



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIENCIAS ATMOSFÉRICAS - ICAT
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DE METEOROLOGIA

MATHEUS HENRIQUE DE FREITAS LEITE

**INFLUÊNCIA DAS CORRENTES DE JATO GLOBAIS NA FORMAÇÃO DE JATO NO
NORDESTE BRASILEIRO**

MACEIÓ
SETEMBRO - 2022

MATHEUS HENRIQUE DE FREITAS LEITE

**INFLUÊNCIA DAS CORRENTES DE JATO GLOBAIS NA FORMAÇÃO DE JATO 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.

Orientador: Prof.^a Dra. Natalia Fedorova

**MACEIÓ
SETEMBRO – 2022**

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

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

- L533i Leite, Matheus Henrique de Freitas.
Influência das correntes de jato globais na formação de jato no nordeste brasileiro / Matheus Henrique de Freitas Leite. – 2022.
63 f. : il.
- Orientadora: Natalia Fedorova.
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2022.
- Bibliografia: f. 60-63.
1. Correntes de jato (Meteorologia) - Brasil, Nordeste. 2. Circulação atmosférica - Hemisfério norte - Hemisfério sul. I. Título.

CDU: 551.55(812/813)

A Deus.

Aos meus pais, razão de minha existência.

Os meus avós, pelo suporte e amor.

*Ao meu grande amor, pelo apoio e paciência
nessa caminhada*

*Aos meus caros amigos de classe, pela
confiança nos últimos 2 anos*

*Aos meus parceiros do laboratório de sinótica
pela ajuda direta ou indireta na conclusão
deste trabalho, em especial, a Renata.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Neste período tão atormentador e nefasto para a humanidade, agradeço infinitamente a Deus pelo dom da vida.

Sou grato pelo amor que recebo de toda a família, de minha amada mãe Lauracy, de meu querido pai Marcio. Muito obrigado, vovó Socorro, vovô Camelo e vovó Roze. Por toda paciência e profundo apoio nos dias em que precisei me ausentar em dias importantes para nós.

Aos professores do instituto que tive a honra de ser aluno, agradeço o empenho de vocês para que eu possa ser um profissional capacitado. Em especial aos professores Rosiberto e Francisco Junior, pelo apoio e conversas. Gratidão!

Aos professores Natália e Vladmir, meus orientadores, que são pessoas que tanto me inspiram como profissional. Obrigado 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. Gratidão sem fim a Renata, Walter, Maria, Milano, Iara, Helen dentre outros amigos que são minha família que a universidade me deu de coração, vocês que em momentos em que precisei me deram socorro e companhia.

Agradeço também aos Professores: Heliofábio Gomes e o Henrique Repinaldo que aceitaram ao convite de participarem desta banca, com contribuições essenciais para que eu finalize da melhor forma minha pesquisa.

RESUMO

A corrente de jato do Nordeste brasileiro (CJNEB), reconhecida internacionalmente em 2017, está localizada entre 0°S e 20° S com velocidade maior que 20m/s. A CJNEB é um mecanismo de interação e circulações entre os hemisférios, mas ainda são pouco estudadas. O objetivo desse estudo é analisar e classificar como as circulações globais se comportam durante as interações com a CJNEB. Foram utilizadas três áreas de estudo: área I inclui a AS (70° N - 70°S e 0-90°W); áreas 2 e 3 englobam o todo o planeta entre as latitudes 70-30°S a 70-30°N para dois hemisférios, respectivamente. Os dados utilizados os anos de 2018 a 2020 foram: 1) dados de reanálise do NCEP/NCAR, com resolução horizontal de 2,5 °x2,5° e 17 níveis de pressão (entre 1000hPa e 100hPa); 2) imagens do satélite gradeada nos canais infravermelho e vapor d'água do GIBBS (Global ISCCP B1). A CJNEB foi identificada pela sua localização e dos ventos acima de 20 m/s no nível 200 hPa. Os eventos de ligações inter-hemisféricas foram escolhidos: (a) através de avanços das CJSTHN para latitudes 0- 5°N e (b) existência da ligação com a CJNEB. Foram totalizadas 671 ocorrências de avanços (a), que resultaram em 266 ocorrências de ligações (b). As ligações com duração de um e mais dias foram analisados detalhadamente de momento formação até dissipação, totalizando 16 casos. Estes casos foram classificados através das Ligações Completas (LC; quando há interação da CJSTHN+CJNEB+CJSTHS) e incompletas (LI; quando há apenas interação da CJSTHN+CJNEB). As LI de norte (14 eventos) são as mais comuns com duração de 1 até 13 dias. Os processos zonal e meridional foram associados aos 1) número de núcleos de anomalia da altura geopotencial (núcleos) e 2) famílias de ciclones baroclínicos nas imagens de satélite (famílias). A forma da corrente do HN sempre foi meridional e do HS geralmente mudou-se de zonal para meridional. O número de núcleos/famílias são de 5/6 no HS enquanto no HN podem atingir 6/7, ou seja, no HN a circulação meridional foi mais intensa, do que no HS. Os VCANs e cristas do AB observados tiveram forte influência nas ligações. Elaborados os modelos conceituais, os quais mostram as condições da formação de ligações entre os hemisférios. Estes resultados poderão ser utilizados na prática operacional para a previsão de processos meridionais com influência da circulação do HN para HS.

Palavras-Chaves: Corrente de Jato do Nordeste brasileiro; Circulações entre hemisférios; Processos Meridionais e Zonais

ABSTRACT

The Brazilian Northeast jet stream (CJNEB), internationally recognized in 2017, is located between 0°S and 20°S with a speed greater than 20m/s. CJNEB is a mechanism of interaction and circulation between the hemispheres, but they are still poorly studied. The aim of this study is to analyze and classify how global circulation behave during interaction with CJNEB. Three study areas were used: area I includes AS (70°N - 70°S and 0-90°W); Areas 2 and 3 encompass the entire planet between latitudes 70-30°S to 70-30°N for two hemispheres, respectively. The data used for the years 2018 to 2020 were: 1) NCEP/NCAR reanalysis data, with horizontal resolution of 2.5 °x2.5° and 17 pressure levels (between 1000hPa - 100hPa); 2) satellite images gridded in the infrared and water vapor channels of the GIBBS (Global ISCCP B1). CJNEB was identified by its location and winds velocity above 20 m/s at the 200 hPa level. The events of inter-hemispheric linkages were chosen: (a) through advancement of the CJSTHN to latitudes 0-5°N and (b) the existence of the link with the CJNEB. There was a total of 671 occurrences of advances (a), which resulted in 266 occurrences of connections (b). Connections lasting one and more days (16 events) were analyzed in detail from formation to dissipation. These events were classified as Complete (LC) and Incomplete (LI) Bindings: 1) when CJSTHN (CJSTHS) together with CJNEB enters HS (HN) but does not join CJSTHS (CJSTHN) (LI) and 2) when CJSTHN (CJSTHS) with CJNEB enters HS (HN) and joins with CJSTHS (CJSTHN) (LC). North's incomplete bindings (14 events) are the most common with a duration of 1 to 13 days. Zonal and meridional processes were identified by 1) number of geopotential height anomaly nuclei (nuclei) and 2) families of baroclinic cyclones in satellite images (families). The shape of the H N current has always been meridional and the HS has generally changed from zonal to meridional. The number of nuclei/families is 5/6 in the HS while in the HN they can reach 6/7, that is, the southern circulation in the HN was more intense than in the HS. Upper Tropospheric Cyclonic Vortex and Trough of Bolivian High had a strong influence on the interhemispheric connection. Conceptual models, which show the conditions for the interhemispheric connection, were elaborated. These results will be used in operational practice to forecast meridional processes influenced by the circulation from HN to HS.

Keywords: Northeast Brazilian Jet Current; Circulations between hemispheres; Zonal and Meridional Processes

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Representação da localização das CJ entre as células de circulação global, para hemisfério norte.....	17
FIGURA 2 – (a) Secção Transversal da CJ e uma Frente, Linhas contínuas: Isotermas(°C); Cores: Isotacas (nós); (b) Esquemática da posição da CJ entre as massas de ar quente (MQ) e frio (MF)	18
FIGURA 3 - Representação esquemática do eixo da CJ: linhas tracejadas em preto são isotacas em m/; em tracejado branco os NVM; seta preta indica a direção de propagação.....	19
FIGURA 4 – (A) Circulação Transversal Direta, entrada do jato; (B) Esquemática do movimento ageostrófica na entrada e saída da CJ, para HS; (C) Circulação Transversal Indireta, saída do jato.	20
FIGURA 5 – Modelo conceitual da circulação transversal na entrada e saída da CJ com curvatura (A) ciclônica e (B) anticyclônica para HN.....	20
FIGURA 6 – Modelo representativo de correntes meridionais (vermelho) e zonais (azul).....	21
FIGURA 7 – Exemplo de CJNEB entre AB e VCAN, no dia 21/01/1992. Linhas de corrente e magnitude (colorido, m/s) em 200 hPA.	22
FIGURA 8- Conceitos da localização da CJNEB tipo 1, (a) Configuração: 1-A, (b) Configuração: 1-B.	23
FIGURA 9 - Conceitos da localização da CJNEB tipo 1, (a) Configuração: 2-A, (b) Configuração: 2-B.	24
FIGURA 10 - Conceito da localização da CJNEB tipo3.....	24
FIGURA 11 - Processos de formação dos VCAN: (a)Clássica, (b)Africana I, (c)AFRICANA II e (d)Alta.....	26
FIGURA 12 - Estrutura vertical do VCAN.....	26
FIGURA 13 – (a) Variação anual da localização da AB. (b) Perfil Vertical	27
FIGURA 14 - Área de estudo, para análise dos fluxos da CJ do HN (Verde), do HS (Azul) e ligações inter-hemisféricas (vermelho).	29
FIGURA 15 - Modelo conceitual das ligações entre CJSTHN, CJSTHS e CJNEB de norte: (a) incompleta e (b) completa.	31

FIGURA 16 - Modelo conceitual das ligações entre CJSTHN, CJSTHS e CJNEB de sul: (a) incompleta e (b) completa.	32
FIGURA 17 - Exemplo de um campo de altura geopotencial, no nível 20hPa. unidade em km	33
FIGURA 18 - Exemplo do campo de aAg no nível 20hPa. unidade em km.....	34
FIGURA 19 - Exemplo de contagem dos núcleos negativos no nível 20hPa, unidade em km, para hemisfério sul (esquerda) e hemisfério norte (direita).....	34
FIGURA 20 – Exemplo de imagem de satélite global, canal 6,7 μm	35
FIGURA 21 – Gráficos com ocorrências diárias de avanços da corrente de jato do hemisfério norte (A) e sua ligação com a CJNEB (B).....	37
FIGURA 22 – Linhas de correntes e Magnitude do vento em 200hPa. (a) LIN, (b) início da LCS, (c) enfraquecimento da LCS e (d) Religação da LCS. CJNEB (Seta Preta), CJSTHN (Seta Verde). CJSTHS (Seta Azul), Alta da Bolívia (AB), Crista (Pontilhado Vermelho), Vórtices Ciclônicos Altos Níveis (VCAN), cavado (Tracejado Azul) e Rompimento (traço roxo).....	41
FIGURA 23 – Anomalia da Altura Geopotencial para as datas do caso 2: (a) 21/01/2018, (b) 24/01/2018, (c) 25/01/2018, (d) 29/01/2018. Número de núcleos negativos, na cor verde e amarelo, respectivamente, para os HN e HS	42
FIGURA 24– Imagens de Satélite (canal WV) com a sinalização das famílias dos ciclones para as datas do caso 2: (a) 21/01/2018, (b) 24/01/2018, (c) 25/01/2018, (d) 29/01/2018.	43
FIGURA 25 – Linhas de correntes e Magnitude do vento em 200hPa. (a) interação da CJNEB com a CJSTHS, (b) LCS, (c) rompimento da LCS e (d) Dissipação da LIS. CJNEB (Seta Preta), CJSTHN (Seta Verde). CJSTHS (Seta Azul), Alta da Bolívia (AB), Crista (Pontilhado Vermelho), Vórtices Ciclônicos Altos Níveis (VCAN), cavado (Tracejado Azul).	45
FIGURA 26 – Anomalia da Altura Geopotencial para as datas do caso 6: (a) 02/12/2018, (b) 03/12/2018, (c) 04/12/2018, (d) 05/12/2018. Número de núcleos negativos, na cor verde e amarelo, respectivamente, para os HN e HS	46
FIGURA 27 – Imagens de Satélite (canal WV) com a sinalização das famílias dos ciclones para as datas do caso 6: (a) 02/12/2018, (b) 03/12/2018, (c) 04/12/2018, (d) 05/12/2018.	47
FIGURA 28 – Linhas de correntes e Magnitude do vento em 200hPa. (a) interação da CJNEB com a CJSTHS, (b) LIS, (c) bloqueio na LCS, (d) Dissipação da LIS, (e) intensificação do fluxo	

meridional no HN, (f) Fluxo meridional no HS com um “dual cut-off” no HS e (g) dissipação dos sistemas. CJNEB (Seta Preta), CJSTHN (Seta Verde). CJSTHS (Seta Azul), Alta da Bolívia (AB), Crista (Pontilhado Vermelho), Vórtices Ciclônicos Altos Níveis (VCAN), cavado (Tracejado Azul), Tropicó 20°S (linha vermelha). 49

FIGURA 29 – Anomalia da Altura Geopotencial para as datas do caso 6: (a) 23/01/2019, (b) 25/01/2019, (c) 29/01/2019, (d) 01/02/2019. Número de núcleos negativos, na cor verde e amarelo, respectivamente, para os HN e HS 50

FIGURA 30 – Imagens de Satélite (canal WV) com a sinalização das famílias dos ciclones para as datas do caso 9: (a) 23/01/2019, (b) 25/01/2019, (c) 29/01/2019, (d) 01/02/2019. 51

FIGURA 31 – Linhas de correntes e Magnitude do vento em 200hPa. (a) formação da CJNEB (b) início da LIN, (c) LIN, (d) Início da dissipação da LIN. CJNEB (Seta Preta), CJSTHN (Seta Verde). CJSTHS (Seta Azul), Alta da Bolívia (AB), Crista (Pontilhado Vermelho), Vórtices Ciclônicos Altos Níveis (VCAN), cavado (Tracejado Azul). 53

FIGURA 32 – Anomalia da Altura Geopotencial para as datas do caso 6: (a) 23/01/2019, (b) 25/01/2019, (c) 29/01/2019, (d) 01/02/2019. Número de núcleos negativos, na cor verde e amarelo, respectivamente, para os HN e HS 54

FIGURA 33 – Imagens de Satélite (canal WV) com a sinalização das famílias dos ciclones para as datas do caso 13: (a) 01/02/2019, (b) 02/02/2020, (c) 03/02/2020, (d) 05/02/2020. 55

FIGURA 34 – Modelo conceitual corrigido; (a) LCN, (b) LIN, (c) LCS e (d) LIS..... 57

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Exemplo de contagem dos casos de ligação inter-hemisférica das CJSTHN e CJNEB, no horário UTC. A- Quando houve o avanço da CJSTHN; B – Quando teve uma interação da CJSTHN com a CJNEB	30
QUADRO 2 - Variáveis utilizadas no trabalho	32
QUADRO 3 - Exemplo de preenchimento de para cada caso encontrado. Classificação: maiúsculas, ligação de norte (N) e ligação de sul (S). Subclassificação: minúsculas, Ligação incompleta (i) e ligação completa (c); Forma: Zonal (Z) e meridional (M).....	35
QUADRO 4 – Casos ligações entre CJSTHN e CJNEB com data inicial e final, hora inicial e final e a duração (em dias) identificados para os anos de 2018, 2019 e 2020.....	38
QUADRO 5 –Casos classificados de acordo com as ligações de norte ou sul, completas ou incompletas. Os números são os números de casos do quadro 1.	39
QUADRO 6 – Resultados gerais dos casos analisados. Classificação: maiúsculas, ligação de norte (N) e ligação de sul (S). Subclassificação: minúsculas, Ligação incompleta (i) e ligação completa (c); Forma: Zonal (Z) e meridional (M).....	40
QUADRO 7 – Resultados das análises do caso 2, para ambos os hemisférios: Classificação: maiúsculas, ligação de norte (N) e ligação de sul (S). Subclassificação: minúsculas, Ligação incompleta (i) e ligação completa (c); Forma: Zonal (Z) e meridional (M).....	44
QUADRO 8 – Resultados das análises do caso 6, para ambos os hemisférios: Classificação: maiúsculas, ligação de norte (N) e ligação de sul (S). Subclassificação: minúsculas, Ligação incompleta (i) e ligação completa (c); Forma: Zonal (Z) e meridional (M).....	48
QUADRO 9 – Resultados das análises do caso 6, para ambos os hemisférios: Classificação: maiúsculas, ligação de norte (N) e ligação de sul (S). Subclassificação: minúsculas, Ligação incompleta (i) e ligação completa (c); Forma: Zonal (Z) e meridional (M).....	52
QUADRO 10 – Resultados das análises do caso 2, para ambos os hemisférios: Classificação: maiúsculas, ligação de norte (N) e ligação de sul (S). Subclassificação: minúsculas, Ligação incompleta (i) e ligação completa (c); Forma: Zonal (Z) e meridional (M).....	56

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

AB – Alta da Bolívia

ASAS - Alta Subtropical do Atlântico Sul

AS – América do Sul

CAN – Cavado em Altos Níveis

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

GIBBS - Global ISCCP B1 Browse System

GrADS – Grid Analysis and Display System

HN – Hemisfério Norte

hPa – HectoPascal

HS - Hemisfério Sul

IR – Infravermelho

km – Quilômetros

LC – Ligação completa

LCN – Ligação completa de Norte

LCS – Ligação completa de Sul

LI – Ligação Incompleta

LIN – Ligação incompleta de Norte

LIS – Ligação incompleta de Sul

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

UTC – Tempo Universal Coordenado

VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

W – Oeste

Z – Zonal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Correntes de jato – CJ	17
2.1.1	Corrente de jato subtropical – CJST	18
2.1.2	Corrente de jato polar – CJP	18
2.1.3	Jet Streaks	19
2.1.4	Circulação transversal	19
2.1.5	Fluxo zonal e meridional	20
2.1.6	Corrente de jato do nordeste brasileiro – CJNEB	21
2.2	Vórtices ciclônicos de altos níveis – VCAN	25
2.2.1	Processo de formação	25
2.2.2	Estrutura vertical	26
2.3	ALTA DA BOLÍVIA – AB	27
3	MATERIAIS	28
3.1	Dados utilizados	28
3.2	Ferramenta utilizadas	28
4	METODOLOGIA	29
4.1	Área e período de estudo	29
4.2	Identificação das ligações entre CJHS, HN e CJNEB	29
4.3	Classificação das ligações de cjneb	30
4.3.1	Ligações de norte	30
4.3.2	Ligações de sul	31
4.4	Análise das correntes ao longo dos hemisférios	32
4.4.1	Identificação do fluxo em altos níveis	33
4.4.2	Identificação das famílias de ciclones por imagens de satélite	35
4.4.3	Organização dos dados identificados	35

4.4.4	Campos Sinóticos complementares	36
4.4.4.1	Linhas de Corrente (LC)	36
4.4.4.2	Espessura ($\delta\Phi$)	36
4.4.4.3	Vorticidade relativa (ζ)	36
5	RESULTADOS	37
5.1	Identificação das ligações entre CJHS, HN e CJNEB	37
5.2	Classificação das ligações de CJNEB	38
5.3	Análise das correntes ao longo dos hemisférios	39
5.3.1	Análise geral de casos	39
5.3.2	Análise detalhada das correntes nos tipos de ligação	40
5.3.2.1	Caso 2 de 21/01/2018 18:00 UTC à 29/01/2018 18:00 UTC	40
5.3.2.2	Caso 6: de 03/12/2018 18:00 UTC à 05/12/2018 00:00 UTC	44
5.3.2.3	Caso 9: de 22/01/2019 06:00 UTC à 03/02/2019 00:00 UTC	48
5.3.2.4	Caso 13: de 01/02/2020 12:00 UTC à 05/02/2020 12:00 UTC	52
5.3.3	Modelo conceitual das correntes e suas ligações	56
6	CONCLUSÕES	58
7	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Em estudos recentes foi encontrado e documentado um novo sistema de escala sinótica, que atua próximo aos trópicos entre os paralelos 20°S e 0°, sistematicamente batizado de Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB), devido a sua proximidade ao nordeste do Brasil. Tal corrente está geralmente localizada na tropopausa tropical, em 200 hPa e menos intensa que uma CJ tradicional, com velocidade superior a 20 m/s (GOMES, 2003; FEDOROVA *et. al.*, 2017a).

Virji (1981) observou os mesmos ventos fortes na periferia da Alta da Bolívia, entretanto não os estudou com profundidade. Gomes documentou, em 2003, a ocorrência dessas correntes ao longo do ano, com maior frequência e desenvolvimento nos meses de inverno.

Eventos de ligações da CJNEB e as Corrente de Jato Subtropicais do Hemisfério Sul (CJSTHS) e Hemisfério Norte (CJSTHN), foram registrados por Repinaldo (2010, 2020) e Costa (2010), onde foi observado a influência de Vórtices ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) ou cavados em altos níveis (CAN). As ligações da CJNEB foram amplamente estudadas por Vaz (2014), que concluiu que as ligações também ocorrem na presença das Correntes de Jato polares do HS (CJPHS) e HN (CJPHN).

A CJNEB é um dos principais sistemas relacionados com precipitações intensas no estado de Alagoas (PONTES DA SILVA *et. al.*, 2011). Sendo um dos sistemas com grande papel no regime de chuvas e fenômenos adversos no Nordeste Brasileiro (NEB) ao longo do verão austral, o VCAN, é o principal causador de chuvas em suas periferias, além de contribuir para um verão seco quando localizado sobre o NEB (PONTES DA SILVA *et. al.*, 2011). Gomes (2003) observou que casos de CJNEB estavam associados a VCAN, mais tarde em suas pesquisas Repinaldo (2010, 2020) tomou conhecimento que mais da metade de todos os VCAN estudados, estavam relacionados com a CJNEB.

A CJNEB teve reconhecimento internacional após um estudo da frequência, velocidade e direção dos ventos, entre os anos de 1994 e 2009 (FEDOROVA *et. al.*, 2017a) e da sua localização relacionada com outros sistemas de escala sinótica (FEDOROVA *et. al.* 2017b). Leite (2020) estudou as ligações da CJNEB e CJSTHN e desenvolveu uma classificação para cada tipo de ligação. Santos (2021) estudou as ligações e suas influências no desenvolvimento de fenômenos adversos em todo o NEB.

De acordo com as afirmações supracitadas, pode ser concluído que sobre a CJNEB e suas ligações ainda têm poucos estudos. Por isso, o objetivo geral do trabalho é estudar as ligações inter-hemisféricas da CJNEB afim de obter informações relevantes sobre a mesma que

venham melhorar na previsão de fenômenos adversos. Dentre os objetivos específicos podemos citar:

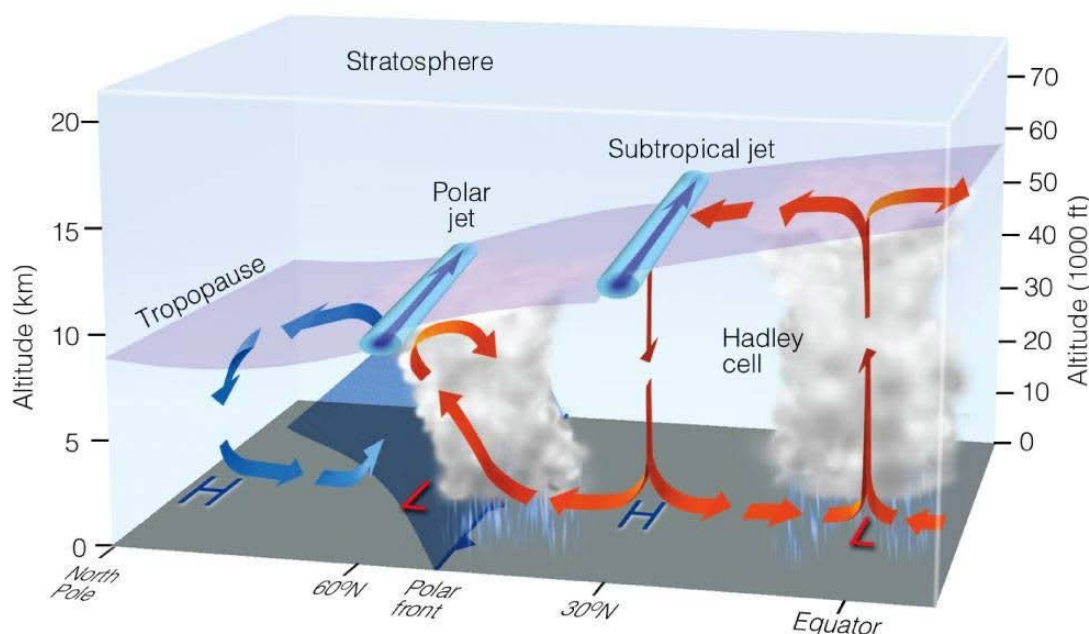
- Analisar a formação da CJNEB e das ligações com as CJST e CJP de ambos os hemisférios e a nível global;
- Aplicar a categorização proposta por Leite (2020) dos tipos de ligações inter-hemisféricas criadas pela CJNEB;
- Verificar a influência dos fluxos da CJHN e HS na formação das ligações inter-hemisféricas e na formação de circulações meridionais;
- Criar recomendações para previsão a curto prazo para meteorologistas que trabalham na área operacional.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Correntes de jato – CJ

Formadas na descontinuidade da mistura de ar troposférico e estratosférico, entre as células de circulação de cada hemisfério. Sabe-se que coexistem de forma perene 2 CJ (FIGURA 1): a corrente de jato subtropical (CJST) associada a circulação das células de Hadley e de Ferrel, além da corrente de jato polar localizada entre a células de circulação polar e Ferrel (Vaz, 2014).

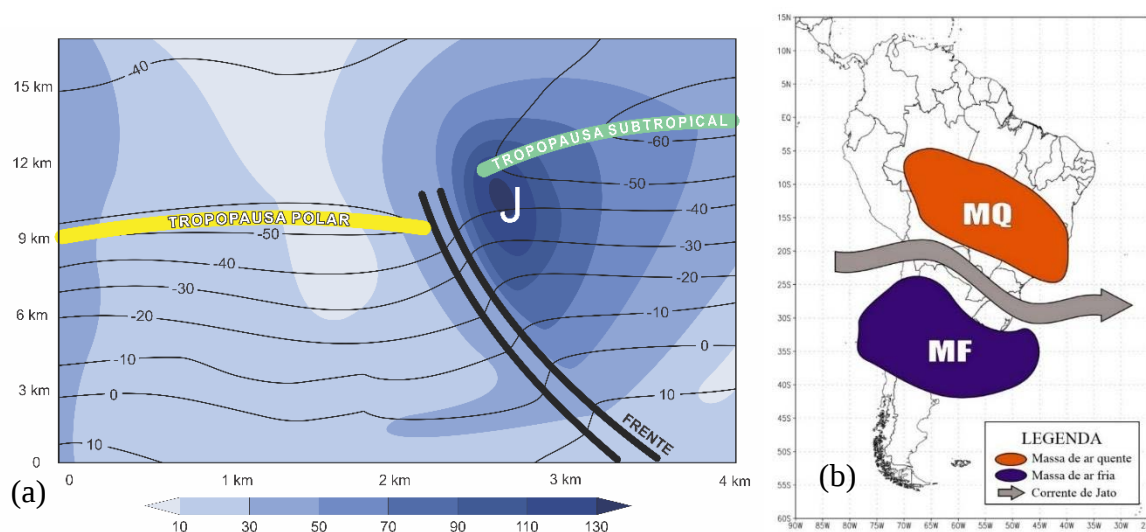
FIGURA 1 - Representação da localização das CJ entre as células de circulação global, para hemisfério norte



Fonte: Lyndon State College, 2019

As CJs são geradas pelos grandes gradientes de temperatura entre os trópicos e os pólos, com velocidade de escoamento superior a 30m/s. Estas correntes fluem com sentido de oeste para leste, e estão localizadas entre a alta troposfera e a estratosfera (acima do nível 500hPa), limitadas a poucos quilômetros de extensão vertical e dezenas de quilômetros de extensão horizontal (FEDOROVA, 1999) (FIGURA 2a). A CJ também apresenta características de forte cisalhamento vertical e lateral do vento (REITER, 1969). Sua presença indica a existência de massas de ar com uma fronteira que as separa (FIGURA 2b), no hemisfério sul: o ar frio fica localizado à direita do jato (FORTUNE, 1980). Para o hemisfério norte o ar frio está localizado do outro lado, à esquerda do jato.

FIGURA 2 – (a) Secção Transversal da CJ e uma Frente, Linhas contínuas: Isotermas(°C); Cores: Isotacas (nós); (b) Esquematisação da posição da CJ entre as massas de ar quente (MQ) e frio (MF)



Fonte: (a) adaptada de Durst, Davis e Eichenberger, 1976; (b) adaptada de Campos, 2010; Pg 2.

A variação das CJ se dá através da sazonalidade, uma vez que a temperatura se altera de acordo com a estação do ano: o inverno é o período que as CJ estão em sua intensidade máxima devido ao forte gradiente entre latitudes baixas e altas, enquanto no verão ocorre a enfraquecimento das CJ, devido ao menor gradiente entre as latitudes baixas e altas (Vaz, 2014).

2.1.1 Corrente de jato subtropical – CJST

Palmén e Newton (1969) observaram que a CJST está relacionada com a circulação da célula de Hadley, sendo um dos principais mecanismos de sua manutenção. Esta corrente, localizada entre as latitudes 20°-35° nos níveis 300- 200 hPa, no lado descendente da célula de Hadley, é semipermanente e sua posição média varia de acordo com a circulação atmosférica. A CJST desloca-se em direção do equador no inverno e aos polos no verão, onde o Jato é mais desenvolvido no período do inverno, em que a circulação é mais meridional e intensa.

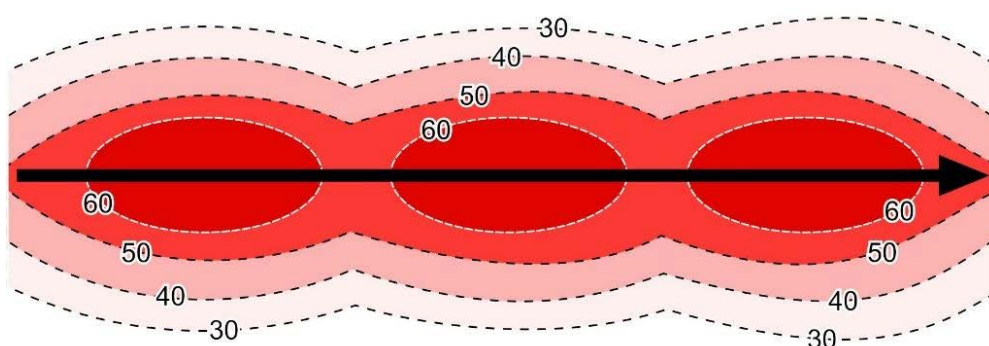
2.1.2 Corrente de jato polar – CJP

A corrente de jato polar (CJP) forma-se entre as células de circulação Polar e de Ferrel, entre latitudes 35° a 70° nos níveis 200 e 300 hPa de altura. Além de ser uma corrente permanente relacionada com o forte gradiente horizontal de temperatura, em qualquer momento tende a coincidir com as estreitas zonas frontais (PEZZI et al., 1996). Igualmente a CJST, a CJP tem a mesma variação sazonal, sendo mais distante do Equador durante o verão e mais próximo durante o inverno.

2.1.3 Jet Streaks

São núcleos de ventos máximos (NVM) ao longo do eixo horizontal da CJ, onde facilmente podem atingir velocidade superiores a 65m/s (FIGURA 3). Deslocam-se pelo eixo horizontal e no mesmo sentido do vento, contudo essa velocidade de deslocamento não é igual à do vento dentro do núcleo (MEDINA, 1976). Os NVM são precursores de ciclogênese e tempestades severas, e têm recebido muita atenção em pesquisas (CARLSON, 1991; BLUESTEIN, 1993).

FIGURA 3 - Representação esquemática do eixo da CJ: linhas tracejadas em preto são isotacas em m/s; em tracejado branco os NVM; seta preta indica a direção de propagação.



Fonte: adaptada de Medina, 1976.

2.1.4 Circulação transversal

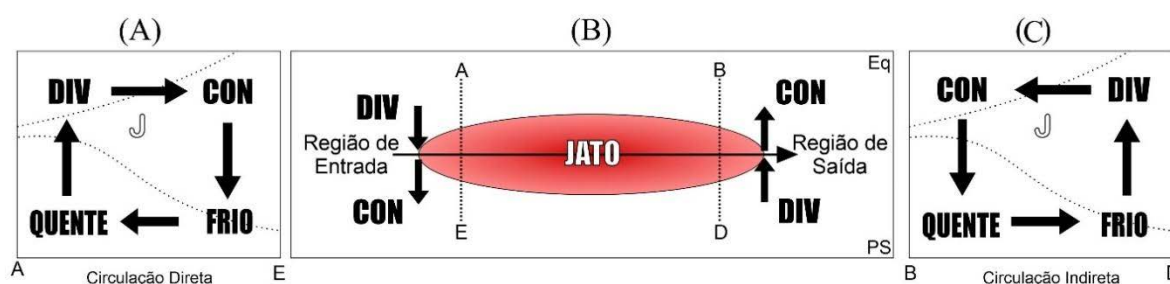
Em sua presença, a CJ age como um processo de ajuste de massas de ar e do vento onde ocorre nas regiões de entrada e saída do NVM, visto que há variação na velocidade dessas regiões. As circulações da CJ são de grande importância e têm obtido muita atenção em estudos, devido sua relação com as atividades convectivas.

Riehl et al. (1952) e Reiter (1969), fizeram revisões históricas sobre as circulações da CJ, onde foi proposto o modelo conceitual de circulação transversal. Posteriormente, Beebe e Bates (1955) adicionaram o efeito da curvatura do modelo de circulação transversal. Modelos conceituais desenvolvidos através de métodos empíricos mostraram também a existência de uma circulação transversal na CJ (Uccellini e Jonhson, 1979; Mattocks e Bleck, 1986)

Estudos de Holton (1979), mostraram que a mudança da velocidade do fluido na entrada e saída do NVM, poderia ser explicada pela componente ageostrófica da velocidade do vento. Na FIGURA 4b pode-se observar que a área de entrada do jato, nela acontece a aceleração da parcela de ar, logo, a componente ageostrófica é negativa direcionando-a para o polo (menor altura geopotencial). O inverso ocorre na saída do jato, a parcela de ar desacelera tornando a componente ageostrófica positiva, direcionando para o Equador (maior altura geopotencial).

Logo para CJ retilínea, na entrada do jato, a circulação térmica é direta, onde o ar quente ascende no lado equatorial do jato, enquanto o ar frio desce de no lado polar (FIGURA 4a). Na saída do jato a circulação é indireta, o ar frio ascende no lado polar enquanto o ar quente desce no lado equatorial do jato (FIGURA 4c).

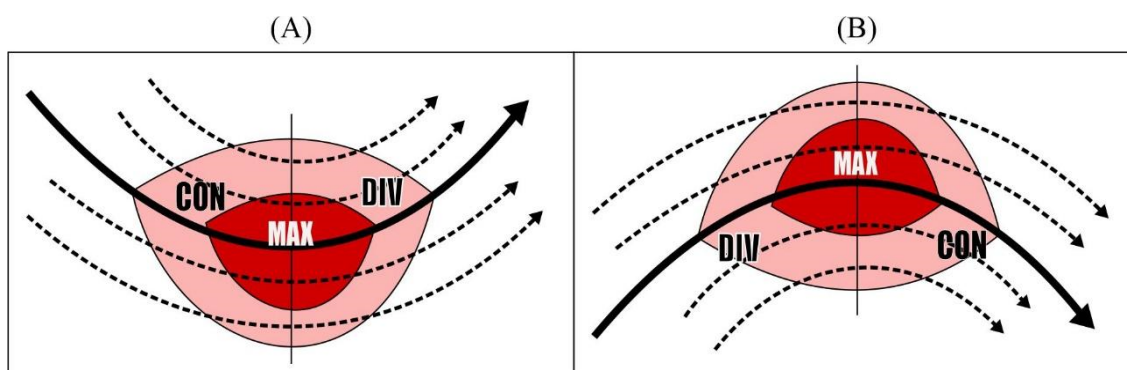
FIGURA 4 – (A) Circulação Transversal Direta, entrada do jato; (B) Esquemática do movimento ageostrófica na entrada e saída da CJ, para HS; (C) Circulação Transversal Indireta, saída do jato.



Fonte: adaptada de Uccellini e Kocin, 1987.

Os primeiros a estudarem o efeito da curvatura ciclônica e anticiclônica, uma vez que o conceito anterior mostrado não pode ser utilizado devido a tais efeitos, foram Beebe e Bates (1955) em que eles sugeriram que a CJ de curvatura ciclônica teria uma divergência e convergência mais intensa no lado ciclônico (FIGURA 5a), enquanto que para circulação anticiclônica o inverso é verdadeiro (FIGURA 5b).

FIGURA 5 – Modelo conceitual da circulação transversal na entrada e saída da CJ com curvatura (A) ciclônica e (B) anticiclônica para HN.



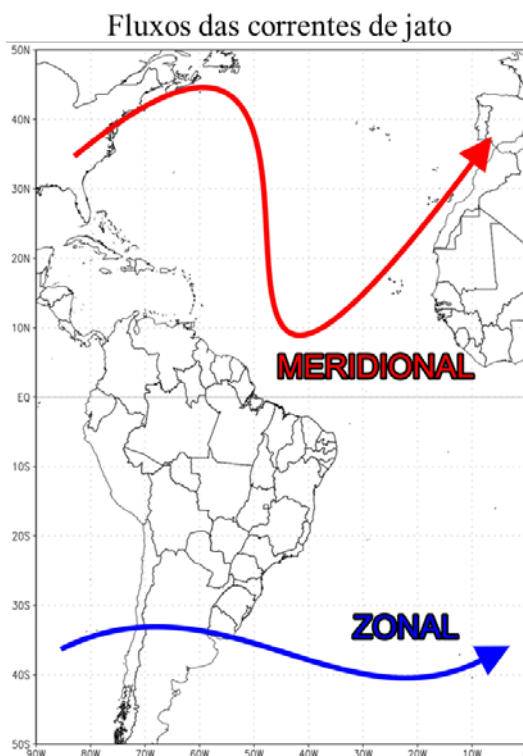
Fonte: adaptada de Beebe e Bates, 1955.

2.1.5 Fluxo zonal e meridional

A propagação do fluxo das correntes de jato é ondulatória, por cristas e cavados, assim a troca de ar é permitida ao longo dos hemisférios, logo o ar frio dos polos vai em direção ao equador (cavado), ao mesmo tempo em que o ar quente do equador vai para os polos (Crista).

A amplitude da onda determina as condições de tempo, pois uma amplitude menor o fluxo é considerado zonal, indicando que o ar está fluindo de oeste para leste, em que a mistura de ar quente e frio é menos intensa. Quando a amplitude é muito grande, ou seja, o fluxo é meridional, criando e cristas e cavados intensos, a mistura de ar quente e frio é mais intensa, tal amplitude pode facilitar o desenvolvimento de tempestades severas (Vaz, 2014) (FIGURA 6).

FIGURA 6 – Modelo representativo de correntes meridionais (vermelho) e zonais (azul)



Fonte: Autor, 2022.

2.1.6 Corrente de jato do nordeste brasileiro – CJNEB

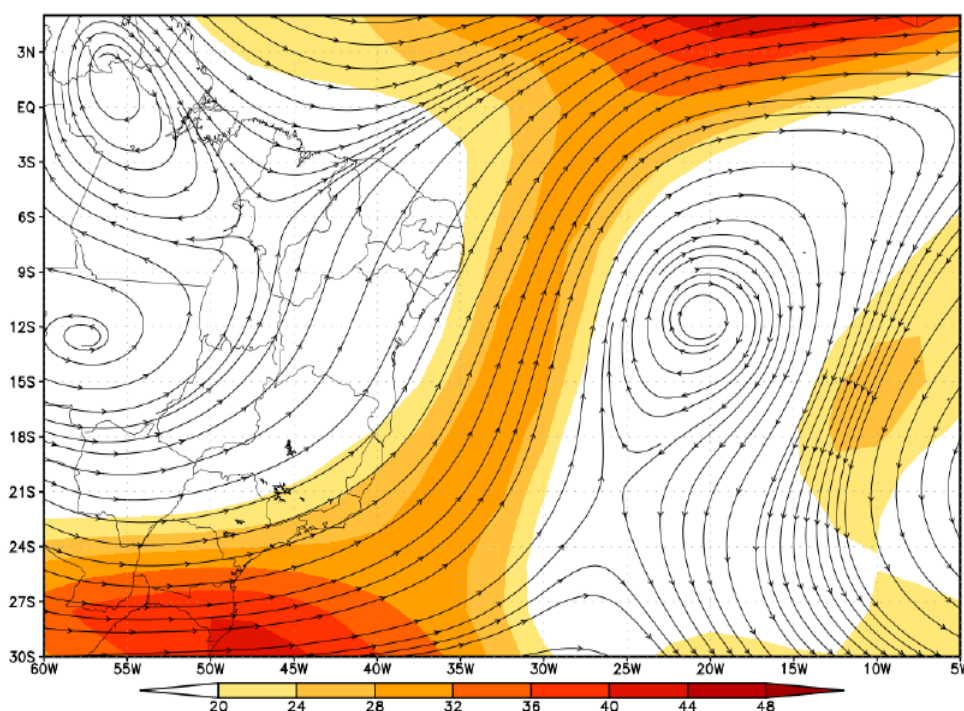
A corrente de jato do nordeste brasileiro (CJNEB) foi observada pela primeira vez por Virji (1981), quando observou ventos entre a AB e cavados em altos níveis (CAN) poderiam ultrapassar velocidades superiores a 20 m/s mas não os estudou mais a fundo. Ramirez (1997) observou a existência de correntes de ventos fortes em altos níveis da troposfera, localizados entre a AB e o setor sudoeste do VCAN, que contribuem para a manutenção do vórtice. As CJNEB quando associados à VCAN ou CAN podem favorecer a ocorrência de precipitações intensas na porção leste do NEB (Repinaldo *et al*, 2020).

Localizada, geralmente, próxima da camada de 200 hPa na tropopausa tropical entre a latitude de 0°S e 20°S, sendo mais frequente e desenvolvida durante os meses do inverno e primavera (GOMES, 2003; CAMPOS, 2006)

Gomes (2003) registrou que essas correntes de ar forte em altos níveis, próximo do NEB, que em alguns casos atingiram velocidades de 50m/s no período do inverno. Durante o verão, em alguns eventos foram observadas ligações com as correntes de jato do hemisfério norte e sul, além da ligação contribuir com a formação do VCAN, posteriormente essas ligações foram observadas por Repinaldo (2010) e constatou que existe uma interação entre os jatos.

Fedorova et al. (2005) observaram que as células de circulação criadas pela CJNEB e com auxílio dos ventos alísios foram responsáveis pela formação de complexos convectivos de mesoescala (CCM) ao leste do estado de Alagoas. Campos e Fedorova (2006) constataram que existiam ligações com outros sistemas sinóticos: VCAN no hemisfério norte e sul, vórtices de médios níveis e corrente de jato de baixos níveis. Determinados sistemas sofreram mudanças em sua estrutura vertical devido a circulações transversais da CJNEB. A FIGURA 7 ilustra um caso de CJNEB interligada com a CJST do HS e do HN.

FIGURA 7 – Exemplo de CJNEB entre AB e VCAN, no dia 21/01/1992. Linhas de corrente e magnitude (colorido, m/s) em 200 hPa.



Fonte: Repinaldo, 2010

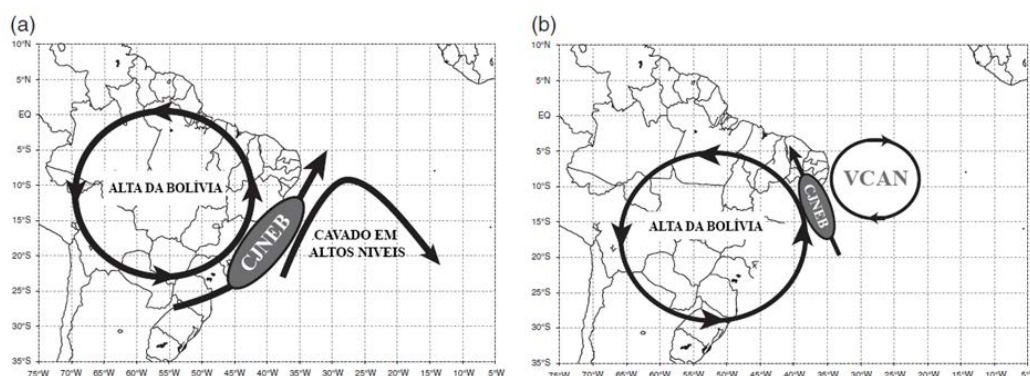
Repinaldo (2010) criou grupos de eventos de CJNEB em 3 tipos de padrões: Meridional (de sul e sudoeste), zonal (de oeste) e transversal (de sudeste e noroeste) e observou que a interação da CJNEB com VCAN ocorre entre os meses de setembro a março. Utilizando o mesmo critério para análise da CJNEB, Costa (2010) constatou que o padrão Meridional é o de

maior frequência, com 47% dos casos estudados. Fedorova et al. (2017b) estudaram a frequência, a velocidade e a direção dos ventos, entre os anos de 1994 e 2009, onde foi observado que a CJNEB pode acontecer praticamente todos os dias do ano.

Em outro estudo, Fedorova et al. (2017a), desenvolveram modelos conceituais de localização e para cada tipo de fluxo da CJNEB.

Tipo 1 (fluxo de sul): Nessa localização a CJNEB apresenta fluxo das correntes de ar advindas do Sul e pode ser dividida entre 2 subtipos; tipo 1-A, é localizado entre a AB e um cavado ao longo da costa do NEB, onde a direção dos ventos é sudoeste/sul; O tipo 1-B, a corrente está localizada entre a AB e um VCAN sobre o oceano Atlântico, onde a direção dos ventos é de sudeste. Esses 2 tipos são semelhantes devido ao estágio de desenvolvimento do VCAN, onde começa com um cavado, no tipo 1-A, e se desenvolve com inclinação mais acentuada ao oeste com a formação do VCAN (tipo 1-B). (FIGURA 8)

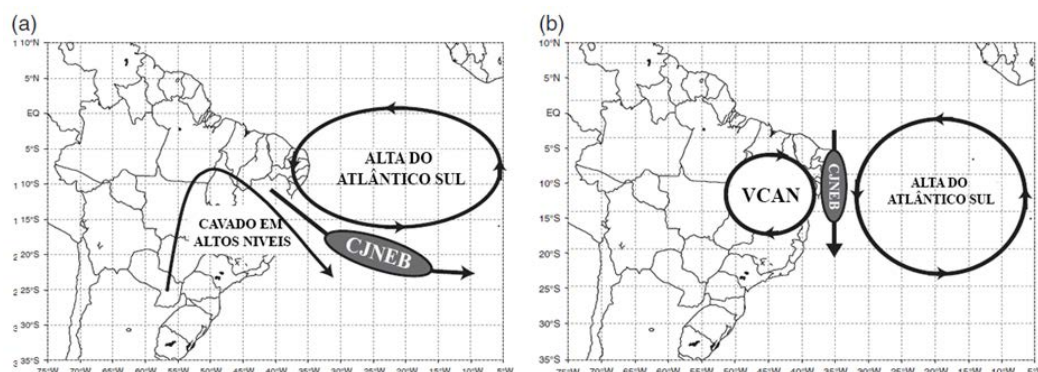
FIGURA 8- Conceitos da localização da CJNEB tipo 1, (a) Configuração: 1-A, (b) Configuração: 1-B.



Fonte: adaptada de Fedorova et al, 2017b.

Tipo 2 (fluxo de norte) – Nesse tipo localização as correntes são caracterizadas por terem o fluxo de norte e são divididas em 2 subtipos, onde o tipo 2-A, a CJNEB está localizada entre um cavado e a Alta do Atlântico Sul, e o tipo 2-B, entre um VCAN e a Alta do Atlântico Sul. Os estudos de Fedorova et al. (2017), mostraram que a localização da CJNEB depende se os eixos dos sistemas estão alinhados em uma mesma latitude surgindo uma corrente do norte (tipo 2-B) ou se a Alta do Atlântico Sul está localizada mais ao norte do VCAN criando uma corrente de noroeste (tipo 2-A). (FIGURA 9)

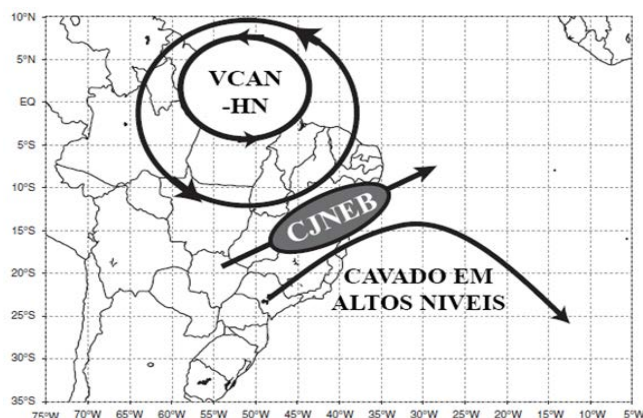
FIGURA 9 - Conceitos da localização da CJNEB tipo 1, (a) Configuração: 2-A, (b) Configuração: 2-B.



Fonte: adaptada de Fedorova et al, 2017b.

Tipo 3 (relação inter-hemisférica): essa localização está relacionada com a interação inter-hemisférica, entre um VCAN no hemisfério norte, entre 0 e 10°N e um cavado no hemisfério sul ao longo da costa brasileira e o oceano adjacente, criando uma corrente de sudoeste ou oeste a depender das posições dos sistemas. O VCAN do HN uma vez localizado na região continental ao Norte da AS e o cavado sobre o oceano Atlântico a corrente será sudoeste, enquanto o VCAN do HN sobre o oceano e o cavado sobre o continente a corrente será de oeste. (FIGURA 10)

FIGURA 10 - Conceito da localização da CJNEB tipo3



Fonte: adaptada de Fedorova *et al*, 2017b.

Leite (2020) realizou um estudo acerca das ligações inter-hemisféricas da CJNEB com CJST do HN e HS, onde foi observado padrões de ligações das CJNEB com CJST e CJP, de ambos os hemisférios, em que foram classificados em ligações de acordo com o fluxo da CJNEB (Ver secção 4.2).

2.2 Vórtices ciclônicos de altos níveis – VCAN

Os vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN) são definidos como um sistema de escala sinótica formado por uma baixa pressão na alta troposfera, no qual a circulação ciclônica é fechada por possuir um centro mais frio que sua periferia (GAN, 1982). Palmén (1949), Palmer (1951) e Frank (1966) foram os pioneiros nos estudos de vórtices em altos níveis, no hemisfério norte. Para o hemisfério sul, sua existência foi comprovada por estudos de características da circulação da troposfera que inicialmente foram feitos sobre o oceano Atlântico Sul Tropical (DEAN, 1971; ARAGÃO, 1975).

2.2.1 Processo de formação

Existem 4 processos de formação de VCAN que levam em consideração o tipo de VCAN, a localização e dentre outros fatores que são descritos a seguir:

1. CLÁSSICA: a formação do vórtice ocorre corrente acima da amplificação de crista da AB, a amplificação é dada por uma forte advecção de ar quente em baixos níveis devido a entrada de um sistema frontal subtropical. O sistema frontal gera convecção organizada que libera calor latente, intensificando a crista em altos níveis, que consequentemente amplifica o cavado a leste fechando o vórtice, o mesmo tem influência sobre as chuvas do NEB devido a sua proximidade, com duração média de 7 dias (KOUSKY e GRAN, 1981) (FIGURA 11a).

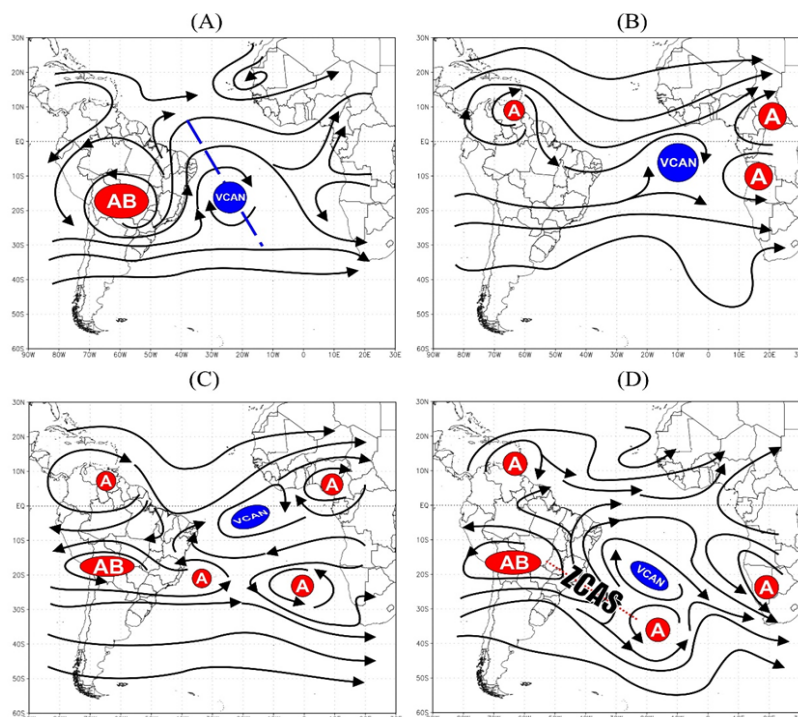
2. AFRICANA I: a formação é relacionada com à convecção em baixos níveis sobre o continente africano, que ao se intensificar, desenvolve um par de anticiclones em altos níveis, que induzem o aprofundamento de cavado a oeste e consequentemente forma-se um VCAN. Este tipo de VCAN é de curta duração, com apenas 2,5 à 3 dias (PAIXÃO e GANDU, 2000) (FIGURA 11b).

3. AFRICANA II: a intensificação do anticiclone sobre a África no HN, em que o VCAN se forma na crista do Anticiclone de altos níveis no HN; a presença de anticiclones entre 20°-30° de latitude em ambos os hemisférios, ajudam na formação de circulação fechada do VCAN, que tem duração de 3 à 7 dias (PAIXÃO e GANDU, 2000) (FIGURA 11c).

4. ALTA: devido a intensificação da convecção na Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que libera calor latente, força o surgimento de uma alta do atlântico sul de ar superior (ASAS), que gera, um prolongamento no cavado a norte/noroeste, que em seguida fechado, formará o VCAN que tem duração de 2 a 5 dias (RAMIREZ et al, 1999).

Além de que a AB se encontra ao oeste, assim é observado uma corrente mais zonal no HN (FEDOROVA, 2008) (FIGURA 11d).

FIGURA 11 - Processos de formação dos VCAN: (a)Clássica, (b)Africana I, (c)AFRICANA II e (d)Alta

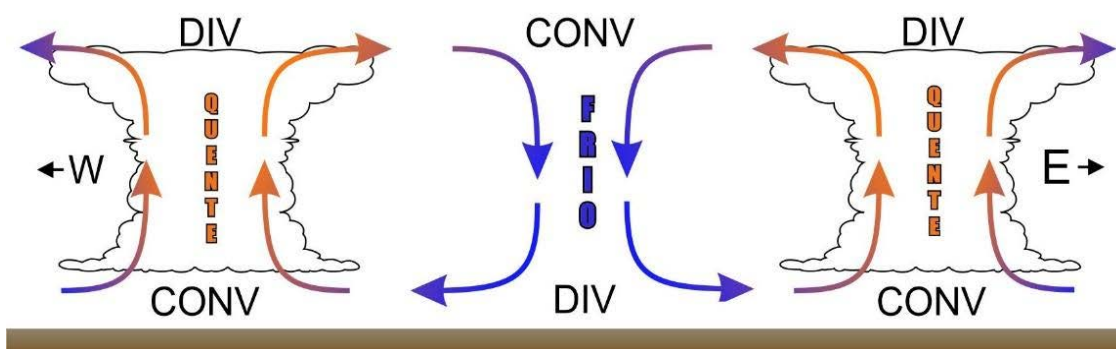


Fonte: adaptada de Fedorova, 2008.

2.2.2 Estrutura vertical

Em sua estrutura espacial o VCAN é caracterizado por um movimento descendente de ar frio e seco em seu centro e ar quente ascendendo em sua periferia, gerando uma circulação térmica direta (FRANK,1966; KOUSKY e GAN, 1981; GAN, 1983), em que ar quente sobe e ar frio desce. A FIGURA 12 ilustra a estrutura vertical de um VCAN, proposta por Kousky e Gan (1981).

FIGURA 12 - Estrutura vertical do VCAN



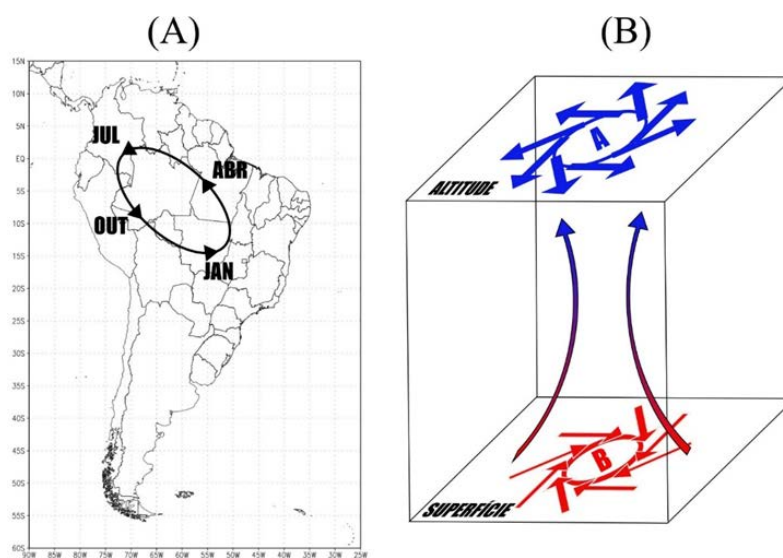
Fonte: adaptada de Kousky e Gan, 1981.

2.3 ALTA DA BOLÍVIA – AB

Sendo um anticiclone barotrópico, a Alta da Bolívia (AB), ocorre na alta troposfera na estação do verão sobre a América do Sul (AS) com uma grande variabilidade de localização (FIGURA 13a) e intensidade ao longo do verão devido ao aumento de convecção em baixos níveis sobre a região amazônica (SILVA DIAS et al, 1983).

A região semiárida do NEB é influenciada pela sua proximidade com a região amazônica, onde ocorrem movimentos convectivos intensos e amplos, fazendo com que os movimentos passem a ser anticiclônicos em altos níveis (AB) e divergem criando um ramo de ventos descendentes e uma forte inversão de subsidência sobre o oceano atlântico sul e sobre o NEB, inibindo assim o desenvolvimento de nuvens e com isso a um período mais seco do ciclo anual (Nobre e Molion, 1988) (FIGURA 13b).

FIGURA 13 – (a) Variação anual da localização da AB. (b) Perfil Vertical



Fonte: adaptada de Molion, 2008.

3 MATERIAIS

3.1 Dados utilizados

Provenientes das reanálises do National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmosphere Research (NCEP/NCAR), os dados utilizados, foram obtidos na homepage: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/>. Os dados de reanálises têm resolução 2,5°x2,5° e 17 níveis de pressão, variando de 1000 hPa a 10 hPa (KALNAY et al, 1996).

As imagens de satélite, utilizadas neste trabalho, foram obtidas na homepage: <https://www.ncdc.noaa.gov/gibbs/>. Sendo originadas e tratadas pela GIBBS (Global ISCCP B1 Browse System) que mescla a imagem de vários satélites geoestacionários para obter a grade global 360°W-0°E / 60°N-60°S no canal infravermelho e vapor d'água. Disponibilizados pelo National Climatic Data Center (NCDC/NOAA).

3.2 Ferramenta utilizadas

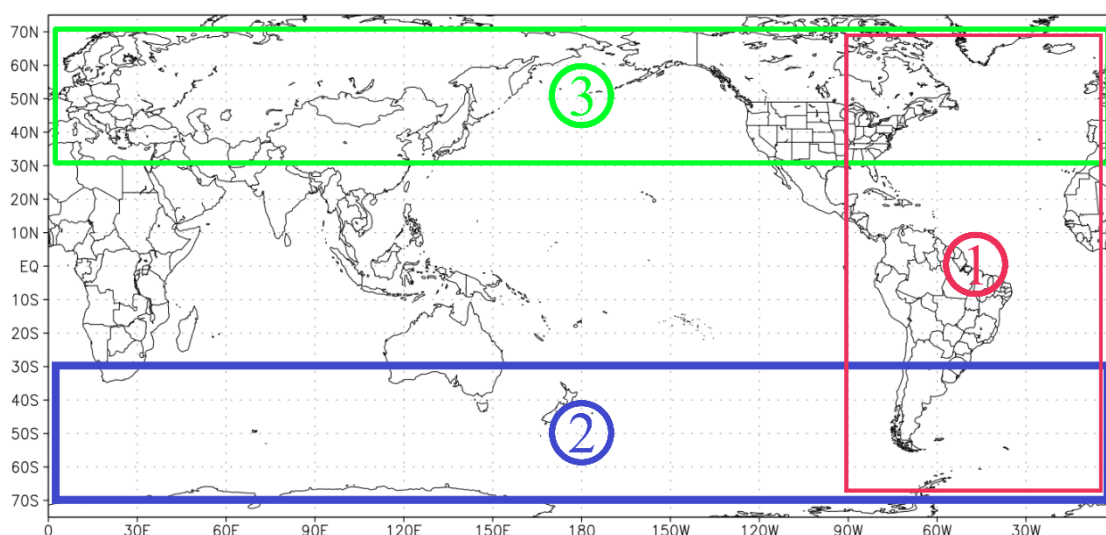
Todos os campos sinóticos foram gerados com o software e pacote gráfico Grid Analysis and Display System (GrADS) na versão 2.2.1 (DOTY, B. 2018). Desenvolvido pelo Center for Ocean Land Atmosphere Interaction (COLA) disponível gratuitamente na homepage: <http://cola.gmu.edu/grads>. Todos os dados quantitativos das correntes de jatos e precipitações foram ordenadas no software de planilhas, Microsoft Excel 365.

4 METODOLOGIA

4.1 Área e período de estudo

A grande área de estudo e análise dos sistemas sinóticos foi delimitada entre as latitudes 70° N - 70°S e longitude 0°W - 0°E, com o foco das análises voltadas para o NEB e oceano adjacente. Foram utilizadas subáreas para estudo do fluxo das CJ e os efeitos produzidos nas ligações inter-hemisféricas. (FIGURA 14). O período de estudo está compreendido entre os anos de 2018 e 2020.

FIGURA 14 - Área de estudo, para análise dos fluxos da CJ do HN (Verde), do HS (Azul) e ligações inter-hemisféricas (vermelho).



Fonte: Autor, 2022.

4.2 Identificação das ligações entre CJHS, HN e CJNEB

Foi utilizado, em sua forma clássica, para identificação das CJ as componentes do vento u , v e a magnitude em 200 hPa, com dados do NCEP nos horários sinóticos 00, 06, 12 e 18 UTC. De acordo com Fedorova et al. (2018a) a CJNEB é caracterizada entre 20-50° W e 0-20°S e que apresenta em seu núcleo velocidade acima de 20 m/s. Logo, foi utilizado (20 m/s) como limite inferior para a velocidade máxima do vento em seu núcleo.

Para esse trabalho, foi utilizada a metodologia de Leite (2020), onde através de estudos observacionais os avanços das CJSTHN foram definidos ao sul da latitude 5°N, em seguida foi observado se ocorria a existência de ligação inter-hemisférica, com a CJNEB, foi considerado uma ligação quando a isotaca de 20m/s de ambas correntes estão interligadas (Vaz, 2014). Sendo

preenchida planilhas de cada ano, nos horários sinóticos de cada dia, onde foi marcado o avanço da CJSTHN; e marcado quando CJSTHN teve uma conexão com a CJNEB (QUADRO 1).

QUADRO 1 - Exemplo de contagem dos casos de ligação inter-hemisférica das CJSTHN e CJNEB, no horário UTC. A- Quando houve o avanço da CJSTHN; B – Quando teve uma interação da CJSTHN com a CJNEB

Data	Horário Sinótico (UTC)			
	0	6	12	18
01/01/2018	A	B	B	B
02/02/2018		A	B	B
03/03/2018	B			
01/11/2018	B	A	A	B
02/11/2018	B	A	A	

Fonte: Autor, 2022

Os casos em que a ligação perdurou por mais de 24h, foram categorizados pela classificação de Leite (2020) com configurações de formações através de análises sinóticas 3 dias antes e 3 dias depois da ocorrência de ligação para análise da formação.

4.3 Classificação das ligações de cjneb

A influência dos avanços da CJSTHN para HS e na CJNEB foi estudado por Leite (2020) dentro da subárea 1. Mais de 300 ocorrências desses avanços ocorreram para o ano de 2018, onde 40% dos casos houve conexões com a CJNEB. Sendo mais comum durante o inverno boreal, de dezembro a fevereiro. Neste estudo foi proposto uma classificação dos tipos de ligações inter-hemisféricas das correntes, norte e sul, subdivididas em completa e incompleta. Os termos “completa e incompleta” mostram, respectivamente, as ligações completa entre: CJSTHN+CJNEB+CJSTHS e incompletas: CJSTHN+CJNEB ou CJSTHS+CJNEB

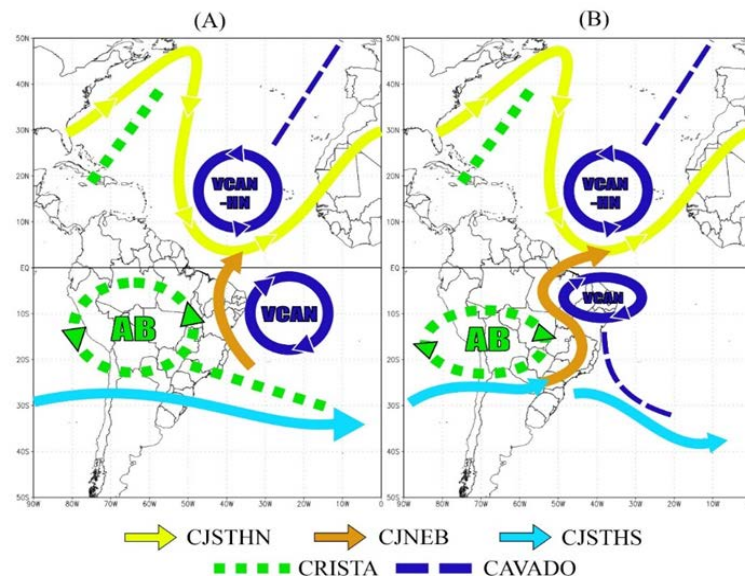
4.3.1 Ligações de norte

Neste tipo de ligação as circulações estão relacionadas com o fluxo de norte, interligando a CJNEB com as CJST de ambos os hemisférios ou apenas a CJSTHN. A ligação incompleta de norte (LIN) ocorre devido ao prolongamento de um cavado no hemisfério norte no oceano Atlântico, onde, o mesmo separa a CJSTHN da CJPHN e no surgimento da AAN devido ao prolongamento de um cavado no hemisfério sul, oriundo de um VCAN. Enquanto no

Esse tipo de ligação está relacionado com as circulações oriundas de sul, interligando a CJNEB com as CJST de ambos os hemisférios ou apenas a CJSTHN. A ligação completa (LCS) entre os jatos é dada devido ao prolongamento de um cavado e a formação de um VCAN no hemisfério norte no oceano Atlântico, onde o mesmo desloca a CJSTHN muito além de sua latitude climatológica. Enquanto no hemisfério sul com a atuação da AB e de um VCAN, a CJNEB, com fluxo de sudoeste, interliga as correntes de jatos de ambos os hemisférios no formato similar ao da letra “S” devido ao cavado do VCAN, além do centro da AB mais ao sul

do centro do VCAN (FIGURA 16a). Os casos que apresentaram apenas a ligação entre a CJSTHN com a CJNEB, ligação incompleta de sul (LIS), devido a uma forte prolongação da crista da AB impossibilitando a ligação com a CJSTHS dentro do critério estabelecido (FIGURA 16b). Ou seja, a ligação completa mostra a CJNEB é prolongamento da CJSTHS, que atravessou o equador. A ligação incompleta apresenta que CJNEB está saindo da circulação do VCAN do HS.

FIGURA 16 - Modelo conceitual das ligações entre CJSTHN, CJSTHS e CJNEB de sul: (a) incompleta e (b) completa.



Fonte: Leite, 2020

4.4 Análise das correntes ao longo dos hemisférios

Para a análise das correntes foi utilizada a subáreas 2 e 3, nos quatro horários sinóticos (00, 06, 12, 18 UTC) para o ano de 2018, 2019 e 2020 e as variáveis utilizadas foram descritas no QUADRO 2.

QUADRO 2 - Variáveis utilizadas no trabalho

Variável	Sigla	Unidade	Altura				
			Spf	925	850	500	200
Pressão ao nível médio do mar	PNM	hPa	X				
Umidade relativa	UR	%		X	X	X	X
Geopotencial	ϕ	mcp		X	X	X	X
Temperatura	T	K		X	X	X	X
Ômega	ω	$Pa s^{-1}$		X	X	X	X
Vento zonal	u	m/s		X	X	X	X
Vento meridional	v	m/s		X	X	X	X

Fonte: Autor, 2022

4.4.1 Identificação do fluxo em altos níveis

Foi desenvolvido um método para análise dos fluxos em altos níveis, para identificação do número de ondas em ambos os hemisférios (subáreas 2 e 3) além do fluxo dentro das áreas delimitadas (subárea 1). O primeiro passo da avaliação do número de ondas por hemisfério foi feito através dos campos de altura geopotencial (Ag). O número de ondas por hemisfério mostra a predominância dos processos zonais ou meridionais (Fedorova,2008).

A altura geopotencial (Ag) que mostra a altitude de uma parcela de ar em unidades proporcionais ao seu geopotencial (gmp). A força exercida pela parcela, em N , de 1 kg na altura z acima do nível do mar é numericamente igual a aceleração da gravidade (g). Logo, o trabalho na elevação de 1 kg da altura $z + dz$ e dada pela equação (1):

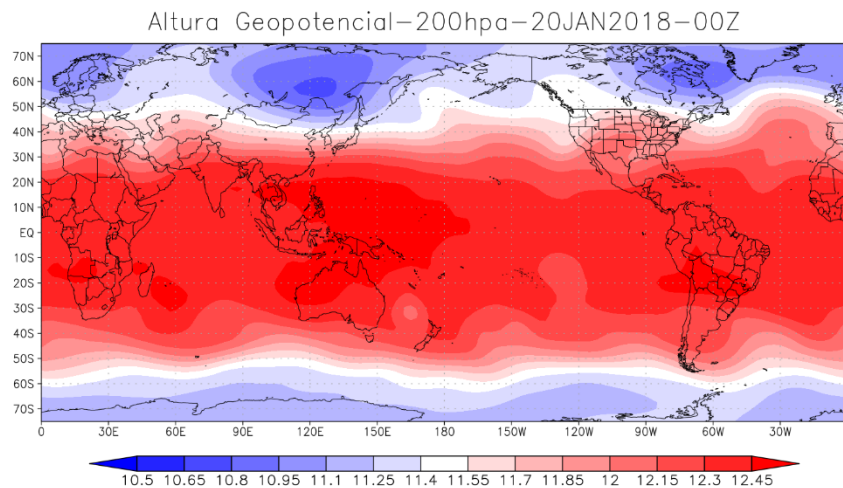
$$d\Phi = g * dz \quad (1)$$

Partindo no nível zero sendo elevado a altura z . o geopotencial (gmp) é dado pela equação (2):

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

Onde o geopotencial $\Phi(z)$ na superfície, por convenção, é tomado como zero na superfície no nível médio do mar, apenas dependendo da altitude daquele ponto e não da maneira pela qual uma massa alcançou aquele ponto. (FIGURA 17)

FIGURA 17 - Exemplo de um campo de altura geopotencial, no nível 20hPa. unidade em km



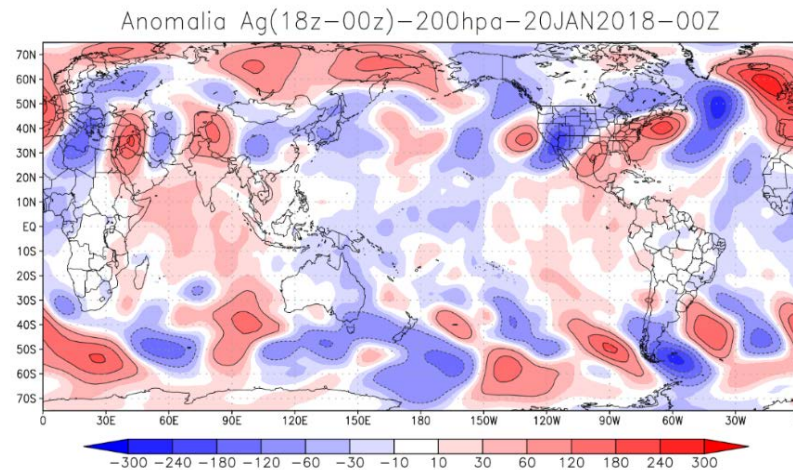
Fonte: Autor, 2022

Para a análise do número de ondas, foi utilizado a anomalia da altura geopotencial (aAg), ao nível de 200 hPa, descrito pela equação (3):

$$aAg = Ag(t_{18}) - Ag(t_{00}) \quad (3)$$

Onde: $Ag(t_{18})$ = geopotencial do nível escolhido às 18 UTC; $Ag(t_{00})$ = geopotencial do nível escolhido às 00 UTC do mesmo dia. Através do campo aAg é possível observar a variação da altura da parcela ao longo do dia, assim a visualização dos núcleos de cada onda é significativamente facilitada (FIGURA 18).

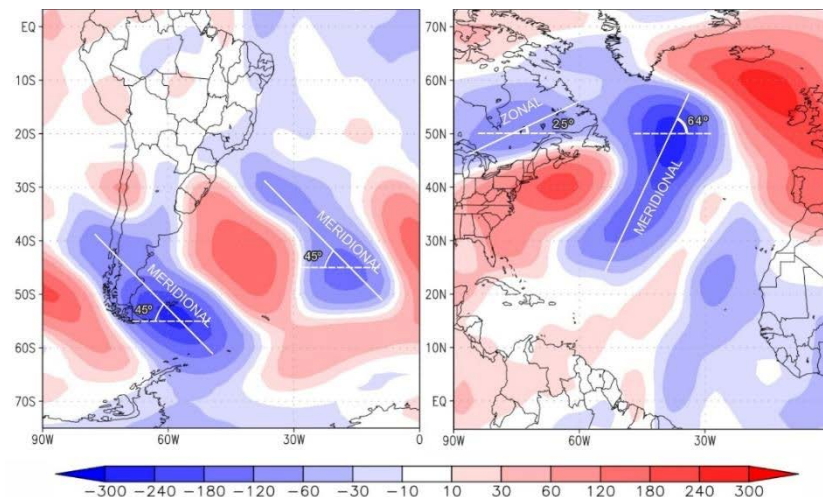
FIGURA 18 - Exemplo do campo de aAg no nível 20hPa. unidade em km.



Fonte: Autor, 2022

A partir dos mapas de anomalia da altura geopotencial foram contabilizadas a quantidade de núcleos negativos em cada hemisfério obedecendo os critérios; Tamanho: o núcleo deve ter um tamanho superior a 10° de latitude; e a Intensidade: menor que -30km. Os núcleos negativos também foram classificados em zonais (meridionais), quando a inclinação do seu eixo maior era inferior (superior) a 30° . (FIGURA 19).

FIGURA 19 - Exemplo de contagem dos núcleos negativos no nível 20hPa, unidade em km, para hemisfério sul (esquerda) e hemisfério norte (direita).

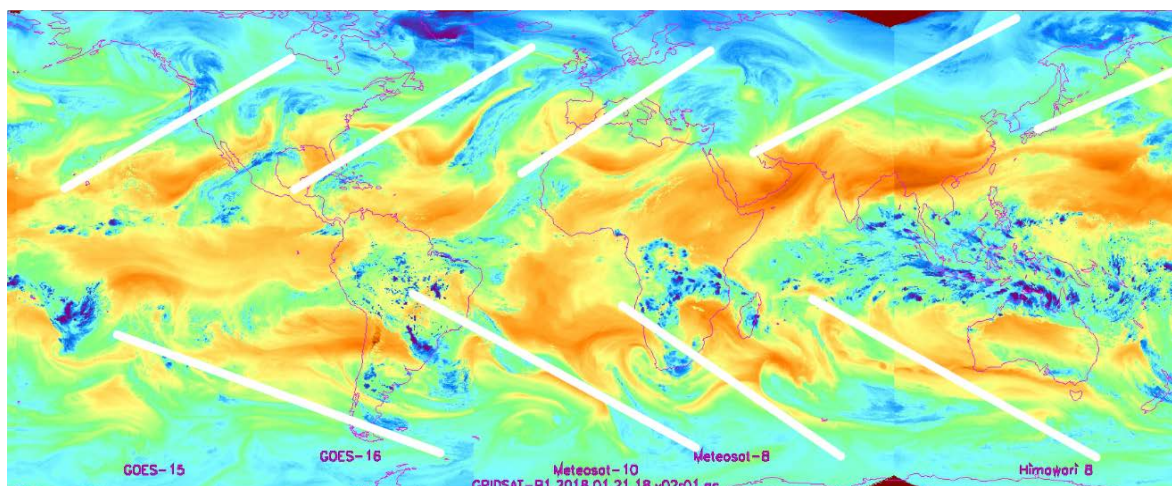


Fonte: Autor, 2022

4.4.2 Identificação das famílias de ciclones por imagens de satélite

Para a identificação do número de famílias de ciclones baroclínicos, foram utilizadas imagens de satélite no canal de vapor d'água ($\sim 6,7 \mu\text{m}$), onde foram contadas áreas conjuntas de ar seco e úmido. As imagens de satélite servem diretamente como um confirmador do número de núcleos de aAg (FIGURA 20).

FIGURA 20 – Exemplo de imagem de satélite global, canal 6,7 μm



Fonte: NCDC/NOAA, 2020

4.4.3 Organização dos dados identificados

Foi organizado em uma planilha para cada caso observado, onde é possível comparar os tipos de ligação em cada momento de tempo os números totais de núcleos de anomalia Ag negativa em todos os hemisférios, o número de famílias identificadas por satélite além da forma dos núcleos negativos de aAg localizados dentro da Area 1 (QUADRO 3).

QUADRO 3 - Exemplo de preenchimento de para cada caso encontrado. Classificação: maiúsculas, ligação de norte (N) e ligação de sul (S). Subclassificação: minúsculas, Ligação incompleta (i) e ligação completa (c); Forma: Zonal (Z) e meridional (M)

CASO EXEMPLO							
DATA/HORA	LIGAÇÃO	HEMISFERIO SUL			HEMISFERIO NORTE		
		NUCLEO	FAMILIA	FORMA	NUCLEOS	FAMILIA	FORMA
21/02/2021 18z	Ni	4	4	Z	5	5	M
23/02/2021 00z	Nc	5	4	Z	6	5	M
25/02/2021 12z	Sc	6	6	M	6	6	M

Fonte: Autor, 2022

4.4.4 Campos Sinóticos complementares

Com o intuito de facilitar nas análises, foram utilizados eventualmente outros campos sinóticos, como linhas de corrente e magnitude dos ventos, espessura da camada, vorticidade relativa, descritos abaixo:

4.4.4.1 Linhas de Corrente (LC)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v(x, y, t_0)}{u(x, y, t_0)}$$

onde:

u = componente do vento zonal (m/s)

v = componente do vento meridional (m/s)

4.4.4.2 Espessura ($\delta\Phi$)

$$\delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_0 - r * \ln\left(\frac{p_0}{p_1}\right) T$$

onde:

$\delta\Phi$ = espessura da camada (mgp)

Φ_1 = geopotencial no nível 1 (mgp)

Φ_0 = geopotencial no nível 0 (mgp)

r = constante dos gases para o ar seco (J/kg*k)

p_0 = pressão no nível 0 (Pa)

p_1 = pressão no nível 1 (Pa)

4.4.4.3 Vorticidade relativa (ζ)

$$\zeta = k * (\nabla * V) = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

onde:

ζ = vorticidade relativa ($10^{-4} s^{-1}$)

u = componente do vento zonal (m/s)

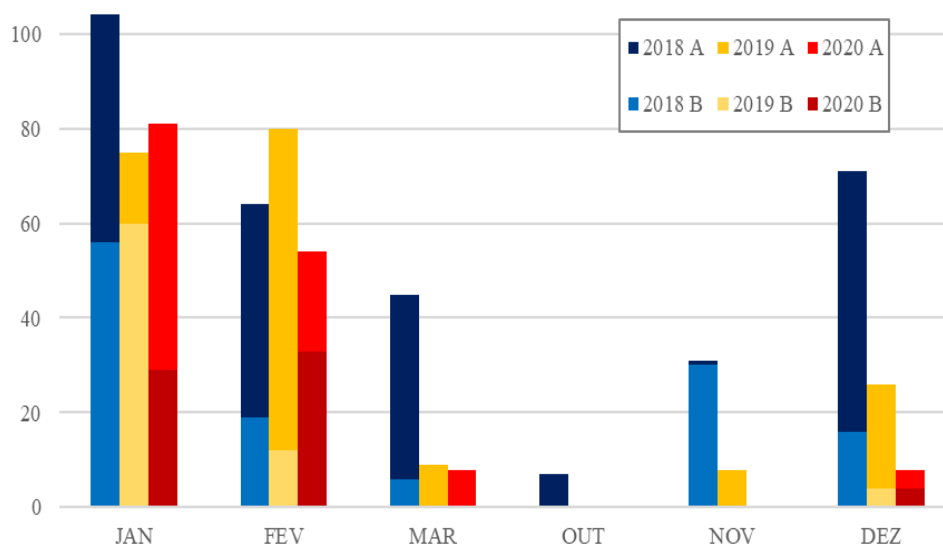
v = componente do vento meridional (m/s)

5 RESULTADOS

5.1 Identificação das ligações entre CJHS, HN e CJNEB

No período estudado, durante 3 anos (2018 a 2020), foram identificadas 671 ocorrências horárias do avanço da CJSTHN ao sul de 5°N (A), em que desses avanços, 266 foram com ligações a CJNEB (B). (FIGURA 21). A frequência de avanços da CJSTHN está relacionada com a sazonalidade. No inverno boreal do HS, a circulação global está mais ao sul do planeta, favorecendo a passagem da CJSTHN para o hemisfério sul. Os resultados mostrados pelas análises de linhas de corrente e magnitude do vento ($>20\text{m/s}$) comprovam os estudos dos tipos de localizações da CJNEB de Fedorova et al. (2017) e a sazonalidade registrada por Leite (2020).

FIGURA 21 – Gráficos com ocorrências diárias de avanços da corrente de jato do hemisfério norte (A) e sua ligação com a CJNEB (B)



Fonte: Autor, 2022

Os percentuais de ligações quando a CJSTHN avança ao sul de 5°N, foram muitos próximos 39%, 38% e 34%, respectivamente, 2018, 2019, 2020. Entretanto há muito mais ligações em 2018 porque há muito mais ocorrências. Para o ano de 2018: ocorreram 322 avanços (A), que resultaram em 127 ocorrências de ligações; para o ano de 2019 e 2020, respectivamente, ocorreram 198 e 191 avanços (A) que desencadearam a ocorrências de 76 e 66 de ligações (B), a diminuição de ocorrências pode estar relacionada a variabilidade do ENOS-Oscilação Sul .

Dentro dessas 269 ocorrências de ligações entre a CJSTHN e a CJNEB foram separados casos em que a ligação perdurou por mais de 4 ocorrências seguidas para análise. Ao todo, foram verificados 16 casos, em 2018, foram registrados 7 casos; em 2019, apenas 3 casos foram registrados; por fim, 2020 foram registrados 6 casos. Todas as ligações entre a CJSTHN e a CJNEB foram identificados dentro do trimestre DJF, meses mais comuns para os avanços e ligações (QUADRO 4)

QUADRO 4 – Casos ligações entre CJSTHN e CJNEB com data inicial e final, hora inicial e final e a duração (em dias) identificados para os anos de 2018, 2019 e 2020

Caso	Data/Hora Inicial (UTC)	Data/Hora Final (UTC)	Duração(dia)
1	06/01/2018 00:00	09/01/2018 18:00	4
2	21/01/2018 18:00	29/01/2018 18:00	8
3	05/02/2018 06:00	15/02/2018 00:00	10
4	11/03/2018 00:00	13/03/2018 18:00	3
5	16/11/2018 18:00	25/11/2018 00:00	8
6	03/12/2018 12:00	05/12/2018 00:00	2
7	26/12/2018 12:00	28/12/2018 00:00	2
8	03/01/2019 00:00	07/01/2019 18:00	5
9	22/01/2019 06:00	03/02/2019 18:00	13
10	26/12/2019 06:00	27/12/2019 06:00	1
11	19/01/2020 06:00	24/01/2020 06:00	5
12	27/01/2020 00:00	27/01/2020 18:00	1
13	01/02/2020 12:00	05/02/2020 12:00	4
14	07/02/2020 06:00	09/02/2020 06:00	2
15	19/02/2020 00:00	19/02/2020 18:00	1
16	26/12/2020 00:00	26/12/2020 18:00	1

Fonte: Autor, 2022

Os casos de 2018 tiveram duração de média a longa duração (entre 2 e 10 dias), enquanto o ano de 2019 teve poucos casos com duração variada (1 a 13 dias). Para o ano de 2020, houve muitos casos de curta a média duração (1 a 5 dias). Para os anos de 2019 e 2020 as ocorrências de ligações tem valores próximo (76 e 66, respectivamente), entretanto existe uma redução pela metade quando se trata dos casos, 6 casos em 2018 e 3 em 2019. as ligações foram menos duradouras em 2019.

5.2 Classificação das ligações de CJNEB

Nos 16 casos selecionados foi aplicado a metodologia de classificação das ligações (Secção 4.3). As ligações completas ocorreram em 7 casos, onde as LCS foram as mais frequentes (6 casos) e um caso misto, onde foi observado a ocorrência de uma LCN/LCS. Foram

observados 9 casos em que apenas ocorreram ligações incompletas, sendo que LIS foi a mais frequente (5 casos), enquanto, que a LIN foi observada em apenas 3 casos. Nas ligações incompletas também foi observado um caso misto, onde houve uma LIN/LIS. Dentro dos 16 casos encontrados, foram observados casos ligações completas e incompletas (5 casos). (QUADRO 5)

QUADRO 5 –Casos classificados de acordo com as ligações de norte ou sul, completas ou incompletas. Os números são os números de casos do quadro 1.

TIPO DE LIGAÇÃO	CASOS	
	NORTE	SUL
COMPLETA	5	2, 3, 5, 6, 11,15 e 16
INCOMPLETA	2, 4, 7, 8, 13	1, 3, 6, 7, 9,10,11, 12 e 14

Fonte: Autor, 2022

Foi observado a transformação de uma determinada ligação de completa para incompleta, ou vice-versa, dar-se em decorrência de um enfraquecimento de uma ligação completa tornando-a incompleta ou na intensificação da ligação incompleta, gerando uma completa. Essa transformação só foi observada nas ligações de sul, devido a sua configuração, onde depende exclusivamente da intensidade da AB.

Nas ligações incompletas, por exemplo, ocorrem em mais de 90% dos totais de casos, dentre essas ligações a de sul, se destaca por ser mais frequente, onde temos no HS: A circulação muito zonal, devido a AB intensa com crista muito prolongada vetando a conexão da CJSTHS com a CJNEB localizada na retaguarda do VCAN-HS, enquanto no HN: temos um fluxo meridional intenso com avanço da CJSTHN devido a influência de um VCAN-HN, no Atlântico Norte.

Também foram observados casos em que ocorreram mais de um tipo de ligação, esses casos iniciam-se com uma conexão de norte ou sul, em sua meia vida ocorrem 2 ligações simultâneas e terminam como de sul ou norte.

5.3 Análise das correntes ao longo dos hemisférios

5.3.1 Análise geral de casos

Nesta seção estão sumarizados os resultados de todos os casos descritos acima detalhadamente para uma análise geral da duração, tipos de ligações, dos números de núcleos, da forma dos núcleos e da quantidade de famílias. (QUADRO 6). Foram obtidos os seguintes dados: (1) a forma da corrente do HN é sempre meridional (M); (2) a forma da corrente do HS

foi zonal (Z) em casos de ligação Sc e Si, que em alguns casos evoluiu para M; (3) a ligação do HN incompleta (Ni) é mais comum, seguido da ligação incompleta de sul (Si); (4) o número de núcleos/famílias no HS varia entre 5 e 6 e no HN atinge 7; ou seja, a circulação meridional do HN foi mais intensa do que no HS.

QUADRO 6 – Resultados gerais dos casos analisados. Classificação: maiúsculas, ligação de norte (N) e ligação de sul (S). Subclassificação: minúsculas, Ligação incompleta (i) e ligação completa (c); Forma: Zonal (Z) e meridional (M).

CASO	DURAÇÃO	LIGAÇÃO	HEMISFERIO SUL			HEMISFERIO NORTE		
			FORMA	NÚCLEO/FAMÍLIA		FORMA	NÚCLEO/FAMÍLIA	
				INÍCIO	MÁX		INÍCIO	MÁX
1	4 dias	Si	M	6/5	6/5	M	6/5	6/6
2	8 dias	Ni/Sc	Z/M	6/5	6/5	M	6/5	6/6
3	10 dias	Si/Sc	Z/M	5/5	6/7	M	5/5	6/6
4	3 dias	Ni	M	6/5	7/6	Z/M	4/4	6/5
5	8 dias	Nc/Sc	M	6/5	6/6	Z/M	7/6	7/7
6	2 dias	Sc/Si	Z/M	6/5	6/6	M	6/5	8/7
7	2 dias	Ni/Si	M	6/5	6/5	M	7/6	7/6
8	5 dias	Ni	M	6/5	6/6	M	6/6	7/6
9	13 dias	Si	M/Z	6/	6/	M	6/	7/
10	1 dia	Si	M	6/5	6/5	M	7/5	7/6
11	5 dias	Si/Sc	M	5/5	6/5	M	6/5	6/6
12	1 dia	Si	Z/M	6/5		M	6/5	
13	4 dias	Ni	M/Z	6/6	7/7	M	7/6	8/7
14	2 dias	Si	Z	5/5	6/5	M	6/5	6/5
15	1 dia	Sc	Z	6/5		M	6/5	
16	1 dia	Sc	Z	5/5		M	6/5	

Fonte: Autor, 2022

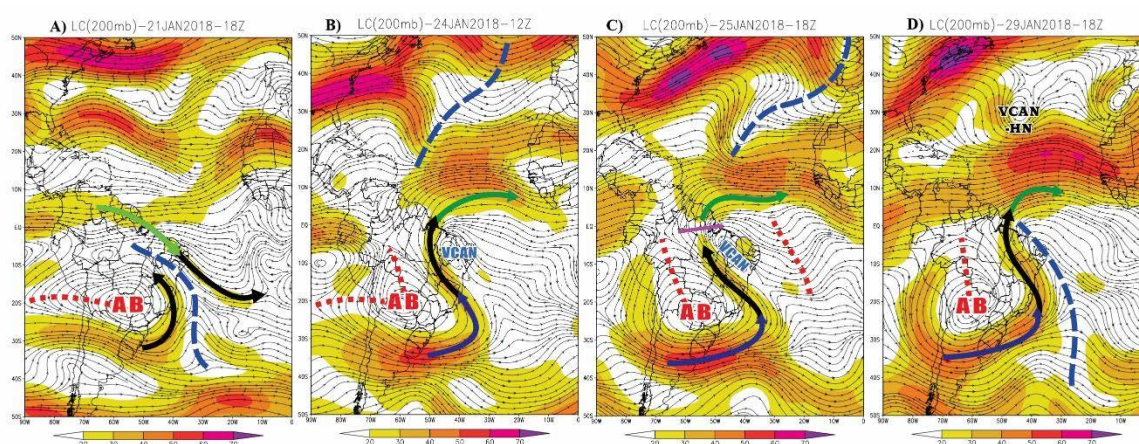
5.3.2 Análise detalhada das correntes nos tipos de ligação

5.3.2.1 Caso 2 de 21/01/2018 18:00 UTC à 29/01/2018 18:00 UTC

A duração deste caso foi de 8 dias consecutivos, ao longo do mês de janeiro, mês que ocorrem mais avanços da CJSTHN e interações com a CJNEB e CJSTHS, onde 2 tipos de ligação coexistiram: norte incompleta e sul completa. As análises iniciais do caso 2, mostram

que na ligação de norte o fluxo é mais zonal no HS e meridional no HN. No dia 21/01/2018 às 18UTC (FIGURA 22a), há uma ligação incompleta de norte, interligando a CJSTHN com a CJNEB ao longo da costa norte do NEB. No dia 24/01/2018 12 UTC (FIGURA 22b) ocorreu a ligação de sul completa, que perdurou até o dia 29/01/2018 às 18 UTC(FIGURA 22d), com pequeno enfraquecimento da ligação no dia 25/01/2018 às 18 UTC(FIGURA 22c).

FIGURA 22 – Linhas de correntes e Magnitude do vento em 200hPa. (a) LIN, (b) início da LCS, (c) enfraquecimento da LCS e (d) Religação da LCS. CJNEB (Seta Preta), CJSTHN (Seta Verde), CJSTHS (Seta Azul), Alta da Bolívia (AB), Crista (Pontilhado Vermelho), Vórtices Ciclônicos Altos Níveis (VCAN), cavado (Tracejado Azul) e Rompimento (traço roxo).

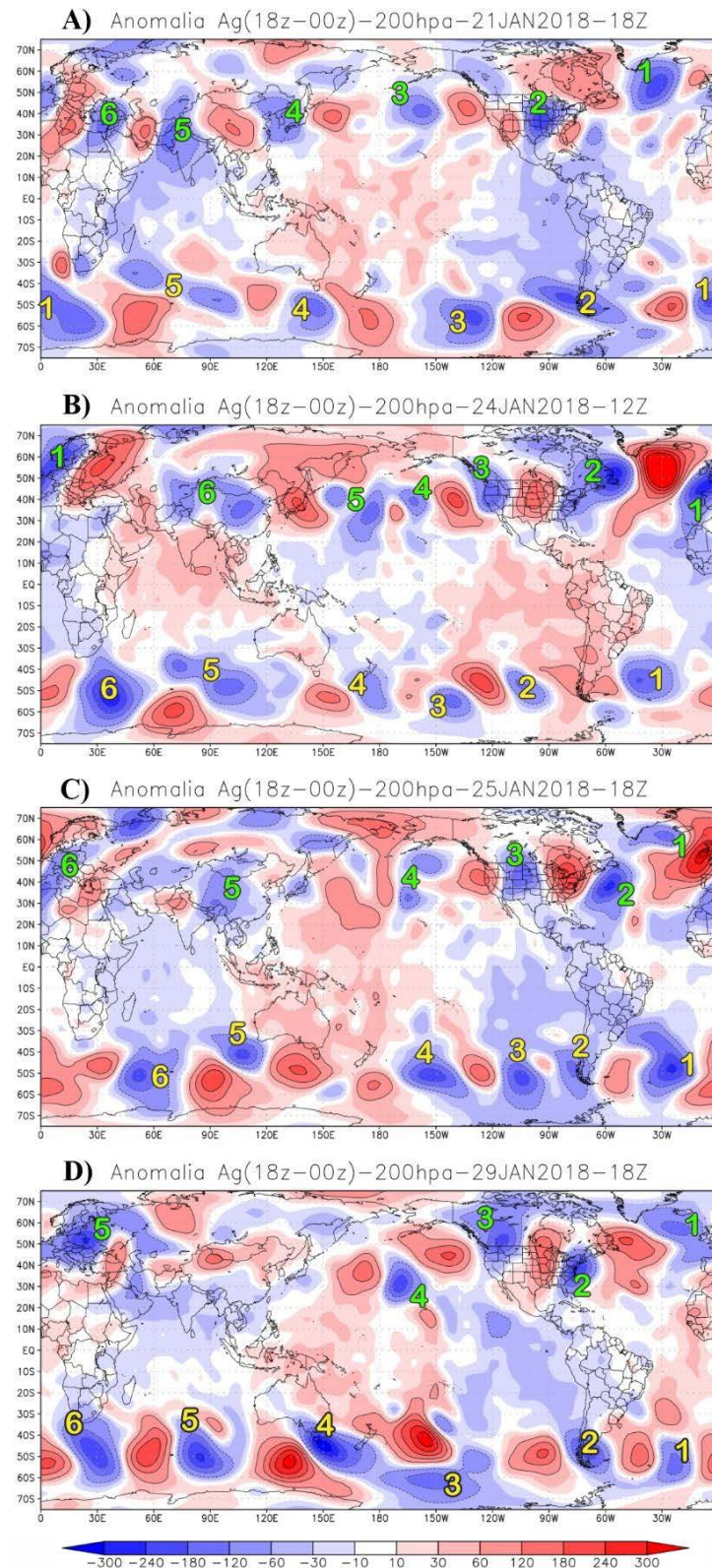


Fonte: Autor, 2022

No campo de aAg (FIGURA 23a) foram identificados entre 5 e 6 núcleos negativos, em cada hemisfério, todos em sua grande parte com formas meridionais. No dia 21/01/2018 (FIGURA 23a) durante a ocorrência da LIN, dentro da área 1 do estudo, pode-se observar a existência de 2 núcleos ao HS, um com forma meridional enquanto o outro com forma mais zonal, além de uma grande área de altura geopotencial negativa que interliga com os núcleos do HN, onde tem uma forma predominante meridional.

No dia 24/01/2018 (FIGURA 23b) instaura-se uma LCS, onde o número de núcleos dentro da área 1 continua igual ao passo anterior, entretanto existe uma inversão da grande área que interliga os núcleos, ficando positiva. Nos dias subseqüente da LCS, nos dias 25/01/2018 (FIGURA 23c) e 29/01/2018 (FIGURA 23d) a configuração das aAg continua igual, com até 6 núcleos ao longo de cada hemisfério e formas predominantemente meridionais.

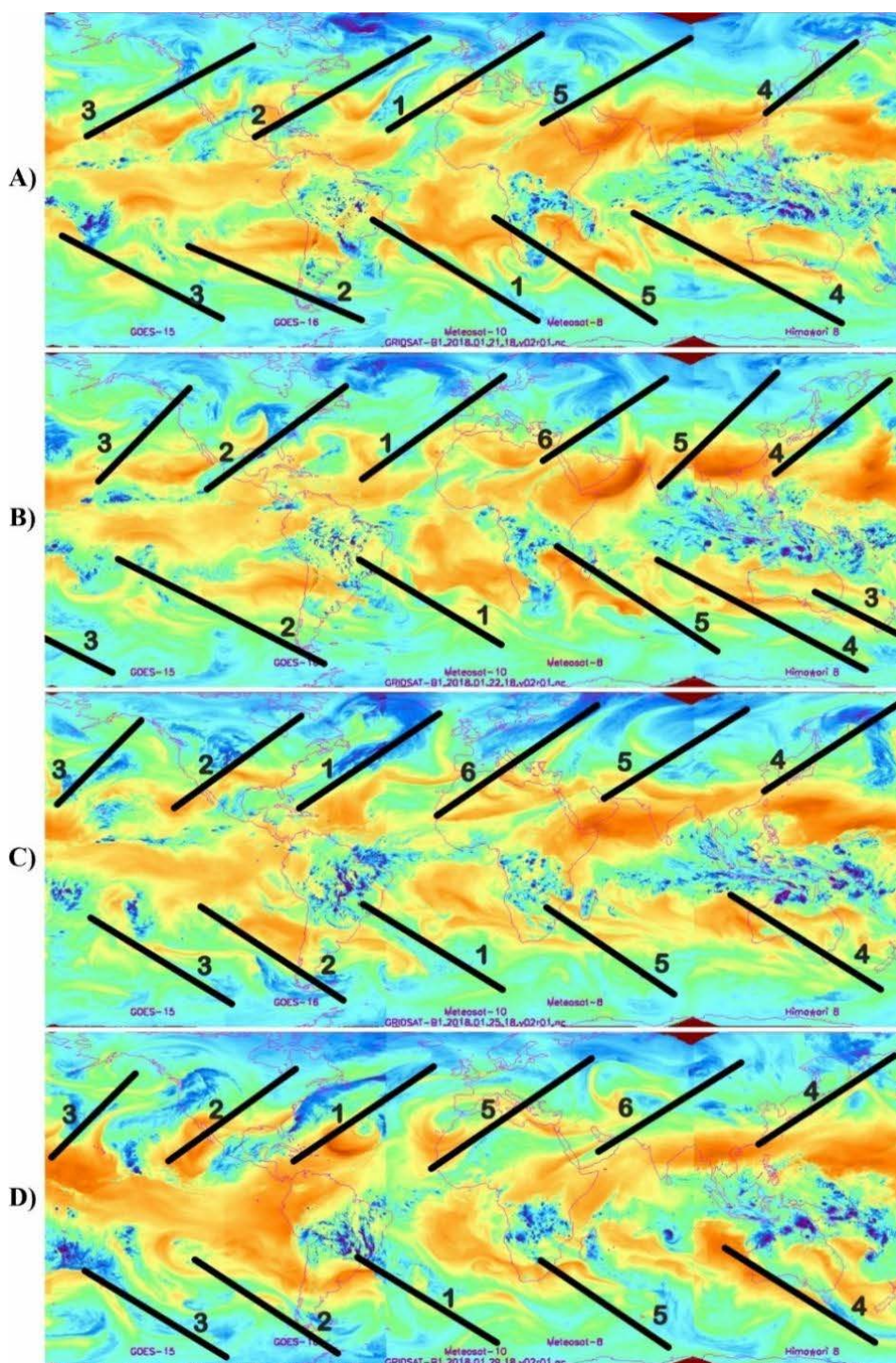
FIGURA 23 – Anomalia da Altura Geopotencial para as datas do caso 2: (a) 21/01/2018, (b) 24/01/2018, (c) 25/01/2018, (d) 29/01/2018. Número de núcleos negativos, na cor verde e amarelo, respectivamente, para os HN e HS



Fonte: Autor, 2022

As imagens de satélite, no canal de Vapor de Água, (FIGURA 24) serviram como um confirmador para a contagem dos núcleos negativo, além de grupo de controle, onde é possível observar facilmente as famílias de ciclones baroclínicos.

FIGURA 24– Imagens de Satélite (canal WV) com a sinalização das famílias dos ciclones para as datas do caso 2: (a) 21/01/2018, (b) 24/01/2018, (c) 25/01/2018, (d) 29/01/2018.



Os mesmos números de núcleos e das famílias (FIGURA 3 e 4) mostram sistemas iguais, logo, está sendo confirmados os resultados de cálculo de sistemas atuantes ao longo do globo. Ao final das análises foi preenchida uma planilha (QUADRO 7) com números de núcleos, famílias de ciclone e formato do núcleo negativo de AAG.

QUADRO 7 – Resultados das análises do caso 2, para ambos os hemisférios: Classificação: maiúsculas, ligação de norte (N) e ligação de sul (S). Subclassificação: minúsculas, Ligação incompleta (i) e ligação completa (c); Forma: Zonal (Z) e meridional (M).

DATA/HORA	LIGAÇÃO	HEMISFERIO SUL			HEMISFERIO NORTE		
		NUCLEO	FAMILIA	FORMA	NUCLEOS	FAMILIA	FORMA
21/01/2018 18z	Ni	5	5	Z	6	5	M
24/01/2018 12z	Sc	6	5	M	6	6	M
25/01/2018 18z	Sc	6	6	M	6	6	M
29/01/2018 18z	Sc	6	5	M	5	6	M

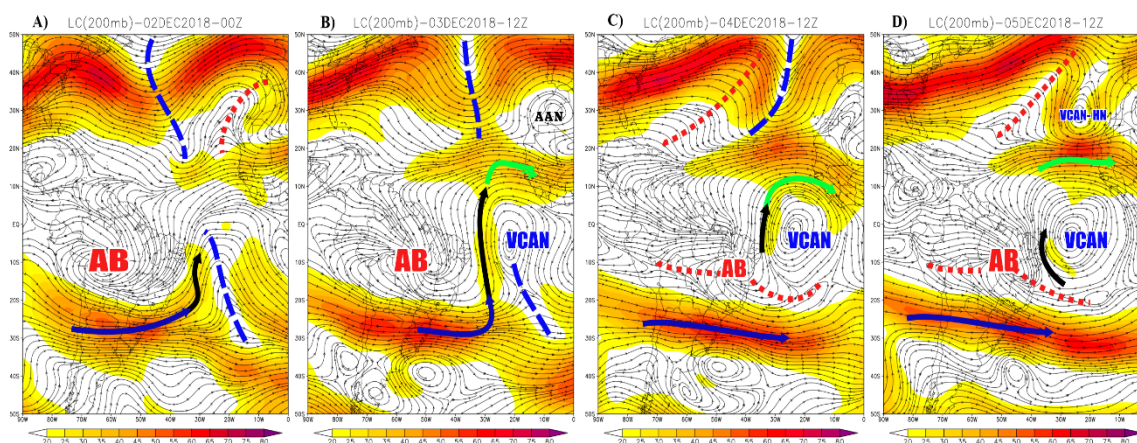
Fonte: Autor, 2022

Ao longo do caso 2, é observado uma mudança de ligação entre Ni para Sc, assim como todo o período do caso, ocorreu dentro de 5-6 núcleos/famílias. Para o momento de Ni, no dia 21/09/2018 pode-se observar que a forma dos núcleos dentro da área 1 eram zonais no HS, que desenvolveu uma mudança para um formato mais meridional no momento de troca das ligações no dia 24/01/2018. Para o HN o processo foi meridional ao longo de todo o caso, enquanto houve uma diminuição no número de núcleos de 6 para 5.

5.3.2.2 Caso 6: de 03/12/2018 18:00 UTC à 05/12/2018 00:00 UTC

Nos primeiros dias de dezembro, por 3 dias consecutivos, ocorreram interações entre a CJNEB e CJSTHS e CJSTHN, onde uma interação de CJNEB com CJSTHS (FIGURA 25a) desencadeou uma ligação completa com a CJSTHN (FIGURA 25b) no dia 03/12/218 as 12 UTC, posteriormente com a intensificação da AB, a formação de uma crista, quebrou a ligação completa de sul (FIGURA 25c) apenas restando a ligação incompleta que perdurou até dissipação em 05/12/2018 as 12 UTC (FIGURA 25d).

FIGURA 25 – Linhas de correntes e Magnitude do vento em 200hPa. (a) interação da CJNEB com a CJSTHS, (b) LCS, (c) rompimento da LCS e (d) Dissipação da LIS. CJNEB (Seta Preta), CJSTHS (Seta Verde). Alta da Bolívia (AB), Crista (Pontilhado Vermelho), Vórtices Ciclônicos Altos Níveis (VCAN), cavado (Tracejado Azul).



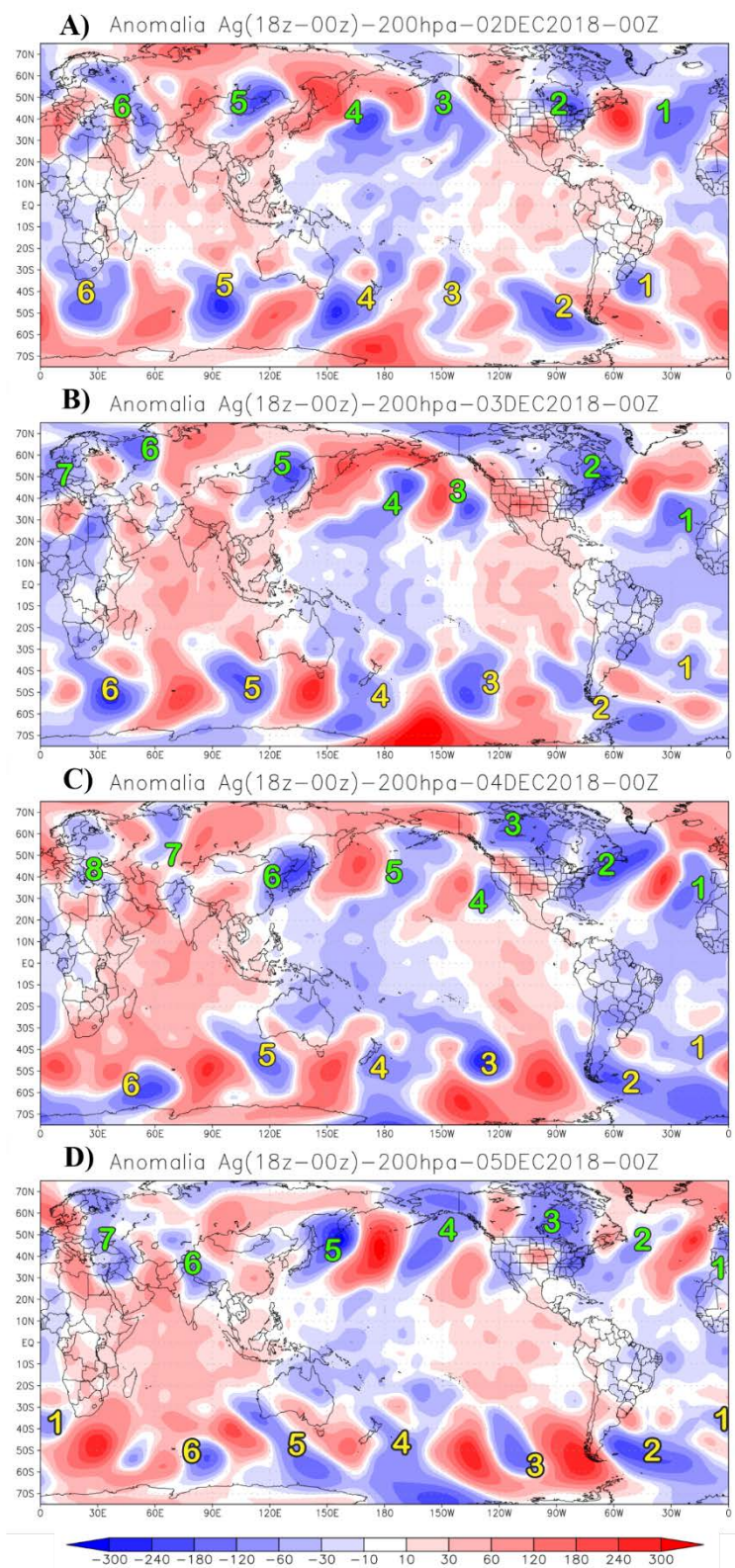
Fonte: Autor, 2022

No dia 02/12/2018 (FIGURA 26a), antes da LCS ocorrer, no campo de anomalia da altura geopotencial foram identificados 6 núcleos negativos em ambos os hemisférios, com formas meridionais para HN e Zonal para HS. Dentro da área 1 do estudo, ocorrem 2 núcleos negativos, com formato zonal no HS. Enquanto no HN ocorrem de 2 núcleos com forma meridional, além de uma grande área mais ao norte com anomalia menos intensa que interliga com os núcleos do HN.

No dia 03/12/2018 (FIGURA 26b) a LCS é formada e o número de núcleos dentro da área 1 continua igual ao passo anterior para ambos os hemisférios, entretanto o número total de núcleos no HN aumentou de 6 para 7. No HS os núcleos dentro da área 1 estão em uma forma zonal, enquanto todo o resto tem forma meridional.

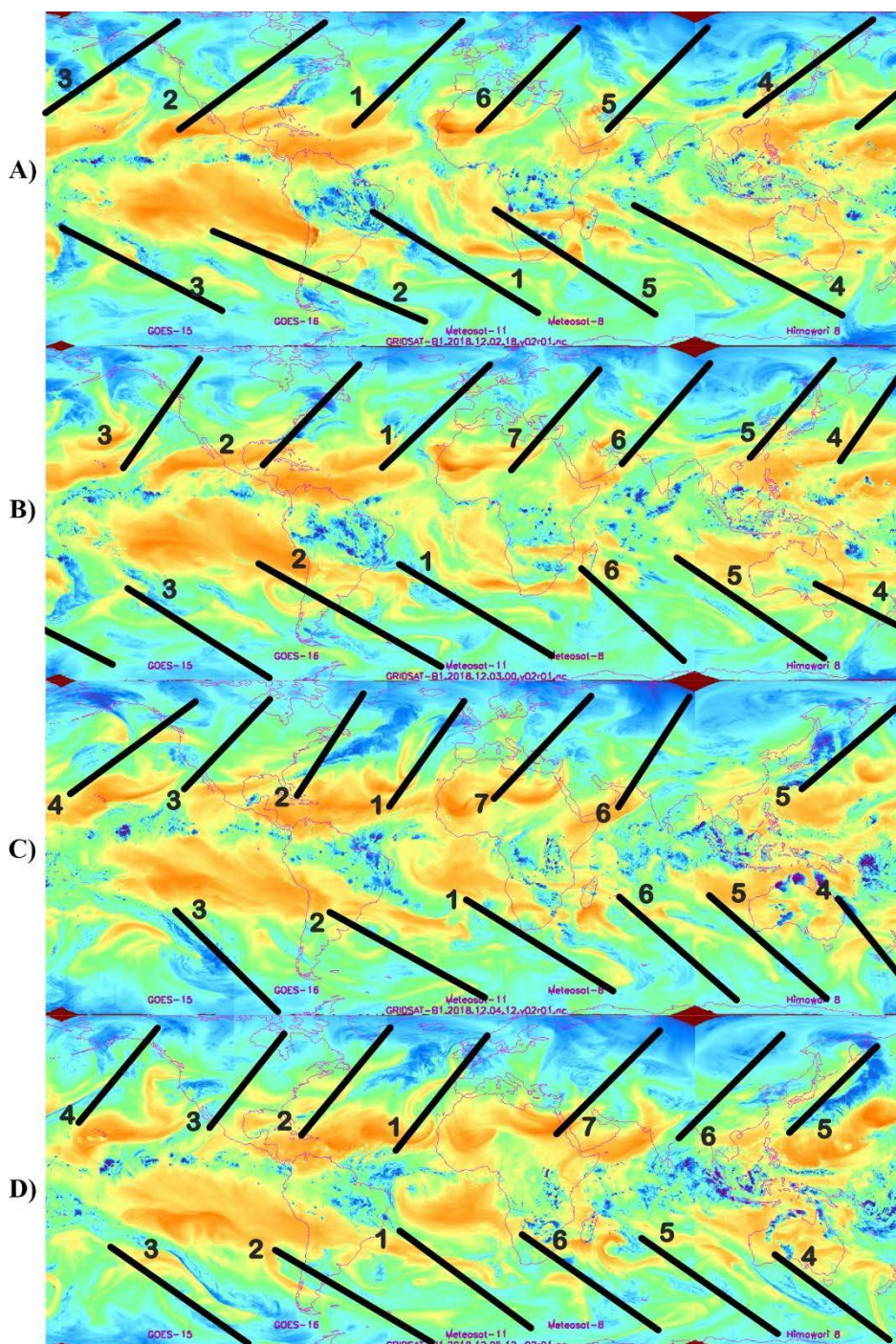
No dia 04/12/2018 (FIGURA 26c) a LCS é rompida formando uma LIS, o número de núcleos no HN atingiu o máximo de 8 com formas meridionais e intensas, enquanto no HS continuou com 6 núcleos e uma circulação mais zonal. O dia 05/12/2018 (FIGURA 26d) no momento dissipativo da LIS, a configuração das aAg contém 7 núcleos ao longo do HN com formas predominantemente meridionais e 6 núcleos ao longo do HS com formas zonal no Atlântico e meridionais ao longo do Pacífico. Na imagem de vapor d'água (FIGURA 27) confirma-se a quantidade de núcleos observadas além das proximidades das posições das famílias em relação aos núcleos.

FIGURA 26 – Anomalia da Altura Geopotencial para as datas do caso 6: (a) 02/12/2018, (b) 03/12/2018, (c) 04/12/2018, (d) 05/12/2018. Número de núcleos negativos, na cor verde e amarelo, respectivamente, para os HN e HS



Fonte: Autor, 2022

FIGURA 27 – Imagens de Satélite (canal WV) com a sinalização das famílias dos ciclones para as datas do caso 6: (a) 02/12/2018, (b) 03/12/2018, (c) 04/12/2018, (d) 05/12/2018.



Fonte: Autor, 2022

Observa-se que ao longo de todo o caso houve uma intensificação no número de núcleos de 6 para 8 no HN enquanto no HS a quantidade de núcleos continuou igual. Para as formas dos núcleos foram zonais no HS, enquanto no HN as formas foram meridionais, compactuando com o modelo conceitual da LCS e LIS, uma vez que o fluxo das CJ no HS ficam muito mais zonais e HN muito mais meridionais (QUADRO 8).

QUADRO 8 – Resultados das análises do caso 6, para ambos os hemisférios: Classificação: maiúsculas, ligação de norte (N) e ligação de sul (S). Subclassificação: minúsculas, Ligação incompleta (i) e ligação completa (c); Forma: Zonal (Z) e meridional (M).

DATA/HORA	LIGAÇÃO	HEMISFERIO SUL			HEMISFERIO NORTE		
		NUCLEO	FAMILIA	FORMA	NUCLEOS	FAMILIA	FORMA
02/12/2018 00z	pré-Sc	6	5	Z	6	6	M
03/12/2018 12z	Sc	6	6	Z	7	6	M
04/12/2018 12z	Si	6	6	Z	8	7	M
05/12/2018 12z	pós-Si	6	6	Z	7	6	M

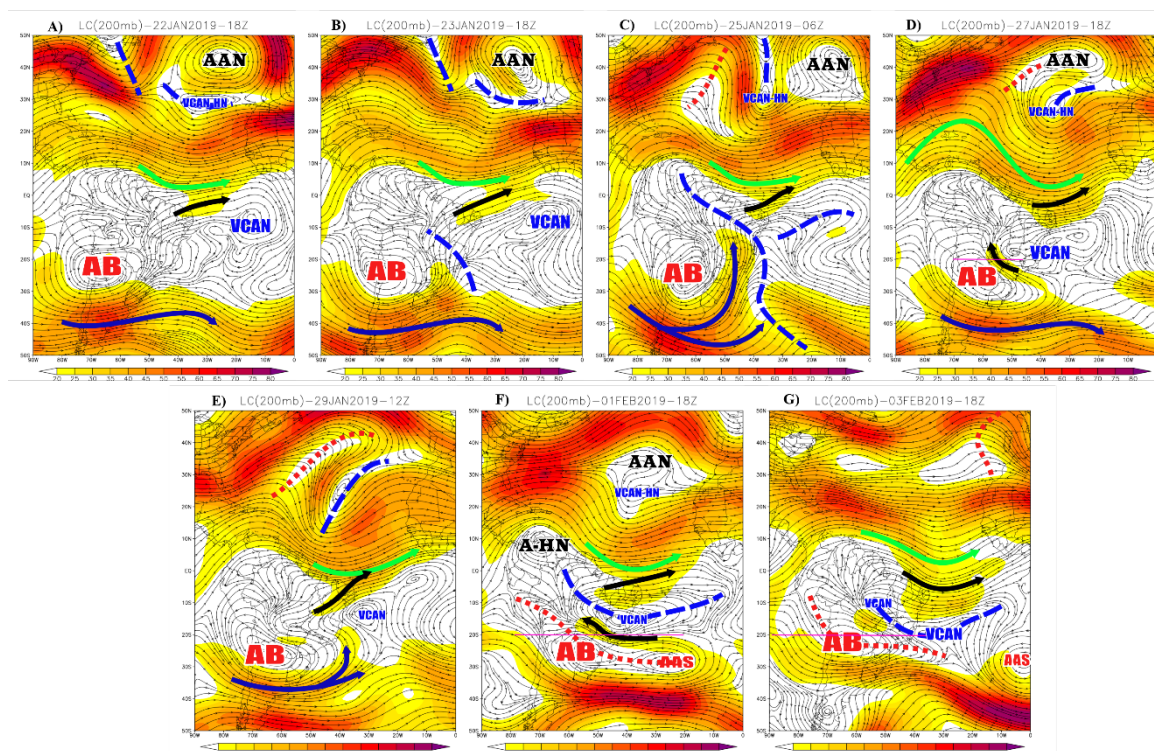
Fonte: Autor, 2022

5.3.2.3 Caso 9: de 22/01/2019 06:00 UTC à 03/02/2019 00:00 UTC

Com 13 dias consecutivos em janeiro de 2019, ocorreu uma ligação incompleta de sul. No campo de LC e Magnitude dos ventos. No dia 22/01/2019 às 18UTC (FIGURA 28a), há uma ligação incompleta de norte, interligando a CJSTHN com a CJNEB ao longo da costa norte do NEB. No dia 23/01/2019 18 UTC (FIGURA 28b) ocorreu uma intensificação dessa ligação, que perdurou até o dia 25/01/2019 às 06 UTC(FIGURA 28c), em que um cavado que cruza o oceano atlântico impede uma ligação completa de sul. No dia 27/01/2019 às 18 UTC (FIGURA 28d) houve o enfraquecimento dos sistemas.

No dia 29/01/2019 às 12 UTC (FIGURA 28e) é observado que a CJSTHN está localizada muito ao sul, devido a uma grande crista formada por um VCAN, posteriormente no dia 01/02/2019 às 18 UTC (FIGURA 28f), a crista torna-se uma AAN e forma um “dual cut-off” junto com VCAN. Enquanto no HS é observado um fluxo totalmente zonal com surgimento de 2 CJNEB, uma mais ao norte fazendo ligação com a CJSTHN e outra abaixo do VCAN. No dia 03/02/2019 às 18 UTC, os sistemas do HS dissipam e o processo de rompimento da ligação é iniciado (FIGURA 28g).

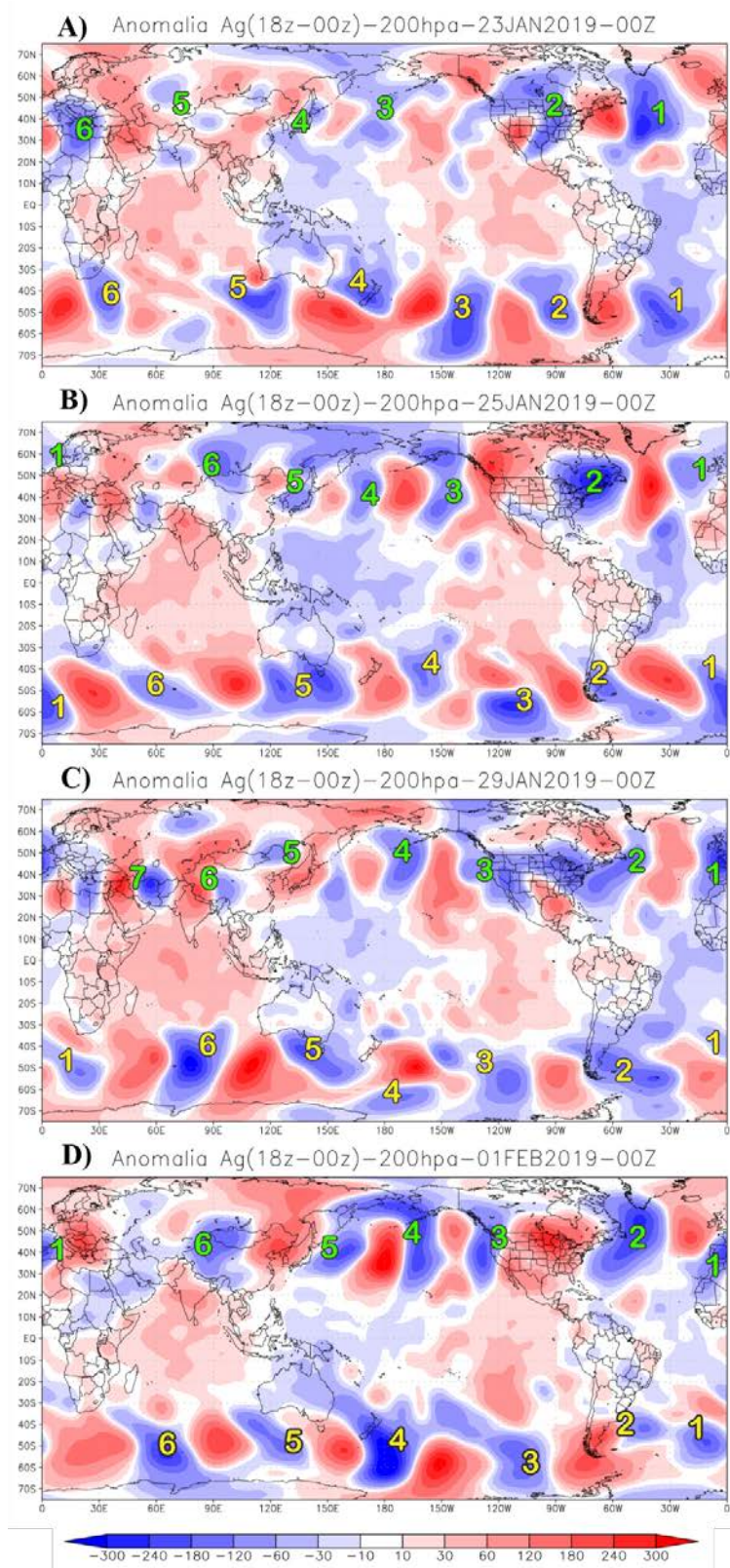
FIGURA 28 – Linhas de correntes e Magnitude do vento em 200hPa. (a) interação da CJNEB com a CJSTHS, (b) LIS, (c) bloqueio na LCS, (d) Dissipação da LIS, (e) intensificação do fluxo meridional no HN, (f) Fluxo meridional no HS com um “dual cut-off” no HS e (g) dissipação dos sistemas. CJNEB (Seta Preta), CJSTHS (Seta Verde). CJSTHS (Seta Azul), Alta da Bolívia (AB), Crista (Pontilhado Vermelho), Vórtices Ciclônicos Altos Níveis (VCAN), cavado (Tracejado Azul), Tropic 20°S (linha vermelha).



No dia 23/01/2019 (FIGURA 29a; FIGURA 30a), no início da LIS, na aAg foram identificados 6 núcleos negativos com formas meridionais (6 famílias), em ambos os hemisférios. Dentro da área 1 foi observado a ocorrência de 1 núcleo negativo para cada hemisférios, contudo tais núcleos são intensos e com forma meridional. No dia 25/01/2019 (FIGURA 29b; FIGURA 30b), devido a um cavado extenso ao longo da AS, a LIS não se tornou uma LCS, contudo é observado que o número de núcleos continua o mesmo, apenas dentro da área 1 aumentou para 2 em ambos os hemisférios.

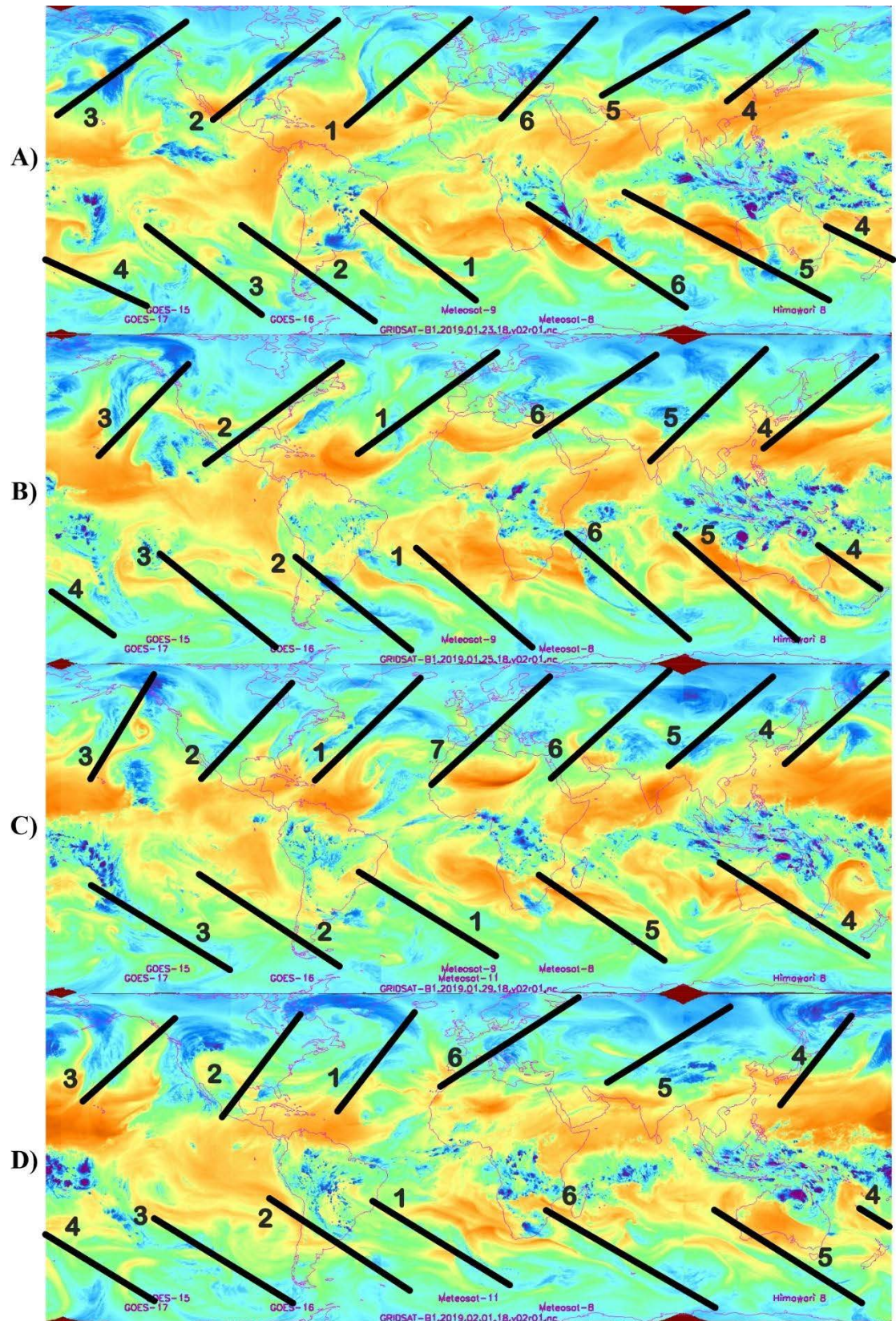
No dia 29/01/2019 (FIGURA 29c; FIGURA 30c) a LIS continua presente e o número de núcleos no HN atingiu o máximo de 7 (7 famílias) com formas meridionais e pouco intensas, enquanto no HS a circulação mudou para zonal e continuou com 6 núcleos (5 famílias). O dia 01/02/2019 (FIGURA 29d; FIGURA 30d) no momento mais intenso da LIS, a contagem de núcleos ao longo do HN foi de 6 (7 famílias) com formas predominantemente meridionais e 6 núcleos (7 famílias) ao longo do HS com formas zonal no Atlântico e meridionais ao longo do Pacífico.

FIGURA 29 – Anomalia da Altura Geopotencial para as datas do caso 6: (a) 23/01/2019, (b) 25/01/2019, (c) 29/01/2019, (d) 01/02/2019. Número de núcleos negativos, na cor verde e amarelo, respectivamente, para os HN e HS



Fonte: Autor, 2022

FIGURA 30 – Imagens de Satélite (canal WV) com a sinalização das famílias dos ciclones para as datas do caso 9: (a) 23/01/2019, (b) 25/01/2019, (c) 29/01/2019, (d) 01/02/2019.



Fonte: Autor, 2022

Durante o caso não houve uma mudança nos estágios iniciais da LIS, o número de núcleos de 6 para 7 no HN enquanto no HS a quantidade de núcleos continuou igual. Para as formas dos núcleos foram zonais no HS, enquanto no HN as formas foram meridionais, compactuando com o modelo conceitual da LCS e LIS, uma vez que o fluxo das CJ no HS fica muito mais zonais e HN muito mais meridionais (QUADRO 9).

QUADRO 9 – Resultados das análises do caso 6, para ambos os hemisférios: Classificação: maiúsculas, ligação de norte (N) e ligação de sul (S). Subclassificação: minúsculas, Ligação incompleta (i) e ligação completa (c); Forma: Zonal (Z) e meridional (M).

DATA/HORA	LIGAÇÃO	HEMISFERIO SUL			HEMISFERIO NORTE		
		NUCLEO	FAMILIA	FORMA	NUCLEOS	FAMILIA	FORMA
23/01/2019 00z	Si	6	6	M	6	6	M
25/01/2019 12z	Si	6	6	M	6	6	M
29/01/2019 12z	Si	6	5	Z	7	7	M
01/02/2019 12z	Si	6	6	Z	6	6	M

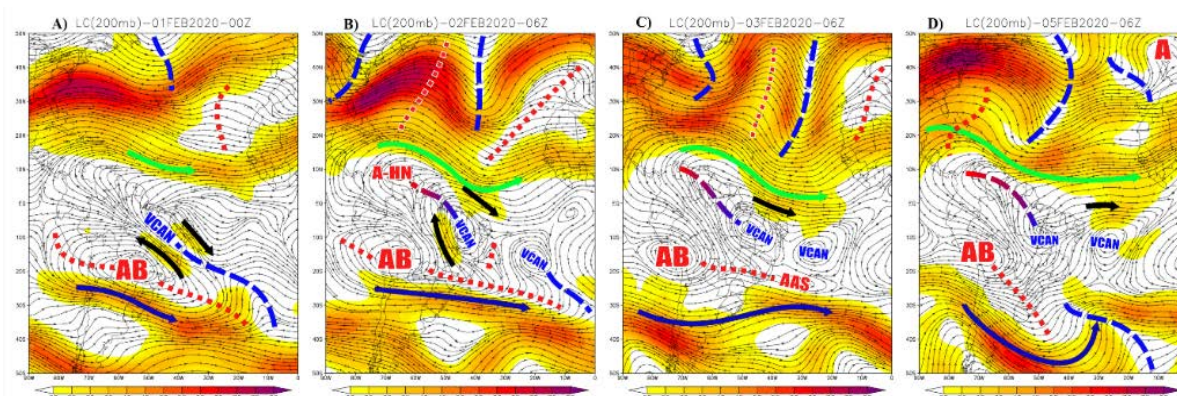
Fonte: Autor, 2022

5.3.2.4 Caso 13: de 01/02/2020 12:00 UTC à 05/02/2020 12:00 UTC

Iniciando no dia 01/02/2020 às 12 UTC (FIGURA 31a), com uma duração de 4 dias. No campo de LC e Magnitude dos ventos começou com um grande cavado sobre AS, formando 2 CJNEB. No dia 02/02/2020 às 18UTC (FIGURA 31b), há uma ligação incompleta de norte, interligando a CJSTHN com a CJNEB ao longo da costa norte do NEB, VCAN sobre NEB torna-se muito intenso e seu cavado passa para HN formando uma Alta pressão sobre o América Central.

No dia 03/02/2020 às 06 UTC (FIGURA 31c) ocorre a intensificação dessa ligação, entretanto ela se torna uma confluência paralela, que perdurou até o dia 05/02/2020 às 06 UTC (FIGURA 31d), em que manteve a configuração. Ao longo do caso é possível observar a intensificação dos fluxos meridionais aos longo de cada hemisfério.

FIGURA 31 – Linhas de correntes e Magnitude do vento em 200hPa. (a) formação da CJNEB (b) início da LIN, (c) LIN, (d) Início da dissipação da LIN. CJNEB (Seta Preta), CJSTHN (Seta Verde). CJSTHS (Seta Azul), Alta da Bolívia (AB), Crista (Pontilhado Vermelho), Vórtices Ciclônicos Altos Níveis (VCAN), cavado (Tracejado Azul).



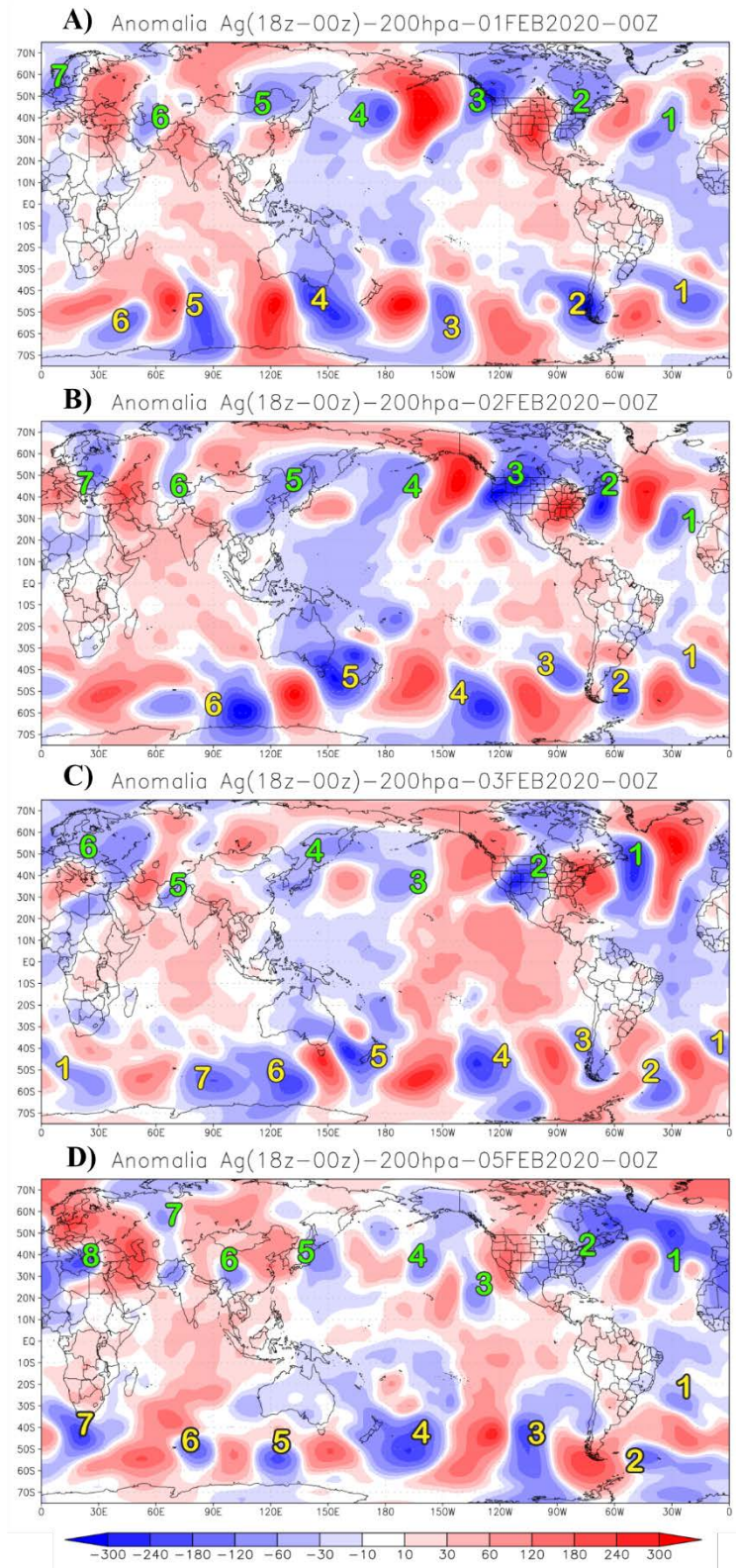
Fonte: Autor, 2022

No dia 01/02/2020 (FIGURA 32a; FIGURA 33a), na pré-LIN, foram identificados 7 núcleos negativos (e 6 famílias) com formas meridionais no HN, para HS foram observados 6 núcleos (6 famílias). Dentro da área 1 foi observado a ocorrência de 2 núcleo negativo intensos e com forma meridional, em ambos os hemisférios.

No dia 02/02/2020 (FIGURA 32b; FIGURA 33b), a LIN é instaurada e o número de núcleos continua o mesmo, apenas dentro da área 1 aumentou para 2 em ambos os hemisférios. Durante o dia 02/02, uma crista da AB fica muito intensa, fazendo o bloqueio da circulação do HS, tornando os núcleos da região 1 mais zonal.

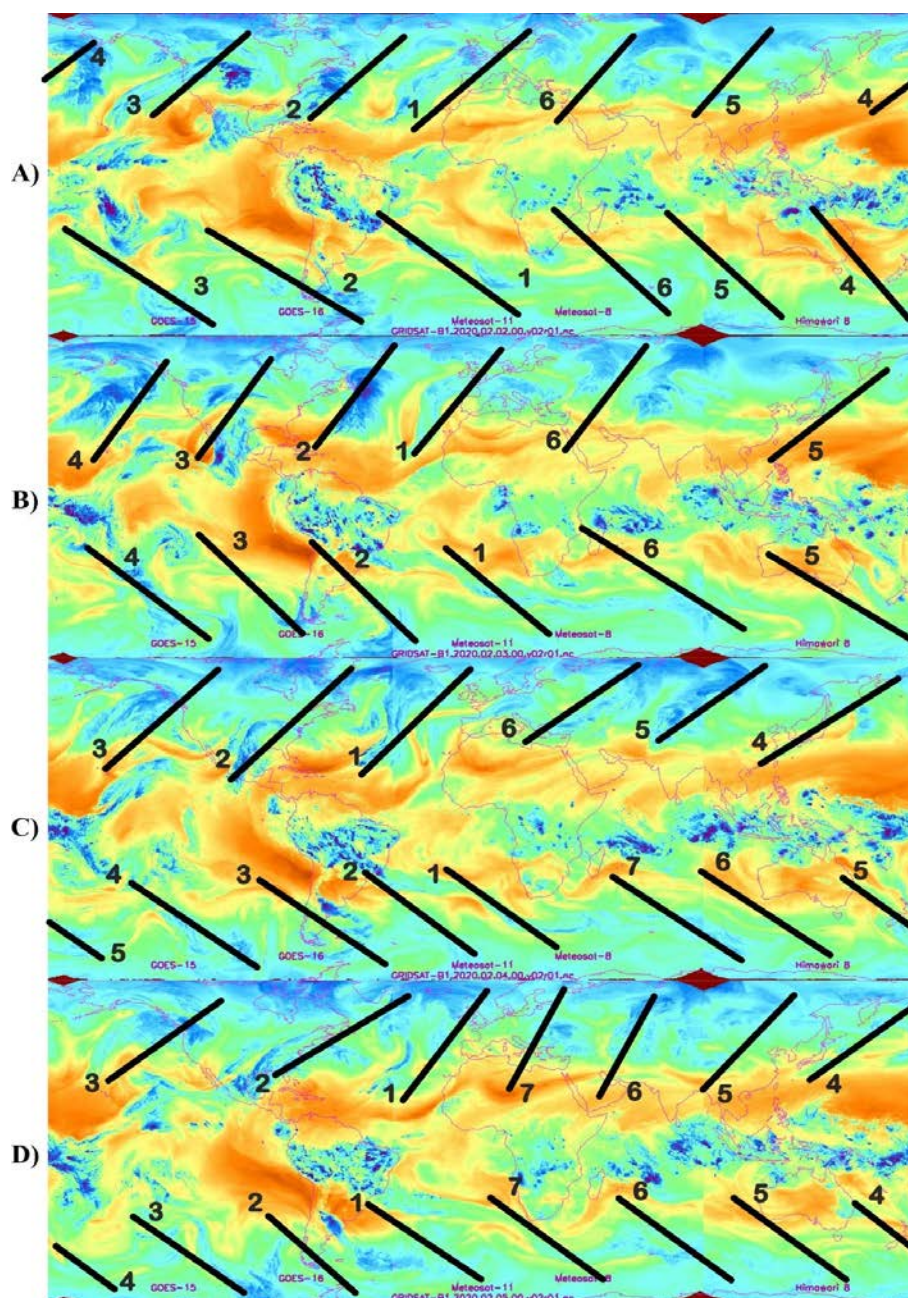
No dia 03/02/2020 (FIGURA 32c; FIGURA 33c) a LIN continua presente e o número de núcleos no HN regrediu para 6 e 6 famílias, com formas meridionais e muito intensas, enquanto no HS a quantidade de núcleos aumentou para 7 (7 famílias) com formas meridionais, a ligação perdurou até o dia 05/02/2020 (FIGURA 32d; FIGURA 33d), onde a contagem de núcleos ao longo do HN aumentou de 6 para 8 (7 famílias) com formas meridionais e de baixa intensidade, ao longo do HS a contagem continuou com 7 núcleo/famílias; entretanto, como observado no caso 6, dentro da areia 1 os núcleos tiveram a forma alterada para zonal e o restante do HS a forma foi meridional.

FIGURA 32 – Anomalia da Altura Geopotencial para as datas do caso 6: (a) 23/01/2019, (b) 25/01/2019, (c) 29/01/2019, (d) 01/02/2019. Número de núcleos negativos, na cor verde e amarelo, respectivamente, para os HN e HS



Fonte: Autor, 2022

FIGURA 33 – Imagens de Satélite (canal WV) com a sinalização das famílias dos ciclones para as datas do caso 13: (a) 01/02/2019, (b) 02/02/2020, (c) 03/02/2020, (d) 05/02/2020.



Fonte: Autor, 2022

Ao longo do caso é possível observar o comportamento e interação inter-hemisférico da LIN, não houve uma mudança das formas no hemisfério norte, todo o caso o processo foi meridional. Contudo, pode-se observar a mudança da circulação meridional para zonal no HS. A LIN se comporta ao longo do tempo, validando o caso 6, em que existe um aumento do número de núcleos em ambos os hemisférios: HS de 6 para 7 e HN de 6 para 8; onde o processo meridional no HN fica mais intenso, entretanto no HS a forma torna-se mais zonal dentro da área 1, para o resto do globo é meridional (QUADRO 10).

QUADRO 10 – Resultados das análises do caso 2, para ambos os hemisférios: Classificação: maiúsculas, ligação de norte (N) e ligação de sul (S). Subclassificação: minúsculas, Ligação incompleta (i) e ligação completa (c); Forma: Zonal (Z) e meridional (M).

CASO 13							
DATA/HORA	LIGAÇÃO	HEMISFERIO SUL			HEMISFERIO NORTE		
		NUCLEO	FAMILIA	FORMA	NUCLEOS	FAMILIA	FORMA
01/02/2020 12z	Ni	6	6	M	7	6	M
02/02/2020 12z	Ni	6	6	M	7	6	M
03/02/2020 18z	Ni	7	7	M	6	6	M
05/02/2020 12z	Ni	7	7	Z/M	8	7	M

Fonte: Autor, 2022

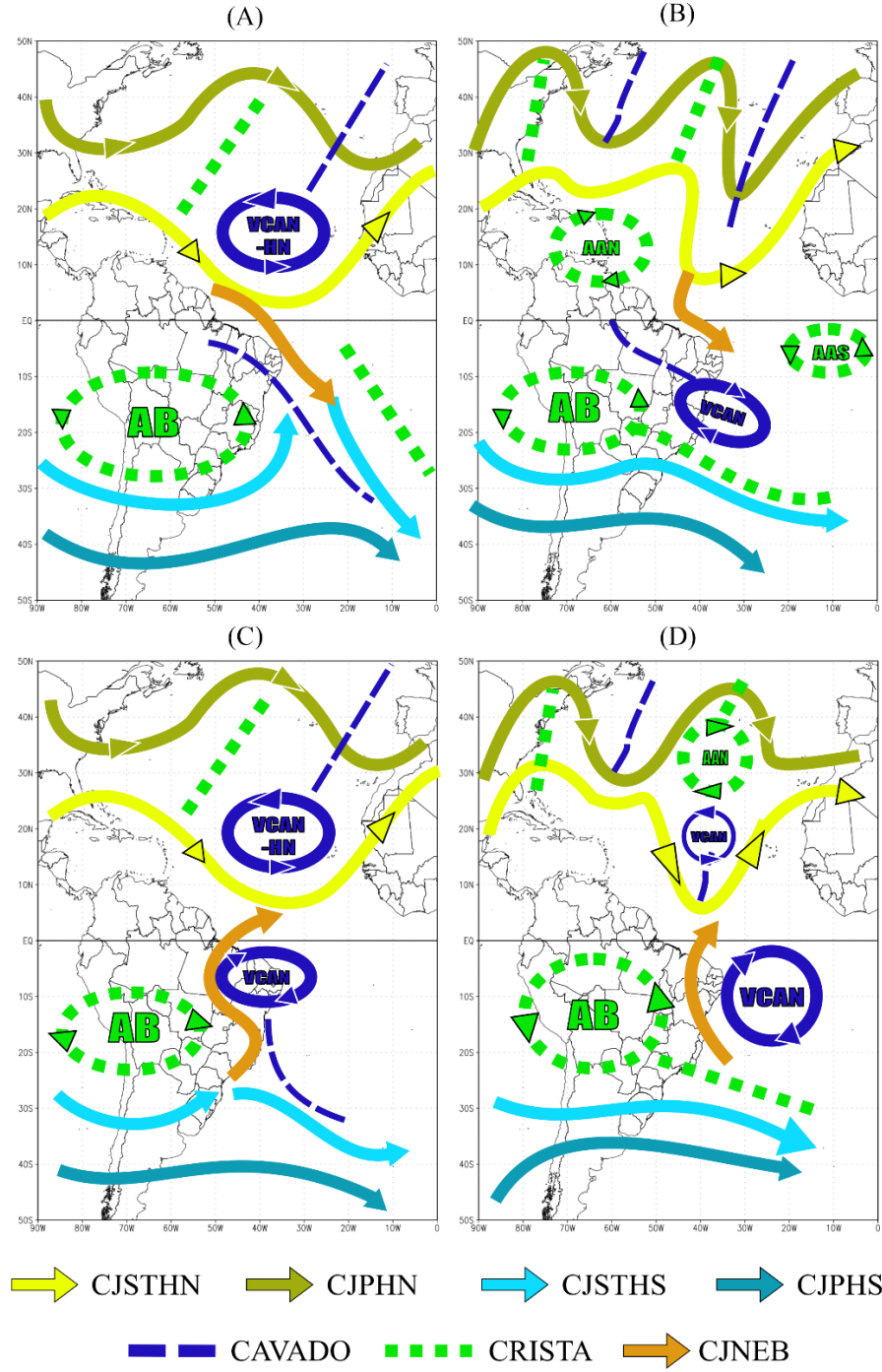
5.3.3 Modelo conceitual das correntes e suas ligações

Atualizações e correções dos modelos conceituais e de classificação propostos por Leite (2020) foram realizadas neste estudo. No modelo conceitual foi adicionando a quantidade de cristas e cavados ao longo de cada hemisfério, facilitando a visualização do fluxo das CJ. As ligações estão relacionadas com a ligação da CJNEB com as CJST de ambos os hemisférios.

As Ligações Completas de Norte (LCN) ocorrem devido ao forte fluxo meridional no HN. A formação de um VCAN no Atlântico Norte em conjunto de uma crista ou Alta pressão, força a circulação muito próxima da linha do Equador, ocasionando avanços da CJSTHN e ligações com a CJNEB. Para a circulação no HS, a intensidade da AB e a ausência de uma crista sobre o Atlântico Sul causa a conexão entre a CJNEB e a CJSTHS, tornando-a uma Ligação Completa de Norte (LCN) (FIGURA 34a). Entretanto durante a presença de uma crista muito prolongada causa a desconexão entre a CJNEB e a CJSTHS (FIGURA 34b) gerando uma Ligação Incompleta de Norte (LIN).

Para as Ligações Completas de Sul (LCS), a ligação está relacionada ao forte fluxo meridional no HN devido a presença de um “dual cut-off”, um VCAN e uma Alta pressão (FIGURA 34c), força uma circulação muito próxima da linha do Equador. Assim como nas ligações de norte. a presença de uma Crista muito extensa, devido a AB, sobre Atlântico causa um bloqueio entre a CJNEB e a CJSTHS, tornando-a uma Ligação Incompleta de Sul (LIS) (FIGURA 34d).

FIGURA 34 – Modelo conceitual corrigido; (a) LCN, (b) LIN, (c) LCS e (d) LIS



Fonte: Autor, 2022

6 CONCLUSÕES

Durante o período estudado foram identificados 16 casos de ligação entre CJNEB e CJST de ambos os hemisférios, onde 14 casos foram identificados durante o verão, 1 no outono e 1 na primavera. A duração mínima de ligação foi de um dia, no ano de 2020, como os casos 10 (de 26 a 27/01/2019), 12 (de 27/01/2020), 15 (19/02/2020) e 16 (26/12/20); e máxima de treze dias, como o caso 9 (de 22/01 a 03/02/2019).

As ligações inter-hemisféricas ocorreram devido amplificação das ondas e do alto números de famílias em altos níveis. Essa amplificação foi observada em todos os casos e as análises mostram que o fluxo predominante foi meridional no HN e zonal mudando para meridional no HS. O VCAN no HS tem forte influência nas ligações, desde a conexão das CJs até a dissipação e sua presença se mostrou essencial para tais ligações.

Dentre os casos estudados, as LIN são as mais comuns, com duração mínima de 1 dia e podendo durar até 13 dias. A forma da corrente no HN é observada como meridional, já no HS a forma da corrente em três casos (2, 6 e 13) mudou de zonal para meridional. Para as ligações incompletas, em especial de fluxo norte, foi observado que o número de núcleos e famílias são de 6/5 no HS, enquanto no HN podem atingir 7/6.

Para os casos de ligações completas, a duração mínima observada foi de 1 dia (casos 15 e 16) e duração máxima de até 10 dias (casos 2, 3, 5 e 11). A forma da corrente para os casos de curta duração no HS é zonal, enquanto para os casos de maior duração o fluxo é zonal mudando para meridional. Logo, nas ligações completas, o HS tem fluxo mais zonal, totalizando 5 núcleos/famílias, enquanto no HN é totalmente meridional, com 7/6 núcleos/famílias.

Concluimos que este trabalho foi elaborado uma análise minuciosa dos fluxos dos hemisférios, para todos os tipos de ligações inter-hemisféricas classificadas, onde foi identificado que as ligações acontecem quando existem muitas famílias de ciclones, tornando o fluxo das correntes mais meridional e desencadeando ligações das CJSTHN com a CJNEB. Sugestão para trabalhos futuros, sobre como as ligações se relacionam com os anos de El Niño e La Niña.

7 REFERÊNCIAS

- 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.
- BEEBE, R.G.; BATES, F.C. A mechanism for assisting in the realise of convective instability. Monthly. Weather Review, v.83, n. 11, p.1-10, Jul. 1955.
- BLUESTEIN, H.B. Synophic-dynamic meteorology in midlatitudes. Oxford: University Press V2 1993
- CAMPOS, A. M. V. Corrente de jato próximo do NEB e fenômenos meteorológicos associados. Monografia (Graduação em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió - AL março, 2006.
- 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.
- CARLSON, T.N. Mid-latitude weather sustem. London: Harper Collins academic 1991
- COSTA, M. S. Vortice Ciclônico em Altos níveis associado à corrente de jato no Nordeste Brasileiro nos anos de 1998 - 2007 - 2010. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió - AL Novembro, 2010.
- DEAN, G. A. Three dimensional wind structure over South America and associated rainfall over Brazil. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1971.
- FEDOROVA, N. et al. Brazilian Northeast Jet Stream: frequency, wind speed and direction. METEOROLOGICAL APPLICATIONS. United Kingdon, UK, v.25, p.254–260, 2017. DOI: 10.1002/met.1688 (A)
- FEDOROVA, N. et al. Brazilian Northeast Jet Stream: association with synoptic-scale systems. METEOROLOGICAL APPLICATIONS. United Kingdon, UK, v.25, p.261–268, 2017. DOI: 10.1002/met.1693 (B)
- FEDOROVA, N. et al. CJNEB e múltiplos fenômenos meteorológicos adversos no Estado de Alagoas do Brasil no dia 15 de junho de 2003. In IX Congresso Argentino de Meteorologia, Buenos Aires, 2005.
- FEDOROVA, N. Meteorologia Sinótica. Volume 1. 1 Ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária – UFPel, 1999. 260p.

FORTUNE, M. Introdução a interpretação de imagens de satélite. Relatório nº INPE 1681 – RPE/133, São Jose dos Campos, 1980

FRANK, N. L. The weather distribution with upper tropospheric cold lows in the Tropics. 1966. U. S. Weather Bureau, Southern Region. Technical memorandum, n. 28, 1966.

GAN, M. A. Um estudo observacional sobre as baixas frias de alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil. 1982. 80 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1982. (INPE – 2685-TDL/126).

GOMES, H. B. ESTUDO DA CORRENTE DE JATO PRÓXIMO DO ESTADO DE ALAGOAS. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL, MACEIÓ, 2003

GRID analysis and Display System GrADS: Overview of GrADS. Fairfax – EUA: Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies – COLA, (2014). Disponível em: <http://opengrads.org/>. Acesso em: Julho de 2018.

HOLTON, J.R. Introdução à meteorologia dinâmica. Edição traduzida. p. 391.1979

KALNAY et al. The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bullentin of the American Meteorology Society, 77, 437-471, 1996.

Knapp, K. R., S. Ansari, C. L. Bain, M. A. Bourassa, M. J. Dickinson, C. Funk, C. N. Helms, C. C. Hennon, C. D. Holmes, G. J. Huffman, J. P. Kossin, H.-T. Lee, A. Loew, and G. Magnusdottir, 2011: Globally gridded satellite (GridSat) observations for climate studies. Bulletin of the American Meteorological Society, 92, 893-907.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. L. Upper tropospheric cyclonic vortices in the subtropical South Atlantic. Tellus, Munksgaard, Copenhagen. v. 33, p. 538-551, Nov. 1981.

LEITE, M. H. F. Influência das correntes de jato do hemisferio norte e sul no tempo do nordeste brasileiro; Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió - AL, Janeiro, 2020.

LSC, LYNDON STATE COLLEGE. Disponível em <http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter10/jet_streams.html>. Acesso: 15 de Junho de 2021.

MATTOCKS, C.; BLECK, R. Jet streak dynamics and geostrophic adjustment processes during the initial stages of lee cyclogenesis. Monthly Weather Review, 2033-2056, 1986

MEDINA, M. Meteorologia Básica Sinoptica. Madrid: Paraninfo, 1976

NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B. The climatology of droughts and drought prediction. In: PARRY, M L.; CARTER, TR; KONIJN, N. T. (Eds.). The impact of climate variations on agriculture. v. 2: Assessments in Semi-Arid Regions. Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers, 1988. P. 305-323.

PAIXÃO, E. B.; GANDU, A. W. Caracterização do vórtice ciclônico de ar superior sobre o Nordeste do Brasil (Parte I). CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, Rio de Janeiro, 2000. Anais eletrônicos. p. 3422-3428. 1 CD-ROM.

PALMÉN, E. Origin and structure of high-level cyclones south of the maximum westerlies. *Tellus*, v.1, p. 22-31, 1949.

PALMÉN, E.; NEWTON, C. W. Atmospheric circulation systems. Their Structure and physical interpretation. New York, London Toronto, Sydney, San Francisco: Academic Press, p. 603, 1969

PALMER, C. E. On High-level cyclones originating in the tropics. *American Geophys Union*, v. 32, n. 5, p. 683-695m Oct. 1951.

PONTES DA SILVA, B. F.; FEDOROVA, N., LEVIT, V. Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas. *Rev. Bras. Meteorol.*, 2011, vol.26, p232-338.

PEZZI, L.P., ROSA, M.B., BASTISTA, N.N.M. A corrente de jato subtropical sobre América do Sul. *Climanálise Edição Especial Outubro/1996*. Edição especial comemorativa de 10 anos

RAMIREZ, M. C. V. Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil. 132p. (INPE-6408-TDI/618). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1997.

RAMÍREZ, M. C. V.; KAYANO, M. T.; FERREIRA, N. J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of Northeast Brazil during the 1980-1989 period. *Atmosfera*, v. 12, p. 75-88. 1999

REITER, E. R. Jet stream meteorology. Chicago: The University of Chicago Press, 1969. 515p.

REPINALDO, H F. B. Vórtice Ciclônico em Altos Níveis e Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro em anos de El Niño e La Niña; Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió - AL, abril, 2010.

REPINALDO, H F. B; FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; REPINALDO, C.R.B.; Upper tropospheric cyclonic vortex and brazilian northeast jet stream over alagoas state: circulation patterns and rainfall *Revista Brasileira de Meteorologia*, Online Ahead of Print, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778635500000>

RIEHL, H., BADNER, J., HOYDE, J.E. Forecasting in the middle latitudes. Meteorological Monographs. American Meteorological Society, v.1, 1952 n. 5195280

SILVA DIAS, P. L, SCHUBERT, W. H., DEMARIA, M. Large-scale response of the tropical atmosphere to transient convection. J.Atmos.Sci., 40,2689-2707, 1983.

UCCELLINI, L. W.; JOHNSON, D.R. The coupling of upper and lower level tropospheric jet streaks and implications of the development of severe convective storms. Monthly Weather Review, p. 682-703, 1979

VAZ, I. N. Estudo sobre a origem da Corrente de Jato no Nordeste Brasileiro e suas ligações inter-hemisféricas. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió - AL Janeiro, 2014.

VIRJI, H. A Preliminary Study of Summertime Tropospheric Circulation Patterns over South America Estimated from Cloud Winds. Monthly Weather Review, v.109, p.590-610. Mar. 1981.