



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

ESTUDO DE CASOS DE SISTEMAS FRONTAIS NO BRASIL NO ANO DE 2016

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Jéssica de Cássia Mendes

Itajubá, MG, Brasil

2019

ESTUDO DE CASOS DE SISTEMAS FRONTAIS NO BRASIL NO ANO DE 2016

por

Jéssica de Cássia Mendes

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.

Orientador: Michelle Simões Reboita
Co-Orientador: Manoel Alonso Gan

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

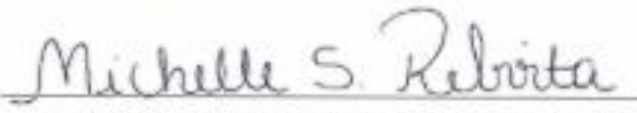
**ESTUDO DE CASO DE SISTEMAS FRONTAIS NO BRASIL
NO ANO DE 2016**

elaborada por

Jéssica de Cássia Mendes

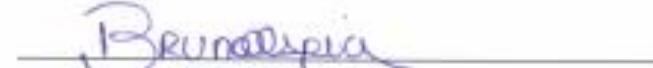
Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas

Comissão Examinadora:


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


Débora Martins de Oliveira, MSc. (IPMET)


Bruna Andreлина Silva, Bel. Met. (UNIFEI)


Bruno César Capucín, Bel. Met. (UNIFEI)

Itajubá, 20 de novembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar concluindo esta etapa em minha vida;

Aos meus pais, Marcelo e Cynthia, obrigada por toda paciência e compreensão ao longo desses anos longe de casa.

À minha professora e orientadora Michelle Simões Reboita, primeiramente pela paciência, otimismo, compreensão pelas minhas falhas ao longo do caminho e por todo incentivo e conhecimento passados a mim durante a graduação;

Aos meus queridíssimos amigos de sala mas em especial a: Débora, Bruna, Lara, Michel e Lorena pela amizade para todos os momentos mas principalmente agora nessa reta final em que estive desanimada e vocês sempre me incentivaram; Cada momento que passamos ao longo desses anos vão pra sempre ficar em minha memória; vocês são a família que eu escolhi levar comigo;

Aos professores do Curso de Ciências Atmosféricas, por todo o conhecimento passado para os alunos e os momentos especiais compartilhados fora da sala de aula também.

Dedico este trabalho à minha família.

“Sucesso significa realizar seus próprios sonhos, cantar sua própria canção, dançar sua própria dança, criar do seu coração e apreciar a jornada, confiando que não importa o que aconteça, tudo ficará bem. Criar sua própria aventura!”

Elana Lindquist

Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar as características sinóticas de 5 sistemas frontais frios que atuaram no Brasil no ano de 2016. Esses sistemas foram escolhidos por apresentarem maior intensidade, duração e propagação no referido ano. Para tanto foram utilizadas imagens de satélite para identificação das nuvens associadas a cada caso, análises do *Global Forecast System* (GFS) e cartas sinóticas de superfície, além da utilização do método de (Rodrigues, 2004) para a comprovação da veracidade de cada caso. Dos sistemas analisados identificou-se que uma frente chegou na Amazônia, outras duas chegaram até o Mato Grosso e duas tiveram ciclones extratropicais associados com maior intensidade, chegando até o Mato Grosso e Amazônia. Pode-se inferir que os cavados em altos níveis têm grande influência na intensificação e duração tanto das frentes quanto dos ciclones, isso se deve à época do ano, pois no ano todo há presença de frentes frias. Além disso, a época do ano e os gradientes horizontais de temperatura também têm influência.

Palavras-chave: frente fria, ciclone e cavado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quantidade de frentes frias em cada mês no ano de 2016.....4

Figura 2 – Cartas de superfície obtidas do CPTEC, no horário sinótico das 12 Z: a) 15/07/2016, b) 16/07/2016, c) 17/07/2016 e d) 18/07/2016. Frentes frias representadas pela linha “cerrada” azul, a frente quente é a linha “cerrada” vermelha e ambas estão conectadas a uma baixa pressão (B), a linha intercalada com frente fria e quente são as frentes estacionárias, as linhas amarelas são as isóbaras (mesma pressão), as linhas azuis e vermelhas tracejadas são a altura geopotencial entre 1000 hPa e 500 hPa, a alta pressão é representado pela letra A e os tracejados amarelos representam os cavados.....6

Figura 3 – Meteograma para o primeiro caso de frente fria, 15/07/2016 até 18/07/2016. Primeiro campo é da pressão (hPa), segundo é da temperatura (°C) e o terceiro é da direção e velocidade do vento (m/s).....7

Figura 4 – Cartas de superfície retiradas do CPTEC, no horário sinótico das 12 Z: a) 28/08/2016, b) 29/08/2016, c) 30/08/2016, d) 31/08/2016 e e) 01/09/2016. Frentes frias representadas pela linha “cerrada” azul, a frente quente é a linha “cerrada” vermelha e ambas estão conectadas a uma baixa pressão (B), a linha intercalada com frente fria e quente são as frentes estacionárias, as linhas amarelas são as isóbaras (mesma pressão), as linhas azuis e vermelhas tracejadas são a altura geopotencial entre 1000 hPa e 500 hPa, a alta pressão é representado pela letra A e os tracejados amarelos representam os cavados.....8

Figura 5 – Meteograma para o segundo caso de frente fria, 28/08/2016 até 01/09/2016. Primeiro campo é da pressão (hPa), segundo é da temperatura (°C) e o terceiro é da direção e velocidade do vento (m/s).....9

Figura 6 – Cartas de superfície retiradas do CPTEC, no horário sinótico das 12 Z: a) 02/09/2016, b) 03/09/2016, c) 04/09/2016, d) 05/09/2016, e) 06/09/2016, f) 07/09/2016 e g) 08/09/2016. Frentes frias representadas pela linha “cerrada” azul, a frente quente

é a linha “cerrada” vermelha e ambas estão conectadas a uma baixa pressão (B), a linha intercalada com frente fria e quente são as frentes estacionárias e as linhas roxas são as oclusas, as linhas amarelas são as isóbaras (mesma pressão), as linhas azuis e vermelhas tracejadas são a altura geopotencial entre 1000 hPa e 500 hPa, a alta pressão é representado pela letra A e os tracejados amarelos representam os cavados.....10

Figura 7 – Meteograma para o terceiro caso de frente fria, 02/09/2016 até 08/09/2016. Primeiro campo é da pressão (hPa), segundo é da temperatura (°C) e o terceiro é da direção e velocidade do vento (m/s).....11

Figura 8 – Cartas de superfície retiradas do CPTEC, no horário sinótico das 12 Z: a) 12/09/2016, b) 13/09/2016, c) 14/09/2016, d) 15/09/2016 e e) 16/09/2016. Frentes frias representadas pela linha “cerrada” azul, a frente quente é a linha “cerrada” vermelha e ambas estão conectadas a uma baixa pressão (B), a linha intercalada com frente fria e quente são as frentes estacionárias e as linhas roxas são as oclusas, as linhas amarelas são as isóbaras (mesma pressão), as linhas azuis e vermelhas tracejadas são a altura geopotencial entre 1000 hPa e 500 hPa, a alta pressão é representado pela letra A e os tracejados amarelos representam os cavados.....12

Figura 9 – Meteograma para o quarto caso de frente fria acoplado a um ciclone, 12/09/2016 até 16/09/2016. Primeiro campo é da pressão (hPa), segundo é da temperatura (°C) e o terceiro é da direção e velocidade do vento (m/s).....13

Figura 10 – Cartas de superfície retiradas do CPTEC, no horário sinótico das 12 Z: a) 25/10/2016, b) 26/10/2016, c) 27/10/2016, d) 28/10/2016, e) 29/10/2016 e f) 30/10/2016. Frentes frias representadas pela linha “cerrada” azul, a frente quente é a linha “cerrada” vermelha e ambas estão conectadas a uma baixa pressão (B), a linha intercalada com frente fria e quente são as frentes estacionárias e as linhas roxas são as oclusas, as linhas amarelas são as isóbaras (mesma pressão), as linhas azuis e vermelhas tracejadas são a altura geopotencial entre 1000 hPa e 500 hPa, a alta

pressão é representado pela letra A e os tracejados amarelos representam os cavados.....14

Figura 11 – Meteograma para o quinto caso de frente fria acoplado a um ciclone, 25/10/2016 até 30/10/2016. Primeiro campo é da pressão (hPa), segundo é da temperatura (°C) e o terceiro é da direção e velocidade do vento (m/s).....15

Figura 12 – Gradiente horizontal de temperatura do ar em 1000 hPa (°C/km) em cores e vento em 1000 hPa (m/s) para os primeiros dois dias do primeiro caso, a) 15/07/2016 e b) 16/07/2016, ambos as 12Z.....16

Figura 13 – Gradiente horizontal de temperatura do ar em 1000 hPa (°C/km) em cores e vento em 1000 hPa (m/s) para o último dia do segundo caso, a) 01/09/2016 as 12Z.....17

Figura 14 – Gradiente horizontal de temperatura do ar em 1000 hPa (°C/km) em cores e vento em 1000 hPa (m/s) para o primeiro e penúltimo dia do terceiro caso, a) 02/09/2016 e b) 07/09/2016 as 12Z.....17

Figura 15 – Gradiente horizontal de temperatura do ar em 1000 hPa (°C/km) em cores e vento em 1000 hPa (m/s) para todos os dias do quarto caso, a) 12/09/2016, b) 13/09/2016, c) 14/09/2016, d) 15/09/2016 e e) 16/09/2016 as 12 Z.....18

Figura 16 – Gradiente horizontal de temperatura do ar em 1000 hPa (°C/km) em cores e vento em 1000 hPa (m/s) para todos os dias do quinto caso, a) 25/10/2016, b) 26/10/2016, c) 27/10/2016, d) 28/10/2016, e) 29/10/2016 e f) 30/10/2016 as 12 Z.....19

Figura 17 – Temperatura de brilho (K; canal infravermelho do satélite Gridsat-B1) as 12 Z, do primeiro caso. a) 15/07/2016, b) 16/07/2016, c) 17/07/2016 e d) 18/07/2016.....20

Figura 18 – Temperatura de brilho (K; canal infravermelho do satélite Gridsat-B1) as 12 Z, do segundo caso. a) 28/08/2016, b) 29/08/2016, c) 30/08/2016, d) 31/08/2016 e e) 01/09/2016.....**21**

Figura 19 – Temperatura de brilho (K; canal infravermelho do satélite Gridsat-B1) as 12 Z, do terceiro caso. a) 02/09/2016, b) 03/09/2016, c) 04/09/2016, d) 05/09/2016, e) 06/09/2016, f) 07/09/2016 e g) 08/09/2016.....**22**

Figura 20 – Temperatura de brilho (K; canal infravermelho do satélite Gridsat-B1) as 12 Z, do quarto caso. a) 12/09/2016, b) 13/09/2016, c) 14/09/2016, d) 15/09/2016 e e) 16/09/2016.....**23**

Figura 21 – Temperatura de brilho (K; canal infravermelho do satélite Gridsat-B1) as 12 Z, do quinto caso. a) 25/10/2016, b) 26/10/2016, c) 27/10/2016, d) 28/10/2016, e) 29/10/2016 e f) 30/10/2016.....**24**

Figura 22 – Temperatura (°C) e geopotencial (500 hPa) as 12 Z: a) 15/07/2016 e b) 16/07/2016. Vento e pressão(hPa) as 12 Z: c) 15/07/2016 e d) 16/07/2016. Linhas de corrente em 300 hPa as 12 Z: e) 15/07/2016 e f) 16/07/2016.....**25**

Figura 23 – Temperatura (°C) e geopotencial (500 hPa) as 12 Z: a) 28/08/2016, b) 29/08/2016 e c) 01/09/2016. Vento e pressão(hPa) as 12 Z: d) 28/08/2016, e) 29/08/2016, f) 30/08/2016 e g) 01/09/2016. Linhas de corrente em 300 hPa as 12Z: h) 28/08/2016, i) 29/08/2016, j) 30/08/2016 e k) 01/09/2016.....**26**

Figura 24 – Temperatura (°C) e geopotencial (500 hPa) as 12 Z: a) 02/09/2016, b) 03/09/2016, c) 04/09/2016, d) 05/09/2016, e) 06/09/2016 e f) 07/09/2016. Vento e pressão(hPa) as 12 Z: g) 02/09/2016, h) 03/09/2016, i) 04/09/2016, j) 05/09/2016, k) 06/09/2016 e l) 07/09/2016. Linhas de corrente em 300 hPa as 12 Z: m) 02/09/2016, n) 03/09/2016, o) 04/09/2016, p) 05/09/2016, q) 06/09/2016 e r) 07/09/2016.....**27**

Figura 25 – Temperatura (°C) e geopotencial (500 hPa) as 12 Z: a) 12/09/2016, b) 13/09/2016, c) 14/09/2016, d) 15/09/2016 e e) 16/09/2016. Vento e pressão(hPa) as

12Z: f) 12/09/2016, g) 13/09/2016, h) 14/09/2016, i) 15/09/2016 e j) 16/09/2016. Linhas de corrente em 300 hPa as 12 Z: k) 12/09/2016, l) 13/09/2016, m) 14/09/2016, n) 15/09/2016 e o) 16/09/2016.....**30**

Figura 26 – Temperatura (°C) e geopotencial (500 hPa) as 12 Z: a) 25/10/2016, b) 26/10/2016, c) 27/10/2016, d) 28/10/2016, e) 29/10/2016 e f) 30/10/2016. Vento e pressão(hPa) as 12 Z: g) 25/10/2016, h) 26/10/2016, i) 27/10/2016, j) 28/10/2016, k) 29/10/2016 e l) 30/10/2016. Linhas de corrente em 300 hPa as 12 Z: m) 25/10/2016, n) 26/10/2016, o) 27/10/2016, p) 28/10/2016, q) 29/10/2016 e r) 30/10/2016.....**32**

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Datas de início de cada caso, local em que atingiu o Brasil primeiro, duração e máximo deslocamento no continente (local).....	5
--	----------

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Ac - Altocumulus

As - Altostratus

Cb – Cumulonimbus

Ci - Cirrus

Cs - Cirrostratus

Cu - Cumulus

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

GFS - *Global Forecast System*

GrADS - *Grid Analysis and Display System*

GridSat - *Gridded Satellite*

ZCOU - Zona de Convergência de Umidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	2
2.1. DADOS.....	2
2.2. IDENTIFICAÇÃO DAS FRENTES FRIAS.....	3
2.3. CASOS SELECIONADOS	3
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	4
3.1. CARTAS DE SUPERFÍCIE E METEOGRAMAS	5
3.2. GRADIENTE HORIZONTAL DE TEMPERATURA	15
3.3. IMAGENS DE SATÉLITE.....	19
3.4. ANÁLISE SINÓTICA	24
4. CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas frontais correspondem a regiões de intensos gradientes horizontais de temperatura do ar. Esses sistemas podem ser classificados em frentes frias, quentes, estacionárias e oclusas (PALMÉN; NEWTON, 1969). Por serem um fenômeno que atinge o Brasil com frequência, é de suma importância seu estudo e análise para maior compreensão.

Frentes frias ocorrem quando uma massa de ar polar proveniente de latitudes altas, se desloca em direção a uma região com ar mais quente. O encontro dessas duas massas faz com que o ar frio ocupe a área do ar quente, uma vez que o ar quente é menos denso. Esse tipo de frente ocorre durante o ano todo, mas na costa do Brasil com frequência maior no inverno (CARDOZO et. al., 2015, ESCOBAR et. al., 2019). Uma frente quente ocorre devido ao recuo da massa de ar mais fria, o que permite o avanço do ar quente (MENDONÇA, F., 2017, DANNI-OLIVEIRA, I. M., 2017). No caso de uma frente oclusa, a massa de ar frio alcança a região do ar quente e passa a ocupá-la. Nesse estágio, às vezes o ar da região quente pode até ser mais frio do que daquele do setor frio, a isso se dá o nome de oclusão quente; do contrário é oclusão fria. Por fim, a frente estacionária ocorre quando uma frente se encontra cercada por regiões de alta pressão e as massas de ar cessam seu movimento, ou seja, não há avanço nem da massa polar (ar frio) e nem da massa de ar mais quente (BLUESTEIN, H. B., 1992).

As regiões frontogenéticas no Hemisfério Sul estão compreendidas, principalmente, entre as latitudes de 40°S a 60°S durante o verão; mas durante o inverno desloca-se para norte (30°S a 50°S) (SATYAMURTY e MATTOS, 1989; OLIVEIRA, A.S., 1986).

Uma onda frontal (ciclone extratropical) é caracterizada por um sistema de baixa pressão, frente quente e frente fria. Na retaguarda da frente fria localiza-se o anticiclone pós-frontal que acompanha o deslocamento da frente. Portanto, a passagem de frentes frias pode causar geada e até mesmo um evento de friagem, quando essa frente atinge latitudes muito menores como na região da Amazônia (DE OLIVEIRA et. al., 2004; REBOITA et. al., 2017). A friagem acarreta em uma mudança rápida nas condições de tempo da região da Amazônia, como a queda da temperatura do ar e a umidade também, afetando as características ambientais locais, essas

mudanças causam uma demora de 5 a 6 dias para as condições locais voltarem ao normal (DE OLIVEIRA et. al., 2004; MARENGO et. al., 1997).

Com relação ao tempo associado com uma frente fria tem-se que durante a passagem de uma frente fria a temperatura decresce, há nebulosidade e muitas vezes chuva, a pressão atmosférica diminui e depois aumenta e a direção do vento começa a rotacionar de quadrante norte para sul no Hemisfério Sul (BLUESTEIN, H. B., 1992).

As frentes frias apresentam uma trajetória típica de sudoeste para nordeste e quando o centro de baixa pressão, associados a essas frentes, chegam no Atlântico Sul, ocorre uma tendência de movimento na direção leste-sudeste. As frentes frias que ultrapassam latitude de 35°S podem adquirir uma trajetória mais meridional, em direção ao Equador, enquanto que sistemas que atravessam a costa leste da América do Sul em latitudes ao sul de 40°S, apresentam uma trajetória predominantemente zonal (RODRIGUES, et al., 2004).

A fim de contribuir com o conhecimento sinótico dos sistemas frontais frios no Brasil, esse estudo tem como objetivo identificar os sistemas frontais frios que atuaram no Brasil no ano de 2016 e realizar um estudo de caso para 5 eventos, que tiveram maior intensidade, duração e propagação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Dados

Obtiveram-se dados dos horários sinóticos 00 Z, 06 Z, 12 Z e 18 Z do ano de 2016 do modelo *Global Forecast System* (GFS, site ftp://nomads.ncdc.noaa.gov/GFS/analysis_only). As variáveis obtidas foram: temperatura do ar em 925 hPa, pressão reduzida ao nível do mar (1000 hPa), componentes zonal e meridional do vento em 1000 e 300 hPa e altura geopotencial em 500 hPa. As imagens de satélite (GOES 13 no canal do visível e infravermelho) foram obtidas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos- CPTEC (www.cptec.inpe.br) para auxiliar na classificação das nuvens e além delas, foram plotadas as imagens de satélite no canal do infravermelho (IR), com os dados geoestacionários fornecidos pelo *Gridded Satellite* (GridSat-B1). O canal do infravermelho mostra a temperatura na superfície e no topo das nuvens; com isso, obtêm-se a informação se uma nuvem é fria ou quente, pois se o topo dela for frio chegará pouca radiação no satélite e cores mais brancas serão identificadas, já no

caso de nuvens baixas, elas são mais quentes e aparecem mais escuras nas imagens de satélite (MENDONÇA, 2017). Além do canal IR o canal do visível foi analisado, ele gera imagens que possibilitam ver as nuvens que têm um desenvolvimento vertical maior (baixos e médios níveis), pois refletem mais luz solar (MENDONÇA, 2017). Também foram utilizadas cartas de superfície elaboradas pelo CPTEC.

2.2. Identificação das Frentes Frias

Para a identificação das frentes, foi utilizado primeiramente as cartas de superfície do CPTEC e as imagens de satélite (GOES 13- canal visível e infravermelho). Após sua identificação sobre o Brasil, sua evolução temporal era estudada. Foram identificados 60 casos, pelas cartas sinóticas de superfície, com predomínio no Brasil no ano de 2016 e desses, apenas 5 foram escolhidas para aprofundar os estudos.

A partir dos dados descritos anteriormente foram construídos mapas a cada horário sinótico das variáveis: pressão atmosférica (1000 hPa), vento (1000 hPa), gradiente de temperatura (925 hPa), altura geopotencial (500 hPa) e linhas de corrente (300 hPa). Um meteograma para cada caso em cada localidade, Caxias do Sul- RS, Dourados-MS, Erechim-RS, Jaguarão-MS, por terem sido uma das primeiras cidades a sofrerem as consequências da passagem de uma frente fria e o último meteograma foi gerado para a cidade de Ipixuna-AM, a fim de ver as consequências de uma friagem (tabela 1) também foi gerado, mostrando antes, durante e depois da passagem da frente, as condições de tempo (temperatura, pressão e a rotação da direção do vento). Uma análise dos tipos de nuvens associadas a cada caso também foi feita, assim como uma análise sinótica.

O critério utilizado para comprovar que havia uma frente fria nas regiões escolhidas, além das cartas e das imagens de satélite (GOES 16- visível e infravermelho) foi (RODRIGUES, et al., 2004):

- Mudança no quadrante do vento de norte para sul.
- Queda de 0,5° na temperatura do ar logo após o giro do vento ou até dois dias depois.
- Aumento na pressão ao nível médio do mar.

2.3. Casos Selecionados

De posse dos 60 casos, escolheram-se 5 eventos que se destacaram em relação aos demais em termos de maior gradiente horizontal de pressão e por serem os que

tiveram maior deslocamento. Com isso, após selecionar 5 casos que totalizaram 21 dias de atuação sobre o país, sendo 2 casos de frente fria que chegaram até o Estado de Mato Grosso e um que chegou até a Amazônia, caracterizando um evento de friagem e 2 casos em que os ciclones associados foram intensos e com mais de dois dias de duração, sendo que em um caso a frente fria associada ao ciclone teve uma propagação até o Paraguai e o outro caso até o Acre.

Para aprofundar o estudo desses 5 casos, também foram elaborados campos de linhas de corrente em 300 hPa e em 850 hPa, plotagem do vento e da temperatura em baixos níveis na região em que se situavam os ciclones. Por fim, na última etapa foram geradas figuras das séries temporais nas cidades escolhidas dos meses dos casos escolhidos (julho, agosto, setembro e outubro) para analisar a evolução temporal da pressão, do vento e da temperatura, antes, durante e após a passagem dos sistemas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As frentes ocorreram bem distribuídas ao longo de 2016, com apenas um ligeiro aumento na primavera, em média ocorreram de 3 a 4 frentes por mês com um intervalo de até 7 dias entre elas (figura 1).

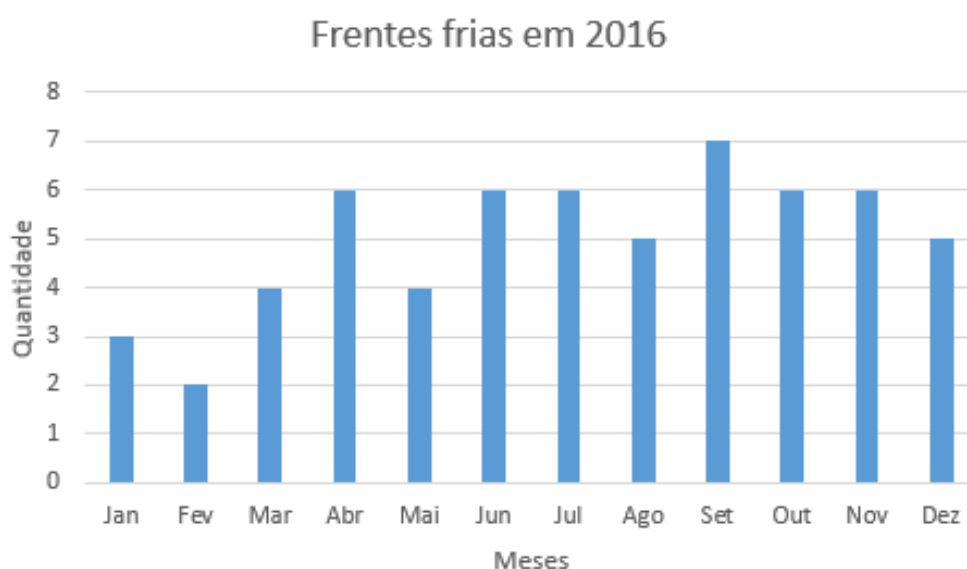


Figura 1: Quantidade de frentes frias em cada mês no ano de 2016.

Foram escolhidas cidades para uma análise da influência frontal e essas foram escolhidas por estarem no começo da passagem da frente sobre o país. A média de duração dessas frentes foi de 4 dias no Brasil (tabela 1).

Tabela 1: Datas de início de cada caso, local em que atingiu o Brasil primeiro, duração e máximo deslocamento no continente (local).

Início	Local	Duração	Máximo Deslocamento(local)
15/07/2016	Caxias do Sul-RS	4 dias	Feijó-AC
29/08/2016	Dourados-MS	3 dias	Sorriso-MT
03/09/2016	Erechim-RS	6 dias	Peixoto de Azevedo-MT
13/09/2016	Jaguarão-RS	4 dias	Rio de Janeiro-RJ
26/10/2016	Alegrete-RS	4 dias	Ipixuna-AM

3.1. Cartas de Superfície e Meteogramas

As figuras 2, 4, 6, 8 e 10 mostram a evolução das frentes frias no Brasil através das cartas de superfície, obtidas do CPTEC e as figuras 3, 5, 7, 9 e 11 mostram os meteogramas construídos para as 5 cidades escolhidas (tabela 1) com dados do GFS. Nessa sessão os parâmetros de (RODRIGUES, et.al., 2004) foram utilizados para análise dos meteogramas.

A figura 2-a apresenta o caso da frente fria do dia 15/07/2016, que foi visto pela primeira vez no Brasil às 06 Z. A frente fria está associada a uma baixa pressão localizada no oceano Atlântico próximo à costa do sul do Brasil, este sistema atingiu o Rio Grande do Sul ocasionando a queda da temperatura, o aumento da pressão antes da passagem da frente e a rotação do vento de quadrante norte para sul, também mostrado no meteograma (figura 3). Além disso, o deslocamento da frente é visto nos dias seguintes, mostrando que ela chegou até o Acre (figura 2- c) e depois se tornou estacionária (figura 2- d).

Na figura 2- b, a frente avançou para Santa Catarina e Paraná, além disso ela se torna uma frente estacionária ocupando uma grande extensão territorial; também é possível notar a presença de uma cavado em latitudes mais altas, este cavado foi analisado na carta de médios níveis (figuras não mostradas) e foi comprovado que ele deu suporte para a frente, contribuindo com advecção fria, para que a frente voltasse a ser fria e se locomovesse novamente no Brasil (figura 2- c).

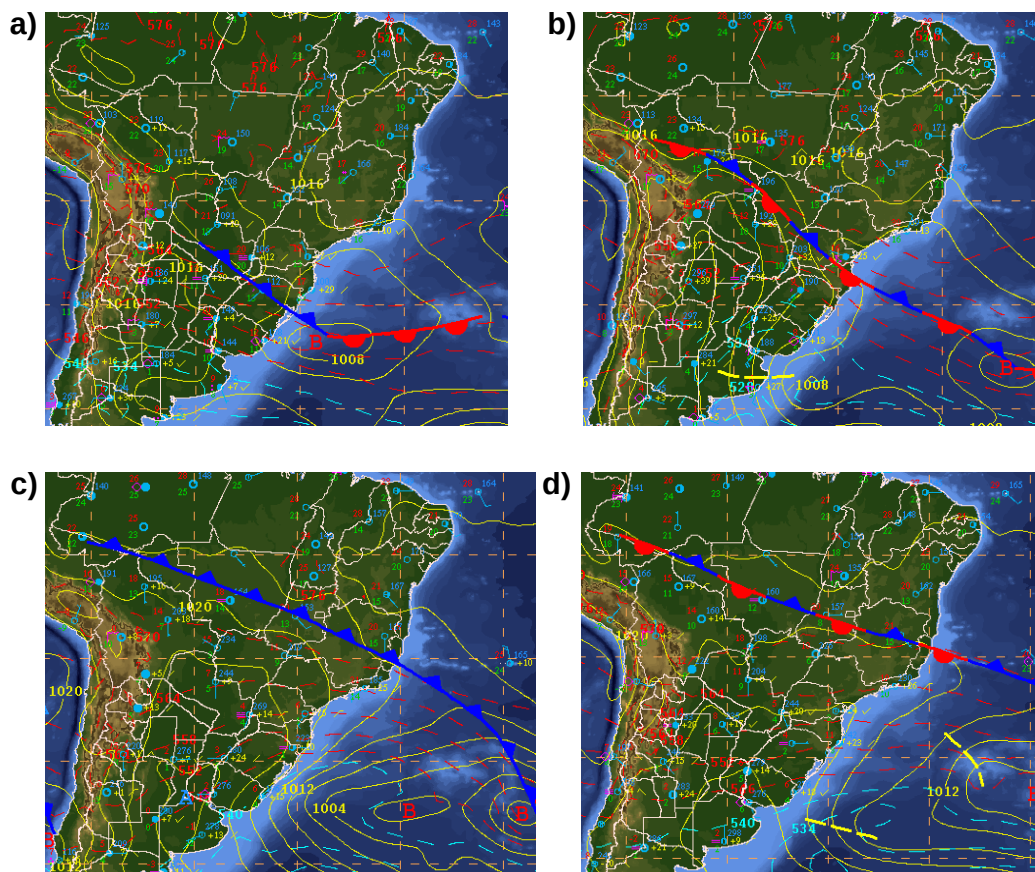


Figura 2: Cartas de superfície obtidas do CPTEC, no horário sinótico das 12 Z: a) 15/07/2016, b) 16/07/2016, c) 17/07/2016 e d) 18/07/2016. Frentes frias representadas pela linha “cerrada” azul, a frente quente é a linha “cerrada” vermelha e ambas estão conectadas a uma baixa pressão (B), a linha intercalada com frente fria e quente são as frentes estacionárias, as linhas amarelas são as isóbaras (mesma pressão), as linhas azuis e vermelhas tracejadas são a altura geopotencial entre 1000 hPa e 500 hPa, a alta pressão é representado pela letra A e os tracejados amarelos representam os cavados.

Com os dados obtidos do GFS, o meteograma (figura 3) gerado para a latitude 29°S e longitude 51°O mostra a rotação do vento no momento da passagem da frente em Caxias do Sul-RS a diminuição da temperatura assim como o ligeiro aumento da pressão. O local escolhido para a plotagem desse meteograma foi Caxias do Sul-RS, por ter sido um dos primeiros locais atingidos pelas consequências da frente no Brasil.

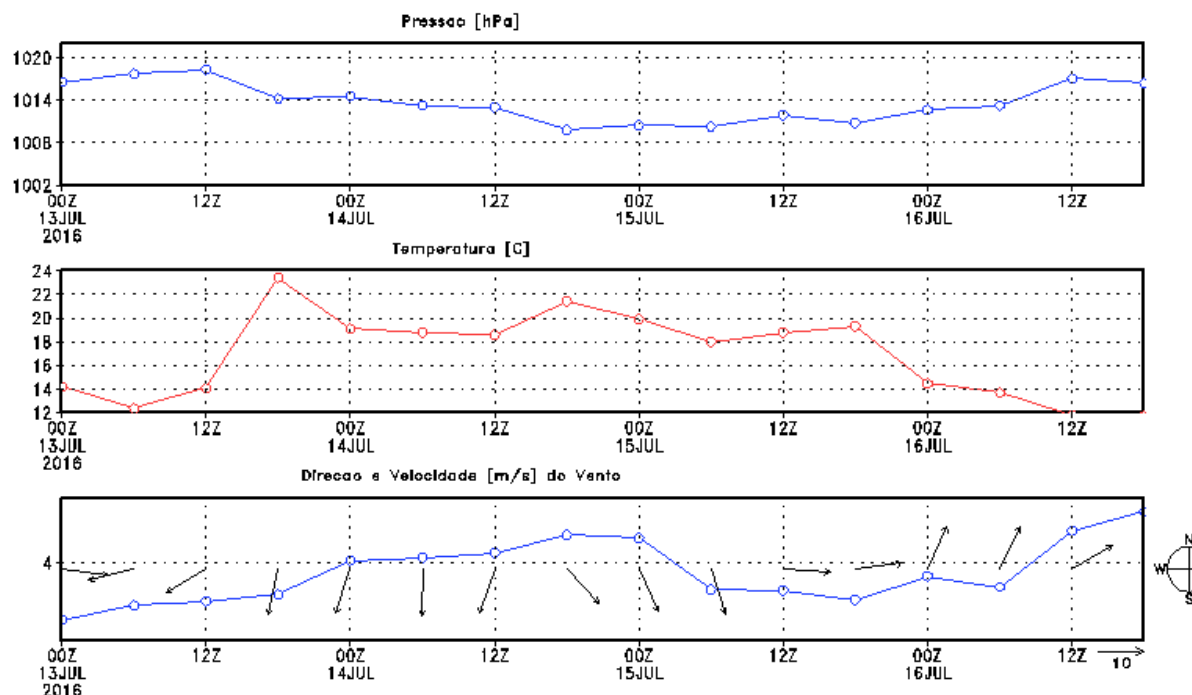


Figura 3: Meteograma para o primeiro caso de frente fria, 15/07/2016 até 18/07/2016. Primeiro campo é da pressão (hPa), segundo é da temperatura (°C) e o terceiro é da direção e velocidade do vento (m/s).

O próximo caso a frente começa estacionária, teve início e atingiu o Brasil no dia 28/08/2016 às 12 Z (figura 4- a). No dia 29/08/2016 às 12 Z ela evolui para uma onda frontal com centro de baixa pressão localizado na divisa da Argentina com o sul do Brasil (figura 4 - b). Esse sistema consegue chegar ao Acre e também há o deslocamento da baixa para o oceano Atlântico. Com o deslocamento para o oceano Atlântico, o sistema enfraqueceu e perdeu sua configuração de frente (figura 4 –d,e).

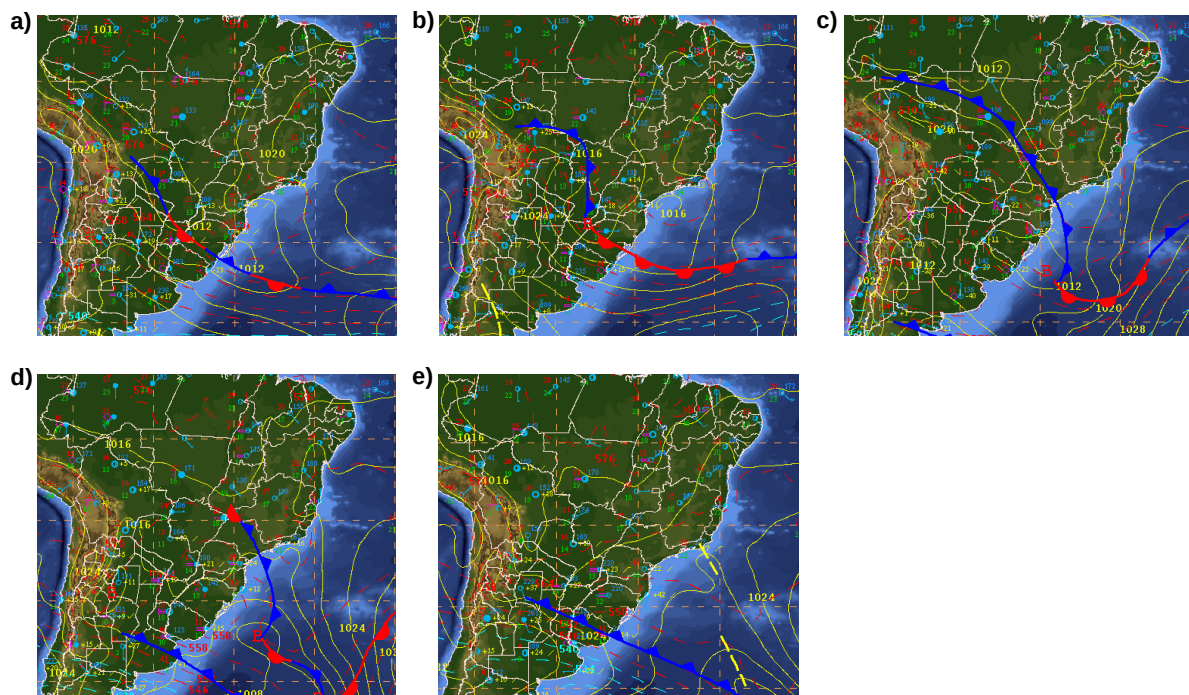


Figura 4: cartas de superfície retiradas do cptec, no horário sinótico das 12z: a) 28/08/2016, b) 29/08/2016, c) 30/08/2016, d) 31/08/2016 e e) 01/09/2016. Frentes frias representadas pela linha “cerrada” azul, a frente quente é a linha “cerrada” vermelha e ambas estão conectadas a uma baixa pressão (b), a linha intercalada com frente fria e quente são as frentes estacionárias, as linhas amarelas são as isóbaras (mesma pressão), as linhas azuis e vermelhas tracejadas são a altura geopotencial entre 1000 hpa e 500 hpa, a alta pressão é representado pela letra a e os tracejados amarelos representam os cavados.

Apesar da falta de dados para a plotagem do segundo meteograma (figura 5), devido ao local escolhido para análise, pode-se apenas inferir as características da passagem da frente devido à tendência das variáveis dos gráficos, pois o meteograma não apresentou informações relevantes. O local escolhido para análise e plotagem deste meteograma foi Dourados-MS (22°S e 48°O) por ter sido uma das primeiras cidades brasileira a ser atingida pela frente fria do dia 28/08/2016.

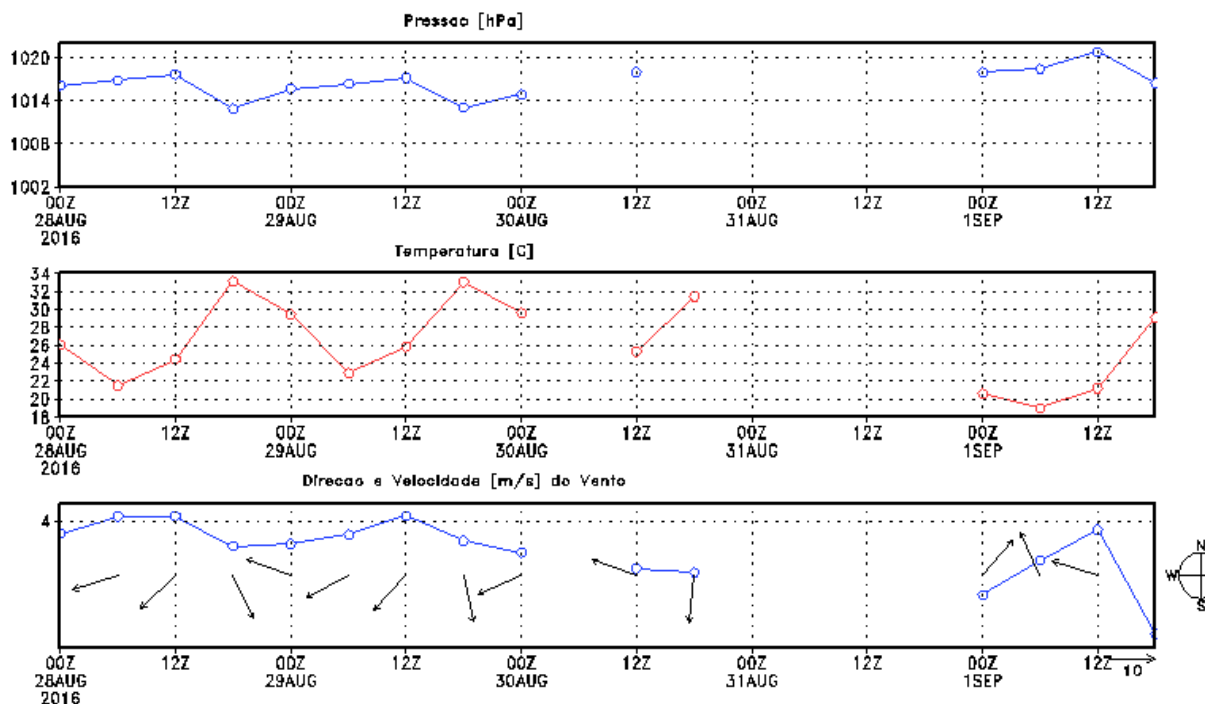


Figura 5: Meteograma para o segundo caso de frente fria, 28/08/2016 até 01/09/2016. Primeiro campo é da pressão (hPa), segundo é da temperatura (°C) e o terceiro é da direção e velocidade do vento (m/s).

No caso do sistema frontal que atingiu o Brasil no dia 02/09/2016 às 12 Z (figura 6- a), essa começou como frente estacionária no sul e tornou-se uma onda frontal no dia 03/09/2016 às 12 Z com centro de baixa pressão no sul do Brasil. Esse sistema chegou ao Estado do Amazonas (figura 6 - d), ocasionando queda de temperatura e sendo o fenômeno chamado de friagem. Como a frente volta a ganhar características de frente fria porém em latitudes um pouco maiores que as anteriores (figura 6- e), foram utilizadas as cartas em médios níveis novamente para saber o que estava dando suporte para que ela se fortalecesse e continuasse por mais alguns dias sobre o Brasil, e havia um suporte de umidade (figura 6- e, f). E por fim, ela se desloca para o oceano Atlântico e deixa de atuar sobre o Brasil (figura 6- g).

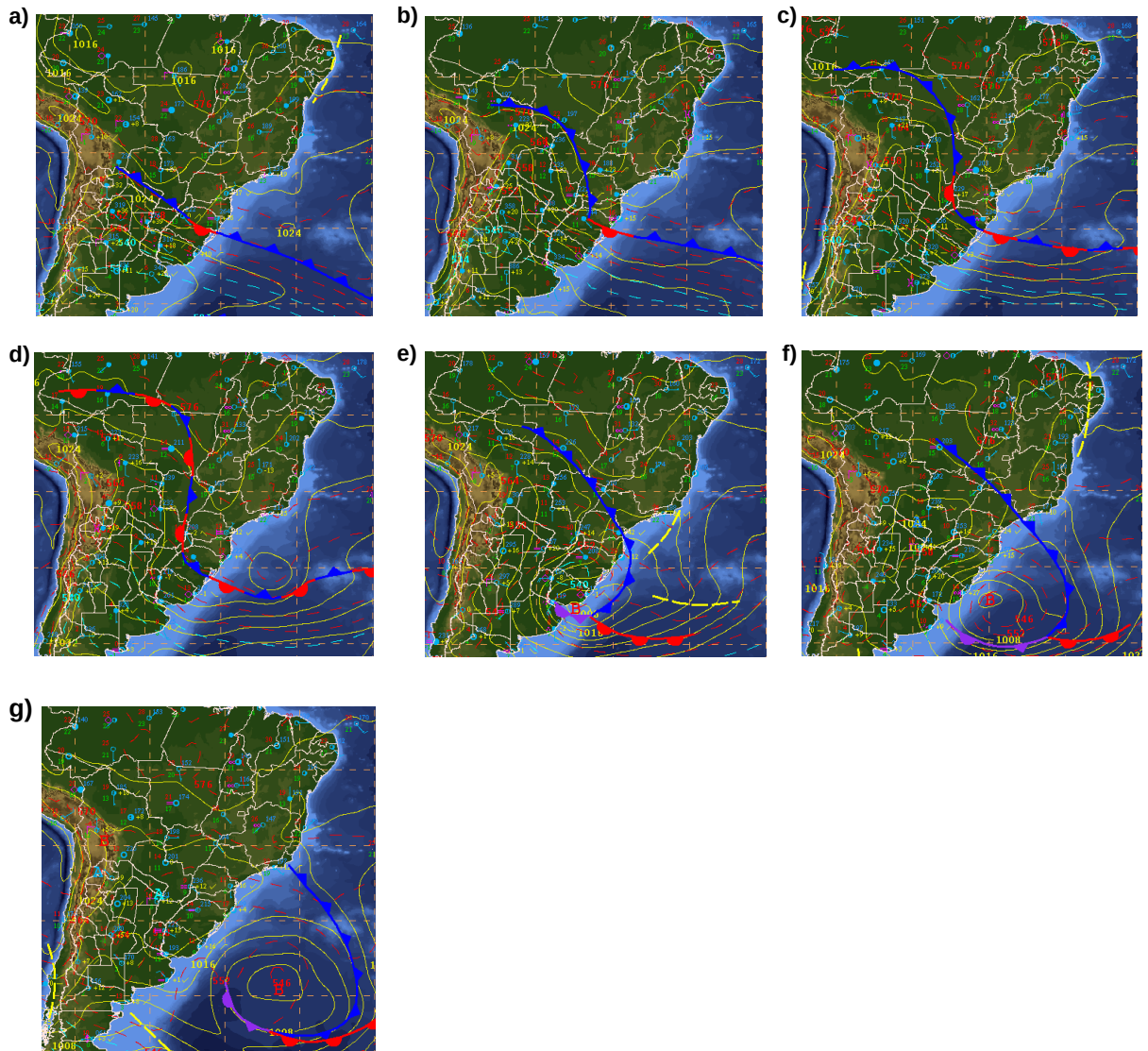


Figura 6: Cartas de superfície retiradas do CPTEC, no horário sinótico das 12 Z: a) 02/09/2016, b) 03/09/2016, c) 04/09/2016, d) 05/09/2016, e) 06/09/2016, f) 07/09/2016 e g) 08/09/2016. Frentes frias representadas pela linha “cerrada” azul, a frente quente é a linha “cerrada” vermelha e ambas estão conectadas a uma baixa pressão (B), a linha intercalada com frente fria e quente são as frentes estacionárias e as linhas roxas são as oclusas, as linhas amarelas são as isóbaras (mesma pressão), as linhas azuis e vermelhas tracejadas são a altura geopotencial entre 1000 hPa e 500 hPa, a alta pressão é representado pela letra A e os tracejados amarelos representam os cavados.

O meteograma para este caso (figura 7) foi elaborado para Erechim-RS (27°S e 52°O), onde é observado que até o dia 05/09/2016, ainda não há sinal dos padrões atmosféricos para a chegada de uma frente pois apenas no dia 05/09/2016 as 18 Z que a frente fria chega em Erechim, o que é visto com a diminuição da pressão, bem como o aumento da temperatura e logo que ocorre a rotação do vento, temos a queda da temperatura.

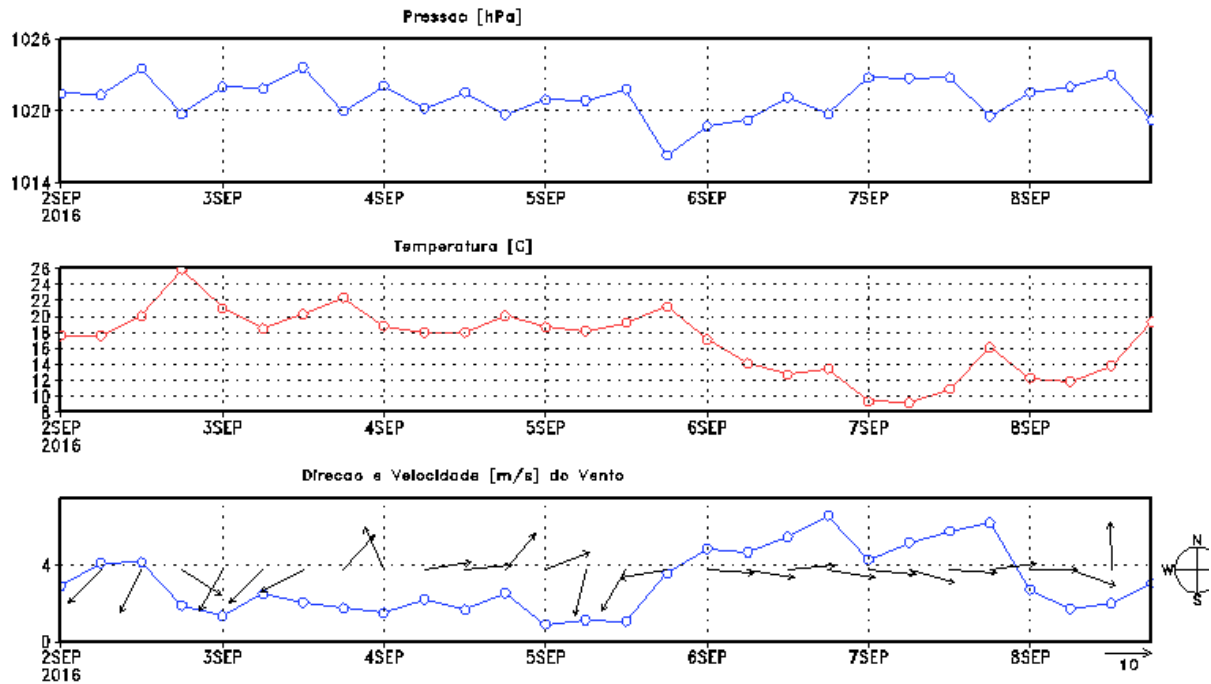


Figura 7: Meteograma para o terceiro caso de frente fria, 02/09/2016 até 08/09/2016. Primeiro campo é da pressão (hPa), segundo é da temperatura (°C) e o terceiro é da direção e velocidade do vento (m/s).

Na frente do dia 12/09/2016 as 12 Z o sistema tem início como um cavado (figura 8- a) que posteriormente evolui para uma onda frontal (figura 8- b), com seu centro de baixa pressão localizado no oceano Atlântico, a sul da costa do Uruguai. O sistema frontal chega na Bolívia e cruza o Mato Grosso do Sul (figura 8- c). Depois com o deslocamento do seu centro para leste do oceano Atlântico e a chegada de uma alta pressão, o sistema deixa de ter influência sobre o Brasil (figura 8- d, e).

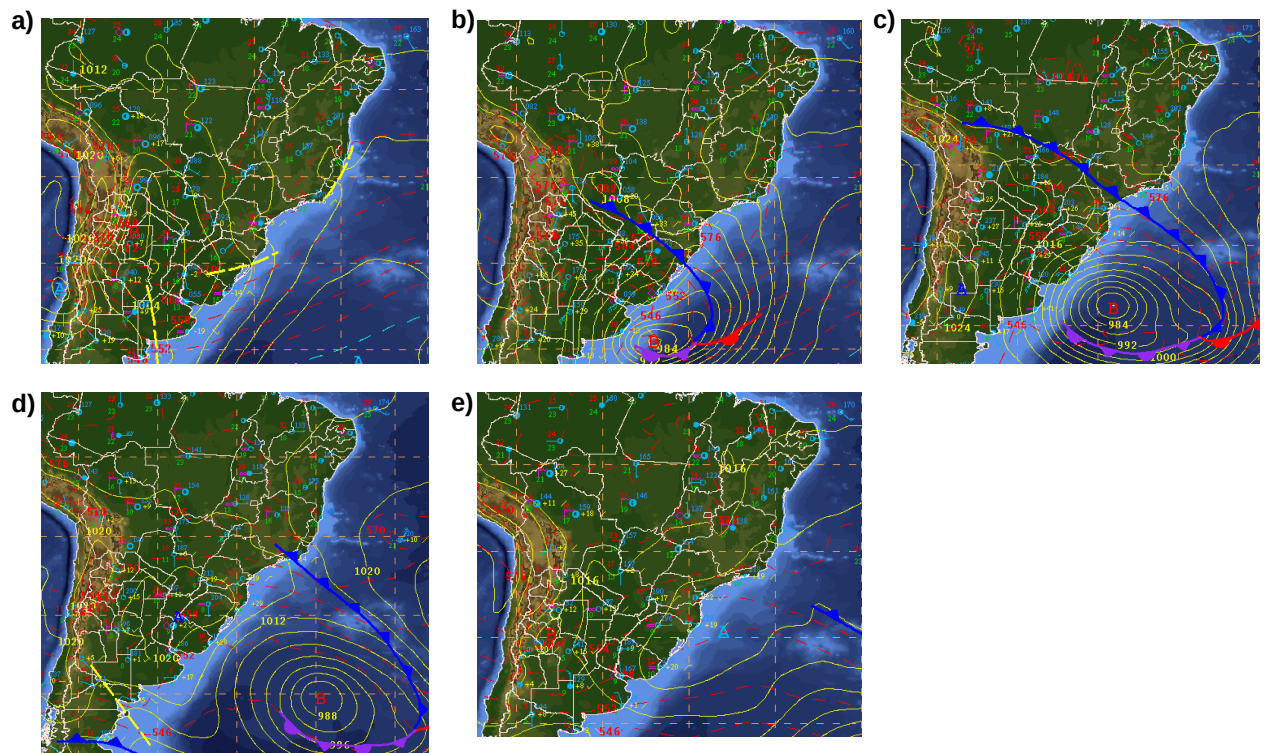


Figura 8: Cartas de superfície retiradas do CPTEC, no horário sinótico das 12 Z: a) 12/09/2016, b) 13/09/2016, c) 14/09/2016, d) 15/09/2016 e e) 16/09/2016. Frentes frias representadas pela linha “cerrada” azul, a frente quente é a linha “cerrada” vermelha e ambas estão conectadas a uma baixa pressão (B), a linha intercalada com frente fria e quente são as frentes estacionárias e as linhas roxas são as oclusas, as linhas amarelas são as isóbaras (mesma pressão), as linhas azuis e vermelhas tracejadas são a altura geopotencial entre 1000 hPa e 500 hPa, a alta pressão é representado pela letra A e os tracejados amarelos representam os cavados.

O meteograma para a cidade de Jaguarão-RS (32°C e 53°O) mostra uma queda brusca de quase 7°C no dia em que a frente chega (13/09/2016 as 12 Z) nessa cidade, assim como o começo da rotação do vento e o ligeiro aumento da pressão. Antes da sua chegada a queda na pressão e o aumento da temperatura são vistos também (13/09/2016 as 00 Z).

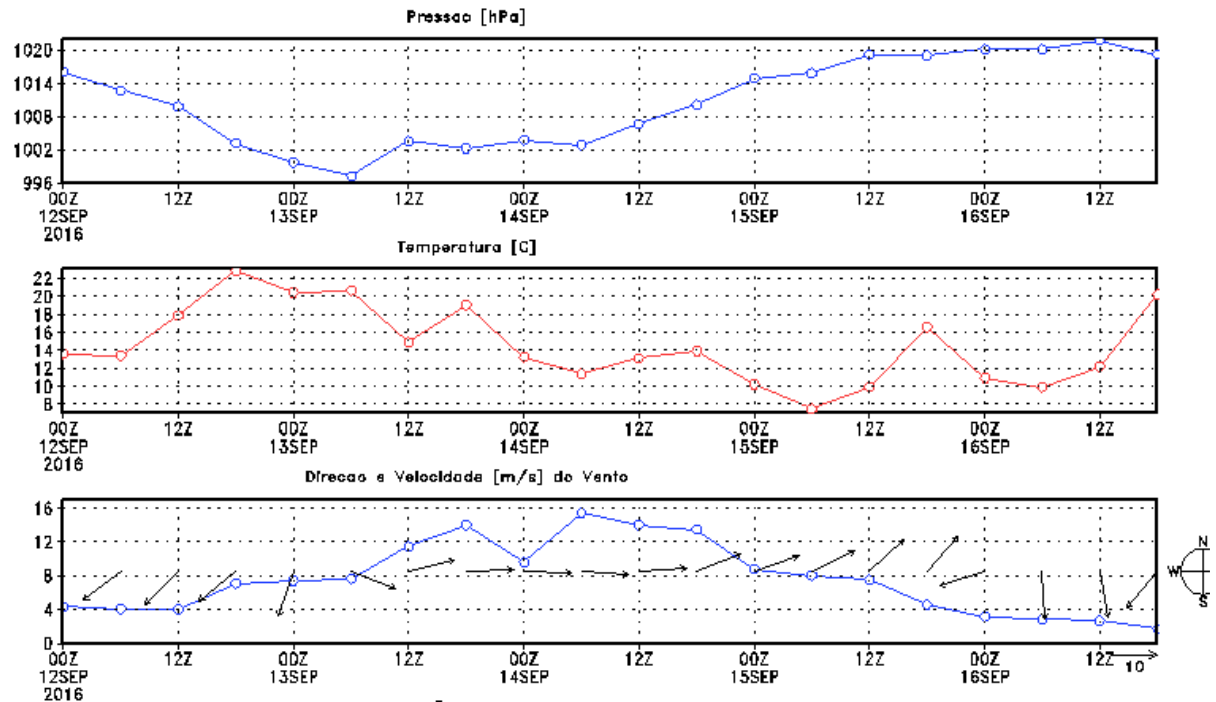


Figura 9: Meteograma para o quarto caso de frente fria acoplado a um ciclone, 12/09/2016 até 16/09/2016. Primeiro campo é da pressão (hPa), segundo é da temperatura (°C) e o terceiro é da direção e velocidade do vento (m/s).

No caso que teve início no dia 26/10/2016 (figura 10), também há onda frontal. O sistema começa como um cavado (figura 10- a), o ramo frontal frio chega na Amazônia (figura 10- d), e devido a sua localização, duração (4 dias) e interação com os ventos alísios vindos de nordeste, contribuiu para a formação de uma ZCOU (zona de convergência de umidade) figura 10- e, ela se estende desde a Amazônia, até o sudeste do Brasil, trazendo muita umidade (REBOITA, et. al., 2012). Por fim, com seu centro de baixa pressão deslocado para leste no oceano Atlântico e o surgimento de uma alta pressão na costa do Brasil, a frente deixa de atuar sobre o Brasil.

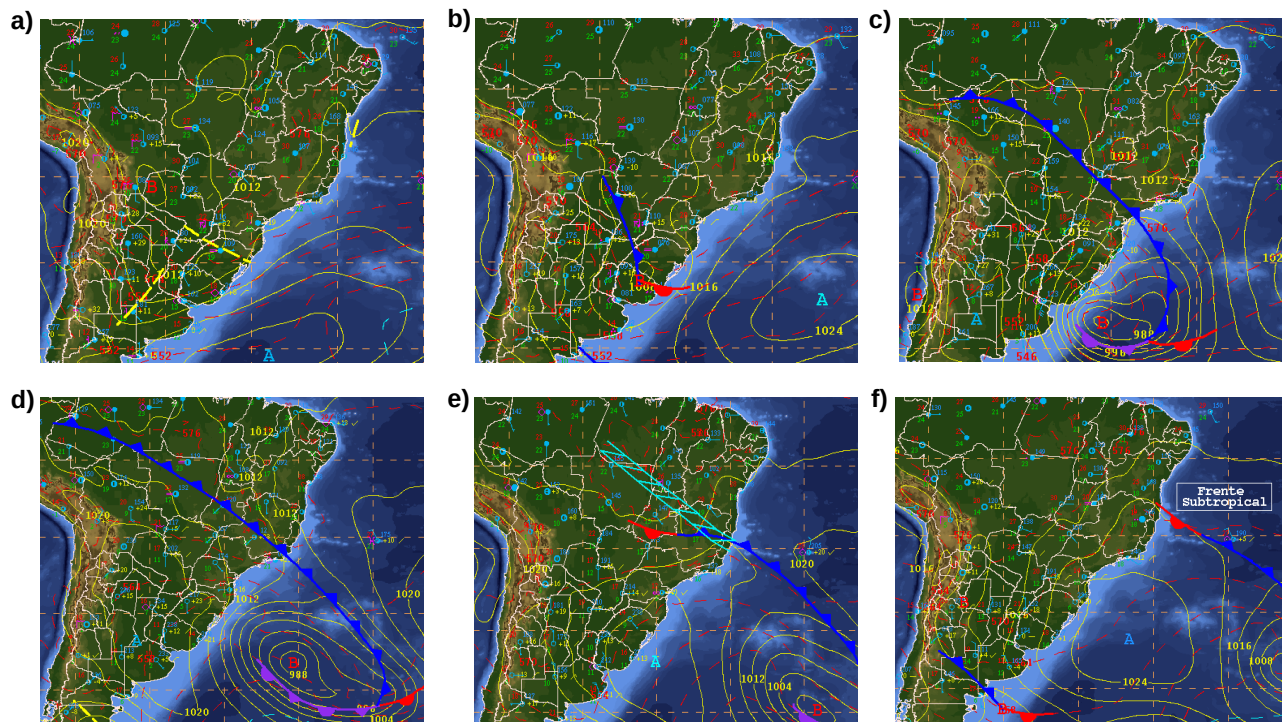


Figura 10: Cartas de superfície retiradas do CPTEC, no horário sinótico das 12 Z: a) 25/10/2016, b) 26/10/2016, c) 27/10/2016, d) 28/10/2016, e) 29/10/2016 e f) 30/10/2016. Frentes frias representadas pela linha “cerrada” azul, a frente quente é a linha “cerrada” vermelha e ambas estão conectadas a uma baixa pressão (B), a linha intercalada com frente fria e quente são as frentes estacionárias e as linhas roxas são as oclusas, as linhas amarelas são as isóbaras (mesma pressão), as linhas azuis e vermelhas tracejadas são a altura geopotencial entre 1000 hPa e 500 hPa, a alta pressão é representado pela letra A e os tracejados amarelos representam os cavados.

Para o meteograma do caso 25/10/2016 (figura 11), o local escolhido para análise foi a cidade de Ipixuna-AM (7°S e 71°O), por ter sido uma das cidades atingidas no máximo deslocamento da frente, possibilitando a ocorrência do fenômeno chamado de friagem no Amazonas. Na figura 11, é observado a rotação do vento, a queda da temperatura, ainda que permaneça quente, e uma leve alteração na pressão, ocasionados pela presença do ar mais frio.

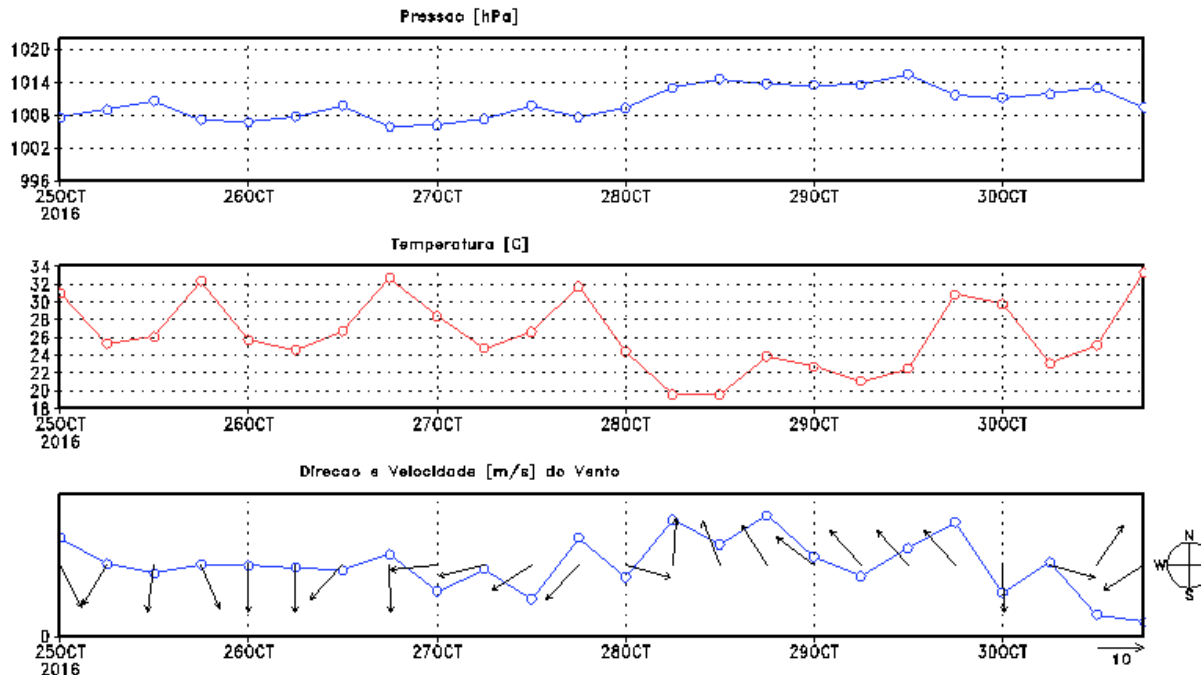


Figura 11: Meteograma para o quinto caso de frente fria acoplado a um ciclone, 25/10/2016 até 30/10/2016. Primeiro campo é da pressão (hPa), segundo é da temperatura (°C) e o terceiro é da direção e velocidade do vento (m/s).

3.2. Gradiente Horizontal de Temperatura

Em conjunto com o vento, o gradiente horizontal da temperatura é apresentado para análise de cada caso, porém por falta de dados, os primeiros 3 casos não estão completos. Todas as imagens mostradas são das 12 Z (horário sinótico) por ser o horário que contém maior número de observações.

O gradiente horizontal de temperatura (1000 hPa) mostra a intensidade de um sistema frontal, pois através dele sabe-se a variação da temperatura ao longo da passagem da frente.

Na figura 12, como só é possível analisar os dois primeiros dias da frente fria, é observado o início da formação da frente fria, pois há a rotação do vento (figura 12- a) e depois quando ela começa a se deslocar (figura 12- b).

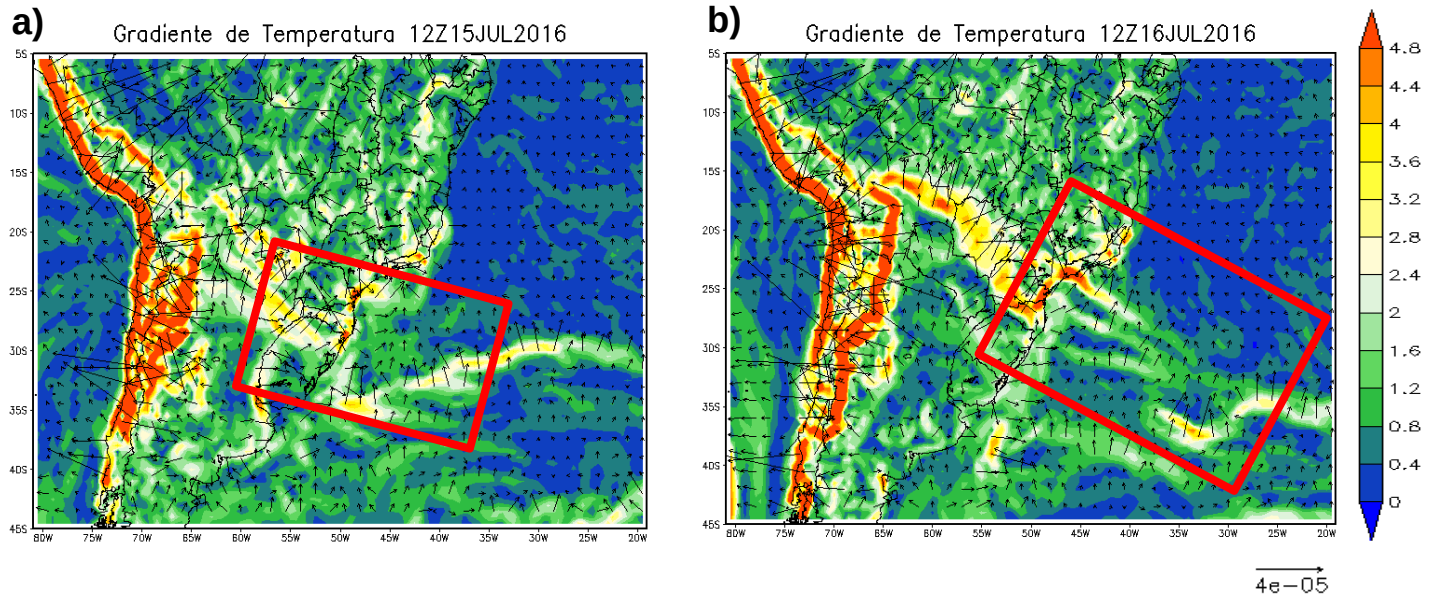


Figura 12: Gradiente horizontal de temperatura do ar em 1000 hPa ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$) em cores e vento em 1000 hPa (m/s) para os primeiros dois dias do primeiro caso, a) 15/07/2016 e b) 16/07/2016, ambos as 12 Z.

Para o segundo caso, apenas o último dia da passagem da frente foi plotado, devido à falta de dados mencionado anteriormente. Aqui é possível notar que a frente já se deslocou para o oceano e não afeta mais o continente (figura 13).

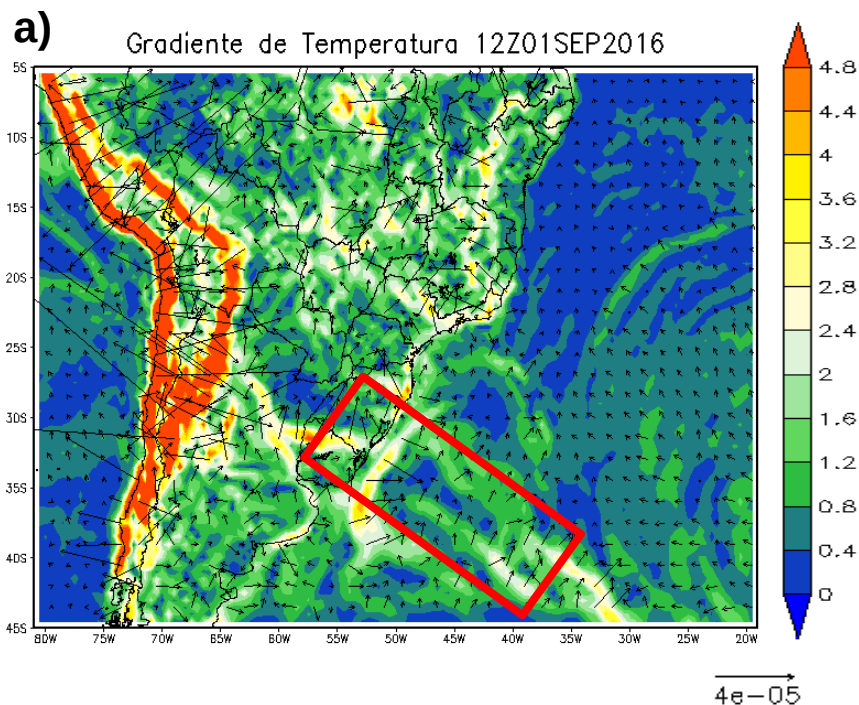


Figura 13: Gradiente horizontal de temperatura do ar em 1000 hPa ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$) em cores e vento em 1000 hPa (m/s) para o último dia do segundo caso, a) 01/09/2016 as 12 Z.

No terceiro caso, figura 14- a) tem-se o primeiro dia da frente e b) representando o penúltimo dia. Nesse caso existe a presença de um ciclone e a frente teve força para atingir a Amazônia. No primeiro dia da frente há um gradiente saindo de $4,8^{\circ}\text{C}/\text{km}$ para $1,2^{\circ}\text{C}/\text{km}$, já no penúltimo dia, a frente já deixou o estado do Amazonas, porém ainda atinge o Mato Grosso com um gradiente em algumas regiões de $4,8^{\circ}\text{C}/\text{km}$.

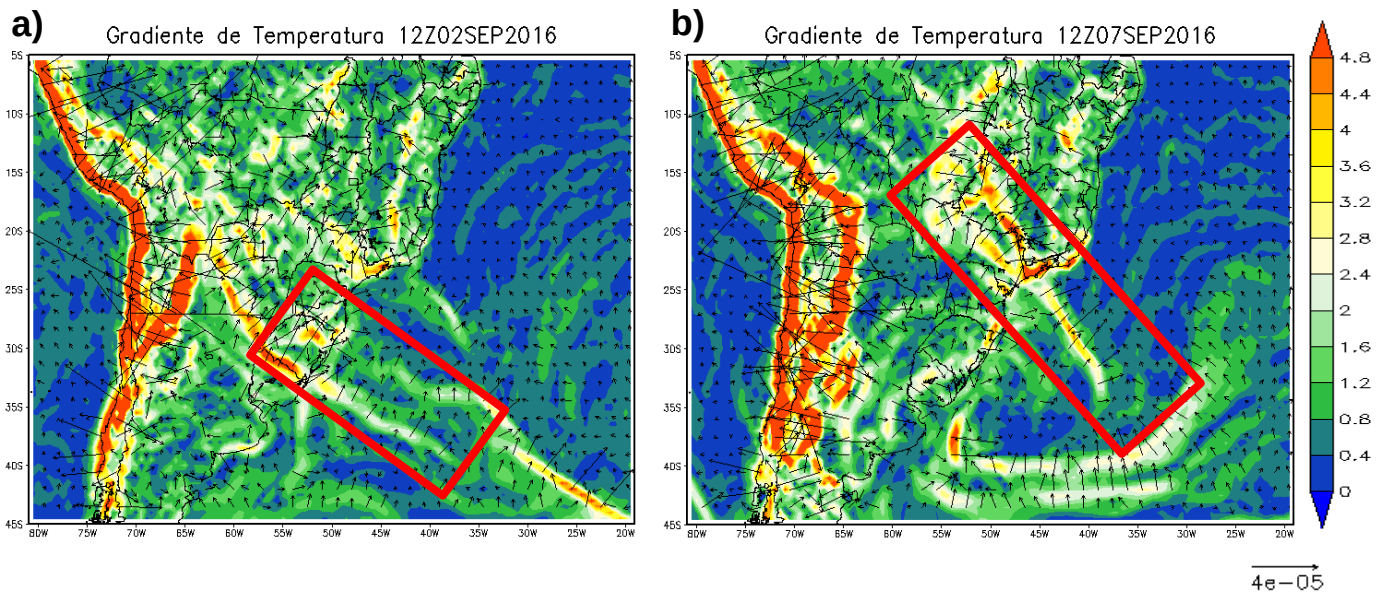


Figura 14: Gradiente horizontal de temperatura do ar em 1000 hPa ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$) em cores e vento em 1000 hPa (m/s) para o primeiro e penúltimo dia do terceiro caso, a) 02/09/2016 e b) 07/09/2016 as 12 Z.

Para o quarto caso, todos os dias foram plotados e há a presença de um ciclone. O gradiente horizontal atingiu seu máximo de $4,8^{\circ}\text{C}/\text{km}$ em quase todos os dias que o sistema esteve sob o continente (figura 15). É possível notar a rotação do vento, no momento em que a frente se forma (figura 15- a) e seu deslocamento para nordeste, até que ela esteja totalmente no oceano Atlântico.

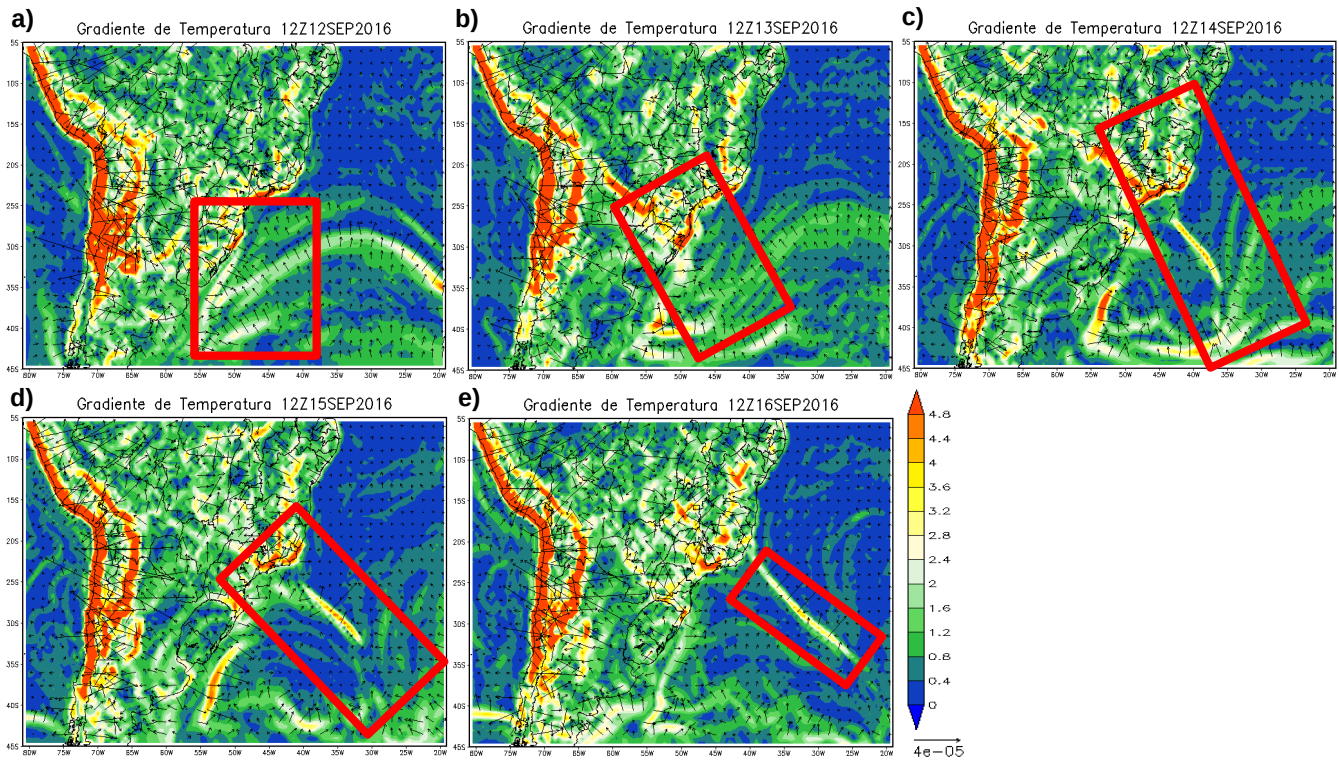


Figura 15: Gradiente horizontal de temperatura do ar em 1000 hPa ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$) em cores e vento em 1000 hPa (m/s) para todos os dias do quarto caso, a) 12/09/2016, b) 13/09/2016, c) 14/09/2016, d) 15/09/2016 e e) 16/09/2016 as 12 Z.

No último caso (figura 16) a frente acoplada ao ciclone, teve força para chegar a Amazônia, é possível notar isso com o gradiente e com os vetores do vento. Sua progressão é demonstrada nas áreas destacadas de vermelho e aqui também é visto um máximo gradiente ($4,8^{\circ}\text{C}/\text{km}$), em diversas áreas ao longo do trajeto.

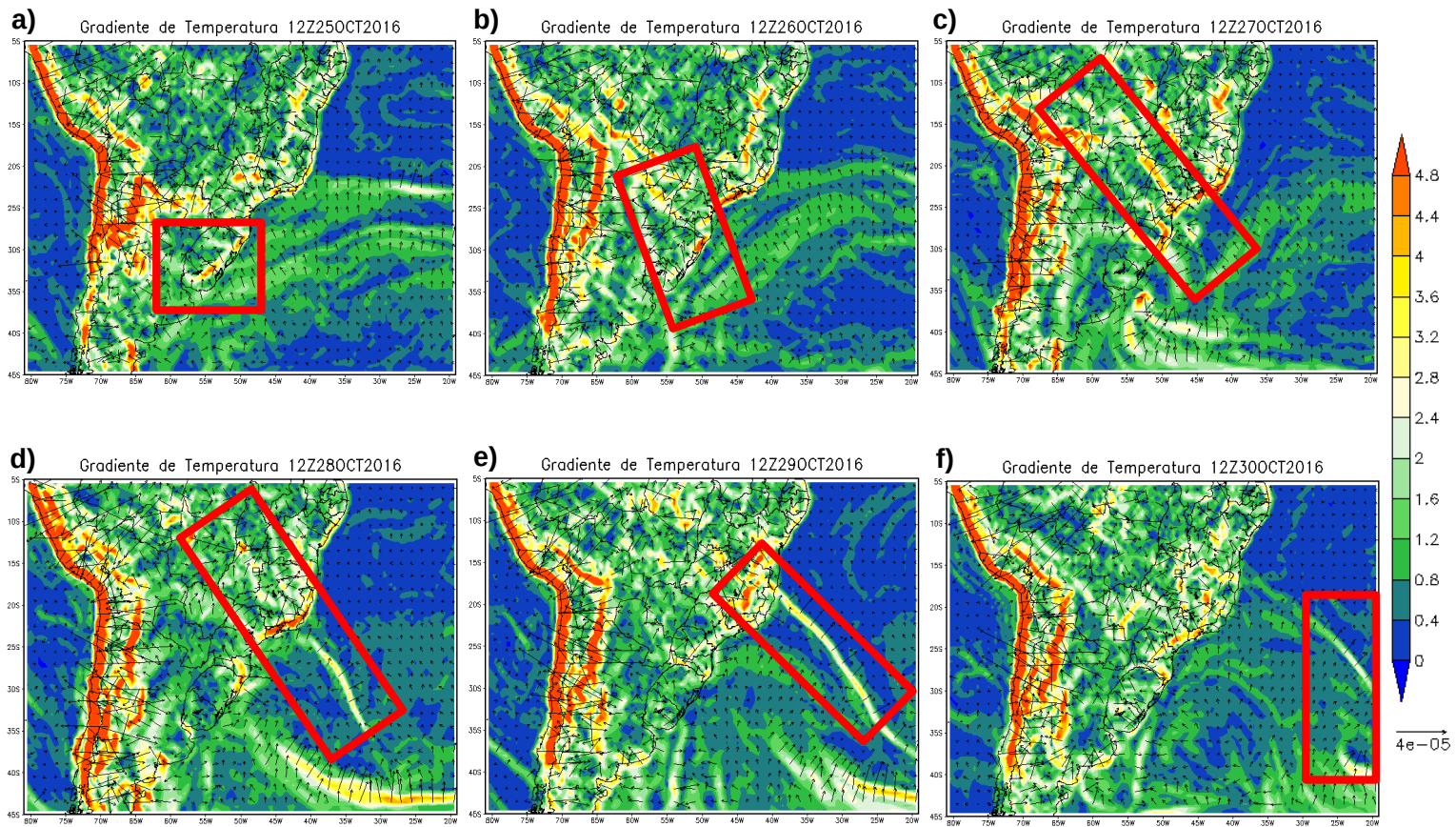


Figura 16: Gradiente horizontal de temperatura do ar em 1000 hPa ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$) em cores e vento em 1000 hPa (m/s) para todos os dias do quinto caso, a) 25/10/2016, b) 26/10/2016, c) 27/10/2016, d) 28/10/2016, e) 29/10/2016 e f) 30/10/2016 as 12 Z.

3.3. Imagens de Satélite

Com a ajuda do atlas de nuvens desenvolvido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, 1956), uma análise de quais nuvens estavam associadas aos sistemas em cada caso foi feita. Para isso, imagens no canal do infravermelho (Gridsat-B1) foram plotadas para cada horário sinótico, mas aqui serão apresentadas apenas as das 12Z, seguindo o padrão das outras análises. Além disso, imagens no canal do visível obtidas do site do CPTEC, também foram analisadas para que a acurácia fosse melhor.

Nuvens são diferenciadas pelas suas formas e a altitude em que elas se encontram. Existem três tipos básicos de nuvens, cirrus, cumulus e stratus (LIU et. al, 2011, CUSTÓDIO, M. S., 2007). Cirrus são nuvens altas de aparência fibrosa, branca e fina, as cumulus (Cu) parecem glóbulos individuais, com a aparência inchada são nuvens baixas mas que podem ter um desenvolvimento vertical, se tornando nuvens de tempestade (cumulonimbus) e as stratus são nuvens em camadas que se estendem por todo o céu como um grande cobertor (LIU et. al, 2011). No canal do

infravermelho, analisado para cada caso, é possível identificar nuvens de médio e altos níveis com maior facilidade, sendo que as cumulonimbus (Cb) tem aparência mais globular e brilhante, e as cirrus (Ci), possui a cor cinza clara com a aparência de um “borrão” mais fino e as cirrostratos (Cs) mais alongado e espaçado.

Para o primeiro caso (figura 17) existe a presença de nuvens tipo cirrus e cirrostratos (Cs) em todas as fases, em cinza claro e as partes mais brilhantes são cumulonimbus, que é melhor observado nas figuras b e c acompanhadas de nuvens médias tipo stratus (altostratus - As e altocumulus - Ac) com a cor cinza médio uniforme.

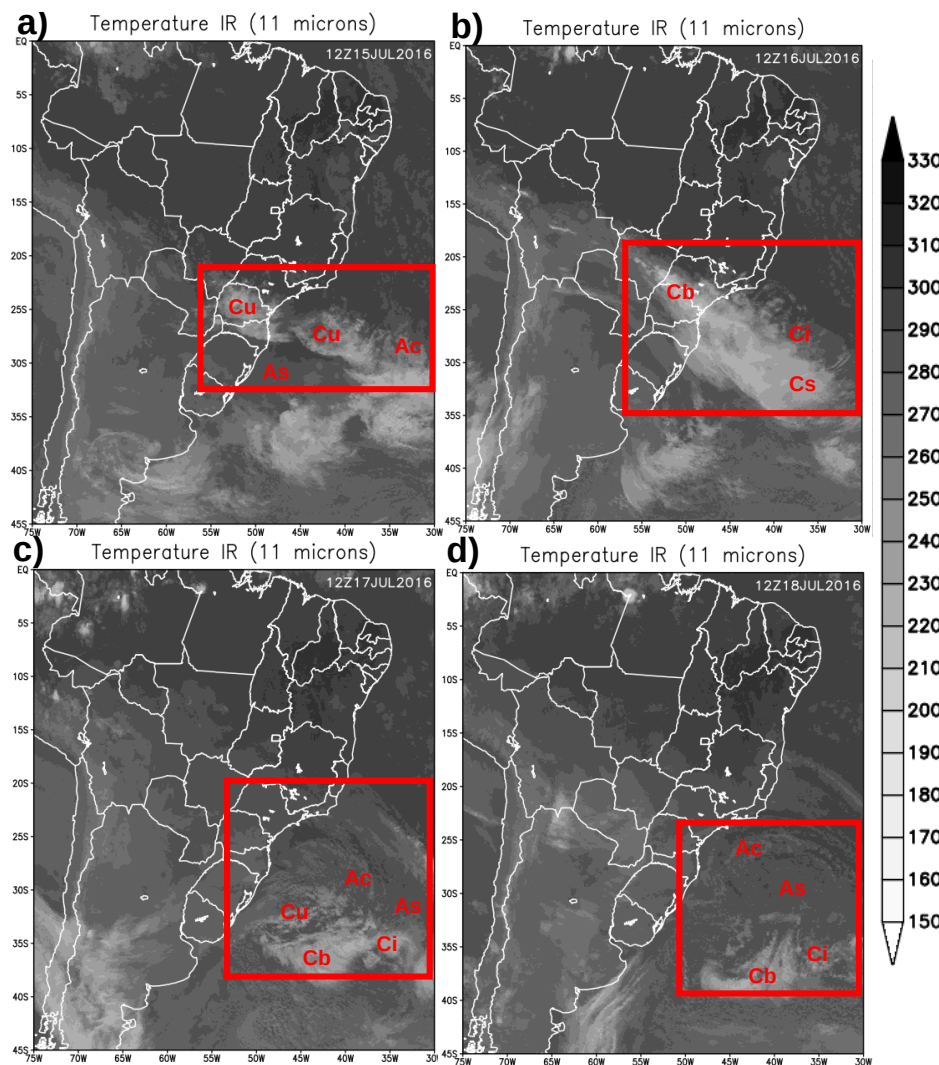


Figura 17: Temperatura de brilho (K; canal infravermelho do satélite Gridsat-B1) as 12 Z, do primeiro caso. a) 15/07/2016, b) 16/07/2016, c) 17/07/2016 e d) 18/07/2016.

No segundo caso, as mesmas nuvens do caso anterior são observadas, porém em maior extensão territorial, ou seja, ocupando maior parte do continente, estendendo-se do sul até o Mato Grosso do Sul (figura 18 - c).

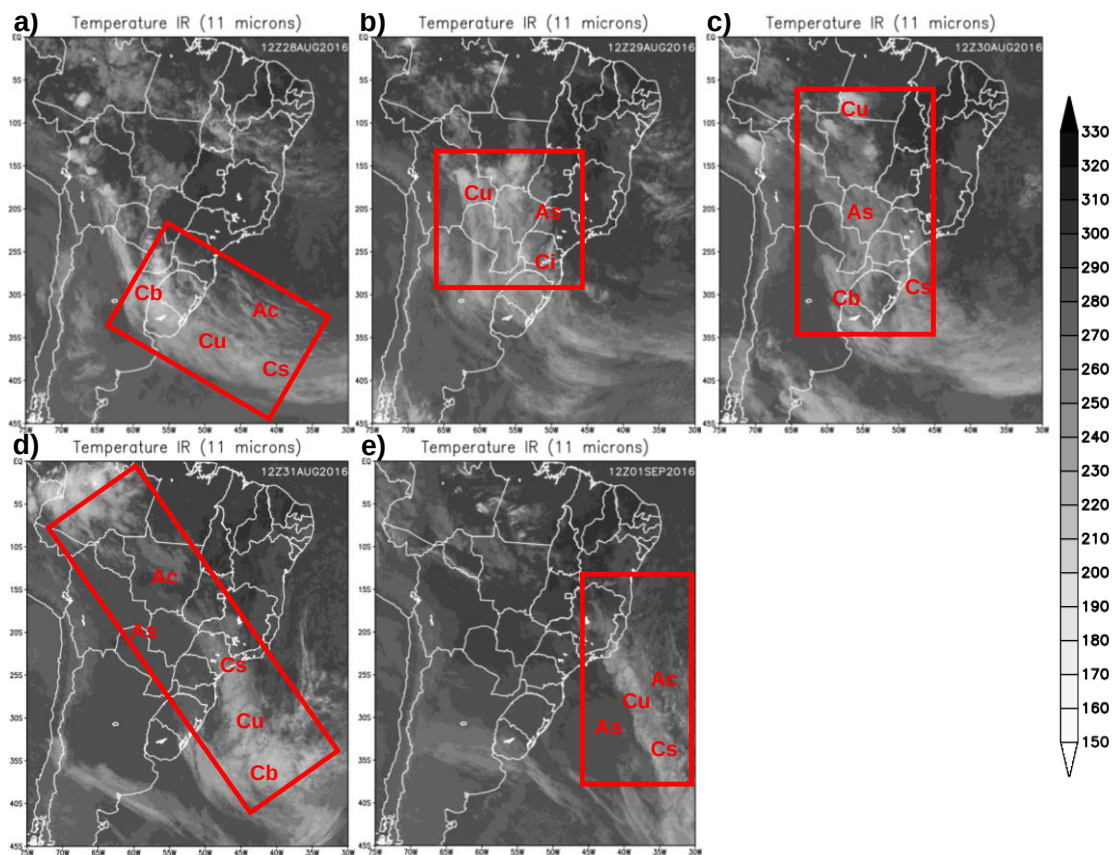


Figura 18: Temperatura de brilho (K; canal infravermelho do satélite Gridsat-B1) as 12 Z, do segundo caso. a) 28/08/2016, b) 29/08/2016, c) 30/08/2016, d) 31/08/2016 e e) 01/09/2016.

No terceiro caso além de mostrar as mesmas nuvens (Cb, Ci, Cs, As e Ac), é possível ver a forma do ciclone em vírgula invertida por conta das nuvens associadas a ele (figura 19 – f, g).

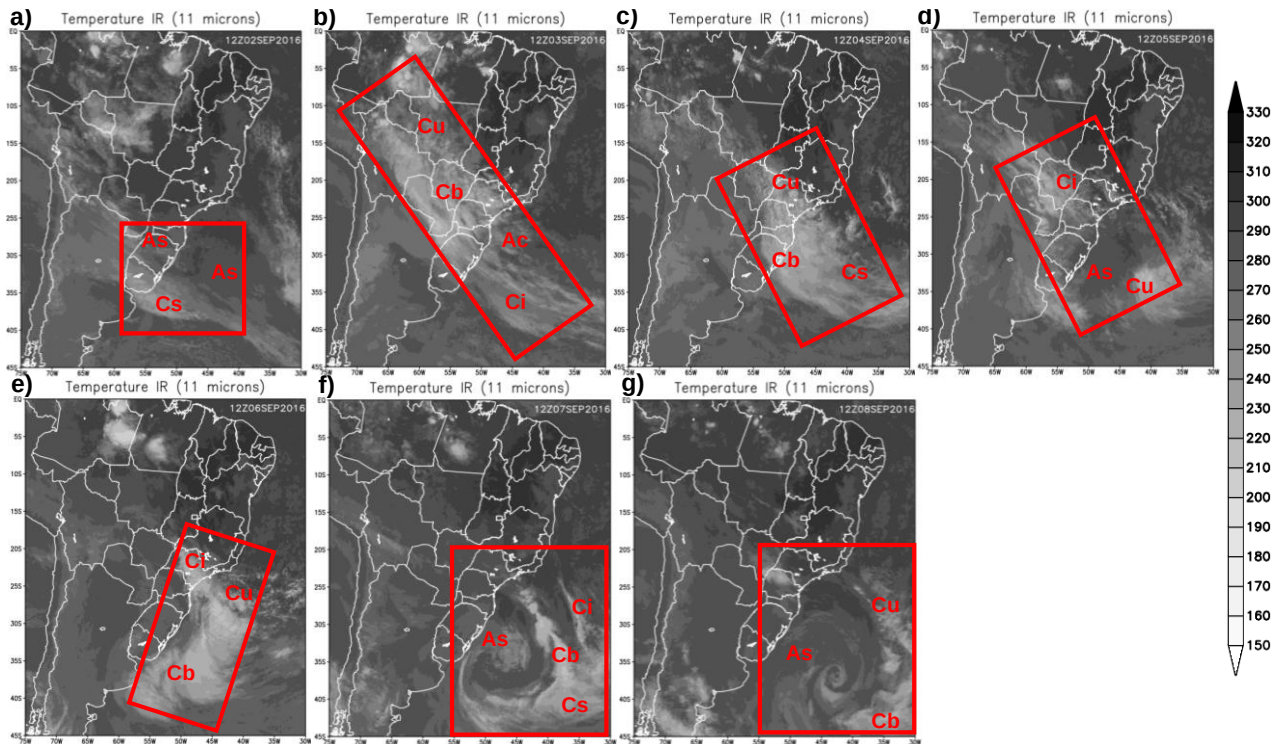


Figura 19: Temperatura de brilho (K; canal infravermelho do satélite Gridsat-B1) as 12 Z, do terceiro caso. a) 02/09/2016, b) 03/09/2016, c) 04/09/2016, d) 05/09/2016, e) 06/09/2016, f) 07/09/2016 e g) 08/09/2016.

O quarto caso há um ciclone bem definido, que é facilmente observado nas letras b e c (figura 20), com Cb, Ci, As e Ac em sua formação, sendo diferenciadas pelos seus diferentes tons de cinza e brilho, como já mencionados anteriormente.

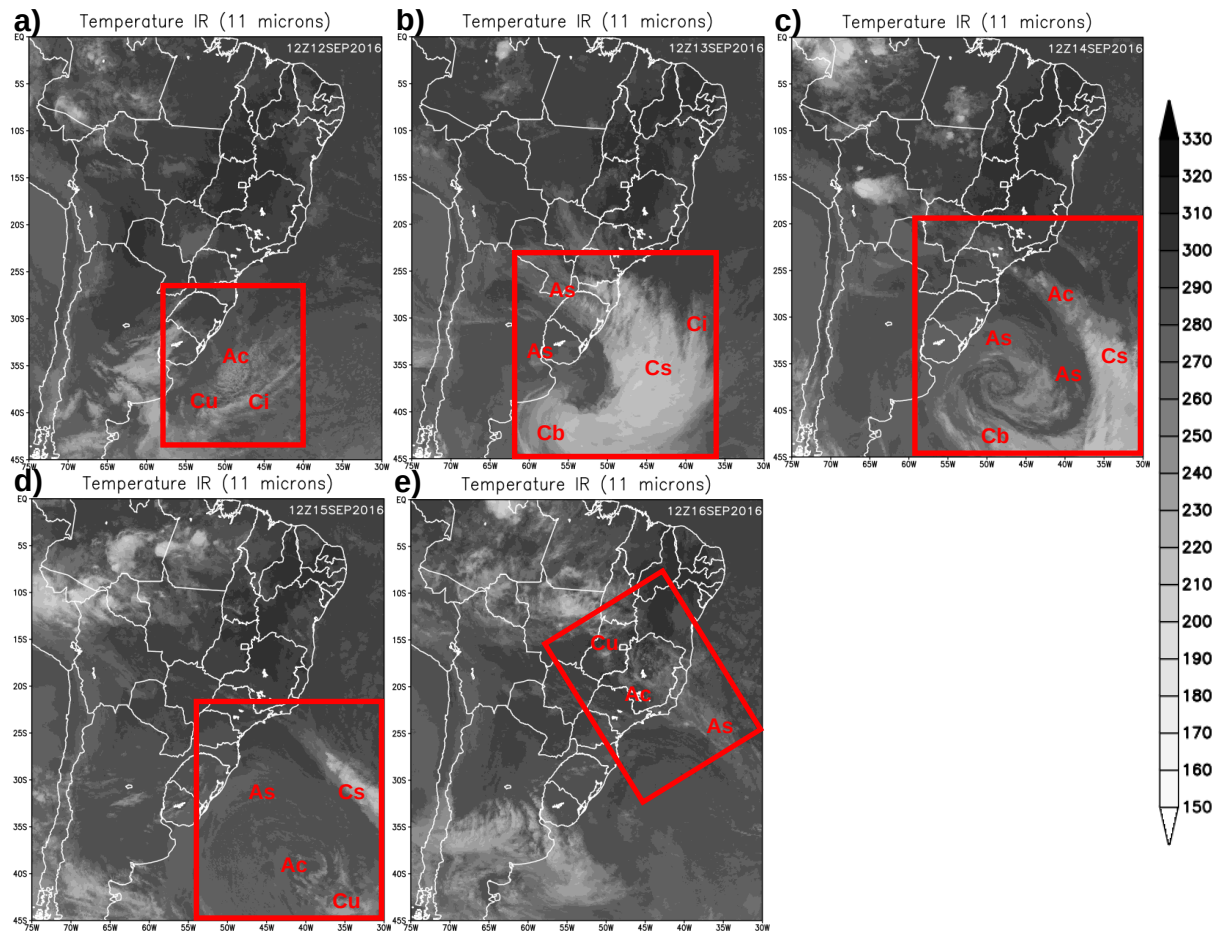


Figura 20: Temperatura de brilho (K; canal infravermelho do satélite Gridsat-B1) as 12 Z, do quarto caso. a) 12/09/2016, b) 13/09/2016, c) 14/09/2016, d) 15/09/2016 e e) 16/09/2016.

O último caso que também teve um ciclone associado a frente, a banda de nuvens se estendeu até a Amazônia, ocorrendo o fenômeno da friagem. O ciclone pode ser observado nas letras c e d, ele não está com a mesma aparência do anterior porém a sua frente teve maior propagação sob o continente que o caso anterior. As nuvens são as mesmas que a do caso anterior apenas se diferenciando pela extensão e área ocupada, sendo maior que o quarto caso.

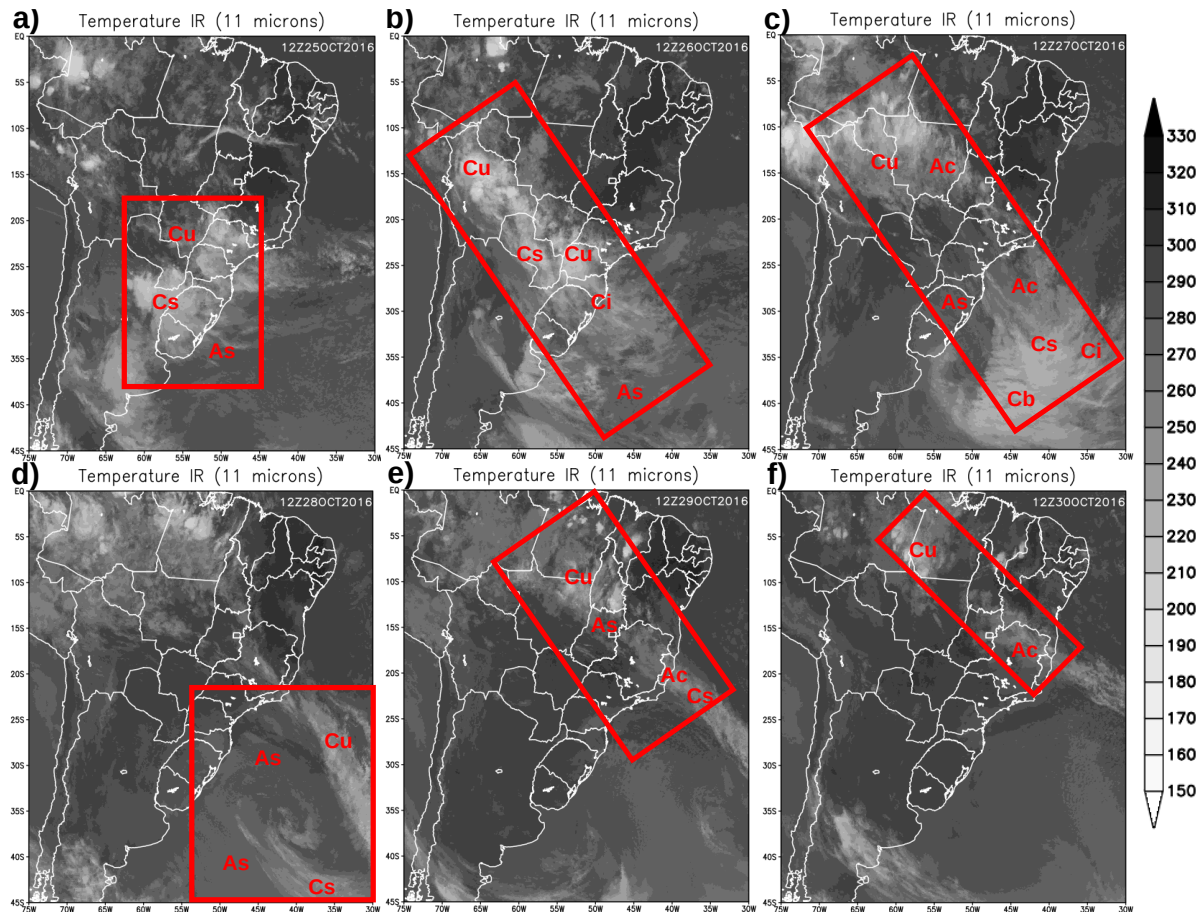


Figura 21: Temperatura de brilho (K; canal infravermelho do satélite Gridsat-B1) as 12Z, do quinto caso. a) 25/10/2016, b) 26/10/2016, c) 27/10/2016, d) 28/10/2016, e) 29/10/2016 e f) 30/10/2016.

3.4. Análise Sinótica

Nessa seção os campos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e geopotencial (500 hPa), vento e pressão (hPa) e linhas de corrente foram plotados no GrADS para cada caso. Todos os campos analisados para o primeiro caso, só foram possíveis para os dois primeiros dias devido à falta de dados.

A Figura 22- c, 22- d resalta o avanço da alta pós-frontal e dando suporte para que a frente se intensifique, são observados jatos de altos níveis (coloridos), fazendo com que essa frente tenha força para se deslocar no continente (figura 22- e, f).

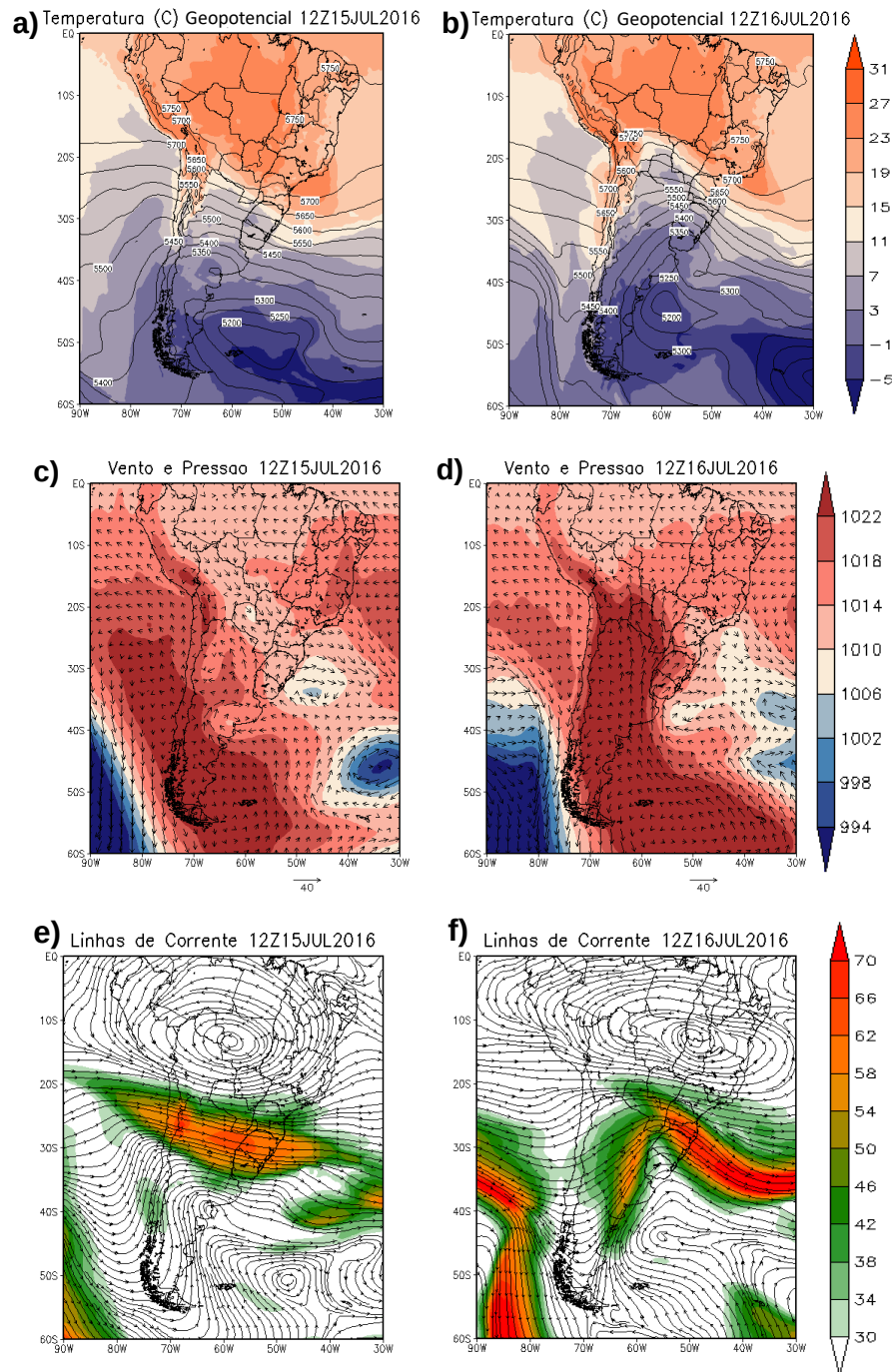
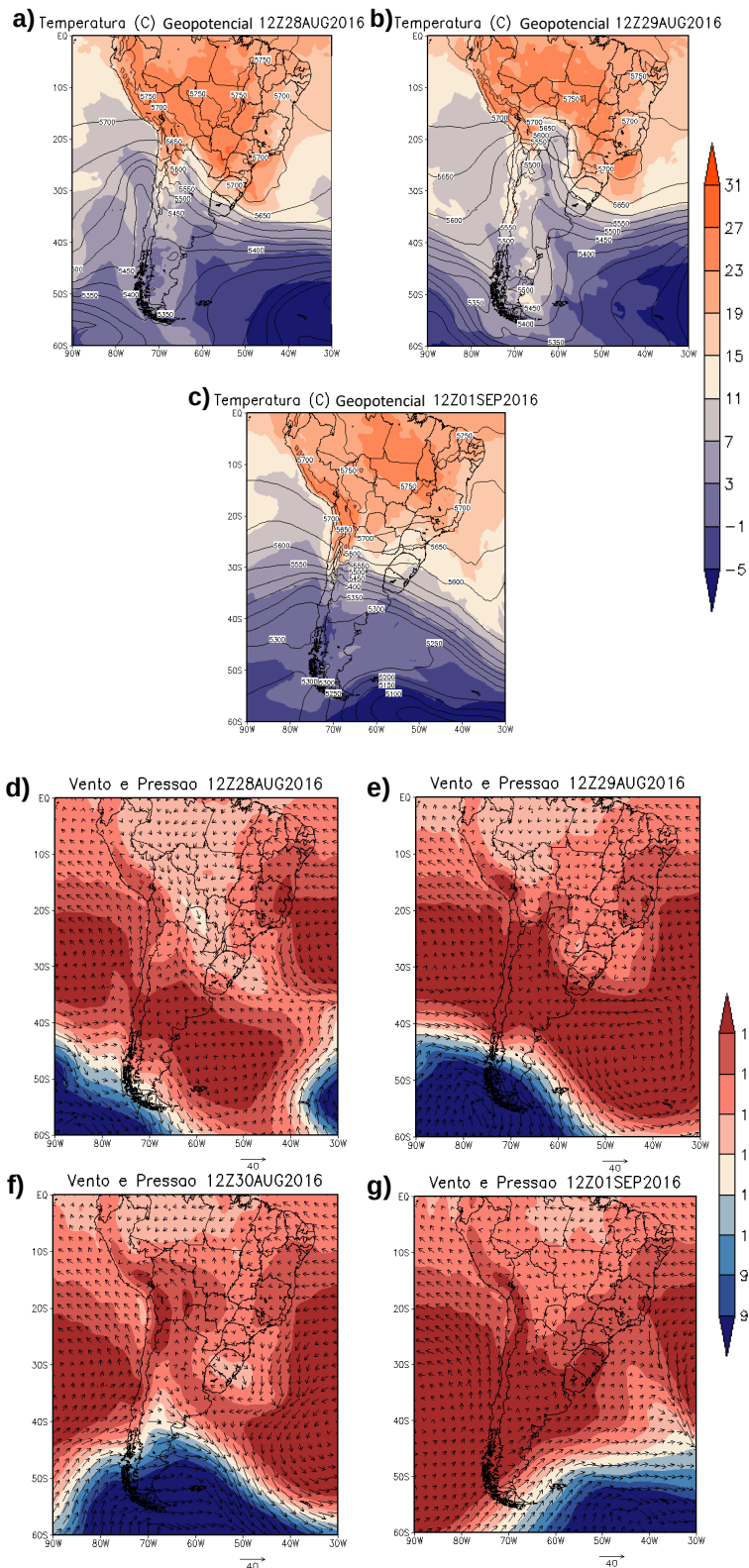


Figura 22: Temperatura (°C) e geopotencial (500 hPa) as 12 Z: a) 15/07/2016 e b) 16/07/2016. Vento e pressão(hPa) as 12 Z: c) 15/07/2016 e d) 16/07/2016. Linhas de corrente em 300 hPa as 12 Z: e) 15/07/2016 e f) 16/07/2016.

O segundo caso em que uma das primeiras cidades atingidas foi no Mato Grosso, é mostrado tanto com a proximidade das linhas de geopotencial quanto com o decaimento da temperatura próximo a região do estado do Mato Grosso (figura 23).

Para o segundo caso a pressão não muda tanto, mas a rotação do vento na região da frente é notada nestes campos (figura 23- d, e, f, g).

Com os jatos de altos níveis (figura 23- h, i, j, k) temos o suporte para esta frente e é possível notar que estão exatamente sobre a região apontada na carta de superfície anteriormente, posicionando a frente no Mato Grosso.



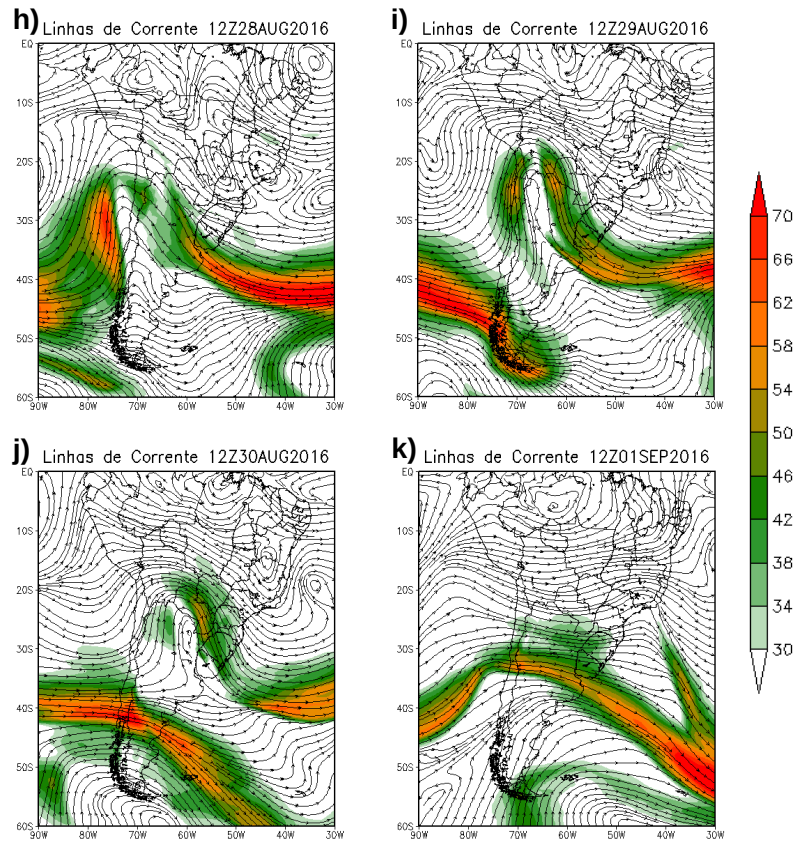
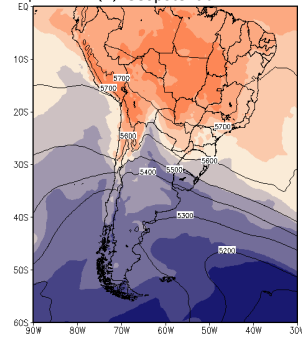
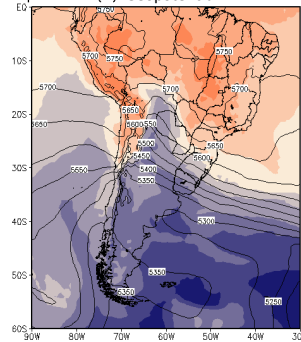
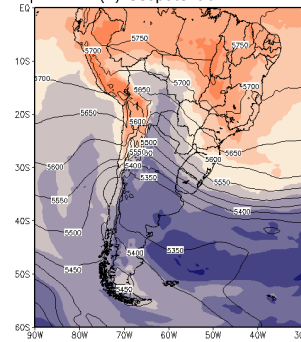
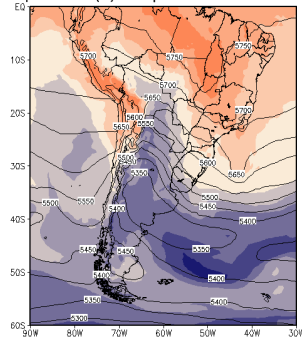
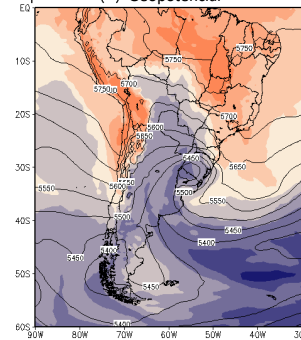
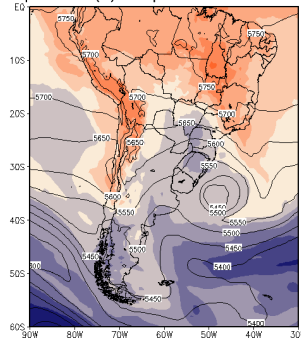
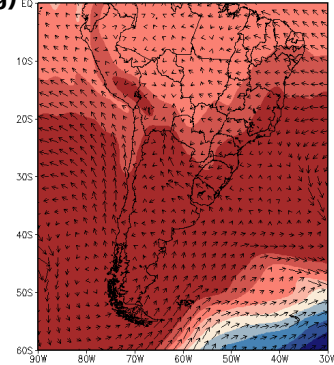
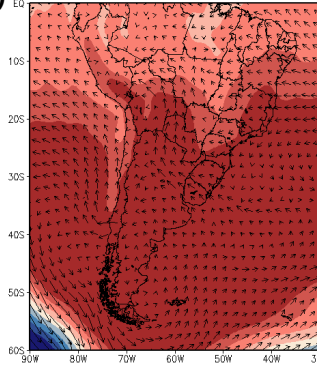
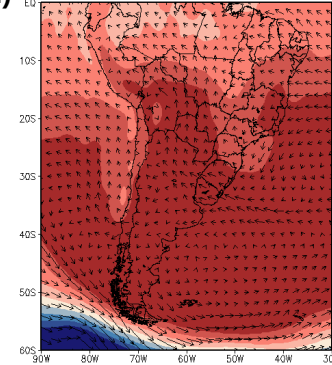
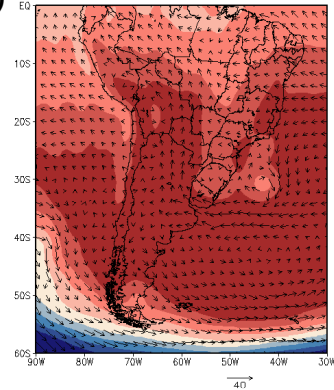
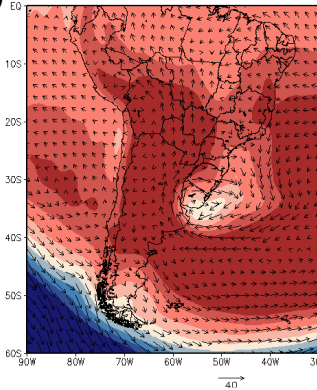
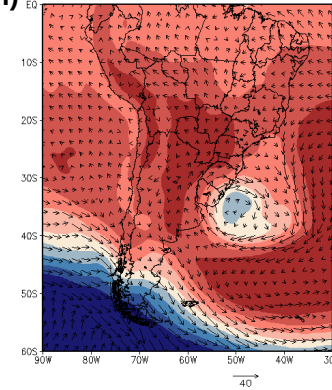


Figura 23: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e geopotencial (500 hPa) as 12 Z: a) 28/08/2016, b) 29/08/2016 e c) 01/09/2016. Vento e pressão(hPa) as 12 Z: d) 28/08/2016, e) 29/08/2016, f) 30/08/2016 e g) 01/09/2016. Linhas de corrente em 300 hPa as 12 Z: h) 28/08/2016, i) 29/08/2016, j) 30/08/2016 e k) 01/09/2016.

As imagens dos campos para o terceiro caso mostram que a frente chegou até o Acre, devido ao suporte que os jatos deram (figura 24 - letra c), as linhas do geopotencial indicando a divisa entre a área mais quente e mais fria, chegam até latitudes mais baixas (figura 24- c) e em conjunto a pressão e vento é possível ver a mudança de direção dos ventos (figura 24- i), porém esse caso se trata de duas frentes uma em seguida da outra em que a que começou do dia 05/09 para 06/09 está acoplado a um ciclone onde seu centro de baixa pressão se situa no atlântico próximo à costa do Brasil (figura 24- e, f, l, m).

a) Temperatura (C) Geopotencial 12Z02SEP2016**b)** Temperatura (C) Geopotencial 12Z03SEP2016**c)** Temperatura (C) Geopotencial 12Z04SEP2016**d)** Temperatura (C) Geopotencial 12Z05SEP2016**e)** Temperatura (C) Geopotencial 12Z06SEP2016**f)** Temperatura (C) Geopotencial 12Z07SEP2016**g)** Vento e Pressao 12Z02SEP2016**h)** Vento e Pressao 12Z03SEP2016**i)** Vento e Pressao 12Z04SEP2016**j)** Vento e Pressao 12Z05SEP2016**k)** Vento e Pressao 12Z06SEP2016**l)** Vento e Pressao 12Z07SEP2016

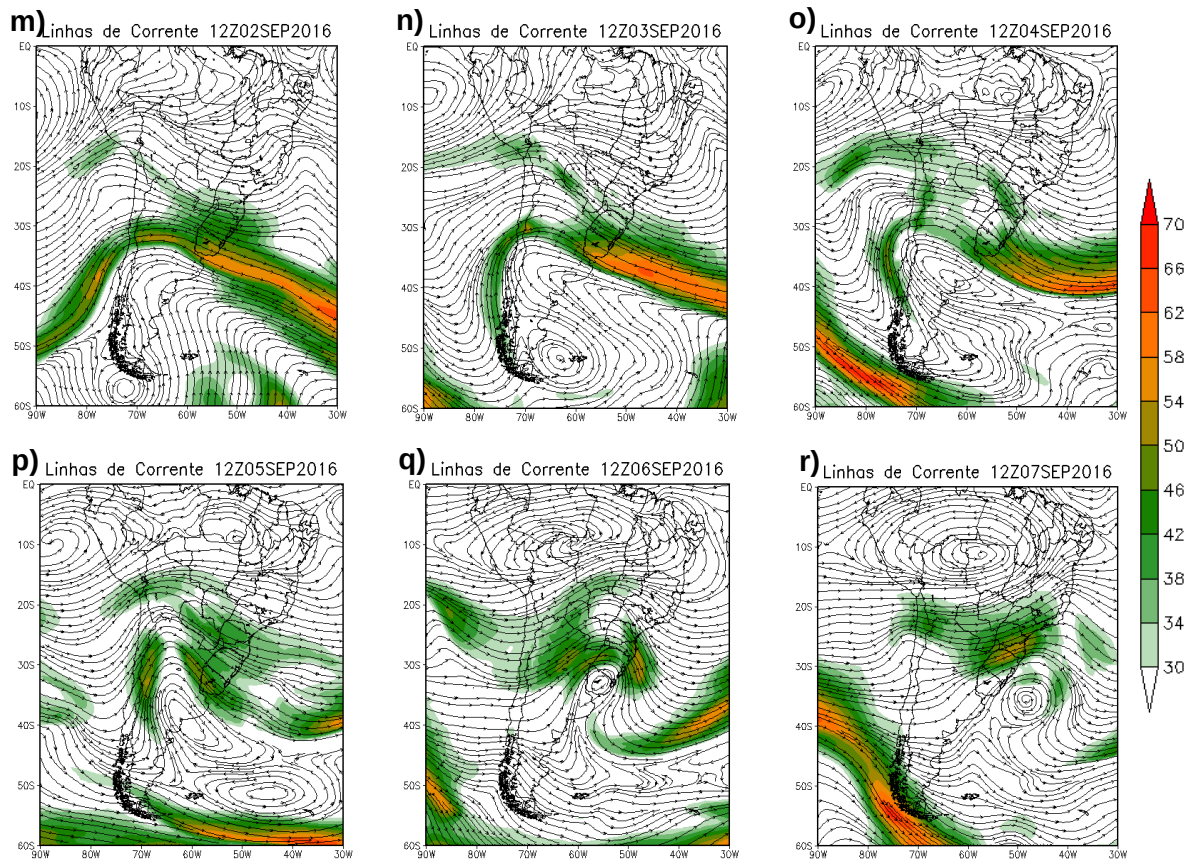


Figura 24: Temperatura (°C) e geopotencial (500 hPa) as 12 Z: a) 02/09/2016, b) 03/09/2016, c) 04/09/2016, d) 05/09/2016, e) 06/09/2016 e f) 07/09/2016. Vento e pressão(hPa) as 12 Z: g) 02/09/2016, h) 03/09/2016, i) 04/09/2016, j) 05/09/2016, k) 06/09/2016 e l) 07/09/2016. Linhas de corrente em 300 hPa as 12 Z: m) 02/09/2016, n) 03/09/2016, o) 04/09/2016, p) 05/09/2016, q) 06/09/2016 e r) 07/09/2016.

O quarto caso se trata de uma frente que está ligada a um ciclone bem definido, onde seu centro de baixa pressão está mais bem definido próximo à costa do Uruguai (figuras 25- b, g, l). A frente associada ao ciclone atinge primeiro o Rio Grande do Sul no Brasil e se propaga até o Rio de Janeiro, os 5 dias de vida desse sistema foi alimentado pelos jatos de altos níveis (figura 25- k, l, m, n, o), fora isso é possível observar a rotação do ciclone assim como a pressão no seu centro (figura 25- f, g, h, i, j).

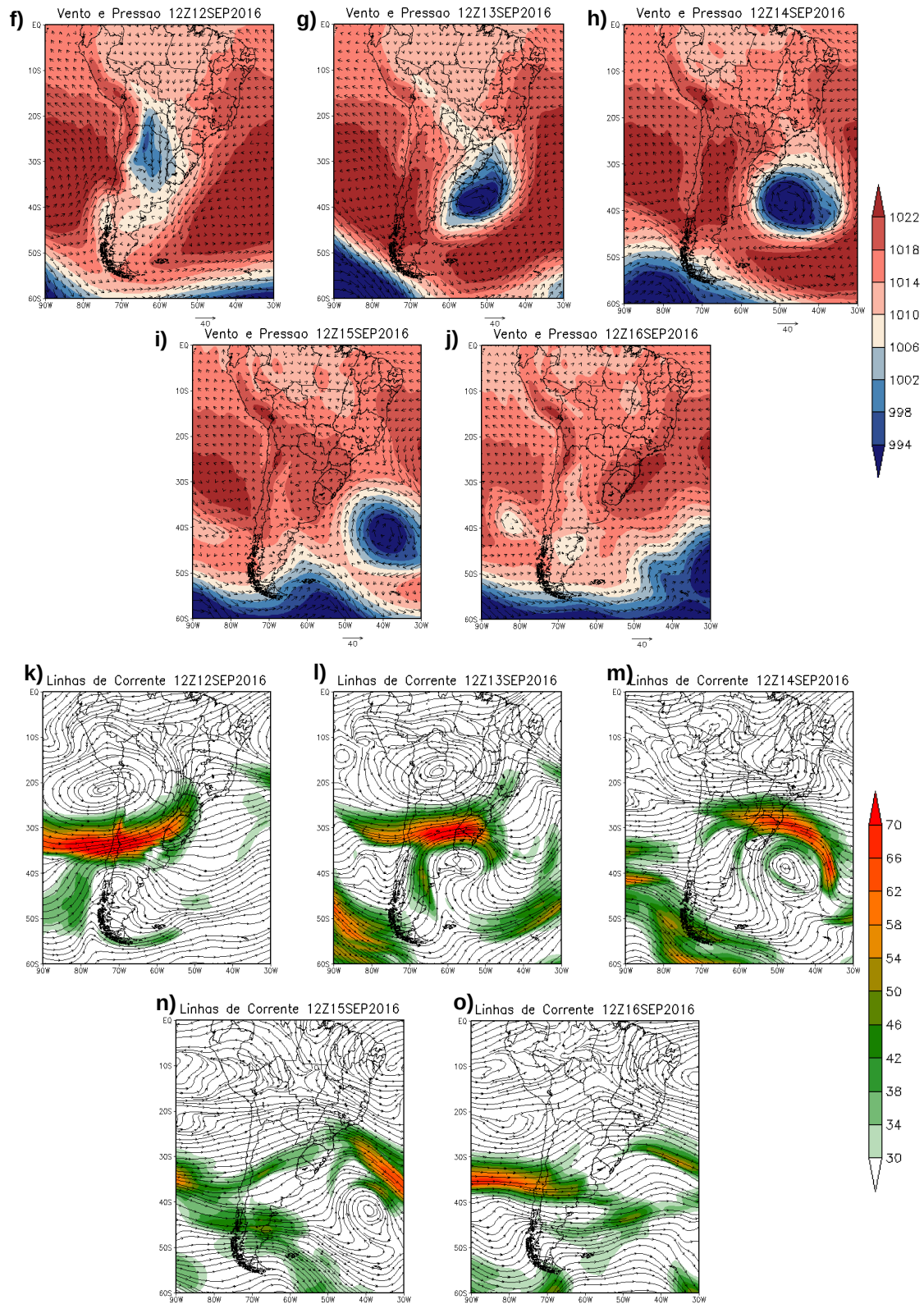
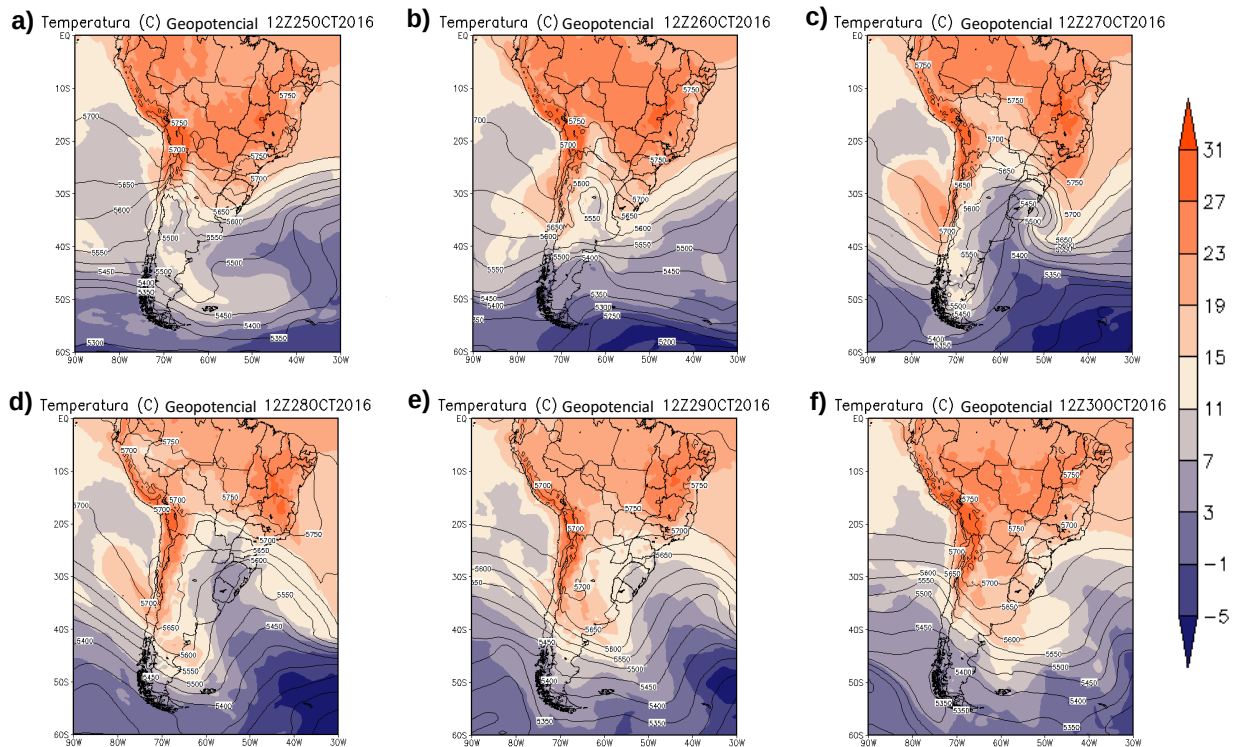


Figura 25: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e geopotencial (500 hPa) as 12 Z: a) 12/09/2016, b) 13/09/2016, c) 14/09/2016, d) 15/09/2016 e e) 16/09/2016. Vento e pressão(hPa) as 12 Z: f) 12/09/2016, g) 13/09/2016, h) 14/09/2016, i) 15/09/2016 e j) 16/09/2016. Linhas de corrente em 300 hPa as 12 Z: k) 12/09/2016, l) 13/09/2016, m) 14/09/2016, n) 15/09/2016 e o) 16/09/2016.

O último caso analisado se trata também de uma frente que está associada a um ciclone. Este ciclone começa a ganhar vida, ou seja, seu centro de baixa pressão começa a se formar na costa do Chile e vem atravessando sentido a costa do Brasil e com isso ganhando força, pois os jatos de altos níveis estão alimentando-o (figura 26- m, n, o, p, q, r). Com o campo de temperatura e geopotencial, é possível ver o deslocamento da frente sobre o Brasil, mostrando que essa frente chegou ao estado do Amazonas e afetou a temperatura na região em conjunto com a pressão que caiu e depois subiu e a direção do vento que também se alterou (figuras 26- c, d, i, j).



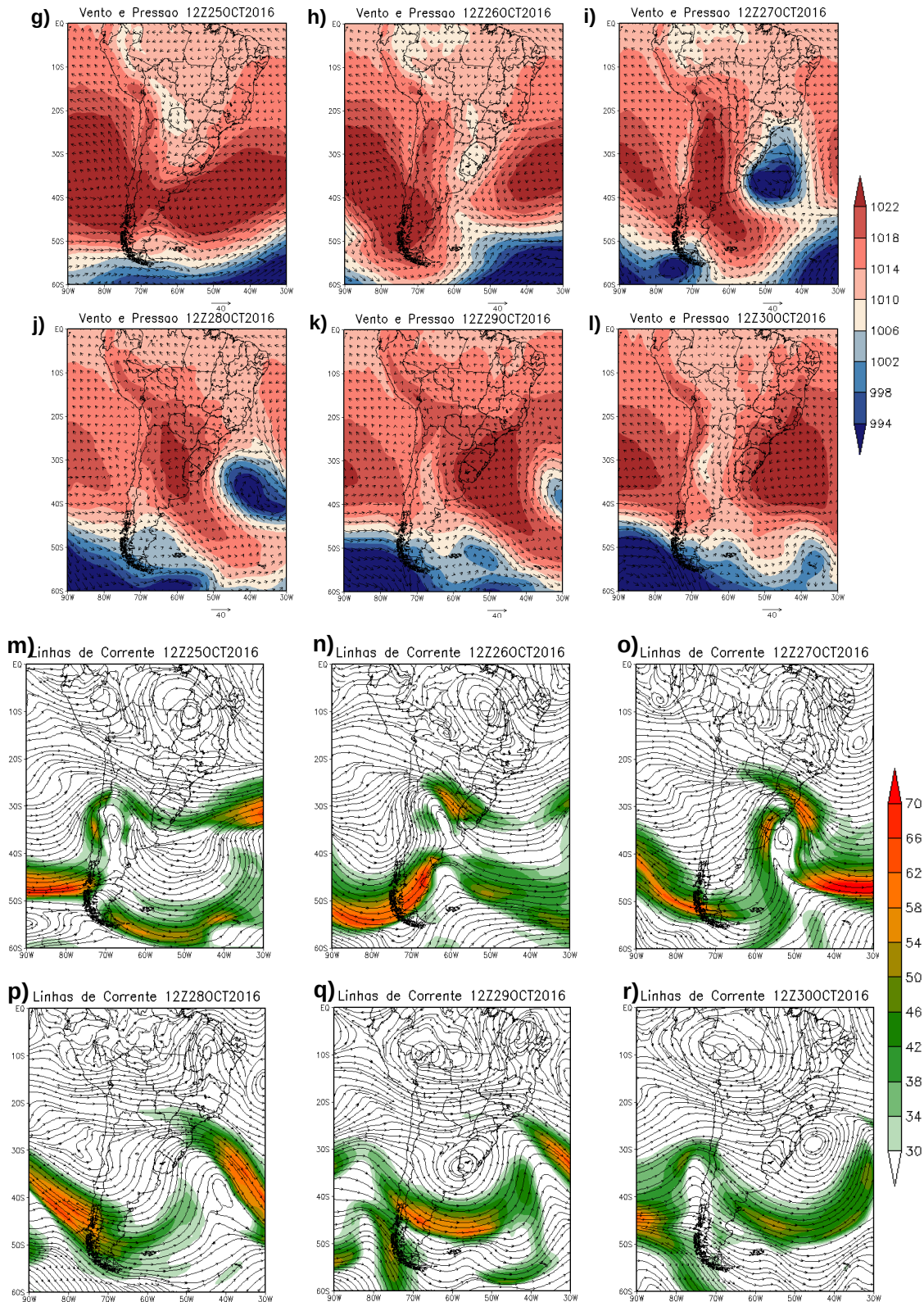


Figura 26: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e geopotencial (500 hPa) as 12 Z: a) 25/10/2016, b) 26/10/2016, c) 27/10/2016, d) 28/10/2016, e) 29/10/2016 e f) 30/10/2016. Vento e pressão(hPa) as 12 Z: g) 25/10/2016, h) 26/10/2016, i) 27/10/2016, j) 28/10/2016, k) 29/10/2016 e l) 30/10/2016. Linhas de corrente em 300 hPa as 12 Z: m) 25/10/2016, n) 26/10/2016, o) 27/10/2016, p) 28/10/2016, q) 29/10/2016 e r) 30/10/2016.

4. CONCLUSÃO

Com este trabalho, pode-se notar que em todos os casos estudados as frentes atingiram latitudes mais baixas, e também que há uma maior frequência de frentes na primavera. A sua trajetória foi de sudoeste para nordeste e a média de sua duração foi de 4 dias, para os 5 casos estudados a fundo.

Após análises de todas as frentes do ano de 2016, verificou-se uma média mensal de 3 a 4 frentes, com um leve aumento na primavera. Seu intervalo médio foi de 7 dias entre uma frente e outra, isso com base nas 60 frentes que atuaram sobre o Brasil naquele ano.

A identificação das frentes frias foi por meio das cartas do CPTEC e também as imagens de satélite (GOES 16 – canal visível e infravermelho) e o critério utilizado para a certificação de que havia uma frente foi a queda da temperatura de pelo menos 0,5 °C quando houvesse a rotação do vento ou em até dois dias depois, a variação na pressão atmosférica e a própria mudança no vento (RODRIGUES, et. al., 2004). O padrão da temperatura mostrou-se bem definido para todos os casos, com a sua queda logo após a passagem do sistema frontal, bem como o aumento logo antes da passagem.

Nos dois casos em que há os ciclones acoplados as frentes, eles deslocam-se em latitudes mais altas e os ventos de sudeste são típicos de uma condição pós-frontal, associados aos sistemas de baixa pressão (ciclones e cavados) que se configuram na altura do litoral Sudeste do Brasil, após a passagem do sistema frontal nesta região.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, K. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2007. 187 f. *Dissertação (Mestrado em Meteorologia)* – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.
- BJERKNES, J.; SOLBERG, H. Life Cycles of Cyclones and Polar Front Theory of Atmospheric Circulation. **Geofysiske Publikasjoner**, v. 3, p. 3-18, 1922.
- BLUESTEIN, Howard B. **Synoptic-dynamic Meteorology in Midlatitudes: Observations and theory of weather systems**. Taylor & Francis, 1992.
- CARDOZO, Amanda Balbino et al. Climatologia de frentes frias na américa do sul e sua relação com o modo anular sul (climatology of cold fronts over south america and its relation with the southern annular mode). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.
- CUSTÓDIO, Maria de Souza. **Nebulosidade diurna no Rio Grande do Sul: climatologia e monitoramento por satélite**. 2007.
- DE OLIVEIRA, Paulo Jorge et al. Efeitos de um evento de friagem nas condições meteorológicas na Amazônia: um estudo de caso. **Acta amazônica**, v. 34, n. 4, p. 613-619, 2004.
- ESCOBAR, Gustavo Carlos Juan; REBOITA, Michelle Simões; SOUZA, Amanda. Climatology of surface baroclinic zones in the coast of Brazil. **Atmósfera**, v. 32, n. 2, p. 129-141, 2019.
- LIU, Lei et al. Cloud classification based on structure features of infrared images. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, 2011, 28.3: 410-417.
- MARENGO, José A.; NOBRE, Carlos A.; CULF, Alistair D. Climatic impacts of “friagens” in forested and deforested areas of the Amazon basin. **Journal of Applied Meteorology**, v. 36, n.11, p. 1553-1566, 1997.
- MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.

MENDONÇA, Marina Monteiro. **Estudo de propriedades de nuvens no contexto de sensoriamento remoto com satélites usando códigos de transferência radiativa**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, A. S. **Interação entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia**. INPE-4008-TDL/239. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) INPE; São José dos Campos, 1986.

PALMÉN, Erik Herbert; NEWTON, Chester W. **Atmospheric circulation systems: their structure and physical interpretation**. Academic press, 1969.

REBOITA, Michelle Simões et al. Ciclones em Superfície nas Latitudes Austrais: Parte I-Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.32, n.2, p. 171-186, 2017.

REBOITA, Michelle Simões et al. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. 2012.

RODRIGUES, Maria Laura Guimarães; FRANCO, Davide; SUGAHARA, Shigetoshi. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 22, n. 2, p. 135-151, 2004.

SATYAMURTY, Prakki; DE MATTOS, Luiz Fernando. Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Monthly Weather Review**, v. 117, n. 6, p. 1355-1364, 1989.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **International Clouds Atlas**. vol.1, 155p, 1956.