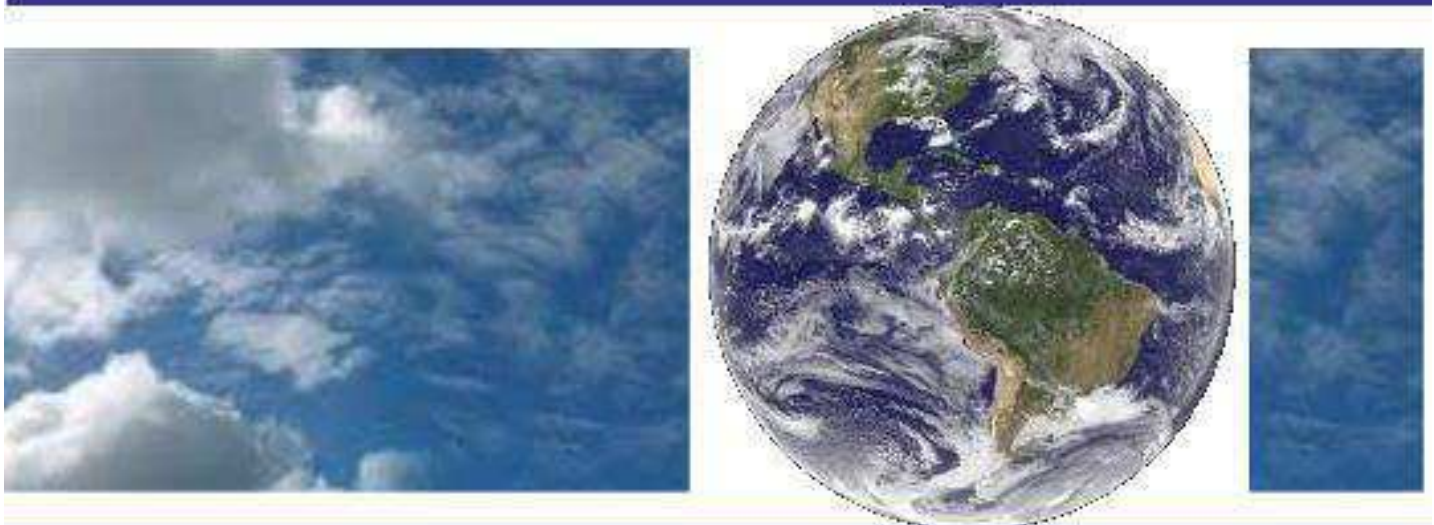


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

José Felipe Gazel Menezes

Transporte de vapor d'água em casos de ZCAS

Campina Grande, fevereiro de 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

TRANSPORTE DE VAPOR D'ÁGUA EM CASOS DE ZCAS

José Felipe Gazel Menezes

Campina Grande – PB

2019

JOSÉ FELIPE GAZEL MENEZES

TRANSPORTE DE VAPOR D'ÁGUA EM CASOS DE ZCAS.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de meso e grande escalas

Subárea: Meteorologia sinótica e dinâmica

Orientador: Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti.

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO DE 2019

M543to Menezes, José Felipe Gazel.
Transporte de vapor d'água em casos de ZCAS / José Felipe
Gazel Menezes. – Campina Grande, 2019.
56 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade
Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos
Naturais, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti".
Referências.

1. Transporte de Vapor d'Água. 2. ZCAS. 3. Reanálise. I.
Cavalcanti, Enilson Palmeira. II. Título.

CDU 551.571.2(043)

JOSÉ FELIPE GAZEL MENEZES

TRANSPORTE DE VAPOR D'ÁGUA EM CASOS DE ZCAS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Profa. Dra. SANDRA ISAY SAAD
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Dr. RAYONIL GOMES CARNEIRO
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

DEDICATORIA

À minha querida e amada família, minha fonte de inspiração e o melhor exemplo de amor existente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me concedido a oportunidade do acesso ao conhecimento, e ter me dado a perseverança, força e paz de espírito necessárias para superar os obstáculos.

À minha filha, Catarina, que por um amor sem tamanho, me impulsionou para a conclusão de mais esta etapa em minha vida.

A minha esposa e companheira, Amanda Botelho, pela ajuda e dedicação ao longo de todos esses anos.

Aos meus amados pais, Antônio e Samira, e aos meus irmãos Antônio Neto, João Paulo e Patrícia por se fazerem presentes em todos os momentos, seja nos mais alegres aos mais confusos e estressantes, me transmitindo calma, fé, determinação e amor, incentivando sempre os meus estudos e nunca desistindo de mim.

Ao professor e orientador Dr Enilson Palmeira Cavalcanti por todo o tempo dedicado a mim, e a este trabalho, de forma a contribuir de maneira importantíssima para o desenvolvimento deste, e aprendizado pessoal.

Aos meus sogros, Socorro e Roberto, pela disposição em ajudar na resolução de qualquer obstáculo.

Aos amigos do programa de pós-graduação em Meteorologia, em especial a Eduardo Margalho e Letícia Cardoso por sua sincera amizade e apoio nas dificuldades que encontramos no decorrer dessa jornada.

Às minhas Avós Dulcineia e Raimunda pela paz e tranquilidade que sempre me foram transmitidas.

Aos amigos de graduação João Paulo Pedrosa e Felipe Higuchi.

Aos meus amigos de longa data pelo apoio de sempre, Bruno Dias, Sabrinni Carneiro, Murilo e Danilo.

Aos demais professores do curso de Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande pelos conhecimentos transmitidos.

Resumo

Neste estudo foi analisado o transporte de vapor d'água integrado verticalmente na atmosfera, em episódios de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Foram selecionados quatro casos entre janeiro e março de 2018. Utilizou-se dados de reanálises do ERA-Interim do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), para a construção dos mapas do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente e da respectiva divergência. Duas subáreas de 5° por 5°, centralizadas nas cidades de Belo Horizonte e São Paulo, os quais foram utilizadas como volume de controle para a realização de balanço de vapor d'água. Os resultados apontam para existência de transporte de vapor d'água da região amazônica para o sudeste do Brasil associado a atuação das ZCAS. Áreas de convergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente predominam ao longo da linha noroeste – sudeste. O balanço de vapor d'água apresenta em média -1.8, -12.9, -0.7 e -5.0 mm/dia, para os casos 1, 2, 3 e 4, respectivamente sobre área Belo Horizonte e de -3,6, 2,0, -8,3 e 8,5 mm/dia para os casos 1, 2, 3 e 4, respectivamente sobre área São Paulo, os valores negativos indicam que a precipitação excedeu a evapotranspiração (sumidouro de vapor d'água).

Palavras chave: Transporte de vapor d'água, ZCAS, Reanálise.

Abstract

In this study, the transport of water vapor vertically integrated into the atmosphere was analyzed in episodes of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ). Four cases were selected between January and March 2018. ERA-Interim data from the *European Center for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) were used to construct the maps of the vertically integrated water vapor flow and the respective divergence. Two sub-areas of 5° by 5°, centralized in the cities of Belo Horizonte and São Paulo, were used as control volume for water vapor balance. The results point to the existence of water vapor transport from the Amazon region to the southeast of Brazil associated to the performance of the SACUs. Areas of convergence of vertically integrated water vapor predominate along the northwest - southeast line. The water vapor balance has an average of -1.8; -12.9; -0.7 and -5.0 mm / day for cases 1; 2; 3 and 4, respectively over the Belo Horizonte area and -3.6; 2.0; -8.3 and 8.5 mm / day for cases 1; 2; 3 and 4, respectively on the São Paulo area. Negative values indicate that precipitation has exceeded evapotranspiration (water vapor sink).

Key words: Water vapor transport, ZCAS, Reanalysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de localização da área de estudo e subárea Sudeste com indicação do vetor normal unitário e denominação das faces do retângulo.....	20
Figura 2	Imagem de satélite no canal infravermelho realçado para o período do caso 1 as 18 UTC. Fonte: DSA/CPTEC.....	24
Figura 3	Cartas sinóticas de superfície para o período do caso 1 as 18 UTC. Fonte: CPTEC.....	25
Figura 4	Imagem de satélite no canal infravermelho realçado para o período do caso 2 as 18 UTC. Fonte: DSA/CPTEC.....	26
Figura 5	Cartas sinóticas de superfície para o período do caso 2 as 18 UTC. Fonte: CPTEC.....	27
Figura 6	Imagem de satélite no canal infravermelho realçado para o período do caso 3 as 18 UTC. Fonte: DSA/CPTEC.....	28
Figura 7	cartas sinóticas de superfície para o período do caso 3 as 18 UTC. Fonte: CPTEC.....	25
Figura 8	imagem de satélite no canal infravermelho realçado para o período do caso 4 as 18 UTC. Fonte: DSA/CPTEC.....	30
Figura 9	cartas sinóticas de superfície para o período do caso 4 as 18 UTC. Fonte: CPTEC.....	31
Figura 10	Fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (kg/m.s) para o caso 1.....	32
Figura 11	Divergência no fluxo de vapor d'água (10^{-3} mm/s) para o caso 1.....	33
Figura 12	Média do balanço do fluxo de vapor d'água (mm/dia) para o caso 1 a) área Belo Horizonte e b) área São Paulo.....	34
Figura 13	Fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (kg/m.s) para o caso 2.....	35
Figura 14	Divergência do fluxo de vapor d'água (10^{-3} mm/s) para o caso 2.....	36
Figura 15	Média do balanço do fluxo de vapor d'água (mm/dia) para o caso 2 a) área Belo Horizonte e b) área São Paulo.....	37
Figura 16	Fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (kg/m.s) para o caso 3.....	38
Figura 17	Divergência do fluxo de vapor d'água (10^{-3} mm/s) para o caso 3.....	39
Figura 18	Média do balanço do fluxo de vapor d'água (mm/dia) para o caso 1 a) área Belo Horizonte e b) área São Paulo. para o caso 3.....	40
Figura 19	Fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (kg/m.s) para o caso 4.....	41
Figura 20	Divergência do fluxo de vapor d'água (10^{-3} mm/s) para o caso 4.....	42
Figura 21	Média do balanço do fluxo de vapor d'água (mm/dia) para o caso 4 a) área Belo Horizonte e b) área São Paulo.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores em mm/dia para o caso 1, entre 04/01/2018 e 09/04/2018.....	36
Tabela 2	Valores em mm/dia para o caso 2, entre 30/01/2018 e 08/02/2018.....	40
Tabela 3	Valores em mm/dia para o caso 3, entre 22/02/2018 e 25/02/2018.....	44
Tabela 4	Valores em mm/dia para o caso 4, entre 08/03/2018 e 13/03/2018.....	48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
ASAS	Alta Subtropical América do Sul
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade
VCAN	Vrtice Ciclônico de Altos Níveis
COLA	<i>Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies</i>
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
JBN	Jatos de Baixos Níveis
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
UTC	Tempo Universal Coordenado

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
1- INTRODUÇÃO	12
1.1- Objetivo Geral	14
1.1.2- Objetivos específicos	14
2- REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1- Transporte de Umidade	15
2.2- Zona Convergência do Atlântico Sul	16
2.3 – Reanálise	17
2.4 – Jatos de Baixos Níveis	18
3- MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 - Área de estudo	20
3.2 – Dados utilizados	20
3.3 - Cálculo do fluxo de Vapor d’água integrado verticalmente	21
3.5 – Balanço de vapor d’água na área Sudeste	22
3.4 – Escolha dos casos	23
4 - Resultados	32
5 - Conclusões	48
6 - Referências Bibliográficas	49

1- INTRODUÇÃO

Licco (2013) explica que atualmente há mais desabrigados no mundo em consequência de desastres naturais do que de conflitos. Estudos realizados por Licco e Mac Dowell (2015) indicam que este aumento no número de desabrigados pode estar diretamente vinculado as mudanças climáticas globais, torna-se necessário o estudo da ZCAS afim de prevenir perdas e evitar desastres que eventualmente podem ser causados pelo excesso de precipitação sobre a região Sul e Sudeste. Os 4 estados da região sudeste, São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo, juntos registram 75,27 % do total nacional de óbitos e foram assolados por 35,64 % de casos de desastres naturais apenas (Licco, 2015). Essa desproporção está relacionada com a densidade demográfica da região, pois um desastre natural que atingir duas regiões demograficamente distintas, terá mais impacto na região com maior número de habitantes (CEPED/UFSC, 2013).

As florestas tropicais fornecem grande quantidade de umidade para a atmosfera, e também possuem durante todo o ano temperaturas elevadas, favorecendo regiões convectivas, a vegetação transfere uma grande quantidade de vapor d'água para a atmosfera. No caso da floresta Amazônica, a floresta transfere cerca de 4,4 mm/dia para a atmosfera (LEOPOLDO, 1982). Juntamente com o privilégio de possuir grande quantidade de recursos hídricos, essa região transfere uma imensa quantidade de umidade para a atmosfera, nesse sentido, quando o escoamento vindo do oceano Atlântico Tropical passa pela região Amazônica, encontram uma barreira geográfica (Andes), que canaliza esse escoamento para latitudes mais altas.

A tentativa de prever o clima futuro cresce junto com necessidade da população, sobre a ótica do melhor desenvolvimento urbano e logístico das cidades. A modelagem numérica é utilizada como alternativa na pesquisa meteorológica, devido a quantidade escassa de dados disponíveis, ou com grandes quantias de falhas, esse fato favorece o desenvolvimento de aprimoramento de modelos já existentes, que por consequência também melhora os dados de reanálise, atualmente como alternativa ao ERA-40 que foi descontinuado, o *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) disponibiliza o ERA-Interim que possui resolução maior, seus dados são utilizados operacionalmente em diversos centros de previsão do país, como dados de entrada em modelos atmosféricos, e através das saídas do modelo são gerados prognósticos de

diversas variáveis meteorológicas, auxiliando na tomada de decisões fundamentais para a melhor gestão de riscos e necessidades da população.

Como o transporte de vapor d'água é objeto de estudo nesse trabalho, foram selecionados área na região sudeste em torno de Belo Horizonte e São Paulo onde os impactos desse transporte são mais visíveis, com o intuito de estudar a umidade proveniente da região amazônica no período de verão austral, o fluxo de vapor d'água que sai ao sul da Bacia Amazônica, tende a ser orientando na direção Sul e Sudeste do Brasil devido a cadeia montanhosa localizada na costa ocidental da América do Sul (cordilheira dos Andes), esse transporte de umidade é de extrema importância para a qualidade do período chuvoso nessas regiões, como exemplo, destaca-se a importância desse transporte para a ocorrência e manutenção das Zonas de Convergências do Atlântico Sul (ZCAS), entre os principais sistemas de grande escala causador de chuva entre os meses de dezembro e fevereiro, além disso, Quadro et al. (2012), diz que O Oceano Atlântico é a fonte principal do fluxo de umidade para a ZCAS, pois a evaporação local é insuficiente para fornecer toda umidade para o total de precipitação gerada na região da ZCAS.

A ZCAS é definida como uma banda de nebulosidade e precipitação, com orientação Noroeste – Sudeste, que se estende da Amazônia até o Oceano Atlântico Sul (KODAMA, 1992). A ZCAS também sofre influência de outros fenômenos de grande escala, por ser um sistema característico do período de verão no hemisfério Sul, apresenta significativa liberação de calor latente, que torna necessário o monitoramento desse fenômeno, uma vez que a previsão do tempo e clima nas regiões tropicais sofrem influência de sistemas com essas características.

Este trabalho de dissertação visou por tanto, estudar o transporte de vapor d'água em casos de ZCAS, focando sobretudo a região Sudeste, pois os impactos sobre essa região são mais expressivos e desoladores, gerando maiores impactos socioambientais e econômicos.

1.1- Objetivo Geral

Estudar aspectos do transporte de vapor d'água na atmosfera em episódios de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

1.1.2- Objetivos específicos

Selecionar casos de ocorrência de Zona de Convergência do Atlântico Sul a partir de imagens obtidas por satélite GOES-16 e cartas sinóticas elaboradas pelo CPTEC/INPE;

Preparar dados de reanálises do ECMWF para estudo do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente para os casos selecionados;

Obter campos da distribuição espacial e temporal do fluxo de vapor d'água e do cálculo da divergência do Fluxo de vapor d'água integrado verticalmente.

Realizar o balanço em subáreas da região sudeste do Brasil no intuito de contabilizar fontes ou sumidouros do vapor d'água.

2- REVISÃO DE LITERATURA

2.1- Transporte de Umidade

Na literatura clássica, vários autores como Benton e Estoque (1954), Palmén e Soderman (1966) contribuíram para o melhor entendimento do fluxo de vapor d'água, sendo os primeiros a descrever o transporte aéreo de vapor d'água para o Hemisfério Norte, mostrando que o vento geostrófico é usado para determinar o fluxo de vapor d'água, esses sistemas de fluxo estão relacionados com a precipitação, mostrando também, que o transporte de vapor d'água atmosférico é o mais importante na manutenção no ciclo hidrológico. Peixoto (1973) mostra que por estar diretamente ligado à circulação atmosférica, o transporte de vapor d'água sofre influências de diversas escalas, como sinótica, grande escala, e até local. Rao & Marques (1984) evidenciaram o comportamento do transporte de umidade sobre o Nordeste Brasileiro, comparando anos com características distintas, 1974 (chuvoso) e 1976 (seco), chegaram à conclusão que na baixa troposfera durante o ano chuvoso (1974), o fluxo é convergente, e durante o ano seco (1976) é divergente. Corroborando, Cavalcanti (2001) relata que no Nordeste Brasileiro o fluxo é divergente, mostrando assim que a atmosfera se comportou como sumidouro de vapor d'água durante o ano chuvoso, e como fonte durante o ano seco. Neste mesmo contexto, Rathor et al. (1987), após analisar o ano de 1980 chegou a mesma conclusão.

Na literatura moderna, é evidenciado que o principal transporte de umidade sobre a América do Sul é feito através da Alta Subtropical do Atlântico Sul (RAO et al., 1996; MARENGO, 2006). Durante o verão, os ventos alísios de nordeste apresentam maior intensidade, aumentando o fluxo advindo do oceano Atlântico, que penetra na América do Sul através da Bacia Amazônica (DRUMOND et al., 2008). Esse escoamento ainda sofre um incremento devido aos processos de evapotranspiração muito intensos sobre a região (MARENGO, 2005), uma vez que essa umidade é retida a leste dos Andes, ela é transportada para os subtropicais, se deslocando para a região Sul do Brasil e norte da Argentina, ou avança para o Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, esse escoamento é conhecido como Jato de Baixos Níveis (COUTINHO, 2015), esse jato por sua vez, através deste corredor de ventos muito intensos que se forma do lado leste da cordilheira dos Andes, transporta de umidade da Bacia Amazônica para as regiões de planícies na América do Sul.

Dessa maneira, fica claro que o transporte de umidade sofre efeitos da grande escala. Estudos a respeito desse fluxo de vapor d'água, tem sido desenvolvido através da convergência do fluxo de umidade integrado na vertical em todo o globo. Cavalcanti et al. (2002), demonstra que há modificações na intensidade da convergência de umidade nas diversas camadas da atmosfera.

2.2- Zona Convergência do Atlântico Sul

A ZCAS é uma banda de nebulosidade persistente com orientação noroeste-sudeste, que se estende desde o sul da Amazônia até o sudoeste do Oceano Atlântico Sul (KODAMA 1992, 1993; SATYAMURTY et al, 1998; LIEBMANN et al, 2001; CARVALHO et al, 2002, 2004) É o principal sistema meteorológico de grande escala que ocorre no verão sobre as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, sendo o maior responsável pelo acumulado total durante esse período, se forma em uma zona de convergência de fluxos de umidade em baixos níveis e pode interagir com a convecção característica da região tropical (OLIVEIRA, 1986). No período de verão, os sistemas atmosféricos estão deslocados para o Hemisfério Sul, vários desses sistemas podem facilitar o encontro entre esses fluxos, como por exemplo, o VCAN, a passagem de frentes frias e etc. Deve permanecer por pelo menos 4 dias para ser considerada uma ZCAS, dura no máximo 7 dias (quando dura menos de 4 dias, essa banda de nebulosidade é denominada ZCOU (REBOITA et al., 2012). A identificação da ZCAS é feita principalmente por imagens de satélite, mas pode também ser reconhecida através do campo de radiação de onda longa.

Durante o verão, em baixa troposfera, há um escoamento predominante de norte que começa sobre a Amazônia, e se estende a leste dos Andes até a região Sudeste do Brasil e esse escoamento é responsável pela distribuição de umidade no continente sul-americano, favorecendo a formação de Jato de Baixos Níveis (JBN) na região leste dos Andes, e intermédio deste, transportando umidade para os subtópicos (MARENGO et al., 2004). Atuando de maneira importantíssima no transporte de umidade da região Amazônica as regiões Centro-Oeste e Sudeste, esse escoamento oriundo da região amazônica, é causado pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Segundo Silva Dias (1995), há um quadro sinótico claro no que diz respeito a interação do ar proveniente da ASAS e o ar úmido de latitudes mais altas, quando há presença de um cavado a leste do Andes, facilita a ocorrência e a manutenção da ZCAS e nem sempre é possível observar

um gradiente de temperatura intenso na região de confluência, no entanto, o gradiente de umidade geralmente é observado com clareza. Rodrigues (2012) descreve a respeito do comportamento da ZCAS como “[...] apresenta grandes amplitudes térmicas e ainda sofre influência do oceano como regulador térmico [...]”.

Um fator crucial para manutenção da ZCAS é a liberação de calor latente característica da América do Sul durante o verão. Durante esse período a radiação solar é mais incidente sobre o trópico de Capricórnio, acarretando maior aquecimento da superfície terrestre, gerando formação de nuvens por convecção. Figueroa et al. (1995) demonstrou através de um modelo regional, que o aquecimento sobre a região Amazônica e a elevada topografia dos Andes a oeste do continente Sul-americano, são essenciais para a formação da ZCAS. Figueroa e Nobre (1990) mostraram que a maioria do regime pluviométrico da América do Sul tropical e subtropical, acontece durante o verão austral, mais de 50 % do total anual ocorre durante esse período, na forma de chuva convectiva (SILVA DIAS et al. 1987). A chuva convectiva característica desse período, quando associada a ZCAS, possui um valor pluviométrico muito maior, sendo responsável por enchentes e alagamentos principalmente sobre a região subtropical da América do Sul.

2.3 – Reanálise

Na meteorologia, entende-se como reanálise um conjunto de dados obtidos a partir de modelos de circulação global com dados observados, basicamente são séries de dados meteorológicos obtidos através da assimilação de dados e reanálise de dados observados em todo o planeta, fornecendo um apanhado de informações que atuam como dados de entrada em um modelo atmosférico. Segundo Carvalho (2013), existem duas gerações de dados de reanálises, a primeira geração é composta de três principais conjuntos de dados: O NCEP-R1 produzido e lançado pelo National Oceanic and Atmospheric Administration (NCEP); O ERA-40 do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) e; JRA-25 da Japanese Meteorological Agency. No entanto, esses dados possuem alguns problemas identificados, por isso, afim de corrigir esses problemas, o NCEP lançou uma segunda versão de seus dados de reanálise, chamada NCEP-R2. Que é a única reanálise de primeira geração que continua sendo utilizada operacionalmente. A ERA-40 foi encerrada em 2001 e a JRA-25 em 2004. Recentemente uma nova geração

de reanálises foram produzidas e lançadas, como é o caso do ERA- Interim. Através dessa nova geração de reanálises foi possível um aperfeiçoamento significativo nos dados.

Os dados de reanálise são amplamente aplicados na meteorologia, tanto para pesquisa como para o setor operacional. Como aplicações comuns dos dados de reanálise, destaca-se a comparação com sistemas de observação convencionais e automáticos, diagnóstico de circulação da atmosfera, e utilização como dados de entrada em modelos atmosféricos, Além disso, um workshop em Boulder (Colorado), apresentou um consenso entre os pesquisadores presentes de que as reanálises são a contribuição mais importante para a pesquisa sobre o clima (ARKIN, 2003).

2.4 – Jatos de Baixos Níveis

Os jatos e baixos níveis ocorrem tanto no Hemisfério Norte como no Hemisfério Sul, Blackadar (1957) utilizou uma rede de estações nos EUA para estudar os jatos de baixos níveis, constatou que estes ocorrem devido à turbulência na camada limite planetária (CLP). Ele explica que durante o dia o vento na camada limite é ageostrófico, quando o sol se põe, a camada limite se torna menos turbulenta, dessa maneira, o gradiente de pressão tende a acelerar o vento que se torna geostrófico. Os JBN apresentam grande variação diurna, sua formação na maioria das vezes ocorre durante o período noturno, e atinge um pico de intensidade no começo da manhã (WU E RAMAN, 1997), desta maneira, os JBN são classificados na escala mesobeta, com sua escala espacial variando entre 20 e 200 km de largura, ocorrendo nos primeiros níveis da atmosfera.

Bonner e Paegle (1970) comprovaram através de estudos realizados para a América do Norte, que os JBN são mecanismos eficientes que atuam no transporte de umidade em baixos níveis da atmosfera, participando de processos em inúmeras escalas meteorológicas, tanto temporais como espaciais, em virtude do escoamento de grande escala associadas ao desenvolvimento dos JBN mais intensos.

No caso da América do Sul, observa-se algumas semelhanças com os JBN da América do Norte. Há presença de uma circulação que transporta umidade para dentro do continente. Nos dois continentes esse transporte é canalizado pela presença de uma barreira topográfica, e modula de maneira intensa o ciclo diurno, Berbery e Collini (2000) fizeram um estudo que revela que o JBN transporta umidade desde a Amazônia até a Argentina.

A região Amazônica recebe grande quantidade de radiação durante todo o ano e, por se tratar de uma floresta, há umidade em abundância, como há disponibilidade de calor, uma grande área dominada por baixas pressões se forma, criando uma massa de ar equatorial continental, que possui características de ar quente e úmido, favorecendo temperaturas elevadas e precipitação e regiões convectivas. Ao entrarem em contato com os ventos alísios que escoam do oceano atlântico sobre a região Amazônica, encontram uma barreira topográfica e deixam de ser ventos de norte e noroeste, e tornam-se ventos a leste da cordilheira (SATYAMURTI et al., 1998). Esse escoamento favorece o transporte de umidade, em torno de 850 hPa, e está associado à formação de CCM, que se formam no norte da Argentina e Paraguai, e se deslocam para leste, atingindo o Sul e Sudeste do Brasil e o norte do Uruguai.

2.5 - Alta da Bolívia

A Alta da Bolívia é um anticiclone que ocorre em alta troposfera. É um sistema característico no verão sobre a América do Sul. O padrão de circulação do verão na alta troposfera mostra a formação de um anticiclone sobre a parte central na América do Sul e um cavado no nordeste brasileiro (CARVALHO, 1989).

Esse sistema gera modificações sazonais na circulação atmosférica da América do Sul, como um fluxo para leste aproximadamente em 10 °S, o que torna a circulação predominantemente meridional durante o verão, fato que favorece o transporte de umidade da região Amazônica (região tropical), para as regiões Sul e Sudeste do Brasil (latitudes médias). Recebe esse nome pois usualmente se forma sobre o altiplano Boliviano, pois com a forte liberação de calor latente na superfície, aumenta a espessura da troposfera produzindo assim um anticiclone (GUTMAN E SCHWERDTFEGER, 1965), e depois tende a se deslocar continente para o centro do continente.

A alta da Bolívia usualmente está associada com a ocorrência de vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN) que ocorrem na região nordeste do Brasil. Geralmente ocorre quando um sistema frontal proveniente de latitudes altas penetra nos subtrópicos na América do Sul, e por isso provoca uma forte advecção de temperatura (KOUSKY E GAN, 1981). Por esse motivo, a condição dinâmica para ocorrência de ZCAS geralmente está associada a Alta da Bolívia.

3- MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Área de estudo

Para estudo foi selecionada uma área da América do Sul, compreendida entre as longitudes de 80°W e 30°W, e as latitudes de 30°S e 2°N (Figura 1). Também é destacada uma subárea em azul (volume de controle, 21°S – 26°S e 44°W - 49°W) sobre a região Sudeste do Brasil (área Sudeste) onde será realizado um balanço do vapor d'água. Esta subárea de 5° por 5° foi escolhida de forma a deixar a cidade de São Paulo centralizada e por receber vapor d'água transportado da região Amazônica.

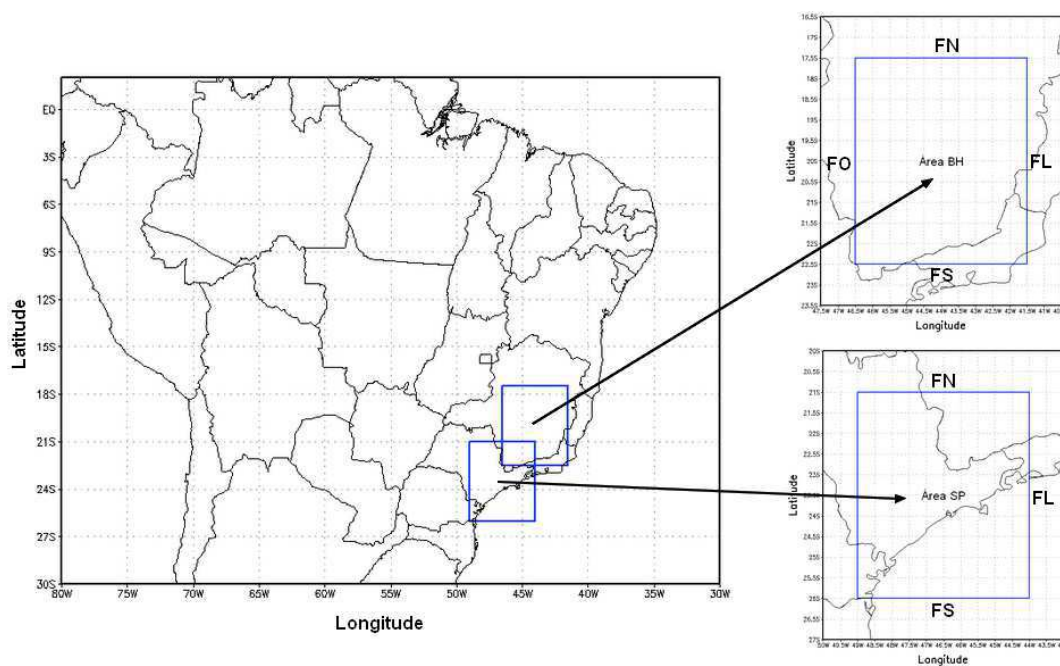


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo e subárea Sudeste com indicação do vetor normal unitário e denominação das faces do retângulo.

3.2 – Dados utilizados

Os dados que foram utilizados nesse trabalho de dissertação, são dados oriundos do ERA-Interim. Esse dado de reanálise fornecido pelo European Centre for Medium-Range

Weather Forecasts (ECMWF), foi publicada em 2009, é considerado como um sucessor do dado de primeira geração conhecido como ERA-40. Os dados fornecidos pelo ERA-Interim são desde 1 de janeiro de 1979, até os dias atuais, sendo atualizado mensalmente, Dee et al. (2011), explica que originalmente, o ERA-Interim foi idealizado para melhorar um período específico, compreendido entre 1990 e 2000. A resolução horizontal do modelo atmosférico é de aproximadamente 79 km em uma grade gaussiana, que era de 125km no ERA-40, além da resolução vertical do modelo que possui atualmente 60 níveis, com sendo o nível mais alto o de 0.1hPa. É atualizado duas vezes por dia 00:00 UTC e 12:00 UTC, mas oferece dados os quatro horários sinóticos, 00:00 UTC, 06:00 UTC, 12:00 UTC e 18:00 UTC (Stüker *et al.*, 2016).

Para a definição dos casos de ocorrência de ZCAS, foi obtido através do CPTEC/INPE as cartas sinóticas de superfície do período compreendido entre 01/01/2018 e 14/03/2018, assim como imagens de satélite para os períodos investigados nesse trabalho.

3.3 - Cálculo do fluxo de Vapor d'água integrado verticalmente

O fluxo de vapor d'água integrado verticalmente é representado vetorialmente como:

$$\vec{Q} = Q_{\lambda}\vec{i} + Q_{\phi}\vec{j} \quad (1)$$

em que Q_{λ} e Q_{ϕ} são os componentes dos fluxos zonal e meridional, respectivamente. Segundo Rao & Marques (1984), estes podem ser obtidos pela integração vertical da umidade específica multiplicada pelas componentes u e v do vento da forma:

$$Q_{\lambda} = \frac{1}{g} \int_{300}^{Ps} qu \, dp \quad (2)$$

$$Q_{\phi} = \frac{1}{g} \int_{300}^{Ps} qv \, dp \quad (3)$$

em que: g é a aceleração gravitacional e dp é um elemento infinitesimal de pressão na vertical, a integração se dá da superfície (Ps) até o nível de P_{300} (300 HPa), onde a umidade do ar é praticamente zero.

Essas informações foram obtidas diretamente da base de dados do ECMWF, através da reanálise do ERA-Interim, os parâmetros obtidos foram previamente calculados e descritos por Simmons e Burridge (1981)

Com base nas informações dos fluxos zonal e meridional de vapor d'água, integrado verticalmente, foi possível avaliar a espacialização da divergência. Esta foi calculada por diferenças finitas, a partir da expressão:

$$\nabla \cdot \vec{Q} = \frac{\partial Q_{\lambda}}{\partial x} + \frac{\partial Q_{\phi}}{\partial x} \quad (4)$$

3.5 – Balanço de vapor d'água na área Sudeste

Segundo Peixoto (1973) e Peixoto & Oort (1992) o fluxo resultante (FR), que entra ou sai através das faces da área Sudeste, foi obtido pela expressão

$$FR = \oint \vec{Q} \cdot \vec{n} dl \quad (5)$$

em que \vec{n} é um vetor normal unitário perpendicular a face do retângulo no sentido para fora e dl é um elemento infinitesimal desta face.

A integração em torno do retângulo, seguindo o sentido anti-horário, foi efetuada por partes onde se denominou face Norte (FN), face Sul (FS), face Oeste (FO) e face Leste (FL). Portanto, tem-se:

$$FS = -k \int_{\lambda=-49^{\circ}}^{\lambda=-44^{\circ}} Q_{\phi=-26^{\circ}} d\lambda \quad (6)$$

$$FL = k \int_{\phi=-26^{\circ}}^{\phi=-21^{\circ}} Q_{\lambda=-44^{\circ}} d\phi \quad (7)$$

$$FN = k \int_{\lambda=-44^{\circ}}^{\lambda=-49^{\circ}} Q_{\phi=-21^{\circ}} d\lambda \quad (8)$$

$$FO = -k \int_{\phi=-21^{\circ}}^{\phi=-26^{\circ}} Q_{\lambda=-44^{\circ}} d\phi \quad (9)$$

em que k é uma constante de conversão de graus para metros, foi usado $k = 111 \times 10^3$ m.

Observa-se que valores positivos indicam fluxo saindo da área e negativos entrando na área.

Desta forma, o fluxo resultante (FR) é obtido pela soma das faces, ou seja

$$FR = FS + FL + FN + FO \quad (10)$$

Portanto, o fluxo resultante FR positivo está associado à fonte ou exportação de vapor d'água e valores negativos a sumidouro ou importação de vapor d'água na área Sudeste. Esses valores podem ser expressos em mm/dia representando uma distribuição média na área em termos de precipitação.

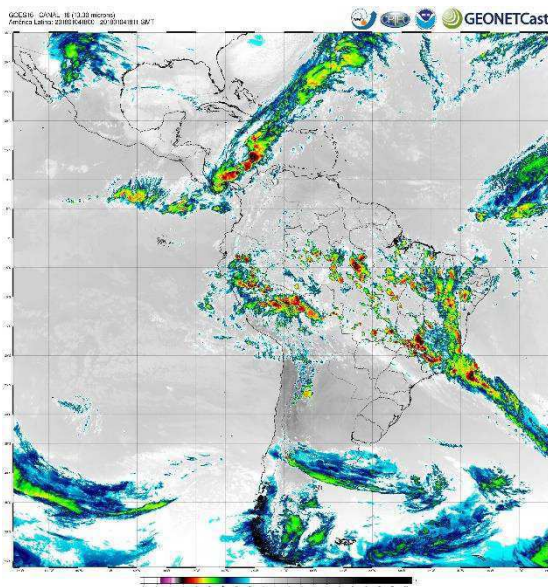
3.4 – Escolha dos casos

Foram escolhidos 4 casos distintos de eventos de ZCAS, ocorridos todos no ano de 2018, entre os meses de janeiro a março. Para cada caso foram estudados o comportamento e o transporte de vapor d'água na região e a influência no balaço de vapor d'água na área Sudeste. Os casos selecionados foram de 04/01/2018 a 09/01/2018 (Caso 1), 30/01/2018 a 08/02/2018 (Caso 2), 22/02/2018 a 25/02/2018 (Caso 3) e 08/03/2018 a 13/03/2018 (Caso 4).

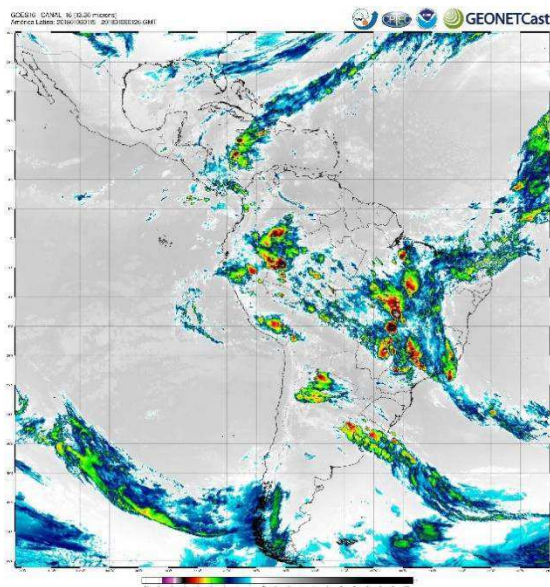
Caso 1:

O caso 1 (Figuras 2 e 3) representa a primeira ZCAS do ano de 2018, nesse episódio, a ZCAS teve sua localização posicionada nos primeiros dias sobre Minas Gerais, no entanto, ao final do episódio, ficou posicionada no norte de São Paulo, sendo possível identificar sua influência por tanto, na subárea sobre São Paulo e Belo Horizonte, foi um caso de duração média, permanecendo a faixa de nebulosidade por 6 dias, de 04/01/2018 a 09/01/2018, nas imagens de satélite e cartas sinóticas para o caso mostram que a passagem de sistemas frontais tornam o transporte de vapor de sul para norte durante o caso.

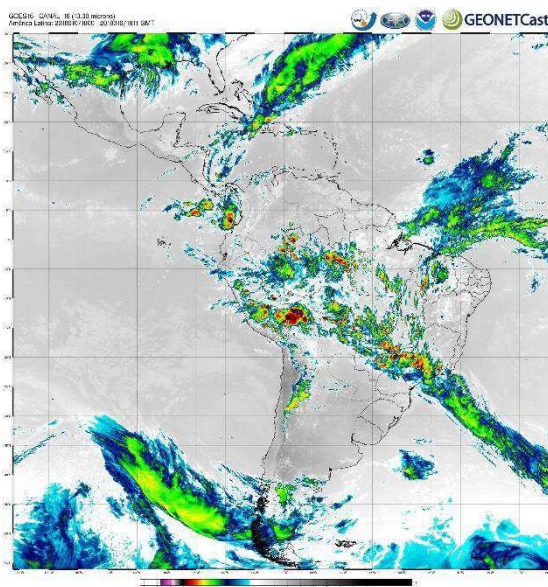
a)



b)



c)



d)

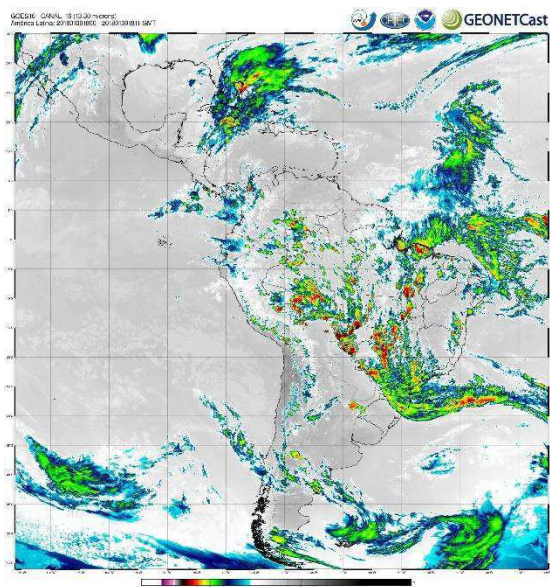


Figura 2: Imagens de satélite no canal infravermelho realçado para o período do caso 1 as 18 UTC. Fonte: DSA/CPTEC.

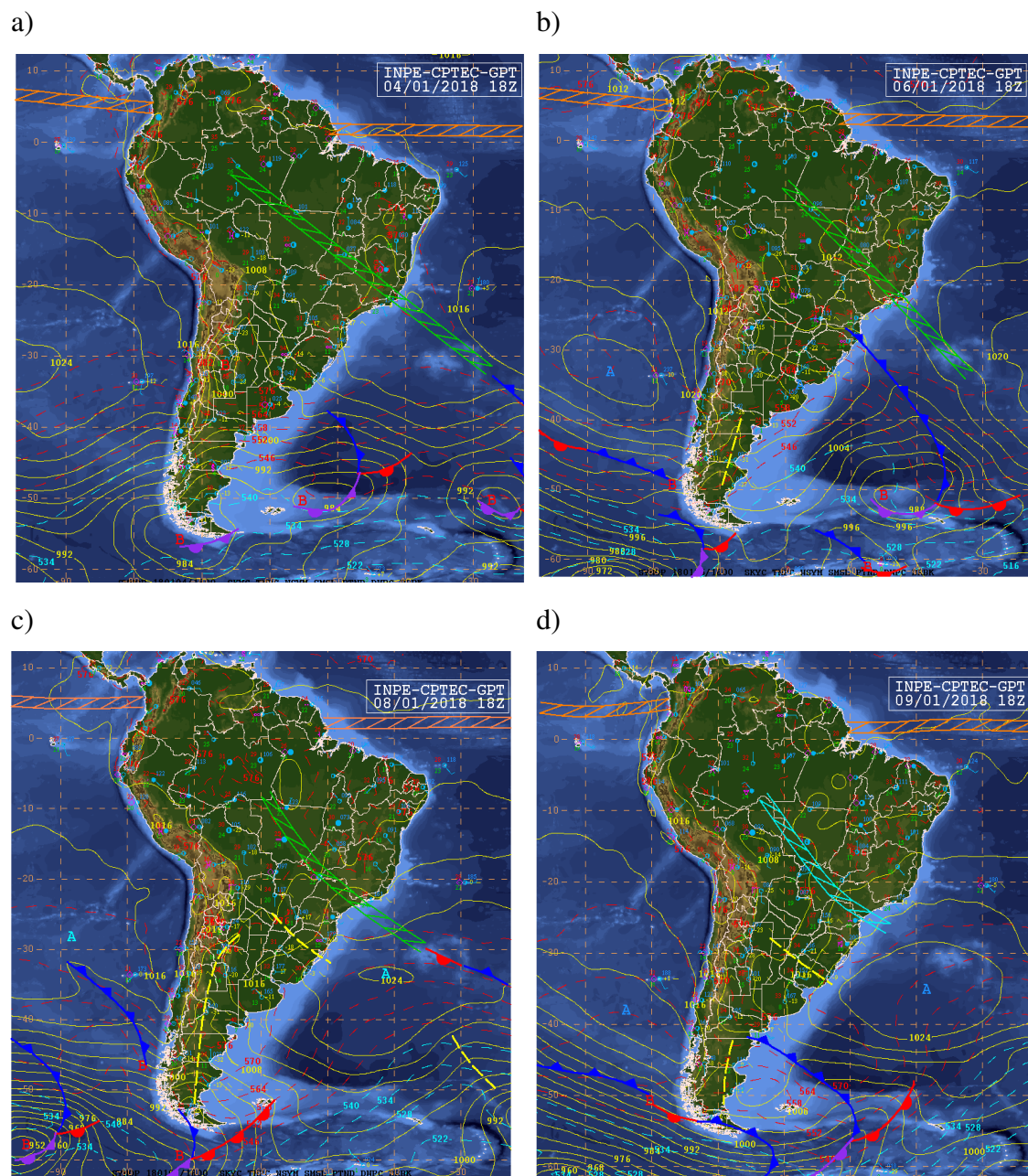


Figura 3: Cartas sinóticas de superfície para o período do caso 1 as 18 UTC. Fonte: CPTEC.

Caso 2:

Nas Figuras 4 e 5 é apresentado o caso 2, foi um caso de duração mais prolongada, tendo ocorrido por 10 dias, entre 30 de janeiro a 8 de fevereiro, é possível perceber através das imagens de satélite (Figura 4) e cartas de superfície (Figura 5), que esse caso teve sua permanência mais ao norte em relação ao caso 1, maior parte ocorrendo em uma área sobre a região norte do estado de Minas Gerais, mas chegando até o sul da Bahia em alguns dias, assim como no caso 1, o caso 2 também sofreu influencia da passagem de sistemas frontais.

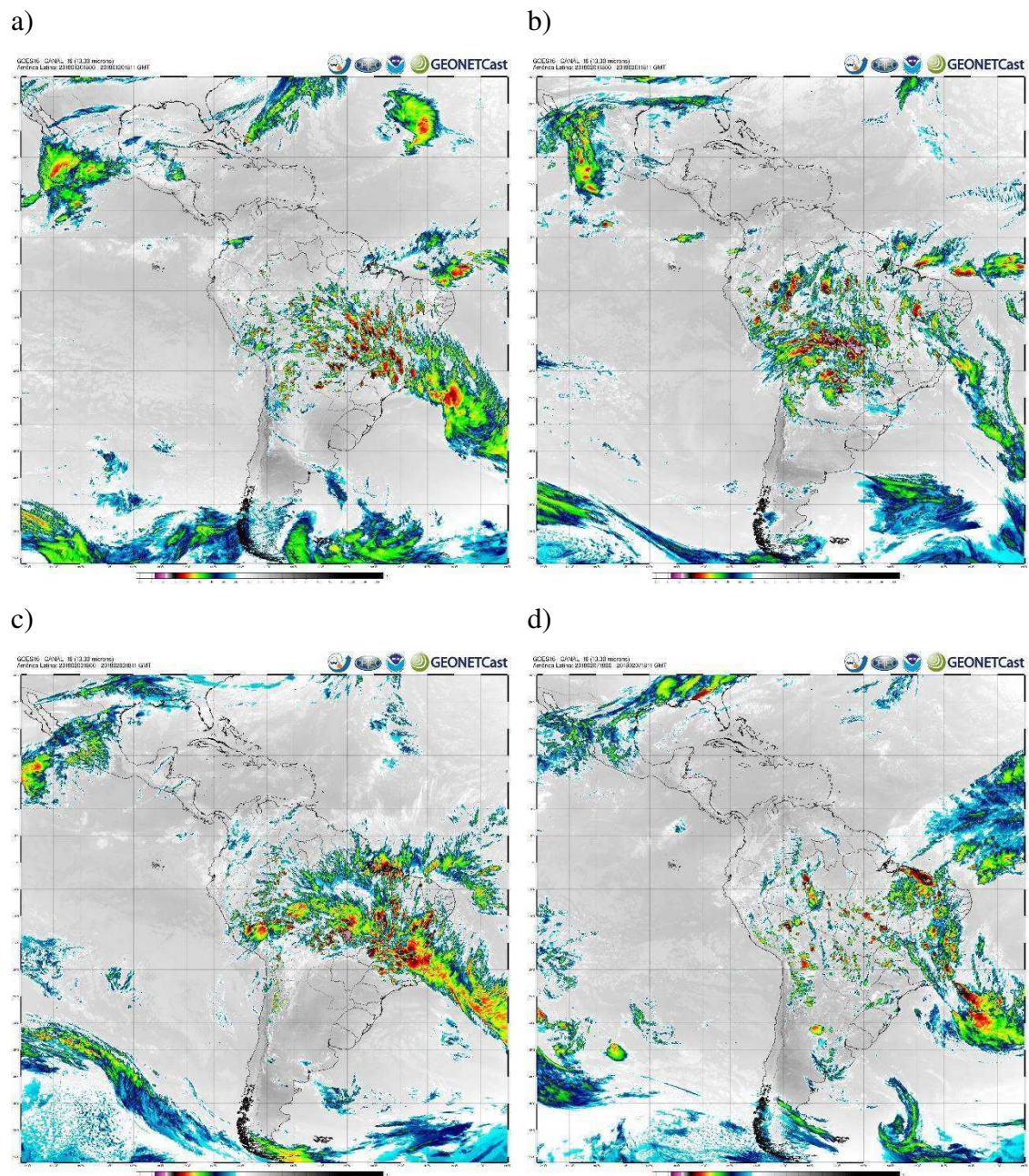
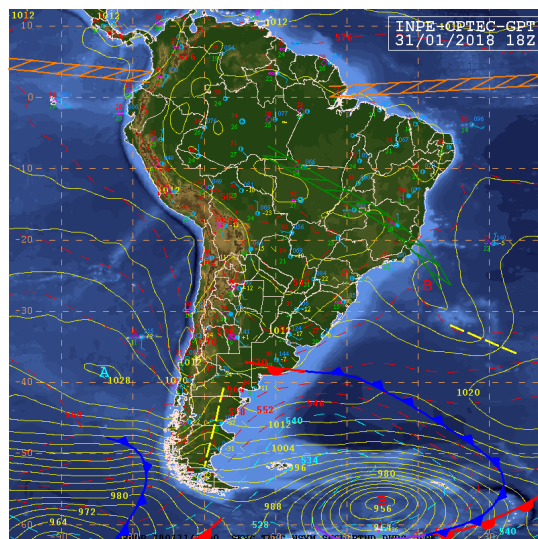
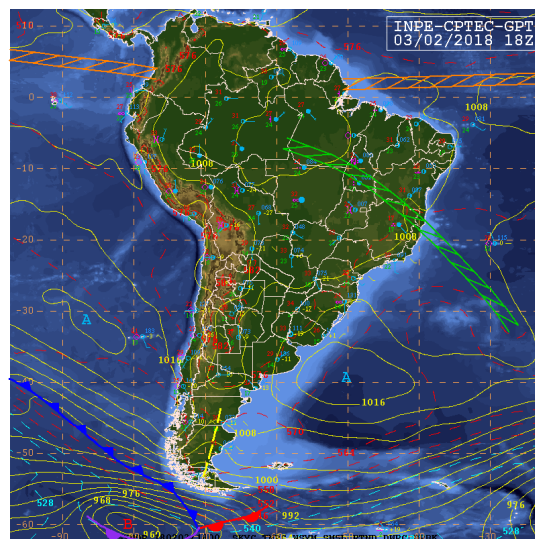


Figura 4: Imagens de satélite no canal infravermelho realçado para o período do caso 2 as 18 UTC. Fonte: DSA/CPTEC.

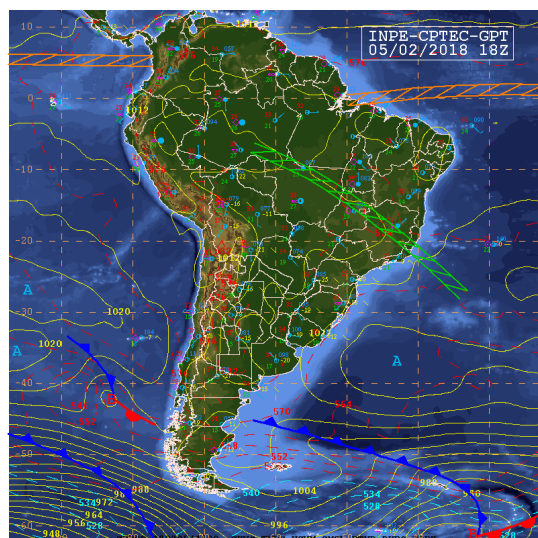
a)



b)



c)



d)

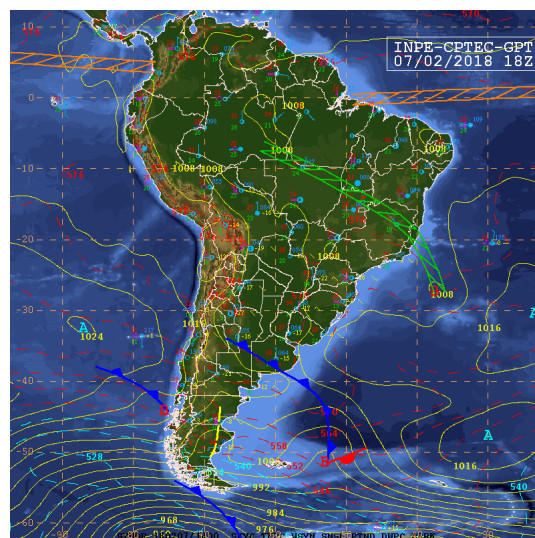


Figura 5: Cartas sinóticas de superfície para o período do caso 2 as 18 UTC. Fonte: CPTEC.

Caso 3:

O caso 3 (Figuras 6 e 7) foi o caso de menor duração avaliado nesse trabalho, durou apenas 4 dias, entre os dias 22 e 25 de fevereiro, foi um caso que em sua totalidade, afetou a subárea localizada no estado de Minas Gerais, ver Figura 7.

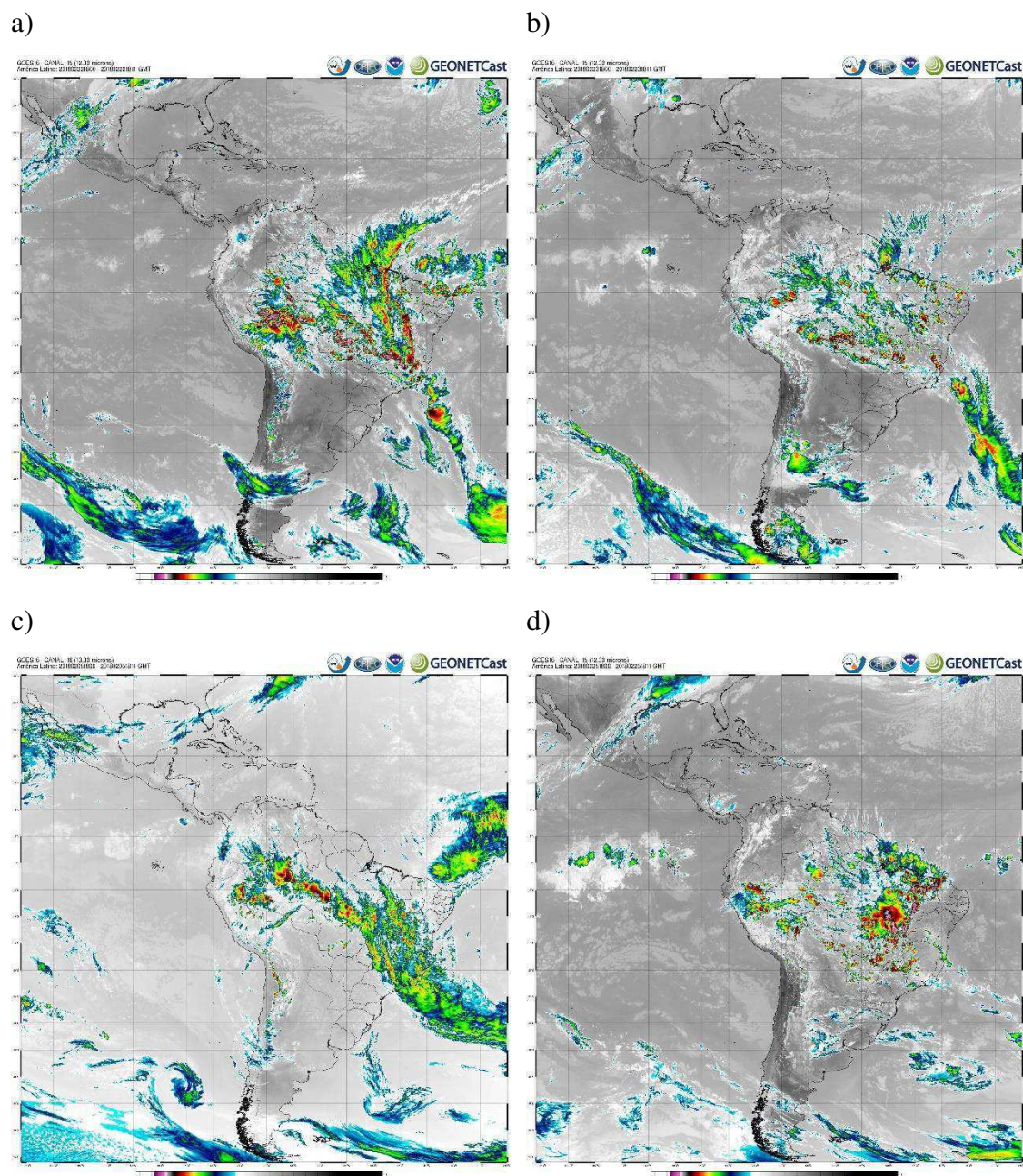


Figura 6: Imagens de satélite no canal infravermelho realçado para o período do caso 3 as 18 UTC. Fonte: DSA/CPTEC.

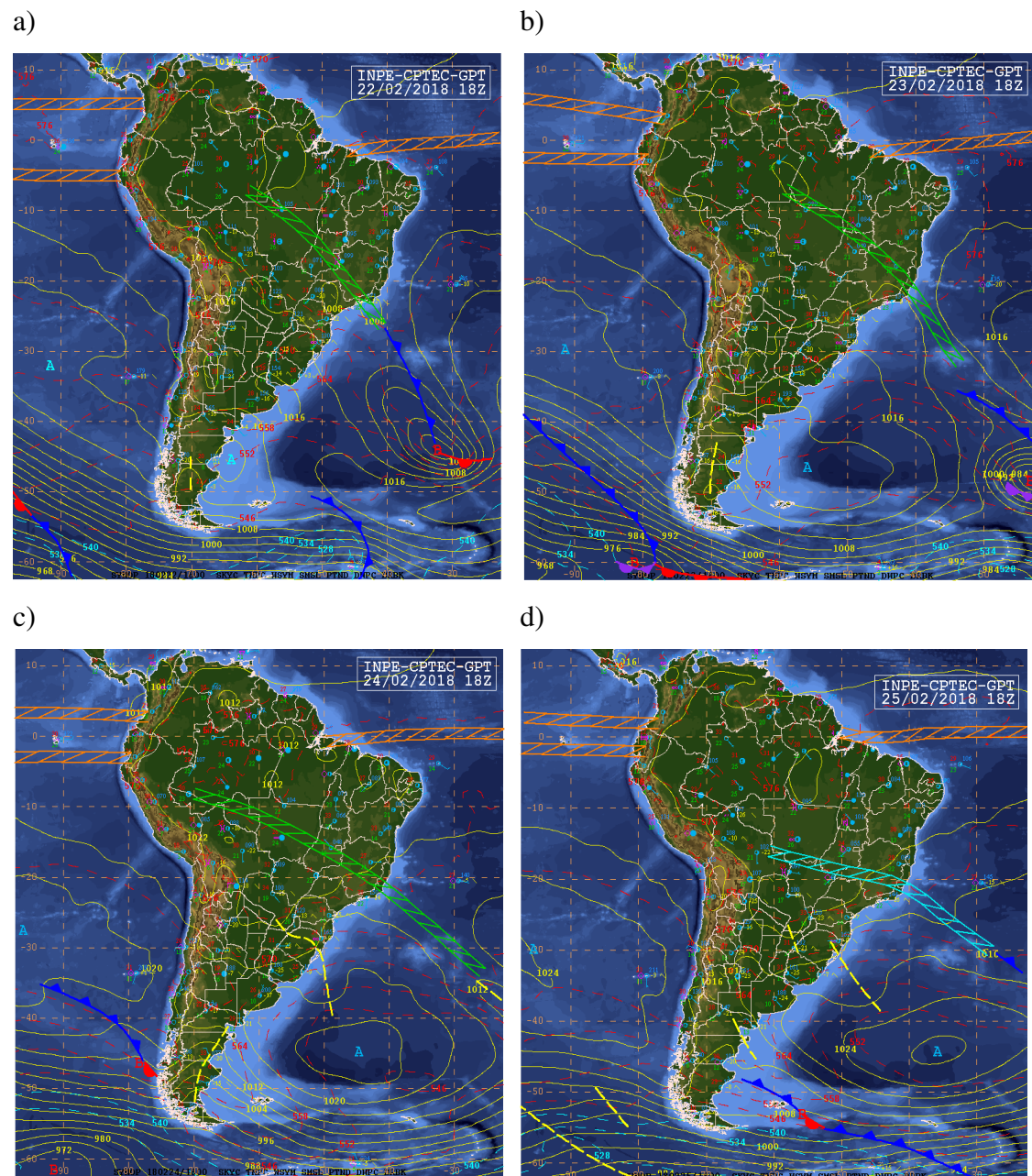


Figura 7: Cartas sinóticas de superfície para o período do caso 3 as 18 UTC. Fonte: CPTEC.

Caso 4:

Nas Figuras 8 e 9 é apresentado o caso 4, teve duração entre os dias 8 e 13 de março de 2018. É possível analisar esse caso também nas duas subáreas, São Paulo e Minas Gerais, o caso 4 foi o caso que mais se deslocou para norte como é possível observar nas imagens de satélite (Figura 8).

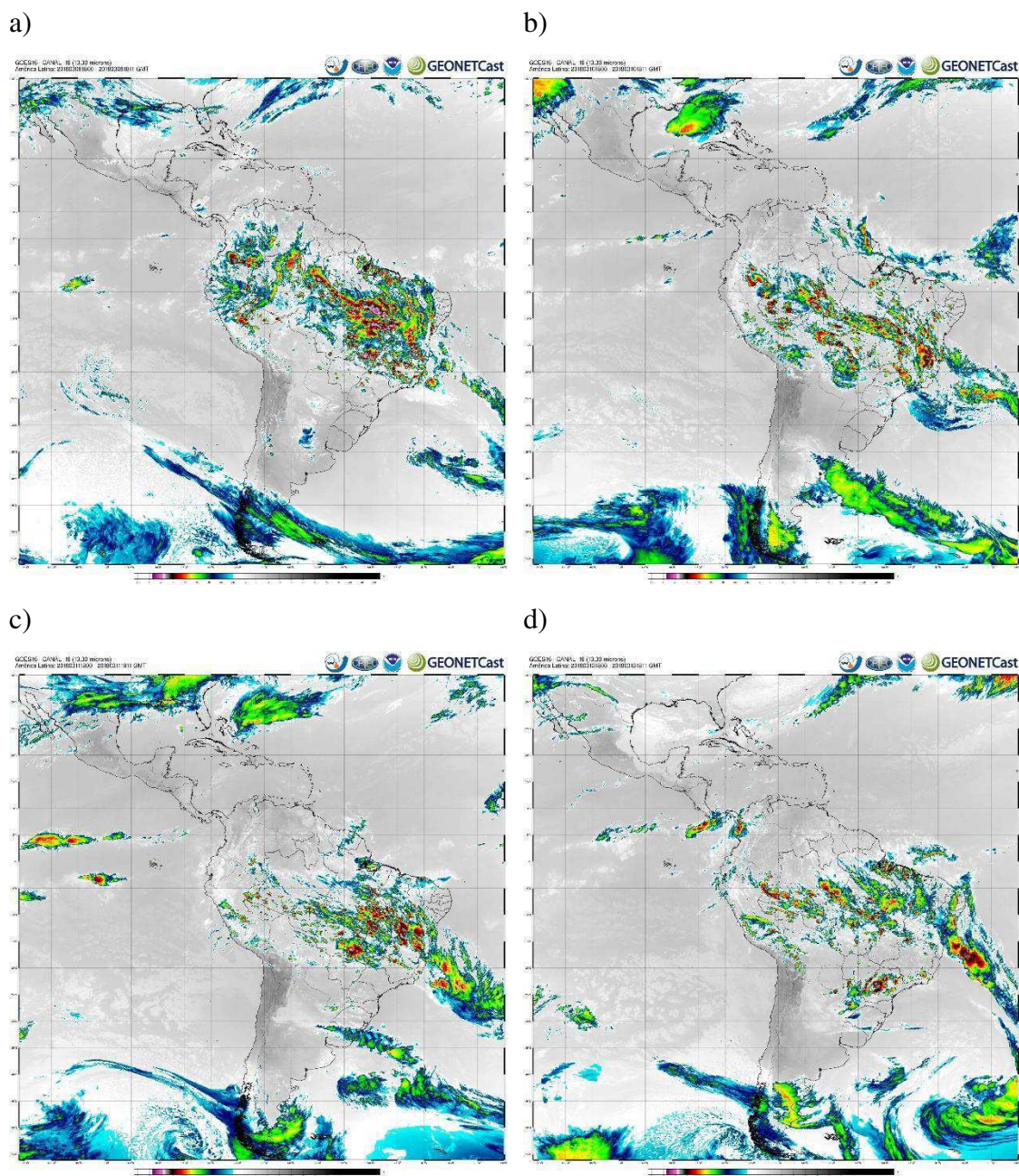


Figura 8: Imagens de satélite no canal infravermelho realçado para o período do caso 4 as 18 UTC. Fonte: DSA/CPTEC.

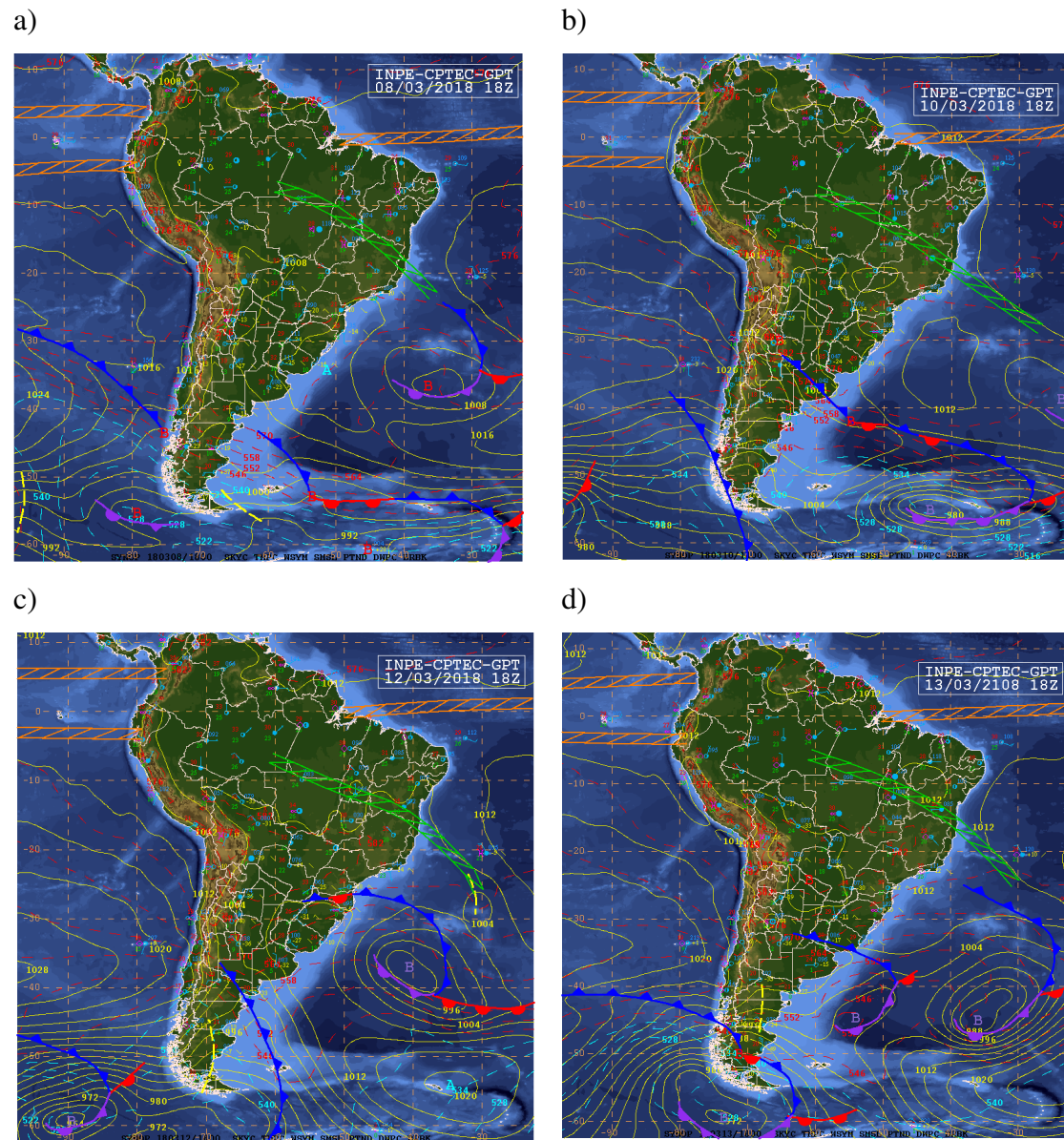


Figura 9: Cartas sinóticas de superfície para o período do caso 4 as 18 UTC. Fonte: CPTEC.

4 - RESULTADOS

Caso 1:

Na Figura 10 é apresentado o fluxo de vapor d'água integrado verticalmente para os dias 04, 06, 07 e 09 de janeiro de 2018. É evidente no dia 06 a ocorrência de transporte de vapor d'água da região amazônica para o sudeste do Brasil, nos dias seguintes esse fluxo foi afetado pela alta do Oceano Pacífico gerando uma inversão no sentido do fluxo, as imagens das cartas sinóticas corroboram com a afirmação de que o sistema em todos os casos estudados sofre influência das passagens dos sistemas frontais, no caso 1 por exemplo, a medida que o sistema frontal avança sobre o continente e posteriormente se dissipa, um sistema de alta pressão sobre o oceano atlântico se aproxima do continente, modificando o padrão do fluxo de umidade durante o caso.

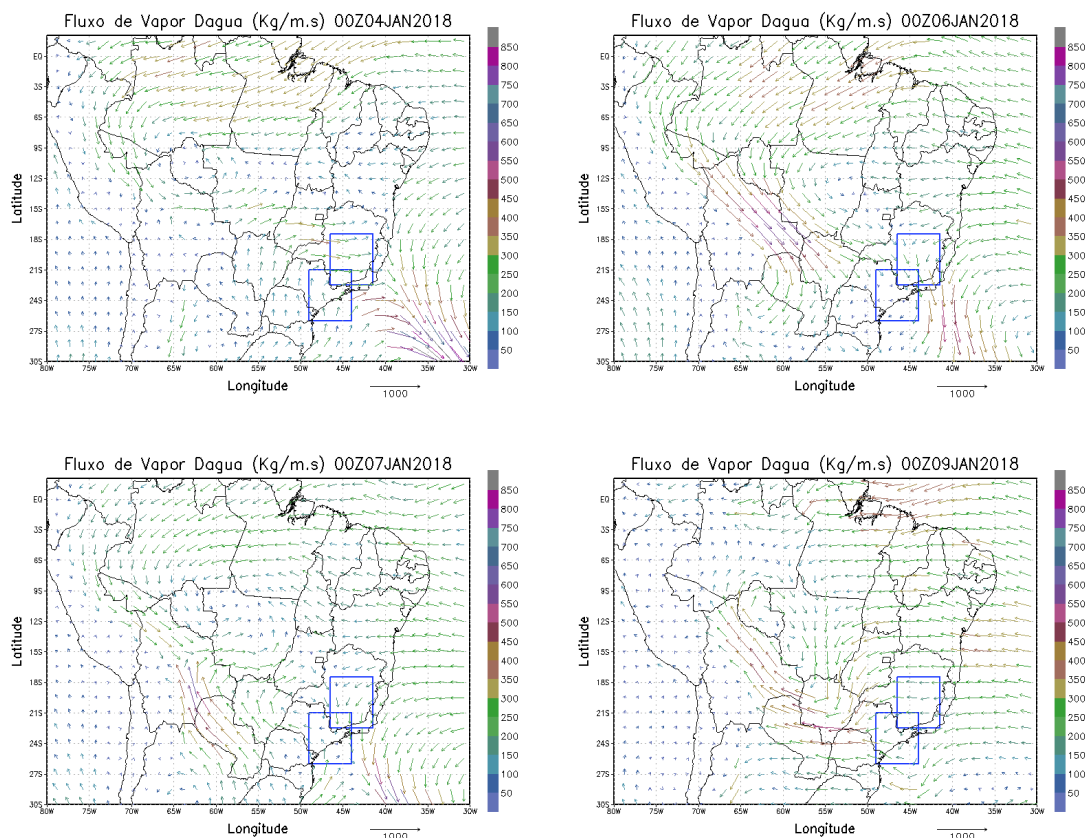


Figura 10: Fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (kg/m.s) para o caso 1

As imagens da divergência do fluxo de vapor d'água mostram que na área onde encontra-se a nebulosidade associada a ZCAS houve precipitação, bem como nas áreas mais ao leste da cordilheira dos Andes, devido ao transporte de umidade.

O campo da divergência (Figura 11) para o dia 07 mostra a formação de linha de convergência direcionada de noroeste – sudeste e que ocorreu após a inversão do fluxo verificada no dia anterior. É importante ressaltar que as áreas pintadas em azul representam convergência do fluxo de vapor d'água menor que -0.5×10^{-3} mm/s. No dia 09, o sistema já se encontra em dissipação.

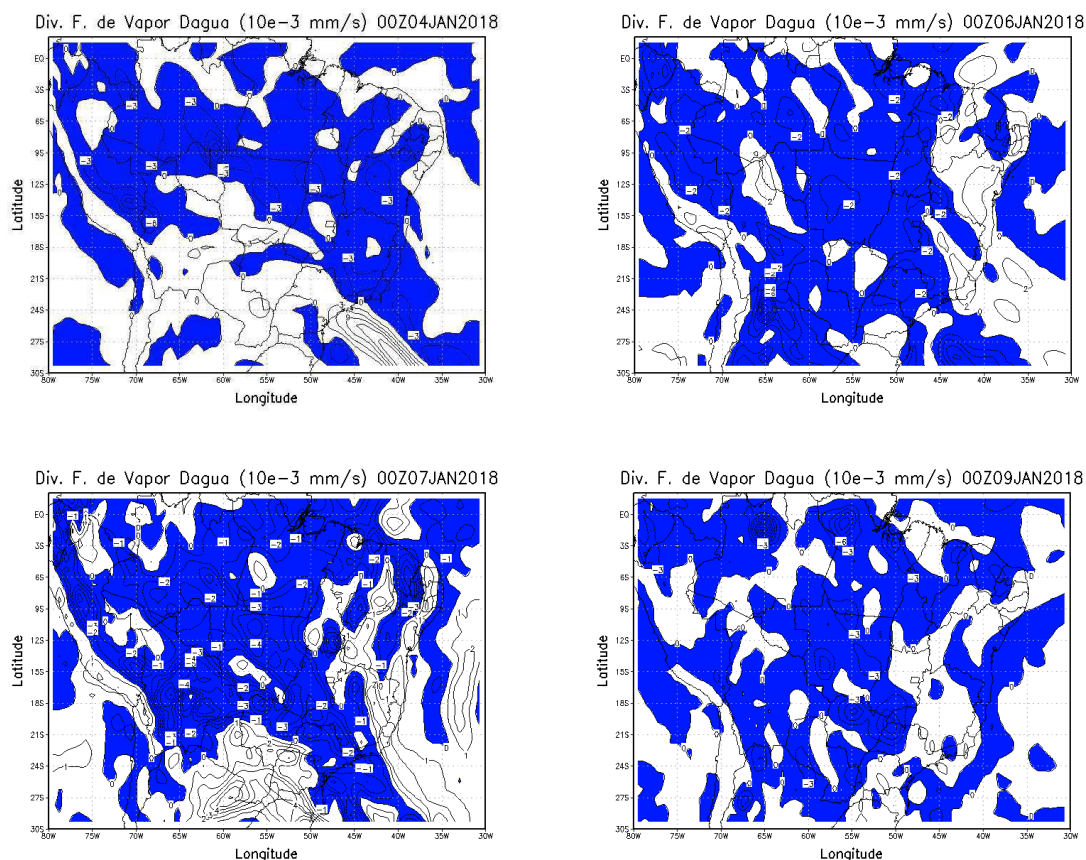


Figura 11: Divergência no fluxo de vapor d'água (10^{-3} mm/s) para o caso 1.

Na Tabela 1 é apresentado o balanço de vapor d'água para as subáreas de Belo Horizonte e São Paulo, nela tem-se o fluxo que entra ou sai por cada uma das faces, assim como, a resultante dada pela soma das 4 faces. Os valores são expressos em mm/dia e representam a quantidade de chuva média diária na área, caso todo vapor d'água venha a se condensar e precipitar. Os valores negativos indicam entradas de vapor d'água na área e positivos saídas. A resultante negativa indica que entrou mais vapor d'água do que saiu, constituindo-se em importação e conseqüentemente, sumidouro de vapor d'água, já valores positivos reflete o contrário, implicando que a área atuou como fonte de vapor d'água.

Neste sentido, a média do período indica que as subáreas BH e SP, -1,8 e -3,6 mm/dia, respectivamente, atuaram como importadoras de vapor d'água e conseqüentemente sumidouros indicando que, neste caso, a precipitação foi maior que a evapotranspiração média na área.

Tabela 1: Valores em mm/dia para o caso 1, entre 04/01/2018 e 09/04/2018.

Dia	FS		FL		FN		FO		Resultante	
	BH	SP	BH	SP	BH	SP	BH	SP	BH	SP
4	-2,9	-20,0	22,3	39,2	5,0	-1,3	-41,0	-1,5	-16,6	16,4
5	7,1	2,1	-0,9	-11,4	-16,2	-8,3	-0,7	19,0	-10,6	1,5
6	36,9	9,6	-10,6	7,7	-9,0	-24,0	-13,2	-1,2	4,1	-7,9
7	30,7	-20,4	-17,5	7,3	-8,3	-22,3	-2,8	16,5	2,1	-18,9
8	13,8	-31,2	-20,2	-8,6	-1,6	-12,6	6,8	37,7	-1,1	-14,7
9	10,3	-10,6	-26,8	-16,1	0,4	-10,0	27,3	39,1	11,2	2,4
Média	16,0	-11,8	-8,9	3,0	-4,9	-13,1	-3,9	18,3	-1,8	-3,6

O que foi apresentado na Tabela 1 é resumido Pela Figura 12 que expressa o balanço de vapor d'água em cada uma das faces e o valor resultante pela soma destas.

Pode-se observar que há um fluxo negativo nas faces norte e sul da subárea de São Paulo, enquanto que na subárea de Belo Horizonte observa-se fluxo negativo em todas as faces com exceção da face sul, valores negativos indicam vapor d'água entrando na área, e nas faces leste e oeste de São Paulo e de Belo Horizonte fluxo saindo da área, porém, a

resultante dos valores que entraram no retângulo onde foi feito o balanço, indica que entrou mais vapor d'água do que saiu, ou seja $-1,8$ mm/dia para BH e $-3,6$ mm/dia para SP. Esse resultado indica que a precipitação média nas duas subáreas superou a precipitação, sendo que em SP ocorreu com maior intensidade.

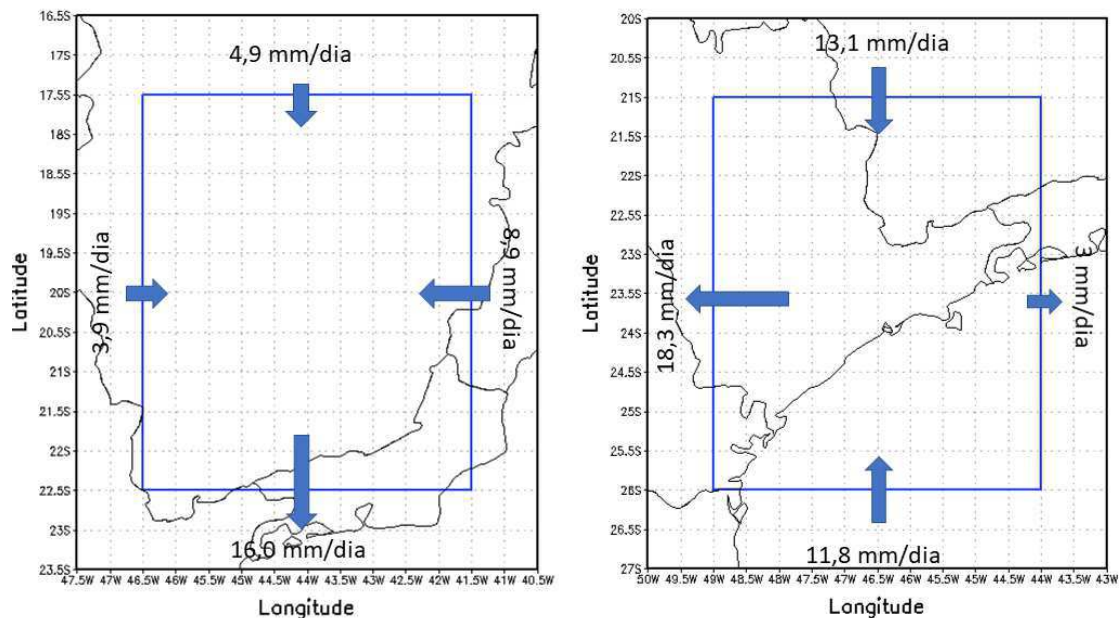


Figura 12: Média do balanço do fluxo de vapor d'água (mm/dia) para o caso 1 a) área Belo Horizonte e b) área São Paulo

Caso 2:

Na Figura 13 é apresentado o fluxo de vapor d'água integrado verticalmente para os dias 30 de janeiro, 03, 06 e 09, de fevereiro. Diferentemente do caso 1, no caso 2 o fluxo de vapor d'água não estava tão intenso no início do caso, no entanto, no dia 6 de fevereiro, o fluxo encontrava-se muito intenso no sentido norte – sul sobre a subárea BH, esse fato é determinado pela influência de um vórtice ciclônico sobre a região nordeste do Brasil e a posição de uma baixa pressão sobre o estado de Rondônia associada ainda a alta pressão na retaguarda da frente fria. Já na imagem do dia 9 é possível observar o fluxo retornando mais a oeste pois a alta do Oceano Pacífico se aproxima novamente do continente. De maneira semelhante ao caso anterior, o caso 2 também modifica o fluxo de vapor d'água sobre as áreas estudadas conforme a passagem de sistemas frontais, no começo da ZCAS a alta sobre o oceano atlântico estava bem longe do continente, a

medida que os dias passaram, o sistema frontal adentra em direção as áreas de estudo, e causam a mudança no padrão do fluxo de vapor d'água, intensificando o fluxo predominantemente pela face norte.

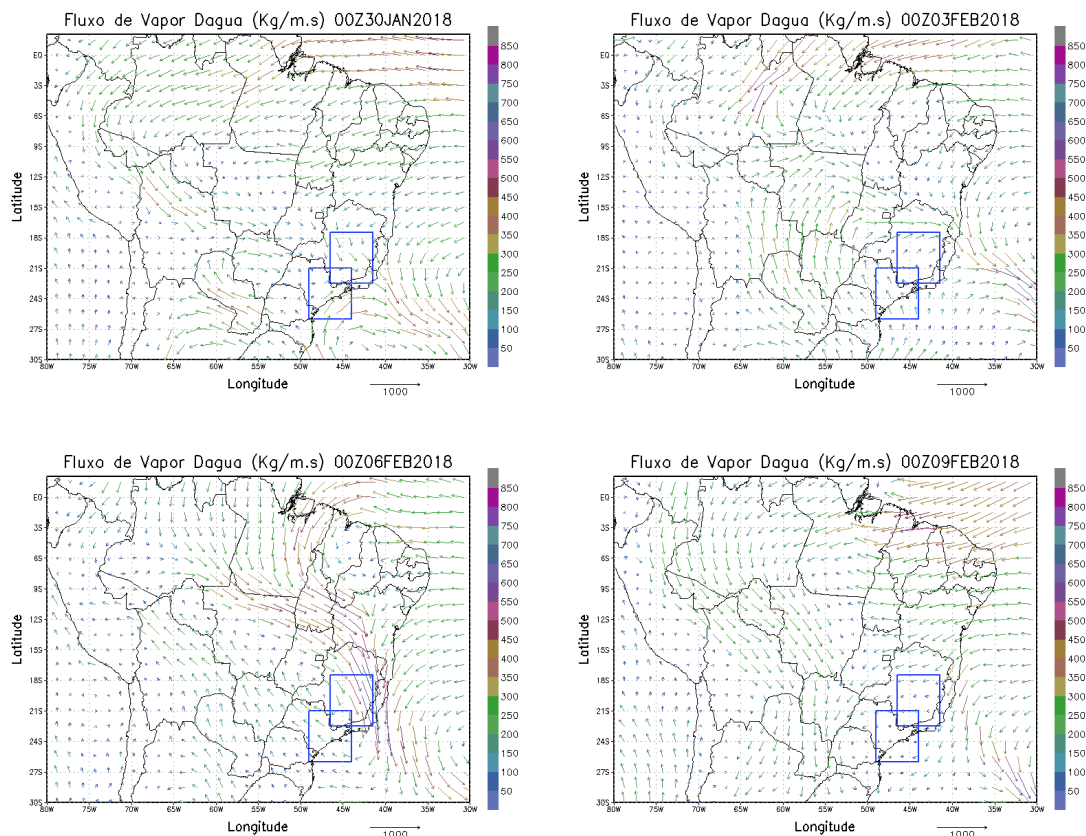


Figura 13: Fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (kg/m.s) para o caso 2.

As imagens de divergência no fluxo de vapor d'água (Figura 14) mostram precipitação organizada no sentido noroeste sudeste para os dias destacados, destaca-se para o dia 6 um valor intenso sobre a subárea BH, e divergência sobre a subárea SP, o que está de acordo tanto com as imagens de satélite como para o campo do fluxo de vapor d'água.

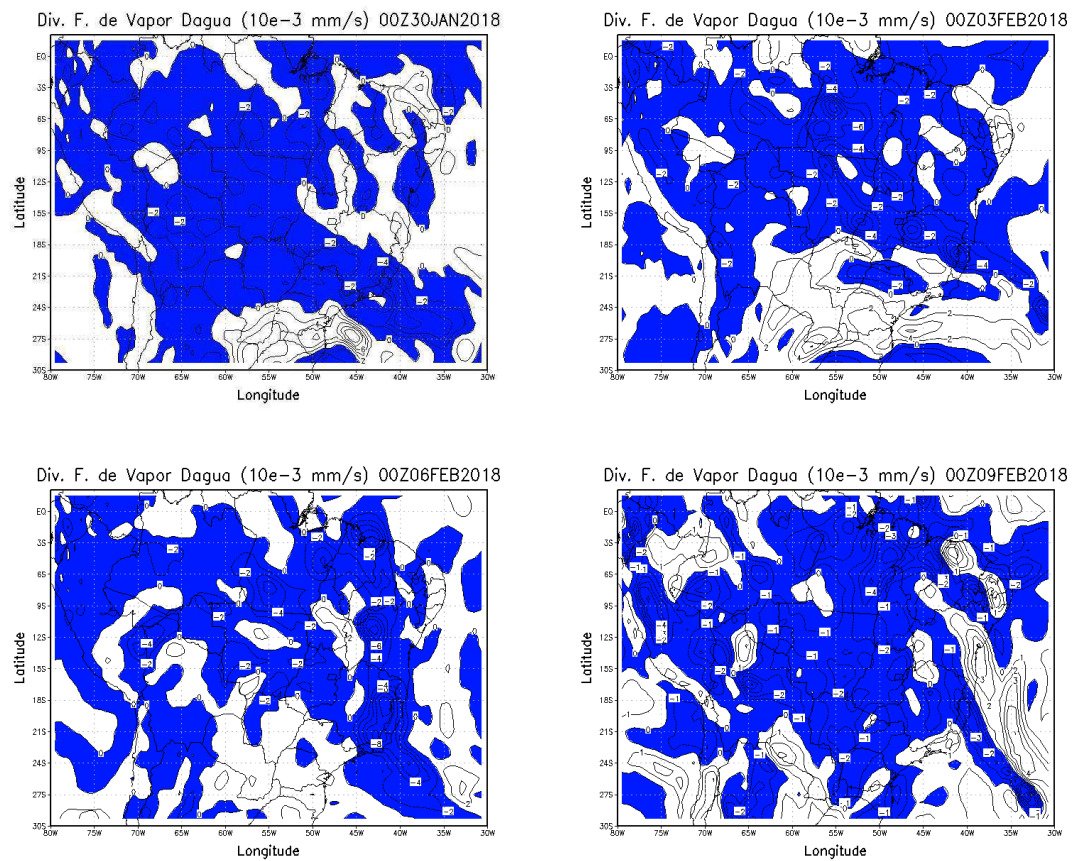


Figura 14: Divergência do fluxo de vapor d'água (10^{-3} mm/s) para o caso 2.

Na Tabela 2, é mostrado os valores do balanço de vapor d'água para as subáreas de Belo Horizonte e São Paulo, respectivamente, observa-se para este caso, que o fluxo resultante para subárea SP apresenta valores positivos, que está em concordância com as Figuras 13 e 14. Já para a subárea BH, o valor resultante apresentou um valor negativo muito intenso, o que também está em concordância com as Figuras 13 e 14, uma vez que este caso se localizou predominantemente sobre a subárea BH, os valores expressos em mm/dia, indicam que para a subárea BH, apenas a face leste exportou vapor d'água, e SP por outro lado, apenas a face sul importou vapor d'água.

Por tanto, a média do período indica que a subárea BH, -12,9 mm/dia, atuou como importadoras de vapor d'água e sendo assim sumidouro, e a subárea SP, 2,0 mm/dia, neste caso atuou como fonte.

Tabela 2: Valores em mm/dia para o caso 2, entre 30/01/2018 e 08/02/2018.

Dia	FS		FL		FN		FO		Resultante	
	BH	SP	BH	SP	BH	SP	BH	SP	BH	SP
30	-2,5	-33,9	20,5	38,5	-21,5	-5,2	-13,0	-7,4	-16,4	-7,9
31	-32,7	-35,6	43,8	26,3	-5,9	21,2	-31,8	8,1	-26,5	20,0
1	-20,1	-42,2	25,4	-3,8	2,0	20,6	2,0	24,8	9,3	-0,6
2	-10,5	-23,2	22,4	0,3	-22,9	4,9	-0,2	13,7	-11,2	-4,4
3	-15,6	-19,3	16,0	0,5	2,0	11,7	-8,4	11,5	-6,0	4,4
4	-9,8	-30,9	-1,3	-7,8	-18,7	5,0	23,5	34,6	-6,3	0,8
5	-2,1	-13,1	-21,3	-23,5	-38,1	6,4	33,3	30,4	-28,1	0,1
6	14,1	-7,2	10,3	-10,1	-70,0	0,0	6,0	20,6	-39,6	3,3
7	7,0	-11,1	33,6	11,2	-22,4	0,8	-21,0	2,1	-2,7	2,9
8	-10,6	-14,9	20,4	10,9	2,1	9,2	-13,2	-3,6	-1,4	1,5
Média	-8,3	-23,2	17,0	4,2	-19,3	7,5	-2,3	13,5	-12,9	2,0

O que foi discutido na Tabela 2 é expresso na Figura 15 que expressa o balanço de vapor d'água em cada uma das faces e o valor resultante pela soma destas.

Pode-se observar, que neste caso, há um fluxo negativo nas faces norte, sul e oeste da subárea de BH, enquanto que na subárea de SP observa-se fluxo negativo apenas na face sul, esses valores do balanço estão de acordo com o que foi apresentado anteriormente nas Figuras 4, 13 e 14 respectivamente. Esses resultados, de resultantes negativa para BH e positiva para SP, indicam que a precipitação média em BH superou a evaporação, e para SP, a evaporação foi maior que a precipitação.

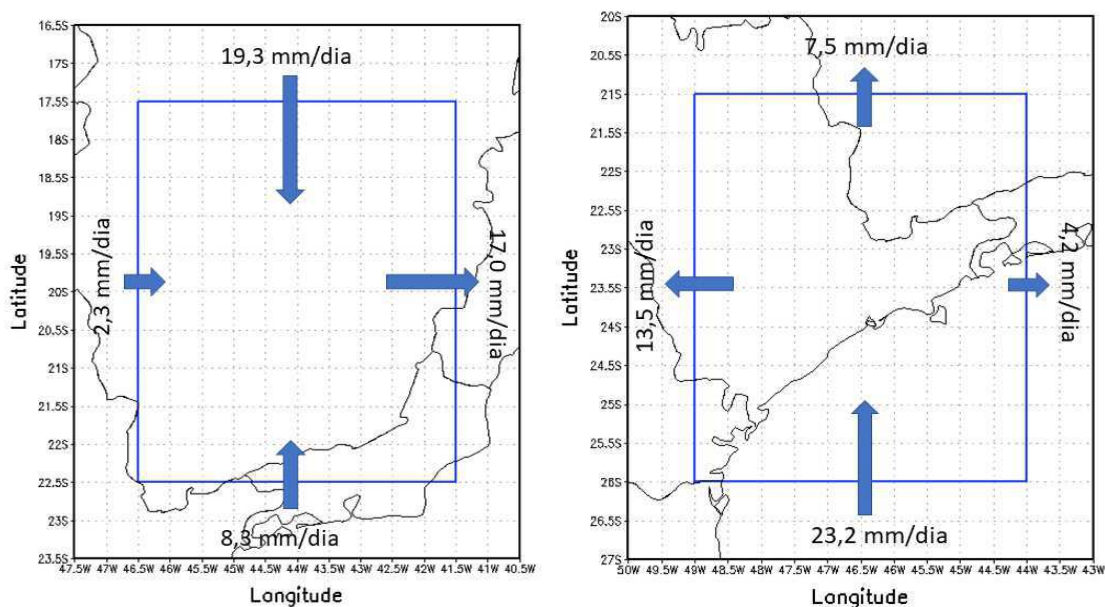


Figura 15: Média do balanço do fluxo de vapor d'água (mm/dia) para o caso 2 a) área Belo Horizonte e b) área São Paulo.

Caso 3

Já para o caso 3, temos o fluxo de vapor d'água para os dias 22, 23, 24 e 25 de fevereiro apresentados na Figura 16. Identificamos que no primeiro dia do caso, sobre a região do estado de Rondônia, se encontrava uma configuração de alta pressão, no entanto, nos dias seguintes, observa-se um padrão de baixa pressão sobre a mesma região, o fluxo tende a mudar de direção no final do caso devido à alta pressão na retaguarda da frente fria, dessa maneira, a medida que o a baixa pressão se afasta do continente, a alta pressão da retaguarda se torna mais pronunciada e muda o padrão do fluxo que antes entrava predominantemente pela face norte, passando a ser pela face sul.

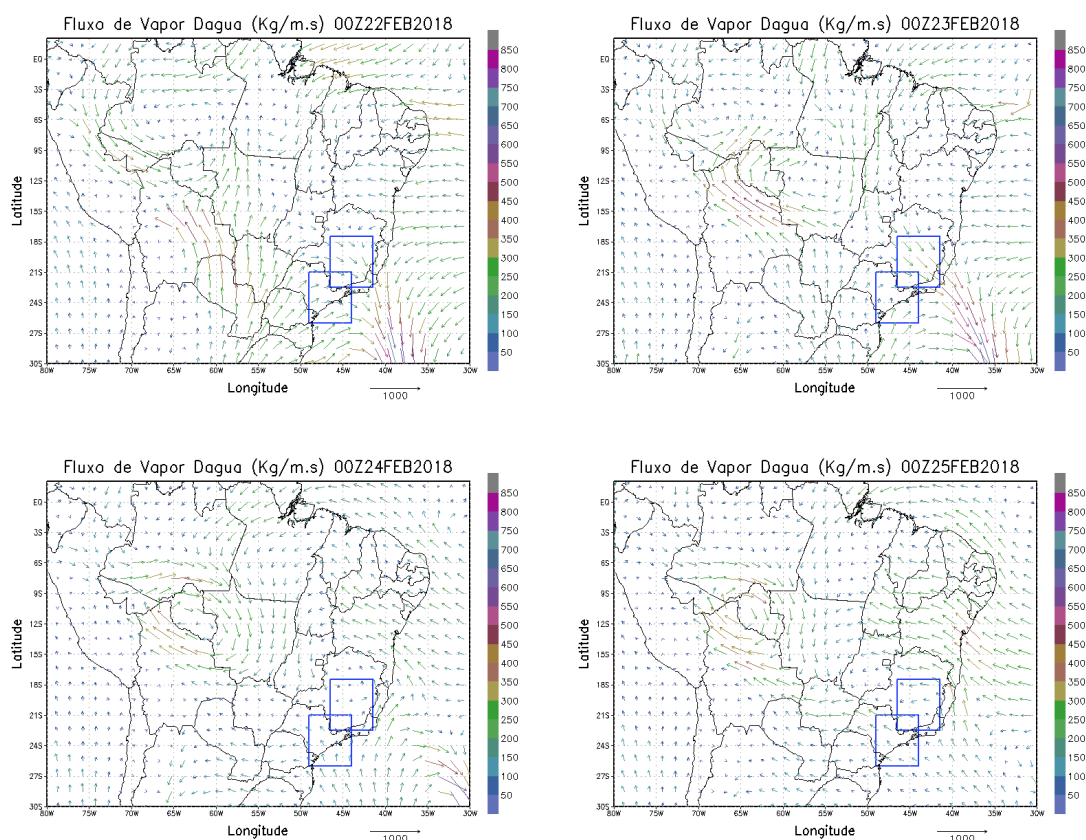


Figura 16: Fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (kg/m.s) para o caso 3.

Nas imagens da Figura 17, referentes ao campo da divergência no fluxo de vapor d'água, mostram mais uma vez valores negativos no campo da divergência, salientando a precipitação organizada na banda de nebulosidade associada à ZCAS (Figura 6) sobretudo sobre os dias 22 e 23.

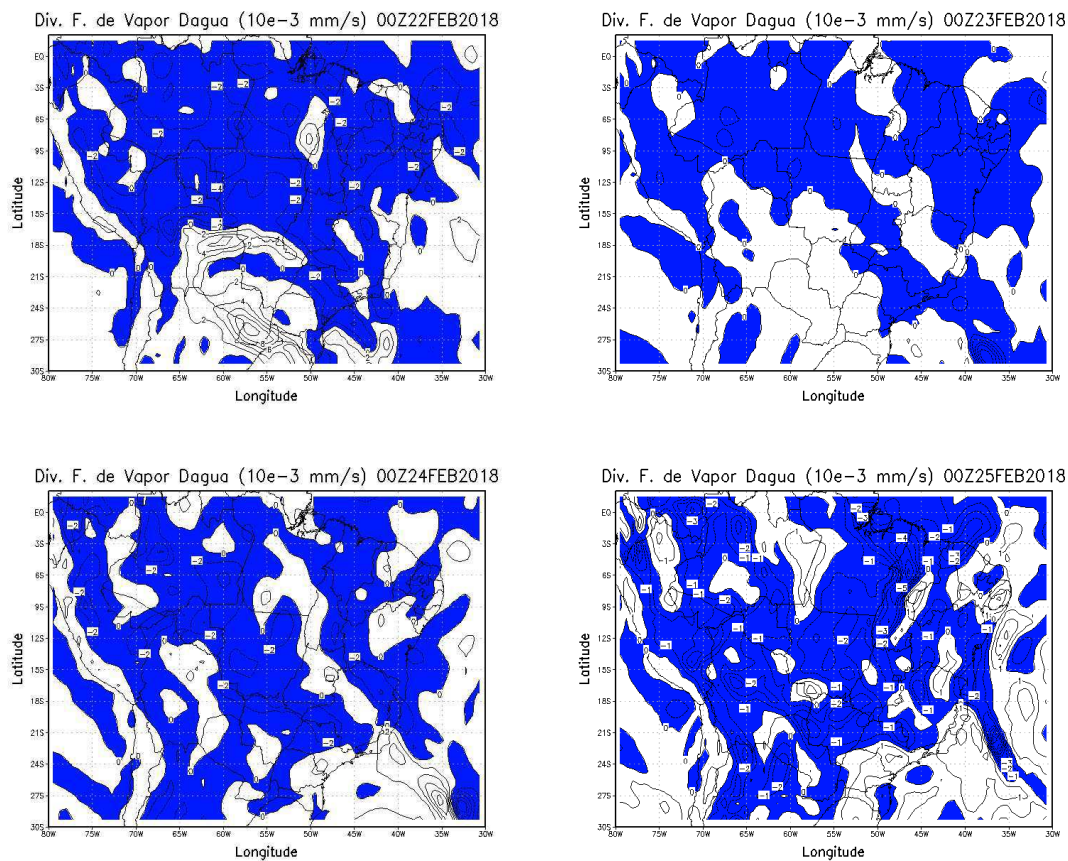


Figura 17: Divergência do fluxo de vapor d'água (10^{-3} mm/s) para o caso 3.

Na Tabela 3, é mostrado os valores do balanço de vapor d'água para as subáreas de Belo Horizonte e São Paulo. Neste caso, por ser o caso estudado onde a ZCAS permaneceu mais sobre a subárea de SP, percebemos que o valor da resultante de SP é bem maior que o da subárea BH, revelando que principalmente nos primeiros dias, os valores negativos são mais intensos, devido a ZCAS estar mais sobre SP, já para a subárea BH, o valor resultante apresentou um valor negativo, porém não muito intenso. Os valores obtidos, indicam que para a subárea BH, as faces oeste e norte importaram vapor d'água, e as faces sul e leste exportaram SP por outro lado, importou vapor d'água pelas faces sul e norte, e exportou pelas faces leste e oeste.

Por tanto, a média do período indica que a subárea BH, -0,7 mm/dia, atuou como importadoras de vapor d'água e sendo assim sumidouro, porém de maneira modesta neste caso, já a subárea SP, -8,3 mm/dia, atuou de maneira mais intensa como sumidouro.

Tabela 3: Valores em mm/dia para o caso 3, entre 22/02/2018 e 25/02/2018.

Dia	FS		FL		FN		FO		Resultante	
	BH	SP	BH	SP	BH	SP	BH	SP	BH	SP
22	18,2	-15,7	8,4	25,2	-12,0	-4,9	-19,9	-21,4	-5,2	-16,9
23	11,1	-24,3	32,3	26,6	-21,9	-8,9	-22,3	-8,1	-0,7	-14,7
24	-12,8	-21,0	12,4	4,5	2,8	2,3	-0,5	13,1	2,0	-1,0
25	-8,2	-9,5	-11,4	-12,1	5,8	0,2	14,9	20,8	1,0	-0,6
Média	2,1	-17,6	10,4	11,1	-6,3	-2,8	-6,9	1,1	-0,7	-8,3

Na Figura 18, temos a representação do que foi discutido na Tabela 3, as faces oeste e norte importaram vapor d'água, e as faces sul e leste exportaram vapor d'água no caso 3 para a subárea BH, já em SP as faces pelas faces sul e norte importaram vapor d'água, e as faces leste e oeste exportaram.

Neste caso, os valores médios das resultantes para BH e SP respectivamente são, -0,7 e -8,3 mm/dia, sendo as duas subáreas estudadas então, consideradas como sumidouro de umidade da atmosfera. Porém SP foi mais eficiente nesse caso.

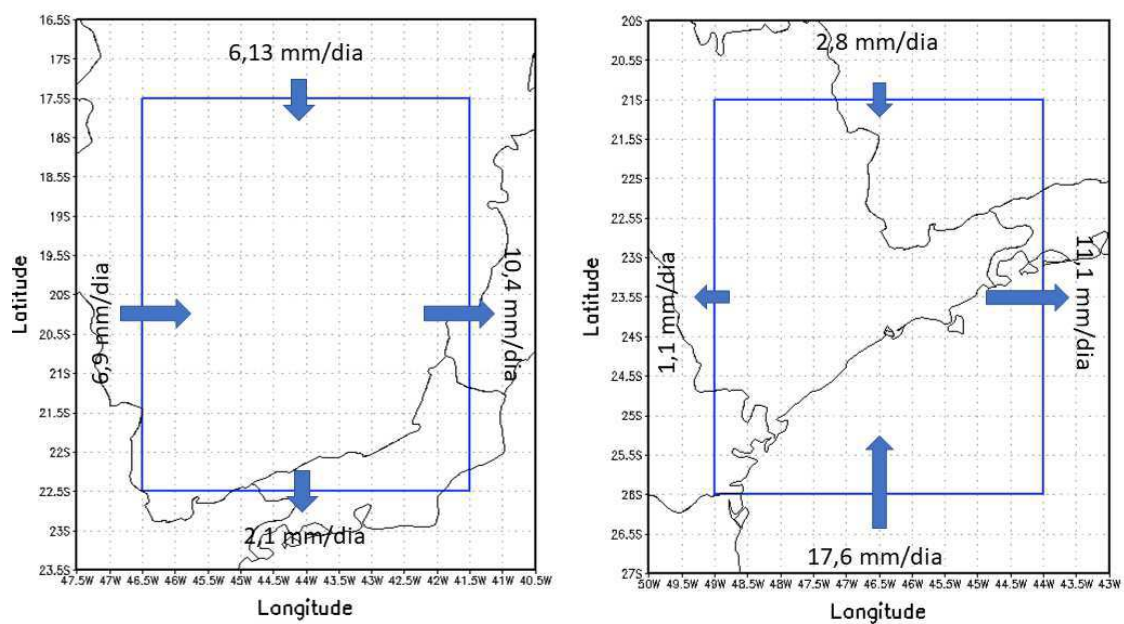


Figura 18: Média do balanço do fluxo de vapor d'água (mm/dia) para o caso 1 a) área Belo Horizonte e b) área São Paulo. para o caso 3.

Caso 4:

Por último, na Figura 19, é apresentado o fluxo de vapor d'água para o caso 4, compreendido entre os dias 08 e 13 de março, e representado pelas figuras dos dias 8, 10, 12 e 13. É possível notar que no início do caso, o fluxo encontrava-se em sentido contrário do observado anteriormente nos outros casos, esse fato é devido a alta pressão característica não estar bem pronunciada, com exceção do dia 10, como mostra a carta sinótica, essa alta pressão é observada em todos os casos com exceção do caso 4, neste caso de estudo, o sistema se manteve distante do continente no oceano pacífico, no dia 10, nota-se que o fluxo deixa de apresentar o sentido sul - norte sobre as subáreas, devido a uma crista que se fortaleceu no oceano atlântico, mas volta a apresentar o mesmo padrão em seguida devido a passagem de sistemas frontais, observa-se também, que o fluxo a leste dos andes se mantém mesmo nessa configuração, portanto neste caso, favorece uma área de convergência de umidade sobre o norte da Argentina.

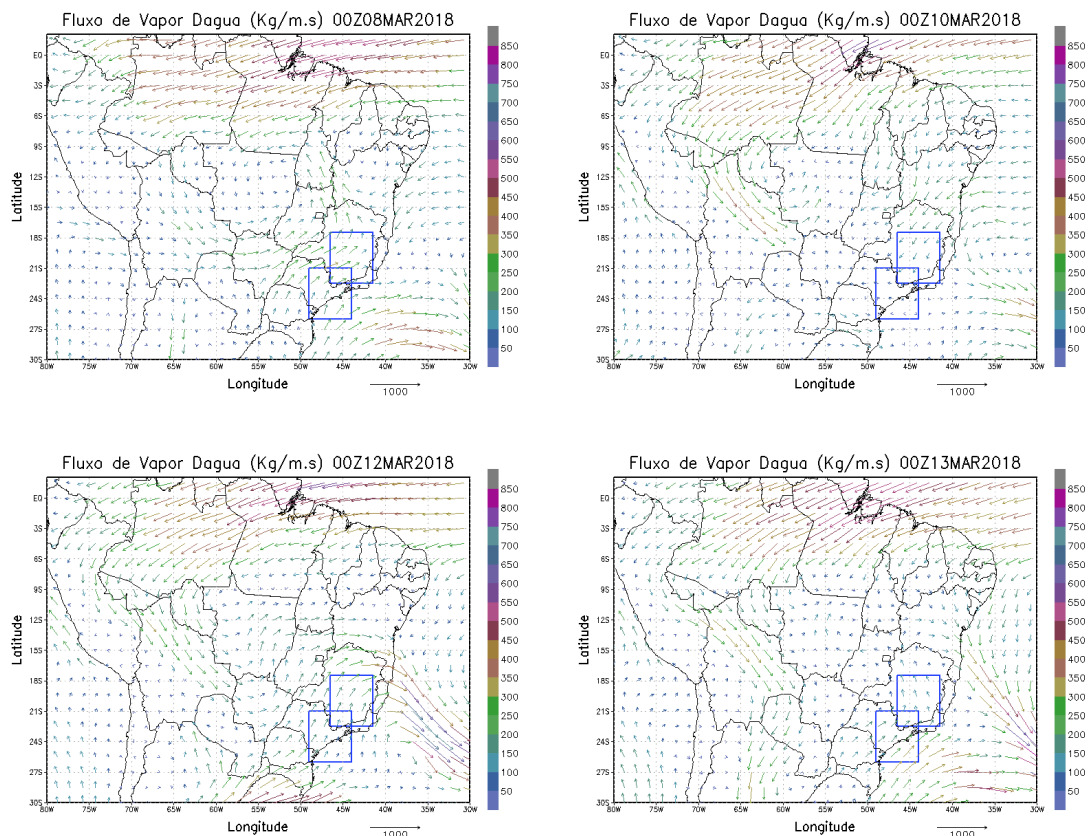


Figura 19: Fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (kg/m.s) para o caso 4.

As imagens do campo da divergência do fluxo de vapor d'água são representadas na Figura 20, e mostram valores negativos sobre as 2 subáreas no início do caso, no dia 12 especificamente para BH mostra ocorrência de divergência, e após o dia 12 voltam a apresentar valores negativos no campo o que indica convergência. As imagens da Figura 20 representam bem a nebulosidade mostrada na Figura 8, mostrando que no dia 12 a nebulosidade se encontrava sobre BH e no dia 13, uma nebulosidade localizada sobre a região SP é observada.

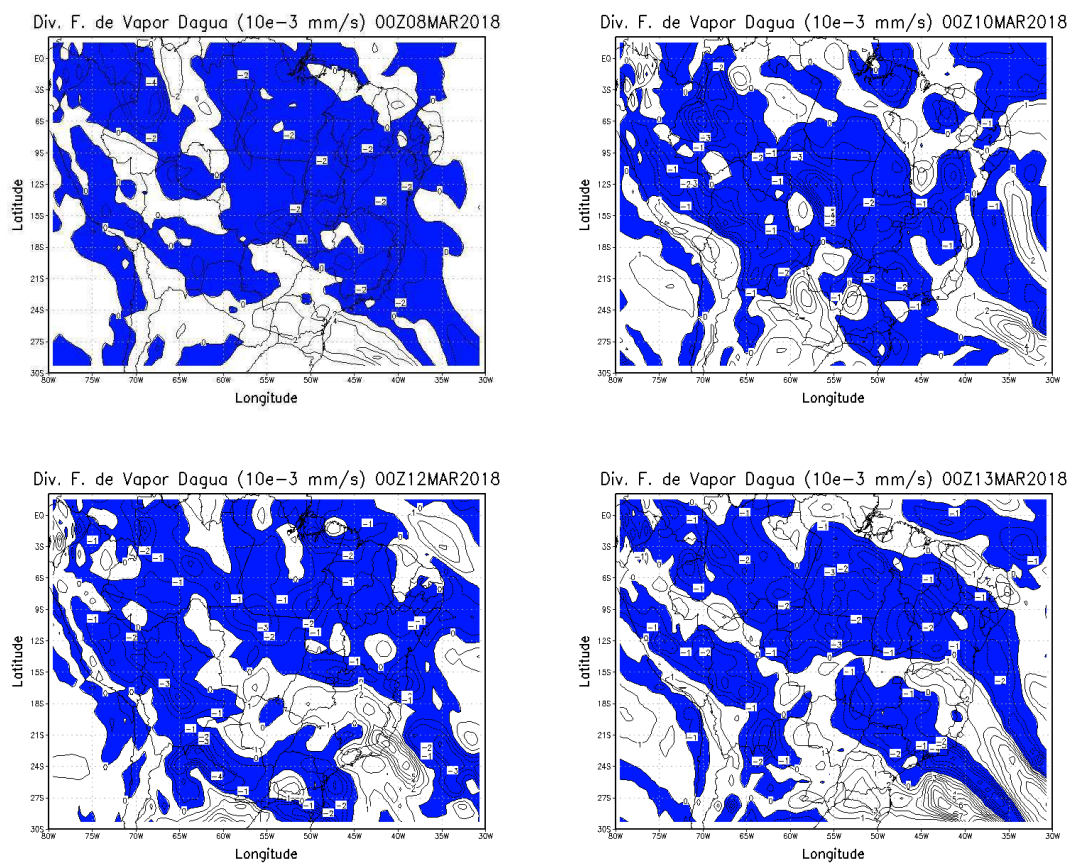


Figura 20: Divergência do fluxo de vapor d'água (10^{-3} mm/s) para o caso 4.

Na Tabela 4, é demonstrado os valores do balanço de vapor d'água para as subáreas de Belo Horizonte e São Paulo em mm/dia, neste caso, percebemos que o valor da resultante de SP é menor que o da subárea BH, porém, no final do caso, os valores negativos são maiores em SP, tal análise demonstra o que foi evidenciado na Figura 20, nos últimos dias do caso, quando a nebulosidade já estava se dissipando, foi observada uma nebulosidade localizada sobre a subárea de SP que chegou apenas a face sul da subárea de BH, sendo assim, é mostrado que BH em média importou vapor d'água pelas faces oeste e sul e exportou pelas faces leste e norte. Igualmente, SP apresentou os mesmos padrões.

Por tanto, a média do período indica que a subárea BH, -5,0 mm/dia, atuou como importadoras de vapor d'água e sendo assim sumidouro, e da mesma maneira, a subárea SP, -0,3 mm/dia, atuou de maneira semelhante, porém com menor intensidade.

Tabela 4: Valores em mm/dia para o caso 4, entre 08/03/2018 e 13/03/2018.

Dia	FS		FL		FN		FO		Resultante	
	BH	SP	BH	SP	BH	SP	BH	SP	BH	SP
8	-10,0	-25,1	4,6	27,8	24,8	18,4	-33,5	-18,7	-14,0	2,3
9	-10,0	-13,1	-4,7	-8,7	8,0	17,0	-0,3	6,3	-7,0	1,5
10	6,5	1,2	-3,2	-5,8	-16,0	-7,8	12,2	6,9	-0,5	-5,5
11	4,3	1,2	25,4	17,6	-23,1	4,4	-22,0	-13,2	-15,5	10,0
12	-22,2	-15,6	35,6	5,9	16,4	24,5	-14,7	-15,1	15,2	-0,3
13	-18,2	-28,7	-1,9	21,6	14,8	16,0	-2,8	-18,6	-8,1	-9,6
Média	-8,3	-13,4	9,3	9,7	4,2	12,1	-10,2	-8,7	-5,0	-0,3

Na Figura 21, é exibido o balanço de vapor d'água para as duas subáreas, como foi demonstrado na Tabela 4, as subáreas se comportaram de maneira semelhante na média, sendo as faces oeste e sul importadoras de vapor d'água e as faces norte e leste exportadoras em ambas.

As duas subáreas nesse caso são reveladas como sumidouro de vapor d'água, mostrando mais uma vez, que o fluxo transportado para a área sai da atmosfera em forma de precipitação sobre a subárea.

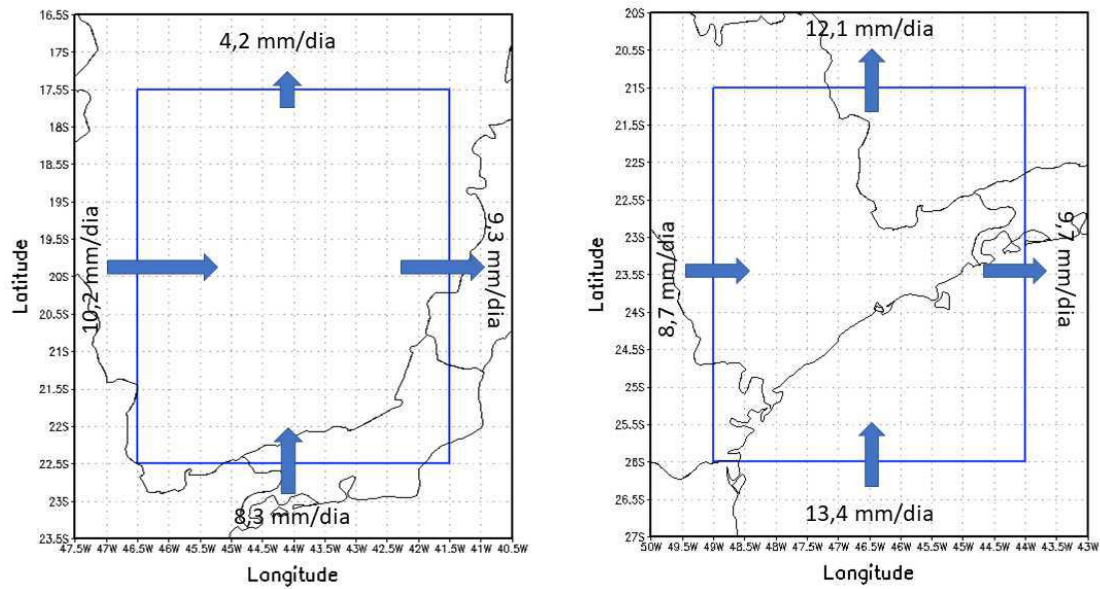


Figura 21: Média do balanço do fluxo de vapor d'água (mm/dia) para o caso 4 a) área Belo Horizonte e b) área São Paulo.

5 - CONCLUSÕES

Através de análise dos casos apresentados nesse trabalho de dissertação, conclui-se que:

- 1- O transporte de vapor d'água da região Amazônica ocorre devido o escoamento básico e a barreira natural a oeste do continente sul-americano.
- 2- A alta da Bolívia é importante para manutenção da zona de convergência sobre o sudeste brasileiro.
- 3- A resultante do balanço do fluxo de vapor d'água é negativa em maioria dos casos estudados, revelando que a umidade transportada da região Amazônica precipita sobre a área.
- 4- As 2 subáreas analisadas nesse estudo, portanto, são consideradas sumidouros de vapor d'água atmosférico, dessa maneira, o transporte de vapor d'água pela América do Sul é importantíssimo para o regime de chuvas nas regiões sudeste e sul do Brasil.
- 5- O caso 4 foi um caso diferente dos outros casos observados no estudo, pois a resultante do balanço foi de sul para norte.

Por fim, conclui-se que o fluxo de vapor d'água durante a ocorrência de ZCAS continua presente, ora mais adentro do continente, ora mais a oeste, dependendo das condições sinóticas predominantes, mas para as quatro situações analisadas nessa dissertação, esse fluxo atuou como fonte de umidade para as subáreas estudadas, ou seja, as subáreas BH e SP foram consideradas sumidouros de vapor d'água da atmosfera, sugerindo que o vapor que entrou na área de estudo pelas faces estudadas precipitou em algum lugar distribuído na área.

6 - Referências Bibliográficas

- ARKIN, P. **Ongoing Analysis of the Climate System: A Workshop Report**, Boulder, Colorado August 18-20, 2003.
- BENTON, G.S; ESTOQUE, M.A. Water-vapor transfer over the North American continent. **J. Meteor.**, 11, 462–477, 1954.
- BERBERY, E.H.; COLLINI E.A. Springtime precipitation and water vapor flux over Southeastern South America. **Monthly Weather Review**, v.128, n.3, p. 1328 – 1346, 2000.
- BLACKADAR, A.K. Boundary layer wind maxima and their significance for the growth of nocturnal inversions. **Bulletin of American Meteorological Society**, v.38, p. 283 - 290, 1957.
- BONNER, W.D.; PEAGLE J. Diurnal variations in boundary layer winds over the south-central United States in summer. **Monthly Weather Review**, v.98, p.735-744, 1970.
- CARVALHO, A. M. G., SILVA DIAS, P.L., NOBRE, C.A: Upper tropospheric vorticity and OLR structure over tropical South America - **Third International Conference in Southern Hemisphere**. Buenos Aires, 1989.
- CARVALHO, D., ROCHA, A., GÓMEZ-GESTEIRA, M., SANTOS, C. S. WRF wind simulation and wind energy production estimates forced by different reanalyses: Comparison with observed data for Portugal. **Applied Energy**, 117, 116–126, 2013.
- CARVALHO, L.M.V., JONES, C; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. **J. Climate**, 15, 2377–2394, 2002.
- CARVALHO, L.M.V., JONES, C; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88–108, 2004.
- CAVALCANTI, E.P. **Teor e transporte de vapor d'água na atmosfera do nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado em recursos naturais) - Centro tecnológico de recursos naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2001.
- CAVALCANTI, E.P; GANDU, A.W; AZEVEDO, P.V. Transporte e Balanço de vapor d'água atmosférico sobre o nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 2, p.207-217, maio 2002.
- CAVALCANTI, I.F.A; MARENGO, J.A; SATYAMURTY, P; NOBRE, C.A; TROSNIKOV, I; BONATTI, J.P; MANZI, A.O; TARASOVA,T; PEZZI, P.P; D'ALMEIDA, C; SAMPAIO, G; CASTRO, C.C; SANCHES, M.B; CAMARGO,H. Global climatological features in a simulation using the CPTEC-COLA AGCM. **Journal of Climate**, v. 15, n. 21, p. 2965-2988, 2002

CEPED/UFSC. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais**, 2ª edição, Florianópolis, CEPED/UFSC, 2013

COUTINHO, M.D.L. **Estudo do balanço de umidade por meio de modelos regionais para o clima do passado e do futuro sobre a América do Sul**. 154f. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

DRUMOND, A; NIETO, R; GIMENO, L.; AMBRIZZI, T. A Lagrangian identification of major sources of moisture over Central Brazil and La Plata Basin, **Journal of Geophysical Research**, 113, D14128, doi:10.1029/2007JD009547, 2008.

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.A. Precipitations Distribution over Central and Western Tropical South America. **CLIMANÁLISE- Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v.5, n.6, p. 36-45, 1990.

GUTMAN, G.; SCHWERDTFEGER, W.S. The role of latent and sensible heat for the development of a high pressure system over the subtropical Andes, in the summer. **Meteorologische Rundschau**, 18(3):1-7,1965.

KODAMA, Y.M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ), Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 70, p. 813–835, 1992.

KODAMA, Y-M. Large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. **J. Meteor. Soc. Japan**, 71, 581-610, 1993.

KOUSKY, V.E.; Gan, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, 36(6):538-551, Dec, 1981.

LEOPOLDO, P.R; FRANKEN, W; MATSUI, E; SALATI, E. Estimativa de evapotranspiração de floresta amazônica de terra firme. **Acta Amazonica**, v. 12, p. 23-28, 1982.

LICCO, E.A., SEO.E. Perigos E Riscos Naturais: Estudo De Caso Do Jardim Pantanal, **InterfacEHS** Vol. 8, No 1 2013

LICCO, E.A.; MAC DOWELL, S.F. Alagamentos, enchentes enchurradas e inundações: Digressões sobre seus impactos sócio economicos e governança. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística Edição Temática em Sustentabilidade**. Vol. 5 nº. 3, 2015.

LIEBMANN, B; MARENGO J.A. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **J. Climate**, 14, 4308–4318, 2001.

MARENGO J.A.. Chartacterisics and spatial-temporal variability of the Amazon River Basin water budget. **Climate Dynamics**, Heidelberg, v. 24, p. 11-22, 2005.

MARENGO, J.A.; SAMPAIO, G; CHOU, S.C. Seasonal rainfall forecasts applications in streamflow generation in the Sao Francisco River Basin in Northeast Brazil: Rainfall corrections for ACGMS for use in hydrological modeling. **Vamos Newsletter**, v. 3, p. 7-11, 2006.

MARENGO, J.A.; SOARES, W.R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. **Journal of Climate**, v. 17, n. 12, p. 2261-2280, 2004.

OLIVEIRA, A.S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção na Amazônia**. 1986. 134f. Dissertação (Mestrado em meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

PALMÉN, E. & SODERMAN, D. Computations of the evaporation from Baltic Sea from the flux of water vapor in the atmosphere. **Geophysica**, p:261-279. 1966

PEIXOTO, J.P. Atmospheric vapor flux computations for hydrological purposes. World Meteorological Organization. Geneve: **WMOIHD**, 1973.83f. (Report, 20)

PEIXOTO, J.P.; OORT, A.H. Physics of climate New York: **American Institute of Physics**, 520f, 1992.

QUADRO, M. F. L.; SILVA DIAS, M. A. F. ; HERDIES, D. L. ; GONCALVES, L. G. G. . Análise Climatológica da Precipitação e do Transporte de Umidade na Região da ZCAS Através da Nova Geração de Reanálises. *Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)*, v. 27, p. 152-162, 2012.

RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. A.; HADA, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**, v.101, n. D21 p.26539-26551, 1996.

RAO, V.B; MARQUES, V.S. Water vapor characteristics over Northeast Brazil during two contrasting years. **J. Clim. Appl. Meteor.**, 23, 440-444. 1984.

RATHOR, H.S.; ARAÚJO, M.A.A.; MELLO, C.C. Atmospheric water vapour flux and its divergence over the drought prone region of tropical Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.3, p.107-113, 1987.

REBOITA, M.S.; KRUSCHE, N ; AMBRIZZI, T ; DA ROCHA, R.P. . Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terrae Didatica (Impresso)**, v. 8, p. 34-50, 2012.

RODRIGUES, H. P. **Zona de convergência do atlântico sul: um estudo observacional e numérico**. dissertação de mestrado em meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, 2012.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.A.; SILVA DIAS, P.L. South America. In: Meteorology of the Southern Hemisphere. Eds. Karoly D. J.; Vicent, D. G. American Meteorological Society, **Meteorological Monographs**, v. 27, n. 49, p. 119-139, 1998.

SILVA DIAS, M.A.F. Sistemas de Mesoescala e Previsão de Tempo à Curto Prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.2, p.133-150, 1987.

SILVA DIAS, M.A.F; VIDALE, P.L; Blanco, C.M.R. Case study and numerical simulation of the summer regional circulation in Sao Paulo, Brazil. **Boundary - Layer Meteorology**, HOLANDA, v. 74, n.4, p. 371-388, 1995.

WU, Y; RAMAN, S. Effect of land-use pattern on the development of low level jet. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v.36, p. 573 – 590, 1997.