meses do verão e do outono, segundo Gomes (2003). Alguns casos atingiram a velocidade de 50 m/s nos meses do inverno e da primavera.

De acordo com Campos (2005), nos meses de maio, junho, agosto e setembro, ocorreram uma maior frequência dos ventos superiores a 30 m/s. Nesses meses, inverno e primavera, os valores máximos de velocidade do vento são os maiores aos outros meses do

ano. Em setembro houve um maior registro da CJ que alcançou a velocidade de 52 m/s, o menor valor registrado no mês de dezembro com 10m/s, ao longo do ano de 2004.

A CJNEB, está localizada comumente próximo dos 200 hPa na tropopausa entre as latitudes de 20°S e o Equador tendo maior ocorrência e desenvolvimento durante os meses de inverno e primavera (GOMES 2003 e CAMPOS 2005). O posicionamento do núcleo de velocidade máxima varia e a corrente pode persistir por 24h e, às vezes, de 3 a 4 dias (FEDOROVA,1999).

Assim, diversos sistemas sinóticos de latitudes médias tendem a se desenvolver devido à instabilidade baroclínica da CJ. Segundo estudo desenvolvido por (CAMPOS, 2010) foram encontradas ligações entre a CJNEB e sistemas sinóticos como: VCAN, CAN, AB e a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) próximo ao equador e o ciclone do HN.

No trabalho de Fedorova e Fedorov (1998) foi analisada a participação da CJ na formação do VCAN e perceberam que na maioria dos casos, o estágio inicial de formação ocorre na região de entrada da CJ ou próxima dela. Em outros estudos (CAMPOS e FEDOROVA 2006, VAZ, 2014), apresentam ligações com VCAN no HN (no continente e no oceano), VCAN no HS, Vórtice de Médios Níveis e Correntes de Jato de Baixos Níveis. Alguns desses sistemas sofreram mudanças na estrutura devido às circulações transversais da CJNEB. Em alguns casos durante o verão, o autor observou a ligação das CJ dos HN e HS, esta ligação contribuiu para formação do VCAN. Quando essa CJ é associada à VCAN ou a CAN ocorrem precipitações intensas.

Nos estudos de Repinaldo (2010) e de Costa (2010) mostraram que há eventos em que as CJNEB se ligam as outras duas correntes, as Correntes de Jato Subtropicais do Hemisfério Sul e do Hemisfério Norte (CJTHS e CJTHS) na presença de VCAN ou de CAN. Além dessas ligações, Vaz (2014) observou que as ligações também ocorrem na presença das Correntes de Jato Polares (CJP) em ambos hemisférios, a CJPHN e a CJPHS.

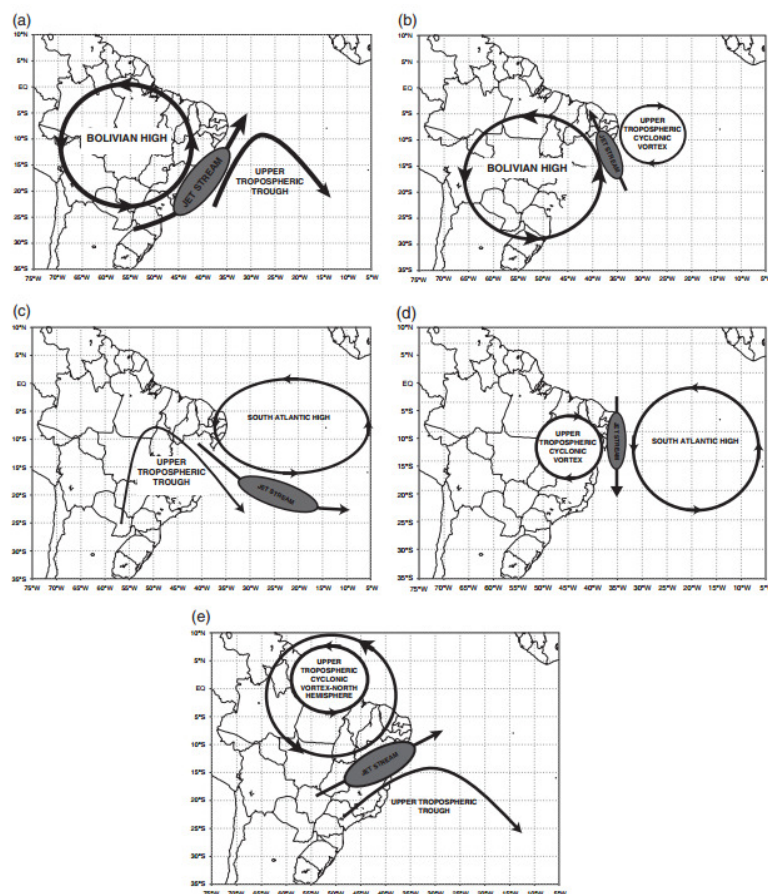
Antônio (2018) no seu estudo identificou 34 casos de CJNEB associados ao VCAN. A grande maioria (80%) dos VCAN encontrados tiveram núcleo posicionado sobre o Atlântico Sul, enquanto a maioria se observou sobre o continente, conforme encontrado por Campos (2010).

Repinaldo (2010) padronizou os tipos de eventos como sendo meridional (M), zonal (Z) e transversal (T) e houve a constatação por Costa (2010) que o padrão que maior apresenta frequência é o padrão M, com 47%.

Fedorova et al (2018b) conforme a Figura 4, dividiram os eventos das CJNEB em três tipos, diferindo na localização do jato entre sistemas de escala sinótica em níveis mais altos da atmosfera e na direção do fluxo de jato:

- Tipo I: uma CJNEB de sul entre a AB e VCAN (e / ou CAN);
- Tipo II: uma CJNEB do norte entre a ASAS e o VCAN (e / ou CAN),
- Tipo III: uma CJNEB de oeste entre o VCAN no HN e o CAN do HS.

FIGURA 4: Tipos de Jatos Nordeste do Brasil (CJNEB): (a, b) Tipo I: uma CJNEB de sul entre a Alta da Bolívia e a parte superior do Cavado (CAN) de sudeste e sul (a) e o vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) de sudoeste (b);(c, d) Tipo II: um norte CJNEB entre a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e o CAN do noroeste (c) e o VCAN do norte (d); e (e) tipo III: uma CJNEB de oeste entre o VCAN-HN e o CAN-HS.



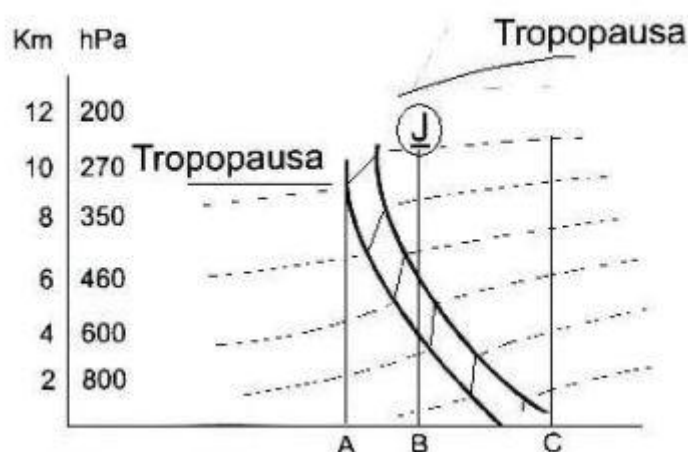
FONTE: FEDOVOVA et al, 2018b

2.3.2. Correntes de jato subtropical (CJT)

Esse jato é mais desenvolvido no inverno onde a circulação média meridional é mais intensa (HASTENRANTH, 1990). No HS, há menor variação sazonal da intensidade do jato, quando acontece a comparação com o HN (PALMÉN e NEWTON,1969). As CJT têm aparência de uma banda longa e estreita de cirros.

No esquema da figura 5, pode-se observar que a CJ ocorre próximo a tropopausa entre 9 e 13 km de altura e está limitada entre alguns milhares de metros de altura e a dezenas de km de horizontalmente. E está entre as massas de ar fria e quente, fazendo que haja uma região de máximo contraste térmico.

FIGURA 5: Seção vertical, mostrando a zona de forte baroclínia na troposfera (entre A e C); zona frontal e corrente de jato (J), situada sobre a vertical B.



FONTE: PALMÉN E NEWTON (1969).

A CJT é relativa à circulação da Célula de Hadley e geralmente fica localizada no limite polar dessa célula e é confinada nos trópicos. As CJ se formam no limite entre as três células em cada hemisfério, onde há o encontro de massas de ar de temperaturas diferentes, originando variações de pressão e ventos fortes, estão entre as latitudes de 20° e 35° e estão em altos níveis da atmosfera, entre 200 a 300 hPa.

Nos níveis em que a troposfera está em uma massa de ar e a estratosfera em outra, ocorre o nivelamento da temperatura e nos níveis mais altos o gradiente de temperatura

inverte seu sinal. No inverno, as diferenças de temperatura aumentam à medida que se intensificam as correntes de jato (AHRENS, 2000; FEDOROVA, 2001).

2.3.3. Correntes de Jato Polar (CJP)

A CJP é um tipo de corrente que é pouco regular e está associada ao gradiente horizontal de temperatura intenso e que ocorre nas estreitas zonas frontais, situa-se no lado equatorial destas (REITER, 1969). Forma-se na fronteira entre a circulação polar e a célula de Ferrel; encontra-se geralmente entre as latitudes de 35°S a 70°S em aproximadamente 13km de altura ou em nível e pressão (~200 hPa).

As CJPHN e CJPHS, localizam-se geralmente entre as latitudes de 35° a 70° e estão em altos níveis da atmosfera, entre 200 e 300 hPa. E são influenciadas pelo gradiente horizontal de temperatura como observaram Pezzi et al (1996). Assim, sua variação sazonal irá depender da estação do ano, e sua estrutura horizontal é menor que a estrutura horizontal da CJT.

A CJP considerada como a mais poderosa, CJ mais próxima da região polar (AHRENS, 2000). Formam-se em entre as alturas de 7 aos 12 Km acima do nível médio do mar no limiar entre a célula Polar e a célula de Ferrel (latitudes 35°S – 70°S).

O acontecimento de um núcleo de jato mais forte acima da zona frontal em superfície é uma consequência do balanço do vento térmico. A variação sazonal da sua posição é a mesma da CJT, ou seja, sua posição é mais próxima ao equador durante o inverno do que o verão (CAMPOS, 2010).

2.4. CORRENTES DE JATO PELAS IMAGENS DE SATÉLITE

Localizar uma CJ não é fácil, por haver variedades de padrões comuns. O uso das imagens de satélite tem a finalidade de mostrar a nebulosidade típica associada à CJ e os sistemas sinóticos associados. A região com maior velocidade de vento pode-se identificar o eixo do jato.

As nuvens do tipo cirrus indicam a posição do eixo do jato, que tendem a se formar a sul ou sudeste do eixo. Essas formações possuem uma borda muito definida no seu limite em

direção ao Polo. Frequentemente, a CJ passa acima as nuvens de baixos níveis e as cobre com seu escudo de cirrus.

As características da nebulosidade para a identificação das correntes de jato (FEDOROVA, 2008, c) são:

- grandes regiões de nuvens CJ, escudos de CJ com bordas agudas;
- estrutura linear de nuvens CJ, estriadas ao longo da corrente de jato;
- estrutura linear perpendicular à corrente de jato, faixas transversais dentro das faixas de CJ;
- mudança do tipo de nebulosidade e/ou células convectivas nos dois lados da corrente de jato;
- linhas de sombra (imagem no canal VIS) prolongadas ao longo da corrente de jato.

2.5. VÓRTICE CICLÔNICO DE ALTOS NÍVEIS (VCAN)

Os VCAN são definidos como sendo centros de baixa pressão em níveis mais altos da atmosfera, se formam no lado equatorial do máximo fluxo de oeste da CJP ou CJT. Este sistema se desenvolve a partir da presença de um cavado que possui uma inclinação marcada e que se quebra posteriormente, deixando uma região de ar frio e uma circulação ciclônica despreendida da onda. A origem dele acontece na alta troposfera, e pode se estender até níveis médios, e depende da instabilidade atmosférica (PALMÉN, 1949; GAN, 1982; CAVALCANTI, et al. 2009). Eles também são conhecidos por baixas frias e baixas despreendidas.

Os VCAN são baixas frias, definidas como uma circulação ciclônica fechada onde o núcleo é mais frio que a periferia, que o VCAN exerce um papel muito importante no regime de precipitação do NEB. Durante os meses de verão, o VCAN é o principal produtor de chuva em regiões localizadas sobre a periferia, quando se posiciona sobre o NEB contribui para que o verão seja mais com menos chuva e com temperaturas elevadas (ALVES et al, 1996 e SILVA, 2002).

Podem ser identificados pelos campos de linhas de correntes, pressão e imagens de satélite, apresentam grande variação no tempo de vida, em média chegam a duas horas, dias e

outros tendem a persistir por semanas, normalmente os que chegam ao NEB são originados do Oceano Atlântico Sul (Gan e Kousky, 1986). Foram observados nas estações de primavera, outono e máxima frequência no verão, a penetração desse sistema no continente provoca instabilidade.

2.5.1. Origem e Formação do VCAN

São estudados a presença de VCAN nos dois hemisférios. No HN foram analisados por Palmén (1949), Palmer (1951), Simpson (1952) e Frank (1966,1970). Palmén (1949), observou vórtices que se originavam através de cavados associados a bolsões de ar frio que se desprendiam de sua região fonte. No trabalho de Simpson (1952), viu que as tempestades do tipo “koma” (tempestades de inverno em áreas secas no Hawaii) sobre o Pacífico leste apresentavam as mesmas características dos vórtices observados por Palmén (1949). No HS, as análises sinóticas foram feitas por Aragão (1975) e Virgi (1981).

Esse sistema representa uma circulação ciclônica fechada com núcleo frio e seu eixo se estende de 200hPa até 500hPa e em poucos casos pode alcançar níveis mais baixos. (ARAGÃO, 1976; KOUSKY & GAN,1981).

Quanto à estrutura vertical, no VCAN pode notar que há um movimento descendente de ar frio e seco no seu centro de altos para médios níveis, enquanto em sua borda, o ar quente ascende com formação de nuvens. Assim, desenvolve-se do ponto de vista termodinâmico uma circulação térmica direta (FRANK, 1966; FRANK, 1979; KOUSKY e GAN,1981; GAN, 1983) onde o ar quente sobe o ar frio desce.

De acordo com Gan (1982), os vórtices são observados nos meses de setembro a abril e, Gan (1986) verificou que os VCAN se formam com maior frequência no verão do HS, sendo em janeiro aquele em que o fenômeno é mais observado.

Fedorova e Fedorov (1998) analisaram a participação da CJ na formação do VCAN e perceberam que na maioria dos casos, o estágio inicial de formação ocorre na entrada da CJ ou próximo dela. Campos (2005) verificou os movimentos verticais ascendentes na borda leste do VCAN não seguiram a regra deste sistema, ao qual foram denominados pela circulação direta da região de entrada da CJNEB, em relação aos movimentos verticais tradicionais do VCAN, foram identificados movimentos descendentes em sua periferia.

Segundo Campos e Fedorova (2006), há sistemas sinóticos que apresentam as ligações dos VCAN no Hemisfério Sul em regiões tanto nos continentes quanto nos oceanos com VCAN do HN, Vórtices de Médios Níveis e Corrente de Jato de Baixos Níveis.

Coutinho (2016) desenvolveu uma pesquisa que objetivou a realização de uma análise observacional e numérico da estrutura dinâmico-físico, e da evolução dos VCAN do NEB. Ela realizou uma climatologia de 30 anos de características do mesmo, com o intuito de avaliar campos compostos de variáveis da meteorologia que ocorrem em toda a troposfera na região do centro e da periferia deste sistema, e por fim realizou-se a simulação numérica de um caso de vórtice e experimentos de sensibilidade, com a finalidade de avaliar o efeito do aquecimento por condensação, proveniente da convecção Cu e microfísica de nuvens para a formação, desenvolvimento e manutenção do VCAN.

Os VCAN possuem tempo de vida que varia de 4 a 11 dias (RAMIREZ et al., 1999) e podem ser sistemas estacionários ou com deslocamento (MORAIS, 2016). Nesse último, a preferência é de trajetória para oeste. Já Fedorova (2001), diz a duração desses sistemas varia, em uma média entre 7 a 10 dias. Segundo Morais (2016), as distâncias percorridas pelos VCAN são de cerca de 2000 km.

2.5.2. Tipos de VCAN

Os VCAN podem ser classificados de duas maneiras DE acordo com sua origem e formação: Vórtice do tipo Palmer de origem tropical e de Palmén de origem subtropical (PALMER, 1951; FRANK,1970) sendo essa a principal característica que os diferenciam um do outro.

2.5.2.1. Palmer

Os primeiros estudos mostram que os de Palmer originam-se m latitudes tropicais, e ocorrem na primavera, verão e outono, sendo mais frequente no verão (FRANK,1970; KOUSKY e GAN 1981, Gan,1982). Eles se mantêm confinado nos trópicos (PALMER, 1996). Os VCAN que se originam nos trópicos são diferentes entre si nas seguintes características (PALMER, 1951):

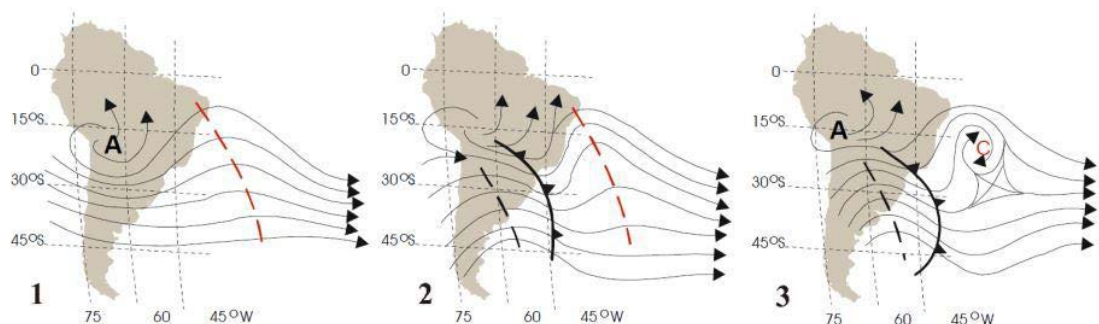
- a) A origem deles acontece acima de 9000 m, em latitudes baixas (próximas ao equador);
- b) A permanência na região tropical pode acontecer por longos períodos;
- c) Deslocam-se no HN, para nordeste no cinturão de 20° - 30° de latitude, podendo permanecer estacionário por longos períodos;
- d) Ao se deslocarem para latitudes mais altas, geralmente se intensificam.

2.5.2.2. Palmén

O VCAN do tipo Palmén forma-se nas latitudes Subtropicais e surgem em qualquer época do ano sobretudo no inverno (PALMER, 1951; SIMPSON, 1952). Na literatura são conhecidos como vórtices desprendidos (GAN, 1982). Conforme Palmén e Newton, 1969, ao adentrar nos subtrópicos, podem ter uma inclinação meridional bem evidente.

Em muitos trabalhos denominados também como ciclones desprendidos, originam-se nas regiões das latitudes tropicais e se formam em especial no Oceano Pacífico, possuindo um ar polar e seu centro frio, intensificam-se ao cruzarem o Andes. Durante sua trajetória para além dos Andes cruzam no Sul do Brasil e em países vizinhos como Argentina e Paraguai. Mais frequentemente formam-se nos períodos do inverno e primavera (FEDOROVA, 2008). Os estágios de desenvolvimento destes mecanismos podem ser vistos na figura 6:

FIGURA 6: Sequência esquemática para a formação de Vórtice ciclônico em 200 hPa no Atlântico Sul.



FONTE: Adaptado de Varejão e Silva (2005).

Paixão e Gandu (2000) fizeram a análise do campo de vento e classificaram os VCAN na região tropical em quatro tipos quanto a sua formação: Clássica, Alta, Africana I e Africana II.

- a) **Formação Clássica:** essa formação irá ocorrer como proposto por Kousky (1981), que está associado à intensificação da crista em altos níveis e ao deslocamento de frentes frias para latitudes baixas.
- b) **Formação Alta:** a formação do VCAN, nesse caso, ocorre devido a intensificação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que com isso causa a formação da Alta do Atlântico Sul de Ar Superior, fazendo com que haja a formação de um cavado a norte/nordeste desse anticiclone. Esse tipo de formação concorda com o resultado de Ramirez et.al. (1999).
- c) **Formação Africana I:** a origem desse vórtice acontece pois há a intensificação da convecção da África, que faz surgir um par de anticiclones em altos níveis. Esses anticiclones aparentemente provocam um cavado mais profundo a oeste dos mesmos, e assim se formam a sudoeste da bifurcação inter-hemisférica.
- d) **Formação Africana II:** nesse caso, atribui-se a formação do vórtice ao deslocamento em níveis mais altos de um cavado que se desloca da região sudoeste do Saara.

Em termos percentuais aproximadamente 46% formam-se pelo mecanismo clássico, enquanto que, os demais respondem por 54%, sendo 18% para cada um dos três mecanismos (PAIXÃO e GANDU, 2000).

2.5.3. Nebulosidade e Precipitação Associada ao VCAN

A nebulosidade associada ao VCAN difere em cada caso, em geral não é simétrica e sim tende a se concentrar no lado leste e noroeste do VCAN no HN (PALMÉN, 1949). Os VCAN possuem classificações que dependem da quantidade de nuvens que é associada, eles podem ser “SECOS” ou “ÚMIDOS”. Os “SECOS” ocorrem devido o movimento descendente no centro assim ocorrendo pouca nebulosidade e se concentram na média e alta atmosfera (FRANK, 1970). Os “ÚMIDOS”, estão presentes nos níveis mais baixos da troposfera e há muita nebulosidade.

Kelley e Mock (1982), observaram que a maior concentração da nebulosidade se localizava a leste e a sul do centro do VCAN, assemelhando-se a um padrão de uma grande área de nuvens do tipo virgula encontrado por Sandler (1967) citado por Kelley e Mock (1982).

Silva (2005) estudou a influência dos VCAN's na precipitação do NEB e verificou que a borda do VCAN está a uma distância entre 100 e 200 km de um determinado local, a frequência de precipitações moderadas e fortes aumenta neste local.

Fedorova et. al. (2009) identificaram que a CJ se conduziu junto ao processo de formação do vórtice no campo de nebulosidade na maioria dos casos. O VCAN foi observado frequentemente (54% dos casos) na entrada da CJ e também próximo ao núcleo dela (21,0% de casos); em outras situações (25,0%) o núcleo foi muito menor. Primeiramente o estágio do VCAN formou-se na região de entrada da CJ (64%) ou próximo do núcleo da mesma (36,0%). Comparando-se a posição da nebulosidade do vórtice com o centro do eixo da corrente de jato, viram que o vórtice se formou sob (53,5%) ou no lado quente (46,5%) daquele eixo.

A nebulosidade também funciona como um indicador do seu deslocamento, onde FEDOROVA (2008) e FEDOROVA et. al. (2009) estudaram as chuvas Alagoas entre 2003 e 2006 e identificaram que as CJNEB atuantes na periferia oeste do VCAN tiveram intensidade fraca (32-36 m/s) em todo período estudado. A atuação dele ajudou na formação de movimentos ascendentes influenciado no desenvolvimento da precipitação (≥ 5 mm / 24 h) em 114 eventos.

2.6. ALTA DA BOLÍVIA (AB)

Durante o verão (KOUSKY e GAN, 1981) notaram que a maior frequência de VCAN está relacionado ao padrão de circulação dos ventos em altos níveis sobre a região tropical da América do Sul, o qual é mais meridional. Esse escoamento meridional se configura quando ocorre um maior aquecimento do continente, fluxos de calor sensível e latente (principalmente) ocasionando um aumento na da convecção sobre a região da Amazônia e consequentemente chuvas mais intensas (SILVA DIAS et al., 1983) e formação de um intenso anticiclone em 200 mb, que surge no período da primavera, verão e outono (SIGMORINI,2001 e SELUCHI et al., 2003).Em trabalhos como os de VIRJI (1981) e GAN

& KOUSKY (1986), mostraram que estes sistemas, agem de forma isolada ou em conjunto – principalmente com relação a AB e CAN no nordeste brasileiro, que em conjunto fazem a composição da climatologia de verão em altos níveis na América do Sul. Esse sistema é denominado como Alta AB (VIRGI, 1981).

Geralmente essa associação não acontece somente com a AB, mas também com uma crista alongada zonalmente em níveis mais altos, que se associa com a liberação de calor latente proveniente da ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul (RAMIREZ et al. 1999).

2.7. FENÔMENOS ADVERSOS

Os fenômenos meteorológicos adversos, tanto ligados a atmosfera estável, ocorrendo fenômenos como o nevoeiro e névoa, e quando são ligados à atmosfera instável acontecem as trovoadas e chuvas fortes, e como podem causar danos causados à sociedade são muito estudados ao redor do mundo.

Segundo o trabalho de Silva e Molion (2002) um evento de chuva forte na costa leste do NEB, apresentam que além dos fenômenos adversos gerados pelas inserções de sistemas frontais em latitudes equatoriais, estes sistemas são os principais mecanismos causadores das Perturbações Ondulatórias dos Alísios. Os mesmos são observados com mais frequência sobre a Bahia, podendo chegar a atingir o estado alagoano, em alguns casos (FEDOROVA *et al.*, 2016).

2.7.1. Precipitação (RA)

A definição feita pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 2008) é definido que precipitação como um produto líquido ou sólido da condensação de vapor d'água que vai de nuvens ou é depositado na camada de ar próxima à superfície. Isso inclui chuva, granizo, neve, orvalho, geada e precipitação de nevoeiro.

A precipitação é uma das variáveis das principais na Meteorologia, principalmente nos trópicos. A sabedoria sobre a distribuição espaço-temporal das ocorrências da precipitação é muito importante pois se tratar de uma variável meteorológica que ocorrem de forma extrema. Conhecendo sua relevância no ciclo hidrológico e na manutenção dos seres vivos no planeta,

a frequência com que esses eventos extremos de precipitação vêm ocorrendo, tem sido bastante estudado em diferentes regiões do mundo (MARENGO et al., 2011; FU et al., 2013; SANTOS et al., 2014; SONG et al., 2015).

2.7.2. Trovoada (TS)

As trovoadas são definidas como um fenômeno que há a presença de descargas muito fortes de eletricidade atmosférica, e nela podem ocorrer uma claridade de curta duração e muito forte (relâmpago) e por um som mais seco que conhecemos como o trovão (INMET, 1999).

Na escala temporal, as trovoadas tem duração de sete horas a dois ou três dias e atuam num espaço entre 20 km a 1000 km, aproximadamente, ou seja, é um fenômeno que compreende a mesoescala e a escala sub-sinótica (FELICIO, 2005).

Para que haja o desenvolvimento da trovoada, é necessário haja condições de gradiente vertical de temperatura maior que o gradiente adiabático úmido ao longo de uma camada consideravelmente profunda, que pode se estender em altos níveis acima de 0°C, uma boa quantidade de umidade na parte baixa da troposfera e um processo de produza saturação em regiões de alto gradiente vertical de temperatura. Esses são os fatores para o desenvolvimento convectivo estejam presentes (HANDBOOK OF AVIATION METEOROLOGY, 1994):

Estudos sobre as ocorrências de trovoadas sobre o NEB é pequena. Os estudos que existem mostram que o estado de Alagoas, relacionam as trovoadas com as trovoadas (BRITO, 2011; SILVA et al. 2011). O método feito por Brito et al. (2011) para analisar o comportamento de trovoadas no estado de Alagoas através de perfis verticais no diagrama SKEWT-Log P foi utilizado por Lyra et al. (2015) uma análise termodinâmica de CCM. No NEB, a formação destes sistemas está associada a extremidades frontais, VCAN e ZCIT (MILHAHN et al., 2012).

Esses fenômenos é um evento extremo que é provocado por trovão (violento e forte som emitido pela pressão atmosférica) combinado com relâmpago (processo luminoso gerado com descargas elétricas entre as nuvens e nuvens e solo), o evento das trovoadas pode ser associado com ou sem chuva, com chuvas fortes ou não (CPTEC, 2017).

2.7.3. Nevoeiro (FG), Névoa úmida (BR) e Névoa seca (HZ)

O nevoeiro é a junção de gotas de água bastante pequenas, geralmente microscópicas, suspensas no ar que fazem com que haja a redução da visibilidade horizontal para menos de um quilometro junto a superfície. Essas gotas se formam por conta da condensação do vapor d'água contido na baixa atmosfera quando a mesma saturação. Quando acontece a redução com a distância superior a 1 Km, é denominado neblina ou névoa úmida (WMO,1995).

O nevoeiro difere-se das nuvens somente pela sua base a qual entra em contato com a superfície terrestre (Curry e Webster, 1998). Porém, de acordo com a microfísica de nuvens, os nevoeiros podem ser considerados como sendo as nuvens do tipo stratus (ROGERS E YAU, 1989; COTTON E ANTHES, 1989).

Tanto o nevoeiro quanto a névoa úmida são fenômenos adversos que consistem em uma grande quantidade de gotículas d'água em suspensão próximo a superfície da terra e que levam a redução de visibilidade horizontal (VAREJÃO-SILVA, 2006). A redução de visibilidade, por conta dos nevoeiros, ocasiona riscos graves aos transportes marítimo, rodoviário e, principalmente aéreo.

Fedorova e Levit (2016) é uma pesquisa que identificou que os casos de nevoeiro, névoa úmida e nuvens estratos, em diferentes pontos do NEB, associados a uma depressão tropical e ao ciclone tropical denominado Danny-2015. Em ambos os casos, os sistemas do HN, interagiram com sistemas provenientes do HS. Entretanto, o nevoeiro no NEB é um fenômeno relativamente raro de acontecer (FEDOROVA, 2008; AFONSO, 2016).

Na pesquisa Gomes et al (2011) foi feita uma análise de dois eventos raros de três e quatro dias seguidos de nebulosidade do tipo estratos no aeroporto em Maceió na costa leste do NEB. Durante esses dois eventos, a ocorrência de precipitação fraca foi principalmente associada a nuvens estratos. Já no trabalho de Fedorova e Levit (2016) foi identificado dois eventos de nevoeiro em Alagoas, nos dias 11 e 13 de julho de 2010, sendo esses eventos associados a circulação de sistemas sinóticos provenientes do HS e do HN.

Cavalcante (2018) constatou que os fenômenos de estabilidade foram observados com maior frequência. Onde, foram utilizados os dados METAR, identificados, e houve somente um caso de névoa úmida e foi em conjunto com chuvisco, chuva fraca ou moderada, isso no decorrer da passagem de todos os ciclones que foram estudados ao longo da pesquisa.

Onde há casos de névoa seca há redução de visibilidade devido a partículas microscópicas de natureza não hídrica e umidade relativa inferior a 80%, esse fenômeno é chamado de névoa seca (VAREJÃO-SILVA, 2006; WMO; 2008). A névoa seca está presente quando há partículas suspensas de poeira ou fumaça (ANAC, 2009).

2.7.4. Granizo (GR)

O granizo é gerado em tempestades convectivas profundas que são caracterizadas por fortes correntes ascendentes, grande conteúdo de água líquida super-resfriada e topos altos (PUNGE et al., 2014; PUNGE & KUNZ, 2016). O gênero de nuvem característico é o Cumulonimbus (Cb), essa nuvem ultrapassa a altura do nível de congelamento ($T = 0^{\circ}\text{C}$), onde as gotas dentro da nuvem mudam de fase, passando pelo processo da solidificação. A partir deste nível, o processo de formação do granizo pode se desenvolver.

A ocorrência do granizo ocasiona inúmeros prejuízos econômicos e sociais para a sociedade em geral, como exemplo, nos Estados Unidos da América, gera uma perda anual de 1 bilhão de dólares (ALLEN, et al., 2015). Desta forma, vários estudos têm sido realizados em diversas partes do mundo na tentativa de aprimorar o prognóstico deste fenômeno (SIOUTAS et al., 2009; TUOVINEN et al., 2009; MEZHER et al., 2012; SÁNCHEZ et al., 2013; NISI et al., 2016; FARNELL et al., 2017; LUKACH et al., 2017; JIN et al., 2017; STRŽINAR & SKOK, 2018). O Granizo consiste em um fenômeno meteorológico extremo, é originado na nuvem Cb, sendo um tipo de precipitação, onde variados grânulos de gelo caem em formatos diferentes entre si, normalmente de bolas grandes ou pequenas e em pedaços irregulares (CPTEC, 2017).

Para identificar a nebulosidade foram baixadas imagens do canal espectral Infravermelho (IR) GOES-13 da América do Sul, nos horários sinóticos (00, 06,12 e 18 UTC). Essas imagens estão disponíveis na internet, no site <https://satelite.inmet.gov.br/>.

3.4. MÉTODOS

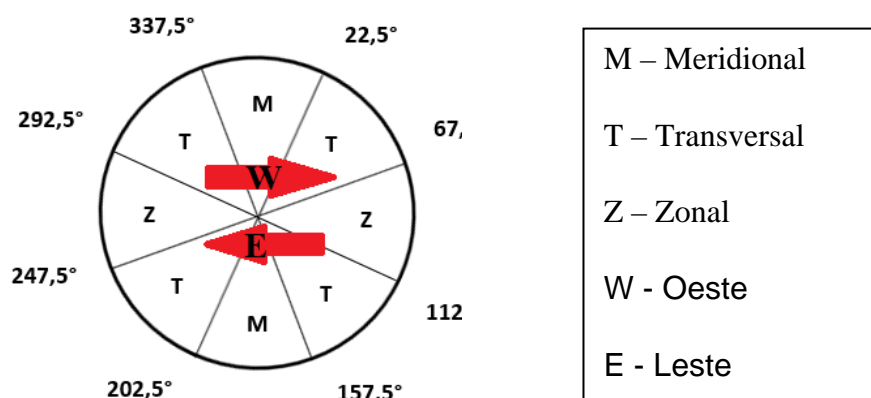
3.4.1. Identificação das CJ

No presente estudo foram analisados casos com processos meridionais, zonais e transversais, identificados nos campos de linhas de corrente com magnitude do vento a partir de 20m/s e altura geopotencial. E nesses dias foram verificados a ocorrência de fenômenos adversos.

Para identificação das CJ utilizou-se as composições de correntes e magnitude do vento em 200 hPa, derivados dos dados do NCEP, através das componentes u e v. As CJ foram estabelecidas com o limite de CJNEB com a velocidade igual ou superior a 20 m/s

Após a identificação das CJNEB, em seguida foi feita a identificação e orientação espacial da CJ de acordo com a distribuição utilizada por Campos (2010), seguindo o escoamento da CJNEB: Norte (N) – Sul (S), Sul (S) – Noroeste (NO), Sudeste (SE) - Leste (E) e Leste (E) – Oeste (W).

FIGURA 8: Intervalos de ângulos utilizados para classificação da direção das CJNEB.



FONTE: Adaptado FEDOROVA et al, 2018.

3.4.2. Ligações CJNEB com as outras correntes de jato

A ligação entre a CJNEB e as CJP e CJT de dois Hemisférios foi considerada quando a isotaca de 20m/s abrangeu duas ou mais CJ (Vaz, 2014). As CJ foram contadas através de planilhas do EXCEL, por dia e resolução do modelo utilizado, sendo a contagem dos eventos relacionados os dias aos tipos de ligação conforme a Tabela 1 e eventos de CJNEB sem ligações. Então, obteve-se sete grupos de ligações, sendo assim ligações inter-hemisféricas, como na tabela 2:

TABELA 2: Ligações entre CJNEB com outras CJ.

(A) CJNEB
(B) CJNEB + CJSTHN,
(C) CJNEB + CJSTHS,
(D) CJNEB + CJSTHN + CJPHN,
(E) CJNEB + CJSTHS + CJPHS,
(F) CJNEB + CJSTHN + CJSTHS + CJPHN,
(G) CJNEB + CJSTHN + CJSTHS + CJPHS
(H) CJNEB + CJSTHN + CJSTHS + CJPHN + CJPHS.

Fonte: Autoria própria, 2021.

O software de planilha eletrônica (EXCEL 2013) foi utilizado para organização dos dias e eventos das CJ, a contagem é referente a ocorrência em cada hemisfério e as ligações inter-hemisféricas. As planilhas também são utilizadas para obter os valores de frequência, ocorrência, orientação do eixo da corrente de jato.

3.4.3. Análise dos processos zonal, meridional e transversal com Altura Geopotencial e anomalia da Altura Geopotencial

A altura geopotencial (A_g) e sua anomalia irão mostrar a altitude de um pacote aéreo em unidades proporcionais ao seu geopotencial, que é a energia potencial por unidade de massa cuja a unidade é o contador geopotencial (gmp) no nível de 200 hPa.

A força em Newtons, atuando em 1 kg na altura z acima do nível do mar é numericamente igual a aceleração da gravidade (g). O trabalho na elevação de 1 kg da altura z para $z + dz$ pela equação:

$$d\Phi = g dz \quad (1)$$

O geopotencial na elevação de 1 kg até na altura z partindo no nível zero é pela equação:

$$\Phi(z) = \int_0^z g dz \quad (2)$$

em que o geopotencial ($\Phi(z)$) na superfície por convenção é tomado como zero na superfície no nível médio do mar. Assim ele só depende da altitude daquele ponto e não da maneira pela qual uma massa alcançou aquele ponto e não da maneira pela qual uma massa alcançou aquele ponto.

O cálculo da anomalia (diferença entre os horários ao longo do dia) é referente às 00 UTC e 18 UTC afim de se verificar o comportamento anômalo diário em relação a ocorrência das CJNEB e as CJNEB com ligações. Esses campos foram analisados para a identificação e a intensidade dos cavados mais próximos do NEB.

3.4.4. Contagem dos fenômenos adversos

Para a elaboração do trabalho, são utilizadas análises de boletins dois em tabelas geradas a partir dos dados emitidos pelos órgãos de meteorologia da Aeronáutica, para identificar os dias com fenômenos adversos. Baseados em códigos, são difundidos para fora dos aeródromos: – METAR e SPECI que são provenientes do REDMET.

O boletim METAR que é elaborado automaticamente de hora em hora. O boletim SPECI é de caráter esporádico, que é emitido quando ocorre uma mudança significativa de condições meteorológicas dentro do intervalo de emissão de 1 hora do METAR quando for constatada a presença de turbulência moderada ou forte ou gradiente de vento, chuva, etc. (CABRAL, 2006).

Os METAR/SPECI são codificados conforme especificado abaixo:

*METAR/SBMO/280800Z/07003KT/3000/-RA/BR/BKN010/SCT018/ BKN070/24/23/
Q1015=*

Onde:

METAR é o tipo de mensagem;

SBMO é o código do aeródromo;

280800Z é o dia e hora, em UTC (representado pela letra Z);

07003KT indica a direção do vento(070°), velocidade (03 nós. KT é a unidade (nós);

3000 representa a visibilidade horizontal, em metros;

-RA indica a presença de chuva (RA) leve (-) sobre o aeródromo. Este campo também pode conter outros códigos: **DZ** = chuvisco, **RA** = chuva, **TS** = trovoada **GR** = granizo, **SH** = pancada, **HZ** = névoa seca, **BR** = névoa úmida e **FG**=nevoeiro (visibilidade abaixo dos 1000 metros), podendo ser de intensidade moderada (sem símbolo), leve (-) ou severa (+);

SCT018 e BKN120 indicam a presença de nuvens em 2 níveis diferentes; os três dígitos após os indicadores se referem a altitude em hectopés (x100 pés). Neste exemplo há nuvens esparsas a 2.000 pés e céu nublado a 12.000 pés. Os códigos relativos a nuvens podem ser NSC = Sem nuvens significativas (nenhuma nuvem abaixo de 5000 pés e nenhuma presença de TCU = Towering Cumulus e CB = Cumulusnimbus), FEW = Poucas Nuvens, SCT = Nuvens Esparsas, BKN = Nublado, OVC = Céu Encoberto;

24/23 indicam a temperatura e ponto de orvalho (graus Celsius).

Q1015 é a pressão atmosférica em Hectopascals (hPa).

3.4.5. Ligação das CJNEB com os fenômenos adversos

Os fenômenos adversos identificados no METAR foram contados e foram elaboradas tabelas com cada código e seu número de ocorrência referente a cada.

3.4.6. Estudos de Caso

Para o estudo das CJNEB associadas aos fenômenos adversos, foram selecionados casos distintos, com CJNEB Meridional, CJNEB Zonal e CJNEB Transversal. Foram selecionados os casos que apresentarem CJNEB com a presença de uma das CJNEB com ligações.

Para cada caso, foram utilizados os dados no horário de 00 UTC e comparando os dados de linhas de corrente em 200 hPa e magnitude do vento com velocidade de ≥ 20 m/s e

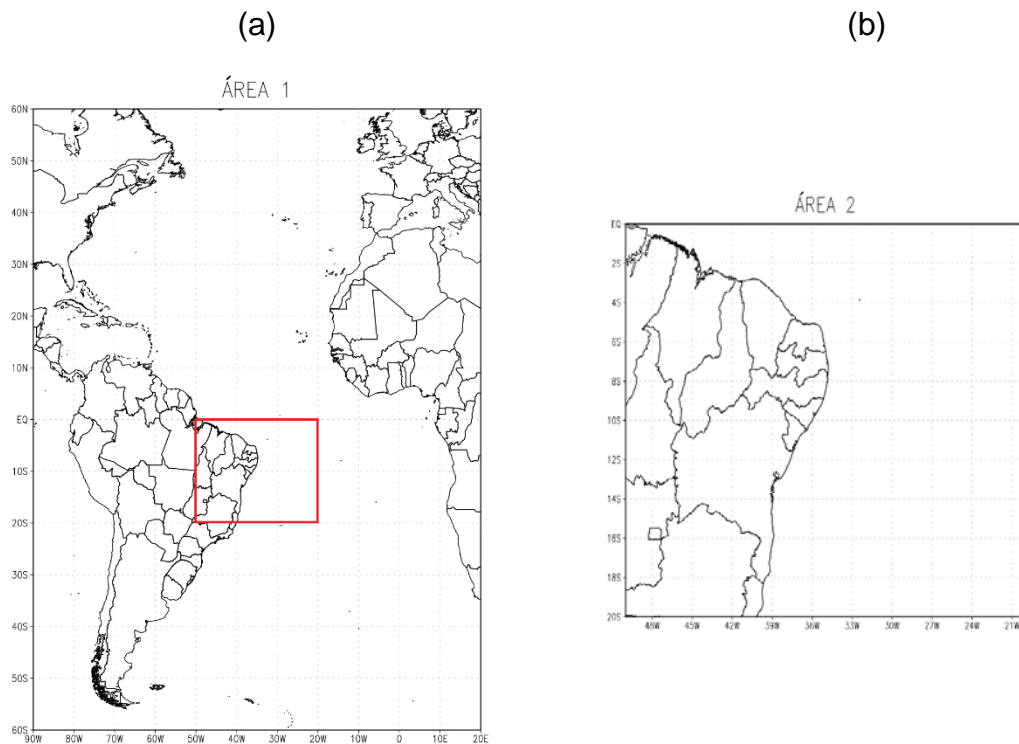
campos de Ag no nível de 200 hPa. Os dados do METAR do dia em análise, para identificação do fenômeno adverso ocorrido.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

Primeiramente foi selecionada uma área que abrange dois Hemisférios, entre 20° – 90°W em longitude e 50°N - 60°S de latitude, para uma visão geral. Esta área 1 (figura 7 a) foi escolhida de acordo com Vaz, (2014). E a área 2 (figura 7 b), entre as longitudes 20°W a 50°W e latitude do Equador, 0° a 20°S, foi utilizada de acordo com Fedorova et al., 2018a e 2018b. Assim, foram analisadas as Correntes de Jato (CJ) do Hemisfério Norte (HN) sobre o Hemisfério Sul (HS).

FIGURA 7: Localização das áreas de identificação das CJ. Na área 1, onde ocorrem as CJ no HN e no HS. A área 2, a menor região, onde ocorre a CJNEB.



FONTE: VAZ (2014) e FEDOROVA et al., 2018a e 2018b

A área 2 abrange especialmente três tipos de climas, são eles: clima litorâneo úmido (do litoral da Bahia ao do Rio Grande do Norte), clima tropical (em áreas dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí); e clima tropical semiárido (em todo o sertão nordestino) (CAVALCANTI et al., 2009).

A variabilidade do clima no NEB é determinada especialmente por diversos mecanismos físicos que interagem e são responsáveis pela distribuição da precipitação na região. A posição geográfica, relevo, características da superfície, e sistemas meteorológicos que atuam na região, estão entre os principais fatores que determinam a variação sazonal da distribuição dos dados climáticos no NEB (CAVALCANTI et al., 2009; FERNANDEZ et al. 2017; OLIVEIRA et al. 2017).

3.2. SOFTWARES UTILIZADOS

A visualização gráfica e análise dos dados são obtidas através do software OpenGrADS. Este permite através da leitura de um script, interpretação dos dados em pontos de grade. Esse software está disponibilizado na homepage <http://grads.iges.org>. A versão utilizada foi a v2.2.1.oga.1.

O software de planilha eletrônica (EXCEL 2013) é utilizado para organização, somatório dos dados, elaboração de tabelas e dos gráficos das ocorrências das CJNEB e suas ligações, das CJNEB individuais e os fenômenos adversos.

Foi utilizado o aplicativo API da Aeronáutica REDEMETS (Rede Meteorológica do Comando da Aeronáutica) (www.redemets.aet.mil.br) para obtenção dos dados do METAR (Meteorological Aerodrome Report - Informe meteorológico regular de aeródromo) dos principais aeroportos do NEB. Esses dados são ordenados em forma de tabela, por dia, meses e anos para a verificação de ocorrência dos fenômenos.

3.3. DADOS

Os dados do NCEP foram utilizados para análise sinótica através dos campos de linhas de corrente com o auxílio do software GrADS., nos anos de 2017, 2018 e 2019, estes dados estão disponíveis no site <https://psl.noaa.gov/>. Este conjunto de dados tem resolução horizontal de 2,5°x2,5° no nível de 200 hPa. São dados diários e as variáveis utilizadas foram as componentes zonal (u), componente meridional (v) do vento e altura Ag para os horários de 00 UTC (Coordinated Universal Time).

Os dados do METAR dos principais aeroportos da região nordeste do Brasil, para identificação dos fenômenos adversos conforme a tabela 1. Os fenômenos foram divididos em

três grupos: Grupo 1, com fenômenos adversos relacionados a chuva; Grupo 2, com fenômenos relacionados a trovoadas e grupo 3, relacionados a chuviscos, nevoas e nevoa úmida.

TABELA 1: Lista de fenômenos identificados nos boletins do METAR.

Códigos	Grupo de precipitação
RA	Chuva
- RA	Chuva Fraca
+ RA	Chuva Forte
RERA	Chuva Recorrente
SHRA	Pancada de Chuva
- SHRA	Pancada de Chuva Fraca
+ SHRA	Pancada de Chuva Forte
RESHRA	Pancada de Chuva Recorrente
VCSH	Chuva na vizinhança
	Grupo de trovoadas
TS	Trovoadas
TSRA	Trovoadas com Chuva
- TSRA	Trovoadas com Chuva Fraca
+ TSRA	Trovoadas com Chuva Forte
RETS	Trovoadas Recorrentes
RETSRA	Trovoadas com Chuva Recorrente
VCTS	Trovoadas na Vizinhança
	Grupo de chuvisco
WS	Vento Cortante
DZ	Chuvisco
- DZ	Chuvisco Fraco
+ DZ	Chuvisco Forte
REDZ	Chuvisco Recorrente
FG	Nevoeiro
HZ	Névoa Seca
BR	Névoa Úmida

FONTE: Autoria própria, 2021.

Nos boletins do METAR as estações das regiões analisadas também possuem códigos. As estações localizadas na Área 2 são nos principais aeroportos dos estados do NEB que são: SBMO – Maceió; SBSV – Salvador; SBFZ – Fortaleza; SBSL – São Luís; SBJP – João Pessoa; SBRF - Recife; SBTE – Teresina; SBNT - Natal; SBAR - Aracajú.

4. RESULTADOS

Os resultados foram gerados a partir dos mapas de linhas de corrente no nível de 200 hPa diárias, onde pode ser observada as CJ e suas ligações. São apresentadas tabelas com contagem dos eventos com ligações ao longo dos três anos em análise, em um dia pode haver mais de um tipo de ligação de CJ. conforme seus processos e direções. As ligações entre a CJNEB e os demais tipos de CJ foram categorizados conforme os tipos de processos e direções na qual foram identificados.

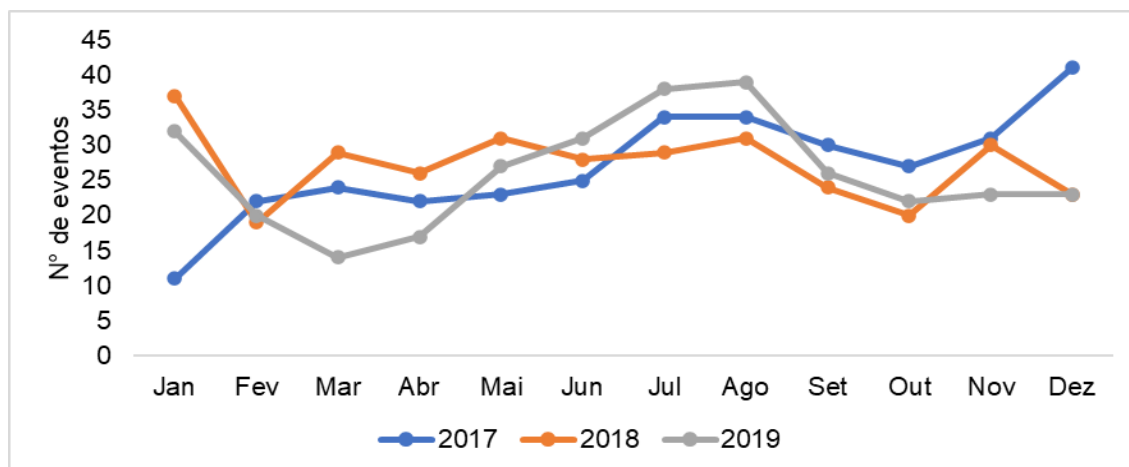
4.1. AS FREQUÊNCIAS DAS CORRENTES DE JATO E SUAS LIGAÇÕES

A frequência das CJ anual analisada mensalmente. Na figura 9, são observadas o somatório de todos os tipos de ligações por mês. No ano de 2018, ocorreram mais CJ do que nos demais anos, foram 327, diferente de 2017 e 2019 com 324 e 312 dias com eventos de CJNEB e ligações, respectivamente.

Em análise mensal dos somatórios diários, nota-se que em 2017 e 2019, há uma maior frequência entre os meses mais frios do HS (junho a agosto), principalmente em 2019. Em 2018, neste período, agosto seguiu o mesmo padrão. Este resultado está de acordo com os resultados obtidos em pesquisas anteriormente, ou seja, o período frio do HS, é o período de maior ocorrência da CJNEB (GOMES,2003; CAMPOS,2006 e VAZ, 2014). O outro período com grande número de CJNEB ocorreu em dezembro de 2017 (41 CJ) e janeiro de 2018 e 2019. Ou seja, num dos meses do período mais quente do ano a frequência das CJ cresceu novamente.

Os meses com menor ocorrência de CJNEB e ligações foram janeiro de 2017 (11 eventos) e março de 2019 (14 eventos). Em março a abril, nota-se que a frequência dos eventos ocorrera entre 20 e 31 eventos por mês. Em 2019, menor frequência foi entre os meses de fevereiro a abril, tempo de transição entre os períodos quente e frio, sendo esse ano o diferente entre os demais que tiveram resultados distintos.

FIGURA 9: Número de CJNEB por mês nos anos de 2017, 2018 e 2019.



Fonte: Autoria própria, 2021.

A frequência das ligações conforme seus tipos estão apresentados na tabela 3. Nesta tabela pode-se observar que a ligação do tipo E foi mais frequente nos todos os anos, somando 600 eventos. Este resultado está de em concordância com os resultados encontrados por Vaz (2014). Particularmente ela mostrou que essas ligações são as que apresentam maior quantidade de eventos (independente da estação do ano) e esses, são bem distribuídos ao longo dos meses do ano. As ligações menos frequentes foram as dos tipos: F, G e H. A ligação F foi a mais rara, foram identificados somente 2 ligações no ano de 2018. Nota-se que as ligações do tipo F e H não ocorreram nos anos de 2017 e 2019.

TABELA 3: Quantidade de CJNEB ligados com outros CJ de acordo com o tipo de ligação nos anos analisados.

(A – CJNEB; B – CJNEB+CJSTHN; C - CJNEB+CJSTHS; D - CJNEB+CJSTHN+CJPHN; E - CJNEB+CJSTHS+CJPHS; F - CJNEB + CJSTHN + CJSTHS +CJPHN; G - CJNEB+CJSTHN+CJTHS+CJPHS e H -CJNEB+CJSTHN+CJSTHS+CJPHN+CJPHS).

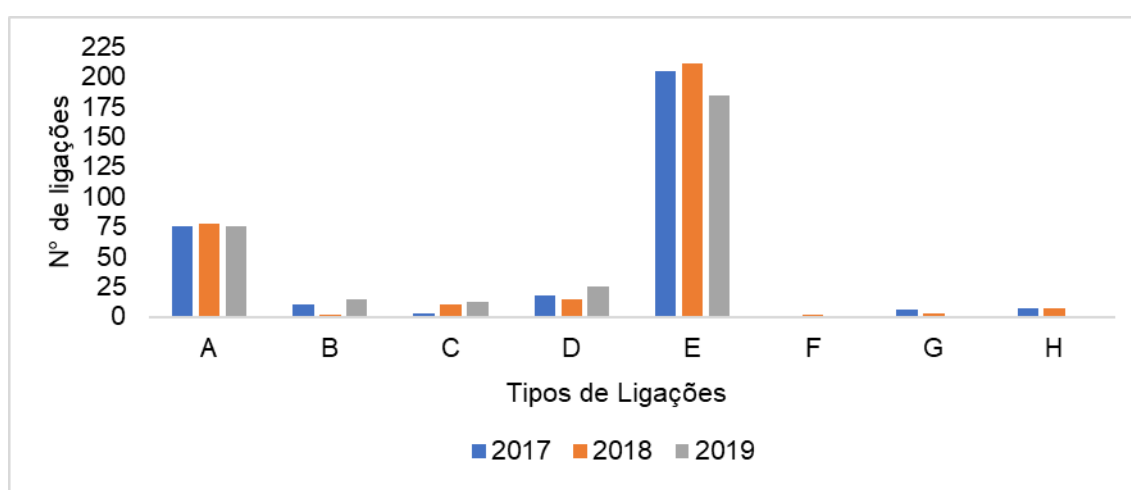
Tipos de Ligações	2017	2018	2019	Soma
A	75	77	75	227
B	10	2	15	27
C	3	10	12	25
D	18	15	25	58
E	205	211	184	600
F	0	2	0	2
G	6	3	1	10
H	7	7	0	14

Fonte: Autoria própria, 2021.

A predominância das ligações do tipo E, também é bem visível na figura 10. Os valores neste tipo variaram entre 184 e 211 eventos e o ano de 2018 foi o mais frequente. As CJNEB isoladas (Tipo A) com ocorrência aproximadamente 75 por ano, foram identificadas em todos os anos. As outras ligações foram raras, principalmente a do tipo F, que ocorreu somente em 2018.

FIGURA 10: Ocorrência de tipos de ligação nos anos 2017, 2018 e 2019.

(A – CJNEB; B – CJNEB+CJSTHN; C - CJNEB+CJSTHS; D - CJNEB+CJSTHN+CJPHN; E - CJNEB+CJSTHS+CJPHS; F - CJNEB + CJSTHN + CJSTHS + CJPHN; G - CJNEB+CJSTHN+CJSTHS+CJPHS e H - CJNEB+CJSTHN+CJSTHS+CJPHN+CJPHS).



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.2. AS FREQUÊNCIAS DOS TIPOS DE PROCESSOS

Na presente pesquisa, foram identificados os processos de acordo com a direção da CJNEB sobre o NEB na maneira semelhante como em Costa (2010) e Repinaldo (2010). Foi feita a contagem diária para chegar no somatório mensal que pode ser visto na Tabela 4. O processo Meridional, foi o menos frequente nos três anos, principalmente em 2019. Os mais frequentes foram os processos transversais e zonais, nesta ordem. Vale destacar que em um dia pode haver mais de um tipo de ligação de CJ.

TABELA 4: Frequência dos processos Meridional (M), Zonal (Z) e Transversal (T) por mês nos anos de 2017, 2018 e 2019.

Meses	2017			2018			2019		
	Processos								
	M	Z	T	M	Z	T	M	Z	T
Jan	2	3	7	15	3	20	3	13	20
Fev	4	3	19	10	0	10	8	9	5
Mar	0	3	26	12	4	20	5	2	7
Abr	6	3	19	0	9	17	4	2	20
Mai	4	6	21	0	15	16	0	7	21
Jun	4	6	21	2	17	9	0	19	13
Jul	6	13	19	0	11	19	3	12	30
Ago	0	14	23	0	15	17	1	14	27
Set	6	8	24	0	8	22	2	8	21
Out	2	11	20	5	3	14	9	2	17
Nov	11	5	17	7	5	24	3	7	13
Dez	23	4	15	8	10	9	4	5	15
Soma	68	79	231	59	100	197	42	100	209

Fonte: Autoria própria, 2021.

A CJNEB e as CJNEB com ligações também são identificadas conforme suas direções: casos meridionais de norte a sul e de sul para norte; nos casos transversais de sudeste e noroeste e para os casos zonais de leste a oeste e de oeste a leste.

Na tabela 5, no processo meridional destaca-se o número de eventos com direção de sul (135 por três anos e possuindo a variação entre 25 e 58 CJNEB meridionais por ano). Nestes eventos sobre NEB foi localizada, predominantemente, a entrada fria da CJNEB; ou um pouco mais raro a saída quente. O ano 2019 foi diferente de outros, neste ano, a direção de norte foi mais frequente e o número das CJNEB de sul reduziram cerca de 50% das ocorrências dos anos anteriores. Na entrada e saída as ocorrências diminuíram, porém a entrada fria ainda seguiu sendo a com maior acontecimento, assim como a saída quente.

Nas análises do processo transversal, a maioria de eventos de direção nordeste (364 somando todo o período e variou entre 115 e 130 CJNEB transversais por ano). Neste processo foram reconhecidos a maioria de entrada quente da CJNEB (369, entre 117 e 134 eventos) e conseqüentemente em menor número foram de saída fria (421, entre 122 e 157). A maior frequência desses eventos ocorreu em 2017 e a menor em 2018.

No processo zonal, no decorrer dos três anos analisados foi predominante a direção oeste (somando 242 tendo a variação entre 75 e 92 CJNEB zonais por ano). Neste processo não foram definidas entradas e saídas da CJ assim como nos processos meridional e zonal pois, não há entrada (saída) quente ou fria. Em 2019, foi o ano que mais ocorreram eventos e os demais anos obtiveram os mesmos valores.

TABELA 5: Frequência (por eventos) anual de CJNEB Meridional, Transversal e Zonal de acordo com sua direção (de onde está soprando) e as regiões da CJNEB no NEB (entrada ou saída da CJNEB, lado quente ou frio da CJNEB).

Meridional						
Ano	Direção		Entrada		Saída	
	Norte ↓	Sul ↑	Fria ↑	Quente ↓	Quente ↑	Fria ↓
2017	9	58	57	10	43	23
2018	6	52	51	7	40	18
2019	17	25	24	18	23	19
Soma	32	135	132	35	106	60
Transversal						
	Noroeste	Sudeste	Fria ↑	Quente ↓	Quente ↑	Fria ↓
2017	119	117	116	118	78	157
2018	115	74	72	117	67	122
2019	130	65	62	134	52	142
Soma	364	256	250	369	197	421
Zonal						
	De Leste	De Oeste	Fria ↑	Quente ↓	Quente ↑	Fria ↓
2017	4	75	-	-	-	-
2018	1	75	-	-	-	-
2019	5	92	-	-	-	-
Soma	10	242	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria, 2021.

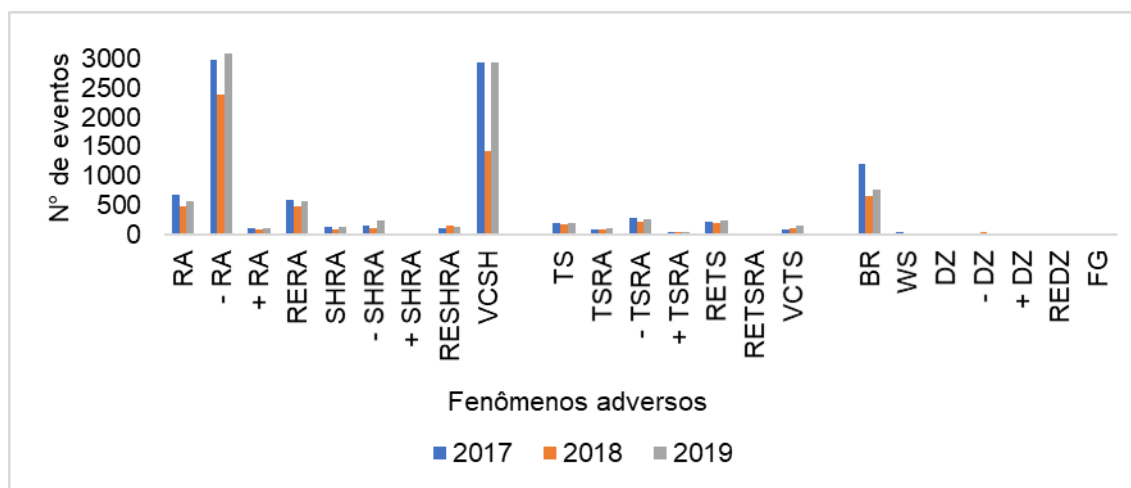
4.3. FREQUÊNCIAS DOS FENÔMENOS METEOROLÓGICOS

A frequência dos fenômenos meteorológicos foi analisada para os dias quando ocorreram as ligações entre CJNEB com outras CJ e as CJNEB de forma isolada. Essa frequência foi feita por cidade e por localização da parte da CJNEB, ou seja, de entrada e saída da CJ e, também, pelo lado frio ou quente da CJNEB. Assim, na análise foram destacadas a entrada, quente ou fria e saída quente ou fria (Tabela 5).

4.3.1. Frequências dos grupos de precipitações, trovoadas e chuvisco

Foram identificados vinte e três tipos de fenômenos adversos. Alguns mais frequentes que outros. Os fenômenos mais frequentes são: RA, - RA, VCSH, -TSRA e BR. Na Figura 11, pode-se observar uma visão geral dos fenômenos que ocorreram ao longo dos anos em análise.

FIGURA 11: Frequência dos fenômenos adversos identificados em 2017, 2018 e 2019.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para a simplificação do texto os fenômenos foram divididos em grupos, e estes foram chamados como chuvas, trovoadas e chuvisco de acordo com fenômeno predominante. O grupo da chuva possui o maior volume de fenômenos e o grupo do chuvisco é muito menor. O ano de 2018, portou menos fenômenos que os demais anos em todos os fenômenos registrados. Uma visão geral de cada ano e grupo completa consta no Apêndice B.

No grupo de chuva, figura 12a, os fenômenos adversos mais frequentes são a: -RA, VCSH, RA e RERA, nesta ordem. O mais raro foi + SHRA, houve registros somente nas estações: SBSL, SBRF, SBTE e SBNT nos três anos.

Em 2019 o fenômeno -RA foi mais recorrente (8489 eventos nos três anos e variando entre 2400 e 2999 -RA por ano). O VCSH (totalizando 7311 entre 1432 e 2940 eventos por ano), foi mais recorrente em 2017, com 1 evento a mais do que no ano de 2019. Os fenômenos RA e RERA, foram mais frequentes em 2017, variaram os totais entre 1733 e 1648, respectivamente. O fenômeno +SHRA foi mais raro, entre 13 e 3 eventos anuais.

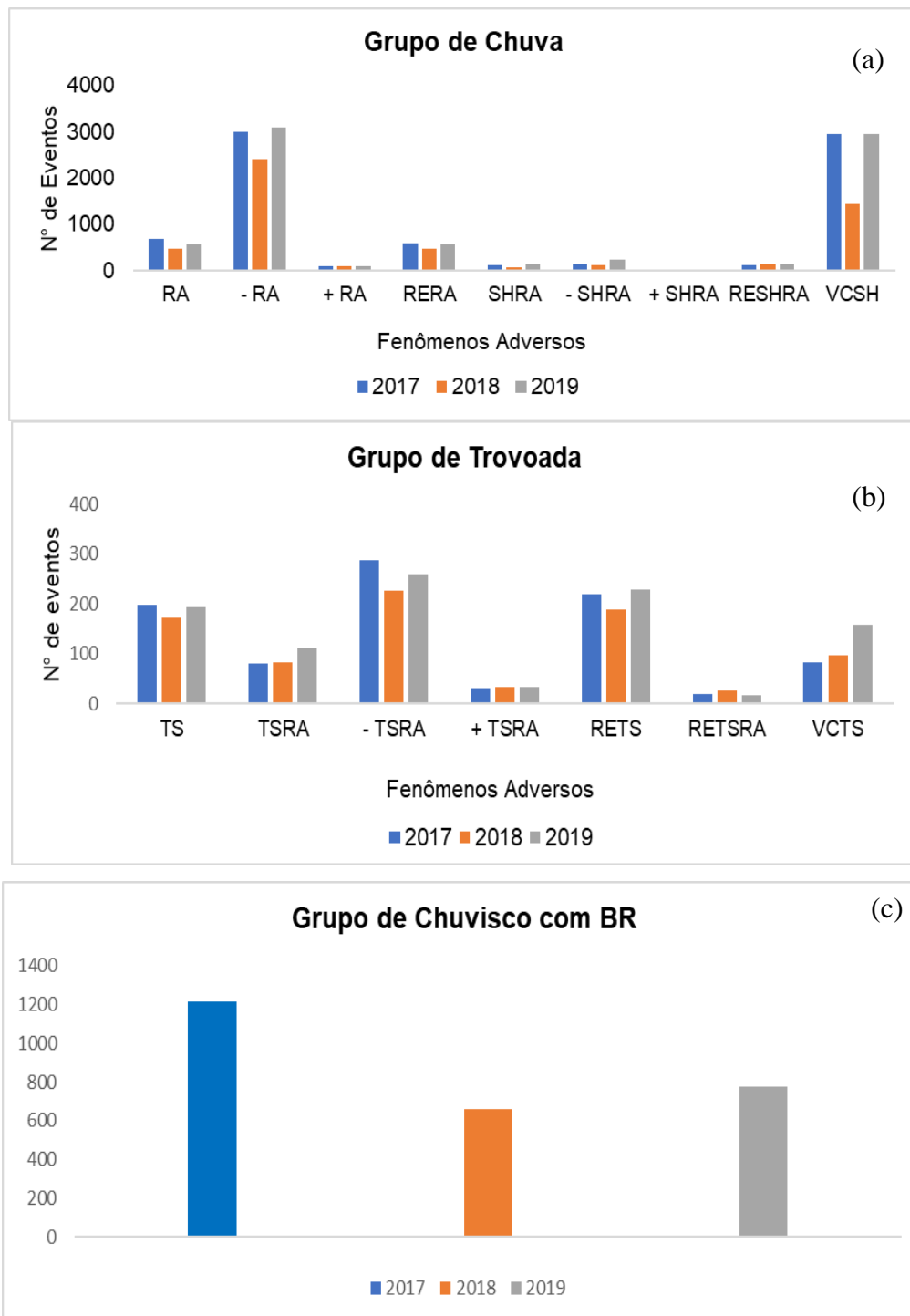
O grupo das trovoadas, figura 12b, foi menos frequente que o grupo da chuva. Os fenômenos que mais se repetiram foram: - TSRA, RETS e TS. O mais raro foi: RETSRA.

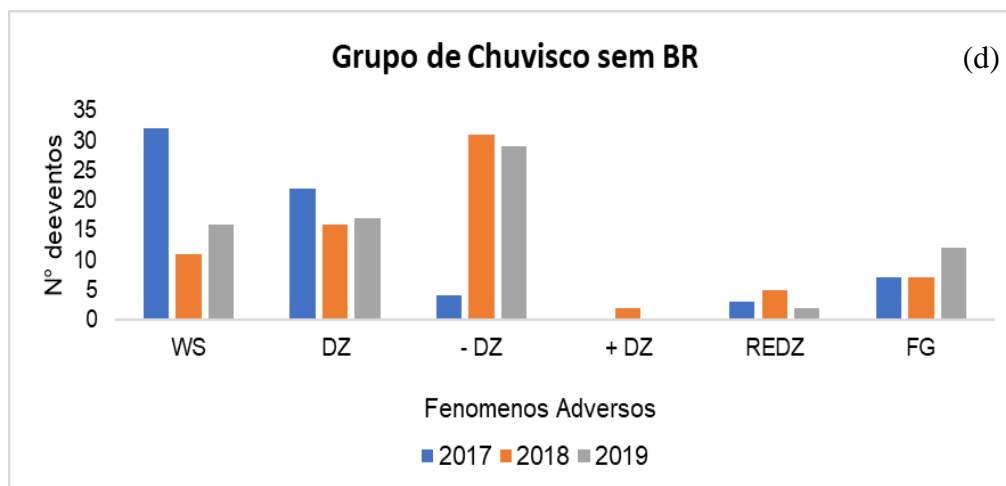
O fenômeno – TSRA foi o mais frequente (774 por três anos e variou entre 226 e 288 eventos anuais). O RETS (resultando em 638 entre 189 e 230 casos por ano), foi mais comum em 2017. Já o TS (562 entre os três anos, variou de 172 a 197), foi menos sucessivo em 2018. O fenômeno eventual, o RETSRA, entre 16 e 25 eventos por ano. O ano de 2018, portou menos fenômenos que os demais anos.

O menor grupo na figura 12c, do chuvisco, o fenômeno com uma frequência muito elevada em relação aos demais foi o BR. Houve fenômenos que possuíram frequências semelhantes como: - DZ, WZ e DZ. Os mais raros foram +DZ e HZ que ocorreram nos aeroportos de Salvador – Ba e em João Pessoa- Pb.

O fenômeno desse grupo que se destacou foi o BR, figura 12c, totalizando 2658 eventos nos três anos em análise, sendo 2017 com mais eventos, destoando dos demais fenômenos adversos que variaram entre 2 e 64 registros. Na figura 12d, são os demais fenômenos registrados, os gráficos foram separados devido a escala de valores entre BR (1213 eventos) e o WS (32 eventos) para uma melhor visualização das ocorrências.

FIGURA 12: Frequência dos fenômenos adversos nos grupos chuva (a), trovoada(b) e chuvisco (c) e (d) identificados em 2017, 2018 e 2019.





Fonte: Autoria própria, 2021.

4.3.2. Frequências de fenômenos por estações meteorológicas

A frequência dos fenômenos difere-se de acordo com os anos e as cidades das estações. Os fenômenos mais frequentes foram: -RA, -TSRA e BR. Esses fenômenos são analisados individualmente com uma comparação anual.

Grupo da chuva

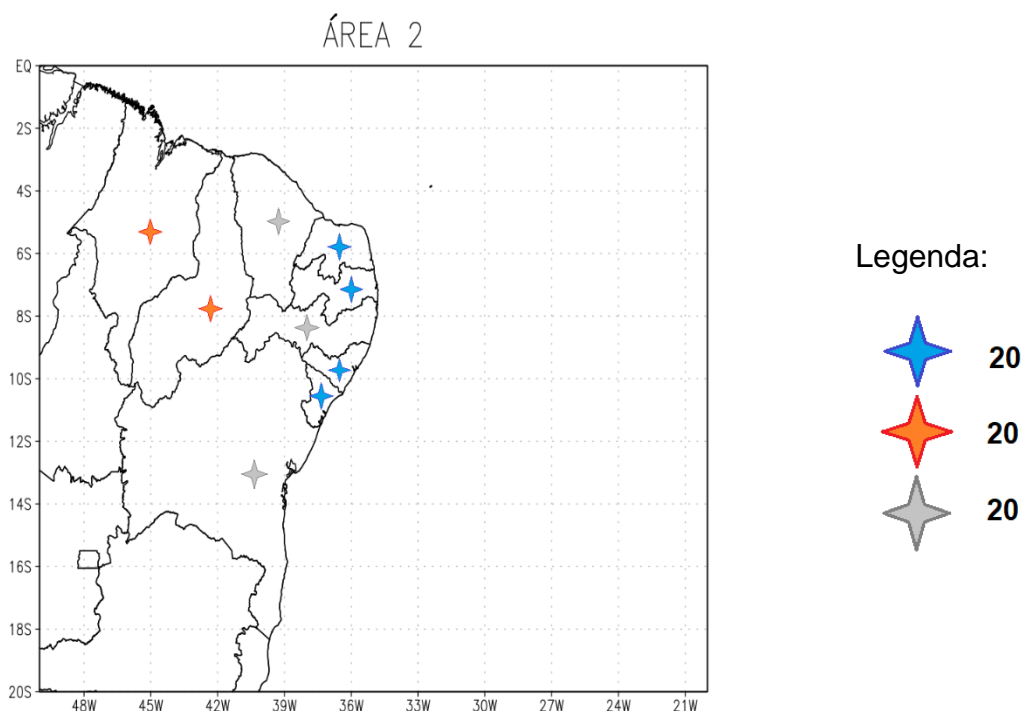
Na figura 13, é identificado onde ocorreu -RA, o fenômeno adverso mais frequente do grupo da chuva em todos os anos e estações analisadas. Pode-se destacar a estação SBJP, nos anos de 2017 (650 casos) e 2019 (586 casos) foram os anos que mais foram registrados este fenômeno. Assim como os menores registros ocorreram em 2018, esta mesma estação.

Os maiores registros do ano de 2017 ocorreram nas estações: SBNT, SBJP, SBMO e SBAR. Onde os eventos variaram entre 205 e 650 eventos. A estação com menor registro foi na estação SBRF.

As estações SBSL e SBTE foram as que se destacaram em 2018, nesse ano foi registrado mais -RA que nos anos anteriores. Porém, a estação com maior registro foi SBMO e a menor foi SBJP, com 356 e 15 eventos respectivamente.

Em 2019, em SBSV, SBFZ e SBRF foram as estações com maiores registros em relação aos anos anteriores. Neste ano, em SBJP foi o maior registro desse fenômeno adverso, ainda sim menor que o ano de 2017. A estação com menor registro foi em SBTE. Os maiores e menores registros variaram entre 207 e 586.

FIGURA 13: Localização das estações com chuva fraca por anos.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Grupo da trovoadas

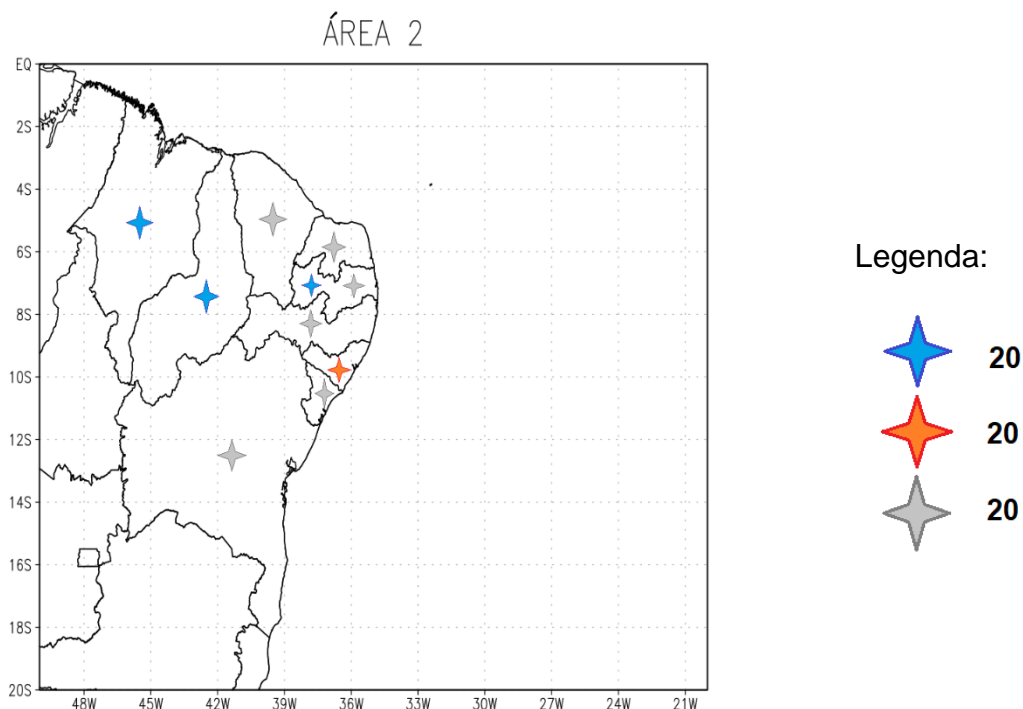
Na figura 14, o fenômeno de -TSRA ocorreu principalmente nas estações mais ao norte do NEB, tais como SBSL e SBTE. Estações como: SBMO, SBJP e SBAR, houve anos sem nenhum registro deste fenômeno adverso. Em SBJP, os anos de 2017 e 2019 foram iguais.

As estações com maiores registros da série aconteceram em 2017. Neste ano, os registros variaram entre 131 e 5 eventos. As estações de SBSL, SBTE e SBJP foram as com maiores frequências em relação aos demais anos. Destacando SBMO, que não foi registrado nenhum evento.

Em 2018, a estação SBMO registrou teve uma frequência com 5 eventos. Os registros variaram entre 107 e 3 eventos anuais, SBTE e SBRF respectivamente. Na estação de SBSL, aconteceram 74 eventos. Neste ano, duas estações não houve registro: SBJP e SBAR.

As estações como, SBFZ, SBNT, SBJP, SBRF e SBAR foram os destaques de 2019, com maior frequência. Porém, a estação com maior registro neste ano foi a SBTE e a com menor registro foi a SBSV. Houve estações que não tiveram registros de chuva fraca com trovoadas como: SBMO, SBJP e SBAR.

FIGURA 14: Localização das estações com trovoadas por anos.



Fonte: Autoria própria, 2021.

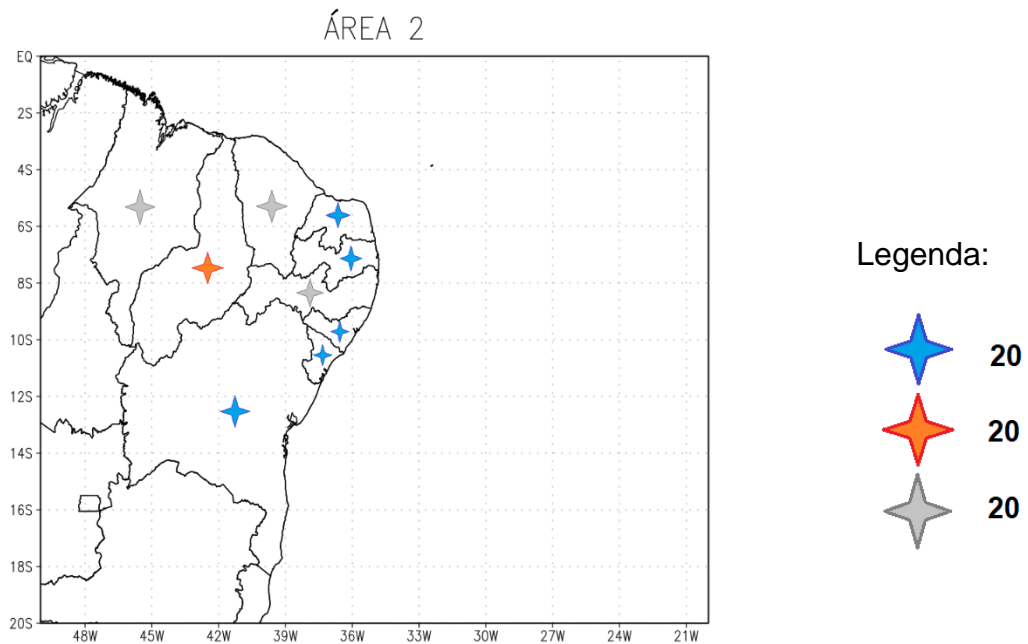
Grupo de chuva

A frequência grupo de chuva, ilustrada na figura 15, o fenômeno BR foi o mais frequente. O fenômeno mostrou-se mais comum nas estações: SBMO, SBSV, SBNT e SBAR, nos três anos, sendo os maiores registros entre 70 e 505 eventos. As estações SBSL, SBJP, SBRF e SBTE, tiveram registros entre, 7 e 75 eventos. Os maiores registros das séries foram em 2017, o maior em SBMO com 505 registros. Neste ano, a estação com menor frequência foi SBFZ e SBRA, com 7 e 8 registros respectivamente.

Em 2018 o maior registro foi na estação SBNT, porém ainda com registro menos que em 2017, na mesma ordem com 200 e 281 eventos. Neste ano, não houve registro em SBJP e somente 1 evento em SBFZ.

As estações destacadas em 2019 foram: SBSL, SBFZ e SBRF, estas estações tiveram mais fenômenos registrados que nos anos anteriores. Porém, os maiores registros anuais foram nas estações: SBMO, SBSV E SBNT, com registros entre 133 e 202 eventos. O fenômeno foi mais raro em SBTE, com 7 registros.

FIGURA 15: Localização das estações com chuvisco por anos.



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.3.3. Frequências de fenômenos de acordo com os processos M, Z e T

Os fenômenos foram contabilizados a partir das ocorrências das CJNEB e as CJNEB e suas ligações. Os fenômenos adversos ocorreram em todas as estações analisadas ao longo dos três anos. A tabela 6, apresenta a frequência de dias ao ano com fenômenos por estação.

A soma dos fenômenos em relação aos processos foi maior devido a ocorrência de mais de um processo por dia em alguns casos. A soma da frequência dos fenômenos seguiu a mesma proporção da soma dos processos, ou seja, mais dias com fenômenos adversos com processo transversal que foi o processo mais frequente. Assim como os dias com fenômenos adversos com processo meridional foi menor, como a soma dos dias deste processo. O processo zonal foi o que teve maior número de dias com fenômenos por processo.

TABELA 6: Ocorrência de fenômenos por estação meteorológica e ano de acordo com os processos M, Z e T.

Estações	Anos	Processos			Soma
		M	Z	T	
SBMO	2017	25	27	81	133
	2018	11	38	66	115
	2019	10	42	79	131
SBSV	2017	34	44	134	212
	2018	26	64	106	196
	2019	21	60	116	197
SBFZ	2017	16	17	82	115
	2018	22	30	57	109
	2019	13	33	81	127
SBSL	2017	17	17	89	123
	2018	19	34	72	125
	2019	19	31	70	120
SBJP	2017	12	29	86	127
	2018	17	46	76	139
	2019	11	42	87	140
SBRF	2017	38	48	141	227
	2018	28	57	103	188
	2019	24	55	111	190
SBTE	2017	20	13	64	97
	2018	35	18	76	129
	2019	24	23	56	103
SBNT	2017	28	45	124	197
	2018	18	59	91	168
	2019	15	43	97	155
SBAR	2017	27	52	113	192
	2018	15	54	84	153
	2019	18	58	102	178
Soma dos fenômenos		563	1079	2444	
Soma dos processos (da tabela 5)		167	252	620	
Número dias de fenômenos por processo		~ 3,37	~4,28	~3,94	

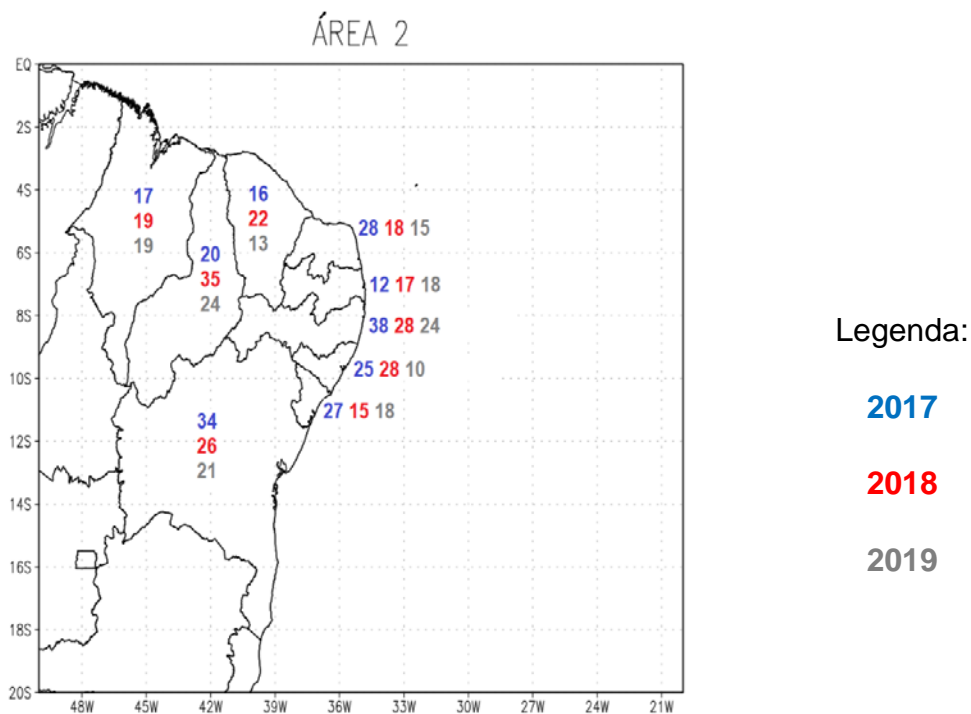
Fonte: Autoria própria, 2021.

As estações com maiores frequência de dias com processo meridional e transversal foi a estação SBRF em 2017 e do processo zonal foi SBSV em 2018. A estação com menor frequência anual foi a SBTE, com a soma dos processos.

Na figura 16, referente ao número de dias de CJNEB e CJNEB com ligações com processo meridional. O ano de 2017 foi o que mais ocorreram dias de CNEB e ligações com

ocorrência de fenômenos adversos. Neste mesmo ano as estações com maior frequência de dias com fenômenos foram SBRF e SBSV e as estações com menores frequências foram SBJP e SBFZ. Nas estações em 2018 e em 2019 as estações mais frequentes foram SBTE e SVRF. As menores em 2018 foram em SBMO e SBAR, já em 2019 as estações foram SBMO e SBJP.

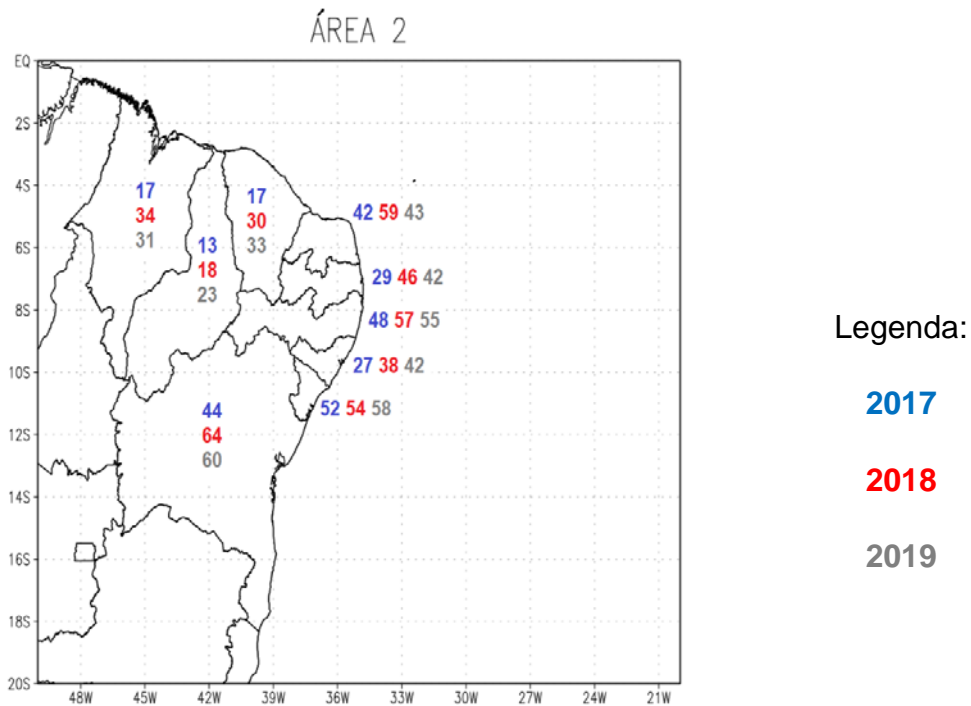
FIGURA 16: Mapa com frequência de dias com fenômenos adversos com processo meridional nos anos 2017, 2018 e 2019.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Na figura 17, relacionada ao número de dias de CJNEB e CJNEB com ligações com processo zonal. Em 2017 as estações com maior frequência de dias com fenômenos foram SBAR e SBRF e as estações com menores frequências foram SBFZ, SBSL e SBTE. O ano de 2018 foi o que mais ocorreram dias de CNEB e ligações com ocorrência de fenômenos adversos. As estações mais frequentes foram SBSL e SVNT as menores foram em SBTE. Em 2019 as estações com maior frequência de dias com fenômenos foram SBSV e SBAR e com menor frequência foi em SBTE.

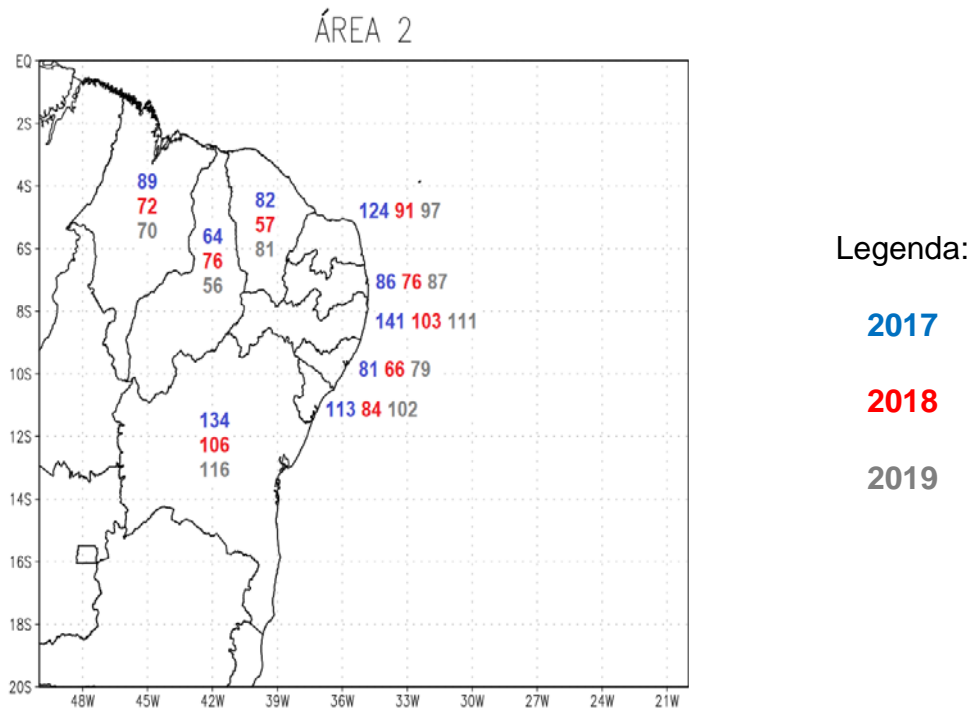
FIGURA 17: Mapa com frequência de dias com fenômenos adversos com processo zonal nos anos 2017, 2018 e 2019.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Na figura 18, referente ao número de dias de CJNEB e CJNEB com ligações com processo transversal. O ano de 2017 foi o que mais ocorreram dias de CNEB e ligações com ocorrência de fenômenos adversos. Neste mesmo ano, as estações com maior frequência de dias com fenômenos foram SBRF e SBSV e a estação com menor frequência foi em SBTE. No ano de 2018 as estações mais frequentes foram SBSV e SBRF as menores foram em SBTE. Em 2019, as estações com maior frequência de dias com fenômenos foram SBSV e SBRF e com menor frequência foi em SBTE.

FIGURA 18: Mapa com frequência de dias com fenômenos adversos com processo transversal nos anos 2017, 2018 e 2019.



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.4. ESTUDOS DE CASO

Para o estudo das CJNEB associadas aos fenômenos adversos, foram selecionados quatro casos distintos, com CJNEB Meridional, CJNEB Zonal e CBNEB Transversal e um caso com os três tipos de processo em um dia. Através dos campos de linhas de corrente em 200 hPa, foram selecionados os casos que apresentarem CJNEB com ligações inter-hemisféricas.

A estruturação nos estudos de casos, os eventos são classificados conforme a magnitude do vento e localização do jato entre os sistemas de escala sinótica em altos níveis (FEDOROVA et al, 2018b). Ademais, houve a classificação de direções, entradas e saídas dos eventos de ligações das CJ e a análise da nebulosidade através das imagens de satélite com temperatura do topo das nuvens.

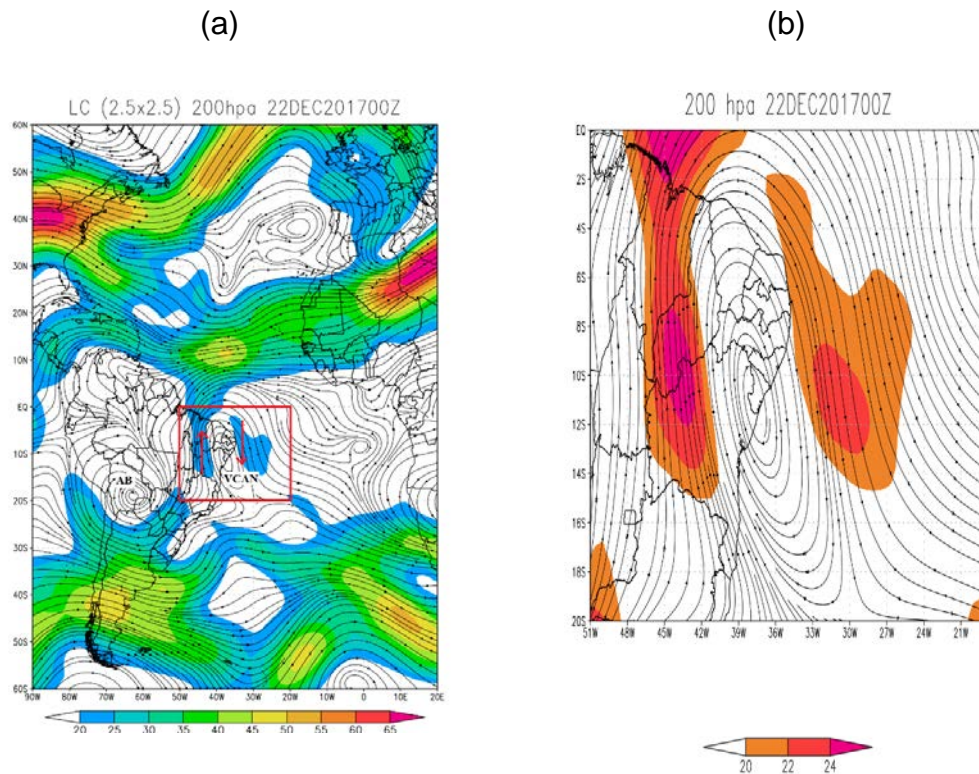
4.4.1. CJNEB Meridional

Os casos meridionais durante todo período foram menos frequentes. Ao longo do ano, foram mais frequentes em dezembro, com trinta e cinco casos e houve um caso em agosto de 2019. Para exemplificar, foi escolhido o caso no dia 22 de dezembro de 2017, devido fato de ocorrência das ligações dos tipos: A e D através da CJNEB Meridional.

Exemplo da análise do caso meridional

Na figura 19, observa-se um evento é do Tipo I b, ou seja, com uma CJNEB de sul entre a AB e VCAN. O VCAN localiza-se sobre a área 2 e nele há os dois tipos de ligações. Na CJNEB de Sul, ocorre a ligação inter-hemisférica do tipo D devido do giro das correntes de ar formou-se uma CJNEB de norte, de tipo A, com um processo meridional. A velocidade máxima das correntes onde ocorreram as CJNEB e a ligação foi de 24 m/s.

FIGURA 19: Mapas de linha de corrente do dia 22 de dezembro de 2017 as 00 UTC, com as identificações das CJNEB e sua ligação na Área 1 (a) e Área 2 (b).

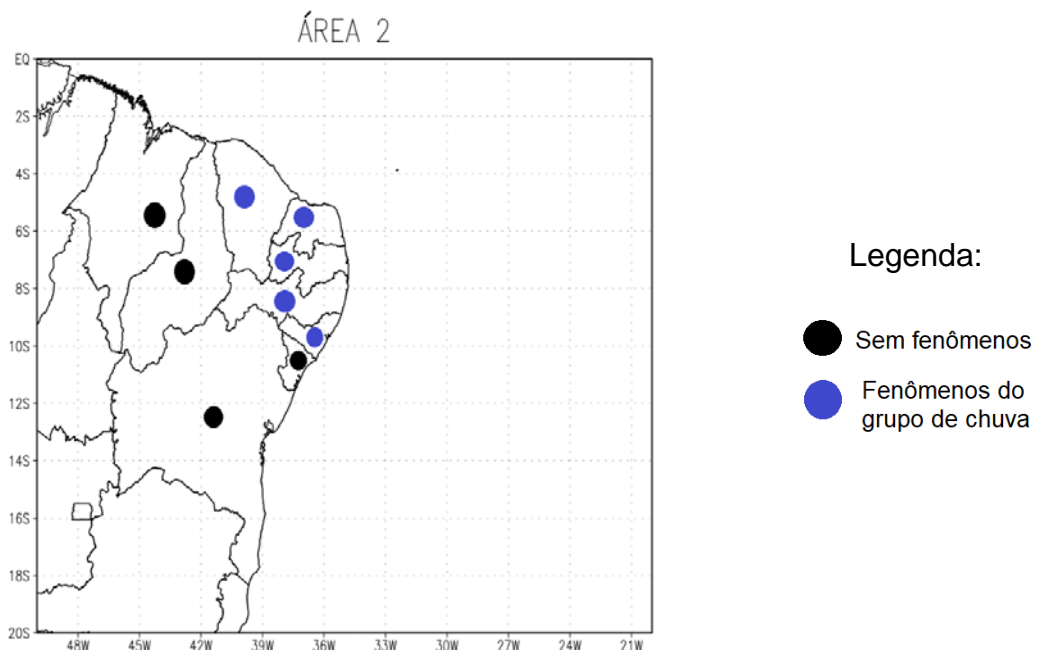


Fonte: Autoria própria, 2021.

Nesse exemplo, foram identificados quatro tipos de fenômenos adversos (RA, -RA, RERA e VCSH) em cinco estações (SBFZ, SBJP, SBMO, SBNT e SBRF) e não houve fenômenos registrados em quatro estações (SBAR, SBSV, SBSL e SBTE).

Os fenômenos que foram identificados estavam presentes na CJ de direção norte, com entrada quente e saída fria (22*). As estações e os fenômenos registrados são: SBFZ: RA VCSH, RERA; SBJP: -RA; SBMO: VCSH; SBNT: VCSH e SBRF: -RA, VCSH, figura 20.

FIGURA 20: Mapa da posição das estações dos registros de fenômenos por grupos.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Na tabela 7, apresenta-se os posicionamentos das duas correntes que foram verificadas neste dia. Houve duas ligações com direções diferentes, uma de norte e a outra de sul, ambas com saída fria.

TABELA 7: Identificação de direção, entrada e saída dos processos meridionais que ocorreram no dia 22 de dezembro de 2017. 22* é a segundo processo.

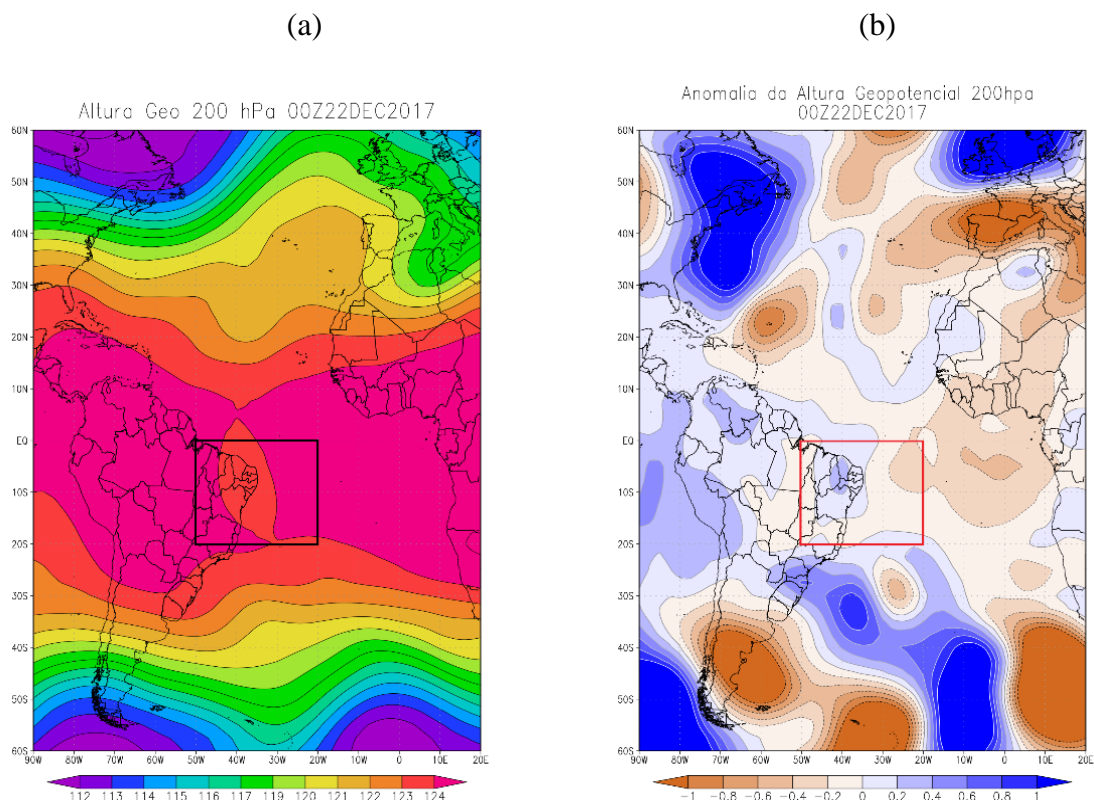
Meridional							
Datas		Direção		Entrada		Saída	
Dia	Mês	Norte ↓	Sul ↑	Fria ↑	Quente ↓	Quente ↑	Fria ↓
22	12		X	X			X
22*	12	X			X		X

Fonte: Autoria própria, 2021.

O mapa da altura geopotencial absoluta mostra as ondas profundas dos dois hemisférios, figura 21 a. Na região do NEB vista uma ligação dos cavados de dois hemisférios. Esta ligação apresentada pelo quase elipso sobre NEB com valores mais baixos no centro do que em redor.

As anomalias positivas (na região leste) e negativa (a oeste) da Ag são vistas na mesma região pelo mapa na figura 21 b. Além disso, esse mapa da anomalia mostra as regiões com anomalias intensas nas regiões subtropicais e extratropicais estendidas ao longo de longitudes.

FIGURA 21: Mapas de Ag absoluta (a) e Anomalia de Ag (b) no dia 22 de dezembro de 2017, as 00 UTC no nível de 200 hPa



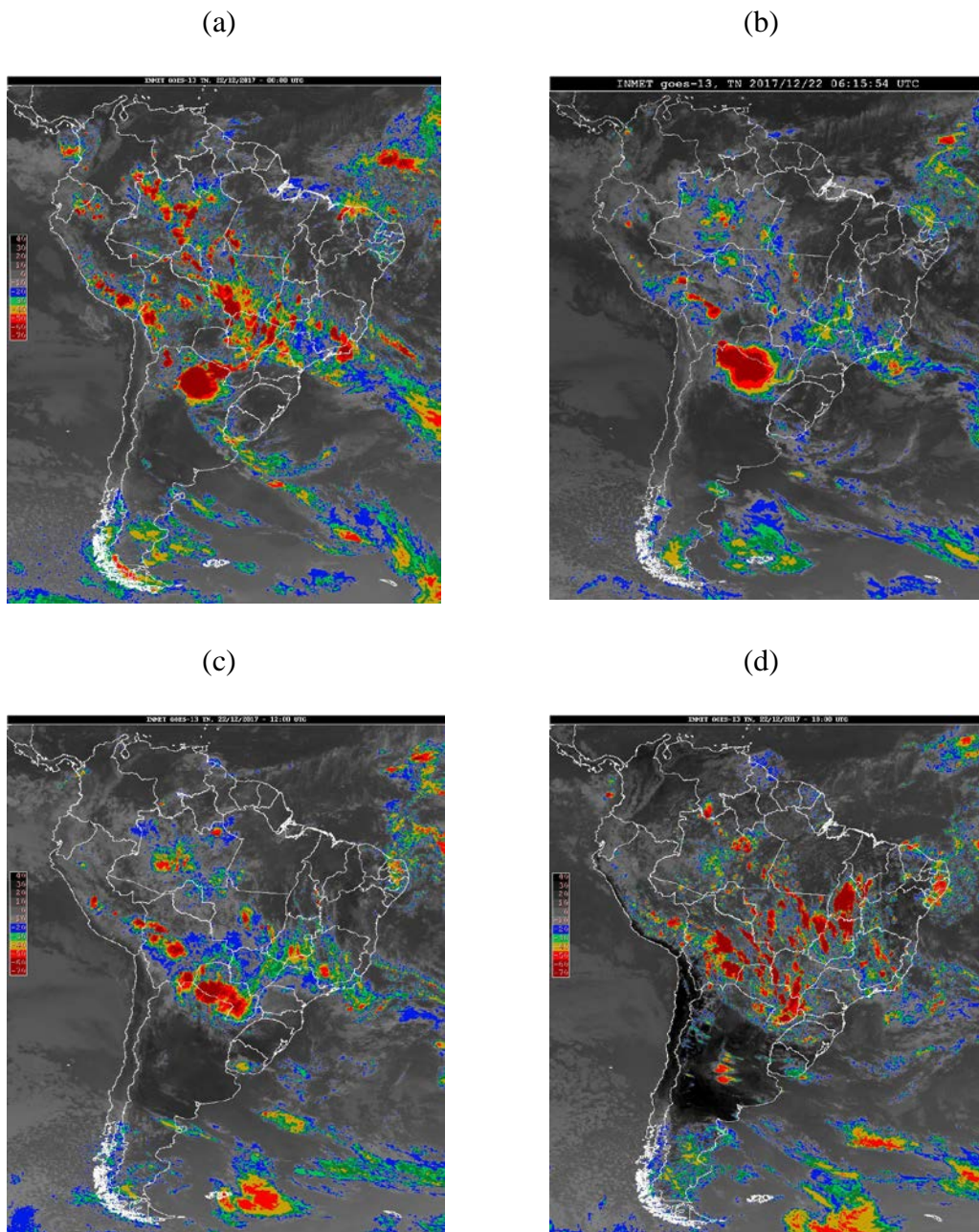
Fonte: Autoria própria, 2021.

Nas imagens de satélite da Figura 22, do dia 22 de dezembro de 2017 dos quatro horários sinóticos em UTC (00, 06:15, 12 e 18), nota-se que a nebulosidade observada está associada a presença do VCAN sobre o NEB. A região central do sistema encontra-se com pouca nebulosidade devido os movimentos descendentes de ocorrem nessa região. A sua borda encontra-se com nebulosidade, principalmente na região onde encontra-se o processo

meridional de direção norte, com entrada quente e saída fria da CJ, na qual pode-se observar o topo das nuvens mais frias que nas demais regiões da borda do sistema.

As células convectivas foram observadas principalmente nos horários das 00 UTC (a), 12 UTC e 18 UTC (d). Nesses horários foram registrados fenômenos adversos do grupo de chuva nas estações que ficam na região leste do NEB.

Figura 22: Imagem de satélite no dia 22 de dezembro de 2017, as 00 UTC (a), 06:15 UTC (b), 12 UTC (c) e 18 (UTC).



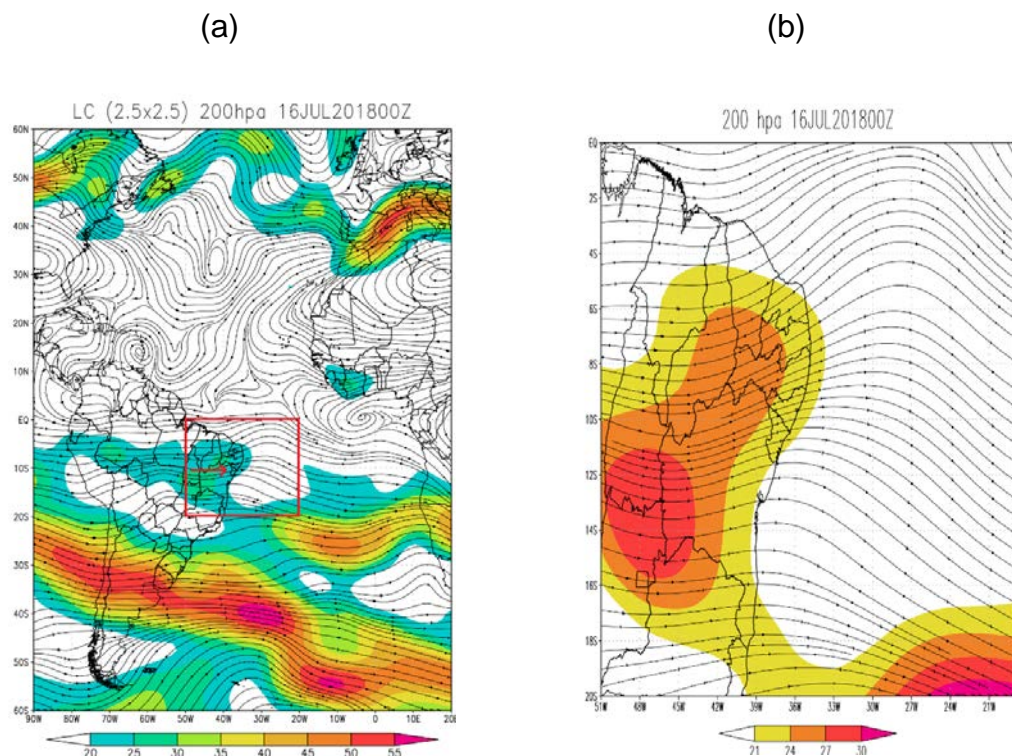
4.4.2. CJNEB Zonal

Os casos zonais ocorreram durante todo período analisado. Ao longo dos anos analisados, foram mais frequentes nos meses de junho a agosto. O mês de março foi o mês com a menor frequência. Para exemplificar o processo foi mostrado um caso em julho com a ligação do tipo E.

Exemplo da análise do caso zonal

Este evento não se enquadra em nenhum dos três tipos de classificação dos três tipos de eventos de CJNEB com a localização das CJ com os sistemas de altos níveis feita por Fedorova et al (2018b), pois é possível observar somente um CAN a leste do NE. A ligação de CJNEB neste evento é do tipo E, com um processo zonal, com o a direção de oeste sobre o NEB. A CJNEB foi vista como ao norte do CJSTHS e ligado com a mesma. Na Figura 23, pode-se observar a presença da ligação da CJNEB com velocidade máxima superior a 30 m/s.

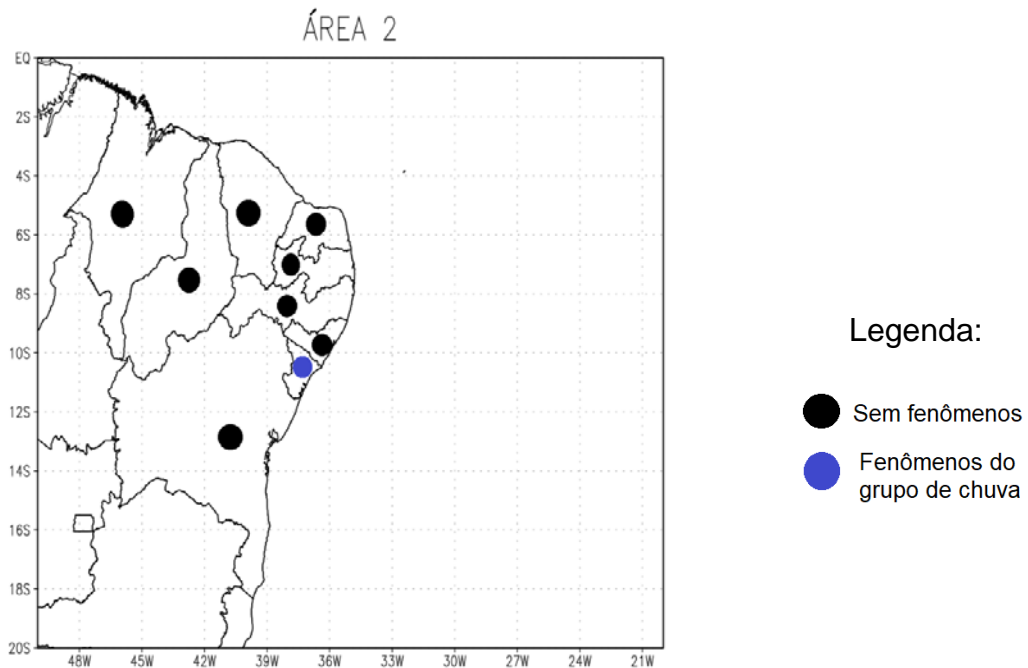
FIGURA 23: Mapas de linha de corrente do dia 16 de julho de 2018 as 00 UTC, com as identificações das CJNEB e sua ligação na Área 1 (a) e Área 2 (b).



Fonte: Autoria própria, 2021.

Nesse evento, foram registrados dois tipos de fenômenos adversos (-RA e VCSH) em duas estações (SBSV e SBRA), respectivamente. Não houve fenômenos registrados em sete estações (SBAL, SBFZ, SBSL, SBJP, SBRF, SBTE e SBNT), figura 24.

FIGURA 24: Mapa da posição das estações dos registros de fenômenos por grupos.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Na tabela 8, apresenta-se os posicionamentos da ligação que foi verificada neste dia e essa ligação ocorreu na direção oeste. Nesse tipo de processo não são definidas a entrada e saída da CJ.

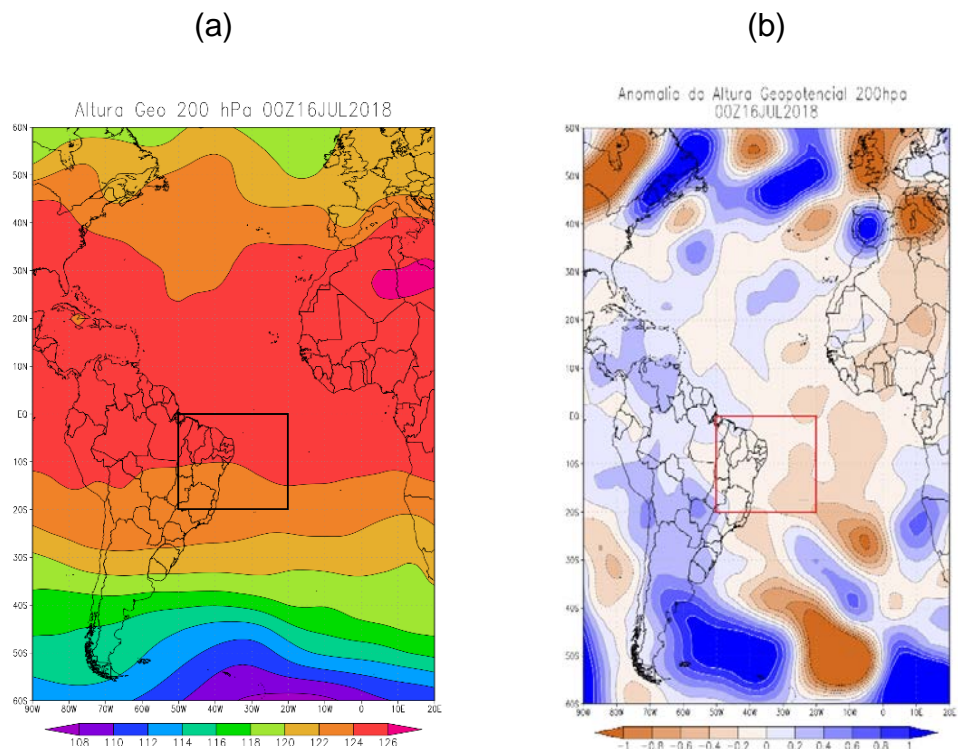
TABELA 8: Identificação de direção, entrada e saída dos processos meridionais que ocorreram no dia 16 de julho de 2018.

Datas		Zonal					
		Direção		Entrada		Saída	
Dia	Mês	Leste ←	Oeste →	Fria ↑	Quente ↓	Quente ↑	Fria ↓
16	7		1	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria, 2021.

O mapa da altura geopotencial absoluta mostra que há ondas profundas no hemisfério sul, figura 25 a. No NEB é visto um cavado fraco dividindo a região com valores mais altos ao norte do que ao sul. Na mesma região, na figura 24 b, observa-se a predominância de anomalias negativa de Ag, porém menos intensa. Neste mapa, observa-se que as regiões extratropicais possuem valores de anomalias mais intensas que a região subtropicais.

FIGURA 25: Mapas de Ag absoluta (a) e Anomalia de Ag (b) no dia 16 de julho de 2018, as 00 UTC no nível de 200 hPa.

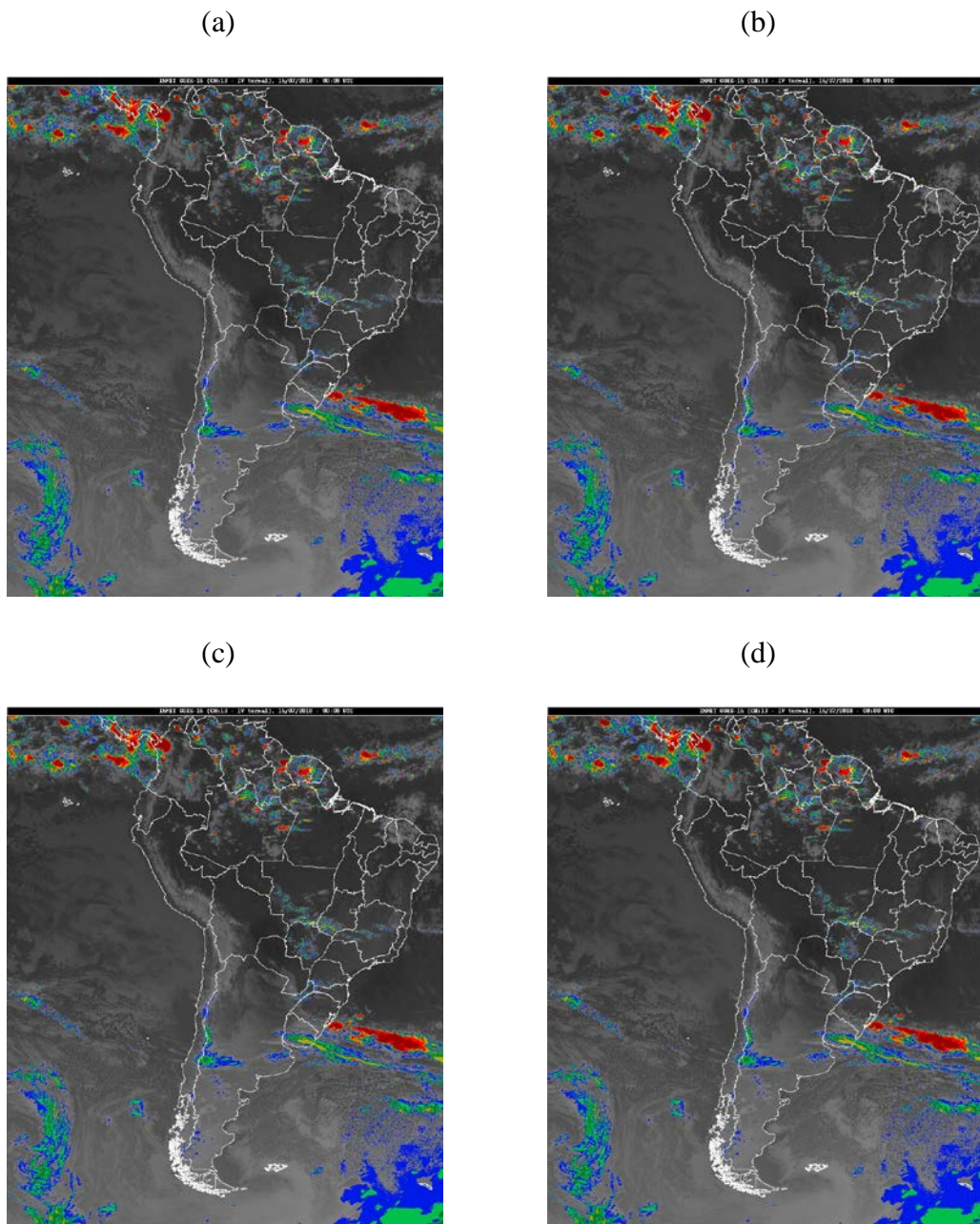


Fonte: Autoria própria, 2021.

Nas imagens de satélite da Figura 26, do dia 16 de julho de 2018 dos quatro horários sinóticos em UTC (00, 06, 12 e 18), nota-se que há pouca nebulosidade sobre o NEB o que refletiu na diminuição de ocorrência de fenômenos adversos.

No horário de 00 UTC não ocorreu fenômeno adverso. Os fenômenos que ocorreram neste dia (-RA e VCSH), foram registrados entre os horários de 12 e 18 UTC. Na Figura 26 c, pode-se observar a nebulosidade com uma estrutura linear, estriadas ao longo da CJ e essa nebulosidade persiste até o horário da figura 26 d.

FIGURA 26: Imagem de satélite no dia 16 de julho de 2018, as 00 UTC (a), 06 UTC (b), 12 UTC (c) e 18 (UTC).



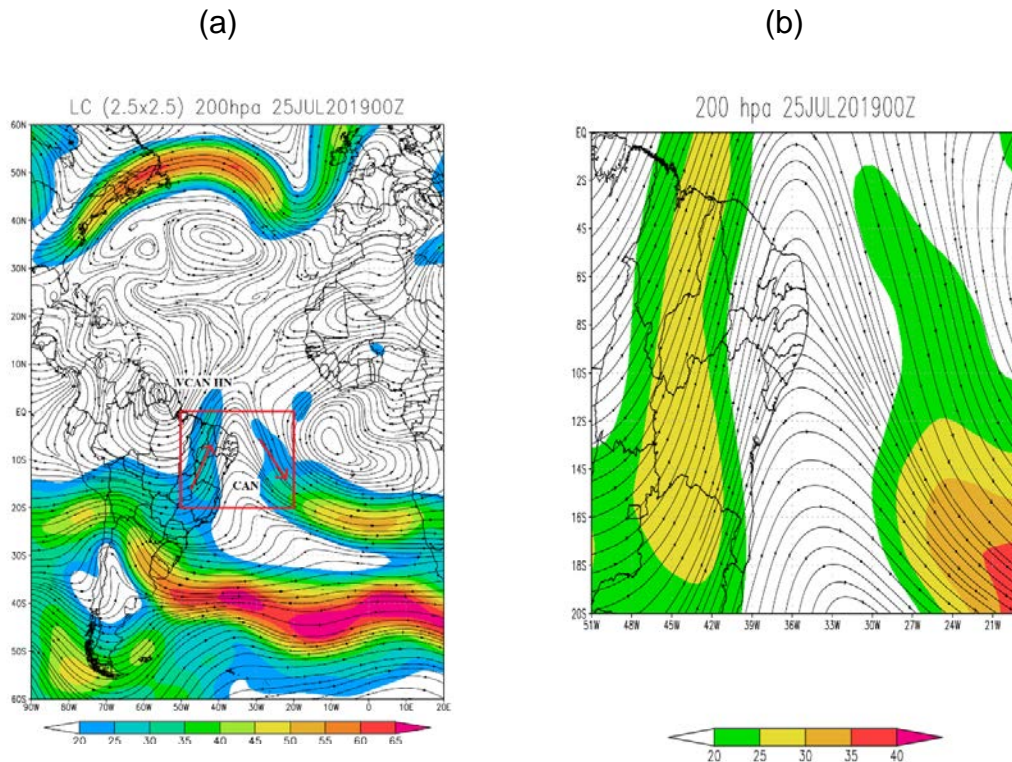
4.4.3. CJNEB Transversal

As CJNEB Transversal foi o processo mais frequente, ocorreram durante todo período analisado. Ao longo dos anos, o mês com maior frequência foi em outubro e em janeiro ocorreram em menor frequência.

Exemplo da análise do caso Transversal

Este evento é do Tipo III e, ou seja, com uma CJNEB de sudoeste entre o VCAN no HN e o CAN do HS, figura 27. O CAN localiza-se sobre a área 2 entre o NEB e o oceano onde há mais uma ligação do tipo E. Então, na CJNEB de sudoeste tipo E. Devido ao giro do CAN formou-se outra ligação. No entanto, com direção diferente, ou seja, CJNEB de noroeste, também de tipo E, ambas ligações de processo transversal. Na figura 27 b, pode-se observar que a velocidade do jato sobre o NEB atingiu a velocidade máxima de 30 m/s.

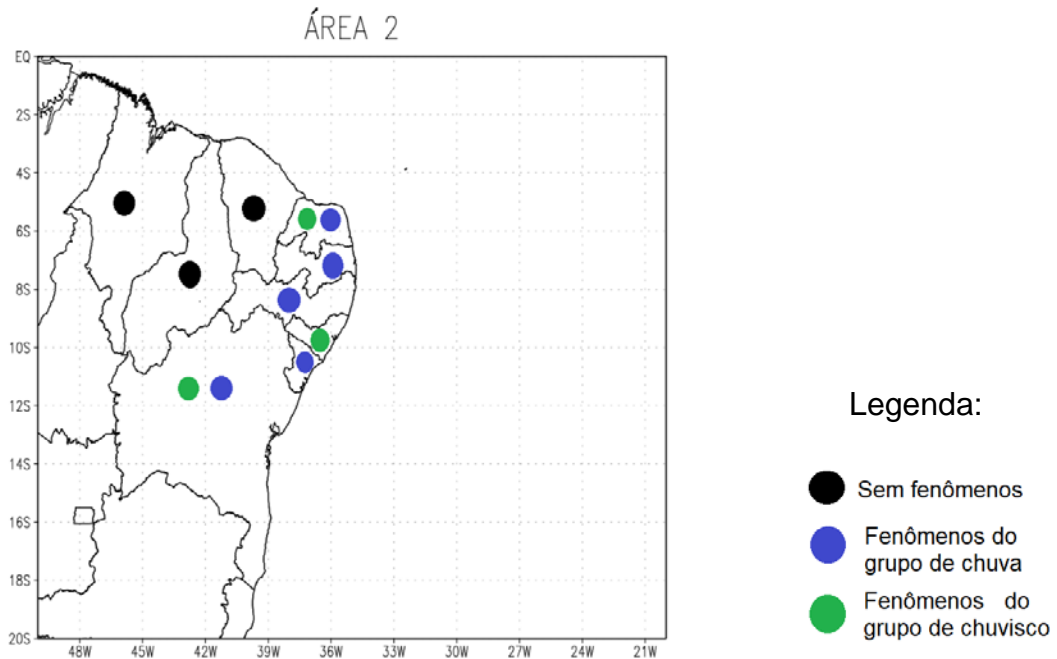
FIGURA 27: Mapa de linha de corrente do dia 25 de julho de 2019 as 00 UTC com as identificações das CJNEB e sua ligação na Área 1 (a) e Área 2 (b).



Fonte: Autoria própria, 2021.

Os fenômenos que foram identificados estavam presentes na CJ de direção sudoeste, com entrada fria e saída quente (22). As estações e os fenômenos registrados são: STMO: FG, SBSV: -RA, VCSH e BR, SBJP: -RA e VCSH, SBRF: VCSH, SBNT: -RA, DZ, -SHRA e VCSH e SBAR: -RA e VCSH, figura 28.

FIGURA 28: Mapa da posição das estações dos registros de fenômenos por grupos.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Na tabela 9, apresenta-se os posicionamentos das ligações que foi verificada neste dia. Houve duas CJ, uma ocorreu no lado oeste do CAN, com a direção sudoeste e a outra ligação (25*) do lado leste do sistema com a direção sudoeste.

TABELA 9: Identificação de direção, entrada e saída dos processos meridionais que ocorreram no dia 16 de julho de 2018.

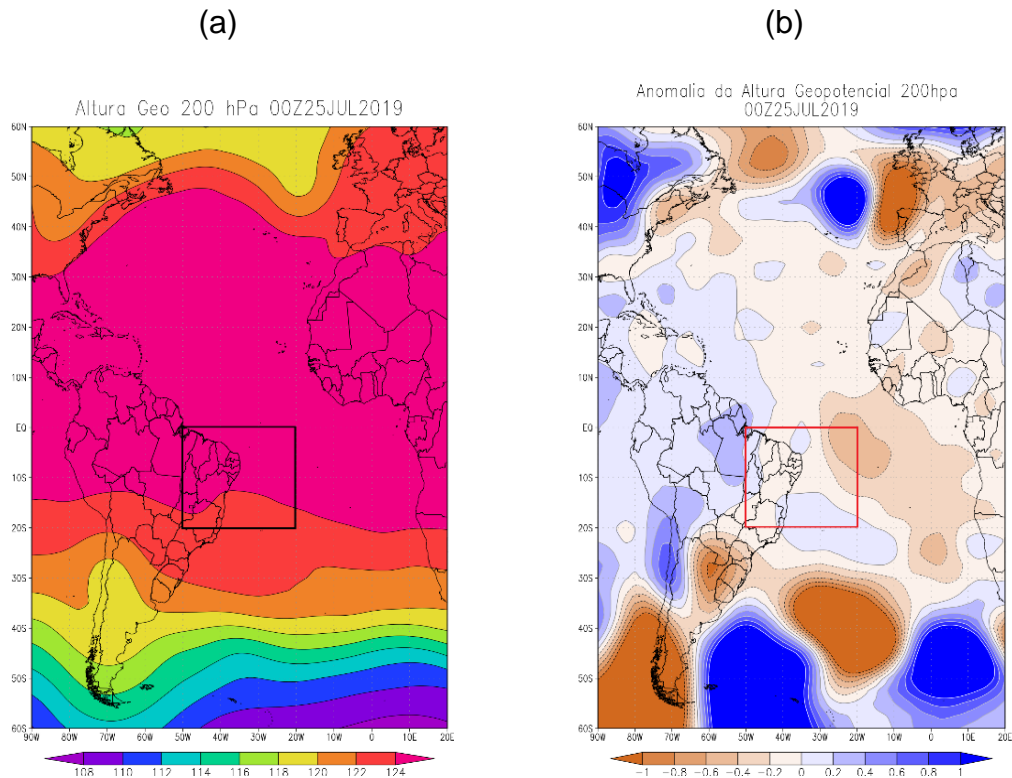
Transversal							
Datas		Direção		Entrada		Saída	
Dia	Mês	Noroeste	Sudoeste	Fria ↑	Quente ↓	Quente ↑	Fria ↓
25	7		X	X		X	
25*	7	X			X		X

Fonte: Autoria própria, 2021.

O mapa da altura geopotencial mostra no HS a onda é profunda (Figura 29 a). As anomalias menos positivas (na região norte) e menos negativa (ao sul e uma pequena região no norte do NEB) da Ag vistas na mesma região pelo mapa na figura 29 b. Nesse mapa da

anomalia mostra que a área 2 as anomalias são fracas em relação as anomalias nas regiões extratropicais

FIGURA 29: Mapas de Ag absoluta (a) e Anomalia de Ag (b) no dia 25 de julho de 2019, as 00 UTC no nível de 200 hPa.

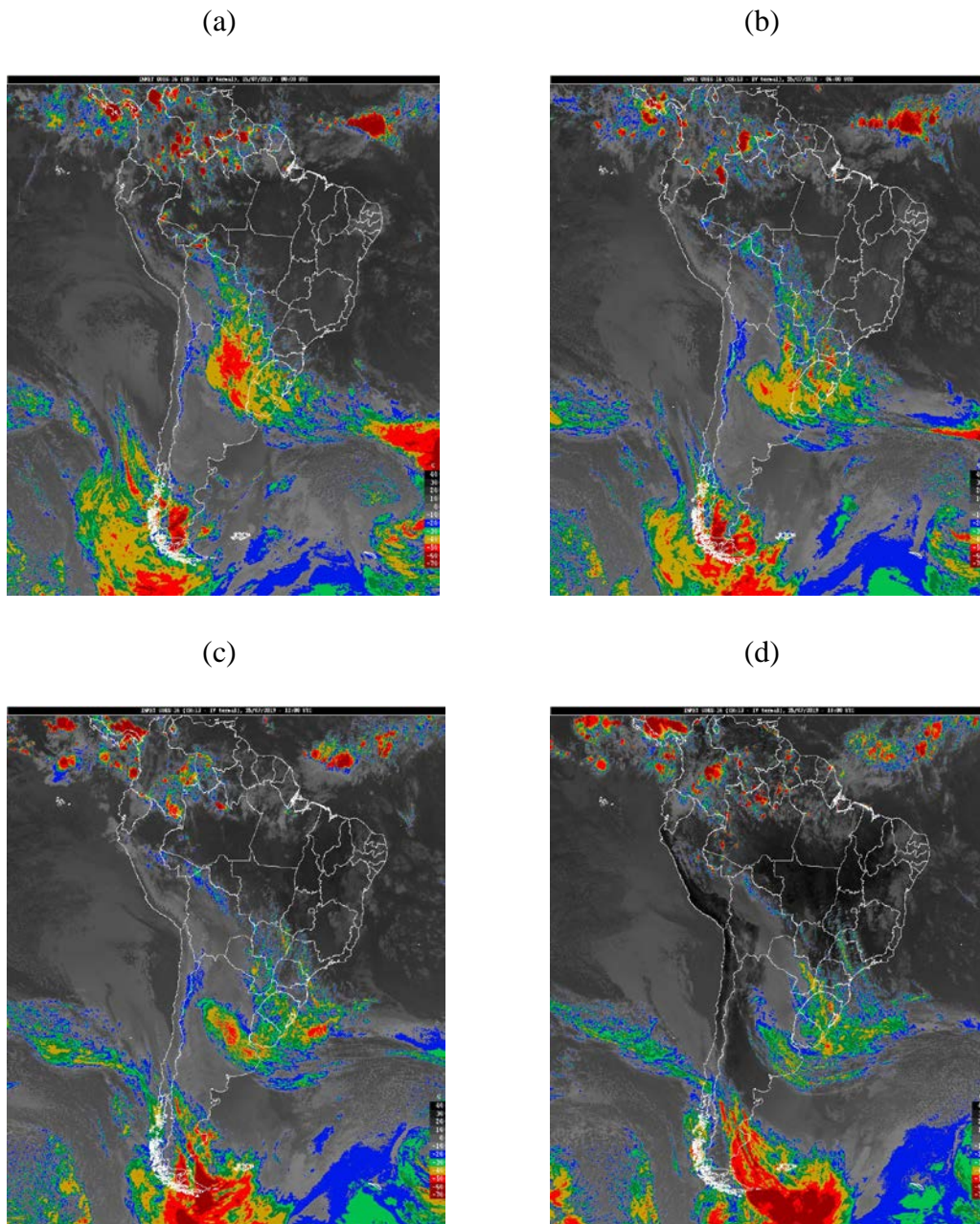


Fonte: Autoria própria, 2021

Nas imagens de satélite da figura 30, do dia 25 de julho de 2019 dos quatro horários sinóticos em UTC (00 (a), 06 (b), 12 (c) e 18 (d)). Nestas imagens podemos observar que há nebulosidade com topos quentes ao longo da CJNEB que se ligou com a CJSTHN através de um CAN.

Os fenômenos adversos ocorridos neste dia ocorreram ao longo da ligação da CJNEB, exceto nas estações de SBSL, SBTE e SBFZ. Nas demais estações na parte leste da CJ ocorreram fenômenos ao longo do dia, ou seja, entre os horários de 00 e 18 UTC.

FIGURA 30: Imagem de satélite no dia 25 de julho de 2019, as 00 UTC (a), 06:15 UTC (b), 12 UTC (c) e 18 (UTC).



Fonte: Autoria própria, 2021

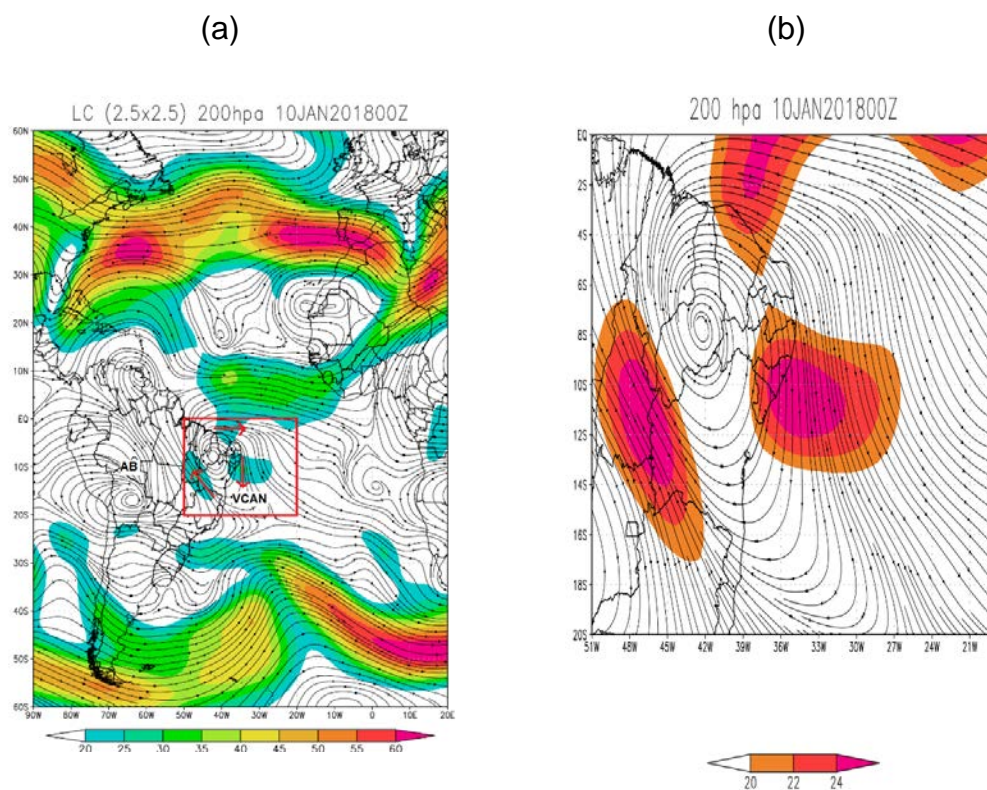
4.4.4. CJNEB com mais de um processo, evento raro.

As CJNEB podem ocorrer de forma isolada ou em conjunto com outros tipos de ligação entre os tipos de CJ. Neste mesmo dia podem ocorrer com dois tipos de processo de forma mais comum. Porém houve um caso com os três ao mesmo tempo, ou seja, um evento raro com um dia com os processos meridional, zonal e transversal.

Exemplo da análise do caso raro

Este evento é do Tipo I b, ou seja, uma CJNEB de sul entre a AB e VCAN, figura 31 a. O VCAN localiza-se sobre a área 2 entre o NEB e o oceano onde há duas CJNEB (dos processos transversal e meridional cada) uma ligação do tipo E. Então, na CJNEB de sudoeste tipo D (processo zonal). Na figura 31 b, pode-se observar que a velocidade do jato sobre o NEB atingiu núcleos com velocidade máxima de 24 m/s nas três CJNEB identificadas.

FIGURA 31: Mapa de linha de corrente do dia 10 de janeiro de 2018 as 00 UTC com as identificações das CJNEB e sua ligação na Área 1 (a) e Área 2 (b).



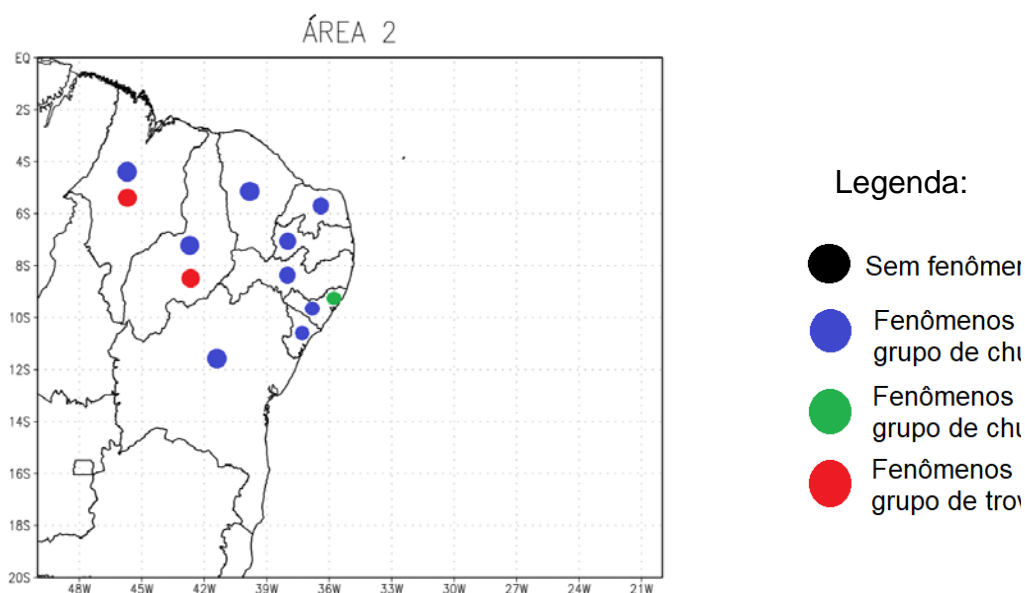
Fonte: Autoria própria, 2021.

Nesse caso raro, foram registrados doze tipos de fenômenos (BR, -RA, RA, RERA, RESHRA, SHRA, RETS, TS, TSRA, -TSRA, VCSH e VCTS) em todas as estações ocorreram pelo menos um fenômeno.

Os fenômenos que foram identificados estavam presentes na CJ de direção sudoeste, com entrada fria e saída quente. As estações e os fenômenos registrados são: SBMO: -RA, BR, VCSH; SBSV: VCSH; SBFZ: -RA, VCSH; SBSL: -RA, RERA, TSRA, -TSRA, TS,

VCTS, RETS; SBJP: -RA; SBRF: RA, -RA, RERA, SHRA, RESHRA, VCSH; SBTE: -RA, RERA, TS, TSRA, -TSRA, RETS; SBNT: VCSH e SBAR: -RA, VCSH, figura 32.

FIGURA 32: Mapa da posição das estações dos registros de fenômenos por grupos.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Na tabela 10, observa-se os posicionamentos das ocorrências das CJNEB e da CJNEB com ligação que foi verificada neste dia. Cada CJ ocorreu de direção diferente devido o giro do VCAN localizado sobre o NEB. A CJ com processo meridional ocorreu na direção norte, do processo transversal com direção sudeste e do processo zonal com direção oeste.

TABELA 10: Identificação de direção, entrada e saída dos processos meridional, transversal e zonal, que ocorreram no dia 10 de janeiro de 2018.

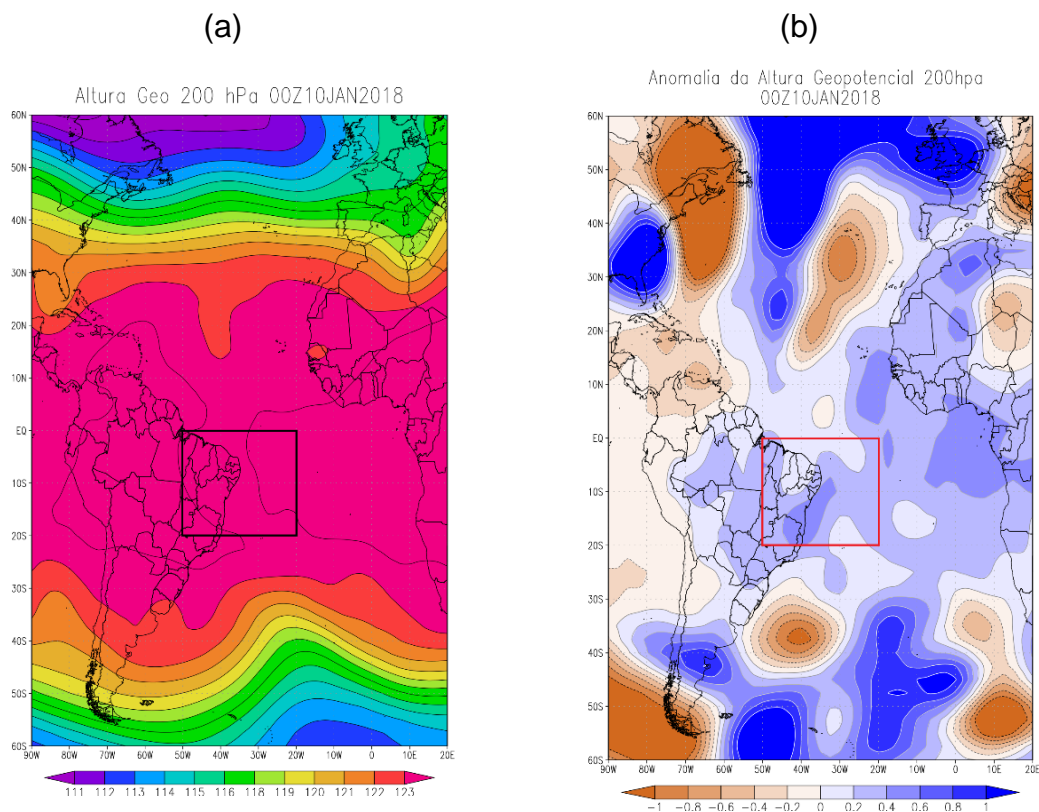
Meridional							
Datas		Direção		Entrada		Saída	
Dia	Mês	Norte ↓	Sul ↑	Fria ↑	Quente ↓	Quente ↑	Fria ↓
10	1	x	-	-	x	-	X
Transversal							
		Noroeste	Sudeste	Fria ↑	Quente ↓	Quente ↑	Fria ↓
10	1	-	x	x	-	x	-
Zonal							
		Leste ←	Oeste →	Fria ↑	Quente ↓	Quente ↑	Fria ↓
10	1	-	x	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria, 2021.

Na figura 33 ao mapa da altura geopotencial absoluta mostra as ondas nos dois hemisférios. Nenhuma das duas ondas chegam próximas da área 2, no HS o ponto máximo dela fica há 27°S e no HN fica há 15°N. Na região do NEB não é vista diferença nos valores de Ag, onde toda área fica sobre o valor máximo de 123 mgp.

No mapa da figura 33 b, a anomalia negativa da Ag é vista em toda a região da área 2 com valores de anomalias mais intensas na parte sul do NEB. Neste mesmo mapa, é possível observar que anomalia negativa são mais intensas nas regiões subtropicais e se estendem para as extratropicais estendidas ao longo de longitudes até o NEB.

FIGURA 33: Mapas de Ag absoluta (a) e Anomalia de Ag (b) no dia 10 de janeiro de 2018, as 00 UTC no nível de 200 hPa.



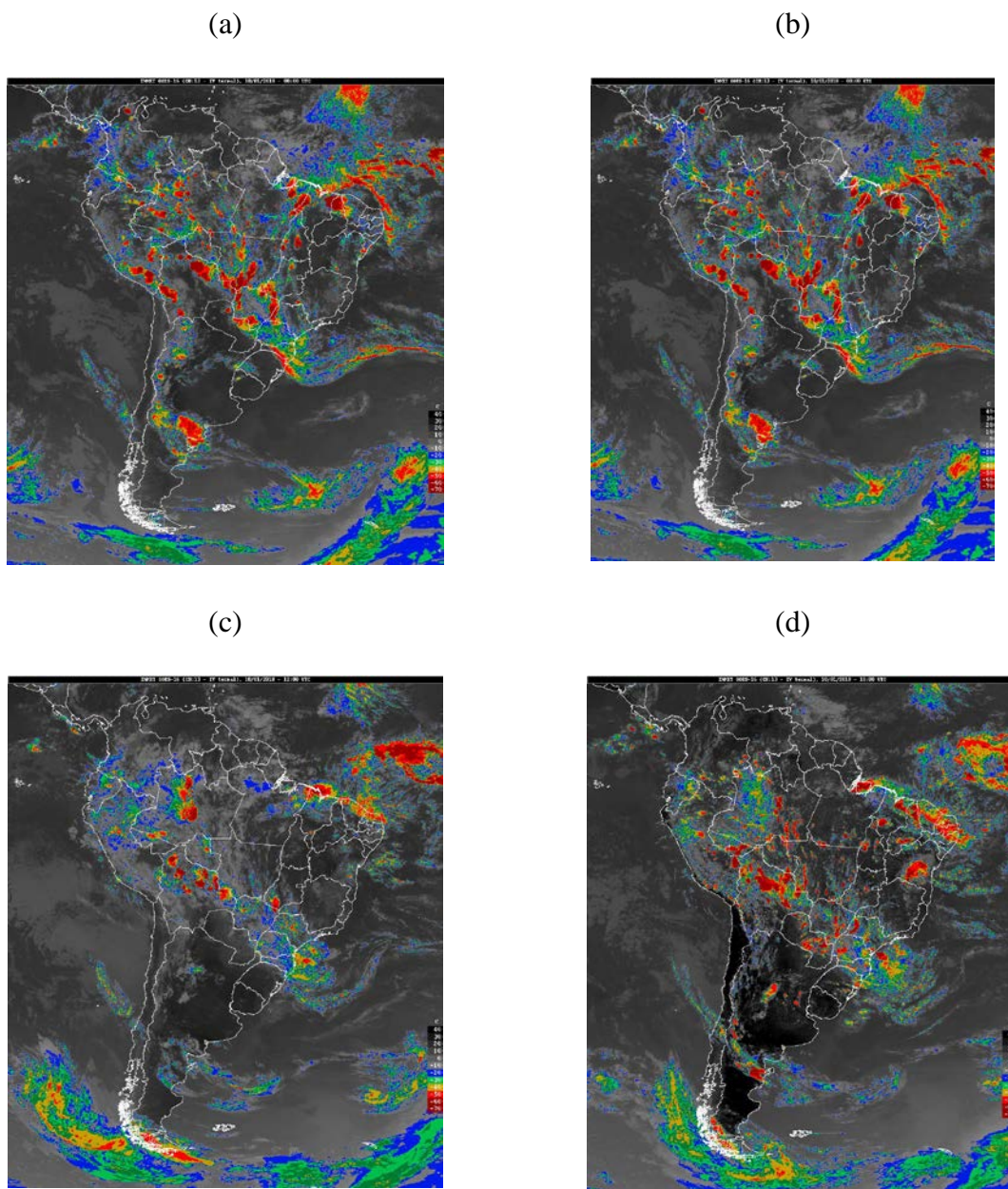
Fonte: Autoria própria, 2021.

Nas imagens de satélite da figura 34, do dia 10 de janeiro de 2018 dos quatro horários sinóticos (00 (a), 06 (b), 12 (c) e 18 (d)), nestas figuras podemos observar a nebulosidade típica da existência de um VCAN, no qual pode-se observar que há nebulosidade de células convectivas nos dois lados das CJ, então há nuvens em praticamente toda a borda do sistema, principalmente nas áreas onde foram identificadas as CJNEB e a ligação da CJNEB com a

CJSTHN e CJPHN, que foi dada com o processo zonal ocorrido na parte norte da circulação do VCAN.

Os fenômenos adversos ocorreram ao longo do dia, ou seja, entre os horários das imagens de satélite devido, as nuvens estarem com o desenvolvimento vertical grande, com topos com temperatura de -70°C . Neste evento, podemos observar que ocorreram fenômenos dos três grupos de fenômenos que foram identificados.

FIGURA 34: Imagem de satélite no dia 10 de janeiro de 2018, as 00 UTC (a), 06 UTC (b), 12 UTC (c) e 18 (UTC).

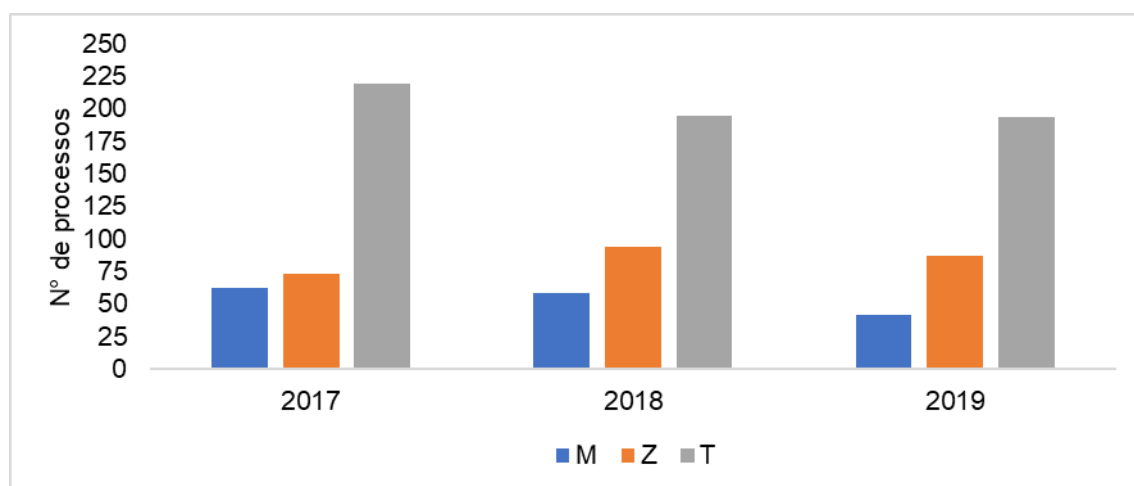


Fonte: Autoria própria, 2021

4.4.5. Comparação das CJNEB Meridional, Zonal e Transversal

Ao longo dos anos analisados, é possível observar que os processos possuem quantidade de ocorrências entre si e muito semelhantes a cada ano, figura 35. Em todos os anos, o processo meridional ocorreu em menor quantidade, que os demais processos, principalmente em 2019. O processo transversal foi o mais frequente, com valores entre 196 e 231 eventos, 2018 e 2017 respectivamente. Entre o mais e menos frequente, encontra-se o processo zonal cujas as ocorrências foram em 2017 com 73 eventos, 2018 com 94 eventos e 2019 com 97 eventos.

FIGURA 35: Comparação anual da ocorrência dos processos Meridional (M), Zonal (Z) e Transversal (T).



Fonte: Autoria própria, 2021.

5. CONCLUSÃO

As pesquisas sobre as CJNEB e as ligações dela com as demais correntes como a CJST e CJP entre os hemisférios norte e sul ainda são limitadas. As ligações entre os tipos de corrente de jato e suas ligações com a ocorrência de fenômenos adversos sobre NEB não foram analisados anteriormente. Análises sobre o tema são necessárias para previsão dos fenômenos adversos, para a segurança aérea e pode servir como base de consulta para futuros estudos.

*Nesta pesquisa foram identificadas as CJNEB e essa corrente com ligações no Hemisfério Sul foi observada mais frequentemente. As ligações foram quantificadas ao longo dos três anos analisados e a ligação mais frequente foi do tipo CJNEB + CJSTHS + CJPHS, a menos frequente foi do tipo CJNEB + CJSTHN + CJSTHS + CJPHN (esse tipo de ligação ocorreu somente em 2018).

Os fenômenos adversos registrados nos boletins do METAR foram verificados nos dias em que ocorreram as CJNEB isoladamente e com as ligações. Cada dia com evento pode ser observado de um a três tipos de ligações, dependendo do sistema meteorológico atuante. Dias com essas características, com três ligações, são mais raros e foi identificado somente um dia. Pode ser você quer dizer: Cada dia com evento pode ser observado de um a dois tipos de ligações, dependendo do sistema meteorológico atuante. Os três tipos de ligações em um dia foram identificados somente uma vez.

Os processos mais e menos frequentes foram o transversal e o meridional, respectivamente. O processo zonal em relação aos demais anos foi mais frequentes em 2019.

Nos processos meridionais, foram localizados sobre NEB mais frequente as seguintes regiões da CJNEB: lado frio da entrada e lado quente da saída. No processo transversal, as entradas quentes e saídas frias tiveram mais ocorrências. No processo zonal, são identificadas entradas e saídas das correntes, pois a direção delas podem ser de leste ou de oeste.

Ao longo dos anos os mais frequentes foram do grupo da chuva e no grupo de chuvisco a névoa úmida destacou-se com um número elevado de eventos. Os fenômenos mais raros nos três anos foram chuvisco forte (Salvador - Ba em 2018) e a névoa seca (Salvador – Ba e em João Pessoa- Pb, em 2017 e 2019 respectivamente). Não houve registro de granizo em nenhuma estação no período analisado.

Com a análise dos fenômenos por estação, foram identificados os fenômenos mais frequentes como chuva fraca, chuva fraca com trovoadas e a névoa úmida. No grupo da chuva em 2017 esse fenômeno foi mais frequente nas estações a leste do NEB, nos aeroportos de Natal - Rn, João Pessoa - Pb, Maceió - Al e Aracajú - Se. No grupo de trovoadas 2019 foi o ano que mais ocorreram (Fortaleza - Ce, Natal - RN, João Pessoa - Pb, Recife - Pe, Aracajú - Se e Salvador - Ba). Na análise do grupo de chuvisco, o maior número desse fenômeno ocorreu nas estações de Natal - Rn, João Pessoa - Pb, Maceió - Al, Aracajú - Se e Salvador - Ba. Nos três grupos o ano de 2018 foi o que houve menos registros desses fenômenos, São Luís - Ma e Teresina - Pi (grupo da chuva), Maceió - Al (grupo da trovoadas) e Teresina (grupo do chuvisco). A frequência dos fenômenos foi maior na estação de Recife - Pe com o processo transversal.

Os resultados desta pesquisa servirão como mais uma ferramenta para o auxílio da previsão do tempo e de fenômenos adversos com observação de CJNEB no nível de 200 hPa no horário de 00 UTC podem indicar a presença de fenômenos adversos que podem ocorrer ao longo do dia. Dos fenômenos mais frequentes, identificados em conjunto com as CJNEB isoladas ou CJNEB com ligações, a névoa úmida é o fenômeno que pode ser mais prejudicial à segurança aérea, pois podem acarretar atrasos de voos e atrapalhar a visibilidade da pista no pouso e na decolagem.

6. REFERENCIAS

AFONSO, J.M.S. **Análise de ocorrência de nevoeiros e dos resultados do modelo de previsão “PAFOG” em diferentes regiões climáticas do Brasil.** 2016. 237 f. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió 2016.

AHRENS, C. R. *Essential of Meteorologi – Na Invitation to the Atmosphere.* 3rd ed. CA, USA: Brooks/Cole, Pacific Grove, 2000.

ALLEN, J. T.; TIPPETT, M. K.; SOBEL, A. H. **An empirical model relating US monthly hail occurrence to large-scale meteorological environment.** Journal of Advances in Modeling Earth Systems, v.7 (1), p.226-243, 2015.

ALVES, J.M.B.; FERREIRA, N.S.; REPELLI, C.A. **Um estudo diagnóstico das características atmosféricas associadas à atuação de um vórtice ciclônico de altos níveis sobre o Atlântico Tropical Sul.** Revista brasileira de Meteorologia, v. 11, n. 1-2, p. 44-58, 1996.

ANAC (2009) RBAC 154: Projeto de aeródromos. Agencia Nacional de Aviação Cível de Brasília – DF.

ANTÔNIO, M.A.V. **Ligação da corrente de jato no Nordeste brasileiro com vórtice ciclônico de altos níveis.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, 2018.

ARAGÃO, J. O. **Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1975.

ARAGÃO, J.O. **Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil.** Dissertação de mestrado em meteorologia. (INMPE-789-TPT/017), São José dos Campos, INPE, 1976.

AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos.** 5. Ed. Rio de Janeiro. Bertrans Brasil.1998.

BEEBE, R.G.; BATES, F.C. **A mechanism for assisting for assisting in the release of convective instability.** Monther review, v.83, n. 11, p1-10, Jul. 1955

BLUESTEIN, H. B. **Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes. Volume II: observations and theory of weather systems.** New York: Oxford University Press, p594, 1993.

BRITO, B.M.; LEVIT, V.; FEDORAVA, N.; MOLION, L.C.B.; TENÓRIO, R.S.; RODRIGUES, R.N. & Silva, B.F.P. 2011. Análise do comportamento das trovoadas no Estado de Alagoas, previsão a curto prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 26(2): 243-256.

CABRAL, E. *Meteorologia Aeronáutica. Introdução à Meteorologia Aeronáutica*, 17 de maio de 2006.

CAMPOS, A. M.V. **Correntes De Jato próximo do Nordeste Brasileiro e fenômenos meteorológicos associados.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió 2005.

CAMPOS, A. M. V.; FEDOROVA, N. **Corrente de jato do nordeste brasileiro. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006**, Florianópolis. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006.

CAMPOS, A. M. V. **Modelos conceituais de formação da Corrente de Jato no Nordeste Brasileiro.** 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2010.

CARLSON, T.N. *Mind-latitude weather systems.* London: Haper Collins Academic, 1991.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes frias sobre o Brasil. In: Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J.; Justi da Silva, M. G. A.; Silva Dias, M. A. F. (Eds.) *Tempo e clima no Brasil.* São Paulo, Oficina de Textos. 2009. p.133-148.

CAVALCANTE, Lucas Carvalho Vieira. **Influência dos ciclones tropicais na formação dos fenômenos adversos no nordeste brasileiro entre 2013 e 2015.** 2019. 150 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

CHU, P. S., 1985. A contribution to the upper-air climatology of tropical South America. **Journal of Climatology**. Vol. 5, 403-416.

COSTA, M.S.C. **Vórtice ciclônico de altos níveis associados à corrente de jato do nordeste brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal De Alagoas (UFAL), Maceió, 2010.

COSTA, M.S.; LEVIT, V.; FEDOROVA, N. Padrões de circulação atmosférica no nordeste brasileiro dos eventos de vórtices ciclônico de altos níveis com correntes de jato. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, p. 794-804, 2013.

COSTA, R.L.; SOUZA, E.P.; SILVA, F.D.S. Aplicação de uma teoria termodinâmica no estudo de um vórtice ciclônico de altos níveis sobre o nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n.1, p. 96-104, 2014.

COTTON, W. R., ANTHES, R. A. (1989). **Storm and Cloud Dynamics**. Academic Press, San Diego.

COUTINHO, M. D. L. **Vórtice ciclônico de altos níveis no nordeste do Brasil: estudo observacional e numérico**. Tese (Doutorado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016.

CPTEC –Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Glossário Técnico CPTEC. 2017. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml>. Acesso em: 04 jun. 2017.

CURRY, J. A., WEBSTER, P. J. (1998). **Thermodynamics of atmospheres and oceans**, vol 65. Academic Press.

DOSWELL, C.A.; SCHAEFER, J.T. **On the Relationship of Cirrus Clouds to the Jet Stream**. Monthly Weather Review, v. 104, p. 105–106, 1976.

FARNELL, C.; RIGO, T.; PINEDA, N. **Lightning jump as a nowcast predictor: Application to severe weather events in Catalonia**. **Atmospheric Research**, v.183, p.130-141, 2017.

FEDOROVA, N; FEDOROV, D. **Formação de vórtice no campo de nebulosidade sobre a América do Sul. Parte II. A corrente de jato, as correntes de ar e a formação do vórtice ciclônico.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, 1998. Brasília, DF, CONGRESSO DA FEDERAÇÃO LATINO-AMERICANA E IBÉRICA DE SOCIEDADES DE METEOROLOGIA, 8., 1998, Brasília, DF. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia. 1 CD-ROM. 1998.

FEDOROVA, N. **Meteorologia Sinótica. Volume 1.** Pelotas. Universidade Federal de Pelotas. Editora Universitária, 1999. V.1,p.242.

FEDOROVA, N. **Meteorologia sinótica. Volume 2** Pelotas: Ed. Universitária da Universidade Federal de Pelotas. 2001. V. 2.

FEDOROVA, N.2008. **Sinotica III: Frentes, Correntes de Jato, Ciclones e Anticiclones. (Synoptic III: Fronts, jet streams, Lows, Highs)** Maceió, Brazil: Ed.Universitária/UFAL, 192 f, 2008.

FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; SILVEIRA, M. H. S.; SILVA, B. F. P.; AMIRANASHVILI, A. G. Mesoscale Convective Complexes on the Northeastern Coast of Brazil. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, v.13, p.36-49, 2009.

FEDOROVA, N.; LEVIT, V. & CRUZ, C.D. 2016. **On Frontal Zone Analysis in the Tropical Region of the Northeast Brazil.** *Pure and Applied Geophysics*, 173: 1403–1421.

FEDOROVA, N; LEVIT, V. FOG IN THE TROPICAL REGIOEN. **Fog formation in the tropical region of the northeast of Brazil.** LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken, Germany. 82 f, 2016.

FEDOROVA, NATALIA; LEVIT, VLADIMIR; CAMPOS, ANTONIO MARCOS VIANNA. Brazilian Northeast Jet Stream: frequency, wind speed and direction. **METEOROLOGICAL APPLICATIONS**, v. 25, p. 254-260, 2018a.

FEDOROVA, NATALIA; LEVIT, VLADIMIR; CAMPOS, ANTONIO MARCOS VIANNA. Brazilian Northeast Jet Stream: association with synoptic scale systems. **METEOROLOGICAL APPLICATIONS**, v. 25, p. 261-268, 2018b.

FRANK, N. L. On the energetics of cold lows. Proceedings of the Symposium on Tropical Meteorology. **American Meteorological Society**, EIV q – EIV 6, June 1970

FU, G.; YU, J.; YU, X.; OUYANG, R.; ZHANG, Y.; WANG, P.; LIU, W. & MIN, L. 2013. **Temporal variation of extreme rainfall events** in China, 1961–2009. *Journal of Hydrology*, 487: 48–59.

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico sul e leste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1982.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E: **Vórtices ciclônicos da alta troposfera no Oceano Atlântico Sul**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 1, n. 92, p. 19-28, 1986.

GOMES, H. B. **Estudo da Corrente de Jato próximo do Estado de Alagoas**. 2003. 113 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, 2003.

GOMES, H.B.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V. **Rate Events of Stratus Clouds on the Northeast Coast of Brazil**. *Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)* , v. 26, 26.9-18, 2011.

GREAT BRITAIN. METEOROLOGICAL OFFICE. *Handbook of aviation meteorology*. 3. ED. London: HMSO. 401p, 1994. ISBN: 0112003653.

HASTENRANTH, S: **Climate dynamics of the tropics**. Updated ed. From *Climate and Circulation of the tropics*. Kluwer Academic Publishers. 488p. 1992. 1990

HOSKINS, B. J., HSU, H. H., JAMES. I. N., MASUTANI, M., SARDESHMUKH, P. D., WHITE, G. H., 1989. *Diagnostics of the Global Atmospheric Circulation. Based on ECMWF analyses 1979-1989*. University of Reading. Department of Meteorology. UGAMP Technical Report No 7. pp217.

HOLTON, J.R. **Introdução à Meteorologia dinâmica. Edição traduzida**. P. 391. 1979.

INMET. *Manual e observações meteorológicas*. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília, 3, 1999.