



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

CARACTERÍSTICAS ANÔMALAS DO VERÃO DE 2019

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Paola do Nascimento Silva

Itajubá, MG, Brasil

2019

CARACTERÍSTICAS ANÔMALAS DO VERÃO DE 2019

por

Paola do Nascimento Silva

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

Orientadora: Prof.^a Dra. Michelle Simões Reboita

**Itajubá, MG, Brasil
2019**

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

CARACTERÍSTICAS ANÔMALAS DO VERÃO DE 2019

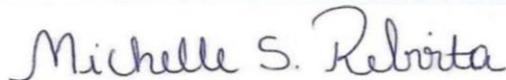
elaborada por

Paola do Nascimento Silva

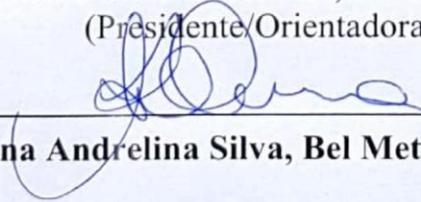
Como requisito parcial para a obtenção do grau de

Bacharel em Ciências Atmosféricas

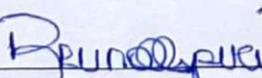
Comissão Examinadora:



Michelle Simões Reboita, Dr^a. (UNIFEI)
(Presidente/Orientadora)



Bruna Andreina Silva, Bel Met. (UNIFEI)



Bruno César Capucin, Bel Met. (UNIFEI)

Itajubá, 27 de junho de 2019.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder saúde e força para concluir este trabalho.

Aos meus pais, irmãos, demais familiares e namorado por todo apoio, carinho, incentivo e paciência durante estes anos.

À Prof. Michelle por aceitar me orientar neste trabalho, confiar em mim e transmitir conhecimentos que foram fundamentais para a elaboração do mesmo.

Aos demais professores do curso de Ciências Atmosféricas da UNIFEI pela dedicação e paciência em compartilhar de seus conhecimentos ao longo do curso.

Aos meus amigos, por todo apoio, força, incentivo e companheirismo. Em especial a Aline Freitas, por todo o auxílio durante a execução deste trabalho.

A todos que de certa forma contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse possível.

Aos meus pais, Geralda Lucimar e Lurdurval.

RESUMO

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

CARACTERÍSTICAS ANÔMALAS DO VERÃO DE 2019

AUTORA: PAOLA DO NASCIMENTO SILVA
ORIENTADORA: Prof.^a Dra. MICHELLE SIMÕES REBOITA
Local e Data da Defesa: Itajubá, 27 de junho de 2019.

O verão de 2019 (dez/18 e jan-fev/2019) foi um período anômalo. Em dezembro, algumas estações no Sudeste do Brasil registraram temperaturas muito abaixo da climatologia, como por exemplo na cidade de Itajubá, que houve registros de até 11,1 °C de temperatura mínima. Já o mês de janeiro foi extremamente seco. Diante desse contexto, o objetivo do presente estudo foi registrar e explicar tais anomalias. Para tanto, foram utilizados dados de estações meteorológicas, análise do GFS, reanálise do ERA-Interim e do CPC. O período anormalmente frio esteve associado a incursão de uma onda de frio entre 7 e 10 de dezembro de 2018, e o episódio seco em janeiro de 2019 esteve associado com o deslocamento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) para oeste de sua posição climatológica, fazendo com que as anomalias de pressão atmosférica e temperatura da superfície do mar (TSM) ficassem positivas, essas características dificultaram a ocorrência de precipitação no Sudeste e foram similares a da seca do ano de 2014.

Palavras-chave: Onda de frio. Precipitação. Sudeste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – a) Climatologia da precipitação (mm) na América do Sul para o período de 1979 a 2019 e b) anomalia de chuva na América do Sul em relação a climatologia	6
Figura 2 – a) Climatologia da temperatura mínima (°C) na América do Sul para o período de 1979 a 2019 e b) anomalia da temperatura mínima na América do Sul em relação à climatologia.....	7
Figura 3 – a) Climatologia da temperatura média (°C) na América do Sul para o período de 1979 a 2019 e b) anomalia da temperatura média na América do Sul em relação à climatologia.....	8
Figura 4 – a) Climatologia da temperatura máxima (°C) na América do Sul para o período de 1979 a 2019 e b) anomalia da temperatura máxima na América do Sul em relação à climatologia.....	9
Figura 5 – Evolução temporal das temperaturas na cidade de Itajubá-MG no mês de dezembro de 2018.....	10
Figura 6 – Corrente de jato em 250 hPa (m/s) (sombreado), espessura da camada 500/1000 (hPa) (linhas pontilhadas) e PNMM (hPa) (linhas contínuas) a)07/12/18; b)08/12/18; c)09/12/18 e d)10/12/18.....	11
Figura 7 – Corrente de jato em 250 hPa (m/s) (sombreado) e linhas de corrente em 850 hPa a)07/12/18; b)08/12/18; c)09/12/18 e d)10/12/18.....	12
Figura 8 – Advecção horizontal de temperatura do ar em 1000 hPa (sombreado), vento em 1000 hPa (m/s)(setas) e PNMM (hPa) (linhas contínuas) a)07/12/18; b)08/12/18; c)09/12/18 e d)10/12/18.....	13

Figura 9 – Umidade relativa em 850 hPa (sombreado), isoterma de 0 °C (linhas contínuas) e linhas de corrente em 850 hPa (linhas com setas) a)07/12/18; b)08/12/18; c)09/12/18 e d)10/12/18.....14

Figura 10 – Advecção de vorticidade relativa em 500 hPa (sombreado) e altura geopotencial em 500 hPa (linhas contínuas) a)07/12/18; b)08/12/18; c)09/12/18 e d)10/12/18.....15

Figura 11 – Anomalias de precipitação (mm) no mês de janeiro para o período de 1979 a 2019 na região Sudeste, compreendida entre 51°W a 41°W e 23°S a 17°S.....16

Figura 12 – Anomalias dos campos atmosféricos na América do Sul em relação a climatologia (2000 a 2019) para janeiro de 2019 a) Linhas de corrente em 250 hPa; b) PNMM; c) Divergência de umidade específica em 850 hPa; d) Ômega em 500 hPa; e) Umidade específica e vento em 850 hPa e f) Divergência e altura geopotencial em 250 hPa.....17

Figura 13 – Anomalias dos campos atmosféricos para todo o globo em relação a climatologia (2000 a 2019) para janeiro de 2019 a) Altura geopotencial e vento em 850 hPa; b) Altura geopotencial e vento em 250 hPa e c) TSM.....19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis utilizadas do modelo GFS.....3

Tabela 2 – Variáveis utilizadas da Reanálise do ERA-Interim.....4

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

APA – Alta Pressão Atmosférica

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

BPA – Baixa Pressão Atmosférica

CFSv2 -

CPC – *Climate Prediction Center*

ECMWF – *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*

GFS – *Global Forecast System*

NCEP – *National Centers for Environmental Prediction*

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*

PIB – Produto Interno Bruto

PNMM – Pressão ao Nível Médio do Mar

RSB – Região Sudeste do Brasil

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	3
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO VERÃO (DEZ/18 E JAN-FEV/19)	3
2.2 ONDA DE FRIO	3
2.3 DÉFICIT DE PRECIPITAÇÃO EM JANEIRO DE 2019	4
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	5
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO VERÃO (DEZ/18 E JAN-FEV/19)	5
3.2 ONDA DE FRIO	9
3.3 DÉFICIT DE PRECIPITAÇÃO EM JANEIRO DE 2019	15
4. CONCLUSÃO.....	20
5. REFERÊNCIAS	21

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é uma das variáveis atmosféricas que mais impacta em setores como o agrícola, energético, de transporte e turístico. Entretanto, a temperatura do ar também pode causar prejuízos econômicos como, por exemplo, a queda das temperaturas ocasionadas pela incursão de ar frio nas regiões Sul e Sudeste do país, podem propiciar muitas vezes geadas, afetando negativamente o setor agrícola (ESCOBAR, 2007).

A região Sudeste do Brasil (RSB) concentra 42,1% da população total do país (IBGE, 2010) e é responsável por cerca de 55,4% do Produto Interno Bruto Nacional (PIB), tendo sua economia baseada em minério, indústrias, petróleo, agricultura e pecuária (IBGE, 2010). O clima predominante da RSB, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é Aw – tropical chuvoso com inverno seco (KOTTEK *et al.*, 2006). Esta região é caracterizada por possuir duas estações bem definidas: um período mais seco que ocorre nos meses de inverno e um período chuvoso, registrando máximos de precipitação, nos meses de verão (REBOITA *et al.*, 2010). Esse padrão de inverno seco e verão chuvoso é característico de um regime de monção (ZHOU; LAU, 1998). Os principais sistemas que constituem a monção da América do Sul, colaborando para os elevados totais de precipitação no verão são: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é uma banda de nebulosidade persistente orientada no sentido noroeste-sudeste, que atua principalmente no verão austral, formada a partir do escoamento de umidade proveniente da Amazônia (NOGUÉS-PAEGLE; MO, 1997); jato de baixos níveis a leste dos Andes e alta da Bolívia.

O verão de 2019, que é constituído pelos meses de dezembro de 2018, janeiro e fevereiro de 2019, foi atípico. No mês de dezembro, ocorreu um período frio entre os dias 7 e 10. De acordo com a estação meteorológica da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), em Itajubá-MG, a temperatura mínima no dia 9 de dezembro foi de 11,1 °C e a média foi de 19,2 °C, enquanto que a climatologia da temperatura mínima é de 17,8 °C e da média é de 22,9 °C. Portanto, ambas temperaturas foram abaixo do valor climatológico. Esta queda brusca na temperatura foi notícia em diversos sítios da internet, como, por exemplo, no site g1 que mencionou a ocorrência de geada em Maria da Fé (MG) e no site da Climatempo que previu grande queda na temperatura na madrugada do dia 9.

As ondas de frio são caracterizadas por sequências de dias em que a temperatura do ar se torna menor do que um determinado limiar (REBOITA *et al.*, 2015a). O padrão de circulação mais típico quando há ocorrência de entrada de ar frio é o que apresenta incursão de uma frente fria com trajetória sudoeste/nordeste e seu anticiclone pós frontal adentrando no continente através de latitudes mais altas, próximas aos 47°S, em médios níveis há uma crista intensa no oceano Pacífico próximo do Chile e, há um cavado que se estende desde o interior do continente até o oceano Atlântico Sul (Escobar, 2007).

Enquanto o mês de dezembro teve um período frio no Sudeste do Brasil, o mês de janeiro de 2019 foi caracterizado pela precipitação abaixo da média. Na estação meteorológica da UNIFEI, o déficit foi de 30,6%; e de acordo com os dados obtidos pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), no Estado de São Paulo, na estação de São Carlos, o déficit foi de 53,6%, no Estado do Rio de Janeiro, na estação de Rezende, foi de 21,6% e no Espírito Santo foi registrado os maiores déficits, sendo de 93,1% em Vitória.

Nos últimos verões têm ocorrido episódios de escassez de precipitação no Sudeste do Brasil. Coelho *et al.* (2016) e Reboita *et al.* (2015b) descreveram a circulação atmosférica associada com o padrão anômalo do verão de 2014. Foi verificado que diversos fatores influenciaram no déficit de precipitação, tais como um trem de ondas emanado da Austrália que determinou a posição do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), contribuindo para a redução da convecção e enfraquecimento da ZCAS, reduzindo a chuva no continente, além do aumento da Temperatura de Superfície do Mar (TSM), favorecido pela anomalia de alta pressão, que atuou de forma a enfraquecer o deslocamento de frentes frias.

Diante do contexto apresentado, esse estudo tem dois objetivos: (1) descrever a onda de frio que atuou em dezembro de 2018 e (2) comparar a circulação atmosférica de janeiro de 2019 com os padrões descritos por Coelho *et al.* (2016) e Reboita *et al.* (2015b) a fim de verificar se ocorreu algum padrão similar para explicar o déficit de precipitação na RSB.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do Verão (Dez/18 e Jan-Fev/19)

Nessa etapa foram utilizados dados diários de precipitação, temperaturas mínima, máxima e média provenientes do *Climate Prediction Center* (CPC) do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro dos anos entre 1979 e 2019. Estes dados possuem resolução espacial de 1° e é resultado da junção de diversas fontes de informação (HUFFMAN *et al.*, 2001). Será computada a climatologia de cada um dos meses de verão e, após, os meses do verão de 2019 serão comparados com essa climatologia.

2.2 Onda de Frio

Para o estudo da onda de frio foram obtidos dados de análise do *Global Forecast System* (GFS) do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) para dezembro de 2018. Os dados possuem resolução espacial de 0,5° e resolução temporal de 6 horas, mas para este trabalho selecionou-se apenas os dados do horário sinótico das 12Z. A tabela 1 indica as variáveis utilizadas. Além disso, foram empregados dados de temperatura mínima, média e máxima da estação meteorológica da UNIFEI, para acompanhar como foi o comportamento da temperatura durante o mês de dezembro de 2018.

Tabela 1: variáveis utilizadas do modelo GFS

Variáveis	Níveis (hPa)
Altura geopotencial	1000 e 500
Componente zonal e meridional do vento	1000, 850, 500 e 250
Pressão ao Nível médio do mar (PNMM)	-
Temperatura	1000 e 850
Umidade relativa	850

A princípio, através dos dados da estação meteorológica, pôde-se calcular o percentil de 5% a fim de caracterizar a onda de frio. Também foi feito um gráfico com as temperaturas mínimas, médias e máximas para melhor visualização da queda de temperatura. Os dias de maior queda ocorreram entre 7 e 10 de dezembro. Então, esse período foi selecionado para análise de diversos campos atmosféricos, tais

como: advecção de temperatura em 1000 hPa e PNMM; advecção de vorticidade relativa e altura geopotencial em 500 hPa; jato em 250 hPa e linhas de corrente em 850 hPa; jato em 250 hPa, espessura da camada 500/1000 hPa e PNMM; umidade relativa e isoterma de 0 °C em 850 hPa - com finalidade de observar a incursão e propagação de ar sobre o Sudeste do país.

2.3 Déficit de Precipitação em Janeiro de 2019

Para o estudo do déficit de precipitação em janeiro, utilizou-se dados da reanálise ERA-Interim do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) (Dee *et al.*, 2011) para os horários sinóticos (00, 06, 12 e 18 UTC) do período de 2000 a 2019. Essa reanálise possui resolução espacial de 0,75° (~80 km) e a escolha destes dados se deu pelo fato de haver disponibilidade de uma série histórica maior para o cálculo das anomalias das variáveis descritas na tabela abaixo.

Tabela 2: variáveis utilizadas da Reanálise ERA-Interim

Variáveis	Níveis (hPa)
Altura geopotencial	850 e 250
Componente zonal e meridional do vento	850 e 250
Componente vertical do vento	500
Divergência	250
PNMM	-
TSM	-
Umidade específica	850

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do Verão (Dez/18 e Jan-Fev/19)

Para compreender a distribuição da precipitação e o comportamento das temperaturas, realizou-se a climatologia das mesmas e, além disso, foram calculadas anomalias para identificar o quanto estas variáveis se distanciaram da média climatológica. Na figura 1a, pode-se observar a climatologia para o período de 1979 a 2019, onde os maiores valores de precipitação para o Sudeste são encontrados no mês de janeiro. A figura 1b, anomalia do verão de 2019, indica que os maiores valores de anomalia negativa de chuva ocorreram em janeiro para as regiões Sudeste e Centro-Oeste; já a região Sul do país é caracterizada por anomalia positiva. Nogués-Paegle e Mo (1997) encontraram que quando há anomalia negativa de chuva no Sudeste, no Sul a anomalia é positiva. Em geral, os meses de dezembro e janeiro foram marcados por uma predominância de anomalia negativa de chuva para quase todo Brasil, já em fevereiro, os totais pluviométricos voltaram a subir, fazendo com que a anomalia fosse positiva, exceto na região Centro-Oeste.

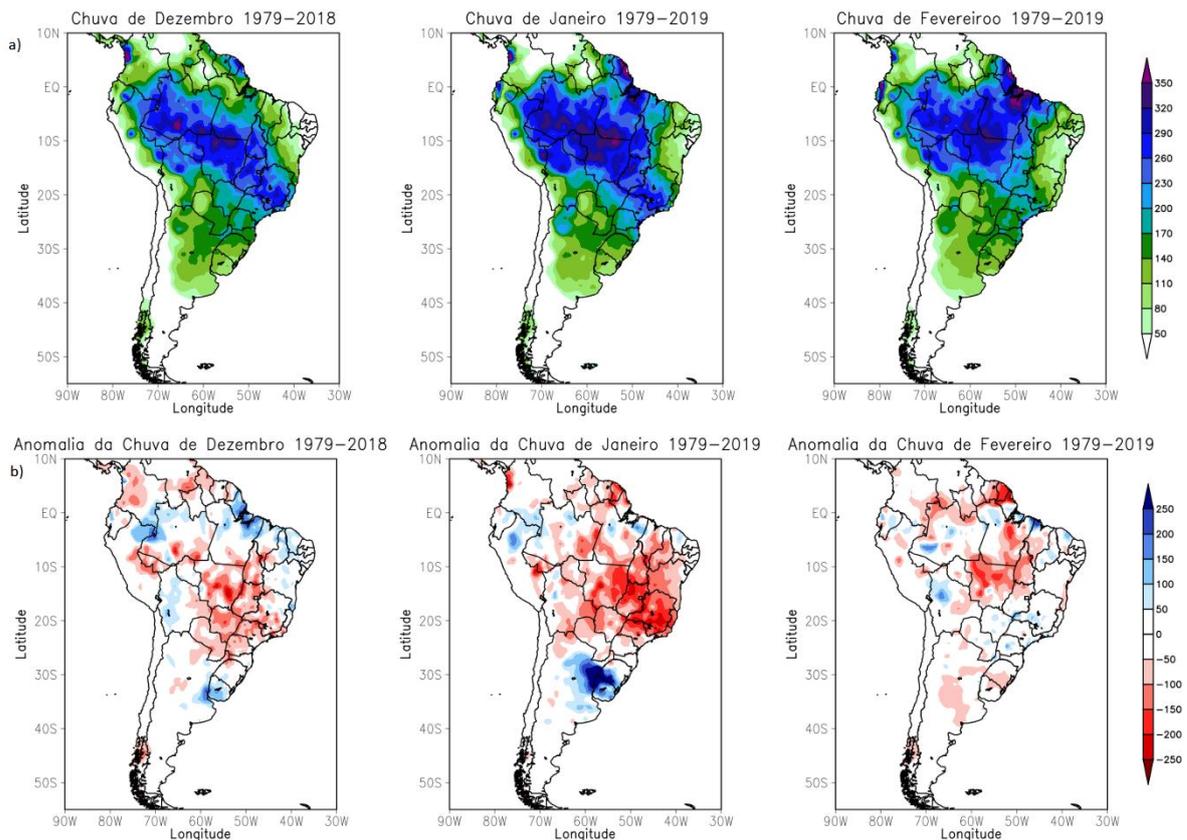


Figura 1 – a) Climatologia da precipitação (mm) na América do Sul para o período de 1979 a 2019 e b) anomalia de chuva na América do Sul em relação a climatologia

Em relação a temperatura mínima (figura 2), a sua climatologia apresenta valores mais baixos nas regiões Sudeste e Sul do país, variando de 16 a 22 °C. No geral, a temperatura mínima tem um padrão semelhante para os 3 meses. Em relação a anomalia, o mês de dezembro apresentou menores áreas com anomalias em geral do que os outros dois meses. Já em janeiro ocorreram os maiores valores positivos de anomalia na região Sul, indicando que a temperatura mínima ficou acima da média. Ao se comparar as figuras 1b e 2b, é possível concluir que a região Sul, em janeiro, teve os maiores valores de anomalia positiva tanto para chuva quanto para temperatura mínima, o que se pode concluir é que com maiores valores de chuva, há maior presença de nebulosidade, evitando que a superfície se resfrie mais rapidamente. O mês de fevereiro foi caracterizado por haver mais anomalias positivas de temperatura mínima do que negativas em todo o país.

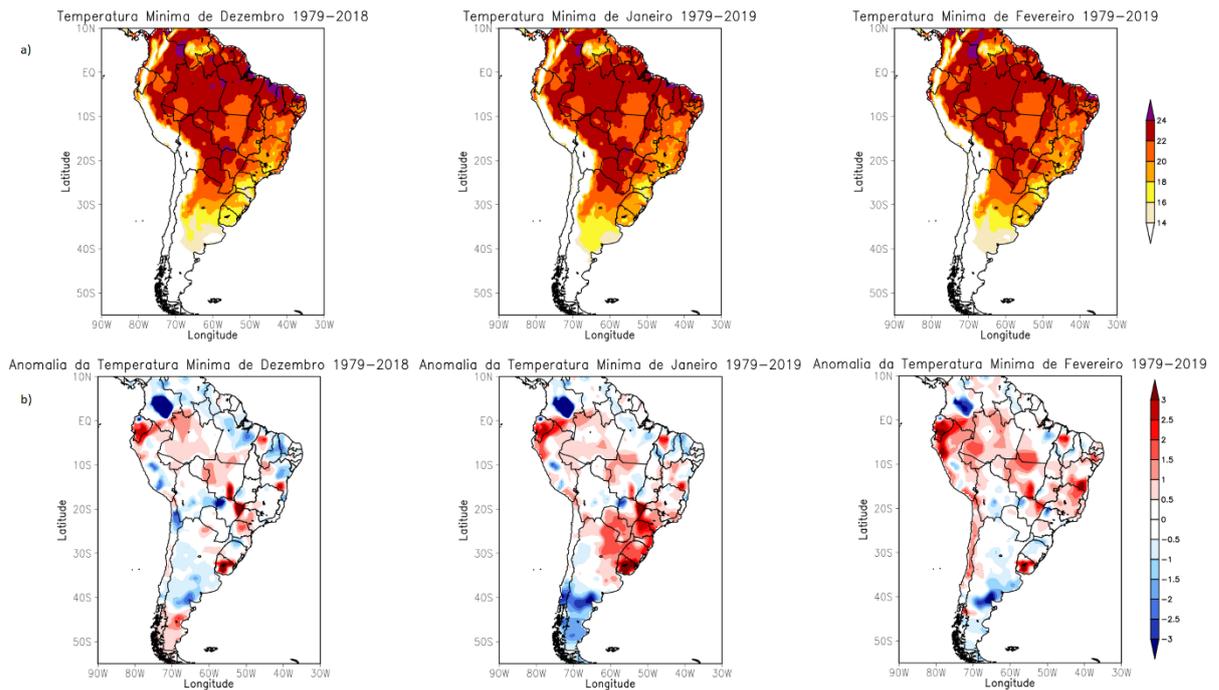


Figura 2 – a) Climatologia da temperatura mínima (°C) na América do Sul para o período de 1979 a 2019 e b) anomalia da temperatura mínima na América do Sul em relação à climatologia

Na figura 3a, encontra-se a climatologia para a temperatura média no período de 1979 a 2019. Esta variável possui um padrão bastante semelhante para os 3 meses, onde os valores mais altos concentram-se no Norte e Nordeste, variando entre 26 e 30 °C. Em geral, quase todas as regiões do Brasil registraram temperaturas acima da média climatológica durante esses 3 meses de verão. No mês de dezembro, há algumas regiões no Sudeste com valores negativos de anomalia, indicando que a temperatura ficou abaixo da média, o que pode estar relacionado com a incursão de uma onda de frio que houve neste mês.

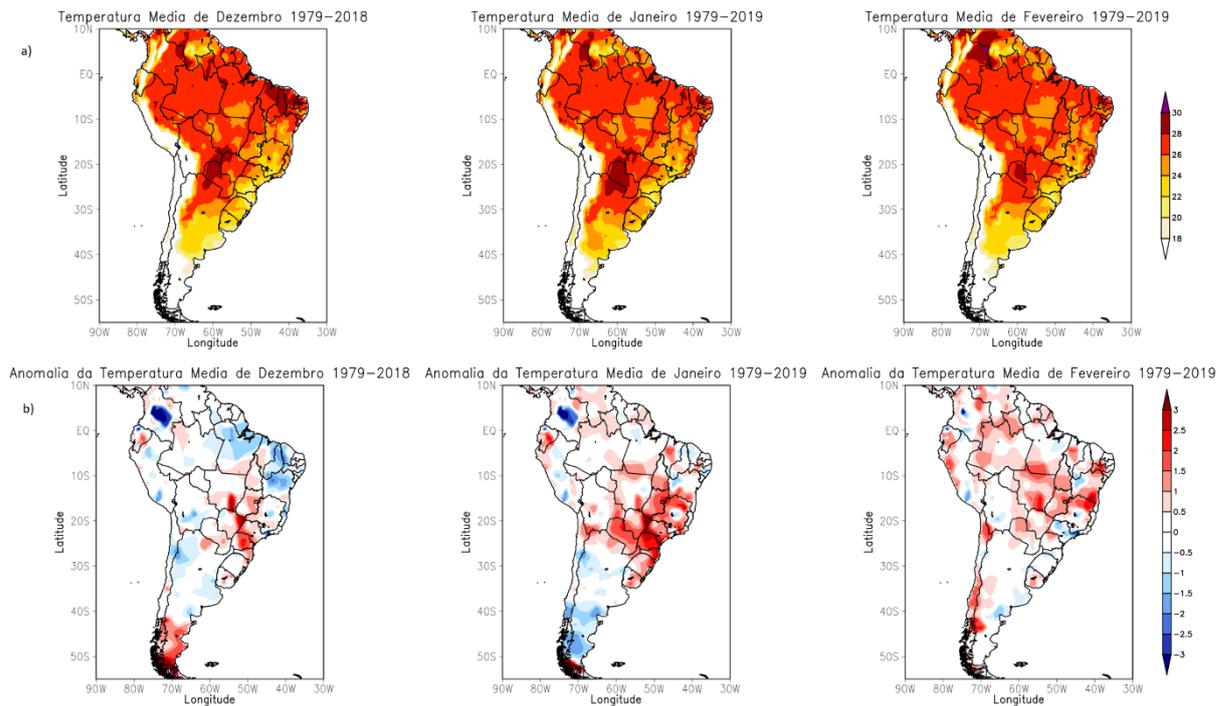


Figura 3 – a) Climatologia da temperatura média (°C) na América do Sul para o período de 1979 a 2019 e b) anomalia da temperatura média na América do Sul em relação a climatologia

A climatologia da temperatura máxima (figura 4a) também possui um padrão bem semelhante entre os meses de verão. No estado de Minas Gerais, no mês de dezembro, a temperatura máxima é um pouco mais baixa do que nos outros dois meses, principalmente no setor norte. Já para a anomalia, figura 4b, foi possível notar que no mês de dezembro o Norte e Nordeste tiveram temperaturas abaixo da média e, o Centro-Oeste e Sul acima da média. No Sudeste, houve regiões que marcaram temperaturas abaixo da média, que também podem estar relacionados com a onda de frio. Nos meses de janeiro e fevereiro, as anomalias positivas de temperatura máxima predominaram quase todo o país e, os maiores valores encontrados foram para o mês de janeiro nas regiões Centro-Oeste e Sudeste.

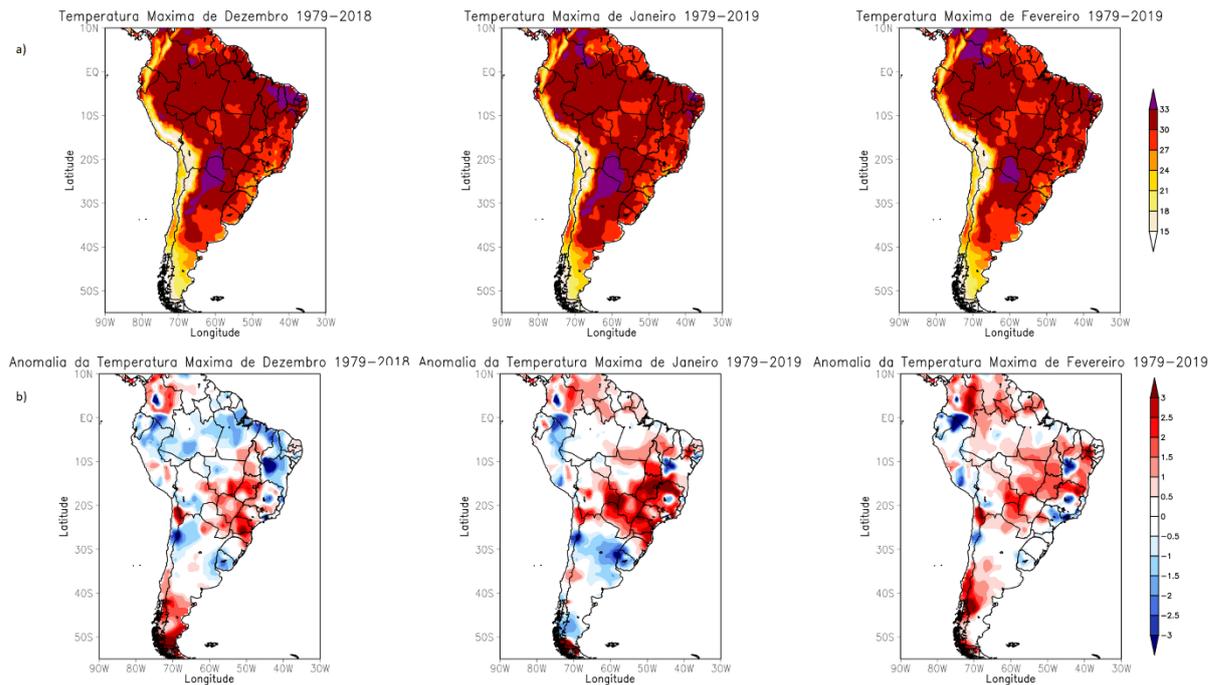


Figura 4 – a) Climatologia da temperatura máxima (°C) na América do Sul para o período de 1979 a 2019 e b) anomalia da temperatura máxima na América do Sul em relação a climatologia

3.2 Onda de Frio

A figura 5 apresenta a evolução diária das temperaturas para Itajubá em dezembro de 2018. Através desta figura é possível notar que as temperaturas médias entre os dias 7 e 10 ficaram abaixo da média climatológica (2010 a 2019). Também é bem evidente o declínio acentuado que ocorre entre esses dias e, logo após as temperaturas voltam a subir. Ao analisar o percentil de 5%, calculado de novembro a março (20,1 °C para Itajubá), a temperatura média ficou abaixo desse limiar nos dias 8 e 9, podendo então concluir que esse período foi caracterizado pela ocorrência de uma onda de frio de acordo com a metodologia utilizada no trabalho de Reboita *et al.* (2015a), onde a mesma adaptou a metodologia de Nairn e Fawcett (2013). Na metodologia de Nairn e Fawcett (2013) tem que haver pelo menos 3 dias consecutivos com temperatura média diária abaixo do percentil de 5%, porém Reboita *et al.* (2015a) restringiu esse período para pelo menos 2 dias. A justificativa se dá pelo fato de que as massas de ar frio que chegam no sul de MG não conseguem atuar por vários dias consecutivos.

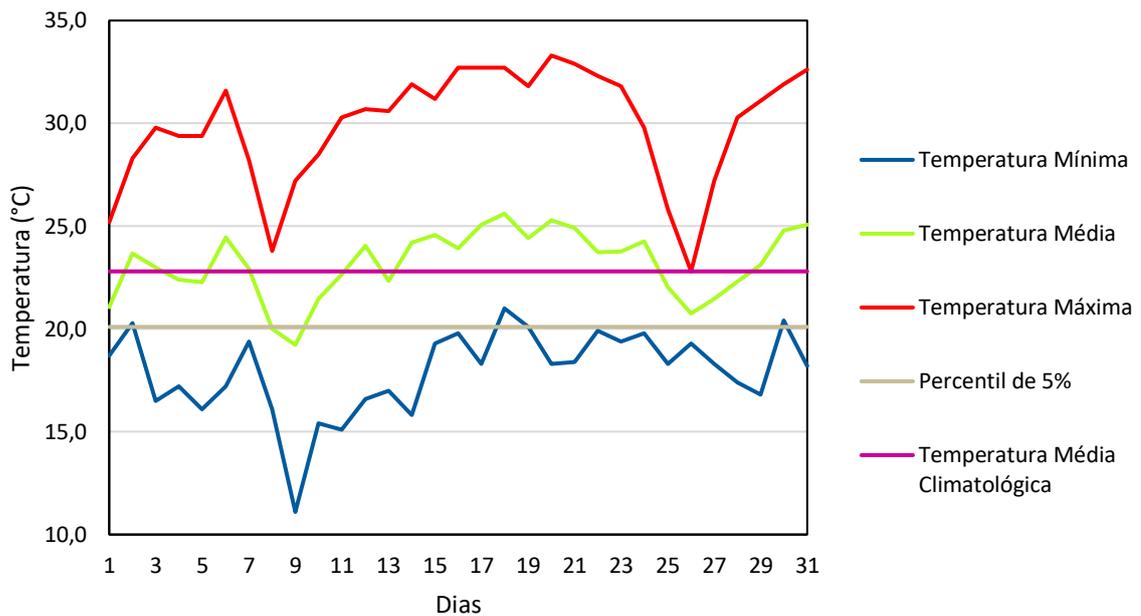


Figura 5 – Evolução temporal das temperaturas na cidade de Itajubá-MG no mês de dezembro de 2018

A queda das temperaturas registrada em dezembro na região Sudeste ficou caracterizada como uma onda de frio, com o maior declínio no dia 9. Desta forma, foram plotados campos atmosféricos para analisar quais as características sinóticas associadas com essa queda entre os dias 7 e 10.

Através da figura 6a é possível analisar os jatos em 250 hPa, a PNMM e a espessura da camada de 500/1000 hPa. No dia 7 há um sistema de baixa pressão atmosférica (BPA) no oceano Atlântico Sul, que está acoplado a uma frente fria. Já a figura 7a mostra um jato em altos níveis passando sobre o Sul do País; esse jato dá suporte à frente fria. No dia 8 esse sistema de BPA encontra-se mais deslocado para o leste e a frente fria já se encontra totalmente oclusa; o jato está mais intenso e passa acima desse sistema, chegando até o sul de MG. A norte do jato é possível notar um sistema de alta pressão atmosférica (APA). A espessura da camada é menor no centro da BPA e maior na APA. No dia 9, em que as temperaturas foram mais baixas, o sistema de APA já se encontra mais próximo da costa brasileira e a frente fria relacionada ao sistema de BPA perdeu força e já se dissipou. De acordo com a figura 7c, o jato encontra-se mais ao sul da América do Sul neste dia. No dia 10 o sistema de APA já se encontra acima do continente e, a espessura da camada é maior. De acordo com a figura 7d, o jato se deslocou mais ao sul e está menos intenso.

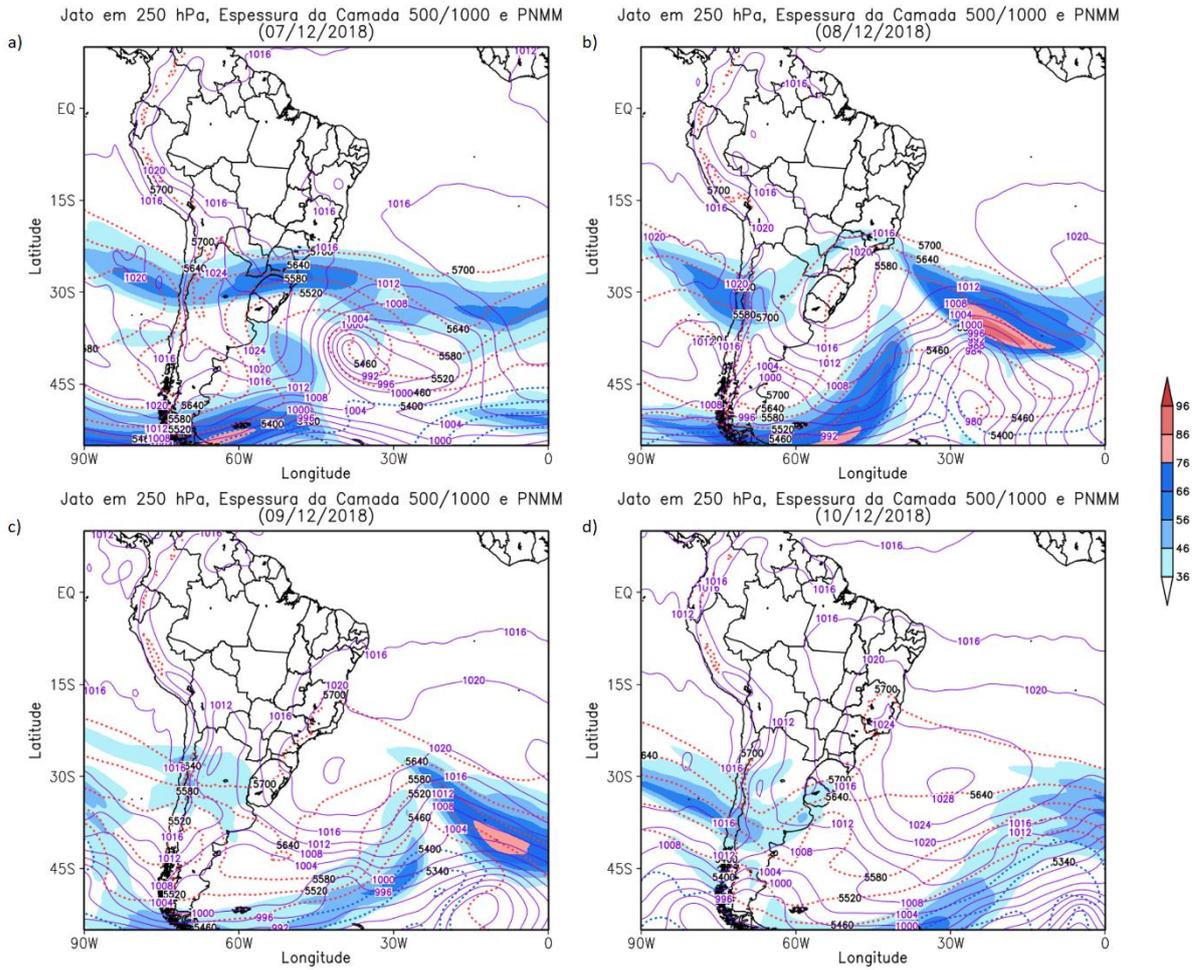


Figura 6 – Corrente de jato em 250 hPa (m/s) (sombreado), espessura da camada 500/1000 (hPa) (linhas pontilhadas) e PNMM (hPa) (linhas contínuas) a) 07/12/18; b) 08/12/18; c) 09/12/18 e d) 10/12/18

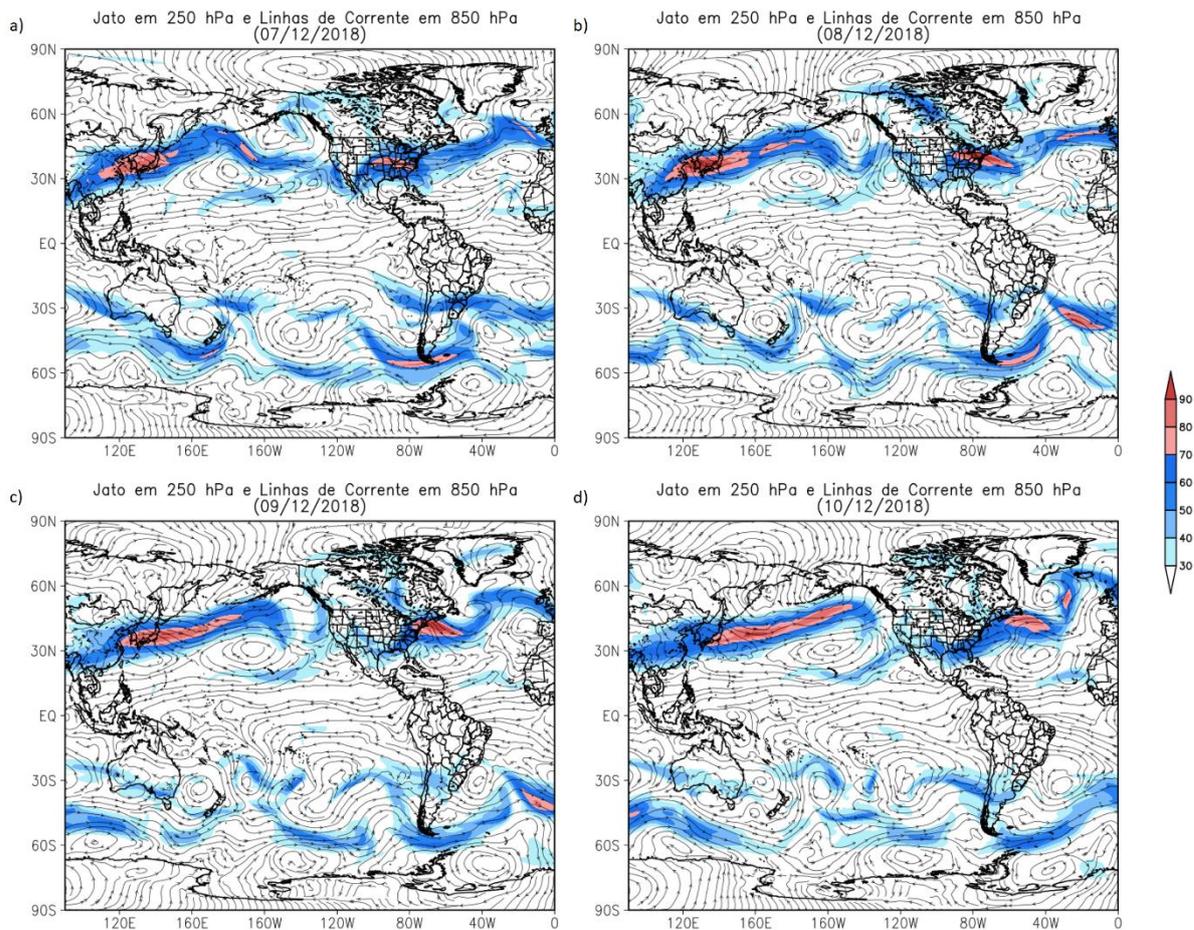


Figura 7 – Corrente de jato em 250 hPa (m/s) (sombreado) e linhas de corrente em 850 hPa a) 07/12/18; b) 08/12/18; c) 09/12/18 e d) 10/12/18

Através da advecção de temperatura e vento em 1000 hPa e a PNMM, foi possível descrever os padrões que a atmosfera apresentava durante a passagem da onda de frio (figura 8). No dia 7 há o sistema de BPA no oceano próximo ao Sul, que está relacionado com a frente fria. O lado leste deste sistema advecta ar quente, já no lado oeste há advecção de ar frio. Toda a região Sul e grande parte do Sudeste estão sob o domínio de advecção de ar frio. No dia 8 a BPA encontra-se mais deslocada para o oceano, porém ocorre o mesmo padrão para a advecção de temperatura, onde o lado leste advecta ar quente e o lado oeste ar frio. Ainda é possível notar um anticiclone pós-frontal que está advectando ar frio para o Sudeste. No dia 9 este anticiclone encontra-se mais deslocado para o oceano Atlântico, porém ainda é responsável pela advecção de ar frio para a região Sudeste. No dia 10 o anticiclone se deslocou mais, diminuindo a advecção de ar frio sobre a região Sudeste.

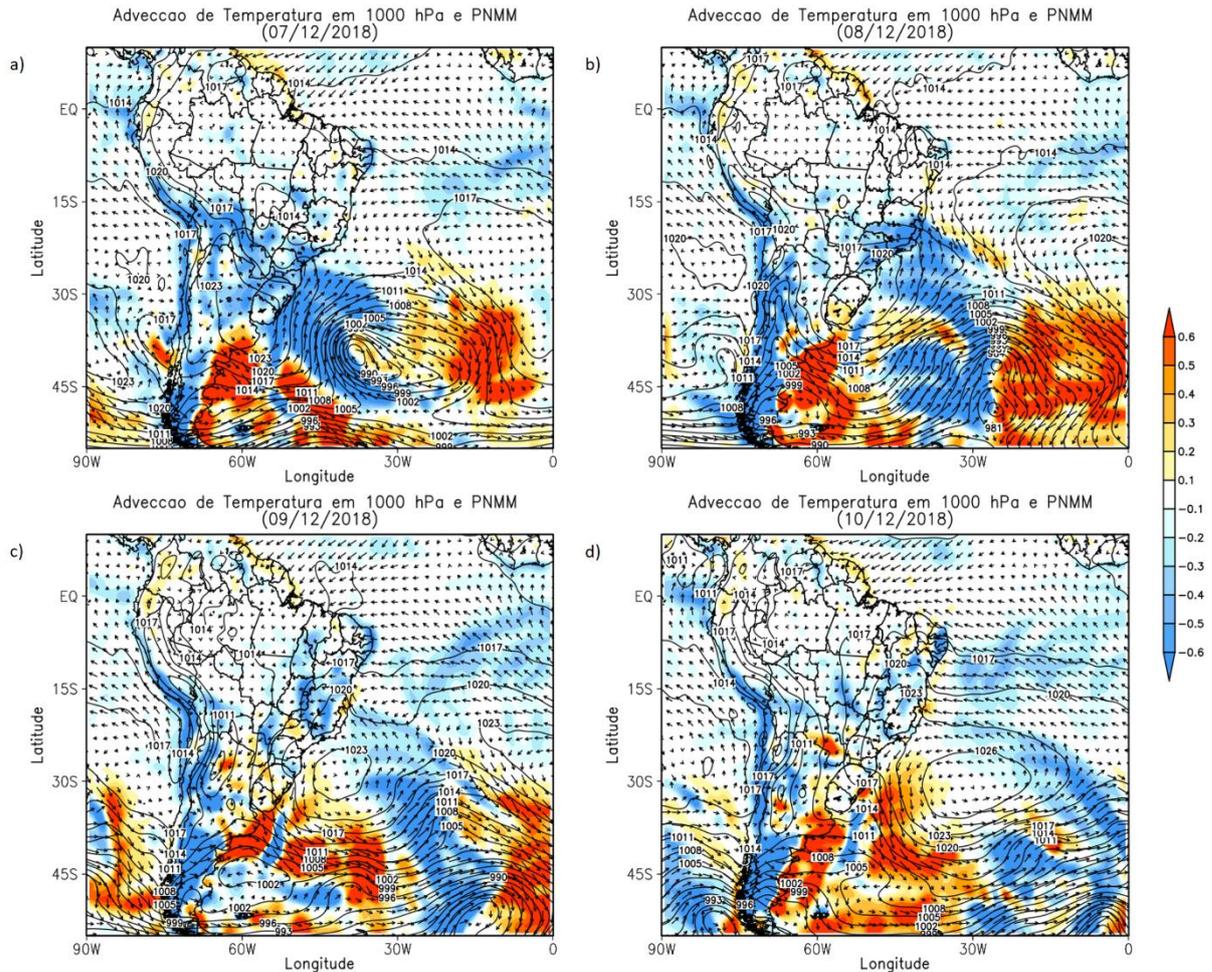


Figura 8 – Advecção horizontal de temperatura do ar em 1000 hPa (m/s)(sombreado), vento em 1000 hPa (setas) e PNMM (hPa) (linhas contínuas) a) 07/12/18; b) 08/12/18; c) 09/12/18 e d) 10/12/18

A composição da umidade relativa e linhas de corrente em 850 hPa e isoterma de 0 °C, foi feita a fim de identificar a quantidade de umidade relacionada a essas massas de ar (figura 9). No dia 7 pode-se observar que há valores mais altos de umidade relacionado com a circulação ciclônica e, na anticiclônica os valores são menores; sobre o continente há bastante disponibilidade de umidade, o que é normal para a estação. É possível notar que onde se encontra a frente fria há uma grande disponibilidade de umidade. No dia 8 há convergência orientada no sentido noroeste-sudeste, que vai desde o Amazonas até o oceano Atlântico Sul, relacionada com valores mais altos de umidade. No Sul do Brasil há uma circulação anticiclônica relacionada a baixos valores de umidade e a isoterma de 0 °C está mais ao sul se comparada ao dia anterior. No dia 9, a circulação anticiclônica se deslocou no sentido nordeste, a isoterma de 0 °C se deslocou junto com a circulação ciclônica. Ainda há bastante umidade sobre o continente, exceto na região Sul do país. No dia 10 a circulação anticiclônica encontra-se próximo da costa do Sul e

Sudeste, a isoterma de 0 °C se deslocou juntamente com a circulação anticiclônica e quase já não aparece mais. O continente, assim como nos demais dias, havia valores altos de umidade relativa.

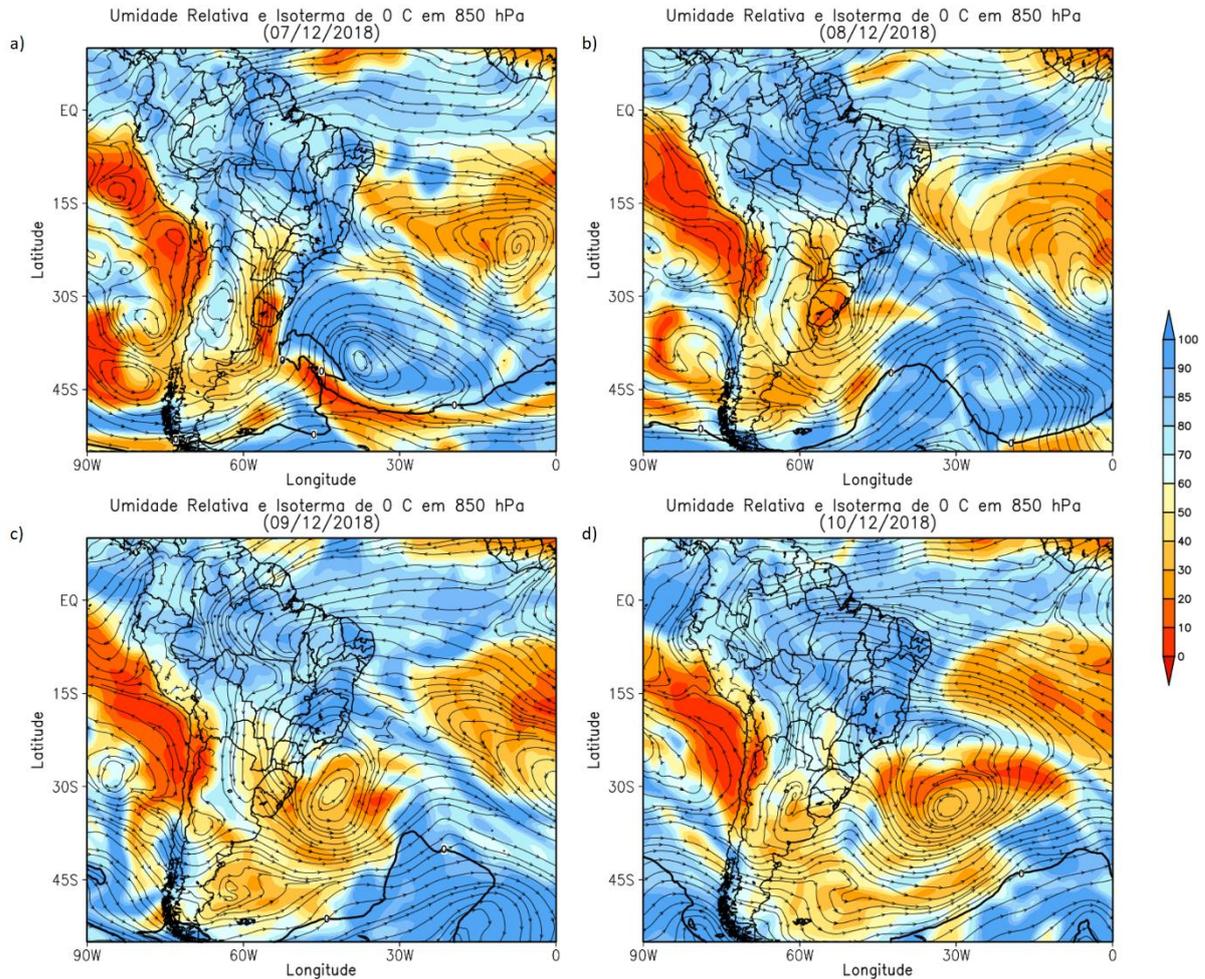


Figura 9 – Umidade relativa em 850 hPa (sombreado), isoterma de 0 °C (linhas contínuas) e linhas de corrente em 850 hPa (linhas com setas) a) 07/12/18; b) 08/12/18; c) 09/12/18 e d) 10/12/18

Para analisar os padrões sinóticos em médios níveis, foi elaborada a figura de advecção de vorticidade relativa e altura geopotencial em 500 hPa (figura 10). No dia 7 há um cavado de pequena amplitude sobre o Sul e, a leste do cavado há advecção de vorticidade negativa, indicando que a mesma é ciclônica. A oeste deste cavado a advecção de vorticidade é positiva, o que significa que a mesma é anticiclônica. No dia 8 o cavado se amplifica e fica sobre o Sudeste, já em relação a advecção da vorticidade, o padrão ainda é mantido, onde os valores positivos se encontram a oeste do cavado e os negativos a leste. No sul de MG os valores ficaram negativos. Já no dia 9, o cavado se desloca para o oceano e a região Sul e

Sudeste ficam com valores positivos de advecção de vorticidade, exceto no norte de MG. Também há uma crista no Oceano Pacífico, próximo ao Chile. No dia 10 aparece uma crista no oceano Atlântico e o padrão de advecção de vorticidade no continente continua parecido ao do dia 9, exceto que o norte de MG agora também possui valores positivos.

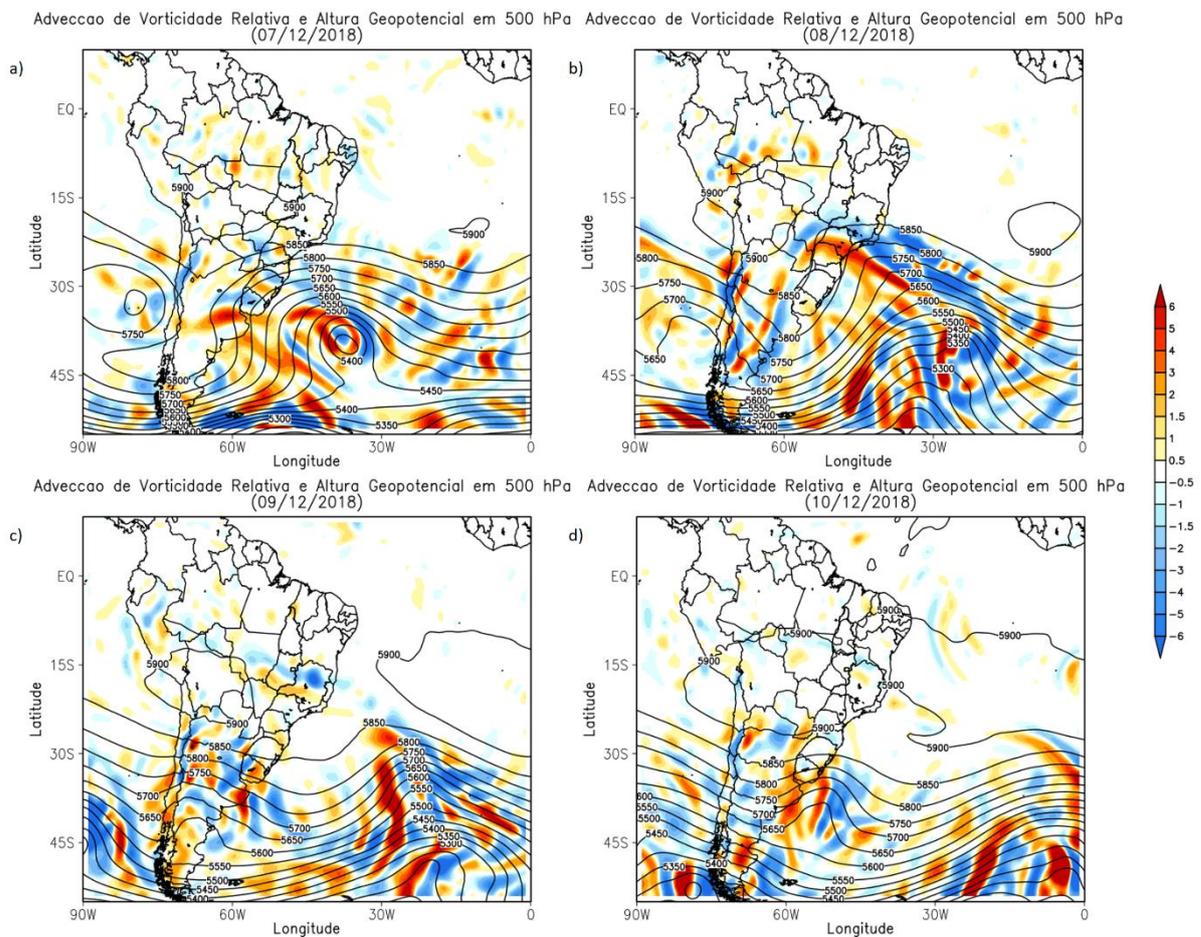


Figura 10 – Advecção de vorticidade relativa em 500 hPa (sombreado) e altura geopotencial em 500 hPa (linhas contínuas) a) 07/12/18; b) 08/12/18; c) 09/12/18 e d) 10/12/18

3.3 Déficit de Precipitação em Janeiro de 2019

Como já visto na figura 1b, janeiro de 2019 foi o mês mais seco do verão de 2019, com anomalia negativa em quase todo o país, especialmente no Sudeste. Para acompanhar o comportamento da precipitação desde 1979, foi feito um gráfico com todas as anomalias de janeiro de 1979 a 2019 (figura 11). Nesta figura pode-se notar valores bastante altos de anomalia negativa para o ano de 2019, assim como para 2014 e 2015, que foram anos estudados por Reboita *et al.* (2015b). De 1979 a 2013 as anomalias variavam bastante entre positiva e negativa, já a partir de 2014

teve-se uma predominância de anomalia negativa, indicando que as chuvas foram mais escassas.

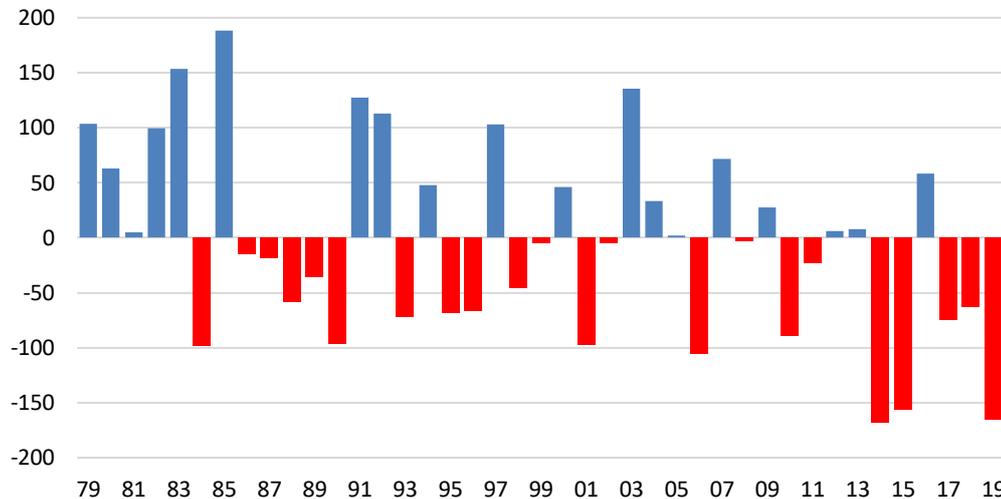


Figura 11 – Anomalias de precipitação (mm) no mês de janeiro para o período de 1979 a 2019 na região Sudeste, compreendida entre 51°W a 41°W e 23°S a 17°S.

Para compreensão do que ocorreu em janeiro, a figura 12 apresenta as anomalias de algumas variáveis para o referido mês. A anomalia de linhas de corrente em 250 hPa (figura 12a) mostram uma anomalia de circulação ciclônica com centro no Centro-Oeste e uma circulação anticiclônica com centro no Sul do país, configurando um padrão de bloqueio do tipo dipolo. Para anomalia de PNMM (figura 12b) é possível notar que o ASAS se encontra deslocado mais a oeste de sua posição climatológica proporcionando anomalias positivas sobre o país, tendo os valores mais intensos sobre o Sudeste. . Estes mesmos padrões foram encontrados no trabalho de Reboita *et al.* (2015b), onde foi feito um estudo para janeiro de 2014 e 2015 que também tiveram chuvas abaixo da média climatológica.

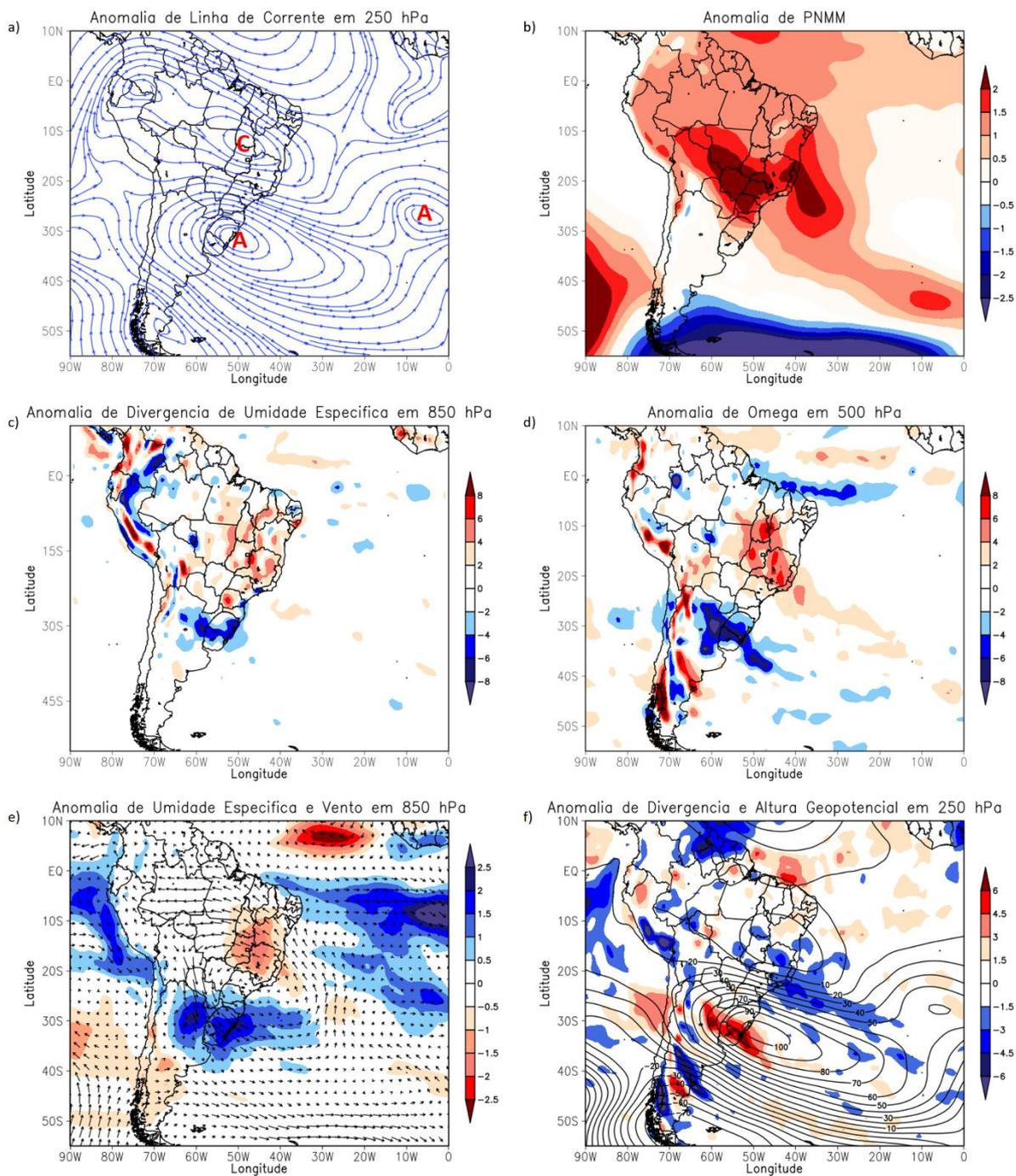


Figura 12 – Anomalias dos campos atmosféricos na América do Sul em relação a climatologia (2000 a 2019) para janeiro de 2019 a) Linhas de corrente em 250 hPa; b) PNMM; c) Divergência de umidade específica em 850 hPa; d) Ômega em 500 hPa; e) Umidade específica e vento em 850 hPa e f) Divergência e altura geopotencial em 250 hPa

Há maior divergência de umidade no Centro-Oeste e Sudeste e menor divergência no Sul do Brasil (figura 12c). Assim como para a figura 12c, o movimento vertical (ômega) (figura 12d) também teve anomalia positiva para o Sudeste e Centro-Oeste, indicando maior movimento descendente, e anomalia negativa para o Sul, indicando maior movimento ascendente. Através da figura 12e pode-se notar

que no Sudeste a umidade específica encontra-se abaixo da média climatológica e no Sul a umidade está acima da média, além de haver uma circulação anticiclônica que contribui para o aumento da umidade no Sul. Ao analisar a figura 12f, nota-se anomalia negativa de divergência em altos níveis na região Sudeste, indicando menor convergência em superfície, já no Sul do Brasil havia anomalia positiva de divergência, indicando maior convergência em superfície. Os maiores valores de altura geopotencial encontra-se na mesma região que há uma circulação anticiclônica.

Ao analisar as figuras 13a e 13b, observa-se que quando os valores de anomalia da altura geopotencial é positiva, pode-se relacionar com circulações anticiclônicas e, o mesmo ocorre para o oposto, quando há anomalia negativa de altura geopotencial a circulação é ciclônica. Comparando estas mesmas figuras, foi possível concluir que o padrão encontrado em 850 hPa é o mesmo que em 250 hPa, ou seja, onde há anomalia positiva em baixos níveis também há em altos níveis. Reboita *et al.* (2015b) encontrou para janeiro de 2014 este mesmo padrão, onde foi possível perceber que para ambos os casos o sudeste da Austrália teve uma predominância de anomalia positiva e ocorre uma alternância entre as anomalias até o Sudeste do Brasil, onde a anomalia volta a ser positiva. Esta alternância configura-se como um trem de ondas vindo da Austrália para a América do Sul. Sendo assim, como discutido pela autora, a mudança na localização do ASAS e o padrão das anomalias de circulação se devem ao padrão de onda encontrado. Foi possível encontrar anomalias positivas de TSM para a costa Sul e Sudeste do país (figura 13c). A figura 12b mostrou anomalia positiva de PNMM em todo o país, deste modo, a presença dessa anomalia positiva favorece movimentos descendentes que impede a formação de nuvens, tornando as águas mais quentes. A TSM acima da média na costa Sul e Sudeste do Brasil desfavorece a passagem de frentes frias.

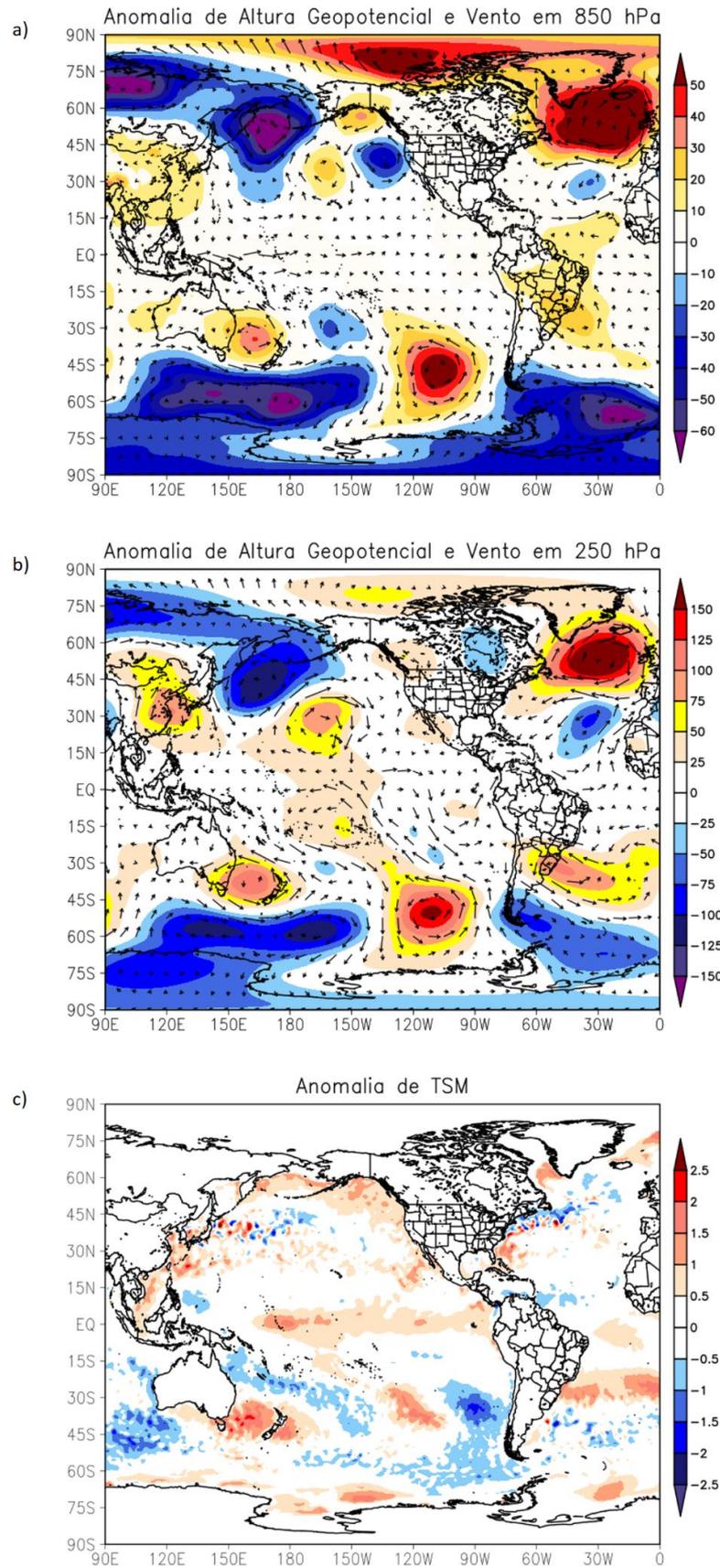


Figura 13 – Anomalias dos campos atmosféricos para todo o globo em relação a climatologia (2000 a 2019) para janeiro de 2019 a) Altura geopotencial e vento em 850 hPa; b) Altura geopotencial e vento em 250 hPa e c) TSM

4. CONCLUSÃO

O período frio registrado em dezembro de 2018 esteve associado com uma onda de frio entre os dias 7 e 10 de dezembro de 2018. O padrão da circulação atmosférica dessa onda de frio seguiu o descrito em Escobar (2007) e Reboita *et al.* (2015a).

Com relação às anomalias negativas de precipitação no mês de janeiro de 2019 (em relação à climatologia de 1979 a 2019 com os dados do CPC), os padrões da circulação atmosférica foram similares ao da seca de 2014 descritos por Coelho *et al.* (2016) e Reboita *et al.* (2015b). Assim como foi discutido no trabalho de ambos, sugere-se que o trem de ondas emanado da Austrália para a América do Sul influencia na posição do ASAS, fazendo com que reduza a convecção e, conseqüentemente, a chuva no continente. A alteração da TSM também foi um fator importante para a redução das chuvas, uma vez que quando a mesma se encontra mais aquecida, dificulta a passagem das frentes frias.

Para trabalhos futuros sugere-se que faça uma verificação da previsão do modelo CFSv2, no intuito de analisar se o mesmo conseguiu prever a seca de janeiro.

5. REFERÊNCIAS

COELHO, C. A. S.; OLIVEIRA, C. P.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; CARPENEDO, C. B.; CAMPOS, J. L. P. S.; TOMAZIELLO, A. C. N.; PAMPUCH, L. A.; CUSTÓDIO, M. S.; DUTRA, L. M. M.; ROCHA, R. P.; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 11-12, p. 3737-3752, 2016.

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

ESCOBAR, G. C. J. Padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, p. 241-254, 2007.

HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; MORRISSEY, M. M.; BOLVIN, D. T.; CURTIS, S.; JOYCE, R.; MCGAVOCK, B.; SUSSKIND, J. Global precipitation at one-degree daily resolution from multisatellite observations. **Journal of hydrometeorology**, v. 2, n. 1, p. 36-50, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

MARIA da Fé tem noite de geada fraca e baixas temperaturas. **G1**, 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2018/12/09/maria-da-fe-tem-noite-de-geada-fraca-e-baixas-temperaturas.ghtml>>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

NAIRN, J; FAWCETT, R. Defining heatwaves: heatwave defined as a heat impact event servicing all community and business sectors in Australia. **CAWCR Technical Report** No. 060, 2013.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, v. 125, n. 2, p. 279-291, 1997.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; da ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, 2010.

REBOITA, M. S.; ESCOBAR, G.; LOPES, V. S. Climatologia sinótica de eventos de ondas de frio sobre a região sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, 2015a.

REBOITA, M. S.; OLIVEIRA, D. M.; FREITAS, C. H.; OLIVEIRA, G. M.; PEREIRA, R. A. A. Anomalias dos Padrões Sinóticos da Atmosfera na América do Sul nos Meses de Janeiro de 2014 e 2015. **Revista brasileira de energias renováveis**, v. 4, n. 4, 2015b.

SÃO Paulo pode ter frio histórico na madrugada do domingo. **Climatempo**, 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2018/12/09/maria-da-fe-tem-noite-de-geada-fraca-e-baixas-temperaturas.ghtml>>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

ZHOU, J.; LAU, K. M. Does a monsoon climate exist over South America?. **Journal of climate**, v. 11, n. 5, p. 1020-1040, 1998.