

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

Rose Ane Pereira de Freitas

**ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO DE VAPOR D'ÁGUA NA CAMADA
LIMITE ATMOSFÉRICA SOBRE A REGIÃO DA CONFLUÊNCIA
BRASIL-MALVINAS**

Santa Maria, RS

2017

Rose Ane Pereira de Freitas

**ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO DE VAPOR D'ÁGUA NA CAMADA LIMITE
ATMOSFÉRICA SOBRE A REGIÃO DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS**

Tese de doutorado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Meteorologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSR, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Meteorologia**

Orientador: Dr. Ronald Buss de Souza

Santa Maria, RS

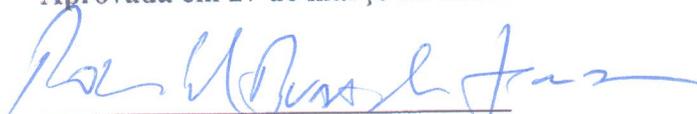
2017

Rose Ane Pereira de Freitas

**ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO DE VAPOR D'ÁGUA NA CAMADA LIMITE
ATMOSFÉRICA SOBRE A REGIÃO DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS**

Tese de doutorado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Meteorologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Meteorologia**

Aprovada em 27 de março de 2017:



Ronald Buss de Souza, Dr. (INPE)
(Presidente/Orientador)



Claudio Alberto Teichrieb, Dr. (UFSM)



Fabrício Pereira Härter, Dr. (UFPEL)



Humberto Alves Barbosa, Dr. (UFAL)



Nathalie Tissot Boiaski, Dra. (UFSM)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por dar-me saúde, força e equilíbrio, que foram fundamentais na conclusão desta importante etapa. À minha família que, com dedicação, me ensinou os primeiros passos e, bravamente, encorajaram-me a caminhar rumo aos meus sonhos, especialmente aos meus pais que foram minha força durante todo o processo. Ao meu orientador, Dr. Ronald Buss de Souza, pelas oportunidades, confiança, conselhos e principalmente, pela amizade durante o processo. Agradeço a todos os colegas do LAMOS, pelo ótimo convívio durante essa jornada, toda força e contribuições. Agradeço especialmente aos amigos que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos e foram sempre força e incentivo para seguir em frente, aos queridos Douglas Lindemann, Fernando Rossato, Joel Rubert, Luís Felipe Mendonça, Maria Angélica Cardoso e Pablo Oliveira, com vocês por perto tudo foi melhor. Meu agradecimento especial aos amigos Leonardo Neves, Fernanda Casagrande pelo incentivo no começo da jornada e aos amigos Rafael Reis, Eliton Figueiredo e Vinicius Cebalhos por todas colaborações durante a caminhada. À Universidade Federal de Santa Maria, representada pelo Departamento de Física, pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado. Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais por disponibilizar toda infraestrutura para realização deste trabalho. Agradeço o imprescindível apoio da CAPES, pelo auxílio financeiro. À banca examinadora pelas sugestões e colaborações. E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano. ”

(Isaac Newton)

RESUMO

ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO DE VAPOR D'ÁGUA NA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA SOBRE A REGIÃO DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS

AUTORA: Rose Ane Pereira de Freitas

ORIENTADOR: Ronald Buss de Souza

A atmosfera é o menor dos reservatórios de água do planeta contribuindo com apenas 0,001% da massa total de água. Porém, é de fundamental importância por desempenhar papel essencial nos processos físicos que ocorrem na atmosfera. A concentração de vapor d'água na camada limite atmosférica marinha (CLAM) sobre a região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM), no Oceano Atlântico Sudoeste, foi analisada a partir de dados de umidade relativa de 130 perfis de radiossondas tomados in situ a partir de navios. Esses dados foram coletados durante dez cruzeiros oceanográficos realizados durante os meses de outubro ou novembro entre 2004 e 2015. Para a mesma época foram também usados dados de umidade específica e temperatura do ar de reanálises (CFSR/CFSv2) e do sondador atmosférico AIRS (Atmospheric Infrared Sounder) a bordo do satélite Aqua. A partir destes dados, os gradientes de temperatura da superfície do mar (TSM) e a passagem de sistemas atmosféricos transientes de escala sinótica sobre a região da CBM foram avaliados visando determinar sua relação com a variabilidade espacial e temporal da concentração de vapor d'água dentro da CLAM na região. Trabalhos anteriores comprovam que a região da CBM, conhecida por seus intensos gradientes horizontais de TSM, é responsável pela modulação local da CLAM e pela manutenção de intensos gradientes laterais de fluxos de calor latente e sensível entre a atmosfera e o oceano. Os resultados desse trabalho mostram que os gradientes térmicos entre as águas quentes da Corrente do Brasil (CB) e as águas frias da Corrente das Malvinas (CM) na CBM são capazes de produzir diferenças significativas no conteúdo de vapor d'água na CLAM nos dois lados da frente oceanográfica. Em média sobre as águas mais quentes da CB a CLAM é mais úmida, com valor médio de água precipitável de cerca de $2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ maior que na região mais fria, dominada por águas da CM. Esse trabalho também demonstra, conforme observado em outros trabalhos pretéritos para a mesma região, que a CLAM é localmente modulada pela TSM. No entanto os sistemas atmosféricos transientes, comuns nessa região do planeta, podem atenuar ou intensificar a concentração de vapor d'água na CLAM, bem como causar advecções de temperatura. A comparação entre dados de radiossondagens obtidas in situ com perfis AIRS e CFSR revelaram que, em geral, os dados CFSR/CFSv2 apresentaram uma maior concordância com dados observados sobre ambos os lados da CBM. Os dados AIRS reproduzem satisfatoriamente os dados observacionais em condições de atmosfera livre da presença de nuvens. Porém também dependem da diferença entre os horários de aquisição dos dados observacionais e de satélite. As diferentes condições atmosféricas de advecção de temperatura também são importantes. As maiores diferenças entre perfis observados e dados de satélite de umidade específica e temperatura do ar foram encontradas no topo da CLAM e em alturas onde houveram inversões dessas variáveis.

Palavras-chave: Concentração de Vapor d'água. Confluência Brasil-Malvinas. Camada Limite Atmosférica Marinha.

ABSTRACT

STUDY OF THE WATER VAPOR CONCENTRATION IN THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER OVER THE BRAZIL-MALVINAS CONFLUENCE REGION

AUTHOR: Rose Ane Pereira de Freitas

ADVISOR: Ronald Buss de Souza

The atmosphere is the smallest contributor of the planet's water tanks providing only 0.001% of the water total mass. However, it is of fundamental importance for playing a key role in the atmosphere's physical processes. The concentration of water vapor on the marine atmospheric boundary layer (MABL) at the Brazil-Malvinas Confluence (BMC) region in the Southwestern Atlantic Ocean was analyzed from relative humidity profiles from 130 radiosondes taken *in situ* from ships. These data were collected during 10 oceanographic cruises carried out during the months of October or November from 2004 to 2015. During the same period, specific humidity and air temperature data from reanalysis (CFSR/CFSv2) and from the Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) onboard the Aqua satellite were also used. From this data, the sea surface temperature (SST) gradients and the passage of atmospheric synoptic scale transient systems over the BMC region were evaluated aiming to determine its relation with the spatial and temporal variability of water vapor concentrations inside the MABL in the region. Previous works prove that the BMC region, known for its intense SST horizontal gradients, is responsible for the MABL's local modulation and the maintenance of intense lateral gradients of latent and sensible heat fluxes between the atmosphere and the ocean. The results of this work show that the thermal gradients between the warm waters of the Brazil Current (BC) and the cold waters of the Malvinas Current (MC) in CBM region are capable to produce significant differences on the MABL's water vapor content on both sides of the oceanographic front. On the average over the warmer waters of the BC the MABL is more humid, with a mean precipitable water near $2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ higher than in the cold waters, MC dominated region. This work shows that, as reported in previous works in the same region, that the MABL is locally modulated by the SST. However, transients atmospheric systems, common in this region of the planet, can mitigate or intensify the concentration of water vapor inside the MABL, as well as to cause temperature advection. The comparison between *in situ* radiosonde data and AIRS and CFSR profiles revealed that, in general, the CFSR/CFSv2 data presented a better agreement with observational data in both sides of the BMC. The AIRS data satisfactorily represent the observational data in conditions of a cloud-free atmosphere. Nevertheless, they also depend on the time difference between the times of acquisition of both observational and satellite data. The different advection conditions of the atmosphere are also important. The greatest differences between the observed and satellite profiles of specific humidity and air temperature were found at the top of the MABL and at levels where inversions of these variables were present.

Keywords: Water Vapor Concentration. Brazil-Malvinas Confluence. Marine Atmospheric Boundary Layer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Perfis de vapor d'água inferidos a partir de dados de razão de mistura (média anual) demonstrando que o vapor d'água atmosférico diminui com a altura e latitude. A linha pontilhada refere-se aos trópicos, a linha tracejada refere-se a latitudes médias e a linha cheia refere-se a latitudes polares.23
- Figura 2 – Médias Mensais dos fluxos de calor latente para (a) Fevereiro e (b) Agosto de 1988 usando o esquema proposto por Chou (1993).25
- Figura 3 – Perfis de temperatura (K) da atmosfera e do oceano medidos simultaneamente por radiossondas e XBTs a partir do navio Ary Rongel durante os dias 1-3 de novembro de 2004. Vetores de vento meridional (m.s-1).27
- Figura 4 – Principais correntes superficiais oceânicas. Regiões marcadas com retângulo preto representam: (a) Corrente do Golfo (b) Corrente de Kuroshio (c) Confluência Brasil-Malvinas (d) Corrente das Agulhas.29
- Figura 5 – Estatísticas para as principais regiões de ciclogênese para todos os sistemas identificados (a) Vorticidade em 850 hPa plotada em escalas variando de 0.5 a 4.0. Em escala de cinza são mostradas as densidades das trajetórias preferenciais pela vorticidade em 250 hPa (b) Intensidade média dentro do contorno de densidade de 0.5 em unidades de $10^{-5} s^{-1}$. Em destaque na parte superior à direita está a região da Península Antártica.31
- Figura 6 - Região de estudo na CBM e localização das estações de amostragem in situ do Programa INTERCONF entre 2004 e 2015. A TSM da região é representada pela TSM média para o mês de outubro entre os anos de 2002 a 2015 a partir de dados do sensor MODIS. Os respectivos acrônimos variando de OP23 a OP34 representam os diferentes cruzeiros oceanográficos realizados para a coleta dos dados conforme Tabela 1. A grade sobreposta aos dados é referente aos dados AIRS.36
- Figura 7 – Lançamento de radiossondas durante Operações Antárticas sob diferentes condições atmosféricas. (a) Radiossonda sendo preparada para lançamento (b) lançamento sob condições de alta pressão e ventos fracos (c) lançamento sob atuação de baixa pressão e vento moderado (d) lançamento sob atuação de baixa pressão e vento forte.39
- Figura 8 - Pontos de coletas de dados de radiossondas atmosféricas nas respectivas derrotas em cada Operação Antártica sobre dados de TSM médios para oito dias para o mesmo

período da coleta de dados (a) OP23 (b) OP24 (c) OP25 (d) OP26 (e) 27 (f) OP28 (g) OP31 (h) OP32 (i) OP33 – pontos brancos mostram pontos com coletas de dados de ciclo diurno (j) OP34. Partes brancas sobre as figuras demonstram presença de nebulosidade.....	42
Figura 9 – Exemplo de mapa com a cobertura dos dados AIRS/Aqua, versão 6 L3, para a variável temperatura do ar ao nível de 850 hPa no dia 13/11/2011.....	44
Figura 10 – Exemplo de cobertura do satélite Aqua para um único dia de sondagem (referente a OP34) 14/10/2015, com a identificação das respectivas passagens ascendentes/descendentes com o respectivo horário de passagem global.	45
Figura 11 - Perfis verticais de θ_v (K), q (g/kg) e UR (x101 %) tomados por radiossondas durante a OP32 sobre o lado quente da CBM (esquerda) e sobre o lado frio da CMB (direita). A altura onde acontecem as maiores inflexões nos perfis analisados denotam a altura do topo da CLAM, cerca de 1400 m de altura na porção quente e cerca de 400 m de altura na porção fria da CBM.....	48
Figura 12 – Ilustração de um Box Plot	51
Figura 13 – (Lado esquerdo) Diagrama de dispersão do domínio da média da TSM (°C) e IWV (mm) mostrados para o lado quente da CBM (pontos em vermelho) e lado frio sobre a Corrente das Malvinas. (Lado direito) Diagrama de dispersão entre dados de instabilidade atmosférica (TSM-Tar) e IWV (mm).....	59
Figura 14 - Valor médio dos perfis de umidade específica em superfície (g/kg) e desvio padrão (σ) para cada Operantar sobre o lado quente (CB) e lado frio (CM) da CBM. Datas de realização: OP23 (2-3/11/2004), OP24 (28/10/2005), OP25 (27-28/10/2006), OP26 (16/10/2007, OP27 (14-16/10/2008), OP28 (02-04/11/2009), OP31(14-16/10/2012), OP32 (13-18/10/2013), OP33(18-20/10/2014) e OP34 (12-15/10/2015)	60
Figura 15 - Diagrama de caixas Boxplot para a variação da coluna de vapor d'água integrado na CLAM estimados através de dados de radiossondas para as Operações Antárticas analisadas onde são apresentadas a mediana (linha preta dentro do box) mínimos e máximos valores por Operação. Os traços que abrem e fecham a caixa representam debaixo para cima o primeiro quartil e acima da mediana, o terceiro quartil. Outlier (+). Acima dados sobre a CB e abaixo dados sobre a CM.....	61
Figura 16 - Perfis verticais médios para os dez cruzeiros (a) temperatura potencial (b) umidade específica. As linhas pontilhadas indicam o desvio padrão.	63

Figura 17 – Pressão atmosférica ao nível médio do mar (esquerda) e desvio padrão (direita) na região da CBM, média de 2004 a 2015 para o mês de outubro. Linhas pretas representam os cruzeiros com os pontos de amostragem em branco.	65
Figura 18 – Comportamento do vento sobre o lado quente da CBM: (a) direção e intensidades predominantes (b) distribuição da frequência das classes de vento	66
Figura 19 - Comportamento do vento sobre o lado frio da CBM: (a) direção e intensidades predominantes (b) distribuição da frequência das classes de vento	67
Figura 20 - Condições atmosféricas durante a OP25. As figuras à esquerda são de pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) e vento médio 1000 hPa (m.s-1) e, na direita, umidade específica a 2 metros (g/kg) e linhas de corrente em 850 hPa. As estações de lançamentos de radiossondas estão denotadas pelos círculos pretos. 69	69
Figura 21 - Advecção térmica (°C) e vento em 1000 hPa (m.s-1) durante a OP25	70
Figura 22 - Condições atmosféricas durante a OP31. As figuras à esquerda são de pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) e vento médio 1000 hPa (m.s-1) e, na direita, umidade específica a 2 metros (g/kg) e linhas de corrente em 850 hPa. As estações de lançamentos de radiossondas estão denotadas pelos círculos pretos. 71	71
Figura 23 - continuação da Figura 22.....	72
Figura 24 - Advecção térmica (oC) e vento em 1000 hPa (m.s-1) durante a OP31. As estações de lançamentos de radiossondas estão denotadas pelos círculos pretos.	73
Figura 25 - continuação da Figura 23.....	74
Figura 26 - Condições atmosféricas durante a OP32. As figuras à esquerda são de pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) e vento médio 1000 hPa (m.s-1) e, na direita, umidade específica a 2 metros (g/kg) e linhas de corrente em 850 hPa. As estações de lançamentos de radiossondas estão denotadas pelos círculos pretos. 75	75
Figura 27 - Continuação da Figura 26.....	76
Figura 28 – Continuação da Figura 26	77
Figura 29 - Advecção térmica (oC) e vento em 1000 hPa (m.s-1) durante a OP32. As estações de lançamentos de radiossondas estão denotadas pelos círculos pretos.	78
Figura 30 - Concentração de vapor d'água na atmosfera dado pela água precipitável e integrada dentro da CLAM (a) OP25 (b) OP31 (c) OP32. A linha em vermelho representa a concentração sobre o lado quente da CBM (CB) e a linha em azul representa a concentração sobre o lado frio da CBM (CM).	81
Figura 31 - (esquerda) Campos de pressão ao nível médio do mar (hPa) e vento médio a 1000 hPa (m.s-1) e (direita) campos de água precipitável entre os níveis de 1000 e 700	

hPa (mm) evidenciando a presença de um sistema ciclônico sobre a porção quente da CBM durante a OP32. As radiossondagens 1 a 7 foram realizadas no lado quente da frente enquanto que as radiossondagens 8 a 16 foram realizadas no lado frio.83

Figura 32 - (esquerda) Campos de pressão ao nível médio do mar (hPa) e vento médio a 1000 hPa (m.s-1) e (direita) campos de água precipitável entre os níveis de 1000 e 700 hPa (mm) evidenciando a presença de um sistema ciclônico sobre a porção quente da CBM durante a OP32. As radiossondagens 1 a 7 foram realizadas no lado quente da frente enquanto que as radiossondagens 8 a 16 foram realizadas no lado frio.84

Figura 33 - Variação do parâmetro de estabilidade TSM-Tar (linha preta) e conteúdo de água precipitável (linha vermelha) dentro da CLAM longo das (a) OP25, (b) OP31 e (c) OP32. Linhas cheias (lado quente), linhas tracejadas (lado frio), linha azul representa a TSM em 0°C. 86

Figura 34 - Variação da umidade específica em superfície (q) com respeito à TSM (coluna da esquerda) e à instabilidade estática (coluna da direita). Painéis superiores: OP25, painéis centrais: OP31 e painéis inferiores: OP32. 88

Figura 35 - Variação do vapor d'água verticalmente integrado na CLAM (IWV) com respeito à TSM (coluna da esquerda) e à instabilidade estática (coluna da direita). Painéis superiores: OP25, painéis centrais: OP31 e painéis inferiores: OP32. 89

Figura 36 - Diagrama Skew-T log P para todas as radiossondagens realizadas durante a OP25. A temperatura está representada por linhas sólidas na cor vermelha e temperatura do ponto de orvalho por linhas tracejadas na cor azul. A linha verde corresponde à temperatura de uma parcela hipotética de ar levantada a partir do primeiro nível da sondagem. Pressão (mb). Barbelas: 1/2 barbela, 5 kt; barbela inteira, 10 kt; bandeira 50 kt sem barbelas: 1 kt. Perfis 1-4 estão na porção quente e perfis de 5-10 estão sobre a porção fria da CBM. 91

Figura 37 – continuação da Figura 36..... 92

Figura 38 –Continuação da Figura 36..... 93

Figura 39 - Diagrama Skew-T log P para todas as radiossondagens realizadas durante a OP31. A temperatura está representada por linhas sólidas na cor vermelha e temperatura do ponto de orvalho por linhas tracejadas na cor azul. A linha verde corresponde à temperatura de uma parcela hipotética de ar levantada a partir do primeiro nível da sondagem. Pressão (mb). Barbelas: 1/2 barbela, 5 kt; barbela inteira, 10 kt; bandeira 50 kt sem barbelas: 1 kt. Perfis 1-4 e 8-13 estão na porção quente e perfis de 5-7 e 14-16 estão sobre a porção fria da CBM..... 94

Figura 40 – Continuação da Figura 39	95
Figura 41 - Continuação da Figura 39	96
Figura 42 - Continuação da Figura 39	97
Figura 43 - Diagrama Skew-T log P para todos as radiossondagens realizadas durante a OP32. A temperatura está representada por linhas sólidas na cor vermelha e temperatura do ponto de orvalho por linhas tracejadas na cor azul. A linha verde corresponde à temperatura de uma parcela hipotética de ar levantada a partir do primeiro nível da sondagem. Pressão (mb). Barbelas: 1/2 barbela, 5 kt; barbela inteira, 10 kt; bandeira 50 kt sem barbelas: 1 kt. Perfis 1-7 estão na porção quente e perfis de 8-16 estão sobre a porção fria da CBM.....	99
Figura 44 – Continuação da Figura 43	100
Figura 45 - Continuação da Figura 43	101
Figura 46 – Continuação da Figura 43	102
Figura 47 - Digrama de dispersão de temperatura do ar entre dados observacionais e AIRS (coluna da esquerda) e CFSR (coluna da direita). Painéis superiores (a) referem-se ao lado quente da CBM enquanto que os painéis inferiores (b) referem-se ao lado frio da CBM.....	108
Figura 48 - Digrama de dispersão de umidade específica entre dados observacionais e AIRS (coluna da esquerda) e CFSR (coluna da direita). Painéis superiores (a) referem-se ao lado quente da CBM enquanto que os painéis inferiores (b) referem-se ao lado frio da CBM.....	109
Figura 49 - (esquerda) Perfis médios de temperatura do ar obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados na porção quente da CBM e painéis inferiores (b) indicam dados na porção fria da CBM.....	111
Figura 50 - (esquerda) Perfis médios de umidade específica do ar obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados na porção quente da CBM e painéis inferiores (b) indicam dados na porção fria da CBM	113
Figura 51 - Diagrama Skew-T log P para o perfil das radiossondas lançadas sobre a CBM . (esquerda) perfis do lado quente e (direita) perfis do lado frio. Perfis sob predomínio (a, b) ar seco (c, d) parcialmente úmido (e, f) úmido. A temperatura	

está representada por linhas sólidas na cor vermelha e temperatura do ponto de orvalho por linhas tracejadas na cor azul. A linha verde corresponde à temperatura de uma parcela hipotética de ar levantada a partir do primeiro nível da sondagem. Pressão (mb). Barbelas: 1/2 barbela, 5 kt; barbela inteira, 10 kt; bandeira 50 kt sem barbelas: 1 kt. (a)RS05/OP32 (b)RS13/OP33 (c)RS02/OP33 (d) RS14/OP32 (e) RS05/OP33 (f) RS11/OP32..... 117

Figura 52 - Perfil sobre região quente da CBM referente a RS05 lançada na OP32. (esquerda) Perfis médios obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados de temperatura e painéis inferiores (b) umidade específica do ar 119

Figura 53 - Perfil sobre região fria da CBM referente a RS13 lançada na OP33. (esquerda) Perfis médios obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados de temperatura e painéis inferiores (b) umidade específica do ar 120

Figura 54 - Perfil sobre região quente da CBM referente a RS02 lançada na OP33. (esquerda) Perfis médios obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados de temperatura e painéis inferiores (b) umidade específica do ar 123

Figura 55 - Perfil sobre região fria da CBM referente a RS14 lançada na OP32. (esquerda) Perfis médios obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados de temperatura e painéis inferiores (b) umidade específica do ar 124

Figura 56 - Perfil sobre região quente da CBM referente a RS05 lançada na OP33. (esquerda) Perfis médios obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados de temperatura e painéis inferiores (b) umidade específica do ar 127

Figura 57 - Perfil sobre região quente da CBM referente a RS05 lançada na OP33. (esquerda) Perfis médios obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou

EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados de temperatura e painéis inferiores (b) umidade específica do ar 128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Localização dos transectos e número de estações oceanográficas realizadas pelo Programa INTERCONF entre 2004 e 2015 com coleta de dados de radiossondas (RS).	38
Tabela 2 - Especificações de acurácia dos produtos de radiância AIRS.....	46
Tabela 3 - Características dos produtos AIRS V6 L3.....	47
Tabela 4 - Descrição das estações de lançamento de radiossondas do Programa INTERCONF entre 2004 e 2015 com as características básicas de posição em relação à frente oceanográfica na CBM, altura da CLAM, IWV e sistema atmosférico sinótico atuante. (OP/RS) refere-se ao número da OP e a radiossonda, (N°) refere-se ao número do lançamento na tabela geral, (lat/lon) são dos dados de latitude e longitude respectivamente da posição do lançamento da radiossonda, (CBM, Q=lado quente e F=lado frio) refere-se ao lado da frente oceanográfica na CBM, (IWV) é o vapor d'água verticalmente integrado dentro da CLAM, (sistema) refere-se ao sistema sinótico atmosférico atuante no momento do lançamento da radiossonda.	54
Tabela 5 - Sistemas atmosféricos sinóticos atuantes na CBM no período 2004 a 2015 para a coleta de dados pelo Programa INTERCONF nos meses de outubro ou novembro.	58
Tabela 6 - Valores médios e desvio padrão desvios padrão (σ) referentes aos lados quente e frio da CBM das variáveis pressão, TSM, temperatura do ar a 10 metros (T_{ar}), altura da CLAM, intensidade média do vento, umidade específica a 10 metros (q), vapor d'água verticalmente integrado (IWV), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (Le).....	64
Tabela 7 - Descrição das datas e horários dos dados observacionais, CFSR e AIRS usados para comparação nesse trabalho.	104
Tabela 8 - Coeficiente de Correlação de Pearson médios (ρ) entre dados observados, reanálises CFSR e perfiladores atmosféricos AIRS com seus respectivos desvios padrão (σ)	110
Tabela 9 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado quente da CBM.....	112
Tabela 10 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM.....	112

Tabela 11 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM.	114
Tabela 12 -- Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM.	114
Tabela 13 – Radiossondagens comparadas com perfis AIRS e CFSR sob diferentes condições atmosféricas. As órbitas do Aqua ascendente (A) ou descendente (D) foram escolhidas de acordo com o horário mais próximo daquele da radiossondagem. Perfis com presença de ar (S) seco (P) parcialmente úmido (U) úmido.....	115
Tabela 14 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado quente da CBM para a RS05/OP32.....	121
Tabela 15 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado quente da CBM para a RS05/OP32.....	121
Tabela 16 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado quente da CBM para a RS13/OP33.....	121
Tabela 17 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM para RS13/OP33.....	121
Tabela 18 - Média, viés e EQM entre perfis de temperatura do ar observados e obtidos por CFSR e AQUA para o lado quente da CBM para a RS02/OP33.....	125
Tabela 19 - Média, viés e EQM entre perfis de umidade específica observados e obtidos por CFSR e AQUA para o lado quente da CBM Brasil para a RS02/OP33.....	125
Tabela 20 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM para a RS14/OP32.....	125
Tabela 21 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM para RS14/OP32.....	125
Tabela 22 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado quente da CBM para RS05/OP33 para RS05/OP33....	129
Tabela 23 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado quente da CBM para RS05/OP33.....	129
Tabela 24 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM para RS05/OP33 para RS11/OP32.....	129
Tabela 25 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM para RS11/OP32 (* dados indisponíveis).....	129

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIRS	Atmospheric Infrared Sounder
AMSR-E	Advanced Microwave Scanning Radiometer - Earth Observing System
OP	Operação Antártica
ETR	Equação da Transferência Radiativa
AO	Flux Objectively Analyzed air-sea Fluxes
AS	América do Sul
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
ATOVS	Advanced TIROS Operacional Vertical Sounder
CA	Corrente das Agulhas
CB	Corrente do Brasil
CBM	Confluência Brasil-Malvinas
CCB	Corrente Costeira do Brasil
CFSv2	Climate Forecast System versão 2
CLA	Camada limite atmosférica
CLAM	Camada limite atmosférica marinha
CLO	Camada limite oceânica
CLO	Camada Limite Oceânica
CM	Corrente das Malvinas
CSA	Corrente Sul Atlântica
CSE	Corrente Sul Equatorial
CTD	Conductivity, Temperature, Depth
CV	Covariância de Vórtices
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EMA	Estação Meteorológica Automática
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
ENSO	El Nino Oscilação Sul
EQM	Erro quadrático médio
F _s	Fluxo de dióxido de carbono
GFS	Global Forecasting System
GPS	Global Positioning System
H	Fluxo de calor sensível
INTERCONF	Interação Oceano-Atmosfera na Região da Confluência Brasil-Malvinas

IWV	Integrated Water Vapor
Le	Fluxo de calor latente
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NCEP	National Center for Environmental Prediction
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NPo	Navio de Pesquisa Oceanográfica
OAS	Oceano Atlântico Sudoeste
Q_{SUP}	Umidade específica do ar em superfície
RAOB	Radiosonde observations
RICO	Rain in cumulus over the ocean
Tar	Temperatura do ar
TSM	Temperatura da superfície do mar
UR	Umidade relativa
VCAN	Vórtice ciclônico de altos níveis
XBT	Expendable Bathy-Thermograph

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1. MOTIVAÇÃO, IMPORTÂNCIA E OBJETIVOS.....	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1. VAPOR D'ÁGUA	22
2.2. CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA E INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA.....	26
2.3. SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NA REGIÃO DE ESTUDO	29
2.4. UTILIZAÇÃO DE PERFILADORES ATMOSFÉRICOS A BORDO DE SATÉLITES.....	32
3. METODOLOGIA.....	35
3.1. ÁREA DE ESTUDO	35
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.2.1. Dados observacionais tomados <i>in situ</i>	37
3.2.2. Dados de reanálises atmosféricas	40
3.2.3. Dados de Satélite	41
3.2.4. Estimativa do Topo da Camada Limite Atmosférica Marinha	48
3.2.5. Vapor d'água atmosférico.....	48
3.2.6. Estatística básica.....	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
4.1. VAPOR D'ÁGUA ATMOSFÉRICO NA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA MARINHA SOBRE A REGIÃO DA CBM.....	53
4.1.1. Identificação das correntes oceânicas, sistemas atmosféricos e topo da CLAM	53
4.1.2. Estimativa do vapor d'água na camada limite atmosférica marinha.....	58
4.1.3. Perfis médios da CLAM na CBM.....	62
4.1.4. Aspectos gerais da velocidade e direção do vento observado sobre a CBM	65
4.1.5. Estimativa do vapor d'água sob atuação de sistemas sinóticos distintos	68
4.2. COMPARAÇÃO ENTRE PERFIS ATMOSFÉRICOS OBSERVACIONAIS, REANÁLISES E PERFILADORES ATMOSFÉRICOS A BORDO DE SATÉLITES	103
4.2.1. Diagramas de dispersão de temperatura do ar e umidade específica	103
4.2.2. Viés e erro quadrático médio entre os perfis verticais de temperatura do ar	110
4.2.3. Viés e erro quadrático médio entre os perfis verticais de umidade específica.....	112
4.2.4. Estudos de caso em diferentes condições atmosféricas.....	114
5. CONCLUSÕES.....	132
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera é um dos reservatórios de água do planeta, porém o menor deles, contribuindo com apenas 0,001% da massa total presente. Ao mesmo tempo, os oceanos contêm 97% da massa total de água do planeta, as calotas polares da Antártica e da Groenlândia contêm 2,4% e os reservatórios de água continental contribuem com a percentagem restante. Mesmo sendo uma pequena contribuição no valor total da massa de água do nosso planeta, o efeito da água presente na atmosfera é fundamental, pois o vapor d'água na atmosfera é um importante absorvedor da radiação solar, da radiação de onda longa planetária e, após a condensação, as gotas de água líquida podem refletir a radiação solar de volta ao espaço e interagir com a radiação de onda longa da superfície e da atmosfera (WELLS, 1997).

O vapor d'água na atmosfera é altamente variável em escala espacial e, em menor magnitude em escala temporal interanual, porém a energia latente (quando a água é evaporada) associada é significativamente importante para o balanço climático da Terra. Em escala climática interanual por exemplo, variações na distribuição do vapor d'água atmosférico ocorrem em decorrência de maiores variações da temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Tropical associadas ao evento El Niño - Oscilação Sul (ENSO), tornando esse fenômeno um dos mais conhecidos fenômenos de acoplamento oceano-atmosfera que afetam o clima global.

Além da troposfera, eventuais mudanças na concentração de vapor d'água na estratosfera também podem influenciar no clima do planeta. No caso da estratosfera, o vapor d'água pode ser o componente atmosférico com maior potencial para intensificar o efeito estufa. As moléculas de água que interagem com a radiação solar e com a radiação de onda longa emitida pela superfície do planeta são responsáveis por 2/3 do efeito estufa natural. Devido a essa absorção, o clima e a vida na terra se mantêm nos dias atuais através de superfície e atmosfera aquecidas (IPCC, 2007).

Em microescala, o vapor d'água também exerce influências significativas nas estimativas diretas de fluxos de calor (especialmente calor latente) entre o oceano e a atmosfera. Estudos pretéritos demonstram que o vapor d'água é uma das variáveis que mais contribuem para erros nas medidas dos fluxos, principalmente as medidas diretas realizadas a partir de torres micrometeorológicas instaladas em navios e as estimativas desses fluxos realizadas através de parametrizações ou "*bulk formulas*" (LARGE, 1982; CHOU, 1995; MAHRT, 2010).

O avanço no entendimento do tempo, do clima e das mudanças climáticas precisa avançar continuamente, abrangendo as contribuições individuais dos diferentes componentes do sistema terrestre e do sistema climático e de suas interações. Há grandes questões ainda não respondidas sobre essas interações, especialmente no que diz respeito aos processos de interação oceano-atmosfera especialmente no Oceano Atlântico Sul (PEZZI et al. 2016a).

1.1. MOTIVAÇÃO, IMPORTÂNCIA E OBJETIVOS

Estudos recentes de Pezzi et al. (2005, 2009), Camargo et al. (2013), Acevedo et al., (2010) demonstram a importância da região da CBM para a modulação de processos atmosféricos como os fluxos de calor, a estabilidade da camada limite atmosférica e a magnitude dos ventos, por exemplo. Embora descrevam importantes processos e fenômenos ligados ao acoplamento oceano-atmosfera nessa região do Oceano Global, esses trabalhos não se interessaram em estudar com maior profundidade a concentração de vapor d'água na atmosfera, os efeitos dos gradientes de TSM locais e da atividade sinótica atmosférica sobre essa variável.

Pelo fato de que o Oceano Atlântico Sul é de fundamental importância para análise e previsão do tempo e clima na região sul e sudeste do Brasil (PEZZI et al. 2016a) e pela falta de conhecimentos fundamentais sobre o papel dos gradientes termais horizontais que ocorrem especialmente nas regiões de frentes oceanográficas desse oceano sobre o conteúdo de vapor d'água na atmosfera, o estudo apresentado aqui tem como principal motivação trazer novas informações sobre o papel dos gradientes de TSM sobre o vapor d'água atmosférico sobre o Oceano Atlântico Sul. Devido ao fato de que o Brasil tem, através do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) um programa de coleta de dados atmosféricos e oceânicos consistente a partir de navios numa das regiões de mais altos gradientes de TSM do Atlântico Sul, espera-se avaliar os processos que caracterizam a concentração do vapor d'água em diferentes escalas espaciais e temporais sobre essa região, conhecida como a Confluência Brasil-Malvinas (CBM).

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo principal deste estudo é avaliar, a partir de dados tomados *in situ*, dados de reanálises e de sondadores atmosféricos a bordo de satélites, o papel dos gradientes de TSM e da passagem de sistemas atmosféricos transientes de escala sinótica sobre a região da CBM em

determinar a variabilidade espacial e temporal da concentração de vapor d'água dentro da camada limite atmosférica marinha (CLAM) na região. O período desse estudo se dá entre 2004 e 2015 quando dados *in situ* foram tomados entre os meses de outubro e novembro de cada ano por navios de pesquisa brasileiros na região da CBM.

1.1.2. Objetivos Específicos

Para cumprir o objetivo traçado, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- (a) Quantificar a concentração do vapor d'água atmosférico na CLAM e ao nível do mar nos lados quente e frio da CBM e em distintas situações sinóticas da atmosfera determinando quais fatores modulam localmente essas concentrações;
- (b) Comparar dados de temperatura do ar e umidade específica medidos *in situ* com dados disponíveis por reanálises e perfiladores atmosféricos a bordo de satélites, quantificando suas diferenças na CLAM tanto para perfis médios quanto para perfis individuais em situações de diferentes concentrações de vapor d'água na atmosfera.

Esta tese está organizada em 5 capítulos, a começar pelo capítulo de introdução, seguido pelo capítulo 2 de revisão bibliográfica que aborda a importância do vapor d'água e os principais temas discutidos. O capítulo 3 apresenta a área de estudo, os dados utilizados e a metodologia usada para análise dos dados bem como as ferramentas estatísticas usadas. O capítulo 4 de resultados é subdividido em duas seções, abordando 1) o vapor d'água atmosférico na camada limite atmosférica marinha sobre a região da CBM e 2) comparação entre perfis atmosféricos observacionais de temperatura do ar e umidade específica, reanálises e perfiladores atmosféricos a bordo de satélites. Conclusões são mostradas no capítulo 5.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. VAPOR D'ÁGUA

O vapor d'água desempenha papel fundamental nos processos físicos que ocorrem na atmosfera, por exemplo, na transferência de radiação na atmosfera e no transporte e liberação de calor latente. A distribuição da liberação de calor latente é um tema que começou a receber considerável atenção na década de 1990, especialmente com o crescente interesse científico sobre as escalas de variabilidade inter e intrasazonal, muitos especialmente focando no acoplamento entre a hidrologia e dinâmica atmosférica (STEPHENS, 1990).

Para o sistema climático global, o vapor d'água é de fundamental importância, pois afeta diretamente o balanço de energia da superfície terrestre por meio da formação de nuvens e dos fluxos radiativos, além de estabelecer a ligação entre a superfície do planeta e atmosfera através do ciclo hidrológico, estando envolvido no importante processo de realimentação deste ciclo pois, à medida que aumenta a temperatura da atmosfera, mais vapor d'água pode ser armazenado (YAMASAKI, 2006; NYGARD, 2013). Essa relação foi descrita primariamente descrita através da Equação de Clausius-Clapeyron:

$$\frac{1}{e_s} \frac{de_s}{dT} = \frac{L_v(T)e_s}{R_v T^2} \quad (2.1)$$

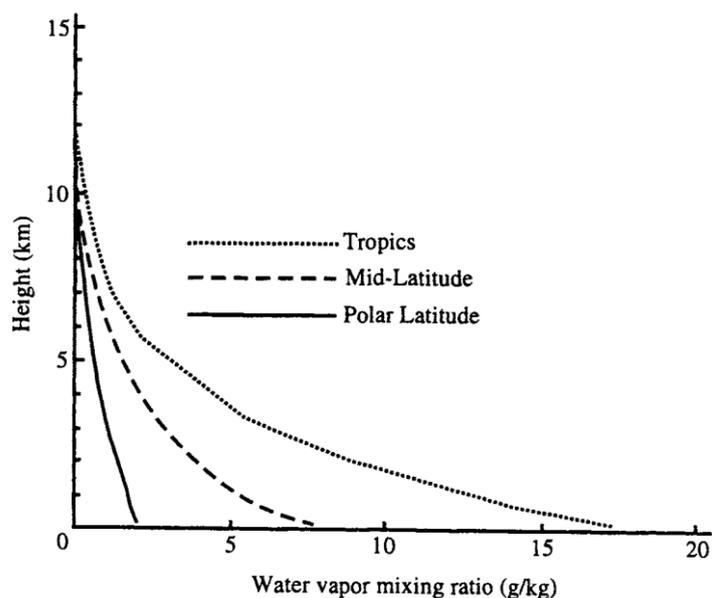
onde e_s é a pressão de vapor de saturação, T é a temperatura, L_v é o calor latente específico de evaporação da água e R_v é a constante do gás, matematicamente descrita abaixo (WALLACE e HOBBS, 2006).

A partir do ponto de vista termodinâmico, o vapor d'água é o gás mais importante na atmosfera por causa das suas propriedades radiativas, bem como a sua capacidade para condensar sob certas condições atmosféricas. Embora varie no tempo e espaço, o vapor d'água constitui 0-4% da concentração atmosférica de gases. A Figura 1 apresenta a distribuição de vapor d'água na atmosfera e sua variação de acordo com a altura e latitude, indicando que a superfície é a principal fonte de vapor d'água atmosférico, fazendo com que, em geral, a concentração máxima desse gás se encontre perto da superfície da Terra (CURRY, 1999).

A concentração de vapor d'água na atmosfera decresce muito rapidamente tanto em altitude quando meridionalmente, considerando que a maior parte do vapor d'água atmosférico

está dentro dos primeiros 5 km a partir da superfície e que no equador a concentração é cerca de dez vezes maior do que nos polos. Esses rápidos declínios em direção ao topo da atmosfera e aos polos associa-se com a temperatura do ar: maiores temperaturas são associadas a uma maior concentração de vapor d'água (HARTMANN, 1994).

Figura 1 - Perfis de vapor d'água inferidos a partir de dados de razão de mistura (média anual) demonstrando que o vapor d'água atmosférico diminui com a altura e latitude. A linha pontilhada refere-se aos trópicos, a linha tracejada refere-se a latitudes médias e a linha cheia refere-se a latitudes polares.



Fonte: (Oort, 1983).

Em escala espacial e em termos de energia latente (quando a água é evaporada), o vapor d'água na atmosfera é altamente variável e significativamente importante para a atmosfera. Na escala temporal (sazonal ou anual), no entanto, o vapor d'água varia pouco. Já na escala interanual, um exemplo de forte variabilidade na distribuição do vapor d'água atmosférico ocorre em decorrência de maiores variações na temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Tropical associadas ao evento El Niño - Oscilação Sul (ENSO) (CURRY, 1999).

Na atmosfera, o vapor d'água também diminui com a altura à medida que a temperatura da atmosfera diminui. Em decorrência disso, cerca de 50% do vapor d'água na atmosfera está localizado entre o nível do mar e 1500 m acima deste nível, menos de 6% está acima de 5 km e menos de 1% na estratosfera (GAFFEN et al., 1992a, GAFFEN et al., 1992b).

Na atmosfera, a magnitude da concentração de vapor d'água, dada pela razão de mistura (r) definida como a massa de vapor d'água (usualmente em gramas) por unidade de massa de ar seco (usualmente em kg). A razão de mistura varia tipicamente de algumas gramas por quilograma em latitudes médias até valores em torno de 20 g/kg nos trópicos. Não havendo nem condensação nem evaporação, a relação de mistura de uma parcela de ar é constante (WALLACE e ROBBS, 2006).

A formação de chuvas é causada pela condensação de vapor d'água formando gotas de água líquida ou formação de gelo diretamente do vapor ou do congelamento de gotas d'água. O regime de chuvas em determinado local é resultante de uma série de eventos com fatores diversos em escalas de espaço e tempo, misturando fatores locais e remotos, sendo que o regime de precipitação em um local pode afetar o tempo em outras regiões. Esses processos de interações a distância (teleconexões) baseiam-se em processos que incluem a formação e propagação de ondas atmosféricas, continuidade de massa e mudança de fase da água. O processo de condensação de 1 g de água libera aproximadamente 2500 J de calor latente de condensação, aquecendo o ar que, por consequência, torna-se mais leve e sobe, acarretando a formação de nuvens (DIAS et al, 2009).

Large e Ponde (1982) mostraram que os oceanos armazenam energia que é transferida para a atmosfera na forma de fluxos de calor, que são influenciados primariamente pela diferença de temperatura entre a superfície do mar e a atmosfera, pelo processo de evaporação e pela velocidade do vento. Considerando-se que o oceano é fonte de transferência de umidade para a atmosfera pelo processo de evaporação com influência direta do vento, a superfície do mar controla o fluxo de calor latente entre ele e a atmosfera. Segundo os autores, os fluxos de calor latente sobre o oceano têm seus menores valores por volta da 1 h e os máximos valores por volta das 16 h local, acompanhando o ciclo diurno da variação da TSM.

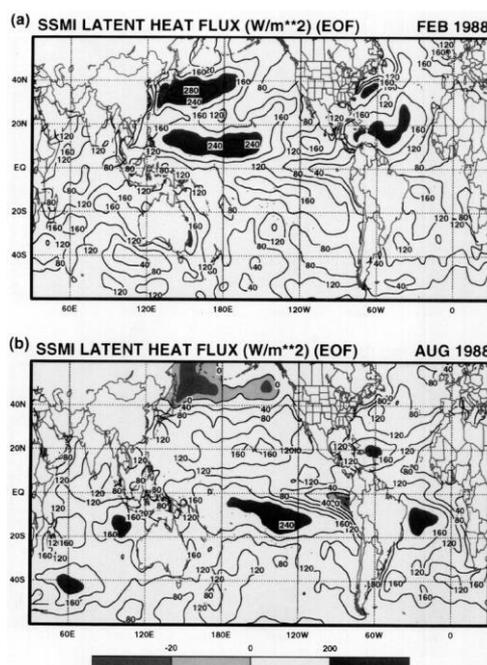
Dados de reanálises atmosféricas como os do NCEP (National Centers for Environmental Prediction) que se baseiam em vapor d'água são conhecidos por subestimar significativamente o fluxo de calor latente de superfície quando comparado com as observações de navios. Estudos sobre a Corrente das Agulhas mostram que o vapor d'água na região dá aporte às tempestades direcionadas para o continente africano, podendo ter uma contribuição real ainda maior que a documentada nos estudos sobre a região devido justamente a esses erros nas estimativas de vapor d'água (ROUAULT ET al., 2002).

Em um estudo recente sobre o Oceano Atlântico, Noele et al. (2010) descreveu que os fluxos de calor latente têm magnitude muito maior que aqueles de calor sensível. O calor sensível apresentou maiores intensidades entre as 5 h e 7 h locais, coincidindo com as maiores

diferenças entre a TSM e a temperatura do ar. Os mínimos valores de fluxo de calor sensível observados foram encontrados por volta de 10 h, quando a velocidade do vento apresentou seus valores máximos. Os resultados demonstram que o fluxo de calor sensível é dirigido pela diferença de temperatura entre o oceano e a atmosfera. O fluxo de calor latente sobre o oceano, por outro lado, teve seus menores valores por volta da 1 h, e os máximos valores por volta das 16 h, acompanhando o ciclo diurno da variação da TSM.

O fluxo de calor latente varia fortemente com o tempo e espaço, estando diretamente ligado a variação de vapor d'água e altamente relacionado com atividades sinóticas. Conforme o mostrado na Figura 2, no oceano o fluxo máximo de calor latente pode ser encontrado sobre águas quentes como as da Corrente de Kuroshio e da Corrente do Golfo, no hemisfério norte. O fluxo é maximizado durante passagens de ar seco e frio (frentes frias), onde ocorrem grandes diferenças de umidade e ventos intensos (CHOU et al., 1995).

Figura 2 – Médias Mensais dos fluxos de calor latente para (a) Fevereiro e (b) Agosto de 1988 usando o esquema proposto por Chou (1993).



Fonte: (Chou, 1995).

Valendo-se de dados do programa INTERCONF (Interação Oceano-Atmosfera na Região da Confluência Brasil-Malvinas) obtidos entre 2002 e 2005 nas Operações Antárticas 23 a 26 (OP23 a OP26), Pezzi et al. (2009) analisaram as condições oceânicas e atmosféricas sinóticas durante a realização de vários cruzeiros de pesquisa sobre a região da CBM no Oceano

Atlântico Sul. Os autores determinaram as magnitudes dos fluxos de calor latente e sensível nos dois lados (quente e frio) da frente oceanográfica e demonstraram que, de maneira geral, as diferenças entre os fluxos de calor dos dois lados da frente devem-se ao forçamento local da TSM e à atividade atmosférica sinótica.

Usando as análises de Pezzi et al. (2009) como base, Acevedo et al. (2010) caracterizaram os campos sinóticos referentes às passagens de frentes frias sobre a primeira região da CBM, descrevendo períodos de transição entre frentes frias e mostrando que, na região, são comumente observadas condições bem estabelecidas de advecção quente e fria com forte acúmulo de vapor d'água perto da superfície do mar. Os autores sugerem que as parametrizações ("*bulk formulas*") atualmente existentes podem falhar sob condições atmosféricas de estratificação muito forte tendendo a gerar, como consequência, erros nas estimativas de fluxos calor sensível e latente.

Estudos anteriores como Santorelli et al. (2011) afirmam que as incertezas nas estimativas de fluxos turbulentos entre o oceano e a atmosfera podem ser mais bem avaliadas através da análise das variáveis usadas para calculá-las. Os autores mostraram que a temperatura do ar e a umidade específica são as variáveis que mais contribuem para o viés entre os dados de fluxos de calor latente e sensível usados no estudo.

2.2. CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA E INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA

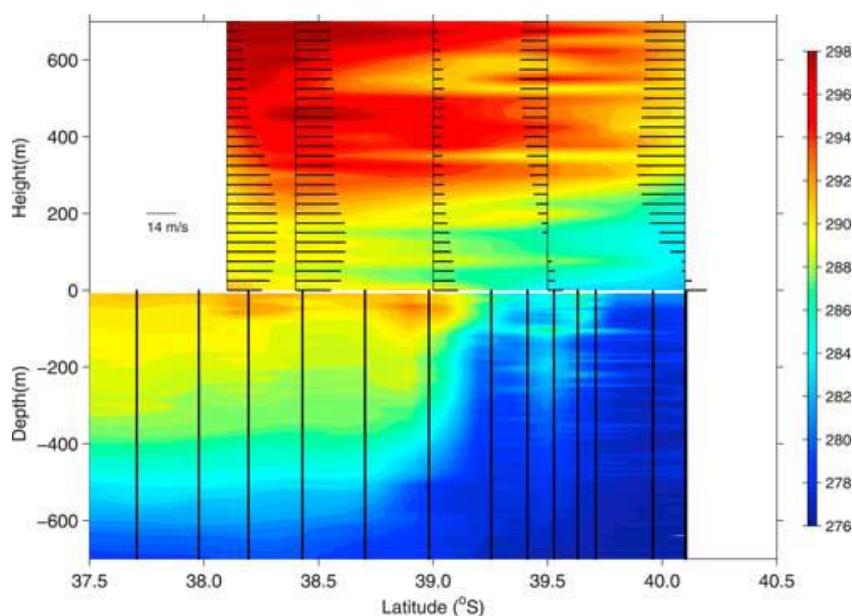
Segundo Stull (1988), a Camada Limite Atmosférica (CLA, assim como a Camada Limite Atmosférica Marinha - CLAM) é a região atmosférica mais baixa da troposfera sendo diretamente influenciada por processos em superfície respondendo às forçantes superficiais com uma escala de tempo de uma hora ou menos. Devido à sua interação com a superfície, a CLA torna-se em geral turbulenta e sua composição (poluentes e vapor d'água por exemplo) dispersam-se por ação dessa turbulência, sendo capaz de ocupar todo o seu volume, conforme as fontes emissoras e as propriedades físicas e químicas das substâncias.

A compreensão das variações dos fluxos de calor, umidade e *momentum* dentro da CLAM no Oceano Atlântico Sul é de fundamental importância no tempo e clima do Brasil. Apesar dessa compreensão ser pouca no momento, há um crescente número de estudos (PEZZI et al., 2005; 2009; ACEVEDO et al., 2010; CAMARGO et al., 2013; PEZZI et al., 2016a) sobre os processos de interação oceano-atmosfera no Oceano Atlântico Sul e, especialmente, na região da sua parte ocidental conhecida como Confluência Brasil-Malvinas (CBM).

Os possíveis mecanismos responsáveis pelo acoplamento entre oceano e atmosfera, considerando variáveis como a TSM e seus contrastes laterais no oceano, as características da Camada Limite Oceânica (CLO) e suas relações com as características da CLAM na região da CBM começaram a ser estudadas a partir da possibilidade de se realizarem estudos *in situ*, através dos navios da Marinha do Brasil que servem ao PROANTAR. O primeiro cruzeiro de pesquisa realizado no PROANTAR para estudar o acoplamento oceano-atmosfera na região da CBM ocorreu durante a Operação Antártica 23 (outubro de 2004) através do Programa INTERCONF (Interação Oceano-Atmosfera na Região da Confluência Brasil-Malvinas).

A maior parte dos estudos realizados pelo INTERCONF desde então demonstram que, na ausência de sistemas atmosféricos transientes atuantes na região, do lado frio da CBM onde predominam as águas frias e relativamente menos salinas da Corrente das Malvinas (CM), a CLAM tende a ser mais estável, mais rasa e com ventos em superfície menos intensos apresentando forte cisalhamento vertical conforme é mostrado na Figura 3, do lado quente da CBM, onde predominam as águas da Corrente do Brasil (CB) a CLAM é mais bem desenvolvida (mais alta) e caracterizada por uma maior turbulência e instabilidade, com ventos consequentemente mais intensos e com pouco cisalhamento vertical (PEZZI et al., 2005; 2009; ACEVEDO et al., 2010; CAMARGO et al., 2013; PEZZI et al., 2016a).

Figura 3 – Perfis de temperatura (K) da atmosfera e do oceano medidos simultaneamente por radiossondas e XBTs a partir do navio Ary Rongel durante os dias 1-3 de novembro de 2004. Vetores de vento meridional ($m.s^{-1}$).



Fonte: (Pezzi et al, 2005).

Camargo et al. (2013), em um estudo pioneiro que se valeu de dados *in situ* e de experimentos numéricos com o modelo BRAMS (Brazilian Regional Atmospheric Modeling System), apontaram as influências dos padrões de TSM no mecanismo de modulação da CLAM, seus impactos sobre os mecanismos físicos que determinam a estabilidade da CLAM: (1) os processos de estabilidade estática e (2) o balanço hidrostático. Os autores comprovaram a influência dos padrões de TSM no mecanismo de modulação dos ventos em superfície (mais intensos sobre a CB e sobre a frente oceanográfica da CBM) e da própria estrutura da CLAM não conseguindo, no entanto, definir precisamente qual dos dois mecanismos de determinantes da estabilidade estariam prevalecendo na região da CBM.

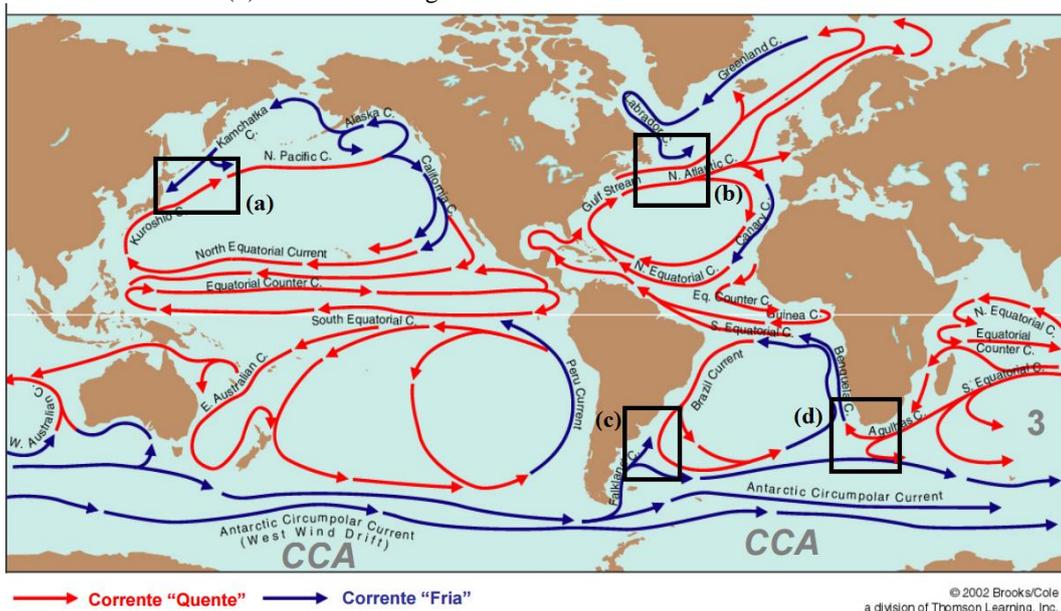
Estudos sobre a influência da mesoescala oceânica no Oceano Atlântico Sudeste através de feições como típicas das frentes oceanográficas, como os vórtices oceânicos, demonstraram que águas mais quentes associadas a vórtices desprendidos da Corrente das Agulhas (CA), próximos do continente africano, transferem para a atmosfera uma energia calorífica de aproximadamente $4 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ e $5,7 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ nas formas latente e sensível, respectivamente (ARSEGO, 2012). Nesse trabalho pioneiro, o autor realizou estimativas da transferência de energia calorífica do oceano para a atmosfera sobre estruturas oceânicas de mesoescala, e demonstrou claramente a importância dos vórtices de mesoescala nas trocas de calor entre o oceano e a atmosfera durante seus ciclos de vida que duram cerca de 2-3 meses na região da CBM.

Com dados de um experimento até então inédito para a costa sul do Brasil, Pezzi et al. (2016b), descreveram o acoplamento sinótico entre o oceano e a atmosfera entre os dias 12 e 20 de junho de 2012, quando as águas quentes da Corrente do Brasil (CB) e as águas frias da Corrente Costeira do Brasil (CCB) formaram um gradiente lateral zonal na região da quebra de plataforma continental da região sul do Brasil. Os autores descrevem que os contrastes horizontais de TSM que ocorrem na costa sul brasileira são tão intensos quanto aqueles encontrados na região da CBM. Novas evidências demonstram que os intensos gradientes termais da frente oceanográfica CB/CCB, os sistemas transientes que passam pela região e a advecção térmica têm grande importância na modulação da estrutura da CLAM e dos fluxos de calor e CO₂ nesse local e época do ano, tendo prováveis impactos (não determinados) na previsão do tempo local.

Assim como a CBM, a Corrente do Golfo, a Corrente de Kuroshio e a Corrente das Agulhas são regiões de frentes oceanográficas fortes e bem definidas que exibem intensos gradientes de TSM, essas regiões são mostradas na Figura 4. Chow et al. (2015) mostraram que na Corrente de Kuroshio no inverno e primavera, fora do nordeste da ilha de Taiwan no Oceano

Pacífico, as intrusões de água quente da Corrente de Kuroshio na plataforma continental causam um grande aumento na TSM local, intensificando os ventos de monção e levando a aumentos no vapor d'água e na precipitação. Muitos fenômenos atmosféricos estão relacionados à advecção anômala de calor pelas intrusões da Corrente de Kuroshio causadas, em grande parte, pela propagação para oeste de vórtices oceânicos.

Figura 4 – Principais correntes superficiais oceânicas. Regiões marcadas com retângulo preto representam: (a) Corrente do Golfo (b) Corrente de Kuroshio (c) Confluência Brasil-Malvinas (d) Corrente das Agulhas.



Fonte: (Adaptada de Garrison, T. S., 2015).

Roualt et al. (2002) reportam que altas taxas de evaporação são encontradas acima de correntes de contorno oeste quentes, como a Corrente do Golfo, Kuroshio e a Corrente de Agulhas. No caso da Corrente das Agulhas, que corre ao largo da costa sudeste da África e pelo Canal de Madagascar, o elevado fluxo de calor latente pode levar a um aumento da advecção atmosférica de umidade próxima à costa leste africana e a uma intensificação local de sistemas de tempestades.

2.3. SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NA REGIÃO DE ESTUDO

Recentemente Pezzi et al. (2016a) realizaram uma revisão acerca dos processos de interação oceano-atmosfera em regiões de intenso gradiente termal do Oceano Atlântico Sul. Baseando-se em resultados de estudos com dados observacionais, os autores mostraram que a escala atmosférica sinótica tem papel fundamental nos processos de interação oceano-atmosfera

e na modulação da CLAM no Oceano Atlântico Sul. Dessa forma, aspectos importantes da dinâmica superficial desse oceano, assim como sua variabilidade devem ser melhor observados visando determinar a real importância do Oceano Atlântico Sul no tempo e no clima da América do Sul e, especialmente, das regiões sul e sudeste do Brasil. Nessas regiões, as passagens distúrbios transientes como sistemas frontais, ciclones, sistemas convectivos de mesoescala, sistemas ciclônicos de níveis médios e os vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN), alteram a circulação atmosférica e determinam as condições de tempo. Muitos desses processos podem estar diretamente relacionados às condições oceânicas.

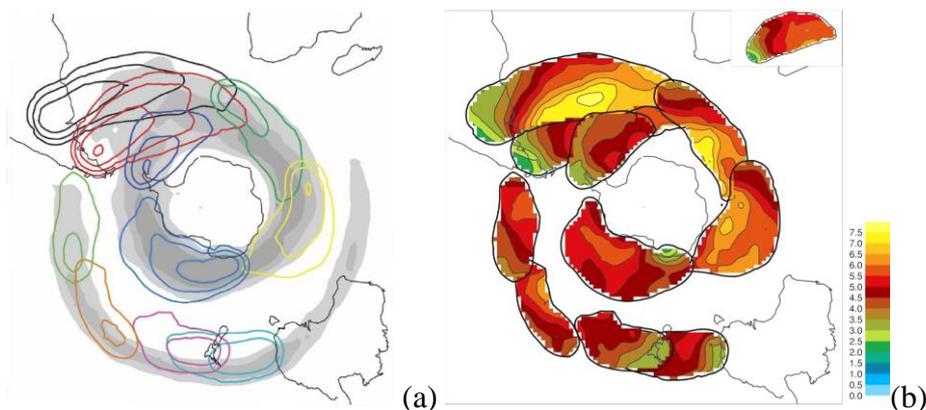
Em um estudo recente, Acevedo et al. (2010) analisaram o ciclo atmosférico sinótico e perfis verticais na CLAM em ambos os lados quente e frio da CBM obtidos por radiossondas em experimentos realizados pelo INTERCONF com coleta de dados nos meses outubro ou novembro entre os anos de 2003 e 2008. Os autores observaram que diferentes padrões de advecção termal são observados nas diferentes fases do ciclo sinótico, resultando em diferentes padrões da CLAM. Uma CLAM muito estável ocorre em muitas fases do ciclo sinótico, causando um grande acúmulo de umidade próximo à superfície do mar. Os autores observaram também que a advecção de ar quente e frio, típico de condições pré-frontais, frontais e pós-frontais, induzem grandes diferenças na estrutura dinâmica e termodinâmica da atmosfera em ambos os lados da CBM. Além disso, mostraram que os fluxos turbulentos de calor sobre a região também são modulados pelo ciclo sinótico e pelos gradientes de TSM locais.

Gan e Rao (1991), estudando casos de ciclogênese durante os anos de 1979 a 1988, descrevem que a costa leste da América do Sul é uma região favorável para a ocorrência de ciclogênese. Segundo os autores, a formação e intensificação de ciclones nessa região apresentam variações sazonais e espaciais bem marcantes. Os autores, acreditaram que o contraste de temperatura entre continente e oceano, juntamente com o gradiente de TSM da região da CBM, conduzem a situações favoráveis para a intensificação dos fluxos de calor sensível e latente, um dos mais importantes controles para o desenvolvimento de ciclones extratropicais.

Hoskins e Hodge. (2005) através de 45 anos de dados reanalises ERA40 do European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) através de uma análise de rastreamento que se concentrou em sistemas que duram mais de 2 dias e são móveis (mais de 1000 km). Os resultados concordaram com Gan e Rao (1991), porém, os autores mostraram com o uso de dados globais e mais recentes que em todas as estações do ano, a atividade máxima de atividade dos “*Storm Tracks*” está nas regiões do Atlântico e do Oceano Índico. Os autores

também mostraram que existe outra região de ciclogênese localizada ao sul do Oceano Atlântico, na ponta da Península Antártica os resultados são mostrados na Figura 5.

Figura 5 – Estatísticas para as principais regiões de ciclogênese para todos os sistemas identificados (a) Vorticidade em 850 hPa plotada em escalas variando de 0.5 a 4.0. Em escala de cinza são mostradas as densidades das trajetórias preferenciais pela vorticidade em 250 hPa (b) Intensidade média dentro do contorno de densidade de 0.5 em unidades de $10^{-5}s^{-1}$. Em destaque na parte superior à direita está a região da Península Antártica.



Fonte: (Hoskins e Hodges, 2005)

A influência dos gradientes termais da região da CBM sobre o tempo na região sul do Brasil foi analisada por Kaufmann e Anabor (2010) através da análise de quatro eventos de advecção de nebulosidade rasa sobre o sul do Brasil. Essa nebulosidade baixa foi causada pela atuação de anticiclones transientes na região da CBM entre 2007 e 2009. Os autores mostraram que, nos quatro casos analisados, a borda da alta pressão esteve localizada sobre o sul do Brasil e conduziu ventos da região de grandes gradientes de TSM da CBM para o continente sul americano. Os autores concluíram que existe uma dependência da advecção de nebulosidade rasa no sul do Brasil com relação à direção do escoamento em baixos níveis e ao gradiente de TSM do oceano na região da CBM.

A passagem de frentes frias sobre a superfície do mar também foi objeto de estudos sobre a Corrente do Golfo, no hemisfério norte adjacente à costa leste americana e sobre a região de Cabo Frio, adjacente à costa sudeste brasileira. Os autores concluíram que o aumento da velocidade do vento com a passagem de uma frente fria tem impacto considerável sobre o oceano, influenciando diretamente os fluxos de calor para a atmosfera e promovendo um aumento vertical da profundidade da CLO (termoclina) e um aumento da espessura da CLAM. (YUE et al., 2011; DOURADO e OLIVEIRA, 2001).

A região da CBM também pode ser influenciada diretamente pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A variabilidade da ASAS ao longo do ano é caracterizada por uma

oscilação zonal em períodos de seis meses, com sua posição mais a leste ocorrendo em outubro e abril e a posição mais a oeste ocorrendo em julho, agosto e de janeiro a março. Para o período a ser analisado no presente estudo (outubro, novembro) sabe-se que a ASAS varia bastante com respeito à sua abrangência espacial e intensidade. No mês de outubro, a ASAS tende a intensificar-se e expandir-se. Essa expansão pode contribuir para a intensificação do vento em superfície e, conseqüentemente, para a intensificação do transporte superficial da Corrente do Brasil que carrega águas mais quentes de origem tropical. Essa intensificação na circulação anticiclônica gera um aumento de advecção fria na parte leste do ASAS, transportando ar mais frio desde uma região próxima ao polo para regiões de menores latitudes. Também há um aumento da advecção quente no ramo oeste da ASAS que induz ao transporte de ar quente desde próximo ao equador até a região sul do Brasil e Bacia do Rio da Prata, estendendo-se até a região da CBM (MACHEL et al., 1998).

2.4. UTILIZAÇÃO DE PERFILADORES ATMOSFÉRICOS A BORDO DE SATÉLITES

O desenvolvimento e uso de perfiladores atmosféricos a bordo de satélites é de extrema importância para a aquisição de informações globais, especialmente sobre regiões remotas onde a instalação de instrumentos ou sondagens para observações a partir da superfície sejam muito difíceis. Esse é o caso dos oceanos e das regiões de florestas. A previsão numérica de tempo que faz uso de modelos matemáticos, em particular no hemisfério sul, necessita de um volume de dados e de uma distribuição espacial difícil de ser obtida a partir de dados convencionais. Nesse caso, as medidas via satélite suprem a falta de dados para o hemisfério sul, pois pode-se obter muitas das informações que as radiossondagens convencionais oferecem (TIAN, 2013).

O satélite Aqua, em órbita nos dias de hoje, oferece uma nova geração de sensores para a obtenção de informações sobre o ciclo da água no planeta. Além de perfis verticais de temperatura do ar e umidade específica, os diversos sensores a bordo dessa plataforma oferecem informações sobre a evaporação da água nos oceanos, o conteúdo de vapor d'água na atmosfera, nuvens, precipitação, umidade do solo, gelo sobre os oceanos, gelo na terra, e cobertura de neve nos solos, além de informações sobre os fluxos de energia radiativa, aerossóis, cobertura da vegetação nos solos, fitoplâncton e matéria orgânica dissolvida nos oceanos, a TSM e temperaturas do ar e da superfície continental.

Aumann et al. (2003), baseados no excelente desempenho radiométrico e espectral demonstrado pelo instrumento AIRS (Atmospheric Infrared Sounder) durante os testes de pré-lançamento do satélite Aqua (lançado em 4 de maio de 2002) e depois verificado durante testes

em órbita, demonstram que são esperados melhoramentos substanciais a partir da assimilação dos dados AIRS especialmente nas medidas de temperatura do ar em relação a sondadores anteriores. Os autores descrevem que a assimilação dos dados AIRS na previsão numérica do tempo deve resultar em melhorias significativas no alcance e confiabilidade da previsão.

Yue et al. (2011) analisaram 13 meses de dados de perfis atmosféricos AIRS no período de 1 de Julho de 2006 a 31 de Julho de 2007 e compararam os dados com reanálises do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) e do sensor CALIOP (CloudSat and Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization). O estudo analisou dados entre 40° S e 40° N e mostrou que os perfis recuperados AIRS contém informações de boa qualidade de temperatura do ar e vapor d'água na CLAM sobre os oceanos entre as latitudes citadas anteriormente. Para perfis verticais coincidentes, porém, a CLAM descrita pelos dados AIRS mostra uma estrutura vertical mais suavizada do que aquela do ECMWF.

Divakarla et al. (2006) analisaram perfis recuperados de mais de 2 anos de dados de temperatura do ar e de umidade específica AIRS, comparando-os com medidas RAOB (The Universal Rawinsonde Observation Program) que distribui dados de medições globais de radiossondas, NCEP-GFS (NCEP Global Forecasting System) e ECMWF, além de dados operacionais dos satélites NOAA 16, ATOVS (Advanced TIROS Operacional Vertical Sounder). As observações RAOB foram usadas como referência, as diferenças e EQM (erro quadrático médio) foram computadas para as categorias "mar", "terra" e "todas" para as recuperações AIRS e outros conjuntos de dados colocados. Os resultados da intercomparação revelaram que as recuperações de temperatura do ar e vapor d'água do AIRS concordam bem com os dados RAOB. O EQM para os casos de ausência de nebulosidade sobre as categorias "mar" e "todas" esteve próximo da precisão esperada nos objetivos do trabalho, a saber, 1 K em camadas de 1 km para a temperatura do ar e melhor que 15% em camadas de 2 km para vapor d'água na troposfera.

Martins et al. (2010), utilizaram dados AIRS e dados da campanha RICO (Rain In Cumulus over the Ocean), realizada nas ilhas do Caribe de Antígua e Barbuda na região dos ventos alísios do Oceano Atlântico. Os dados foram utilizados para verificar a exatidão e precisão do produto de suporte do AIRS Versão 5 Nível 2. Os autores mostraram que, devido a uma amostragem vertical melhorada do sensor que é necessária para a estimativa mais precisa das propriedades da CLAM, os resultados apresentaram uma boa concordância entre os dados AIRS e RICO. O estudo foi conduzido sob a atuação de um regime de cúmulos rasos oceânicos, que é conhecido por tornar difícil a análise integrada com outros dados de sensoriamento remoto. Nesses casos de cúmulos rasos, também há uma baixa sensibilidade dos sensores em

relação à fração de nuvem ou terra. O bom desempenho dos dados AIRS sugere que esses possam ser usados para estudos de camada limite global como apoio ao desenvolvimento de parametrizações em regiões de difícil observação *in situ*.

Shimada e Minode (2011) analisaram os mecanismos de ajuste da pressão atmosférica para situações de convergência e divergência do vento em superfície em regiões de importantes frentes oceânicas (Corrente do Golfo, Corrente de Retorno das Agulhas e Confluência Brasil-Malvinas). Os autores utilizaram sondagens por satélite AIRS e dados de escaterômetros (radares de microondas para medidas de vento na superfície do mar) e mostraram que os dados AIRS representam bem as assinaturas de temperatura de ar correspondentes às frentes oceânicas, oferecendo novas evidências da influência da TSM na troposfera média.

Dong et al. (2010) compararam dados coletados a bordo de navios durante a travessia da Passagem de Drake, entre a Antártica e a América do Sul, com dados de temperatura do ar, TSM e umidade específica em superfície para um período de setembro de 2002 a junho de 2007. Eles avaliaram se os dados AIRS forneciam parâmetros suficientemente precisos para estimar fluxos de calor sensível e latente no Oceano Austral. Os autores mostram em seus resultados que a diferença entre a temperatura do ar e a TSM (Tar - TSM), a umidade específica em superfície e a umidade relativa (UR) são os principais fatores que contribuem para as diferenças entre as medidas de temperatura dos satélites e as medidas *in situ* obtidas por navios. Ao comparar vários produtos de fluxos turbulentos usando parametrizações, os autores reportam que os dados AIRS e AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer - Earth Observing System) são os mais capazes de produzir bons valores de fluxos.

3. METODOLOGIA

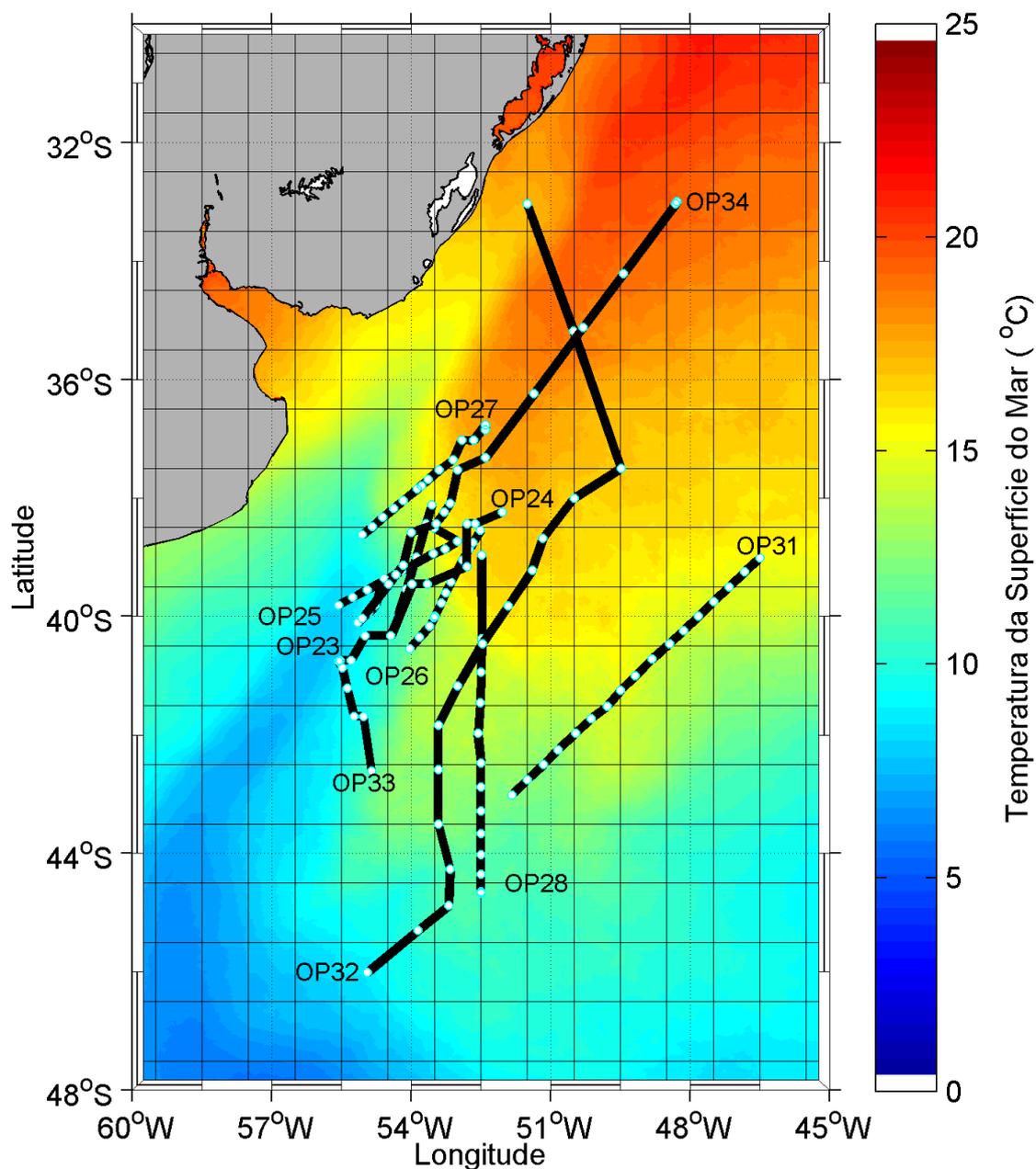
3.1. ÁREA DE ESTUDO

A área que este estudo abrange é localizada no Oceano Atlântico Sudoeste, mais especificamente na região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM), reconhecidamente uma das regiões mais energéticas do Oceano Global. A CBM é caracterizada por fortes gradientes horizontais de TSM entre águas de origem subantártica e águas de origem tropical (LEGECKIS e GORDON, 1982; OLSON *et al.*, 1988). Essas águas, carregadas respectivamente pelas Corrente das Malvinas (CM) e pela Corrente do Brasil (CB), tem seu encontro na região da CBM e caracterizam-se por alta variabilidade espacial e temporal típica de regiões de frentes oceanográficas. A região tem papel fundamental na modulação da CLAM, assim como nos fluxos de calor na interface oceano-atmosfera (PEZZI *et al.*, 2005, 2009, 2016). A Figura 6 mostra a região de estudo e as estações de amostragem *in situ* realizadas sobre diversos transectos percorridos pelos navios do PROANTAR entre 2004 e 2015 pelo Programa INTERCONF.

A interação entre as águas quentes e salinas da CB, e as águas frias e menos salinas da CM resultam em instabilidades causadas pela grande atividade de mesoescala e na formação de meandros e vórtices de mesoescala típicos da região (LEGECKIS E GORDON, 1982; LENTINI *et al.*, 2002). Essas feições, juntamente com as instabilidades da CB e CM, dominam a variabilidade da região (GARZOLI E SIMIONATO, 1990). A região da CBM também se caracteriza por uma forte variabilidade sazonal que pode ser observada através da TSM, que tem um sinal anual bem definido como é típico para todo o Oceano Atlântico Sul (OLSON *et al.*, 1988; PODESTA *et al.*, 1991; SARACENO *et al.*, 2005; CASTRO *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2009).

Reid *et al.* (1977) através de observações *in situ* localizaram a região da CBM, em média, entre 36 °S e 39 °S. O limite sul das águas quentes, associadas com a corrente do Brasil, flutua entre 38 °S e 46 °S. Segundo Lentini (2002), existe uma conexão entre a posição da CBM, e o clima regional do sul do Brasil, Uruguai e parte da Argentina (marcada pela bacia de drenagem Rio da Prata). Os autores consideram que a região da CBM, é um importante regulador do clima regional, principalmente na escala interanual.

Figura 6 - Região de estudo na CBM e localização das estações de amostragem *in situ* do Programa INTERCONF entre 2004 e 2015. A TSM da região é representada pela TSM média para o mês de outubro entre os anos de 2002 a 2015 a partir de dados do sensor MODIS. Os respectivos acrônimos variando de OP23 a OP34 representam os diferentes cruzeiros oceanográficos realizados para a coleta dos dados conforme Tabela 1. A grade sobreposta aos dados é referente aos dados AIRS.



Fonte: (do próprio autor).

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1. Dados observacionais tomados *in situ*

Os dados coletados *in situ* usados neste estudo fazem parte do Programa INTERCONF (Estudo da interação oceano-atmosfera na região da Confluência Brasil-Malvinas), que tem por objetivo geral estudar a dinâmica da região oceânica e atmosférica do Oceano Atlântico Sudoeste e sua relação com os processos oceânicos e atmosféricos dos ambientes de altas latitudes no Oceano Atlântico e Austral. Atualmente o Programa INTERCONF é financiado pelo CNPq através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera (INCT da Criosfera), fase II. O INCT da Criosfera, que é coordenado pelo Centro Polar e Climático (CPC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) tem nove subprojetos coordenados por pesquisadores de diversas instituições. O Programa INTERCONF é coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que mantém o Centro de Estudos de Interação Oceano-Atmosfera-Criosfera (CInt) no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS) em Santa Maria (RS).

As informações sobre os diversos cruzeiros de pesquisa realizados pelo INTERCONF estão detalhadas na Tabela 1. Através do INTERCONF e do INCT da Criosfera, dados atmosféricos e oceanográficos têm sido coletados simultaneamente a cada Operação Antártica (OP) desde o ano de 2004 (OP23) até os dias de hoje, normalmente nos meses de outubro ou novembro de cada ano. Como parte das atividades científicas do PROANTAR, o INTERCONF utiliza os navios da Marinha do Brasil que atendem ao programa. Entre os anos de 2004 e 2009 (OP24 a OP28), utilizou-se o Navio de Apoio Oceanográfico (NApOc.) Ary Rongel (H-44). Da OP31 (2012) em diante, utilizou-se o Navio Polar (NPo.) Almirante Maximiano (H-41) e o INTERCONF passou a coletar dados a partir de uma torre micrometeorológica instalada na proa do NPo. Almirante Maximiano (dados não utilizados aqui). Durante a OP29, as coletas do INTERCONF foram conduzidas em abril de 2011 e seus dados, por não terem sido coletados em outubro ou novembro, não serão utilizados nesse estudo. Os dados coletados durante a OP35 (outubro de 2016), por terem sido coletados muito recentemente, também não serão utilizados nesse estudo. Durante a OP30, o INTERCONF não coletou dados no PROANTAR.

Tabela 1. Localização dos transectos e número de estações oceanográficas realizadas pelo Programa INTERCONF entre 2004 e 2015 com coleta de dados de radiossondas (RS).

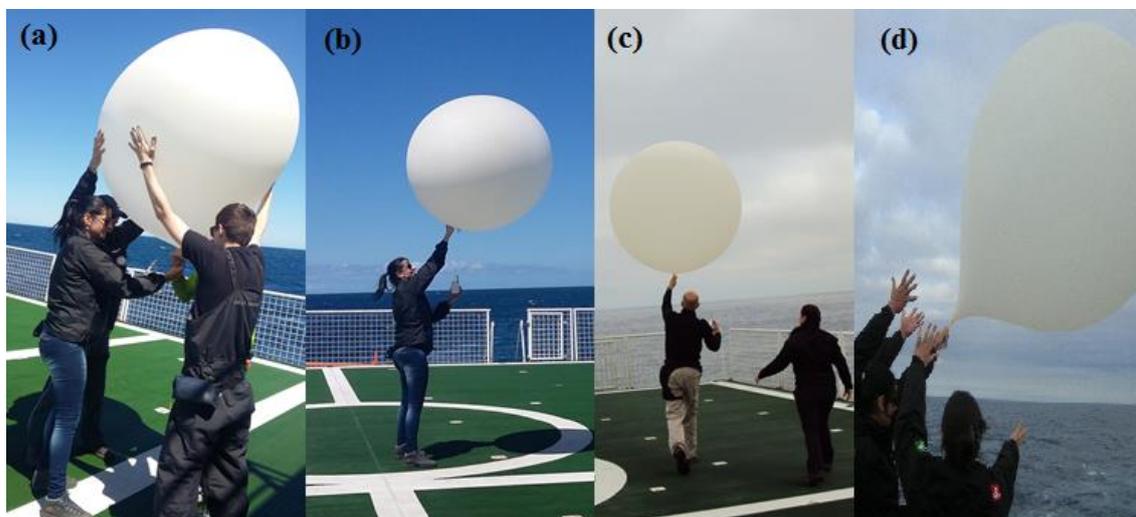
Operação Antártica/ano	Data de coleta de dados	Lat/Lon Início do transecto	Lat/Lon Final do transecto	Tipo de RS	RS lançadas
OP23 / 2004	02 – 03/10/2004	38.12°S / 53.55°W	40.01°S / 54.30°W	RS80	5
OP24 / 2005	28 – 29/10/2005	38.54°S / 52.51°W	40.54°S / 54.03°W	RS90	12
OP25 / 2006	27 – 28/10/2006	38.51°S / 53.51°W	39.81°S / 55.57°W	RS90	10
OP26 / 2007	16 – 17/10/2007	39.52°S / 54.50°W	40.11°S / 55.15°W	RS90	5
OP27 / 2008	14 – 16/10/2008	36.85°S / 52.40°W	37.80°S / 53.78°W	RS92	14
OP28 / 2009	02 – 04/11/2009	37.97°S / 52.46°W	44.67°S / 52.50°W	RS92	15
OP31 / 2012	14 – 16/10/2012	39.01°S / 46.50°W	43.01°S / 51.84°W	RS92	17
OP32 / 2013	13 – 18/10/2013	33.04°S / 50.51°W	46.01°S / 54.95°W	RS92	16
OP33 / 2014	18 – 21/10/2014	22.89°S / 43.16°W	42.61°S / 54.86°W	RS92	20
OP34 / 2015	12 – 15/10/2015	33.04°S / 48.5°W	41.21°S / 56.24°W	RS41	16
Total					130

3.2.1.1. Perfis de radiossondas

Os dados atmosféricos foram obtidos através de radiossondagens atmosféricas onde os dados são obtidos na integra até a capacidade de cada radiossondagem que normalmente chegam a 20km de altura, porém, neste estudo utiliza-se os dados somente até 2km, podendo-se estimar o topo da CLAM. Após a estimativa do topo da CLAM, usa-se somente os dados que estão dentro deste limite.

Durante as OP23 a OP31 os dados foram coletados in situ a partir de sistemas de recepção de dados previamente instalados nos navios pelos pesquisadores durante a realização dos cruzeiros, o sistema de medição das condições atmosféricas usado era o Vaisala DigiCORA II MW15. A partir da OP32 (2013), com a instalação de um sistema próprio no NPo. Almirante Maximiano (H-41) o sistema receptor utilizado passou a ser o Vaisala DigiCORA MW31. Os tipos de radiossondas usados operam na banda meteorológica de 400 MHz e são descritos na Tabela 1 para cada OP separadamente. Todos os modelos medem pressão, temperatura e umidade relativa do ar, direção e intensidade do vento maiores detalhes e documentação em <<http://br.vaisala.com/br/products/soundingsystemsandradiosondes/radiosondes/>>. A Figura 7 mostra a preparação e lançamentos de radiossondas sob diferentes condições atmosféricas e analisadas neste estudo.

Figura 7 – Lançamento de radiossondas durante Operações Antárticas sob diferentes condições atmosféricas. (a) Radiossonda sendo preparada para lançamento (b) lançamento sob condições de alta pressão e ventos fracos (c) lançamento sob atuação de baixa pressão e vento moderado (d) lançamento sob atuação de baixa pressão e vento forte.



Fonte: (acervo de fotos do Programa INTERCONF).

3.2.1.2. Dados Complementares

Os navios da Marinha do Brasil que servem ao PROANTAR mantêm uma Estação Meteorológica Automáticas (EMA), que coleta dados atmosféricos ao nível do mar (entre 10 - 20 m) em baixa frequência. A configuração mínima da EMA conta com um anemômetro RM Young tipo Mariner (intensidade e direção do vento), um termohigrômetro (temperatura do ar e umidade relativa), um sensor de temperatura da água (TSM), um barômetro (pressão atmosférica) e um GPS para atrelar as variáveis meteorológicas à posição do navio (latitude e longitude).

Durante o INTERCONF, dados oceanográficos são coletados simultaneamente à realização dos lançamentos de radiossondas, a partir de instrumentos como XBTs (*Expendable Bathy-Thermographs*), CTD (*Conductivity Temperature Depth*), ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) e outros. Os XBTs são instrumentos descartáveis que realizam medidas de temperatura da água do mar em função da profundidade. O CTD realiza perfis de condutividade (mais tarde transformada em salinidade) e temperatura da água do mar em função da pressão (mais tarde transformada em profundidade). Nos navios também se opera um termosalinógrafo, que permite a aquisição contínua de dados de TSM e salinidade da superfície do mar a cada 10 segundos ao longo da derrota realizada pelo navio.

3.2.2. Dados de reanálises atmosféricas

As reanálises passaram a ser produzidas a partir da década de 90 por Kalnay et al. (1996) a partir do National Centers for Environmental Prediction– National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR). Os sistemas de reanálises consistem da combinação de um sistema de assimilação de dados e um modelo de previsão (como background). Sabendo-se que as observações possuem uma distribuição irregular espacialmente e temporalmente, a assimilação combina as informações disponíveis com o modelo de previsão para gerar uma nova análise levando em consideração o conhecimento estatístico dos erros dos modelos e observacionais (KALNAY et al., 1996, QUADRO et al., 2011).

Para análise dos sistemas meteorológicos de grande escala atuantes nos períodos determinados para este estudo, foram utilizados dados de reanálise atmosférica de alta resolução (SAHA et al., 2010, 2014) disponibilizados pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Os dados utilizados aqui foram as reanálises CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) para o período entre 1979 e 2011 disponíveis no site https://nomads.ncdc.noaa.gov/modeldata/cmd_pgbh/ e do CFSv2 (Climate Forecast System) para o período entre 2011 e 2014, onde as reanálises passam a ser operacionais e são disponíveis em http://nomads.ncdc.noaa.gov/modeldata/cfsv2_analysis_pgbh/. Para padronizar o presente texto, ambas as reanálises serão chamadas de CFSR a partir daqui.

As reanálises contam com alta resolução vertical e horizontal, sendo 0.5° Lat/Lon e resolução temporal de seis horas, as simulações são realizadas através de um modelo totalmente acoplado que representa a interação oceano-atmosfera-terra e gelo, utilizando as mais recentes abordagens científicas, observações de fontes de dados, incluindo observações de superfície, observações de balão de ar superior, observações de aeronaves, e observações de satélite incluindo medidas históricas de radiancias dos satélites nas assimilações. Todos os detalhes e documentação referentes às reanálises são encontrados no site <http://cfs.ncep.noaa.gov/cfsr/docs/>.

Os sistemas atmosféricos foram analisados com respeito à posição, data e horário de ponto de coleta de dados de radiossondas descrito na Tabela 1. Utilizaram-se dados de reanálises CFSR em pontos de grade, data e horários mais próximos àqueles dos pontos de coleta. Os horários das reanálises são 00Z, 06Z, 12Z e 18Z. A partir disso, identificaram-se os sistemas atmosféricos que atuaram sobre cada ponto ou transecto em cada Operação Antártica buscando compreender sua possível influência no comportamento do vapor d'água dentro da

CLAM sobre a região da CBM nas datas de coleta de dados desse estudo entre 2004 e 2015 (Tabela 1).

Para a identificação dos principais sistemas atmosféricos atuantes em ambos os lados da CBM (em águas de domínio da CB e da CM) realizou-se uma classificação do campo sinótico de superfície a partir dos campos de pressão atmosférica ao nível do mar e de umidade específica e, então, foram determinados os pontos de coleta de dados *in situ* sob atuação de cada sistema sinótico.

3.2.3. Dados de Satélite

3.2.3.1. Sensor Modis/Aqua

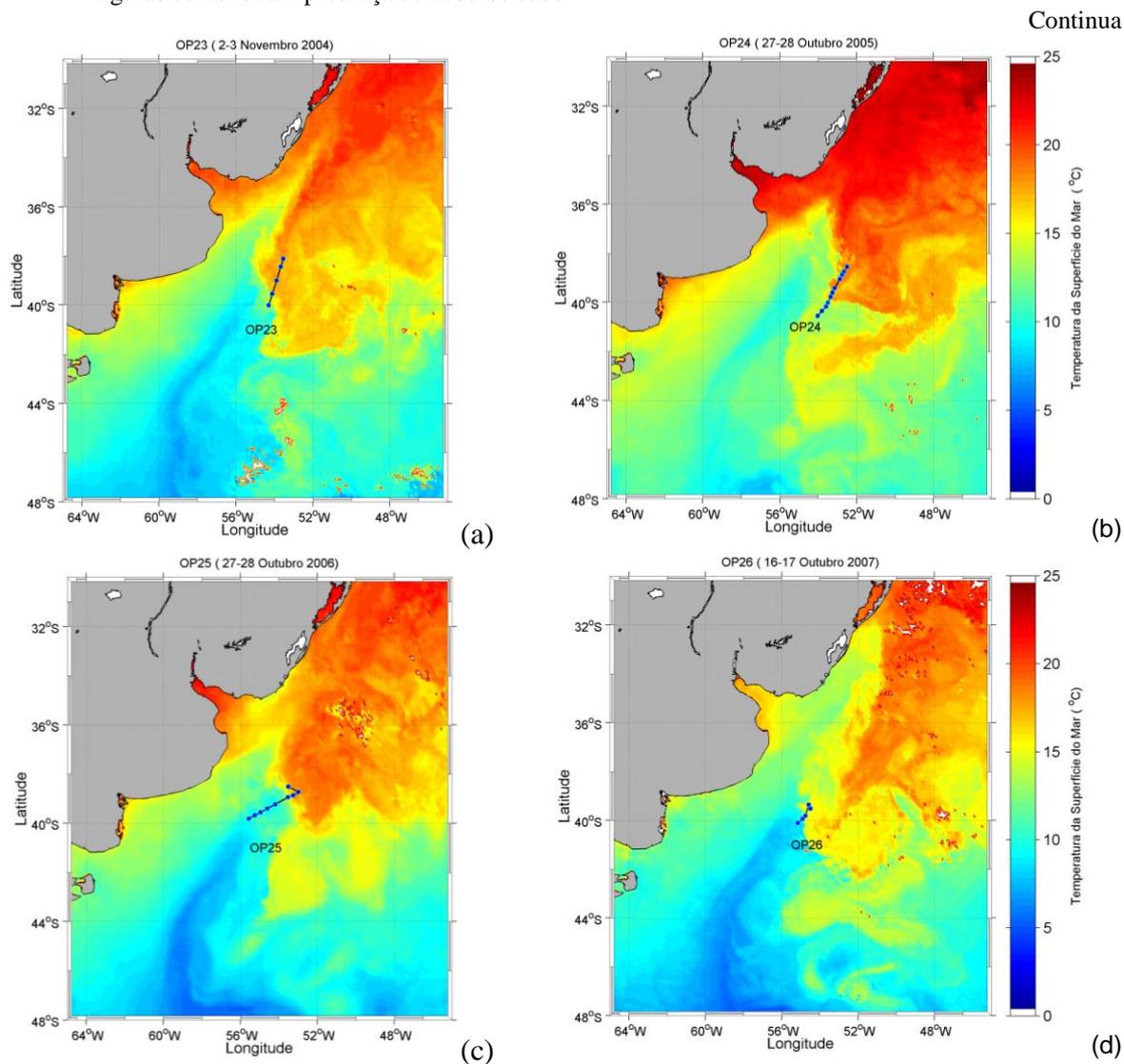
O satélite Aqua, transportando entre outros sensores o principal deles, o sensor MODIS, desenvolvido para atender diferentes estudos, tais como, atmosfera, oceano e terra. O sensor apresenta bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades de observação e para oferecer uma cobertura global quase diária (JUSTICE et al., 2002).

A região de estudo foi separada entre Corrente do Brasil e Corrente das Malvinas de acordo com sua posição e características na região de estudo: lado quente (CB), lado frio (CM) através das imagens do satélite Aqua/MODIS e dados de amostragens oceanográficas como XBTs e CTDs. As imagens de satélite foram obtidas no sitio <<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>>

A Figura 8 mostra as posições de lançamentos de radiossondas atmosféricas em todas os cruzeiros analisados onde foi realizada a identificação dos lados quente e frio da CBM através de imagens do satélite Aqua/MODIS, a partir disso, as regiões de estudo foram diferenciadas entre os lados da CBM sendo lado quente (mais ao norte) e lado frio (mais ao sul) de acordo com sua posição e características termohalinas feitas através da análise de perfis de dados de amostragens oceanográficas como XBTs e CTDs.

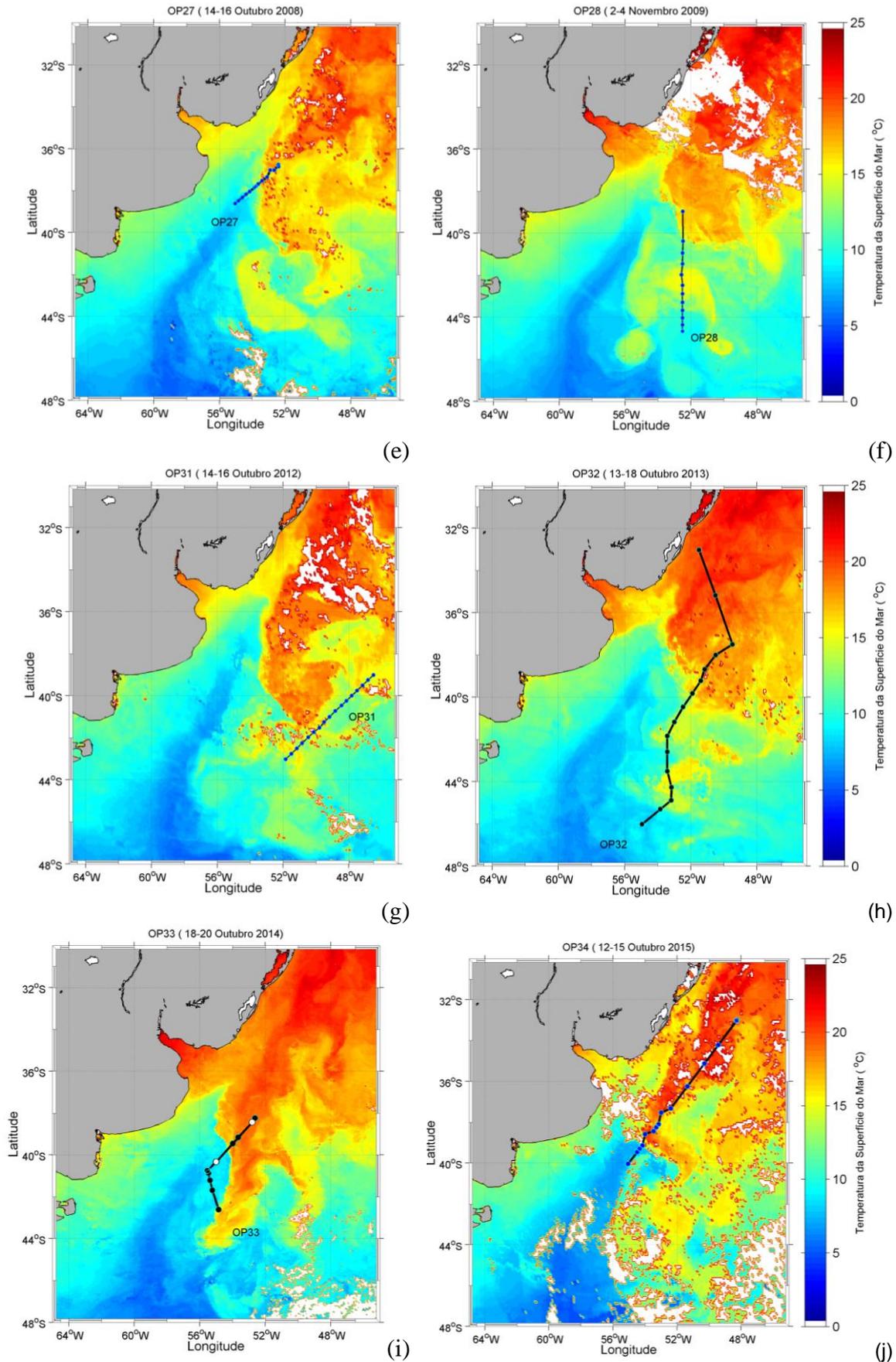
A partir da identificação dos lados quente ou frio da CBM, analisa-se os pontos de coleta de dados sobre os respectivos lados da CBM, onde tem-se amostragens atmosféricas e oceanográficas simultaneamente. Observou-se que na área foram feitos 130 pontos de coletas de dados de radiossondas sobre a CBM entre os anos de 2004 e 2015. Destes 130 pontos de coleta de dados, 62 pontos de amostragem foram feitos sobre a Corrente do Brasil e 68 pontos foram realizados sobre a Corrente das Malvinas.

Figura 8 - Pontos de coletas de dados de radiossondas atmosféricas nas respectivas derrotas em cada Operação Antártica sobre dados de TSM médios para oito dias para o mesmo período da coleta de dados (a) OP23 - 2 a 3 de novembro de 2004 (b) OP24 - 27 a 28 novembro de 2005 (c) OP25 - 27 a 28 de outubro de 2006 (d) OP26 - 16 a 17 de outubro de 2007 (e) OP27 - 14 a 15 de outubro de 2008 (f) OP28 - 2 a 4 de novembro de 2009 (g) OP31 - 14 a 16 de outubro de 2012 (h) OP32 - 13 a 18 de outubro de 2013 (i) OP33 - 18 a 21 de outubro de 2014, nesta OP os pontos brancos mostram pontos com coletas de dados de ciclo diurno (j) OP34 - 12 a 15 de outubro de 2015. Regiões em branco nas figuras demonstram presença de nebulosidade.



Fonte: (do próprio autor).

Figura 8 – Continuação da Figura 8



Fonte: (do próprio autor).

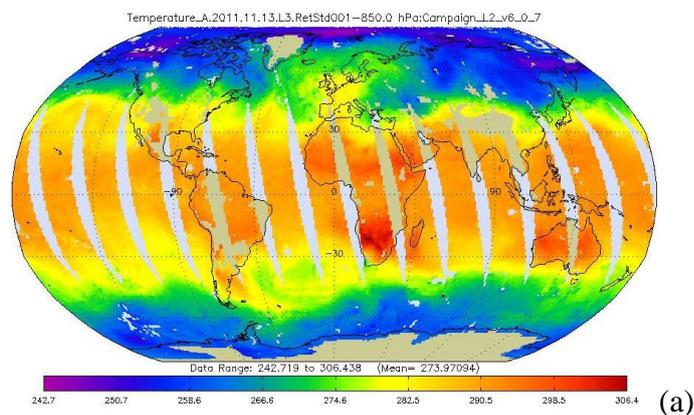
3.2.3.2. Sistema de sondagem atmosférica AIRS/Aqua

Os dados de perfiladores atmosféricos por satélites usados neste estudo fazem parte do conjunto de dados do sondador AIRS (Atmospheric Infrared Sounder), obtidos a bordo do satélite Aqua. Além do AIRS e do MODIS, o satélite Aqua também carrega os instrumentos AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer - Earth Observing System), o AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A), o CERES (Cloud's and the Earth's Radiant Energy System) e o HSB (Humidity Sounder for Brazil). Todos os instrumentos de bordo do satélite Aqua são instrumentos passivos, que medem a radiância proveniente da superfície terrestre e da atmosfera que chega ao topo da atmosfera em determinados comprimento de onda.

A base para obtenção de perfis verticais de temperatura do ar e umidade atmosférica nos sistemas de sondagem por satélite é, portanto, proveniente de medições da radiância. Diferentes algoritmos são utilizados para recuperar perfis meteorológicos da atmosfera podendo ser classificados como estatísticos e físicos. Os físicos são descritos em Smith, (1968); Chahine, (1968 e 1970); Wark e Hilleary, (1969) e os estatísticos são descritos em Wark e Fleming, (1966); Rodgers, (1966); Smith e Woolf (1976); Smith et al., (1970).

O sondador AIRS foi o primeiro sondador atmosférico operacional com alta resolução espectral (2378 canais). os dados oferecidos, além de perfis atmosféricos de temperatura do ar e umidade, são temperaturas superficiais do continente e oceano; propriedades das nuvens e fluxo de energia radiativa. O sensor realiza medidas simultâneas em seus canais espectrais distribuídos entre 0,4 e 1,7 μm e 3,74 e 15,4 μm (PARKINSON, 2003). A Figura 9 ilustra um exemplo de cobertura do satélite Aqua para um único dia de sondagem.

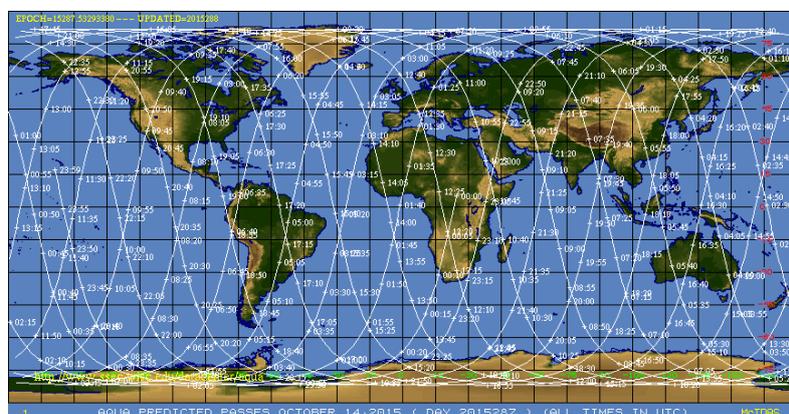
Figura 9 – Exemplo de mapa com a cobertura dos dados AIRS/Aqua, versão 6 L3, para a variável temperatura do ar ao nível de 850 hPa no dia 13/11/2011.



Fonte: (<https://disc.sci.gsfc.nasa.gov/> AIRS).

O satélite Aqua, por ter órbita polar (heliossíncrona), cruza o equador duas vezes por dia, em órbita ascendente (às 13h30 hora local) e descendente (às 01h30 hora local). Fora das zonas polares essas passagens resultam em dados obtidos durante o dia e a noite, respectivamente. Um exemplo de órbita do satélite Aqua para um único dia quando se realizaram sondagens atmosféricas na região da CBM através do INTERCONF (durante a OP34) em 14/10/2015 pode ser visto na Figura 10. A figura identifica também as respectivas passagens ascendentes e descendentes do satélite com o respectivo horário de passagem GMT (Global Mean Time).

Figura 10 – Exemplo de cobertura do satélite Aqua para um único dia de sondagem (referente a OP34) 14/10/2015, com a identificação das respectivas passagens ascendentes/descendentes com o respectivo horário de passagem global.



Fonte: (<https://disc.gsfc.nasa.gov/AIRS>).

A vantagem de uso dos dados AIRS é sua rápida cobertura global, diferentemente da cobertura existente de sítios de radiossondagens operacionais sobre os continentes e oceanos. Há menos de 1000 locais de lançamento de radiossondas no mundo, sendo a maior parte desses localizados na Europa e na América do Norte, com uma média de dois lançamentos por dia. Os dados AIRS equivalem ao lançamento de 300 mil radiossondas sobre o globo ao longo cada dia, dividindo-se em grades de 50 x 50 km.

Segundo Tian et al (2013), o produto AIRS é o conjunto mais preciso e estável para medições do espectro da radiação infravermelho hiperespectral feito no espaço até o presente momento, atendendo aos critérios identificados pelo Climate Data Record Program (NOAA's CDR Program) para registros de dados climáticos. O conjunto de produtos atmosféricos oferecido pelo conjunto de instrumentos AIRS/AMSU/HSB a bordo do satélite Aqua fornece um grande, auto consistente, conjunto de produtos atmosféricos. A precisão dos perfis de temperatura e umidade derivados de AIRS/AMSU/HSB é reconhecida por conceder melhorias

aos modelos de previsão meteorológica e pela sua atual utilização por pesquisadores para validar modelos climáticos e para testar suas representações de respostas climáticas críticas. Para o caso dos produtos AIRS, a Tabela 2 descreve suas especificações de acurácia absoluta e relativa.

Tabela 2 - Especificações de acurácia dos produtos de radiância AIRS.

Dados originais AIRS (radiância)	Acurácia absoluta	Acurácia relativa
AIRS infravermelho em todas as condições atmosféricas	3% para temperaturas de brilho de 190 a 330 K	0,2K a 250K para temperaturas de brilho
Produtos Recuperados AIRS Radiância	Acurácia Absoluta	Acurácia relativa
temperatura do ar	1K (EMQ)	1%
TSM	1K (EMQ)	1%
umidade	20% (necessários), 10% (meta)	10%
água precipitável	5%	3%
temperatura superfície	1K	0.5K
altura do topo das nuvens	1 km	0.25 km
coluna total de ozônio	5%	nenhum

Fonte: (Fetzer et al, 2003).

3.2.3.2.1. Dados Aqua AIRS Versão 6 Nível 3

Os dados AIRS da versão 6 no nível 3 (L3), bem descritos em Tian et al. (2013), são a versão mais atual dos dados AIRS que contém uma série de aperfeiçoamentos notórios, como a cobertura espacial mais completa provocada por melhorias nas recuperações dos perfis e também na grade geográfica. Os dados são obtidos através do NASA Goddard Earth Sciences Data Information and Services Center (DISC) no sítio <http://airs.jpl.nasa.gov/data/get_data>, onde também podem ser obtidas informações e ferramentas necessárias para o uso dos dados

Os parâmetros geofísicos derivados dos dados originais AIRS, uma vez calculados, são espacializados em células de grade de 1 x 1 graus de resolução, desde -180° E para 180° W em longitude e de 90° N para 90° S em latitude. As variáveis e informações derivadas são: temperatura da superfície (da terra e da superfície do mar), temperatura do ar na superfície, perfis verticais de temperatura do ar e vapor d'água, características da tropopausa, coluna de água precipitável, quantidade e frequência de nuvens, altura das nuvens, pressão e temperatura de topo de nuvem, refletância, emissividade, pressão atmosférica na superfície e distribuição vertical de nuvens, entre outras. As informações referentes a gases incluem a concentração total

na coluna atmosférica e perfis verticais de monóxido de carbono (CO), metano (CH₄) e ozônio (O₃).

Os produtos L3 são derivados dos produtos de faixas V6, nível 2 de processamento (L2). A grade de recobrimento sobre a região da CBM é vista na Figura 3. A resolução temporal destes produtos AIRS L3 é diária, 8 dias (metade do ciclo de 16 dias de repetição da órbita Aqua) e mensal. Os produtos L3 diários podem ser usados para abordar a variabilidade climática de alta frequência, como o tempo sinótico e a variabilidade intra-sazonal. Os produtos L3 diários terão células sem dados entre os caminhos satélites onde não há cobertura para esse dia, conforme mostrado anteriormente na Figura 6.

Existem três tipos de processamento dos dados AIRS V6, para o nível 2 e o nível 3. Esses diferem entre si pela combinação de dados de radiância desse e de outros sensores embarcados no satélite Aqua e usados no processo de estimativa das variáveis geofísicas, sendo elas: (1) AIRS, (2) AIRS + AMSU, (3) AIRS + AMSU + HSB. Nesse trabalho optou-se somente por usar a opção (1) onde os dados AIRS não são combinados aos de outros sensores. A razão para isso deve-se ao fato de que esses dados apresentarem maior continuidade e consistência, pois, o instrumento AMSU degrada-se mais com o tempo Tian et al. (2013). O produto derivado dos dados AIRS apresentam a mesma acurácia em atmosferas mais secas ou com poucas nuvens (Tabela 2) e têm uma cobertura mais contínua, cobrindo todos os dias de dados necessários para este estudo. Um resumo das principais características dos produtos AIRS V6 L3 pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 - Características dos produtos AIRS V6 L3

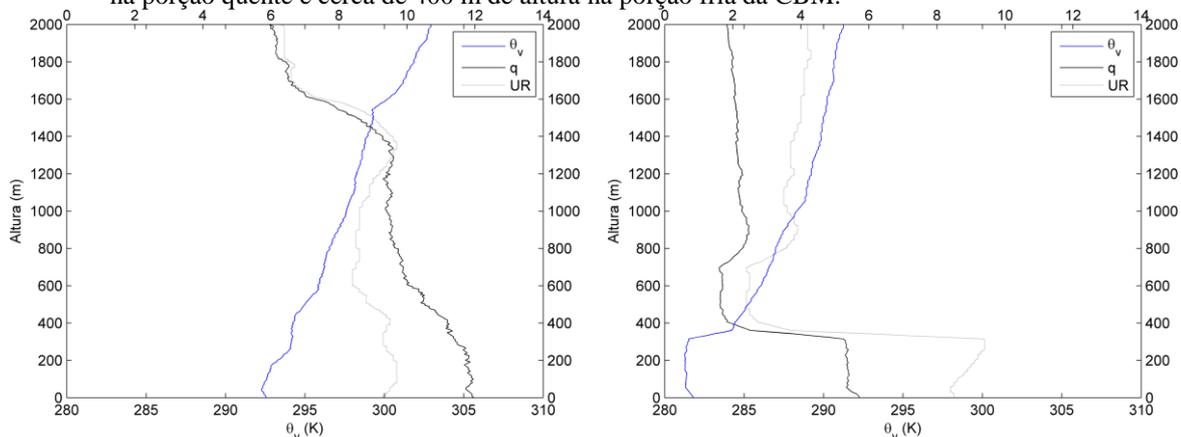
Informação	Descrição
Identificação AIRS/L3	AIRS = AIRS3STD
Formato dos dados	HDF
Tamanho do arquivo	474.9 MB por arquivo
Cobertura Espacial	(- 90,0 a 90,0; -180,0 a 180,0)
Resolução Espacial	1° x 1°
Resolução Temporal	Duas vezes por dia (dia e noite); Ciclo de repetição orbital 16 dias.
Cobertura Temporal	30/08/2002 até o presente
Níveis de pressão	24 níveis de temperatura (1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 15, 10, 7, 5, 3, 2, 1.5, 1) hPa. 12 níveis de pressão para umidade (1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100) hPa

3.2.4. Estimativa do Topo da Camada Limite Atmosférica Marinha

Através dos perfis verticais de temperatura potencial virtual (θ_v), umidade relativa (UR) e umidade específica (q) tomados a partir das radiossondas, o topo da CLAM pode ser determinado utilizando-se a metodologia proposta por Stull (1988). Esse método clássico determina a altura do topo (ou espessura) da CLAM através da detecção precisa da mais pronunciada declividade dos perfis destas variáveis com respeito à altura. Em casos de dúvidas ou incertezas, e como método auxiliar, utilizou-se também o método objetivo de Sullivan et al. (1998) que já foi usado com sucesso por Pezzi et al. (2009) com dados complementares aos usados nesse trabalho.

Um exemplo de aplicação desses métodos para determinar a altura do topo da CLAM sobre a porção quente (CB) e fria (CM) da região desse estudo durante a realização da Operação Antártica 32 (OP32) é mostrado na Figura 11. A estimativa da altura do topo da CLAM foi realizada para todos os perfis de radiossondas tomados *in situ* utilizados neste estudo (Tabela 1).

Figura 11 - Perfis verticais de θ_v (K), q (g/kg) e UR ($\times 10^1$ %) tomados por radiossondas durante a OP32 sobre o lado quente da CBM (esquerda) e sobre o lado frio da CMB (direita). A altura onde acontecem as maiores inflexões nos perfis analisados denotam a altura do topo da CLAM, cerca de 1400 m de altura na porção quente e cerca de 400 m de altura na porção fria da CBM.



Fonte: (do próprio autor).

3.2.5. Vapor d'água atmosférico

A quantidade de vapor d'água atmosférico pode ser calculada de várias formas. Neste estudo, essa variável será avaliada através da umidade específica, discutindo-se também sobre

o papel do vapor d'água evaporado no ar na forma de calor latente. As relações entre as variáveis e processos, bem descritos em Wallace e Hobbs (2006), serão discutidos a seguir.

a. Umidade Específica

O perfil vertical de vapor d'água atmosférico será analisado por meio umidade específica, calculada através de dados de umidade relativa provenientes das radiossondagens realizadas durante os cruzeiros. Dentro de um certo volume de ar, a quantidade de vapor d'água pode ser definida como a razão entre a massa de vapor de água ($m_{\text{água}}$) e a massa de ar seco ($m_{\text{ar seco}}$), denominada de razão de mistura (r). A proporção da mistura é geralmente expressa em gramas de vapor de água por quilograma de ar seco (g/kg).

$$r = m_{\text{água}} / m_{\text{ar seco}} \quad (3.1)$$

A massa do vapor de água ($m_{\text{água}}$) em uma unidade de massa de ar (ar seco mais vapor de água) é chamado de umidade específica q , definida como:

$$q \equiv \frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{água}} + m_{\text{ar seco}}} = \frac{r}{1 + r} \quad (3.2)$$

Uma vez que a magnitude de $m_{\text{água}}$ é apenas uma pequena percentagem (no máximo 2%), segue-se que os valores numéricos de r e q são praticamente equivalentes. Para propósitos práticos usa-se neste estudo a umidade específica. Como ela é expressa em unidades de massa, não é afetada por mudanças na pressão ou temperatura.

b. Água Precipitável

O conteúdo de vapor d'água de uma coluna de ar (*IWV – Integrated Water Vapor*) é avaliado através da água precipitável, sendo definido como a altura de água que seria acumulada se todo vapor d'água naquela coluna fosse precipitado. Calcula-se IWV segundo o método proposto por Solot (1939), mais tarde adaptado por Brow e Zang (1997). Considerando q como sendo a umidade específica ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), g como a aceleração da gravidade e p_i e p_o as pressões no topo da camada e na superfície, respectivamente, IWV é a quantidade de vapor d'água contida

numa coluna vertical da atmosfera de área unitária (kg.m^{-2} ; mm). Lembramos que 1kg de vapor d'água sobre 1 m^2 equivale a uma camada 1mm e, por consequência, $1 \text{ kg.m}^{-2} = 1 \text{ mm}$.

$$(I WV) = \frac{1}{g} \int_{p_i}^{p_o} q dp \quad (3.3)$$

Calculou-se o valor de IWV na espessura da CLAM na região desse estudo a partir da estimativa da altura do topo da CLAM para cada perfil de radiossonda obtido pelo Programa INTERCONF entre 2004 e 2015. Dessa forma descreve-se o conteúdo vapor d'água integrado verticalmente em uma coluna de ar contida dentro da CLAM.

c. Fluxos de calor sensível e latente

Se o calor é fornecido a um sistema, em determinadas condições, pode produzir uma alteração de fase em vez de só apenas uma mudança na temperatura. As equações 3.4 e 3.5 representam as estimativas dos fluxos de calor sensível (H) e latente (L_e), respectivamente, elaboradas com base na teoria de similaridade de Monin-Obukhov e no método de parametrização proposto por Fairall et al. (1996). Essas estimativas dependem, além das observações *in situ*, das parametrizações dos coeficientes de transferência turbulenta de calor que tem sido aprimorados a partir do algoritmo COARE (*Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment*) versão 3.0 (Fairall, 2003). A versão do COARE usada neste estudo é o COARE 3.5, que conta com uma série de melhorias nas parametrizações do algoritmo e são bem descritas em Edson et al. (2013).

$$H = \rho C_p C_h S (TSM - \theta) \quad (3.4)$$

$$L_e = \rho L_e C_e S = (q_s - q) \quad (3.5)$$

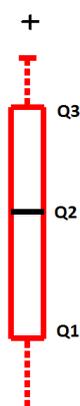
Onde ρ é a densidade do ar, C_p é o calor específico do ar à pressão constante, C_h é o coeficiente de transferência de calor sensível, S é a intensidade média do vento em uma altura Z (neste estudo usa-se o valor em superfície), TSM é a temperatura da superfície do mar, θ é a temperatura potencial do ar na superfície, L_e é o calor latente de vaporização, C_e é o coeficiente de transferência de calor latente, q_s é a umidade específica de saturação do vapor d'água e q é a umidade específica.

3.2.6. Estatística básica

Para avaliar a estatística básica dos parâmetros estudados dentro da CLAM, fez-se uso da ferramenta gráfica do diagrama de caixas (*Box Plot*). Esse é muito útil para comparar a distribuição dos dados entre grupos (MORETTIN e BUSSAB, 2013). Para analisar o vapor d'água verticalmente integrado dentro da CLAM (IWV), os grupos considerados foram aqueles das radiossondagens tomadas dentro da porção quente da CBM (águas de domínio da CB) e aqueles das radiossondagens tomadas dentro da porção fria da CBM (águas de domínio da CM). Um exemplo do diagrama de caixas é mostrado na Figura 12. O diagrama representa a média dos dados e os quartis, que são medidas estatísticas de posição representando a série de dados orientada quanto à posição de sua distribuição estatística. Logo, os quartis são os valores da série divididos em quatro partes. O primeiro quartil (Q1) é o limite inferior do diagrama que mostra os 25% dos valores, (Q2) é a mediana, que mostra onde 50% são menores do que Q2, sendo representada por uma linha horizontal que atravessa o diagrama. O terceiro quartil (Q3) é o limite superior e indica os 75% dos valores que são menores do que Q3.

Os limites representados pelas linhas verticais pontilhadas, que cortam o centro do diagrama na vertical, estabelecem os valores extremos (mínimo e máximo) dos dados. Os valores atípicos ou *outliers* (valores muito afastados da grande maioria dos dados) estão representados na forma de uma cruz preta, e se posicionam fora da área delimitada pelos pontilhados na vertical.

Figura 12 – Ilustração de um *Box Plot*



Fonte: (MORETTIN e BUSSAB, 2013).

Os dados observacionais, de satélites e de reanálises serão também avaliados mediante a utilização de métodos estatísticos descritos por Wilks (2006) através do viés estatístico, do

erro médio quadrático (EQM) e do coeficiente de determinação (R^2). O viés mostrará a diferença entre os dados coletados in situ e derivados das reanálises e do sondador atmosférico AIRS. O viés é definido como:

$$\text{Viés} = \bar{d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (3.6)$$

A diferença média quadrática (EMQ) é uma medida da acurácia dos dados de reanálises e de sondadores com respeito aos dados observacionais, com a vantagem que a variável apresentada é representada com seu erro numa mesma dimensão:

$$\text{EMQ} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [(y_k - o_k)^2]^{1/2} \quad (3.7)$$

O coeficiente de determinação (R^2), por outro lado, pode ser calculado para fornecer uma informação auxiliar ao resultado de uma análise de regressão linear simples. Pode-se verificar se um determinado modelo linear proposto é adequado ou não para representar a relação entre o dado observado e as reanálises ou do perfilador AIRS, sendo obtido pela razão entre a soma dos quadrados da regressão (SQR) e a soma dos quadrados total (SQT). Esse coeficiente é descrito por:

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} \quad (3.8)$$

Utiliza-se o teste *t de Student* para comparar se as amostras em ambos os lados da CBM, determinando se as médias entre os dois grupos independentes diferem e são estatisticamente significativos. Considerou-se o valor de p variando de 0 a 1. O valor de p é uma probabilidade que mede a evidência contra a hipótese nula. As probabilidades inferiores fornecem evidências mais fortes contra a hipótese nula. Pode-se comparar o valor p ao α para decidir se deve rejeitar a hipótese nula (H_0). Se o valor de p for menor ou igual a α , rejeita-se (H_0). Se o valor p for maior que α , deixa-se de rejeitar (H_0). O valor 0,05 foi usado para α , ou seja, se o valor p for menor ou igual a 0,05, rejeitou-se (H_0). O valor indicado para o teste de significância foi de 95%. A equação abaixo é usada para o cálculo da estatística t. Onde: \bar{x} é a média da amostra, μ_0 é o valor fixo usado para comparação com a média da amostra, s é o desvio padrão amostral e n é o tamanho da amostra.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (3.9)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. VAPOR D'ÁGUA ATMOSFÉRICO NA CLAM SOBRE A REGIÃO DA CBM

A camada limite atmosférica (CLA) pode conter uma camada bem misturada onde momentum, calor e umidade são quase independentes de altura, que acontece quando a CLA se apresenta relativamente instável devido à turbulência gerada pelas instabilidades de cisalhamento ou forças de flutuação e os fluxos de umidade são confinados muito próximos a superfície, por causa do forte decréscimo da concentração de vapor d'água com a altura (HARTMANN, 1994).

A estimativa incorreta da umidade em baixos níveis troposféricos pode afetar severamente até mesmo os índices termodinâmicos que servem para analisar a atmosfera em relação ao seu potencial para ocorrência de tempestades. Erros acontecem principalmente quando dados atmosféricos observacionais são tomados por sondagens que se elevam em meio à precipitação, quando há inversões térmicas significativas na CLA ou quando há erros nas sondagens nos níveis mandatórios utilizados nos cálculos (HALLAK et al., 2012). Tornando-se assim de fundamental importância, quantificar a concentração do vapor d'água atmosférico na CLAM e ao nível do mar nos lados quente e frio da CBM e em distintas situações sinóticas da atmosfera determinando quais fatores modulam localmente essas concentrações.

4.1.1. Identificação das correntes oceânicas, sistemas atmosféricos e topo da CLAM

As posições de lançamento de radiossondas atmosféricas em todas os cruzeiros do Programa INTERCONF foram apresentadas no capítulo de Metodologia dessa tese e estão dispostos na Figura 8. Somando-se os lançamentos de todos os cruzeiros de pesquisa do INTERCONF usados aqui, temos 130 lançamentos de radiossondas sobre a CBM entre os anos de 2004 e 2015 (Tabela 1). Com base na distribuição espacial da TSM e de dados oceanográficos auxiliares, dividiu-se a distribuição dos 130 lançamentos de radiossondas em 62 feitos sobre a Corrente do Brasil e 68 feitos sobre a Corrente das Malvinas.

A Tabela 4 apresenta uma descrição das estações de lançamento de radiossondas do Programa INTERCONF entre 2004 e 2015 e inclui as características básicas de posição em relação à frente oceanográfica na CBM, a altura da CLAM, concentração de vapor d'água integrado dentro da CLAM (IWV) e sistema atmosférico sinótico atuante. Os lançamentos durante os quais não haviam sistemas sinóticos bem definidos ou transição entre sistemas

também estão informados na Tabela 4. Lançamentos em que as radiossondas não coletaram dados suficientes na CLAM também são destacados e não foram usados por não terem amostrado representativamente toda a CLAM.

Tabela 4 - Descrição das estações de lançamento de radiossondas do Programa INTERCONF entre 2004 e 2015 com as características básicas de posição em relação à frente oceanográfica na CBM, altura da CLAM, IWV e sistema atmosférico sinótico atuante. (OP/RS) refere-se ao número da OP e a radiossonda, (N°) refere-se ao número do lançamento na tabela geral, (lat/lon) são dos dados de latitude e longitude respectivamente da posição do lançamento da radiossonda, (CBM, Q=lado quente e F=lado frio) refere-se ao lado da frente oceanográfica na CBM, (IWV) é o vapor d'água verticalmente integrado dentro da CLAM, (sistema) refere-se ao sistema sinótico atmosférico atuante no momento do lançamento da radiossonda.

(Continua)

OP/RS N°	n°	data dd/mm/aaaa	horário (UTC)	lat (°)	lon (°)	CBM (Q/F)	altura CLAM (m)	IWV (mm)	sistema
OP23/1	1	02/11/2004	19:30	38.12	53.55	Q	250	8,91	Anticiclone
OP23/2	2	02/11/2004	21:30	38.43	53.68	Q	200	8,04	Anticiclone
OP23/3	3	02/11/2004	00:22	39.00	53.89	Q	600	10,65	**
OP23/4	4	03/11/2004	03:00	39.54	54.11	F	200	5,59	**
OP23/5	5	03/11/2004	05:18	40.01	54.30	F	220	3,41	**
OP24/1	6	28/10/2005	02:52	38.54	52.51	Q	700	3,91	Baixa
OP24/2	7	28/10/2005	3:29	38.76	52.68	Q	900	2,68	Baixa
OP24/3	8	28/10/2005	4:51	38.95	52.82	Q	1450	2,19	Baixa
OP24/4	9	28/10/2005	7:14	39.13	52.93	Q	1400	2,91	Baixa
OP24/5	10	28/10/2005	8:11	39.42	53.15	Q	1000	4,12	Baixa
OP24/6	11	28/10/2005	9:16	39.60	53.26	Q	300	2,96	Baixa
OP24/7	12	28/10/2005	10:24	39.77	53.36	Q	1600	4,17	Baixa
OP24/8	13	28/10/2005	12:01	40.00	53.50	F	1350	4,61	Baixa
OP24/9	14	28/10/2005	13:22	40.09	53.52	F	1200	3,91	Baixa
OP24/10	15	28/10/2005	14:21	40.18	53.61	F	750	2,68	Baixa
OP24/11	16	28/10/2005	16:19	40.35	53.82	F	1450	2,19	Baixa
OP24/12	17	28/10/2005	17:46	40.54	54.03	F	1500	2,91	Baixa
OP25/1	18	27/10/2006	11:55	38.51	53.51	Q	800	5,42	Anticiclone
OP25/2	19	27/10/2006	13:55	38.73	53.00	Q	1100	7,22	Anticiclone
OP25/3	20	27/10/2006	15:04	38.86	53.27	Q	1500	8,80	Anticiclone
OP25/4	21	27/10/2006	16:16	38.94	53.53	Q	400	3,14	Anticiclone
OP25/5	22	27/10/2006	18:13	39.14	53.99	F	800	9,05	Anticiclone
OP25/6	23	27/10/2006	19:15	39.23	526	F	1400	9,07	Anticiclone
OP25/7	24	27/10/2006	21:05	39.40	5390	F	1550	9,83	Anticiclone
OP25/8	25	27/10/2006	22:19	39.55	5425	F	450	3,86	Frontal
OP25/9	26	28/10/2006	22:48	39.68	55.26	F	350	2,96	Frontal
OP25/10	27	28/10/2006	01:49	39.81	55.57	F	200	1,76	Frontal
OP26/1	28	16/10/2007	5:12	39.52	5380	Q	600	5,24	Frontal
OP26/2	29	16/10/2007	7:06	39.65	5389	Q	1250	10,00	Frontal
OP26/3	30	16/10/2007	8:06	39.81	5407	Q	1200	10,08	Frontal
OP26/4	31	16/10/2007	08:52	39.93	5421	F	450	3,26	Frontal

Tabela 4 – continuação

OP/RS N°	n°	data dd/mm/aaaa	horário (UTC)	lat (°)	lon (°)	CBM (Q/F)	altura CLAM (m)	IWV (mm)	sistema
OP26/5	32	16/10/2007	12:03	40.11	55.15	F	*	*	Frontal
OP27/1	33	14/10/2008	16:20	36.85	52.40	Q	850	2,80	Anticiclone
OP27/2	34	14/10/2008	19:03	36.77	52.41	Q	850	5,21	Anticiclone
OP27/3	35	14/10/2008	22:24	37.03	52.66	Q	700	3,90	Anticiclone
OP27/4	36	15/10/2008	00:38	37.20	52.91	Q	600	5,71	Anticiclone
OP27/5	37	15/10/2008	3:13	37.36	53.10	Q	1000	5,10	Anticiclone
OP27/6	38	15/10/2008	5:11	37.53	53.40	Q	650	6,14	Anticiclone
OP27/7	39	15/10/2008	6:32	37.69	53.64	F	850	6,49	Anticiclone
OP27/8	40	15/10/2008	7:48	37.85	53.87	F	700	5,77	Anticiclone
OP27/9	41	15/10/2008	9:47	38.04	523	F	800	3,80	Baixa
OP27/10	42	15/10/2008	12:27	38.18	54.38	F	400	3,49	Baixa
OP27/11	43	15/10/2008	13:44	38.33	5391	F	400	3,33	Baixa
OP27/12	44	15/10/2008	17:01	38.49	5414	F	250	2,72	Baixa
OP27/13	45	15/10/2008	18:32	38.62	55.05	F	400	2,19	Anticiclone
OP27/14	46	16/10/2008	19:14	37.80	53.78	F	350	4,08	Anticiclone
OP28/1	47	02/11/2009	17:57	37.97	52.46	Q	1100	11,34	Anticiclone
OP28/2	48	02/11/2009	20:49	38.52	52.47	Q	900	7,80	Anticiclone
OP28/3	49	02/11/2009	23:02	38.92	52.49	F	1300	11,89	Baixa
OP28/4	50	03/11/2009	06:25	40.37	52.48	F	1500	9,68	Ciclone
OP28/5	51	03/11/2009	09:23	40.94	52.50	F	1300	7,28	Ciclone
OP28/6	52	03/11/2009	12:12	41.45	52.51	F	800	5,66	**
OP28/7	53	03/11/2009	15:17	41.97	52.57	F	900	4,39	**
OP28/8	54	03/11/2009	18:17	42.47	52.50	F	800	4,66	**
OP28/9	55	03/11/2009	20:23	42.88	52.49	F	580	4,79	**
OP28/10	56	03/11/2009	22:24	43.28	52.49	F	1000	5,00	**
OP28/11	57	04/11/2009	00:20	43.66	52.50	F	1000	6,08	**
OP28/12	58	04/11/2009	02:21	44.02	52.50	F	850	3,95	**
OP28/13	59	04/11/2009	04:09	44.35	52.50	F	450	2,94	**
OP28/14	60	04/11/2009	05:47	4394	52.50	F	650	2,24	**
OP28/15	61	04/11/2009	05:59	4397	52.50	F	500	3,06	**
OP31/1	62	14/10/2012	17:24	39.01	46.50	Q	1700	8,27	Anticiclone
OP31/2	63	14/10/2012	19:49	39.25	46.83	Q	1750	9,20	Anticiclone
OP31/3	64	14/10/2012	22:06	39.50	47.17	Q	1780	9,59	Anticiclone
OP31/4	65	15/10/2012	00:20	39.75	47.50	Q	1700	9,72	Anticiclone
OP31/5	66	15/10/2012	02:48	40.00	47.83	F	100	0,94	Anticiclone
OP31/6	67	15/10/2012	07:02	40.22	48.12	F	250	2,23	Anticiclone
OP31/7	68	15/10/2012	09:39	40.46	48.45	F	650	6,42	Anticiclone

Tabela 4 – continuação

OP/RS N°	n°	data dd/mm/aaaa	horário (UTC)	lat (°)	lon (°)	CBM (Q/F)	altura CLAM (m)	IWV (mm)	sistema
OP31/8	69	15/10/2012	13:45	40.73	48.83	Q	700	6,94	Anticiclone
OP31/9	70	15/10/2012	16:59	41.00	49.18	Q	700	6,59	Anticiclone
OP31/10	71	15/10/2012	19:30	41.25	49.50	Q	300	3,19	Anticiclone
OP31/11	72	15/10/2012	23:17	41.52	49.79	Q	300	3,13	Anticiclone
OP31/12	73	16/10/2012	01:43	41.72	50.13	Q	400	3,84	Anticiclone
OP31/13	74	16/10/2012	04:07	41.97	50.47	Q	400	3,73	Anticiclone
OP31/14	75	16/10/2012	07:33	42.25	50.85	F	500	5,00	Anticiclone
OP31/15	76	16/10/2012	09:27	42.50	51.16	F	400	4,12	Anticiclone
OP31/16	77	16/10/2012	11:42	42.75	51.50	F	400	0,70	Anticiclone
OP32/1	79	13/10/2013	13:23	33.04	50.51	Q	1300	13,66	Ciclone
OP32/2	80	14/10/2013	03:47	35.19	50.51	Q	800	9,07	Ciclone
OP32/3	81	14/10/2013	20:34	37.50	49.49	Q	450	4,81	Ciclone
OP32/4	82	15/10/2013	05:03	38.00	50.50	Q	500	4,96	**
OP32/5	83	15/10/2013	10:05	38.68	51.17	Q	500	5,00	**
OP32/6	84	15/10/2013	13:55	39.22	51.40	Q	900	8,58	**
OP32/7	85	15/10/2013	21:20	39.82	51.91	Q	200	1,32	Anticiclone
OP32/8	86	16/10/2013	05:26	40.46	52.47	F	300	0,93	Anticiclone
OP32/9	87	16/10/2013	13:35	41.17	53.00	F	300	2,42	Anticiclone
OP32/10	88	17/10/2013	00:13	41.83	53.42	F	250	1,91	Anticiclone
OP32/11	89	17/10/2013	8:12	42.58	53.42	F	400	2,52	Anticiclone
OP32/12	90	17/10/2013	13:26	43.50	53.42	F	800	2,34	Anticiclone
OP32/13	91	17/10/2013	22:12	44.26	53.17	F	500	4,24	Anticiclone
OP32/14	92	18/10/2013	02:19	44.18	53.19	F	450	4,27	Anticiclone
OP32/15	93	18/10/2013	12:10	45.30	53.85	F	500	3,70	**
OP32/16	94	18/10/2013	19:55	46.01	54.25	F	400	0,93	**
OP33/1	95	18/10/2014	12:59	38.24	52.63	Q	1500	2,86	Anticiclone
OP33/2	96	18/10/2014	16:55	38.44	52.80	Q	720	2,55	Anticiclone
OP33/3	97	18/10/2014	20:57	38.44	52.80	Q	700	1,62	Baixa
OP33/4	98	19/10/2014	01:02	38.44	52.80	Q	1050	8,74	Baixa
OP33/5	99	19/10/2014	04:58	38.44	52.80	Q	1400	5,17	Baixa
OP33/6	100	19/10/2014	10:09	38.44	52.80	Q	1300	4,66	Anticiclone
OP33/7	101	19/10/2014	13:23	39.16	53.66	F	150	4,15	Anticiclone
OP33/8	102	19/10/2014	16:37	39.46	53.99	F	400	6,52	Anticiclone
OP33/9	103	19/10/2014	21:06	39.46	53.99	F	400	1,32	Anticiclone
OP33/10	104	19/10/2014	01:14	40.33	55.00	F	250	0,90	Anticiclone
OP33/11	105	19/10/2014	05:02	40.33	55.01	F	180	1,43	Anticiclone
OP33/12	106	20/10/2014	09:06	40.74	55.53	F	400	0,84	Anticiclone

Tabela 4 – continuação

OP/RS N°	n°	data dd/mm/aaaa	horário (UTC)	lat (°)	lon (°)	CBM (Q/F)	altura CLAM (m)	IWV (mm)	sistema
OP33/13	107	20/10/2014	13:01	40.76	55.56	F	180	1,56	Anticiclone
OP33/14	108	20/10/2014	17:02	40.87	55.48	F	900	1,01	Anticiclone
OP33/15	109	20/10/2014	20:44	41.21	55.38	F	750	2,17	Anticiclone
OP33/16	110	21/10/2014	23:56	41.69	55.23	F	600	1,81	Anticiclone
OP33/17	111	21/10/2014	03:00	41.69	55.23	F	650	1,81	Anticiclone
OP33/18	112	21/10/2014	06:30	42.61	54.16	F	500	3,01	Anticiclone
OP33/19	107	20/10/2014	13:01	40.76	55.56	F	400	1,56	Anticiclone
OP34/1	115	12/10/2015	14:16	33.00	48.28	Q	1600	9,37	Anticiclone
OP34/2	116	13/10/2015	03:52	33.04	48.31	Q	500	6,32	Frontal
OP34/3	117	13/10/2015	10:56	32.8	49.43	Q	1400	5,81	Frontal
OP34/4	118	13/10/2015	19:46	35.12	50.30	Q	900	5,35	Frontal
OP34/5	119	13/10/2015	06:19	36.24	51.36	Q	1050	7,33	Frontal
OP34/6	120	14/10/2015	09:58	37.32	52.40	Q	1050	8,36	Frontal
OP34/7	121	14/10/2015	12:57	37.53	53.00	Q	850	6,62	Frontal
OP34/8	122	14/10/2015	15:27	38.09	53.16	Q	1000	6,60	Frontal
OP34/9	123	14/10/2015	18:23	38.24	53.29	Q	1100	7,98	Frontal
OP34/10	124	14/10/2015	21:16	38.24	53.29	Q	2000	15,18	Frontal
OP34/11	125	15/10/2015	00:08	38.43	53.47	Q	1000	13,68	Frontal
OP34/12	126	15/10/2015	03:09	38.58	54.00	Q	250	*	Frontal
OP34/13	127	15/10/2015	06:25	39.13	52.3	F	250	7,21	Frontal
OP34/14	128	15/10/2015	09:40	39.29	54.33	F	200	2,04	Frontal
OP34/15	129	15/10/2015	13:11	39.46	53.79	F	450	3,98	Frontal
OP34/16	130	15/10/2015	20:26	40.03	55.06	F	550	4,28	Frontal

(*) Não foi possível determinar a altura da CLAM por insuficiência de dados.

(**) Transições entre sistemas, ou regiões associadas a sistemas (cristas, cavados) que não foram analisadas neste estudo.

As classificações dos sistemas sinóticos foram obtidas através de análises dos campos de pressão ao nível médio do mar e vento médio em 1000 hPa, umidade específica e linhas de corrente em 850 hPa, contado ainda com auxílio de interpretação visual de imagens de satélite dos canais infravermelho, vapor d'água e visível (imagens não apresentadas aqui). As análises mostraram que durante os cruzeiros, a maior parte das radiossondagens foram realizadas sob a atuação de sistemas anticiclônicos. Em segundo lugar, o maior número de amostragem foi feito sob atuação de sistemas frontais (incluindo situações pré-frontais, frontais e pós-frontais). Um pequeno número de radiossondagens foi também realizado sob a atuação de sistemas ciclônicos. Essas informações são resumidas na Tabela 5.

Tabela 5 - Sistemas atmosféricos sinóticos atuantes na CBM no período 2004 a 2015 para a coleta de dados pelo Programa INTERCONF nos meses de outubro ou novembro.

sistema	radiossondagens na Corrente Brasil		radiossondagens na Corrente das Malvinas		total
	diurno	noturno	diurno	noturno	
anticiclônico	20	08	12	19	57
ciclônico	02	01	-	02	07
frontal	04	10	03	06	23

4.1.2. Estimativa do vapor d'água na camada limite atmosférica marinha

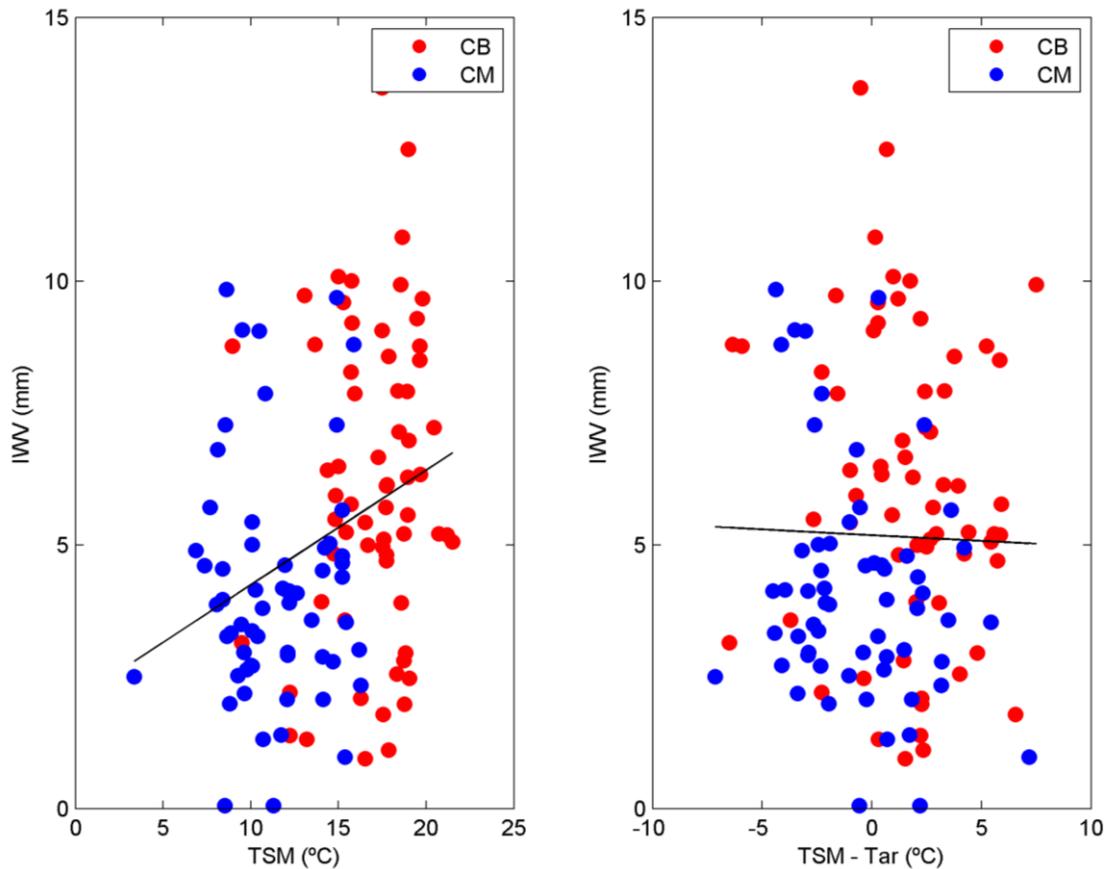
A partir das classificações realizadas anteriormente, como a identificação do lado da CBM onde foi feito o lançamento das radiossondas, e da identificação dos sistemas atmosféricos e da altura da CLAM, foi realizada a análise do conteúdo integrado de vapor d'água na coluna de ar (IWV) na região de estudo para ambos os lados da frente oceanográfica.

A Figura 13 (esquerda) mostra a relação entre a TSM e a água precipitável dentro da CLAM, onde o comportamento do vapor d'água é investigado em relação às alterações de TSM sobre ambos os lados da CBM. Observa-se que o comportamento do vapor d'água sobre a região da CBM sugere fortemente que a variação do vapor d'água atmosférico é relacionada à TSM. Um aumento na TSM representa um aumento no vapor d'água atmosférico, com maiores concentrações sobre o lado da frente oceanográfica que tem TSM mais alta (lado quente, mais a norte).

Esses resultados concordam com estudos anteriores como Garfinkel et al. (2013), que apresentaram um estudo sobre as tendências de temperatura do ar na troposfera e estratosfera sobre os oceanos em regiões tropicais, analisando suas relações com a TSM, assim como com as concentrações de vapor d'água e ozônio. Os autores demonstram que não só a TSM domina a estrutura da concentração de vapor d'água, mas também outros fatores como os sistemas sinóticos atuantes na região de estudo, como será mostrado na sequência do presente estudo.

A relação entre a concentração de vapor d'água e a estabilidade estática da CLAM na região foi também analisada aqui, pois, segundo ORLANSKI (1986) a estabilidade estática atmosférica influencia diretamente o movimento vertical dos fluxos, podendo intensificar ou inibir os movimentos verticais. Por exemplo, segundo o autor, a redução de estabilidade estática nos primeiros 1000 metros da atmosfera pode influenciar a transferência de calor do oceano para a atmosfera, podendo favorecer o desenvolvimento de ciclones.

Figura 13 – (Lado esquerdo) Diagrama de dispersão do domínio da média da TSM (°C) e IWV (mm) mostrados para o lado quente da CBM (pontos em vermelho) e lado frio sobre a Corrente das Malvinas. (Lado direito) Diagrama de dispersão entre dados de instabilidade atmosférica (TSM-Tar) e IWV (mm)



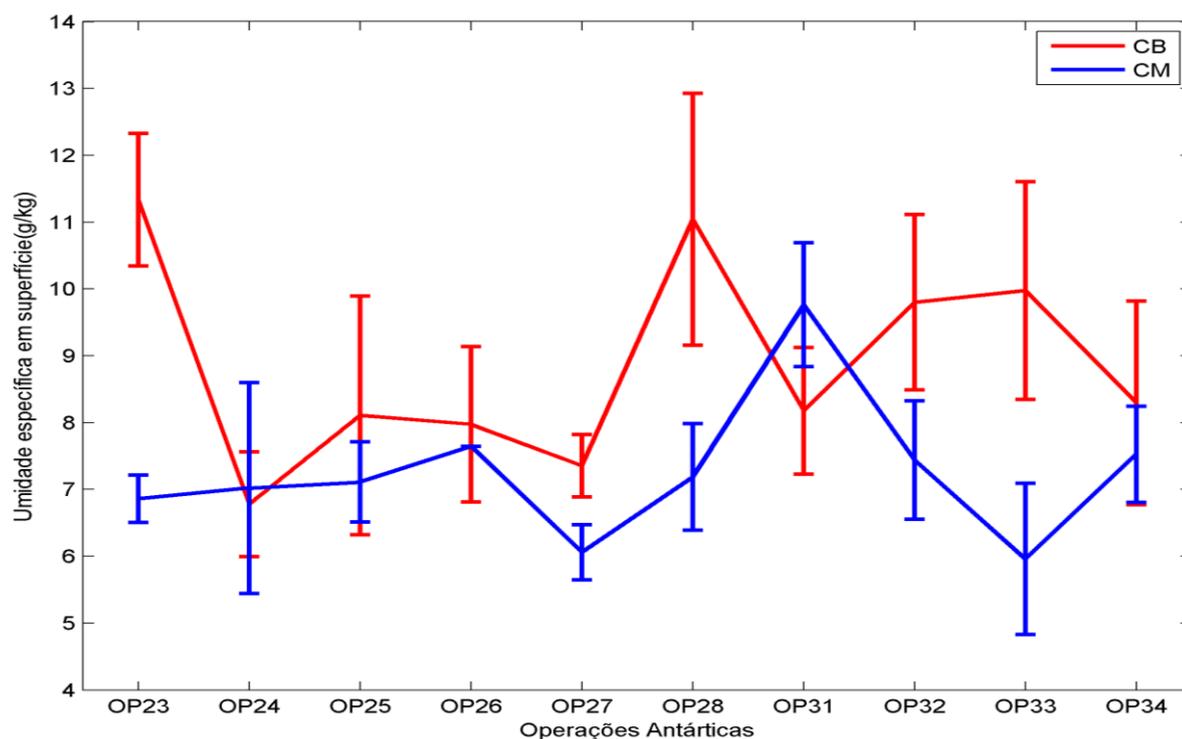
Fonte: (do próprio autor).

Na Figura 13 (direita) analisa-se como o vapor d'água pode ser afetado pela turbulência presente na CLAM, utilizando-se o parâmetro de estabilidade definido como TSM-Tar (Pezzi et al., 2009). Quando $TSM < Tar$ ($TSM > Tar$), os valores desse parâmetro apresentam-se negativos (positivos) e a atmosfera se apresentava estável (instável). Os dados plotados relacionando o parâmetro de instabilidade com o IWV, apresentam uma (leve) correlação negativa: quanto mais estável torna-se a atmosfera, menor o IWV.

Os níveis superficiais de umidade específica (q , g/kg) nos dois lados da frente oceanográfica da CBM entre 2004 e 2015 (OP23 a OP34) são apresentados na Figura 11. Evidencia-se que o vapor d'água apresentou maiores concentrações sobre o lado quente da CBM (águas da CB), com valor médio de 8,40 g/kg ($\pm 1,67$ - desvio padrão). Sobre o lado frio da frente (águas da CM), a concentração de vapor d'água apresentou seu valor médio em torno de 7,08 g/kg ($\pm 1,51$ - desvio padrão). Os resultados mostram, através dos valores médios de umidade específica em superfície para todas as operações analisadas, que durante a OP24 e

OP31 a umidade específica em superfície teve comportamento distinto das outras operações antárticas no que diz respeito à relação entre a TSM e a q .

Figura 14 - Valor médio dos perfis de umidade específica em superfície (g/kg) e desvio padrão ($\bar{\sigma}$) para cada Operantar sobre o lado quente (CB) e lado frio (CM) da CBM. Datas de realização: OP23 (2-3/11/2004), OP24 (28/10/2005), OP25 (27-28/10/2006), OP26 (16/10/2007), OP27 (14-16/10/2008), OP28 (02-04/11/2009), OP31(14-16/10/2012), OP32 (13-18/10/2013), OP33(18-20/10/2014) e OP34 (12-15/10/2015)



Fonte: (do próprio autor).

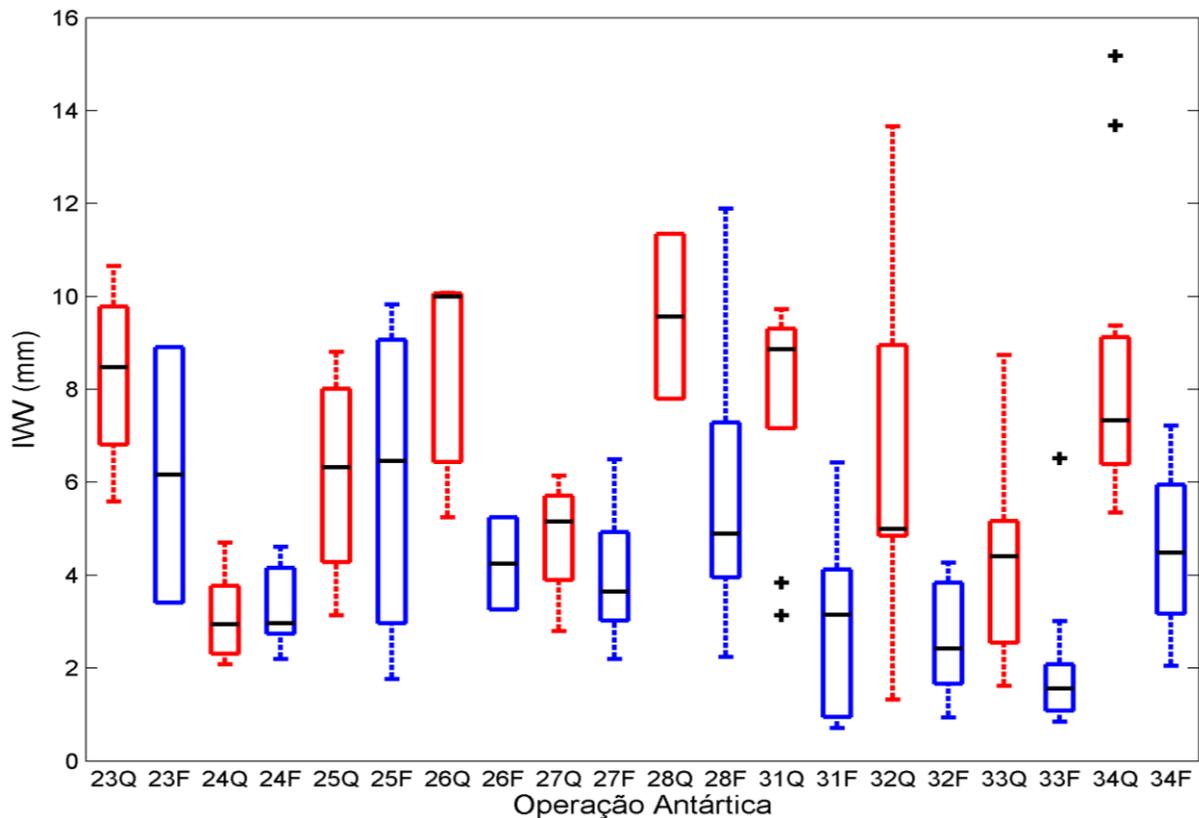
A correlação entre a umidade específica em superfície e a TSM foi avaliada através do cálculo do Coeficiente de Correlação de Pearson, obtendo $r = 0,767$ que demonstra a forte correlação positiva entre essas variáveis. Isso evidencia que, em níveis superficiais, o vapor d'água é fortemente influenciado pela TSM e pela frente oceanográfica na região da CBM.

Dentro da CLAM, o vapor d'água verticalmente integrado na camada (IWV) foi analisado por meio da água precipitável (mm). Os resultados são apresentados na Figura 15, que representa IWV obtida para a coluna entre superfície e topo da CLAM a partir do gráfico *Boxplot* para os dados coletados *in situ* para ambos os lados (quente e frio) da CBM.

Na série analisada a partir de dados de radiossondas e mostrados na Figura 15, pode-se notar a boa qualidade e a consistência dos dados coletados, e baixa ocorrência de *outliers* que

aparecem em somente 3 situações, sendo elas sobre o lado quente na OP31 e OP34 e sobre o lado frio na OP33. Na Figura 12 nota-se que o comportamento dos valores da mediana de IWV dentro da CLAM não tem comportamento padrão sobre a CBM. A variabilidade do IWV é bastante acentuada, com perfis significativamente diferentes entre as regiões quente e fria da frente. Em geral, observa-se um maior (menor) IWV sobre o lado quente (frio) da CBM na maior parte dos casos, exceto para a região fria durante a OP25. A média de IWV do lado quente é 8,35 mm ($\pm 4,10$ - desvio padrão), enquanto que para o lado frio essa média foi de 5,71 mm ($\pm 5,00$ - desvio padrão). A Figura 15 também mostra que a OP25 apresenta concentrações médias de IWV semelhantes sobre ambos os lados da CBM. As maiores amplitudes interquartis foram encontradas na OP25 sobre o lado frio e na OP32 sobre o lado quente da CBM.

Figura 15 - Diagrama de caixas Boxplot para a variação da coluna de vapor d'água integrado na CLAM estimados através de dados de radiossondas para as Operações Antárticas analisadas onde são apresentadas a mediana (linha preta dentro do box) mínimos e máximos valores por Operação. Os traços que abrem e fecham a caixa representam debaixo para cima o primeiro quartil e acima da mediana, o terceiro quartil. Outlier (+). Acima dados sobre a CB e abaixo dados sobre a CM.



Fonte: (do próprio autor).

Para testar a hipótese de que as diferenças entre os valores médios de IWV nas regiões quente e fria da CBM é significativa ao nível de 95% ($p < 0,05$), foi utilizado o Teste-t de Student

por grupo (ANDERSON, 1984). O Teste-t indica que as diferenças entre os valores de IWV para os dois lados da frente são significativas ($T=-3,205$; $p<0,002$).

STEPHENS (1990) estudou a relação entre dados de TSM e água precipitável sobre os oceanos entre 45°N e 45°S de latitude, baseado na equação de Clausius-Clayperon. O autor mostra que dentro da CLAM, a água precipitável não é dependente somente da TSM, mas também da ação de sistemas de grande escala atuantes na região através da advecção de temperatura. Estes resultados concordam com resultados desse estudo em situações onde têm-se concentrações de vapor d'água semelhantes em ambos os lados da CBM, que motivam as análises apresentadas na seção seguinte desse documento.

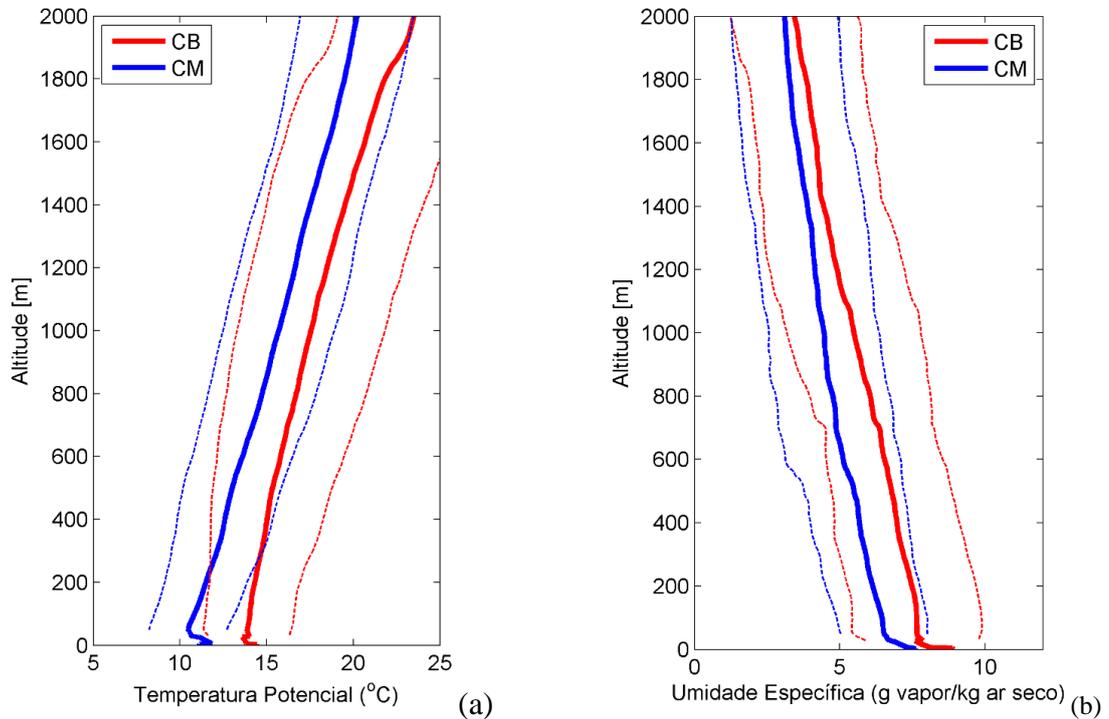
4.1.3. Perfis médios da CLAM na CBM

Para descrever um pouco melhor a estrutura da CLAM dos lados quente e frio da CBM, neste subitem são analisados os perfis médios de temperatura potencial (θ) e de umidade específica (q) obtidos através das radiossondas lançadas nos dez cruzeiros INTERCONF analisados aqui e mostrados na Figura 16. Os perfis apresentam uma forte inversão de θ em níveis superficiais, o que demonstra a predominância da atuação dos sistemas de alta pressão durante os cruzeiros.

Os perfis médios analisados neste estudo contam com maior número de dados coletados *in situ*, porém concordam com estudos anteriores como (ARSEGO, 2012; PEZZI *et al.*, 2005, 2009, 2016a), que mesmo usando menor número de análises também mostraram a importância dos gradientes termais na modulação da CLAM. Os autores descrevem que, para a região da CBM, o lado quente (norte) da frente oceanográfica mantém uma CLAM mais quente e mais bem desenvolvida que o lado frio (sul) da frente, região essa que é caracterizada por uma CLAM mais estável.

As médias das várias variáveis atmosféricas na extensão da CLAM para ambos os lados da CBM no período desse estudo são mostradas na Tabela 6. Em geral observa-se que, associados a uma maior TSM, temos também maiores valores para todas as outras variáveis analisadas: temperatura do ar, pressão, magnitude do vento, umidade específica, altura da CLAM, IWV, fluxo de calor sensível (H) e fluxos de calor latente (Le). Todas essas variáveis são apresentadas como médias na extensão da CLAM, exceto obviamente a própria altura (espessura) da CLAM e os fluxos de calor na interface oceano-atmosfera.

Figura 16 - Perfis verticais médios para os dez cruzeiros (a) temperatura potencial (b) umidade específica. As linhas pontilhadas indicam o desvio padrão.



Fonte: (do próprio autor).

Observa-se, a partir da Figura 16 mostrada anteriormente, que a CLAM se apresenta mais desenvolvida sobre a região quente onde o IWV é maior, resultados que são confirmados na Tabela 6. As inversões de θ também afetam diretamente o IWV, pela característica da atmosfera em reter maiores concentrações de vapor d'água nos níveis em que ocorre inversão de temperatura potencial. Esses resultados estão de acordo com estudos anteriores que comparam regiões de forte gradiente termal nos Oceanos Pacífico, Índico e Atlântico (SHIE et al., 2006). Os autores reportam que a CLAM se apresenta mais úmida sobre regiões mais quentes desses oceanos. Como esperado, os fluxos de calor sensível e latente apresentam alta variabilidade (expressa pelo desvio padrão) nos dois lados da CBM. Embora os fluxos de calor latente e sensível sejam mais altos sobre águas quentes, diferenças entre os locais e períodos analisados que estavam sujeitos a diferentes regimes atmosféricos e oceânicos podem explicar sua alta variabilidade. Os valores médios, no entanto, corroboram resultados anteriores reportados por Pezzi et al., (2005, 2009) e Acevedo et al., (2010) para a região da CBM.

Os valores apresentados indicam que a pressão atmosférica ao nível do mar sobre a região da CBM ficou entre 1014,6 hPa (lado quente) e 1011.8 hPa (lado frio). Isso indica a atuação predominante de sistemas de alta pressão durante os dez cruzeiros de coleta de dados

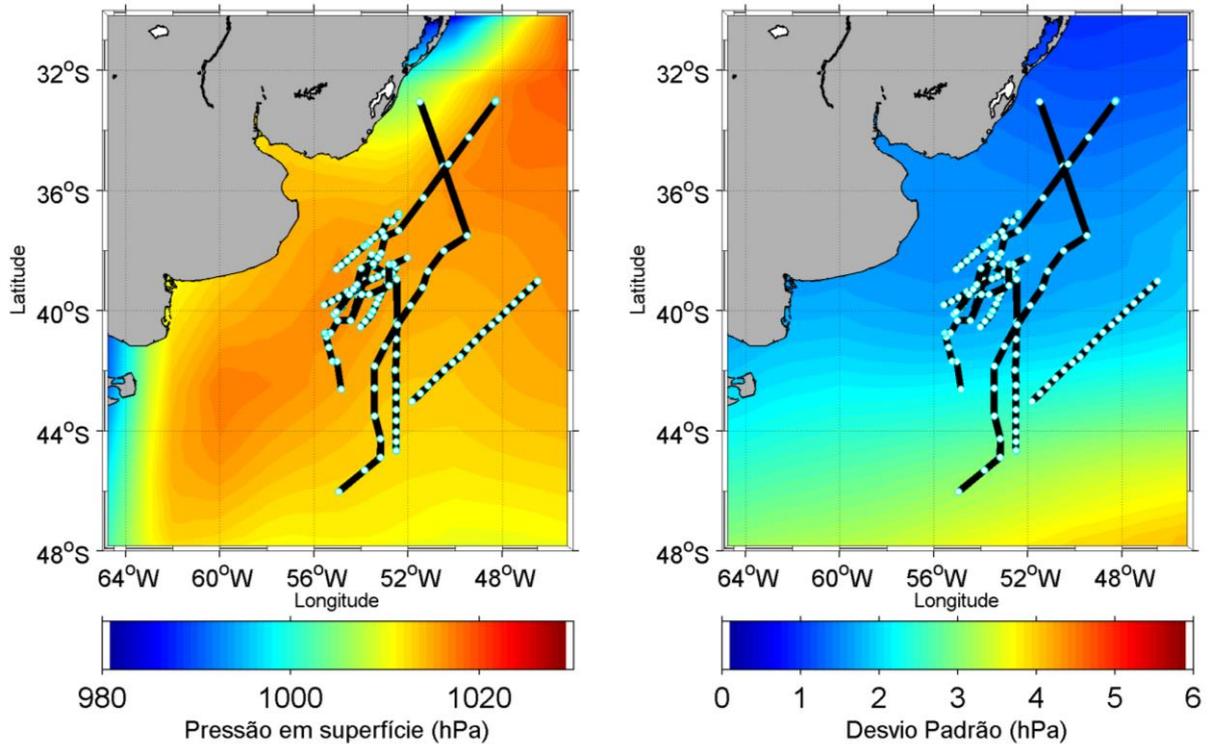
analisados aqui. A Figura 17 ilustra, a partir de dados de reanálise, os campos de pressão médios para o período 2004-2015, referente ao mês outubro quando a maior parte dos cruzeiros foi realizada. Os dados mostram-se coerentes com os dados observacionais apresentados na Tabela 6 e indicam a predominância da alta pressão no período e local de realização dos cruzeiros. Na Figura 17 (direita), mostra-se que o desvio padrão é maior a partir da latitude de 35°S, o que indica a região de maior variabilidade causada pela passagem de sistemas transientes na região. Essa região do Oceano Atlântico Sul subtropical caracteriza-se pela atuação de ciclones extratropicais de latitudes médias, localizadas aproximadamente entre os paralelos de 35 e 65°S (Blackmon et al., 1977).

Tabela 6 - Valores médios e desvio padrão desvios padrão ($\bar{\sigma}$) referentes aos lados quente e frio da CBM das variáveis pressão, TSM, temperatura do ar a 10 metros (T_{ar}), altura da CLAM, intensidade média do vento, umidade específica a 10 metros (q), vapor d'água verticalmente integrado (IWV), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (L_e)

	lado quente		lado frio	
	média	($\bar{\sigma}$)	média	($\bar{\sigma}$)
Pressão (hPa)	1013,9	5,14	1011,8	8,78
TSM (°C)	16,98	2,57	11,30	2,85
T_{ar} (°C)	15,8	2,35	12,03	2,57
CLAM (m)	951,25	442,68	800,32	422
v (m.s⁻¹)	6,45	3,26	6,38	2,65
q (g.kg⁻¹)	8,40	1,67	7,08	1,51
IWV (mm)	6,12	2,91	4,15	2,21
H (W.m⁻²)	13,77	29,02	1,87	27,89
L_e (W.m⁻²)	79,50	53,03	31,30	53,42

A pressão média descrita na Tabela 6 para a região demonstrou a predominância de atuação de sistemas de alta pressão na região e período de estudo. Essa predominância é indicativa de que o balanço entre os dois mecanismos de modulação da CLAM tendeu para o mecanismo de estabilidade estática proposto por Wallace et al. (1989), em detrimento do mecanismo de balanço hidrostático proposto por Lindzen e Nigan (1987). Esses últimos autores descrevem que a baixa pressão atmosférica se localiza sobre águas quentes e vice-versa, e o ar sobre a superfície do mar se movimenta para as baixas pressões, isto é, para a direção da alta TSM. Wallace et al. (1989) descrevem, por outro lado, que a TSM afeta diretamente a estratificação de densidade da CLAM, através da variação da estabilidade vertical. Assim sendo, a flutuabilidade e a turbulência aumentam sobre as águas quentes, levando a uma maior magnitude do vento sobre a superfície do mar na parte quente das frentes oceanográficas.

Figura 17 – Pressão atmosférica ao nível médio do mar (esquerda) e desvio padrão (direita) na região da CBM, média de 2004 a 2015 para o mês de outubro. Linhas pretas representam os cruzeiros com os pontos de amostragem em branco.



Fonte: (do próprio autor).

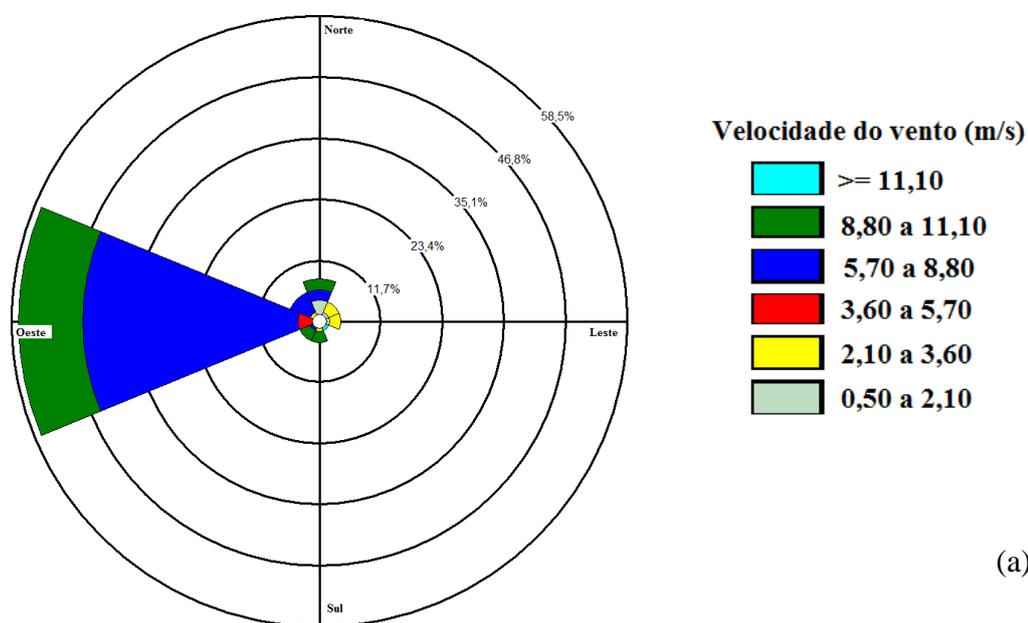
4.1.4. Aspectos gerais da velocidade e direção do vento observado sobre a CBM

Na Figura 18 e Figura 19 é mostrado o comportamento do vento (velocidade e direção predominante) para a região da CBM em seus lados quente e frio. Os dados são referentes a todas as radiossondas lançadas nos cruzeiros analisados neste estudo. A análise é feita para dados a 10 m de altura, esperando-se que os dados das radiossondas estejam já estabilizados e sejam descartadas influências de turbulências e sprays gerados pelo navio na superfície do mar. Estes cuidados são tomados seguindo estudos anteriores que observam que os mesmos podem ajudar a evitar distorções na tomada de dados *in situ* (Large e Ponde, 1982).

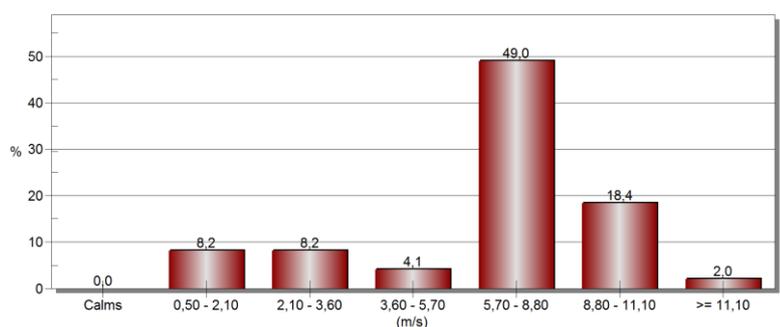
Observa-se na Figura 18a que a direção predominante do vento para o lado quente da CBM é de Oeste com 27,2% de frequência, e intensidades predominantes entre 5,7- 8,8 m/s e 8,8-11,1 m/s. A segunda maior predominância é de vento de direção Norte com 10,9% de frequência, para as mesmas velocidades anteriores e incluem-se velocidades maiores que 11

m/s nessa direção. Os ventos predominantes na região na direção Oeste evidenciam a atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), onde o sentido predominante do giro atua sobre a região desse estudo. A velocidade do vento predominante na região da CBM, distribuída em classes, é mostrada na Figura 18b onde nota-se que 40,8% dos ventos na região estão entre 5,7 e 8,8 m/s. A segunda maior predominância na região é de 10,2% da intensidade do vento entre 8,8 e 11,1 m/s.

Figura 18 – Comportamento do vento sobre o lado quente da CBM: (a) direção e intensidades predominantes (b) distribuição da frequência das classes de vento



(a)



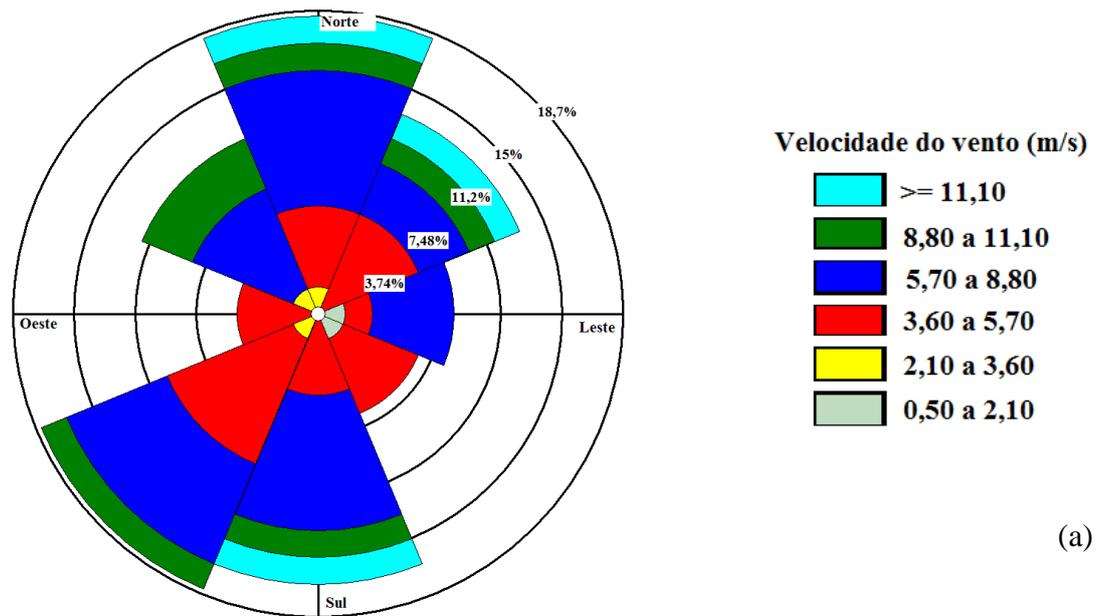
(b)

Fonte: (do próprio autor).

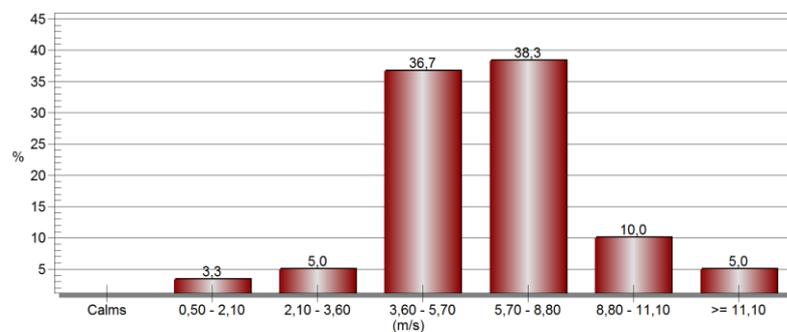
A Figura 19 mostra o comportamento do vento sobre o lado frio da CBM. A frequência de distribuição dos ventos é mostrada na Figura 19b evidenciando que, sobre o lado frio da CBM, 38,3% das intensidades do vento estão na classe entre 5,7- 8,8 m/s, seguidas por 36,7% na classe entre 3,6-5,7 m/s. A grande variação da direção do vento na região dá-se pela presença

de sistemas transientes sobre a região da CBM, como a passagem de sistemas frontais. Segundo Hoskins e Hodge (2005) essa é uma das regiões preferenciais de atuação de ciclones extratropicais, anticiclones e cavados no hemisfério sul.

Figura 19 - Comportamento do vento sobre o lado frio da CBM: (a) direção e intensidades predominantes (b) distribuição da frequência das classes de vento



(a)



(b)

Fonte: (do próprio autor).

Sabendo-se que o oceano perde calor principalmente através de processos turbulentos que são altamente dependentes do vento, mostra-se que a intensidade dos ventos sobre a região da CB influencia diretamente nos resultados mostrados na Tabela 6, onde o IWV e os fluxos de calor sensível e latente são maiores sobre a região mais quente da CBM. A principal razão mostrada é a predominância de vento de oeste nos meses de coleta dos dados. Sobre o lado frio, a predominância dos ventos de norte, associados a deslocamentos para leste de sistemas sinóticos, induzem a advecção de ar quente e úmido para o lado frio da CBM.

Consequentemente, maiores concentrações de vapor d'água serão observadas por consequência disso. Esses resultados concordam com Messenger (2012) em análises feitas de dados coletados em um cruzeiro sobre o Oceano Austral cruzando as frentes Subtropical, Subantártica, Polar e Circumpolar Antártica.

4.1.5. Estimativa do vapor d'água sob atuação de sistemas sinóticos distintos

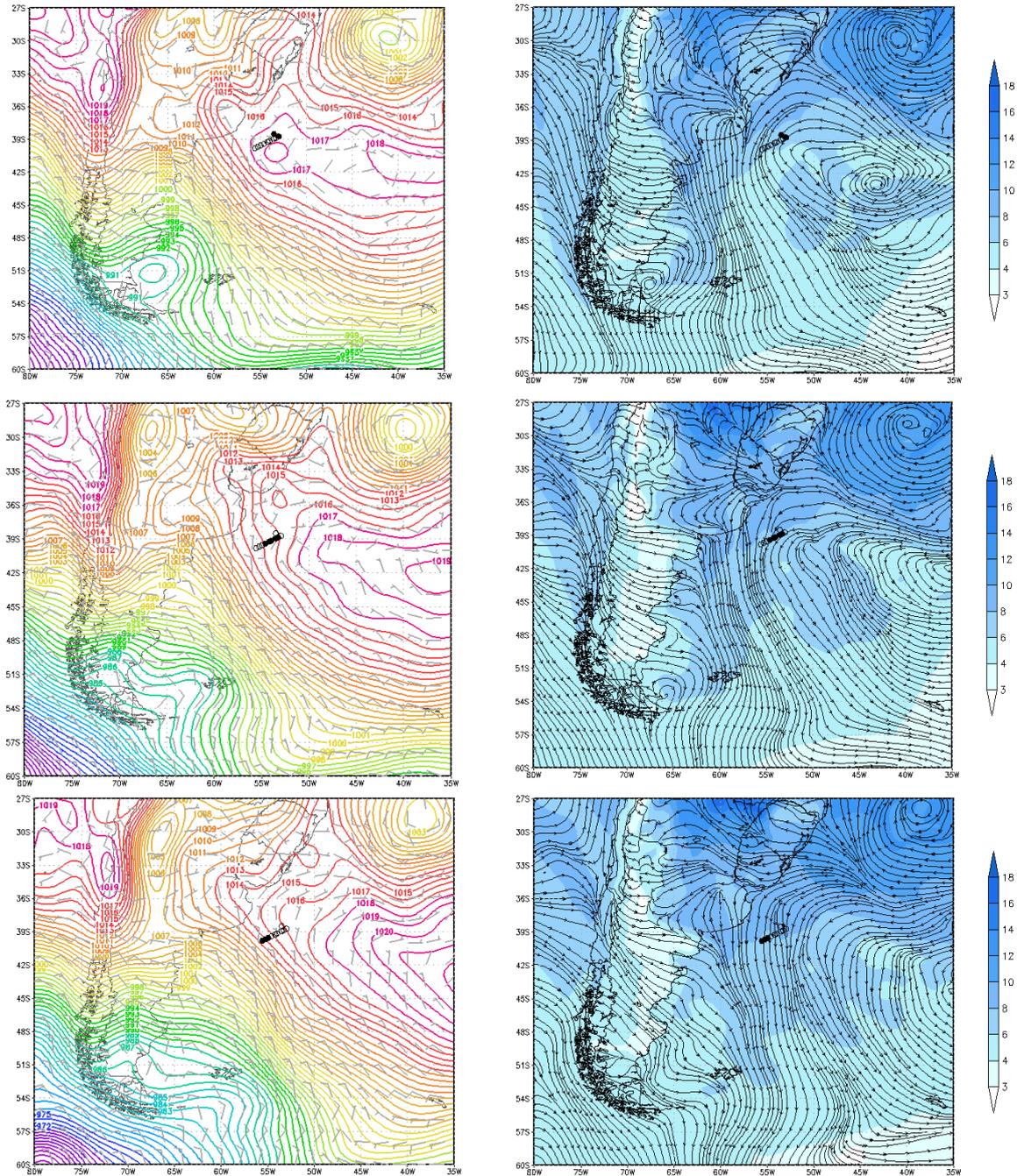
4.1.5.1. Análise atmosférica dos campos de pressão e umidade em superfície

Três estudos de caso são realizados buscando responder os motivos pelos quais a concentração de vapor d'água apresentou-se com padrões diferentes do esperado em alguns dos cruzeiros analisados na CLAM e em superfície. Na primeira análise são melhor investigadas as maiores concentrações de umidade que ocorreram sobre o lado frio da CBM na OP25 considerando a CLAM. O segundo estudo de caso envolve a análise da maior concentração de vapor d'água em superfície encontrada sobre o lado frio da CBM na OP31. O terceiro estudo de caso investiga as causas da alta amplitude entre valores máximos e mínimos da concentração de vapor d'água na CLAM durante a OP32.

Para isso, primeiramente analisaram-se as condições atmosféricas durante os cruzeiros realizados pelo INTERCONF para OP25, OP31 e O32. As três operações analisadas apresentam condições atmosféricas bem definidas. Os campos em superfície são analisados a seguir a partir dos campos de pressão ao nível médio do mar e vento médio em 1000 hPa, umidade específica e linhas de corrente em 850 hPa, além de imagens de satélite (não mostradas aqui). Como mencionado anteriormente, para definir o lado da CBM que as amostragens com radiossondas foram realizadas e saber quais sistemas atuavam, foram usadas imagens do satélite Aqua/MODIS e dados oceanográficos coletados *in situ* (Figura 8).

A Figura 20 mostra as condições atmosféricas durante a OP25 (26-27 de outubro de 2006), onde a região da CBM estava sob a influência de um sistema anticiclônico transiente com pressão central de 1022 mb. O sistema estava atuando sobre a região desde antes do início do período de coleta de dados. Este sistema de alta pressão esteve atuante durante os quatro primeiros lançamentos de radiossondas, atuando em grande parte da rota do navio sobre a CB. A pressão manteve-se mais elevada sobre as águas mais quentes (CB) e, em consequência desse sistema de alta, o movimento predominante na região é de subsidência com características de ar mais seco e frio conforme mostrado pela configuração dos campos de umidade, que apresentaram características semelhantes em superfície.

Figura 20 - Condições atmosféricas durante a OP25. As figuras à esquerda são de pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) e vento médio 1000 hPa ($m.s^{-1}$) e, na direita, umidade específica a 2 metros (g/kg) e linhas de corrente em 850 hPa. As estações de lançamentos de radiossondas estão denotadas pelos círculos pretos.

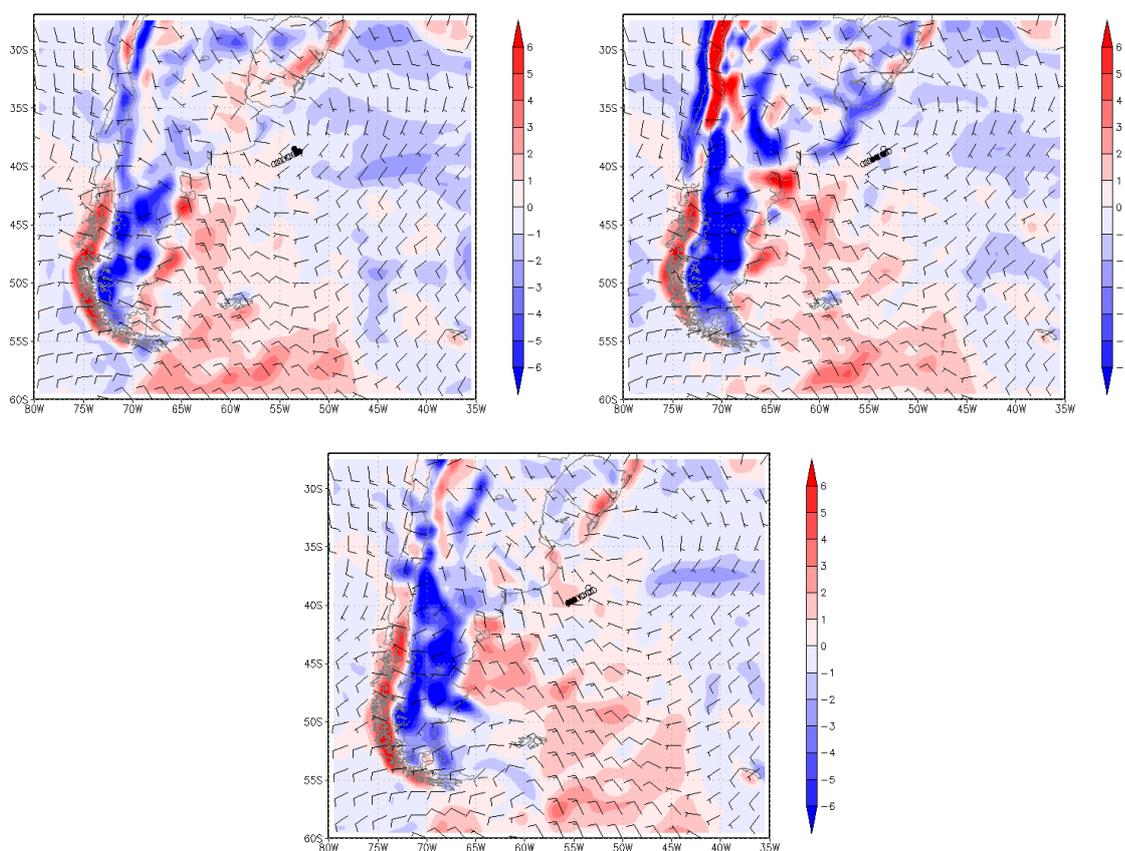


Fonte: (do próprio autor).

O sistema continuou deslocando-se para leste, e os primeiros dois pontos coletados sobre águas mais frias (mais ao sul da CBM) ainda estavam sob influência deste sistema anticiclônico sendo coletados na borda oeste. Em seguida mais ao sul, um sistema de baixa

pressão com um sistema frontal associado estava centrado sobre as Ilhas Malvinas e estendia-se para Noroeste atingindo imediações do Rio da Prata. As radiossondas 8, 9 e 10 já foram lançadas sob a influência do sistema pré-frontal sobre águas mais frias, quando passamos a observar um fluxo meridional de umidade para sul e advecção de temperatura do ar positiva, mostrados na Figura 21.

Figura 21 - Advecção térmica ($^{\circ}\text{C}$) e vento em 1000 hPa ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) durante a OP25



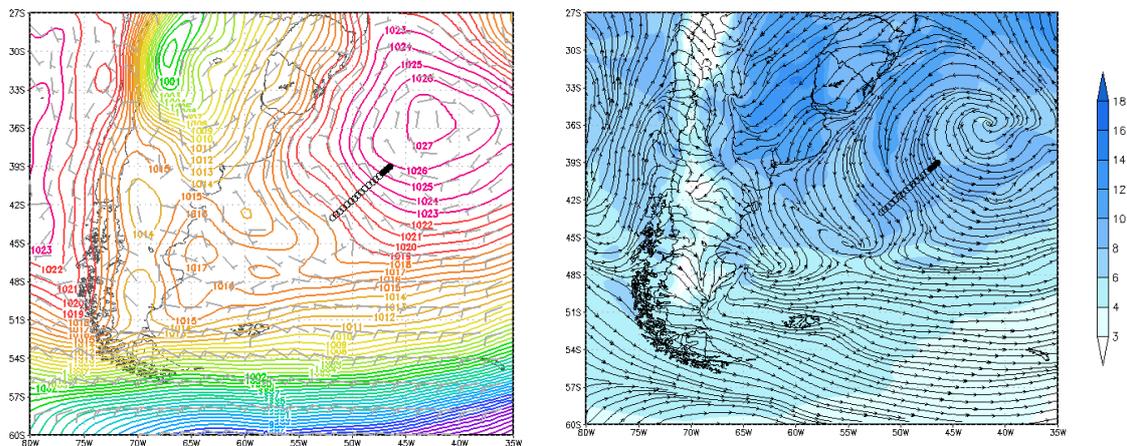
Fonte: (do próprio autor).

Durante a realização da OP31, foram efetuados 16 lançamentos de radiossondas entre os dias 14 e 16 de outubro de 2012, sendo que 10 radiossondas foram lançadas sobre o lado quente da CBM e 6 radiossondas foram lançadas sobre o lado frio da CBM. Entre os dias 14 e 16, a região da CBM esteve sobre a atuação de dois sistemas de alta pressão que proporcionou a amostragem de uma atmosfera seca durante o cruzeiro. Isso se evidencia através dos campos de umidade em superfície (Figura 22, lado direito) e Figura 23. As primeiras 6 estações de radiossondagem estavam localizadas sobre a CB e sob a influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que se estendeu desde a região litorânea do Brasil. Isso pode ser observado através dos campos de pressão ao nível médio do mar e vento médio 1000 hPa, onde

as 6 primeiras estações estão sob a atuação de ventos do quadrante norte de forte intensidade. No segundo dia de coleta de dados (15 de outubro), nota-se a aproximação de um sistema de anticiclônico transiente amostrado pela radiossonda 11 vistas na linha central da Figura 23. A localização dessa estação foi marcada pelo encontro destes dois sistemas atmosféricos (ponto de colo) e se caracterizou pelo enfraquecimento do vento. Logo depois, temporalmente e mais a norte, incorporam-se os dois sistemas tornando-se um só sistema de alta pressão.

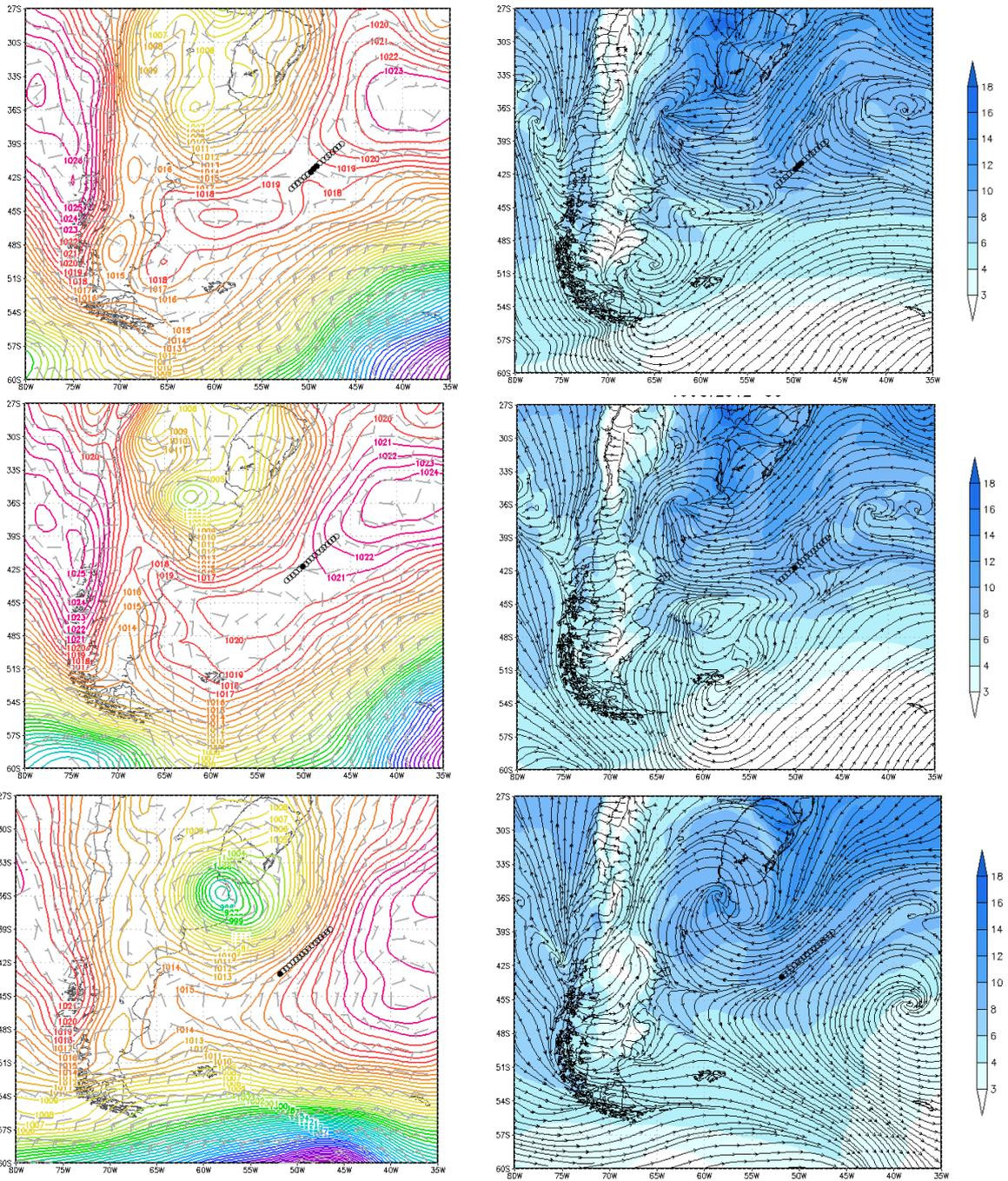
As estações de radiossondagem realizadas durante a OP31 apresentaram-se, em maior parte, sob condições de advecção quente conforme mostrado na Figura 21 e Figura 22, especialmente quando a atmosfera se encontrava em ponto de colo. Os campos de umidade em superfície apresentam características semelhantes para todas as estações realizadas.

Figura 22 - Condições atmosféricas durante a OP31. As figuras à esquerda são de pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) e vento médio 1000 hPa ($m \cdot s^{-1}$) e, na direita, umidade específica a 2 metros (g/kg) e linhas de corrente em 850 hPa. As estações de lançamentos de radiossondas estão denotadas pelos círculos pretos.



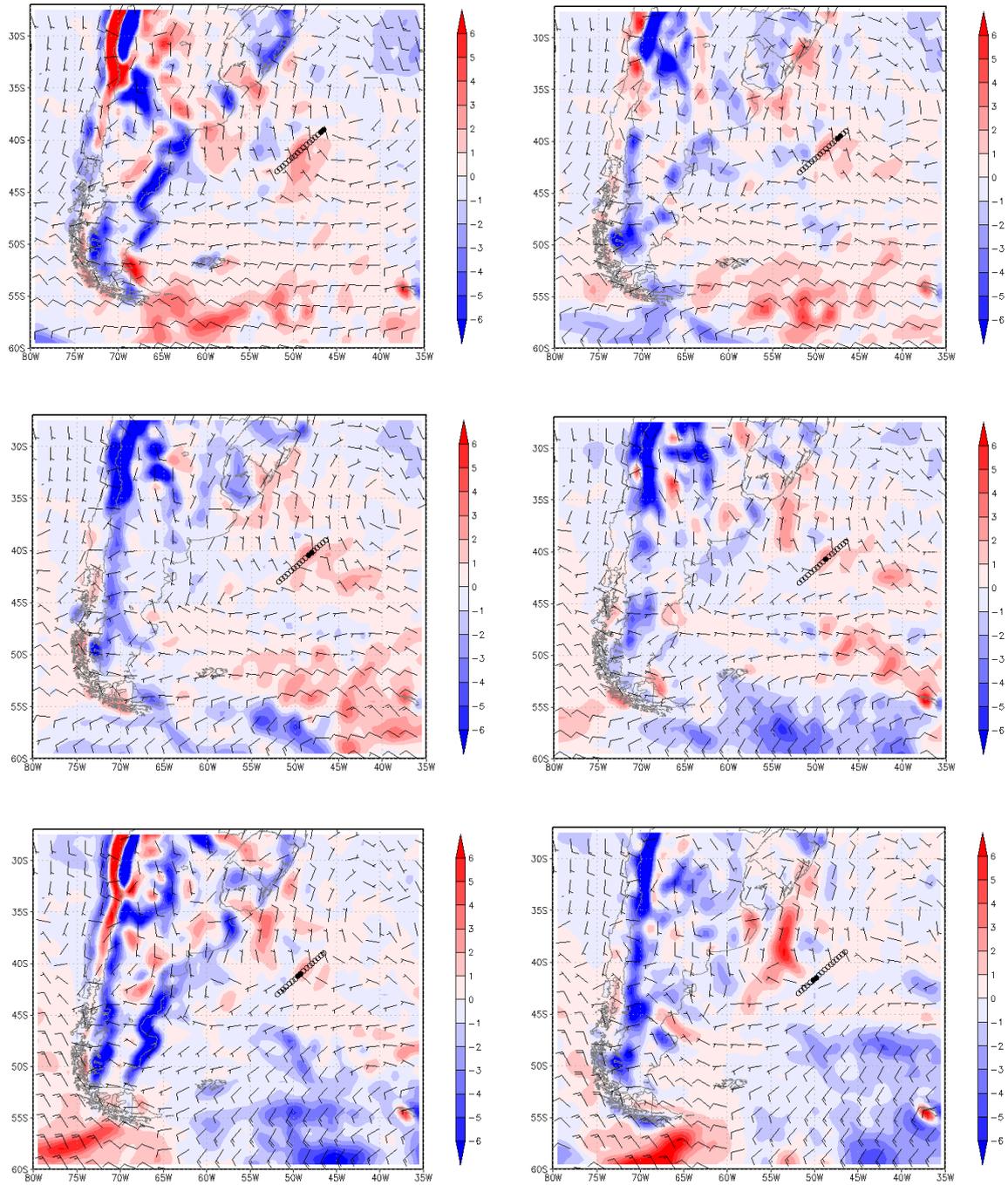
Fonte: (do próprio autor).

Figura 23 - continuação da Figura 22.



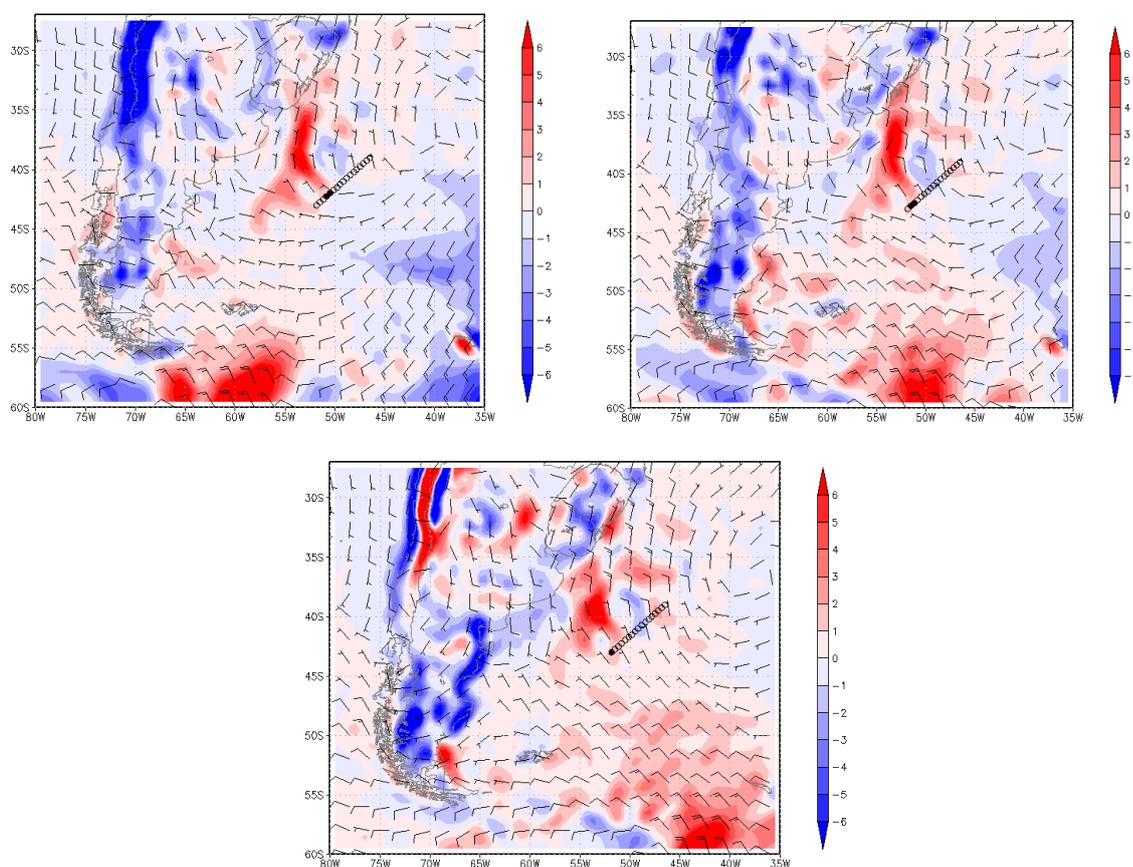
Fonte: (do próprio autor).

Figura 24 - Advecção térmica ($^{\circ}\text{C}$) e vento em 1000 hPa ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) durante a OP31. As estações de lançamentos de radiossondas estão denotadas pelos círculos pretos.



Fonte: (do próprio autor).

Figura 25 - continuação da Figura 23



Fonte: (do próprio autor).

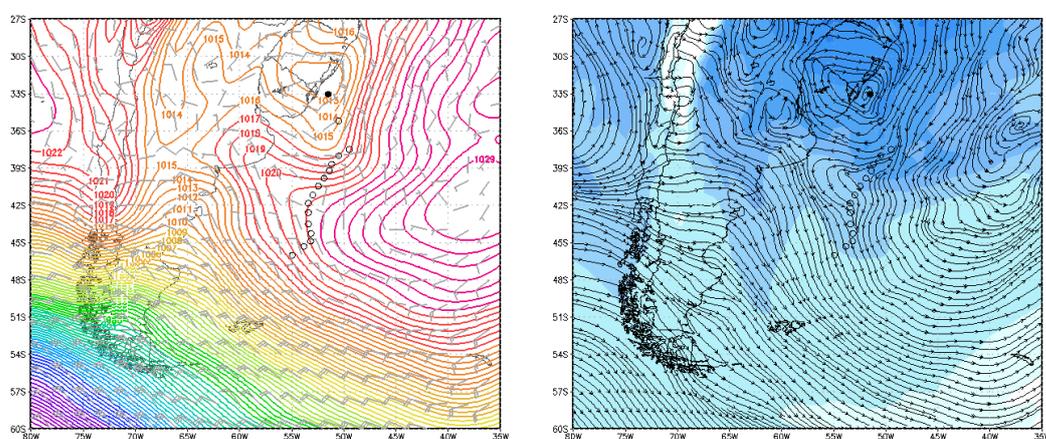
Segundo Machel et al. (1998) em uma análise feita com mais de cem anos de dados para descrever a variação espacial da ASAS ao longo do ano, mostraram que entre os meses de maio a outubro a ASAS varia bastante em relação a sua intensidade e abrangência espacial. No mês de outubro (mês de realização de maior parte dos cruzeiros analisados neste estudo) a ASAS normalmente se encontra em torno de 2°W . Degola (2013) mostrou que a posição da ASAS no mês de outubro adentra no continente sul-americano, tendo uma maior influência no clima das regiões Sudeste e Nordeste do Brasil e, conseqüentemente, influencia a região da CBM como demonstrado nos resultados do presente estudo.

A atuação sistemas sinóticos distintos durante o cruzeiro da OP32, realizada entre os dias 13 e 18 de outubro de 2011, é apresentada na Figura 26. Nota-se que as 3 primeiras estações de radiossondagem estão sujeitas à atuação de um ciclone extratropical que se desloca para sudeste. A pressão atmosférica durante o deslocamento do ciclone e ao longo do deslocamento

do navio para sul durante as amostragens manteve-se em torno de 1012 hPa. A circulação ciclônica é evidenciada pelos campos de vento intenso e pela alta concentração de umidade na área de atuação do ciclone. As próximas estações de radiossondagem foram realizadas sob a atuação de um sistema anticiclônico transiente que se une à ASAS. O cruzeiro prosseguiu com uma breve ausência de sistemas atuantes, seguido pela atuação de outro sistema anticiclônico transiente que transitou sobre a CM.

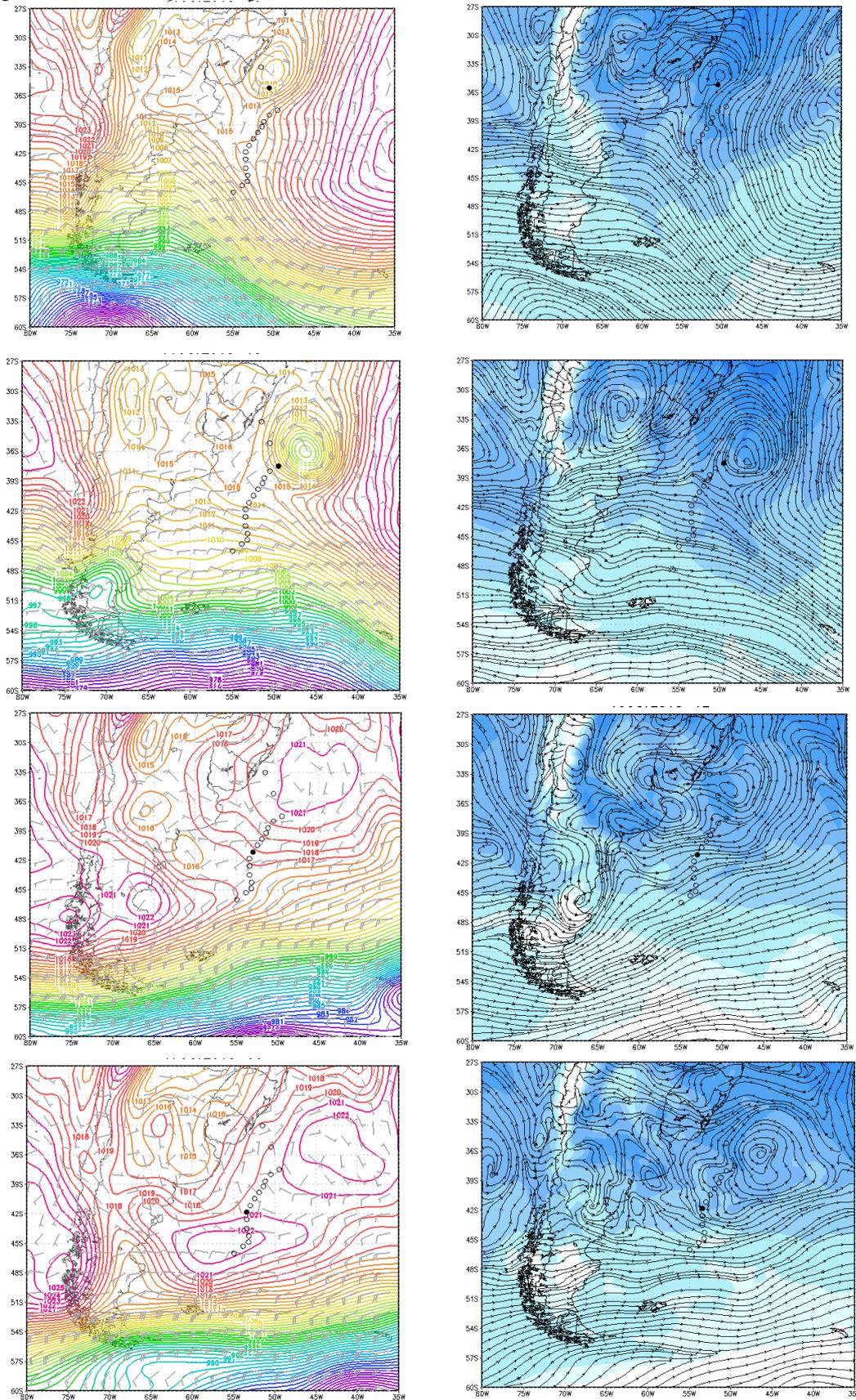
Conforme pode-se observar na Figura 29, considerando a advecção de temperatura nota-se que, sobre o lado quente da CBM, a primeira estação de radiossondagem estava sob influência de uma advecção quente e, na sequência (radiossondagem 2 até a 7), as estações foram realizadas sob uma situação de advecção fria. Quando a coleta de dados passa a ser feita sobre o lado frio da CBM, as estações (radiossondagem 8 até a 16) estavam numa região sob atuação de uma advecção quente.

Figura 26 - Condições atmosféricas durante a OP32. As figuras à esquerda são de pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) e vento médio 1000 hPa ($m.s^{-1}$) e, na direita, umidade específica a 2 metros (g/kg) e linhas de corrente em 850 hPa. As estações de lançamentos de radiossondas estão denotadas pelos círculos pretos.



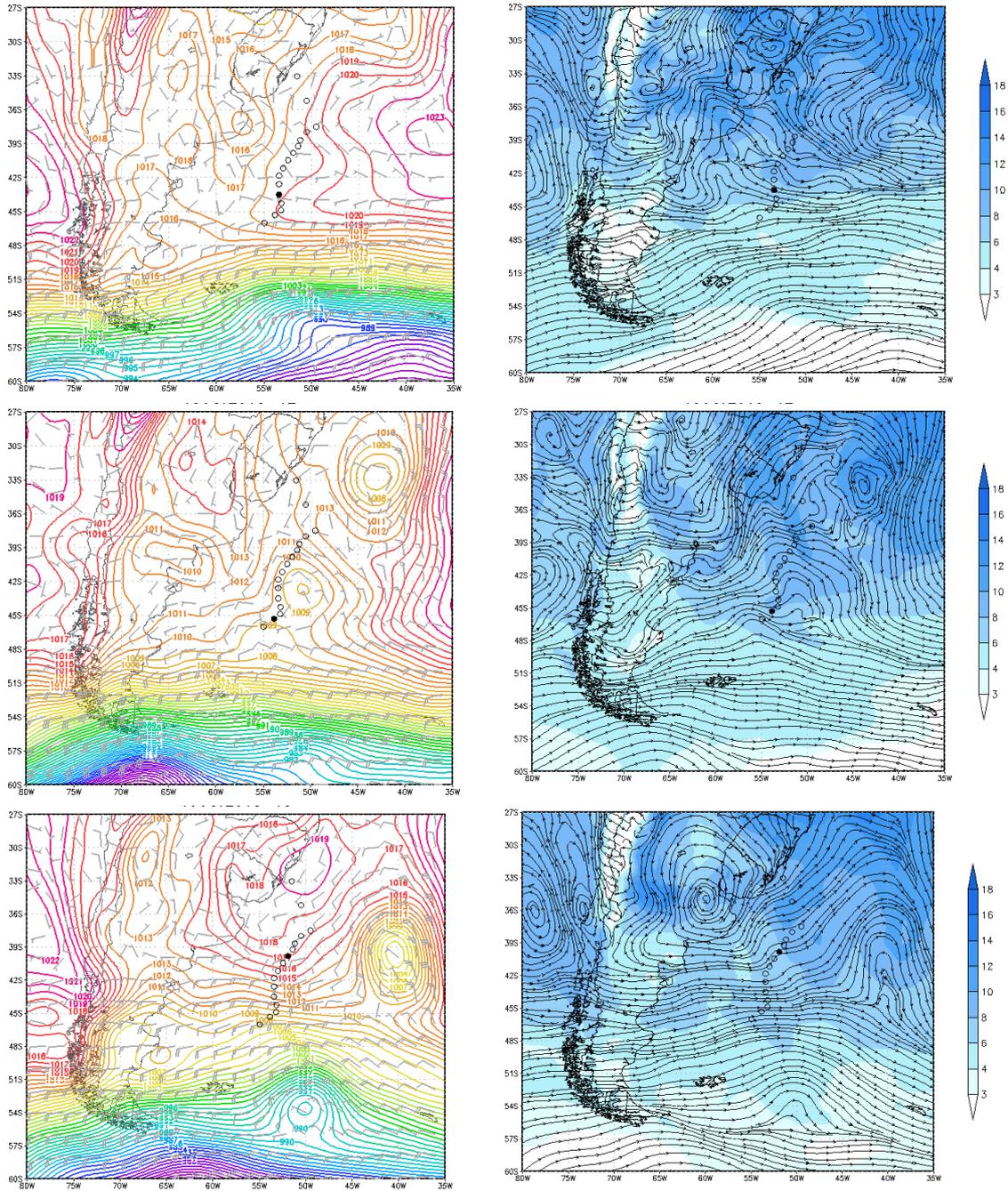
Fonte: (do próprio autor).

Figura 27 - Continuação da Figura 26



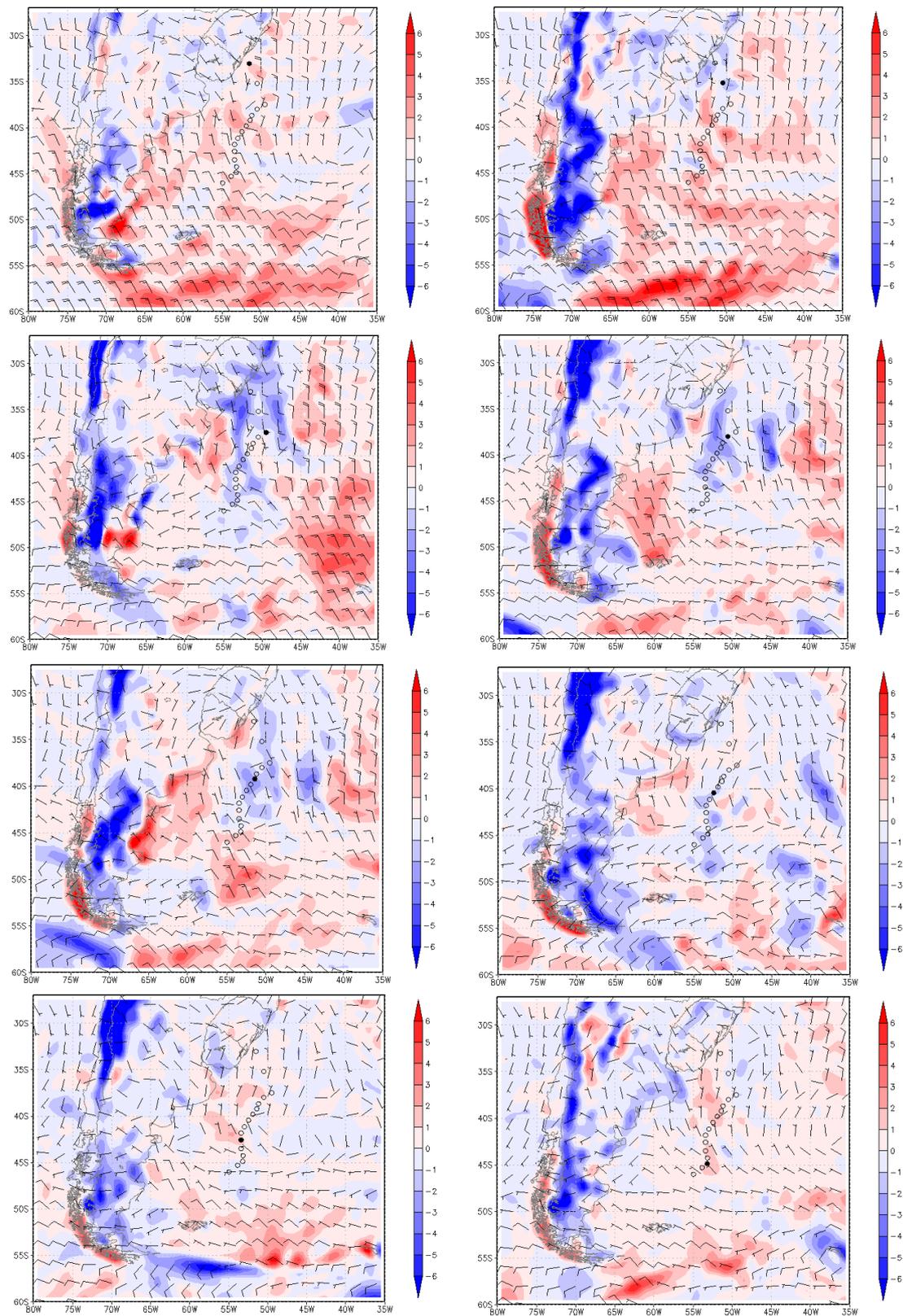
Fonte: (do próprio autor).

Figura 28 – Continuação da Figura 26



Fonte: (do próprio autor).

Figura 29 - Advecção térmica ($^{\circ}\text{C}$) e vento em 1000 hPa ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) durante a OP32. As estações de lançamentos de radiossondas estão denotadas pelos círculos pretos.



Fonte: (do próprio autor).

Associando-se os resultados da análise sinótica de superfície apresentada aqui com os resultados da análise da sessão anterior desse documento, observa-se que a concentração de vapor d'água é principalmente regulada pela TSM (condição local). Em geral têm-se maiores concentrações sobre o lado quente da CBM, porém, sob condições de advecção quente ou fria, essas concentrações sofrem influências de condições remotas. Os resultados concordam com estudos anteriores, que mostram que a concentração de vapor d'água pode ser alterada em diferentes estratos da atmosfera e não uniformemente na CLAM inteira. O IWV é influenciado por condições de advecção térmica que tem um forçante remoto, além das influências locais da TSM (HOLLOWAY e NEELIN 2008; SHERWOOD et al., 2010a).

Para os três estudos de caso escolhidos (OP25, OP32 e OP31) foi aplicado o Teste T para determinar se seus comportamentos estatísticos com respeito à IWV eram distintos dos casos normais. O nível de 95% ($p < 0,05$) foi escolhido para determinar se a diferença é significativa. Os resultados dos testes mostram, contudo, que na OP25 o IWV não é significativamente diferente dos casos normais ao nível de 95% ($p = 0,69$), dando ênfase a motivação da análise, por ambos os lados terem concentrações semelhantes, logo, não significativas. Para a OP32, o Teste T foi aplicado e mostrou nos resultados que IWV é estatisticamente significativo ao nível de 95% ($p = 0,009$). No terceiro caso, onde analisa-se a umidade específica do ar em níveis superficiais (q_{sup}) na OP31, nota-se que os valores de q_{sup} entre os dois lados da CBM são significativamente distintos estatisticamente ao nível de 95% ($p = 0,01$).

4.1.5.2. Análise do vapor d'água integrado na CLAM sob atuação de sistemas sinóticos distintos

Na Figura 30 é mostrada a concentração do vapor d'água atmosférico, dado pelo conteúdo de água precipitável, integrado verticalmente desde a superfície até o topo da CLAM para cada estação de lançamento de radiossondas sobre a CBM nos três cruzeiros analisados anteriormente, sob a presença de sistemas atmosféricos sinóticos distintos. Na Figura 30a é apresentado IWV ao longo do cruzeiro realizado na OP25, quando a atmosfera se apresentou sob a atuação de sistemas de alta pressão durante o cruzeiro sob ambos os lados da CBM. O comportamento do vapor d'água apresenta uma variabilidade acentuada e enfatizando o fato de que valores semelhantes de concentração de vapor d'água podem ser encontrados nos dois lados da CBM, como descrito anteriormente.

Durante a OP31 (Figura 30b), observa-se uma situação relevante onde a radiossonda 11, lançada na latitude de 41.5°S mostra uma rápida diminuição da concentração de vapor d'água ainda sobre a CB. Esse local, no período analisado, encontrava-se numa área de encontro dos sistemas de circulação, chamado "ponto de colo" que acontece devido à aproximação de um segundo sistema de alta pressão. Nesse tipo de situação, a atmosfera tende a apresentar uma desintensificação do vento, o que influencia diretamente a IWV.

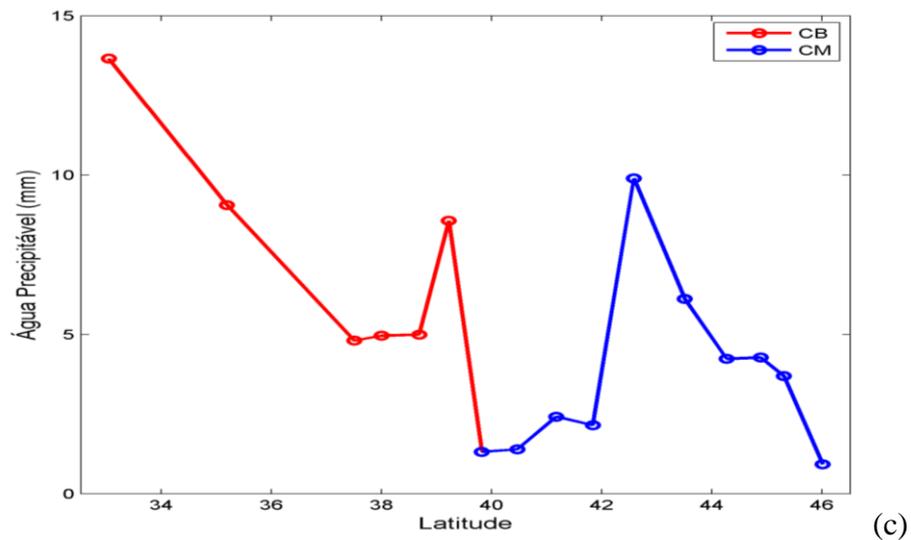
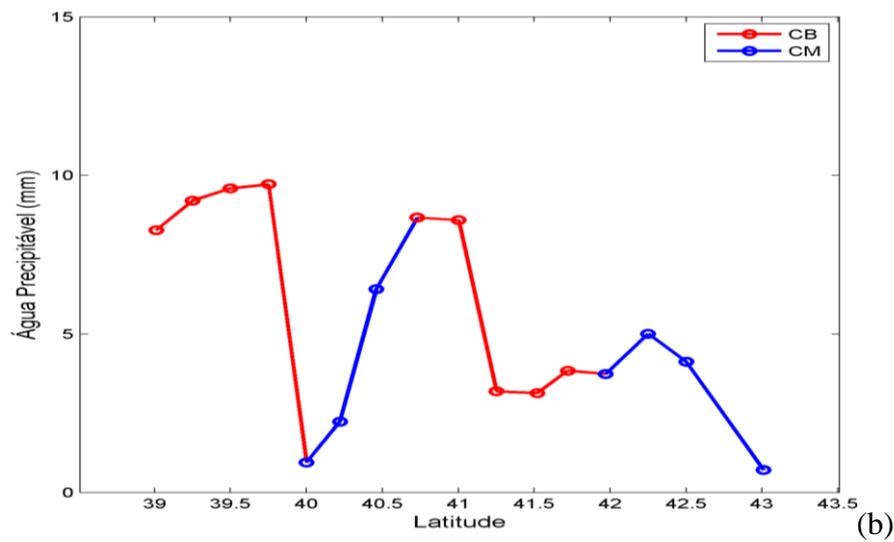
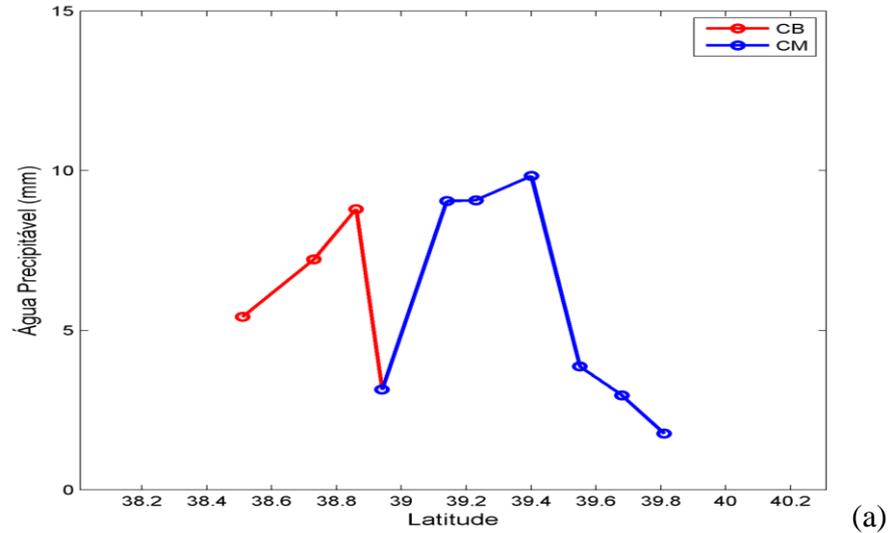
Pode-se comparar a concentração de vapor d'água sob atuação de sistemas de grande escala distintos quando comparadas as três primeiras radiossondas da OP31 (Figura 30b) que estavam sob atuação de um sistema de alta pressão com as primeiras radiossondas lançadas durante a OP32 (Figura 30c) que estavam sob atuação de um sistema ciclônico, ambas situações sobre o mesmo lado da CBM (quente). Nota-se significativa variação na concentração de IWV de acordo com o sistema atmosférico atuante na região no lado quente da frente oceanográfica e assume-se que essa variação é basicamente controlada pelo forçante remoto da pressão atmosférica de grande escala atuando na região.

A Figura 30c mostra a IWV na CLAM da região da CBM durante a OP32. Evidenciam-se as maiores concentrações de vapor d'água nas três primeiras radiossondagens, em locais sob a atuação de um ciclone extratropical. Com a passagem do sistema, a IWV tendeu a diminuir rapidamente, tendo suas menores concentrações na região de máximo gradiente termal na superfície do mar. Sobre o lado frio da CBM (ao sul da frente), próximo à latitude de 33°S, a atmosfera voltou a ter altas concentrações de vapor d'água. Isso provavelmente foi devido à advecção gerada pelo sistema de alta pressão localizado a noroeste das estações de radiossondagem. Nessa região a borda oeste do sistema de alta deslocou umidade do continente sul-americano até o lado frio da CBM.

A análise dos três casos mostrados na Figura 30, juntamente com todos os outros cruzeiros analisados (não mostrados neste estudo), mostrou que quando há uma região de máximo gradiente termal, mostrado através do encontro das duas frentes, normalmente há um decréscimo rápido do vapor d'água, caracterizando na atmosfera o impacto de uma região oceânica de encontro de diferentes massas de água.

Interessante mostrar através dos gráficos de IWV que, embora os sistemas atmosféricos tenham influência direta na concentração de vapor d'água sobre os lados quente e frio da CBM, a região sofre influência mais direta (local) da TSM. Como resultado evidencia-se que, mesmo considerando-se a CLAM na sua íntegra (em toda a sua espessura), quando existe um forte contraste térmico lateral na superfície do mar, este tem influência direta no conteúdo de IWV de toda a coluna de ar na CLAM.

Figura 30 - Concentração de vapor d'água na atmosfera dado pela água precipitável e integrada dentro da CLAM (a) OP25 (b) OP31 (c) OP32. A linha em vermelho representa a concentração sobre o lado quente da CBM (CB) e a linha em azul representa a concentração sobre o lado frio da CBM (CM).



Fonte: (do próprio autor).

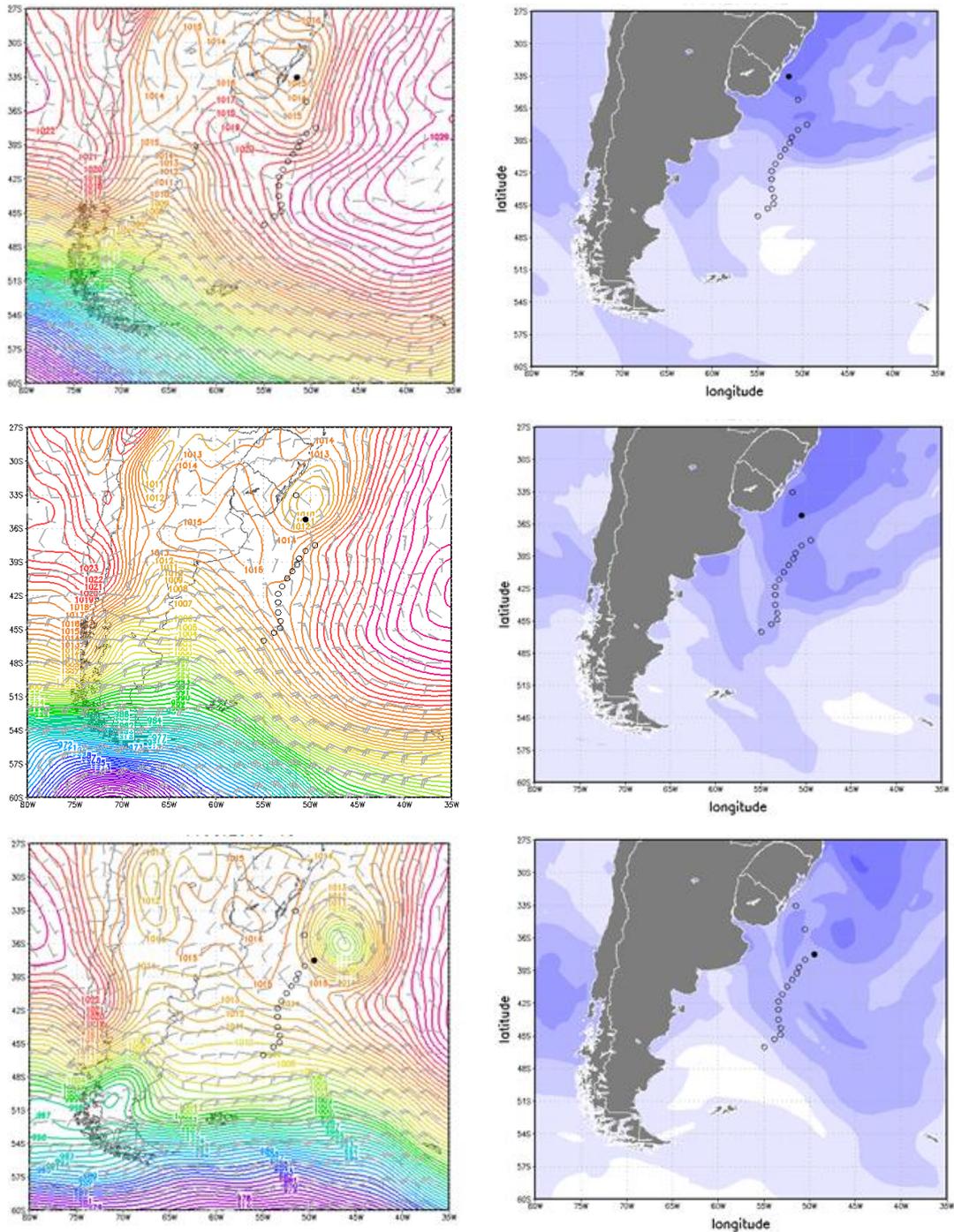
Para avaliar qualitativamente os períodos analisados aqui sob atuação de sistemas atmosféricos distintos, observou-se o vapor d'água disponível entre 1000 e 700 hPa através dos campos de água precipitável. Apresentam-se dois casos distintos sob atuação de sistemas de baixa e alta pressão, vistos na Figura 31 e na Figura 32, ambos ocorridos durante a OP32.

Na Figura 31, apresentam-se campos com amostragens sob atuação de um ciclone extratropical e na Figura 32 os campos sob atuação de sistemas anticiclônicos. Nas Figuras são apresentados os campos de pressão atmosférica e barbelas de vento em 850hPa e os campos de água precipitável obtidos por dados de reanálise CFSR.

A análise dos campos mostra que, sobre a região de atuação do ciclone extratropical, a água precipitável se apresentou em maiores concentrações, principalmente sobre a região de águas mais quentes da CBM. No entanto salienta-se que sob atuação de sistemas com movimentos ascendentes de ar têm-se maiores concentrações de vapor d'água. Esse é o caso da atmosfera durante as radiossondagens 1, 2 e 3 (Figura 23), com água precipitável em torno de 20 a 35mm na área próxima ao litoral do Rio Grande do Sul. Os dados mostram que altas concentrações de vapor d'água sobre a CB, associadas a movimentos ascendentes e vento, podem estar associadas a quantidades de precipitação significativas sobre a região sul do Brasil.

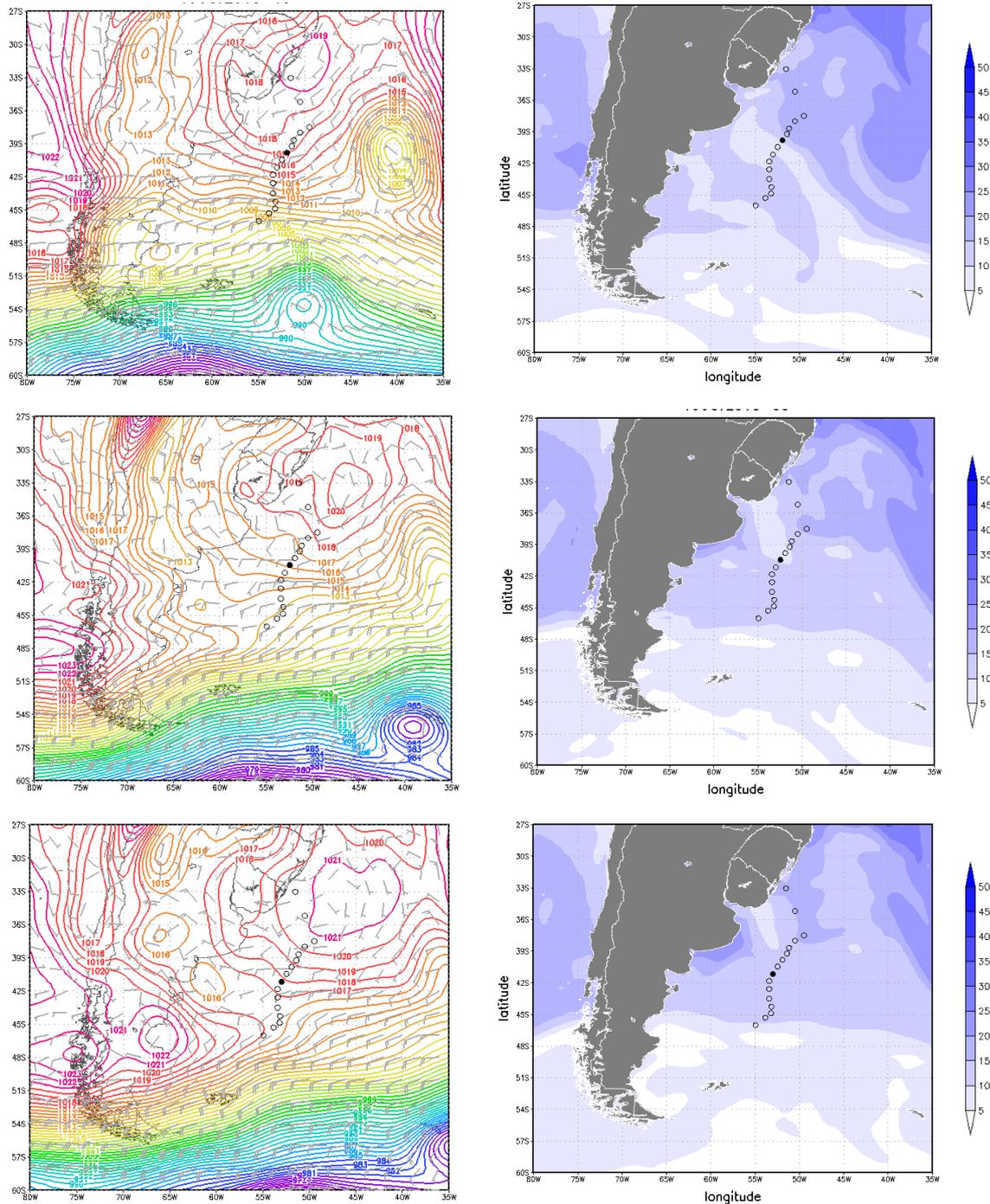
Na Figura 32 apresentam-se situações sob atuação de sistemas anticiclônicos sobre a CBM, evidenciados pelos campos de pressão atmosférica com pressão central em torno de 1020 hPa e campos de vento em torno de 10m/s. A análise dos campos de água precipitável mostra que áreas sob atuação de sistema de alta pressão com movimento de subsidência de ar encontram-se mais secas, com valores variando entre 5 e 15 mm, com maiores IWV sobre estações de lançamento de radiossondas na porção quente da CBM (radiossondas 1 a 6).

Figura 31 - (esquerda) Campos de pressão ao nível médio do mar (hPa) e vento médio a 1000 hPa ($m.s^{-1}$) e (direita) campos de água precipitável entre os níveis de 1000 e 700 hPa (mm) evidenciando a presença de um sistema ciclônico sobre a porção quente da CBM durante a OP32. As radiossondagens 1 a 7 foram realizadas no lado quente da frente enquanto que as radiossondagens 8 a 16 foram realizadas no lado frio.



Fonte: (do próprio autor).

Figura 32 - (esquerda) Campos de pressão ao nível médio do mar (hPa) e vento médio a 1000 hPa ($m.s^{-1}$) e (direita) campos de água precipitável entre os níveis de 1000 e 700 hPa (mm) evidenciando a presença de um sistema ciclônico sobre a porção quente da CBM durante a OP32. As radiossondagens 1 a 7 foram realizadas no lado quente da frente enquanto que as radiossondagens 8 a 16 foram realizadas no lado frio.



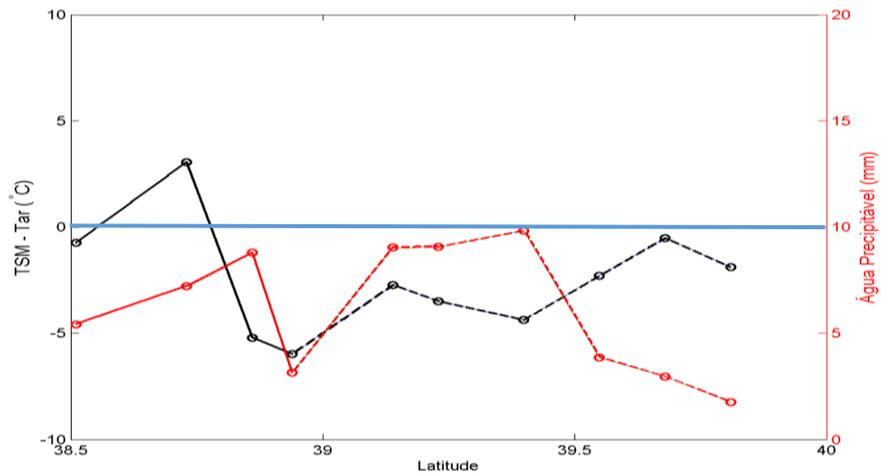
Fonte: (do próprio autor).

Comparando-se a análise quantitativa realizada aqui a partir de dados observacionais tomados na região de estudo e a análise qualitativa realizada aqui através dos dados CFSR, conclui-se definitivamente que a água precipitável não é definida somente em relação à TSM na região da CBM, mas é também altamente relacionada aos sistemas de grande escala atuantes na região, os quais são determinantes à advecção atmosférica de temperatura sobre a superfície oceânica. Estudos anteriores como Stephens (1990) correlacionam dados de TSM com dados de água precipitável com base na equação de Clausius-Clayperon. Os autores afirmam que o vapor d'água na atmosfera acima dos oceanos pode ser prescrito a partir da TSM, com desvio padrão de $0,36\text{g/cm}^2$. O estudo mostra que, dentro da CLAM, devem-se considerar efeitos oceânicos e atmosféricos para descrever o IWV.

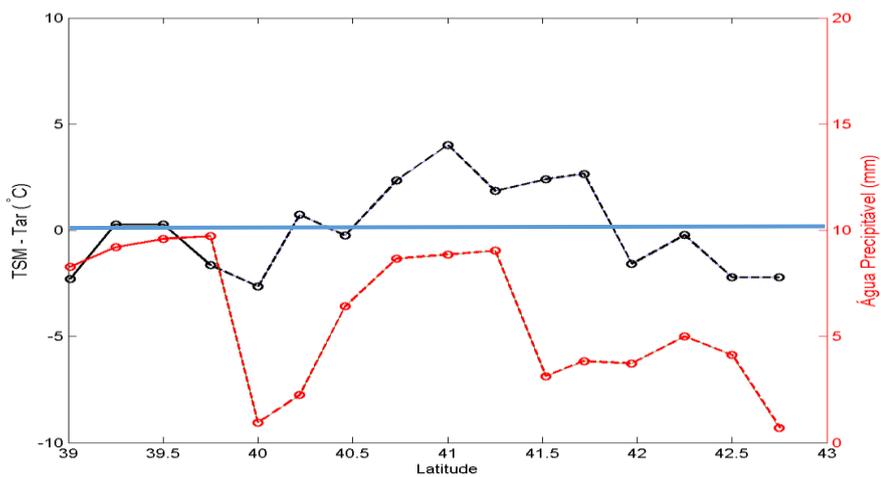
A Figura 33 mostra a variação do parâmetro de estabilidade do ar com respeito à concentração de vapor d'água integrado na CLAM para a região da CBM ao longo das estações de radiossondagem das OP25 (Figura 30a), OP31 (Figura 30b) e OP32 (Figura 30c). Pode-se observar nos cruzeiros realizados na OP25 e OP31 que na maior parte do deslocamento do navio, a TSM foi maior que a temperatura do ar indicando uma condição de instabilidade. Onde haviam valores negativos do parâmetro de instabilidade (indicando que a atmosfera se apresenta estável) sobre a porção quente da frente, o vapor d'água atmosférico apresenta suas menores concentrações. O contrário pode ser observado sobre a porção fria da frente, onde a estabilidade estática apresenta-se quase sempre com valores positivos, indicando uma instabilidade da atmosfera. Nesse caso, a concentração de vapor d'água apresentou-se bem menor.

Para a OP32 (Figura 30c), que apresentou distintos sistemas atuando durante a coleta de dados em campo, nota-se que as primeiras 3 estações de radiossondas estavam sob a atuação de um ciclone extratropical. A atmosfera apresentava-se, como esperado, instável e com maiores concentrações de vapor d'água na CLAM em relação a casos de estabilidade. O mesmo acontece em águas frias sobre a CM, onde a atuação de outro ciclone extratropical ocorreu nas últimas estações de radiossondagem. A partir da estação 7 existe a presença de um anticiclone, atuando exatamente na área de transição entre as CB e a CM. Ao Sul dessa estação, a intensidade do vento e a umidade reduzem consideravelmente enquanto a TSM aumenta.

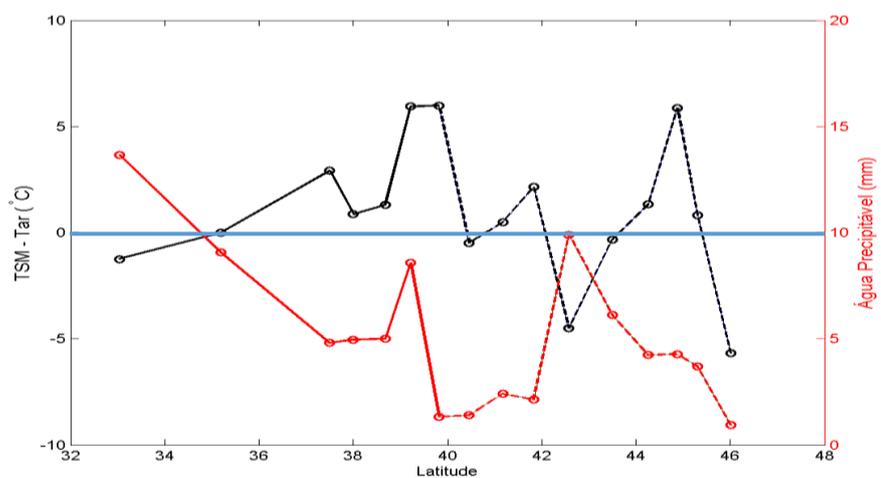
Figura 33 - Variação do parâmetro de estabilidade TSM-Tar (linha preta) e conteúdo de água precipitável (linha vermelha) dentro da CLAM longo das (a) OP25, (b) OP31 e (c) OP32. Linhas cheias (lado quente), linhas tracejadas (lado frio), linha azul representa a TSM em 0°C.



(a)



(b)



(c)

Fonte: (do próprio autor).

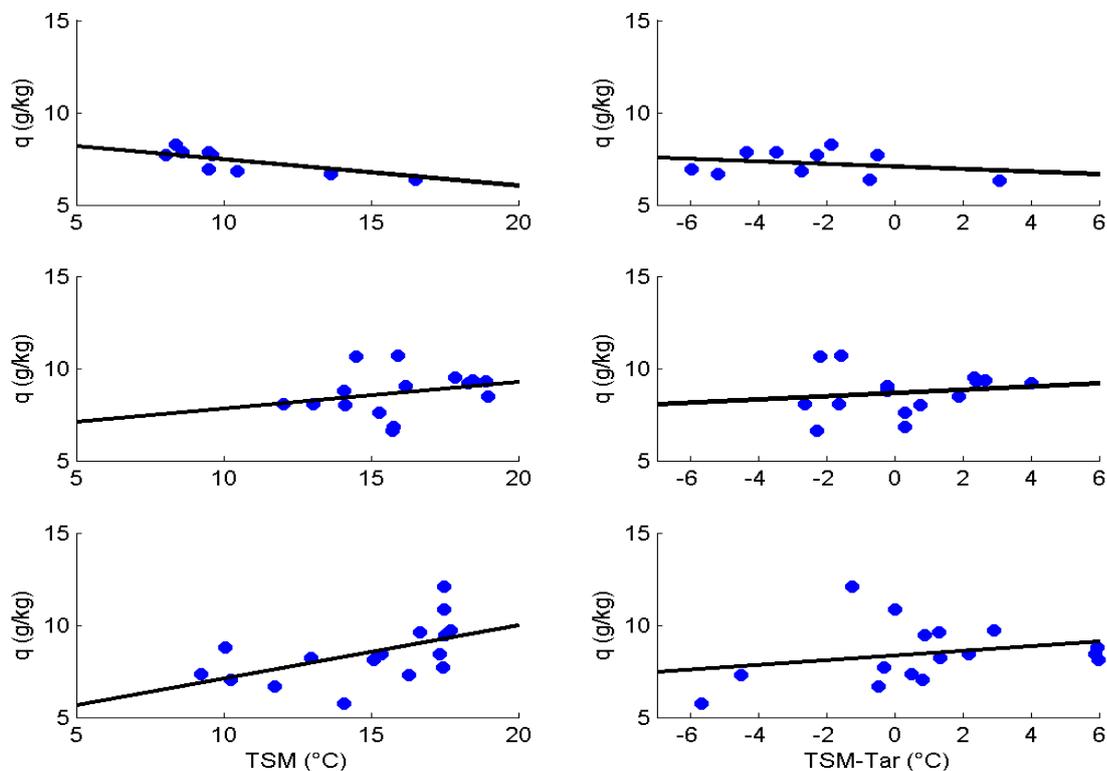
As análises da influência de diferentes sistemas atmosféricos sobre os dois lados da frente oceanográfica na CBM mostram que os movimentos verticais gerados pelos anticiclones transientes e ciclones extratropicais modulam o vapor d'água nos dois locais. A concentração de vapor d'água apresentou uma variação de acordo com a estabilidade estática da região, sendo que sob uma CLAM instável a concentração de vapor d'água foi maior e sob condições de estabilidade a concentração de vapor d'água foi menor, sendo definida pelo sistema sinótico atuante sobre ambas os lados da frente oceanográfica.

Esses resultados estão de acordo com Xie (2004) que sugere que a correlação positiva entre TSM e ventos na superfície sobre anomalias positivas de TSM pode reduzir a estabilidade estática da atmosfera perto da superfície do mar, dessa forma intensificando a mistura turbulenta e trazendo o ar superior para baixo rapidamente. Assim ocorre uma aceleração do vento de superfície.

Para fundamentar a aderência de nossas observações com o que foi descrito por Xie (2004), analisou-se aqui a relação entre umidade específica e TSM (ou o parâmetro de estabilidade TSM-Tar) das operações antárticas OP25, OP31 e OP32 na forma de gráfico de dispersão (Figura 34). Percebe-se que a umidade específica nas OP31 e OP32 em níveis superficiais apresentou um comportamento esperado, ou seja, aumentando conforme aumenta a TSM. As estações de radiossondagem estavam distribuídas entre regiões estáveis e instáveis da atmosfera. Quanto maior a instabilidade da região, maior a concentração de vapor d'água superficial. Porém, este comportamento apresenta-se contrário na OP25, onde a umidade específica tende a diminuir sobre valores mais altos de TSM (lado quente da frente), porém distribuídos sobre regiões de instabilidade estática.

A análise da relação entre a IWV e TSM (ou o parâmetro de estabilidade TSM-Tar) das operações antárticas OP25, OP31 e OP32 na forma de gráfico de dispersão na Figura 35. Nota-se claramente que a concentração de vapor d'água dentro da CLAM, dada pela água precipitável aumenta com o aumento da TSM. Por outro lado, essa relação não é clara em relação ao parâmetro de estabilidade. Nota-se que na OP25 essa relação está ligada a condições de estabilidade, enquanto que na OP31 essa relação não é direta, provavelmente devido à presença de sistemas atmosféricos anticiclônicos durante todo o cruzeiro.

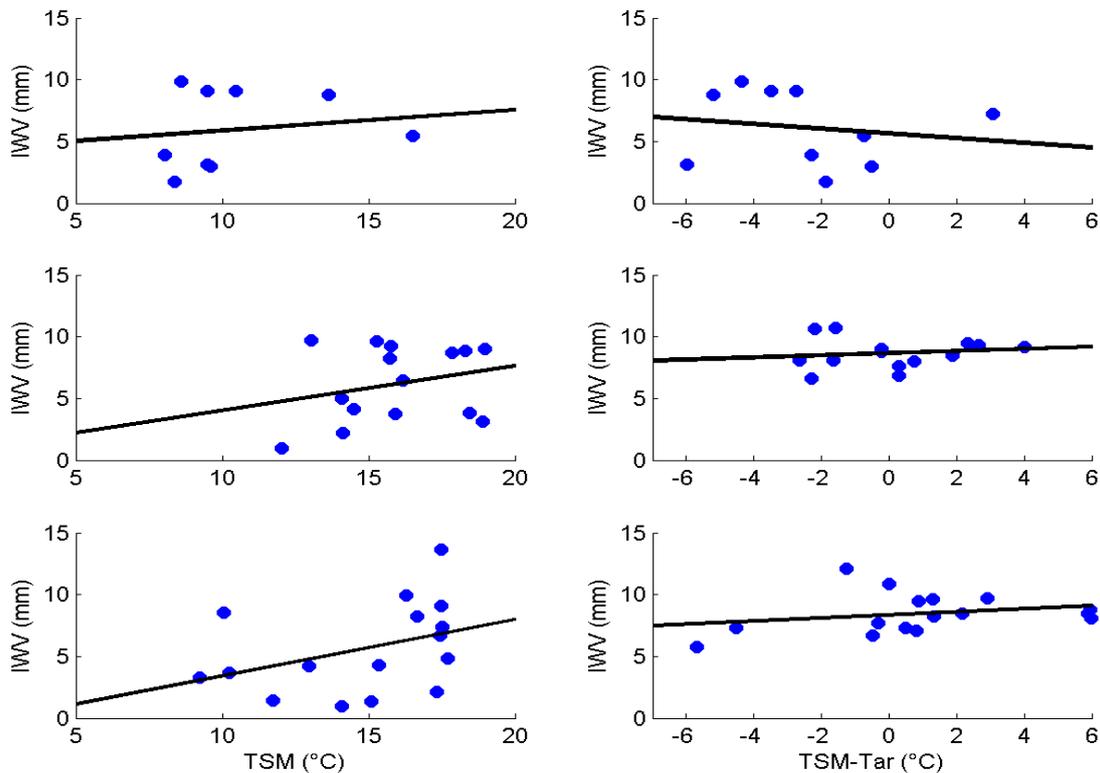
Figura 34 - Variação da umidade específica em superfície (q) com respeito à TSM (coluna da esquerda) e à instabilidade estática (coluna da direita). Painéis superiores: OP25, painéis centrais: OP31 e painéis inferiores: OP32.



Fonte: (do próprio autor).

A ampla variação entre as condições de estabilidade ou instabilidade atmosférica durante a OP32 parece ser determinada pela presença de sistemas de grande escala distintos passando pela região desse estudo. Situações de estabilidade estática onde há inversão de temperatura do ar podem afetar a taxa de dispersão de vapor d'água na CLAM, podendo haver maior concentração retida nos níveis de inversão. Essas situações serão analisadas a seguir através da análise da estrutura termodinâmica vertical da atmosfera.

Figura 35 - Variação do vapor d'água verticalmente integrado na CLAM (IWV) com respeito à TSM (coluna da esquerda) e à instabilidade estática (coluna da direita). Painéis superiores: OP25, painéis centrais: OP31 e painéis inferiores: OP32.



Fonte: (do próprio autor).

4.1.5.3. Análise da estrutura termodinâmica vertical da atmosfera

A análise da estrutura termodinâmica vertical da atmosfera foi realizada para todas as estações de lançamento de radiossondas de todas as operações antárticas estudadas aqui. Como método padrão, essa análise foi feita através dos diagramas Skew-T log P. Por restrições de espaço e de objetivos dessa tese, esses diagramas serão apresentados somente para as OP25, OP31 e OP32 que, devido ao que foi apresentado na sessão anterior desse trabalho, apresentam situações atmosféricas sinóticas importantes de serem melhor compreendidas.

Os diagramas são apresentados nas Figuras 33 a 43, na ordem temporal e espacial de aquisição de dados em cada estação de radiossondagem e operação antártica conforme o deslocamento do navio de norte a sul sobre a região da CBM. Informações sobre as posições de lançamentos das radiossondas durante todas as operações antárticas e outros detalhes podem ser vistos na Tabela 4.

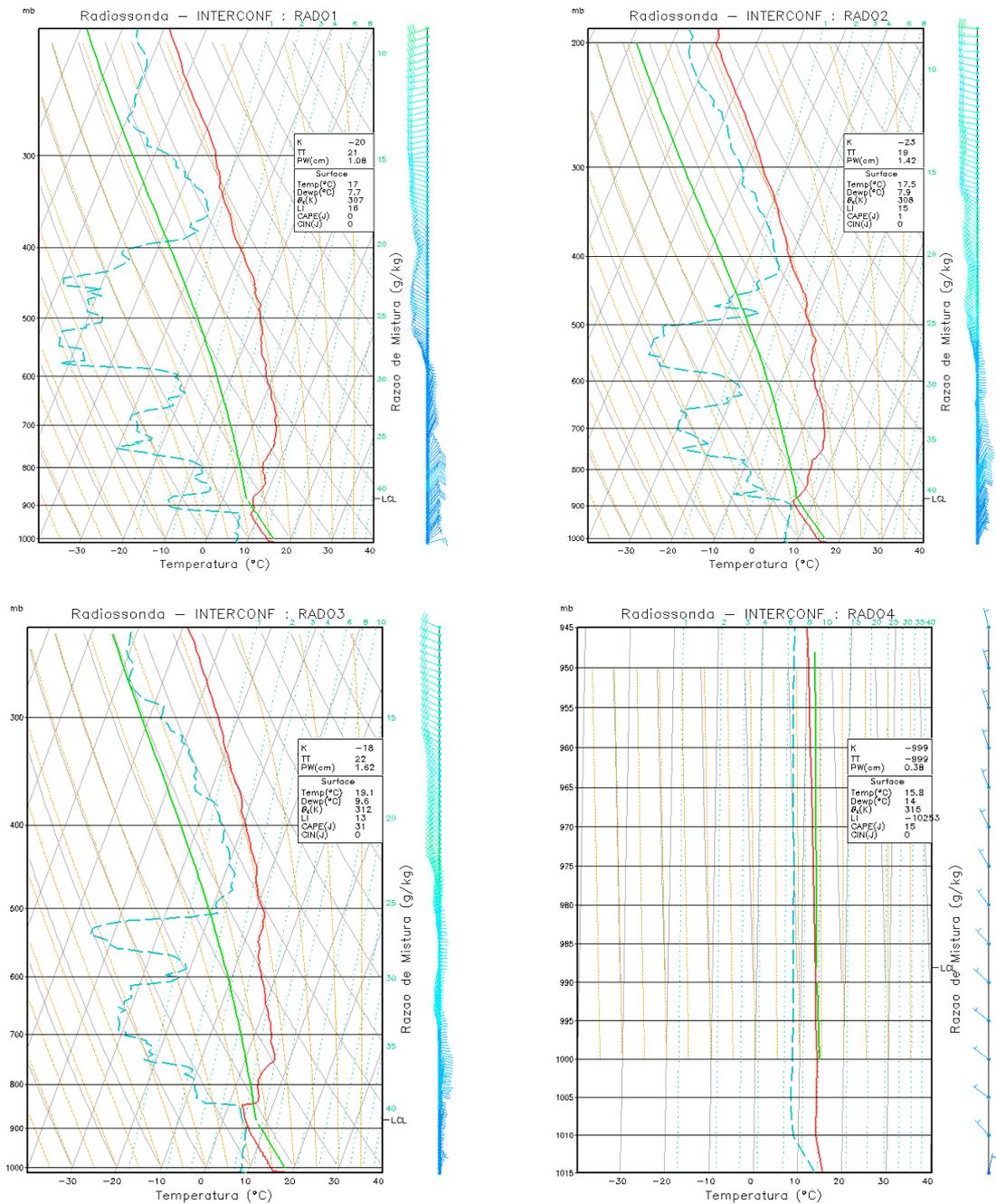
De maneira geral, a análise termodinâmica conjunta dos 130 perfis verticais de radiossondas do Programa INTERCONF mostra que, sobre a região da CBM, em todos os perfis

existe uma camada de umidade superficial elevada que se deve à proximidade da baixa atmosfera com o oceano. Observou-se que o topo da CLAM sobre a região da CBM variou entre 950 a 600 mb (Tabela 4), com variações dependentes do lado da frente oceanográfica onde o lançamento de radiossonda foi realizado e com o sistema de atmosférico sinótico atuante na região de estudo no período analisado. A CLAM se apresenta mais desenvolvida em regimes sob a atuação de sistemas ciclônicos e no lado quente (norte) da CBM.

Os perfis termodinâmicos obtidos durante a OP25 são mostrados na Figura 36 (radiossondas 1 a 4), Figura 37 (5 a 8) e Figura 38 (9 e 10). Por sua baixa amostragem vertical, a radiossonda 4 (RS04) não foi considerada na análise termodinâmica, apesar de mostrada aqui. Evidencia-se, através da análise dos diagramas Skew-T, a alta concentração de umidade em níveis superficiais durante a OP25, especialmente sobre o lado frio da CBM nas radiossondagens efetuadas em período noturno entre 22 h e 02h, sob atuação de um sistema pré-frontal (RS08 até RS10). As análises da estrutura vertical de temperatura e umidade dessas radiossondas mostram que, além da inversão térmica em níveis superficiais apresentada nas RS05, RS08, RS09 e RS10, a região da CBM durante a OP25 apresentou-se sob uma condição de estabilidade. Isso é observado através da comparação da inclinação da curva de temperatura com as curvas adiabáticas (seca ou saturada, de acordo com a parcela) (HOLTON, 1979). A combinação entre uma advecção quente na atmosfera acima do lado frio da CBM, evidenciada pela direção e intensidade do vento e pela curva de temperatura e a estabilidade durante o transecto realizado na OP25, parece ter sido a causa para que a concentração de umidade sobre o lado frio da CBM tenha se apresentando mais alta que sobre o lado quente, como normalmente esperado.

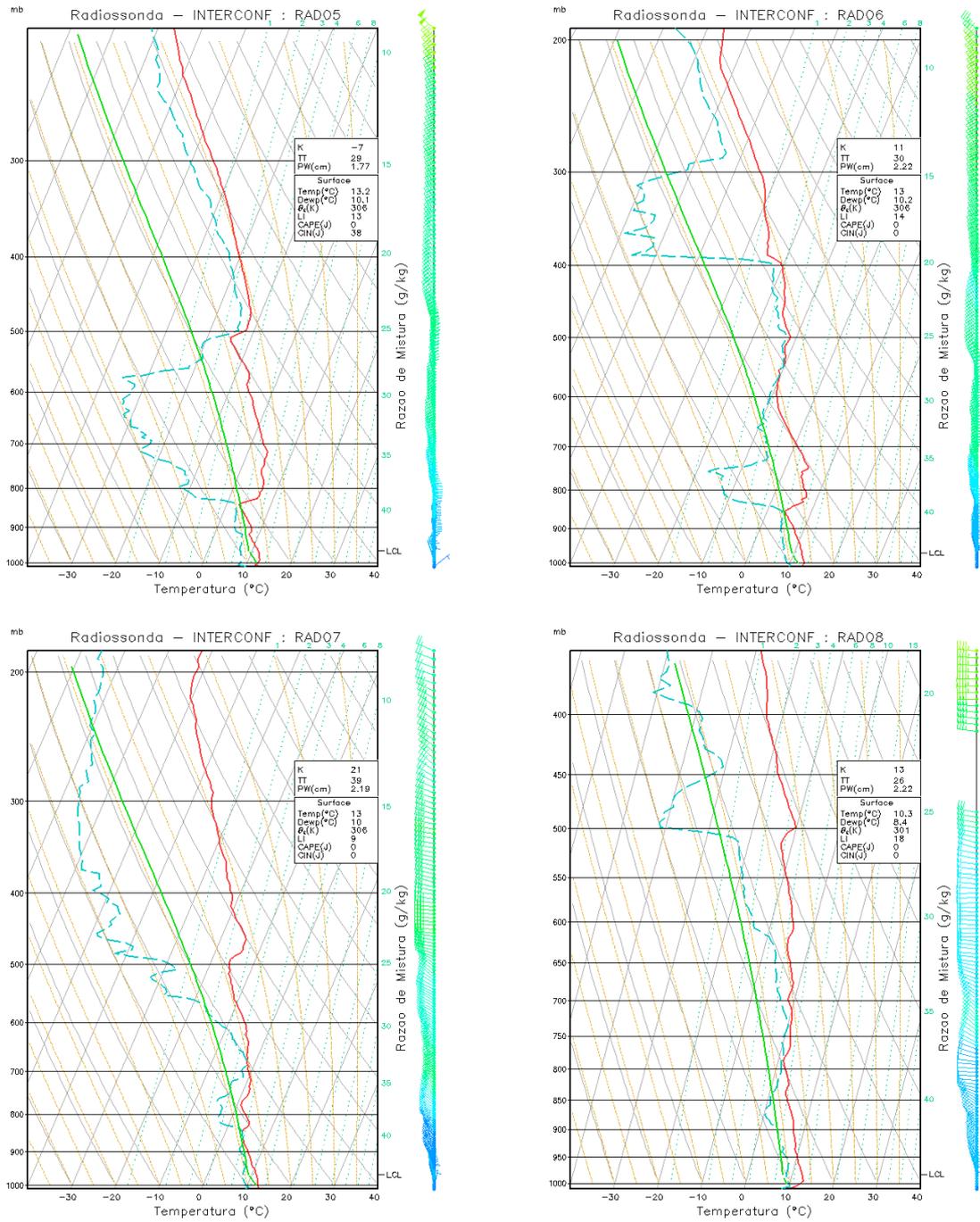
A estabilidade da CLAM durante a OP25 é também observada com o auxílio do índice K (IK), ferramenta fornecida também pelo diagrama Skew-T log P. O índice IK é um indicador da estabilidade potencial na metade inferior da atmosfera, baseado na taxa vertical de variação da temperatura e do conteúdo de umidade da camada limite (BLUESTEIN, 1993). Quanto mais positivo este índice, mais instável apresenta-se a atmosfera. Considera-se que quando o índice for menor que 15 ($IK < 15$), a atmosfera apresenta-se estável. Durante a OP25, somente a RS07 apresentou $IK > 15$. Para uma análise de probabilidade de tempestades, considerando o perfil atmosférico total, estima-se em cerca de 20% de chance que uma tempestade ocorra. A RS07 foi a radiossondagem que apresentou a maior concentração de vapor d'água no transecto realizado pelo INTERCONF durante a OP25. Em resumo, no geral, a OP25 realizou-se sob condições de atmosfera estável, o que não permite movimentos ascendentes de ar, resultando em uma alta concentração de umidade em superfície.

Figura 36 - Diagrama Skew-T log P para todas as radiossondagens realizadas durante a OP25. A temperatura está representada por linhas sólidas na cor vermelha e temperatura do ponto de orvalho por linhas tracejadas na cor azul. A linha verde corresponde à temperatura de uma parcela hipotética de ar levantada a partir do primeiro nível da sondagem. Pressão (mb). Barbelas: 1/2 barbelas, 5 kt; barbelas inteiras, 10 kt; bandeira 50 kt sem barbelas: 1 kt. Perfis 1-4 estão na porção quente e perfis de 5-10 estão sobre a porção fria da CBM.



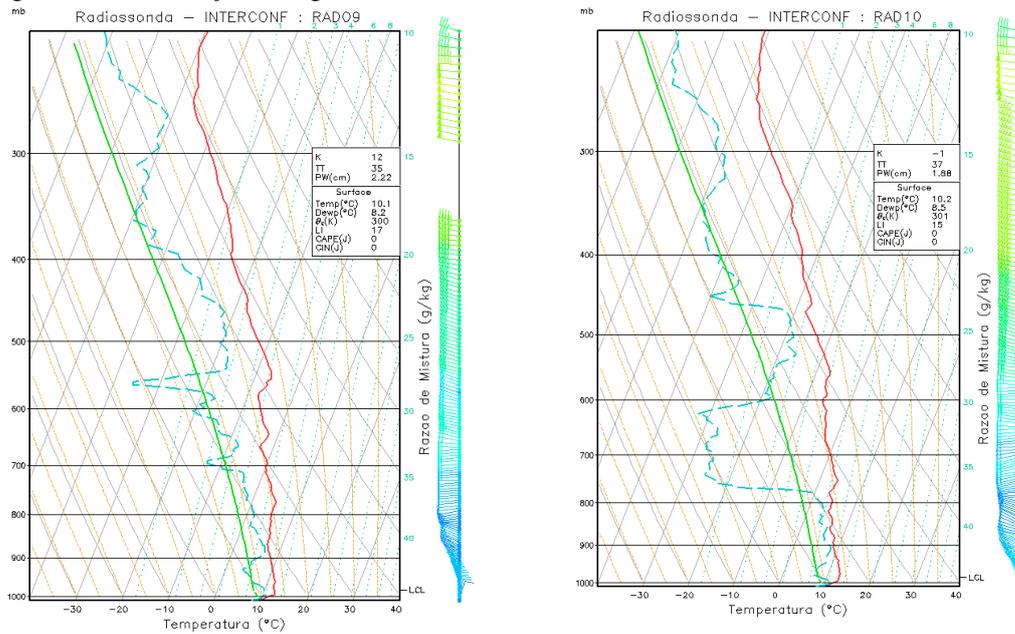
Fonte: (do próprio autor).

Figura 37 – continuação da Figura 36



Fonte: (do próprio autor).

Figura 38 –Continuação da Figura 36

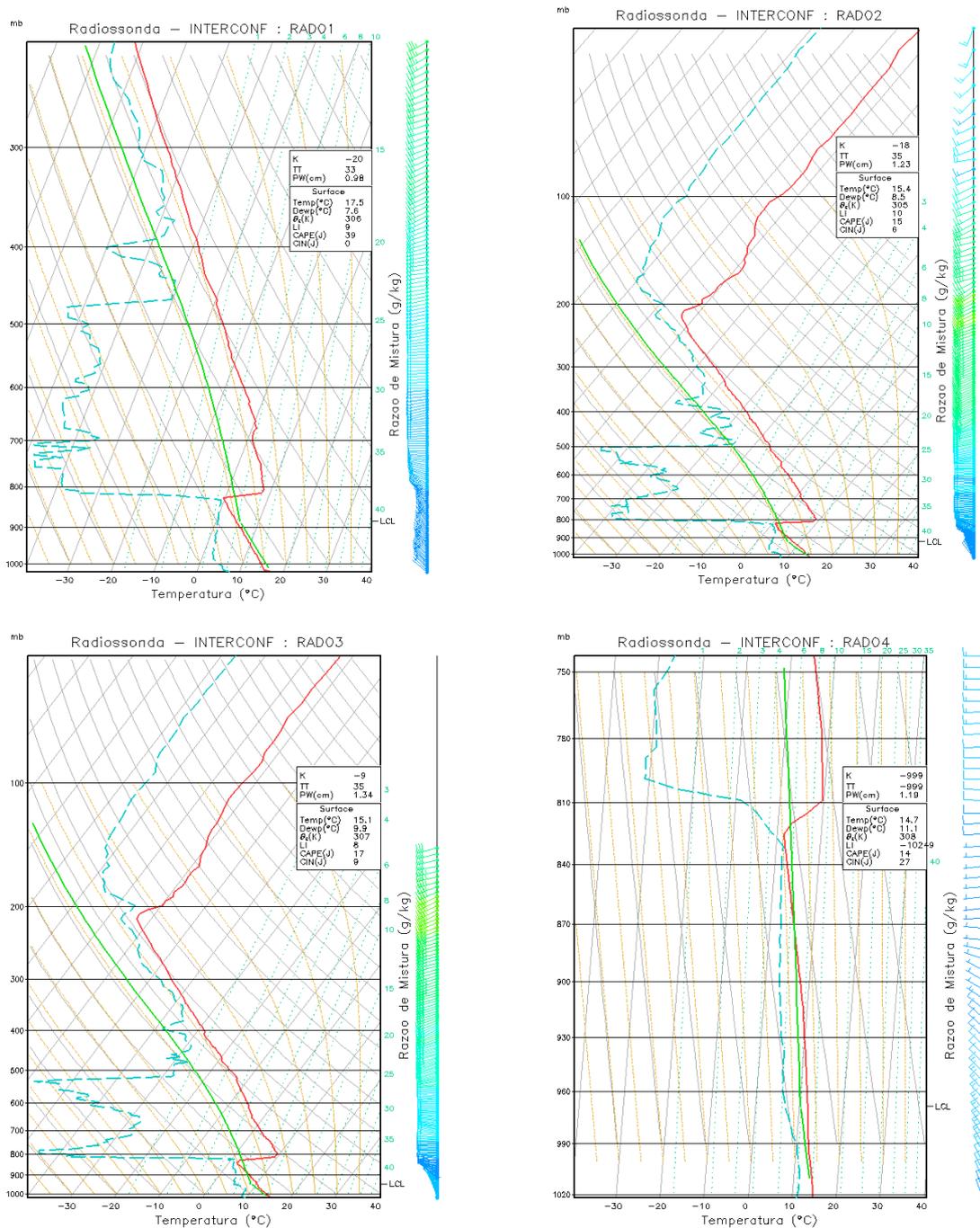


Fonte: (do próprio autor).

Os perfis termodinâmicos obtidos pelas radiossondagens da OP31 são mostrados na Figura 39 (RS01 a RS04), Figura 40 (RS05 a RS08), Figura 41 (RS09 a RS12) e na Figura 42 (RS13 a RS15). Em geral nessas figuras nota-se a atmosfera inicialmente sob a influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) nos perfis verticais do diagrama Skew-T log P (RS01 a RS06). A alta é bem marcada através do afastamento das curvas de temperatura (T) e temperatura do ponto de orvalho (Td), com presença de ventos intensos em pontos especialmente colocados mais à borda do sistema. O perfil termodinâmico mostra a camada de inversão térmica (~800 hPa) provocada pelo aquecimento por compressão adiabática e secamento da atmosfera devido ao movimento subsidente da ASAS. Nas radiossondagens 5 e 6 (RS05 e RS06), realizadas à noite, foi possível verificar uma camada de inversão térmica junto à superfície, o que denota o resfriamento da mesma por perda radiativa no período da noite com pouca ou nenhuma nebulosidade. As próximas estações de radiossondagem apresentam-se sob uma mudança na circulação atmosférica com a aproximação de um segundo sistema de alta pressão. Com o encontro destes dois sistemas, as radiossondagens apresentaram um enfraquecimento do vento. Posteriormente ao encontro dos dois sistemas de alta pressão, o sistema de alta pressão transiente juntou-se à ASAS. Em um contexto geral, as radiossondagens da OP31 foram realizadas sob condições de atmosfera seca.

Figura 39 - Diagrama Skew-T log P para todas as radiossondagens realizadas durante a OP31. A temperatura está representada por linhas sólidas na cor vermelha e temperatura do ponto de orvalho por linhas tracejadas na cor azul. A linha verde corresponde à temperatura de uma parcela hipotética de ar levantada a partir do primeiro nível da sondagem. Pressão (mb). Barbelas: 1/2 barbelas, 5 kt; barbelas inteiras, 10 kt; bandeira 50 kt sem barbelas: 1 kt. Perfis 1-4 e 8-13 estão na porção quente e perfis 5-7 e 14-16 estão sobre a porção fria da CBM.

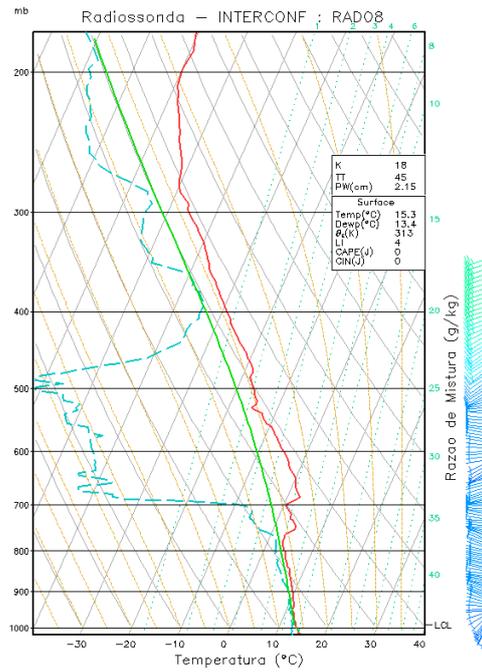
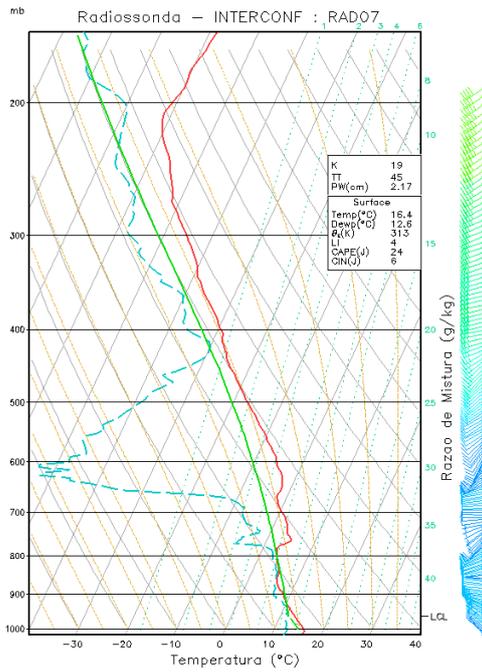
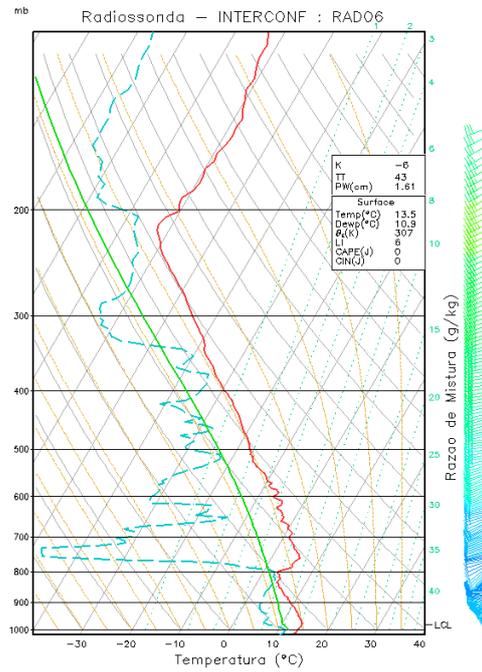
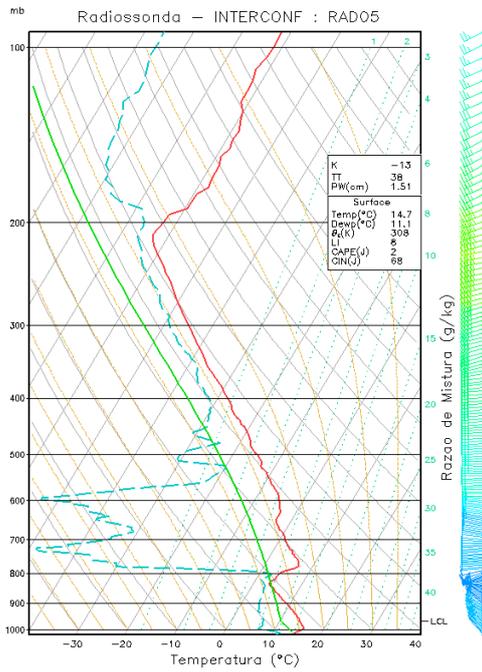
(continua)



Fonte: (do próprio autor).

Figura 40 – Continuação da Figura 39

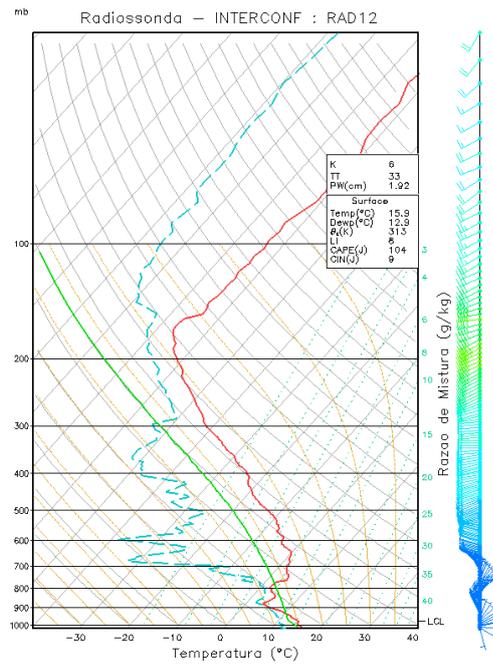
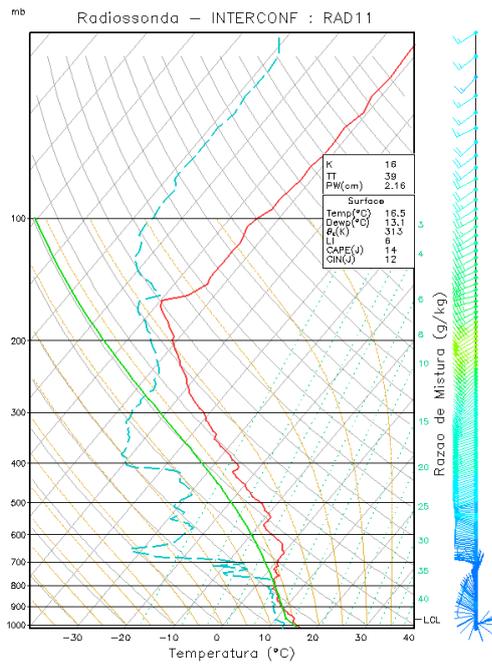
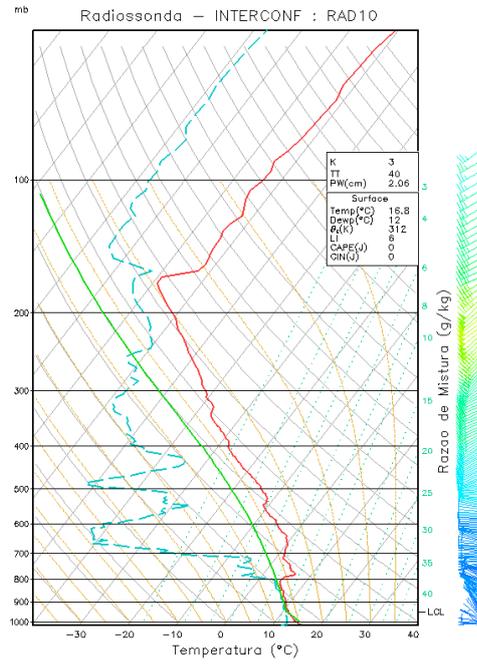
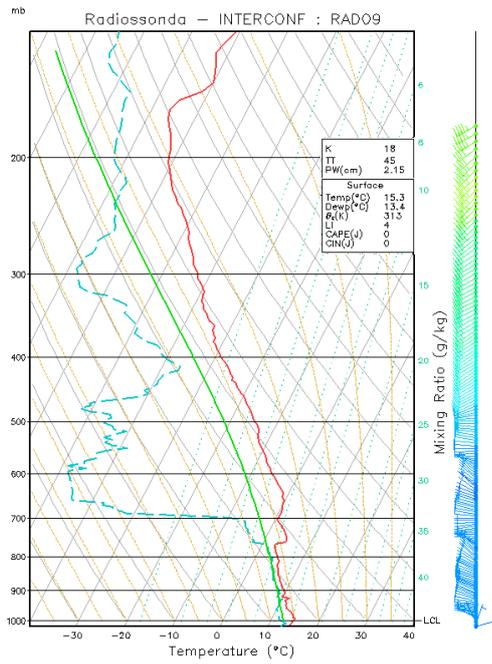
(continuação)



Fonte: (do próprio autor).

Figura 41 - Continuação da Figura 39

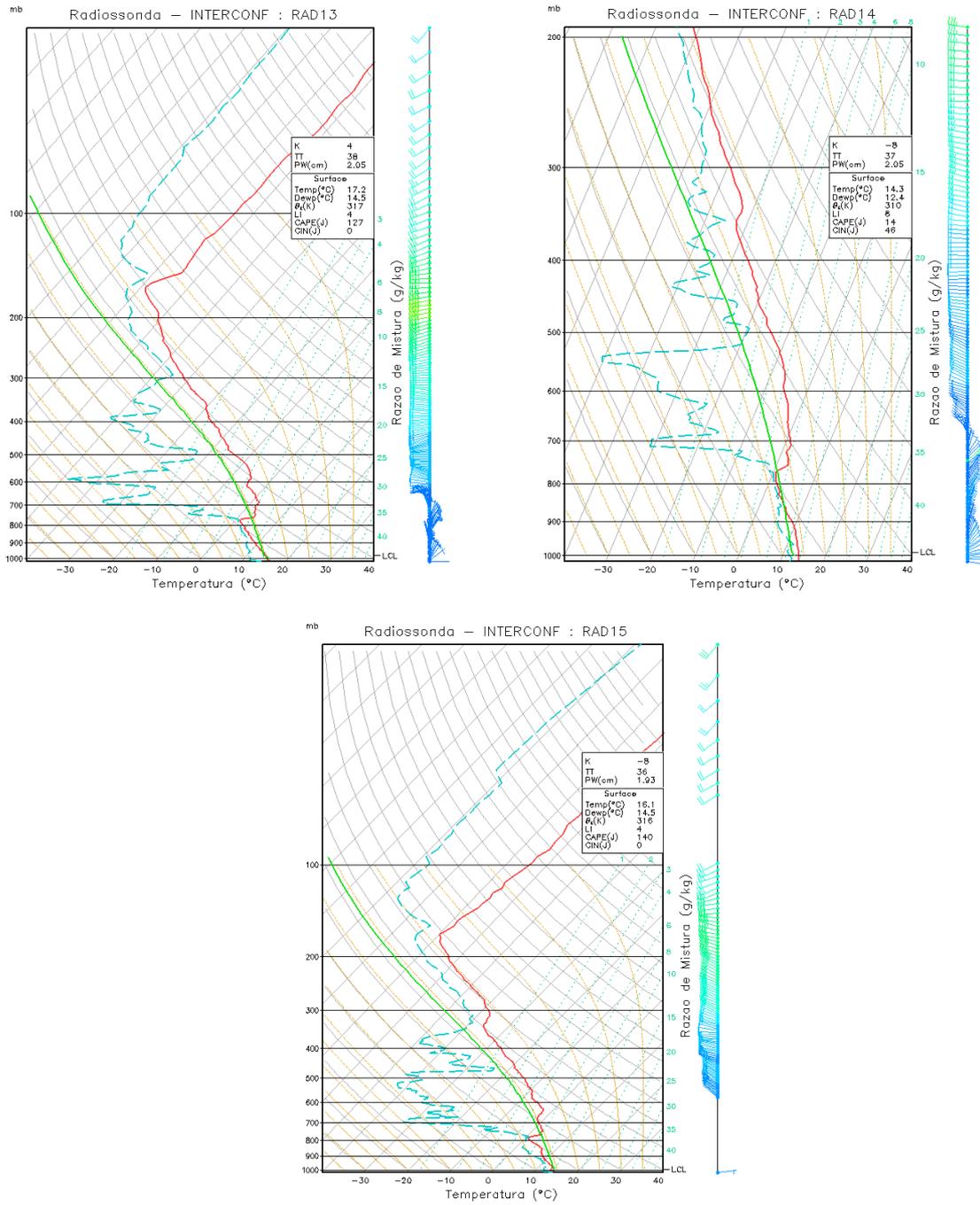
(continuação)



Fonte: (do próprio autor).

Figura 42 - Continuação da Figura 39

(continuação)



Fonte: (do próprio autor)

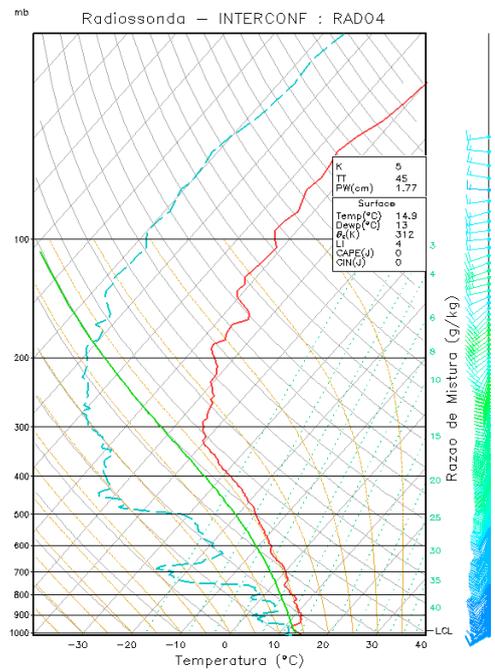
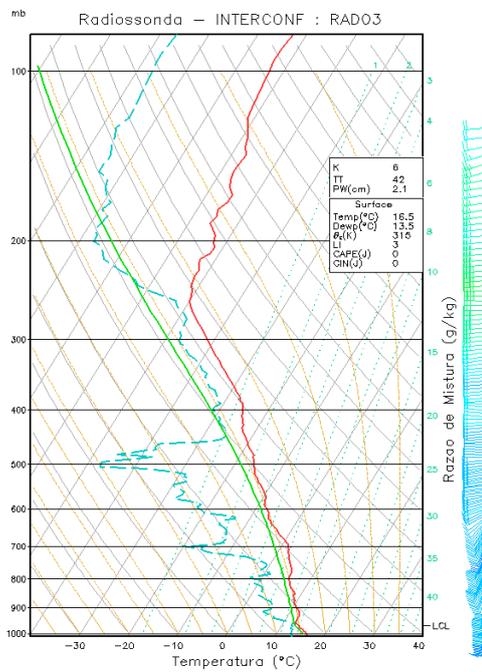
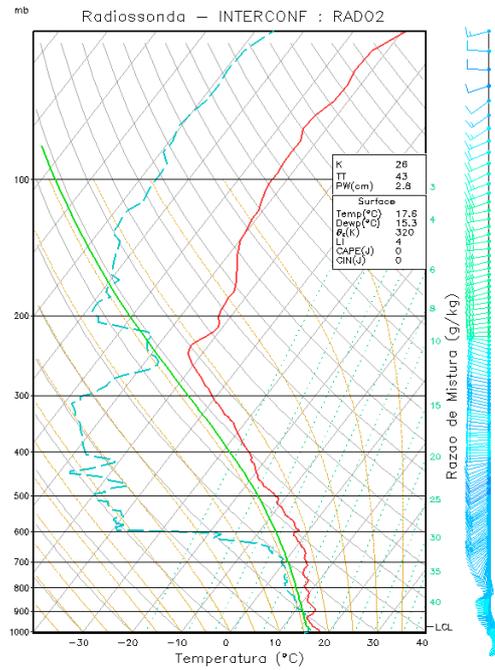
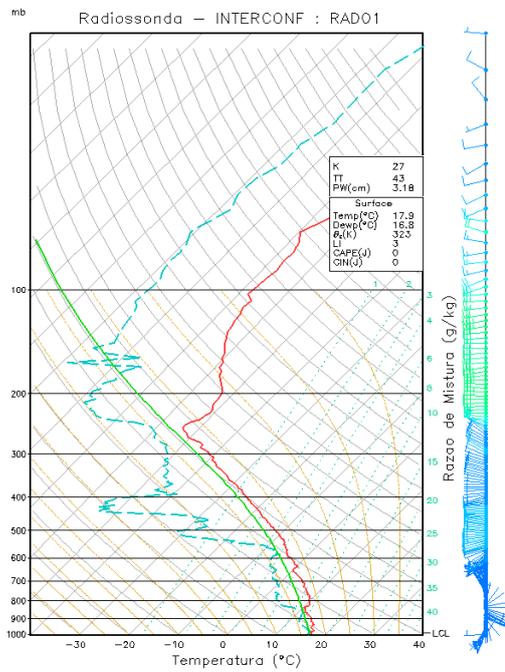
Os perfis termodinâmicos das radiossondagens realizadas na OP32 são mostrados na Figura 43 (RS01 a RS04), Figura 44 (RS05 a RS08), Figura 45 (RS09 a RS12) e Figura 46 (RS16). As radiossondagens de 1 a 7 estão sobre o lado quente da CBM e as radiossondagens de 8 a 16 estão sobre o lado frio da CBM.

Nota-se que a amplitude do valor médio dos perfis de umidade em superfície, durante a OP32, deu-se devido à variação dos sistemas sobre a porção quente da frente oceanográfica. Têm-se altas concentrações de umidade devido ao sistema ciclônico presente próximo à costa sul-americana e, na sequência, a presença de um sistema anticiclônico, tornando a atmosfera menos úmida. Quando existiu a atuação de um sistema ciclônico em níveis superficiais durante a OP32 (RS01, RS02 e RS03), denotados pelo giro do vento (conforme mostrado à direita do diagrama Skew-T), observa-se que a camada úmida na superfície e nos baixos níveis apresenta seu topo entre 600 e 700 hPa. Essa altura delimita o topo da CLAM sobre o lado quente da CBM, sendo tão mais alta quanto mais próxima do centro do ciclone, devido ao movimento de ascensão do ar.

A avaliação de todos os perfis em superfície e dentro da CLAM (cuja altura é descrita na Tabela 4) durante a OP32 mostra mais uma vez que, independente do sistema de grande escala que atua sobre os lados quente e frio da CBM, a TSM age como forçante local, modulando o vapor d'água atmosférico e mantendo uma maior concentração desse em níveis superficiais. A concentração então passa a ser modulada pelos sistemas de grande escala que atuam na região nos níveis médios e altos da atmosfera.

Figura 43 - Diagrama Skew-T log P para todas as radiossondagens realizadas durante a OP32. A temperatura está representada por linhas sólidas na cor vermelha e temperatura do ponto de orvalho por linhas tracejadas na cor azul. A linha verde corresponde à temperatura de uma parcela hipotética de ar levantada a partir do primeiro nível da sondagem. Pressão (mb). Barbelas: 1/2 barbela, 5 kt; barbela inteira, 10 kt; bandeira 50 kt sem barbelas: 1 kt. Perfis 1-7 estão na porção quente e perfis de 8-16 estão sobre a porção fria da CBM.

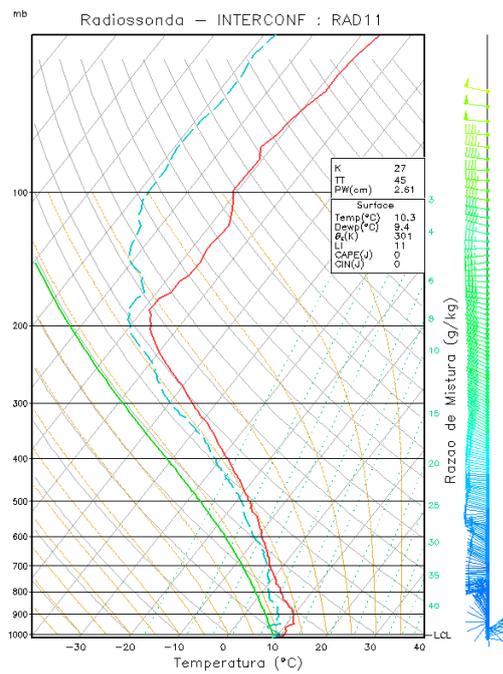
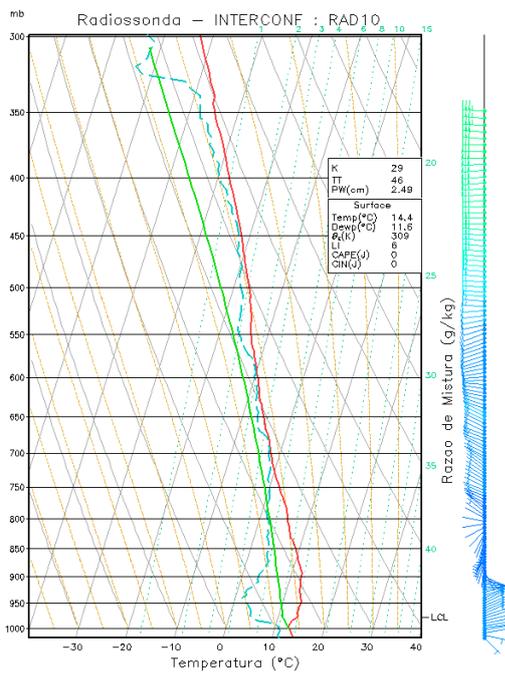
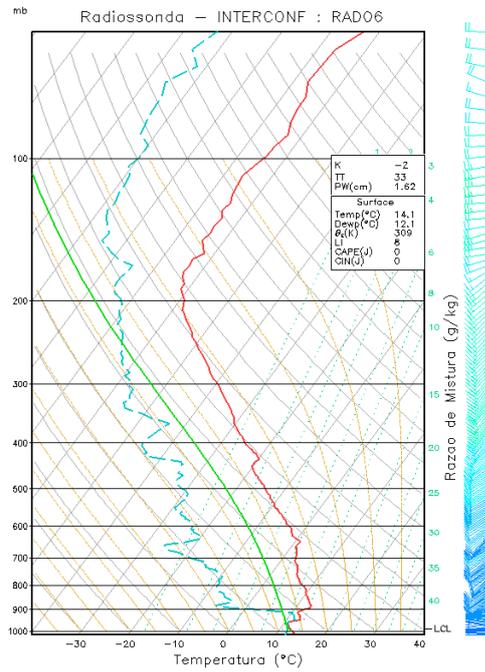
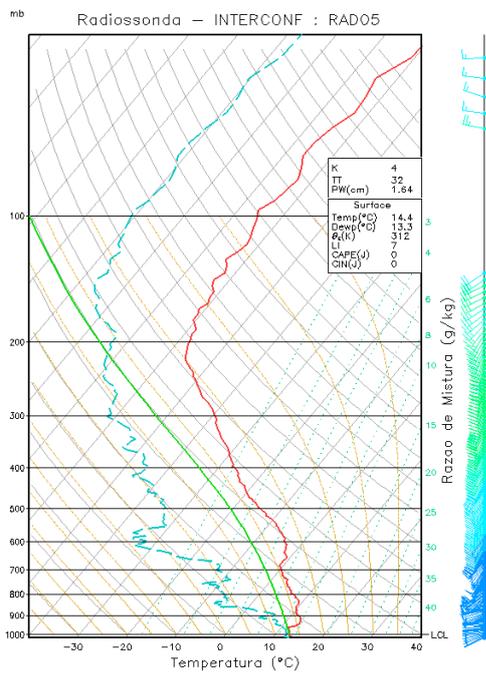
(continua)



Fonte: (do próprio autor).

Figura 44 – Continuação da Figura 43

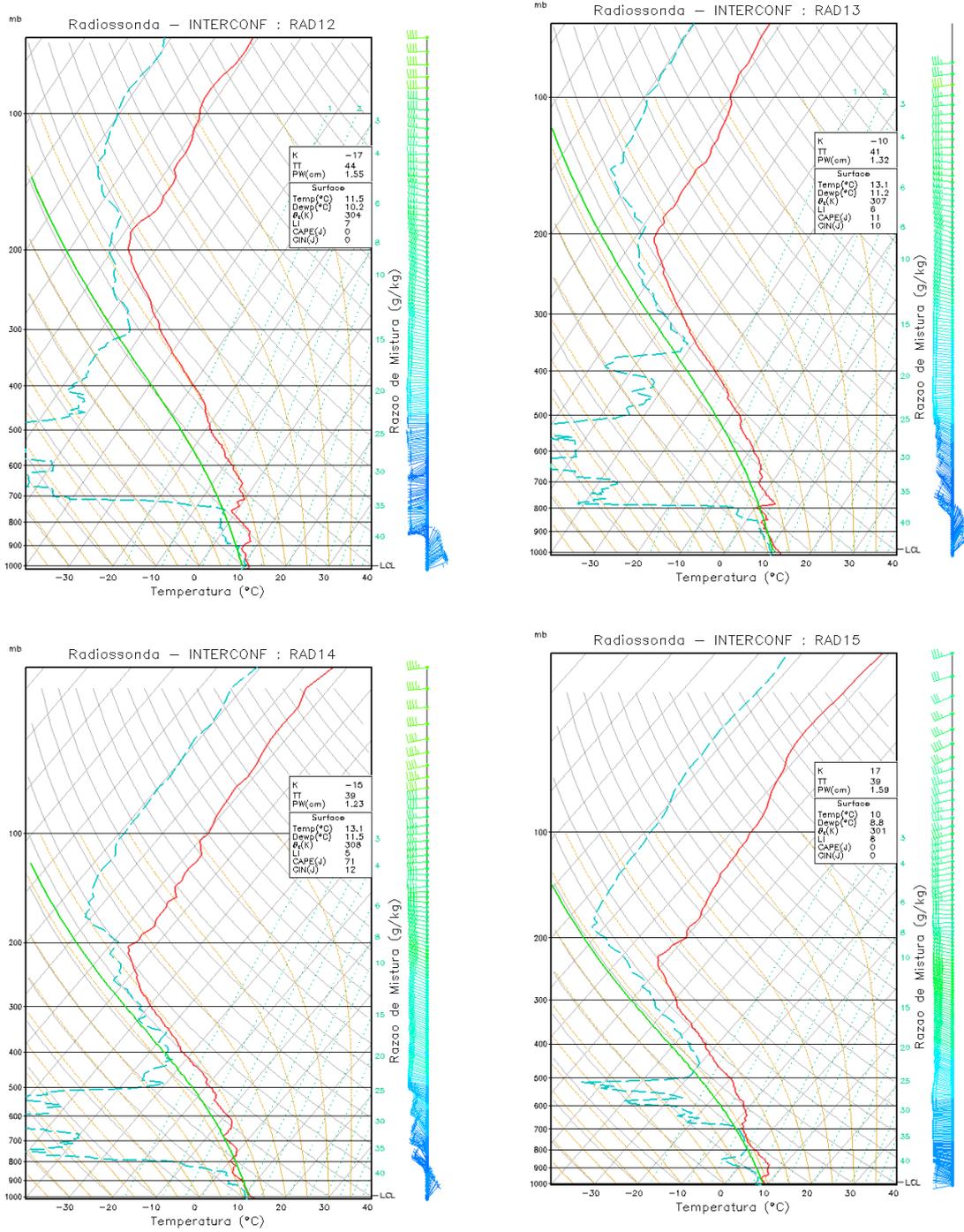
(continuação)



Fonte: (do próprio autor).

Figura 45 - Continuação da Figura 43

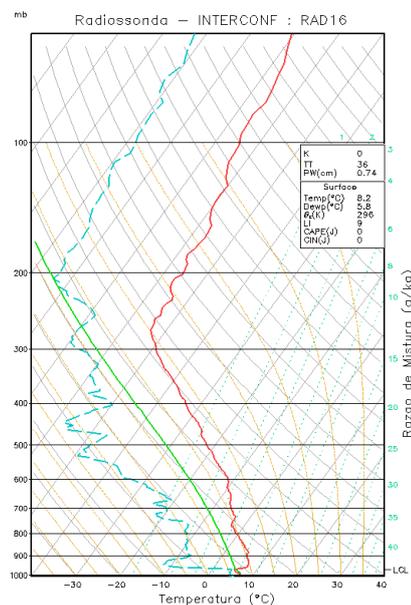
(continuação)



Fonte: (do próprio autor).

Figura 46 – Continuação da Figura 43

(continuação)



Fonte: (do próprio autor).

Os perfis apresentados encontram-se de acordo com estudos anteriores como Cavalcanti (2001), que mostra através de dados climatológicos que a concentração de vapor d'água na atmosfera apresenta-se semelhante a climatologia de TSM, com maiores concentrações sobre águas mais quentes (na região equatorial) e um gradiente em direção ao polo chegando às menores concentrações sobre regiões polares. Os autores também afirmam que o mesmo acontece sobre regiões de ressurgência apresentando menores concentrações de vapor d'água sobre os oceanos Atlântico e Pacífico que demonstram o fundamental papel dos oceanos no processo de fornecimento de vapor d'água para a atmosfera. Chow et al (2015), em estudo sobre a Corrente de Kuroshio, mostrou que ventos de nordeste mais fortes e aumento da umidade específica sobre os ATSMs quentes durante as intrusões de Kuroshio sobre a plataforma continental, causam aumentos das colunas vapor de água, favoráveis para a chuva convectiva na região.

Os resultados deste estudo mostraram a predominância de advecção quente no mês de outubro sobre a região, esses resultados são explicados através de estudos anteriores como onde o autor mostra que quando o ASAS está deslocada mais para oeste sobre o Oceano Atlântico em relação a sua posição climatológica a circulação anticiclônica é intensificada gerando um aumento de advecção quente no ramo oeste da ASAS transportando ar quente próximo ao equador até a região Sul do Brasil estendendo-se a latitudes mais a sul, chegando a 50°S (DEGOLA, 2013, MACHEL et al. 1998).

4.2. COMPARAÇÃO ENTRE PERFIS ATMOSFÉRICOS OBSERVACIONAIS, REANÁLISES E PERFILADORES ATMOSFÉRICOS A BORDO DE SATÉLITES

Os processos meteorológicos e oceanográficos que acontecem no Oceano Atlântico Sul (OAS) são de fundamental importância para análise e previsão do tempo e clima na região sul e sudeste do Brasil (PEZZI, SOUZA & QUADRO, 2016). No entanto, hoje em dia, uma ampla caracterização dos processos atmosféricos, oceânicos e de interação oceano-atmosfera, em suas diferentes escalas espaciais e temporais são dependentes da tecnologia de satélites que é uma das poucas capaz de trazer informações consistentes e precisas sobre regiões remotas ou difícil acesso no planeta.

Como um dos objetivos desse estudo, dada à carência de dados sobre o OAS, a qualidade dos perfis verticais AIRS das variáveis temperatura do ar e umidade específica será avaliada sobre a região da CBM. Para a validação dos dados AIRS sobre a CBM, foram também levadas em consideração as condições de nebulosidade e umidade estimadas através dos diagramas Skew-T. Os dados observados e inferidos foram previamente limitados à CLAM, onde considerou-se a altura máxima da CLAM ou limitou-se essa a 2000 m através da relação com o nível de 700 hPa, conforme estudos anteriores descritos em PEZZI et al. (2009) e ACEVEDO et al. (2010).

4.2.1. Diagramas de dispersão de temperatura do ar e umidade específica

Segundo FETZER (2003), para que dados AIRS, AMSU e HSB possam ser usadas com confiabilidade, esses devem ser comparados com observações, estimando assim as incertezas das medições. Os autores sugerem que comparações devam estar restritas à troposfera e sugerem um máximo RMSE de 1.0 °C para temperatura (em camadas médias de 1 km de espessura) e 10 % para o vapor d'água (em camadas de 2 km de espessura).

Os dados observacionais tomados pelo INTERCONF para esse estudo entre 2004 e 2015 foram comparados a dados AIRS e dados de reanálise CFSR, de acordo com um critério que buscou o melhor casamento ("match-up") entre todos os dados no tempo e no espaço. Pontos de grade dos dados de perfis atmosféricos verticais CFSR, disponíveis de 6 em 6 horas (00, 06, 12, 18 UTC) foram utilizados de acordo com a posição e horários mais próximos às sondagens. O mesmo valeu para os dados AIRS, que foram usados de acordo com a posição mais próxima às radiossondagens conforme sua grade e seu horário de passagem do satélite

(Tabela 7). O satélite Aqua tem suas órbitas sobre a CBM em movimento ascendente por volta de 17h30min e em movimento descendente por volta de 04h30min UTC.

Tabela 7 - Descrição das datas e horários dos dados observacionais, CFSR e AIRS usados para comparação nesse trabalho.

(continua)

Operação Antártica e sequencia de lançamentos de radiossondas	Nº RS	Data	Posição de lançamento na CBM (Q=quente, F=frio)	Horário RS (UTC)	Horário CFSR (UTC)	Horário AIRS (UTC) Órbita Ascend (A)	Horário AIRS (UTC) Órbita Descend. (D)	Orbita usada para comparar
OP23/1	1	02/11/2004	Q	19:30	18:00			A
OP23/2	2	02/11/2004	Q	21:30	00:00	16:55	4:55	A
OP23/3	3	02/11/2004	Q	00:22	00:00			D
OP23/4	4	03/11/2004	F	03:00	00:00			D
OP23/5	5	03/11/2004	F	05:18	00:06	17:38	4:00	D
OP24/1	6	28/10/2005	Q	02:52	00:00			D
OP24/2	7	28/10/2005	Q	3:29	00:00			D
OP24/3	8	28/10/2005	Q	4:51	06:00			D
OP24/4	9	28/10/2005	Q	7:14	06:00			D
OP24/5	10	28/10/2005	Q	8:11	06:00			D
OP24/6	11	28/10/2005	Q	9:16	06:00	17:43	4:04	D
OP24/7	12	28/10/2005	Q	10:24	12:00			D
OP24/8	13	28/10/2005	F	12:01	12:00			A
OP24/9	14	28/10/2005	F	13:22	12:00			A
OP24/10	15	28/10/2005	F	14:21	12:00			A
OP24/11	16	28/10/2005	F	16:19	18:00			A
OP24/12	17	28/10/2005	F	17:46	18:00			A
OP25/1	18	27/10/2006	Q	11:55	12:00			A
OP25/2	19	27/10/2006	Q	13:55	12:00	18:10	4:32	A

(Continuação da Tabela 7)

Operação Antártica e sequência de lançamentos de radiossondas	Nº RS	Data	Posição de lançamento na CBM (Q=quente, F=frio)	Horário RS (UTC)	Horário CFSR (UTC)	Horário AIRS (UTC) Órbita Ascend (A)	Horário AIRS (UTC) Órbita Descend. (D)	Orbita usada para comparar
OP25/3	20	27/10/2006	Q	15:04	12:00			A
OP25/4	21	27/10/2006	Q	16:16	18:00			A
OP25/5	22	27/10/2006	F	18:13	18:00	18:10	4:32	A
OP25/6	23	27/10/2006	F	19:15	18:00			A
OP25/7	24	27/10/2006	F	21:05	18:00			A
OP25/8	25	27/10/2006	F	22:19	00:00			A
OP25/9	26	28/10/2006	F	22:48	00:00			D
OP25/10	27	28/10/2006	F	01:49	00:00	17:15	5:15	D
OP26/1	28	16/10/2007	Q	5:12	06:00			D
OP26/2	29	16/10/2007	Q	7:06	06:00			D
OP26/3	30	16/10/2007	Q	8:06	06:00	17:57	4:18	D
OP26/4	31	16/10/2007	F	08:52	06:00			D
OP26/5	32	16/10/2007	F	12:03	12:00			A
OP27/1	33	14/10/2008	Q	16:20	18:00			A
OP27/2	34	14/10/2008	Q	19:03	18:00	18:22	4:46	A
OP27/3	35	14/10/2008	Q	22:24	00:00			D
OP27/4	36	15/10/2008	Q	00:38	00:00			A
OP27/5	37	15/10/2008	Q	3:13	00:00			D
OP27/6	38	15/10/2008	Q	5:11	06:00			D
OP27/7	39	15/10/2008	F	6:32	06:00			D
OP27/8	40	15/10/2008	F	7:48	06:00	17:30	3:50	D
OP27/9	41	15/10/2008	F	9:47	12:00			D
OP27/10	42	15/10/2008	F	12:27	12:00			A
OP27/11	43	15/10/2008	F	13:44	12:00			A
OP27/12	44	15/10/2008	F	17:01	18:00			A
OP27/13	45	15/10/2008	F	18:32	18:00			A
OP27/14	46	16/10/2008	F	19:14	18:00	16:35	4:33	D
OP28/1	47	02/11/2009	Q	17:57	18:00			A
OP28/2	48	02/11/2009	Q	20:49	18:00	16:47	4:47	A
OP28/3	49	02/11/2009	F	23:02	00:00			D
OP28/4	50	03/11/2009	F	06:25	06:00			D
OP28/5	51	03/11/2009	F	09:23	12:00			D
OP28/6	52	03/11/2009	F	12:12	12:00			A
OP28/7	53	03/11/2009	F	15:17	18:00	17:30	3:52	A
OP28/8	54	03/11/2009	F	18:17	18:00			A
OP28/9	55	03/11/2009	F	20:23	18:00			A
OP28/10	56	03/11/2009	F	22:24	00:00			D

(Continuação da Tabela 7)

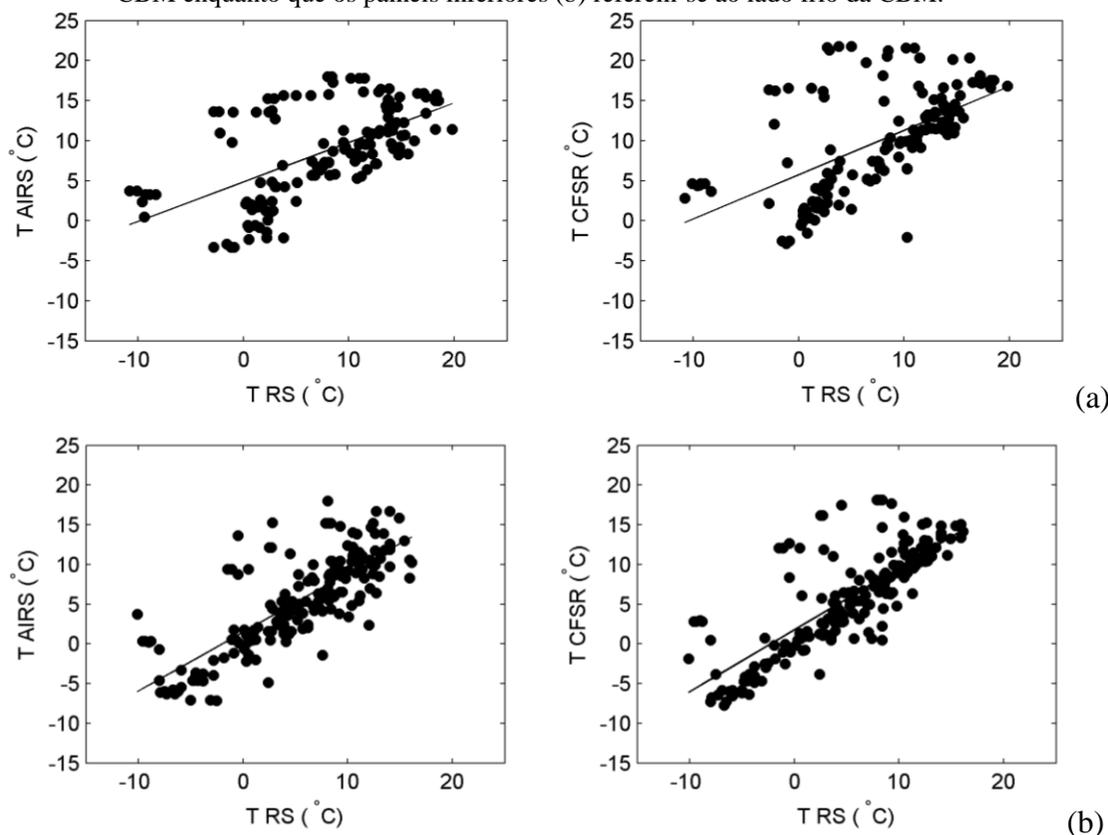
Operação Antártica e sequencia de lançamentos de radiossondas	Nº RS	Data	Posição de lançamento na CBM (Q=quente F=frio)	Horário RS (UTC)	Horário CFSR (UTC)	Horário AIRS (UTC) Órbita Ascend (A)	Horário AIRS (UTC) Órbita Desc (D)	Órbita usada para comparar
OP28/11	57	04/11/2009	F	00:20	00:00			D
OP28/12	58	04/11/2009	F	02:21	00:00			D
OP28/13	59	04/11/2009	F	04:09	06:00	17:30	3:52	D
OP28/14	60	04/11/2009	F	05:47	06:00			D
OP28/15	61	04/11/2009	F	05:59	06:00			D
OP31/1	62	14/10/2012	Q	17:24	18:00			A
OP31/2	63	14/10/2012	Q	19:49	18:00	17:04	05:04	A
OP31/3	64	14/10/2012	Q	22:06	00:00			A
OP31/4	65	15/10/2012	Q	00:20	00:00			D
OP31/5	66	15/10/2012	F	02:48	06:00			D
OP31/6	67	15/10/2012	F	07:02	06:00			D
OP31/7	68	15/10/2012	F	09:39	12:00	17:44	04:07	D
OP31/8	69	15/10/2012	Q	13:45	12:00			A
OP31/9	70	15/10/2012	Q	16:59	18:00			A
OP31/10	71	15/10/2012	Q	19:30	18:00			A
OP31/11	72	15/10/2012	Q	23:17	00:00			A
OP31/12	73	16/10/2012	Q	01:43	00:00			D
OP31/13	74	16/10/2012	Q	04:07	06:00			D
OP31/14	75	16/10/2012	F	07:33	06:00	16:50	4:50	D
OP31/15	76	16/10/2012	F	09:27	12:00			D
OP31/16	77	16/10/2012	F	11:42	12:00			A
OP32/1	79	13/10/2013	Q	13:23	12:00	17:27	3:50	A
OP32/2	80	14/10/2013	Q	03:47	06:00			D
OP32/3	81	14/10/2013	Q	20:34	00:00	16:33	4:32	D
OP32/4	82	15/10/2013	Q	05:03	06:00			D
OP32/5	83	15/10/2013	Q	10:05	12:00	17:15	3:36	D
OP32/6	84	15/10/2013	Q	13:55	12:00			A
OP32/7	85	15/10/2013	Q	21:20	00:00			A
OP32/8	86	16/10/2013	F	05:26	06:00			D
OP32/9	87	16/10/2013	F	13:35	12:00	17:58	4:20	A
OP32/10	88	17/10/2013	F	00:13	00:00			D
OP32/11	89	17/10/2013	F	8:12	06:00			D
OP32/12	90	17/10/2013	F	13:26	12:00	17:04	5:04	A
OP32/13	91	17/10/2013	F	22:12	00:00			A
OP32/14	92	18/10/2013	F	02:19	00:00			D
OP32/15	93	18/10/2013	F	12:10	12:00	17:45	04:07	A
OP32/16	94	18/10/2013	F	19:55	18:00			A

(Continuação da Tabela 7)

Operação Antártica e sequência de lançamentos de radiossondas	Nº RS	Data	Posição de lançamento na CBM (Q=quente F=frio)	Horário RS (UTC)	Horário CFSR (UTC)	Horário AIRS (UTC) Órbita Ascend (A)	Horário AIRS (UTC) Órbita Descend (D)	Órbita usada para comparar
OP33/1	95	18/10/2014	Q	12:59	12:00			A
OP33/2	96	18/10/2014	Q	16:55	18:00	17:15	3:37	A
OP33/3	97	18/10/2014	CB	20:57	00:00			D
OP33/4	98	19/10/2014	Q	01:02	00:00			D
OP33/5	99	19/10/2014	Q	04:58	06:00			D
OP33/6	100	19/10/2014	Q	10:09	12:00	17:58	4:20	A
OP33/7	101	19/10/2014	F	13:23	12:00			A
OP33/8	102	19/10/2014	F	16:37	18:00			A
OP33/9	103	19/10/2014	F	21:06	18:00			A
OP33/10	104	19/10/2014	F	01:14	00:00			D
OP33/11	105	19/10/2014	F	05:02	06:00			D
OP33/12	106	20/10/2014	F	09:06	06:00			D
OP33/13	107	20/10/2014	F	13:01	12:00	17:05	5:05	A
OP33/14	108	20/10/2014	F	17:02	18:00			A
OP33/15	109	20/10/2014	F	20:44	00:00			A
OP33/16	110	21/10/2014	F	23:56	00:00			D
OP33/17	111	21/10/2014	F	03:00	00:00	17:45	4:07	D
OP33/18	112	21/10/2014	F	06:30	06:00			D
OP34/1	115	12/10/2015	Q	14:16	12:00	17:22	3:43	A
OP34/2	116	13/10/2015	Q	03:52	06:00			D
OP34/3	117	13/10/2015	Q	10:56	12:00	16:27	4:25	A
OP34/4	118	13/10/2015	Q	19:46	18:00			A
OP34/5	119	13/10/2015	Q	06:19	06:00			D
OP34/6	120	14/10/2015	Q	09:58	12:00			D
OP34/7	121	14/10/2015	Q	12:57	12:00			A
OP34/8	122	14/10/2015	Q	15:27	18:00	17:10	3:30	A
OP34/9	123	14/10/2015	Q	18:23	18:00			A
OP34/10	124	14/10/2015	Q	21:16	18:00			A
OP34/11	125	15/10/2015	Q	00:08	00:00			D
OP34/12	126	15/10/2015	Q	03:09	00:00			D
OP34/13	127	15/10/2015	F	06:25	06:00	17:52	4:14	D
OP34/14	128	15/10/2015	F	09:40	06:00			D
OP34/15	129	15/10/2015	F	13:11	12:00			A
OP34/16	130	15/10/2015	F	20:26	18:00			A

A Figura 47 apresenta o diagrama de dispersão da temperatura do ar entre dados obtidos pelas radiossondas, pelas reanálises CFSR e pelo sensor AIRS na região da CBM. Os dados são apresentados para os níveis de 1000, 925, 850 e 700hPa e com respeito às porções quente e fria da frente, conforme Tabela 7. Percebe-se que existe uma relação linear entre os dados observacionais e reanálises, assim como observacionais e AIRS. Nos dados de temperatura do ar, uma maior dispersão ocorre onde a temperatura é mais alta, ou seja, em geral em níveis mais próximos à superfície. Avaliando-se a dispersão dos dados em ambos os lados da CBM, nota-se que, em geral, sobre o lado quente da CBM há um maior espalhamento de dados do que sobre o lado frio.

Figura 47 - Digrama de dispersão de temperatura do ar entre dados observacionais e AIRS (coluna da esquerda) e CFSR (coluna da direita). Painéis superiores (a) referem-se ao lado quente da CBM enquanto que os painéis inferiores (b) referem-se ao lado frio da CBM.

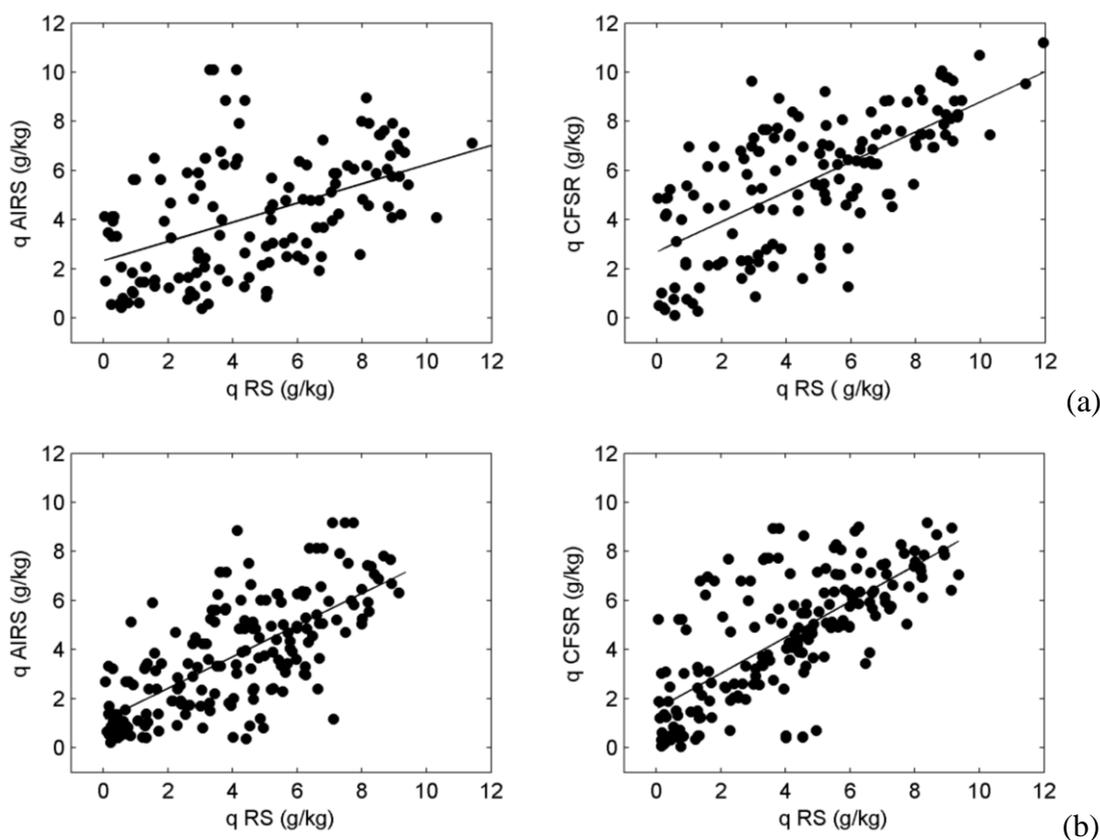


Fonte: (do próprio autor).

A Figura 48 apresenta o diagrama de dispersão da umidade específica entre dados obtidos pelas radiossondas, pelas reanálises CFSR e pelo sensor AIRS na região da CBM. Novamente aqui, os dados são apresentados para os níveis de 1000, 925, 850 e 700hPa e com respeito às porções quente e fria da frente, conforme Tabela 7. Observa-se também que existe uma relação linear positiva entre os dados observacionais e CFSR e observacionais e AIRS. Há

um maior espalhamento dos dados de umidade específica se comparados aos de temperatura do ar apresentados na Figura 44. Considerando-se ambos os lados da CBM, nota-se um menor espalhamento de dados de umidade específica sobre as águas mais frias.

Figura 48 - Digrama de dispersão de umidade específica entre dados observacionais e AIRS (coluna da esquerda) e CFSR (coluna da direita). Painéis superiores (a) referem-se ao lado quente da CBM enquanto que os painéis inferiores (b) referem-se ao lado frio da CBM.



Fonte: (do próprio autor).

A correlação entre os dados observacionais e as outras bases foi verificada através do coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 8). Sobre a porção quente da frente, o coeficiente de correlação entre os dados de temperatura entre os dados observacionais das radiossondas e os dados AIRS/Aqua foi de 0,95 e 0,84 para temperatura do ar e umidade específica, respectivamente. Sobre a porção fria, esses coeficientes aumentam para 0,97 e 0,89 para temperatura do ar e umidade específica, respectivamente. Em relação aos dados CFSR, a correlação para o lado quente foi 0,94 para temperatura do ar e 0,79 para umidade, enquanto que no lado frio as correlações foram 0,95 (temperatura do ar) e 0,78 (umidade específica).

Tabela 8 - Coeficiente de Correlação de Pearson médios ($\bar{\rho}$) entre dados observados, reanálises CFJR e perfiladores atmosféricos AIRS com seus respectivos desvios padrão ($\bar{\sigma}$)

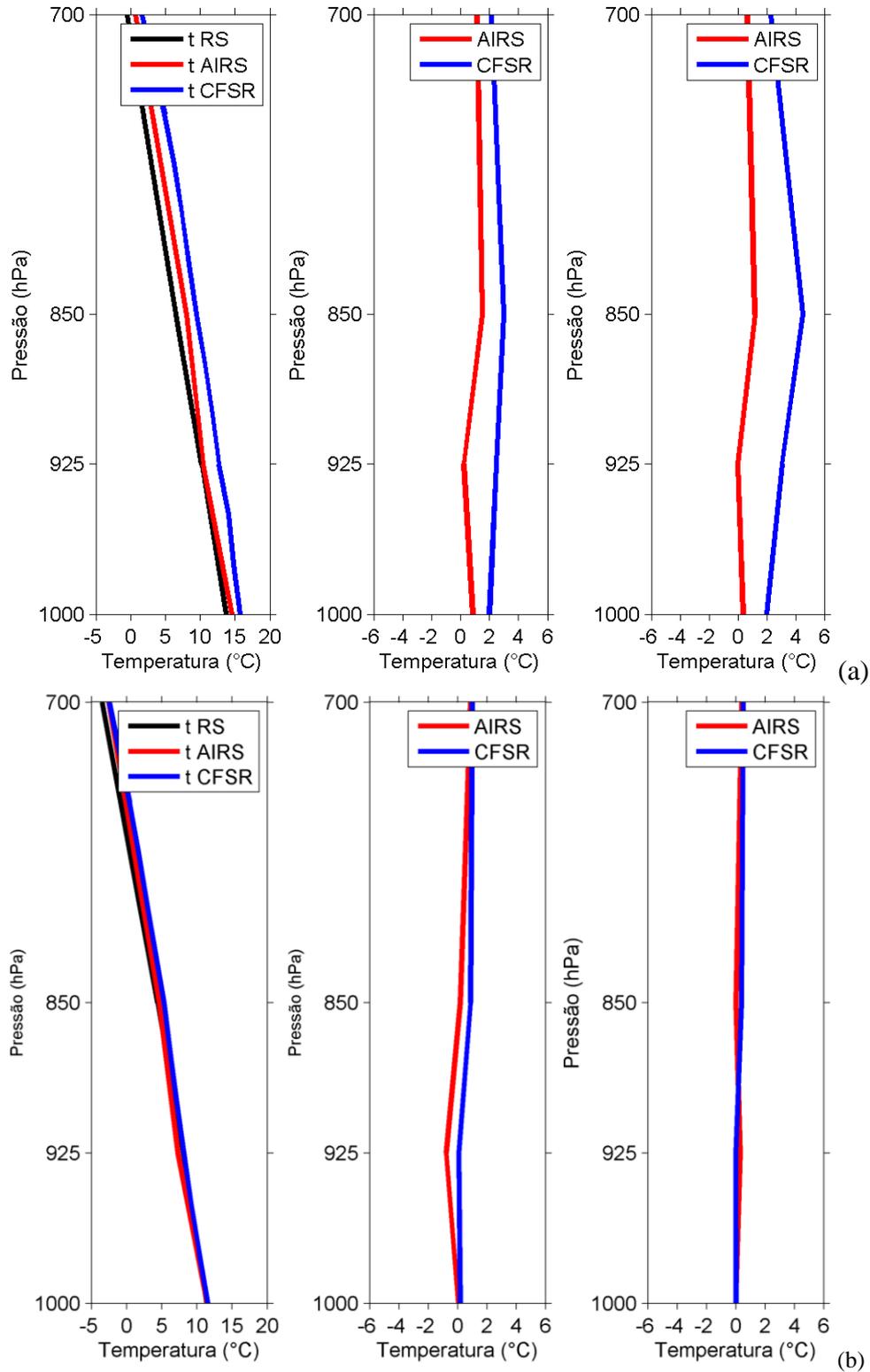
	CFJR				AIRS/Aqua			
	Q		F		Q		F	
	$\bar{\rho}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\rho}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\rho}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\rho}$	$\bar{\sigma}$
Temperatura do ar	0,94	0,06	0,95	0,04	0,95	0,05	0,97	0,03
Umidade específica	0,78	0,23	0,79	0,33	0,84	0,07	0,89	0,27

Quando comparados aos dados de radiossonda, ambos os dados de reanálise e de sondagem atmosférica tendem a ser ligeiramente mais precisos, apresentando desvio-padrão menores sobre águas frias. Sabendo-se que a concentração de vapor d'água influi diretamente na qualidade dos dados AIRS, atribui-se a razão para essa melhor acurácia sobre águas mais frias à menor concentração de vapor d'água sobre a região fria da CBM, conforme demonstrado no capítulo anterior desse documento. Outra razão a ser considerada está ligada a uma menor turbulência atmosférica sobre o lado frio da CBM (PEZZI et al., 2009).

4.2.2. Viés e erro quadrático médio entre os perfis verticais de temperatura do ar

A Figura 49 apresenta os perfis de temperatura do ar nos níveis de 1000, 925, 850 e 700 hPa obtidos pelas radiossondas, reanálises e AIRS, para ambos os lados da frente oceanográfica da CBM. Também são apresentados o erro médio (viés) e o erro quadrático médio (EQM) entre os dados observacionais e os outros dois conjuntos de dados. Nota-se, no lado quente da CBM, que em geral os dados de radiossonda apresentam menores temperaturas do ar em todos os níveis, gerando vieses (EQMs) positivos de até 2 °C (4 °C) ao longo da CLAM. No lado frio da CBM, os perfis de temperatura do ar evidenciam uma melhor acurácia (menor viés e EMQ). Esses dados são resumidos e compilados na Tabela 9 e Tabela 10. Os erros encontrados os perfis de temperatura estão dentro do limite de qualidade desejado de 1°C para o perfil de temperatura como sugerem AUMANN et al. (2003). Os valores de EQM também concordam com outros estudos, como Divakarla et al. (2006) que analisaram a diferença no EQM para perfis de temperatura global e mostraram que as de dados de perfiladores via satélite têm melhora em condições de céu claro. Comparações de dados de sondadores via satélite com dados de radiossondagem realizadas por Fetzer et al. (2005) mostram erros na ordem de 2°C.

Figura 49 - (esquerda) Perfis médios de temperatura do ar obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados na porção quente da CBM e painéis inferiores (b) indicam dados na porção fria da CBM



Fonte: (do próprio autor).

Tabela 9 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado quente da CBM.

Nível de pressão (hpa)	Média Radiossonda	Lado quente da CBM		EQM	
		Erro médio (viés)		AIRS	CFSR
		AIRS	CFSR		
1000	13,77	0,86	2,00	0,37	2,01
925	10,25	0,23	2,47	0,02	3,06
850	6,50	1,53	3,00	1,17	4,52
700	-0,46	0,94	2,40	0,67	2,27
Média Geral	7,51	0,94	2,40	0,56	2,96

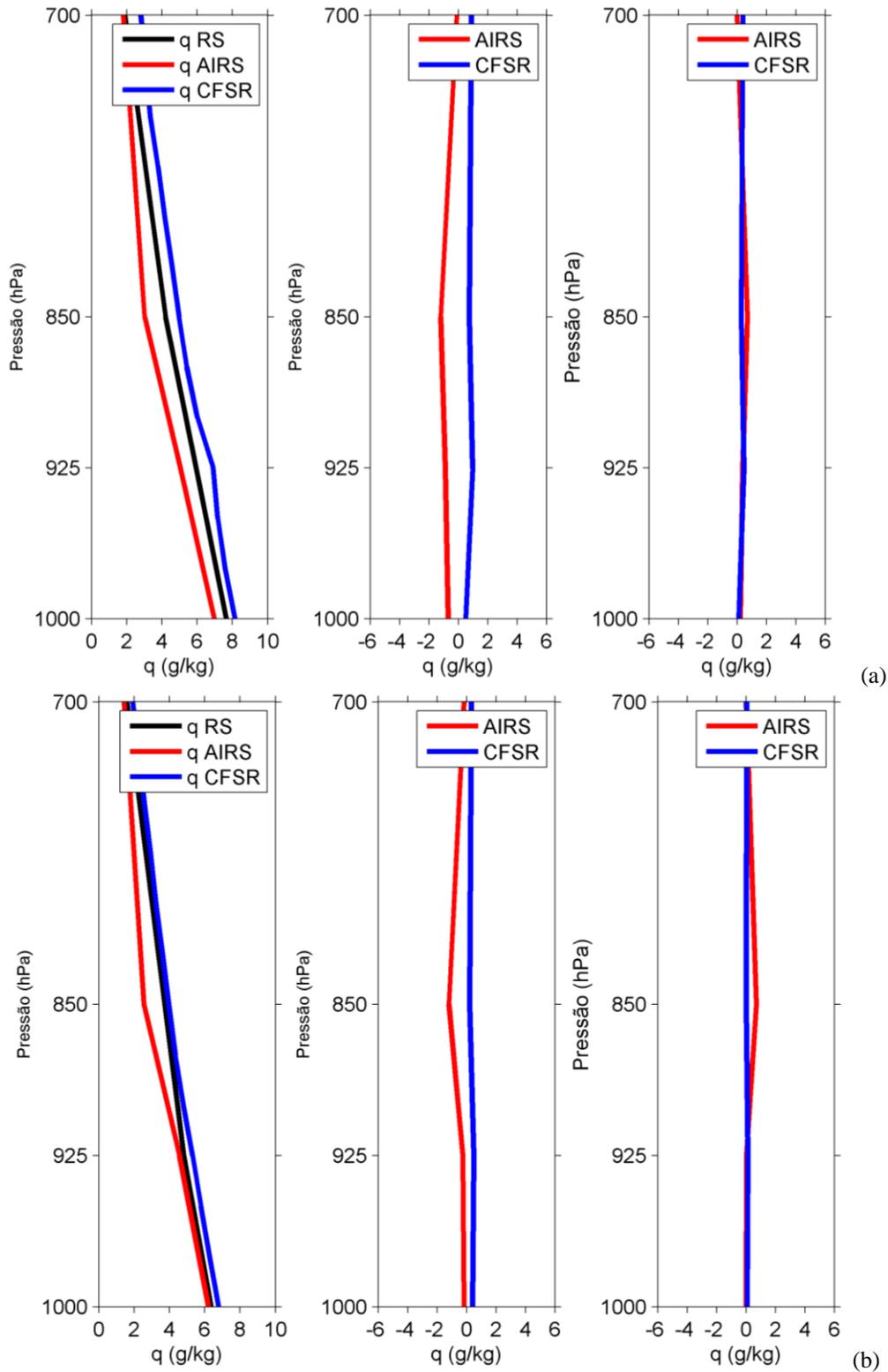
Tabela 10 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM.

Nível Pressão (hPa)	Média Radiossonda	Lado frio da CBM		EQM	
		Erro médio (viés)		AIRS	CFSR
		AIRS	CFSR		
1000	11,38	0,05	0,18	0,00	0,01
925	8,07	-0,77	0,08	0,29	0,00
850	4,44	0,18	0,88	0,02	0,39
700	-3,45	0,89	1,00	0,40	0,50
Média Geral	5,11	0,09	0,54	0,18	0,23

4.2.3. Viés e erro quadrático médio entre os perfis verticais de umidade específica

A Figura 50 apresenta os perfis de umidade específica, assim como o viés e o EQM das radiossondas, reanálises e AIRS, obtidos nos níveis de 1000, 925, 850 e 700 hPa para ambos os lados da CBM. A média da umidade específica em níveis mais superficiais (1000 hPa) tem valores em torno de 8 g/kg e 6g/kg sobre o lado quente e frio da CBM, respectivamente. Novamente mostra-se que a diferença de TSM entre as águas da Corrente do Brasil e da Corrente das Malvinas afetam diretamente na concentração de vapor d'água na CLAM. A Figura 47 mostra que a umidade específica na CLAM advinda de estimativas AIRS e CFSR, ao contrário do que acontece com a temperatura potencial, comporta-se de maneira diferente com respeito aos dados observacionais. Enquanto de maneira geral, para os dois lados da CBM, o perfilador atmosférico AIRS subestima a umidade específica na CLAM, as reanálises CFSR tendem a superestimar essa variável. Vieses para ambos os lados da CBM são próximos a -1 °C (dados AIRS menos dados observacionais) e 1 °C (dados CFSR menos dados observacionais).

Figura 50 - (esquerda) Perfis médios de umidade específica do ar obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados na porção quente da CBM e painéis inferiores (b) indicam dados na porção fria da CBM



Fonte: (do próprio autor).

A Tabela 11 e a Tabela 12 resumem as estatísticas apresentadas aqui. Nota-se, através da média geral dos vieses e do EMQ, que no lado frio da CBM há uma maior acurácia das medidas em relação ao lado quente, tanto para as comparações dos dados observacionais com o AIRS (que subestima) quando com o CFSR (que superestima). Os erros médios abaixo de 1.19 g/kg estão dentro do nível de 10 % de precisão estipulado para medidas de satélites.

Como citado em trabalhos anteriores, uma das grandes dificuldades em recuperar perfis verticais de umidade é a grande variabilidade temporal e espacial desta variável na atmosfera, dificultando a comparação com dados observacionais, que são fundamentais no processo de validação de dados (SOUZA, 2006). Porém, observa-se que os dados de satélite têm boa acurácia sobre a CBM, principalmente sobre sua porção fria.

Tabela 11 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM.

nível de pressão (hPa)	Lado quente CBM				
	Média radiossonda	Erro médio (viés)		EQM	
		AIRS	CFSR	AIRS	CFSR
1000	7,65	-0,67	0,49	0,22	0,12
925	5,93	-0,88	0,97	0,38	0,47
850	4,21	-1,19	0,75	0,71	0,28
700	1,90	-0,09	0,90	0,00	0,40
Média geral	4,13	-0,71	0,78	0,33	0,32

Tabela 12 — Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM.

nível de pressão (hPa)	Lado frio CBM				
	Média radiossonda	Erro médio (viés)		EQM	
		AIRS	CFSR	AIRS	CFSR
1000	6,38	-0,16	0,41	0,01	0,08
925	4,81	-0,24	0,50	0,02	0,12
850	3,75	-1,19	0,21	0,70	0,02
700	1,60	-0,16	0,33	0,01	0,05
Média geral	4,13	-0,44	0,36	0,19	0,07

4.2.4. Estudos de caso em diferentes condições atmosféricas

Nesta seção analisa-se o desempenho dos sistemas de sondagem AIRS/Aqua e das reanálises CFSR para perfis individuais de temperatura do ar e umidade específica sobre a região da CBM em diferentes condições atmosféricas, tomando-se as medidas realizadas pelas radiossondas na região da CBM nos locais e horários mais próximos como verdade de mar ("sea

truth"). Para os estudos de caso selecionaram-se perfis sob diferentes condições de concentrações de vapor d'água na atmosfera e dados de posição dos lançamentos de radiossonda distintos com respeito ao lado da frente oceanográfica em que foram realizados (lado quente ou frio).

Consideraram-se três situações para análise: perfis atmosféricos na presença de (i) ar seco (ii) ar parcialmente úmido (iii) ar úmido. Essa análise foi feita com objetivo de determinar se a variação da concentração de vapor d'água na atmosfera seria determinante para aumentar o diminuir a acurácia das estimativas do AIRS e do CFSR. Avalia-se também se a diferença entre o horário da passagem do satélite Aqua e o horário de lançamento das radiossondas interfere na acurácia dos perfis de temperatura do ar e umidade específica na região da CBM. Os estudos de caso foram feitos com radiossondas das OP32 e OP33 cujas descrições são detalhadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Radiossondagens comparadas com perfis AIRS e CFSR sob diferentes condições atmosféricas. As órbitas do Aqua ascendente (A) ou descendente (D) foram escolhidas de acordo com o horário mais próximo daquele da radissondagem. Perfis com presença de ar (S) seco (P) parcialmente úmido (U) úmido

radiossonda/ Operação Antártica	data	lado CBM (Q=quente, F=Frio)	CLAM (m)	horário radiossonda	horário CFSR	horário Aqua	órbita	Perfil
RS05/OP32	15/10/2013	Q	500	10:05	12:00	17:15 3:37	D	S
RS02/OP33	18/10/2014	Q	1500	12:59	12:59	17:15 3:37	A	P
RS05/OP33	19/10/2014	Q	1100	04:58	06:00	17:15 05:05	D	U
RS13/OP33	20/10/2014	F	180	05:02	06:00	17:05 5:05	D	S
RS14/OP32	18/10/2013	F	450	02:19	00:00	17:58 04:07	D	P
RS11/OP32	17/10/2013	F	500	8:12	06:00	17:04 5:04	D	U

(a) Perfis atmosféricos

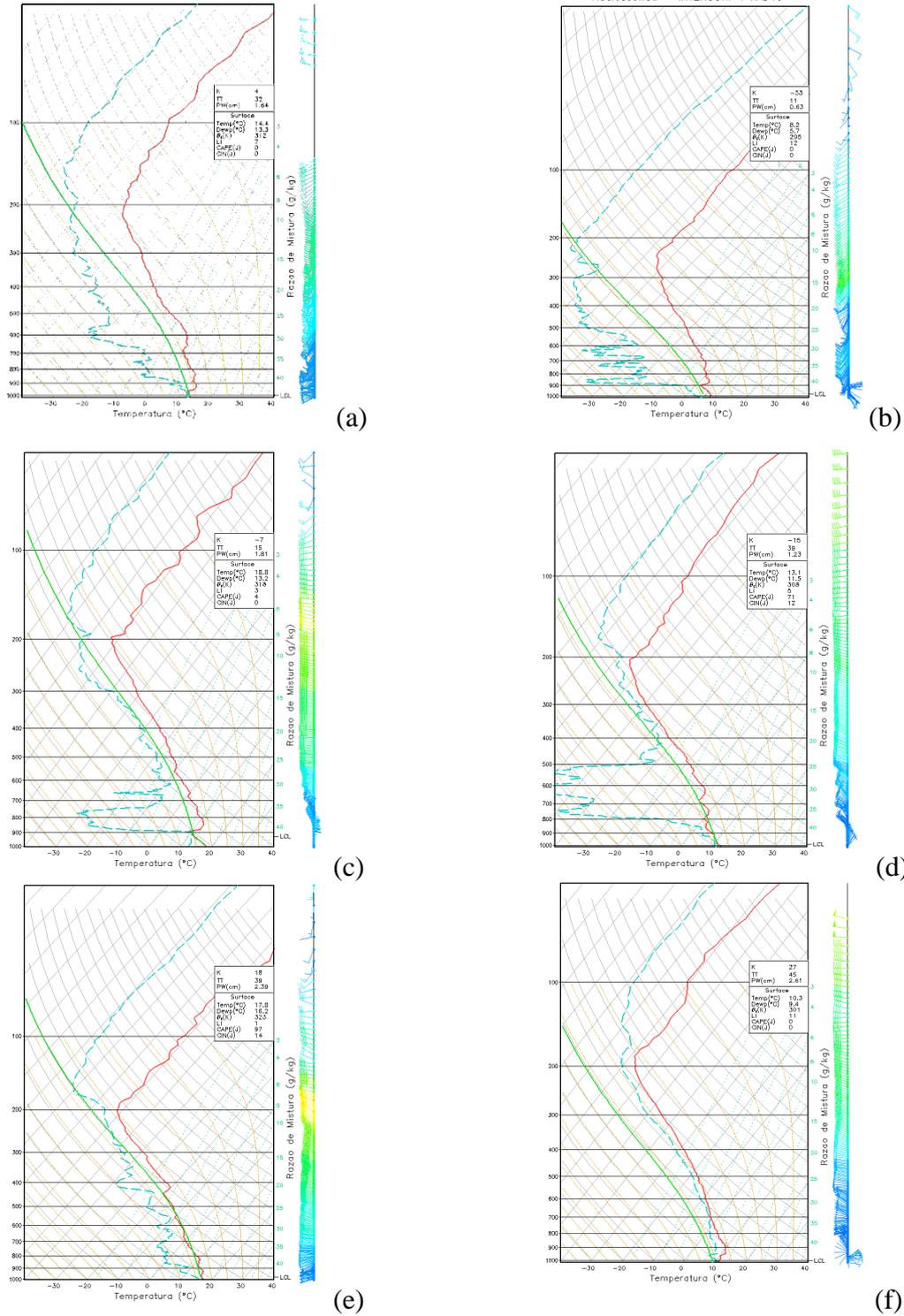
Na Figura 51 são analisadas e mostradas as condições termodinâmicas para os diferentes casos escolhidos e apresentados anteriormente na Tabela 13, onde são avaliadas as situações termodinâmicas atmosféricas através do diagrama Skew-T log P e mostra-se os perfis onde existe a presença de ar seco, ar parcialmente úmido e ar úmido sobre ambos os lados da CBM.

A Figura 51 no painel superior apresenta os perfis termodinâmicos na presença de ar seco para o lado quente (RS05/OP32) e para o lado frio (RS13/OP33) da CBM. Nota-se através do afastamento das variáveis T (temperatura do ar) e Td (temperatura do ponto de orvalho) e comportamento quase constante dos perfis na atmosfera, que a atmosfera se apresentava seca, onde pode-se desconsiderar a presença de nebulosidade e/ou presença altas concentrações de vapor d'água no perfil.

No painel central apresenta os perfis termodinâmicos na presença de ar parcialmente úmido para o lado quente (RS02/OP33) e para o lado frio (RS14/OP32) da CBM. Onde pode-se observar através dos perfis verticais de T e Td que a atmosfera nessa sondagem não teve comportamento constante. Nos níveis considerados neste estudo (1000-700hPa) os perfis de T e Td evidenciam a presença de um sistema de alta pressão atuante observado pelo comportamento dos perfis bastante afastados mostrando a presença de ar seco na região entre esses níveis, porém, acima de 600hPa nota-se o aporte de vapor d'água bastante acentuado.

A Figura 51 no painel inferior apresenta os perfis termodinâmicos na presença de ar úmido para o lado quente (RS05/OP33) e para o lado frio (RS11/OP32) da CBM. A atmosfera apresenta-se em condições de instabilidade e os perfis de T e Td mostram o quão úmida a atmosfera apresenta-se em todo o perfil da sondagem.

Figura 51 - Diagrama Skew-T log P para o perfil das radiossondas lançadas sobre a CBM . (esquerda) perfis do lado quente e (direita) perfis do lado frio. Perfis sob predomínio (a, b) ar seco (c, d) parcialmente úmido (e, f) úmido. A temperatura está representada por linhas sólidas na cor vermelha e temperatura do ponto de orvalho por linhas tracejadas na cor azul. A linha verde corresponde à temperatura de uma parcela hipotética de ar levantada a partir do primeiro nível da sondagem. Pressão (mb). Barbelas: 1/2 barbela, 5 kt; barbela inteira, 10 kt; bandeira 50 kt sem barbelas: 1 kt. (a)RS05/OP32 (b)RS13/OP33 (c)RS02/OP33 (d) RS14/OP32 (e) RS05/OP33 (f) RS11/OP32



Fonte: (do próprio autor).

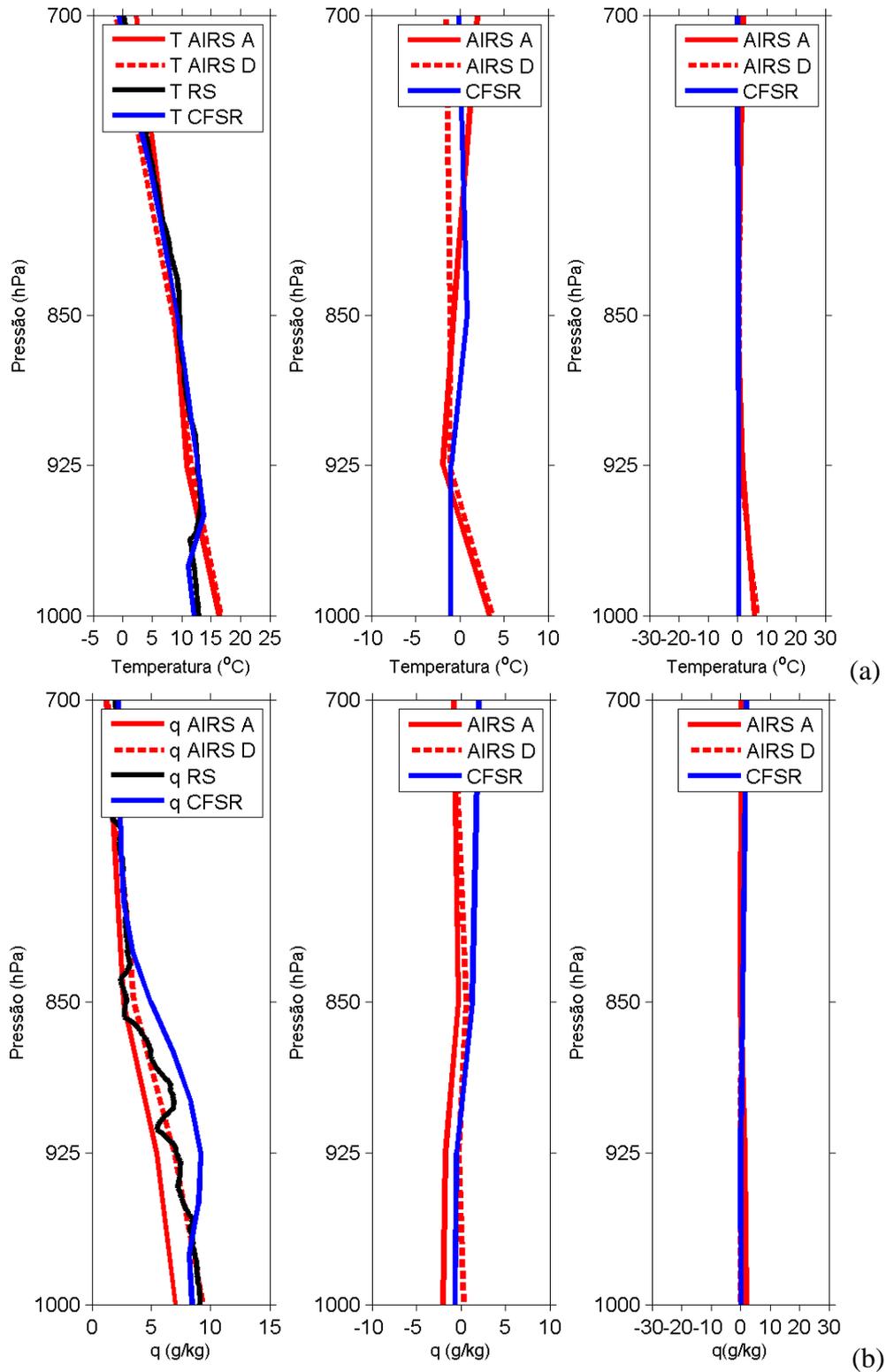
(a) Perfis na presença de ar seco

O desempenho dos sistemas de sondagem AIRS/Aqua e das reanálises CFSR para perfis individuais de temperatura do ar e umidade específica sobre o lado quente e lado frio da CBM são primeiramente avaliados em condições atmosféricas na presença de ar seco. Os resultados para o lado quente da CBM são mostrados através da RS05/OP32 na Figura 52, e Tabela 14 para dados de temperatura e na Tabela 15 para dados de umidade específica. Os resultados no lado frio da CBM são mostrados a partir da RS13/OP33 e mostrados na Figura 53, os resultados referentes a temperatura do ar sobre o lado frio na são mostrados na Tabela 16 e para umidade específica do ar na Tabela 17. Para ambos os lados da CBM (quente e frio) a órbita do Satélite Aqua mais próxima foi a descendente, porém sobre o lado frio houve apenas uma hora de diferença entre o lançamento da radiossonda e a passagem do satélite enquanto que para o lado quente o período foi maior que 5h.

Observa-se que sob condições de ar seco o desempenho dos dois sistemas CFSR e AIRS para dados de perfis de temperatura do ar são bem representados qualitativamente pelos perfis AIRS e CFSR, porém os dados CFSR tem melhor representação em ambos lados, mostrando inclusive inversões de temperatura mostradas nos perfis, o que não é mostrado pelos dados AIRS. Quantitativamente os dados também são muito bem representados, os maiores erros apresentados do lado quente para dados de temperatura do ar em superfície entre 1000-925hPa. Os dados CFSR apresentam melhor desempenho sobre o lado quente, com erro menor que 1°C em todos os níveis, enquanto que os dados AIRS em níveis superficiais ultrapassam esse valor superestimando em 3,78°C. Esse maior erro dos dados AIRS podem estar ligados a advecção fria neste ponto de radiossondagem que estava em torno de 3-4°C e foi mostrada anteriormente na Figura 29.

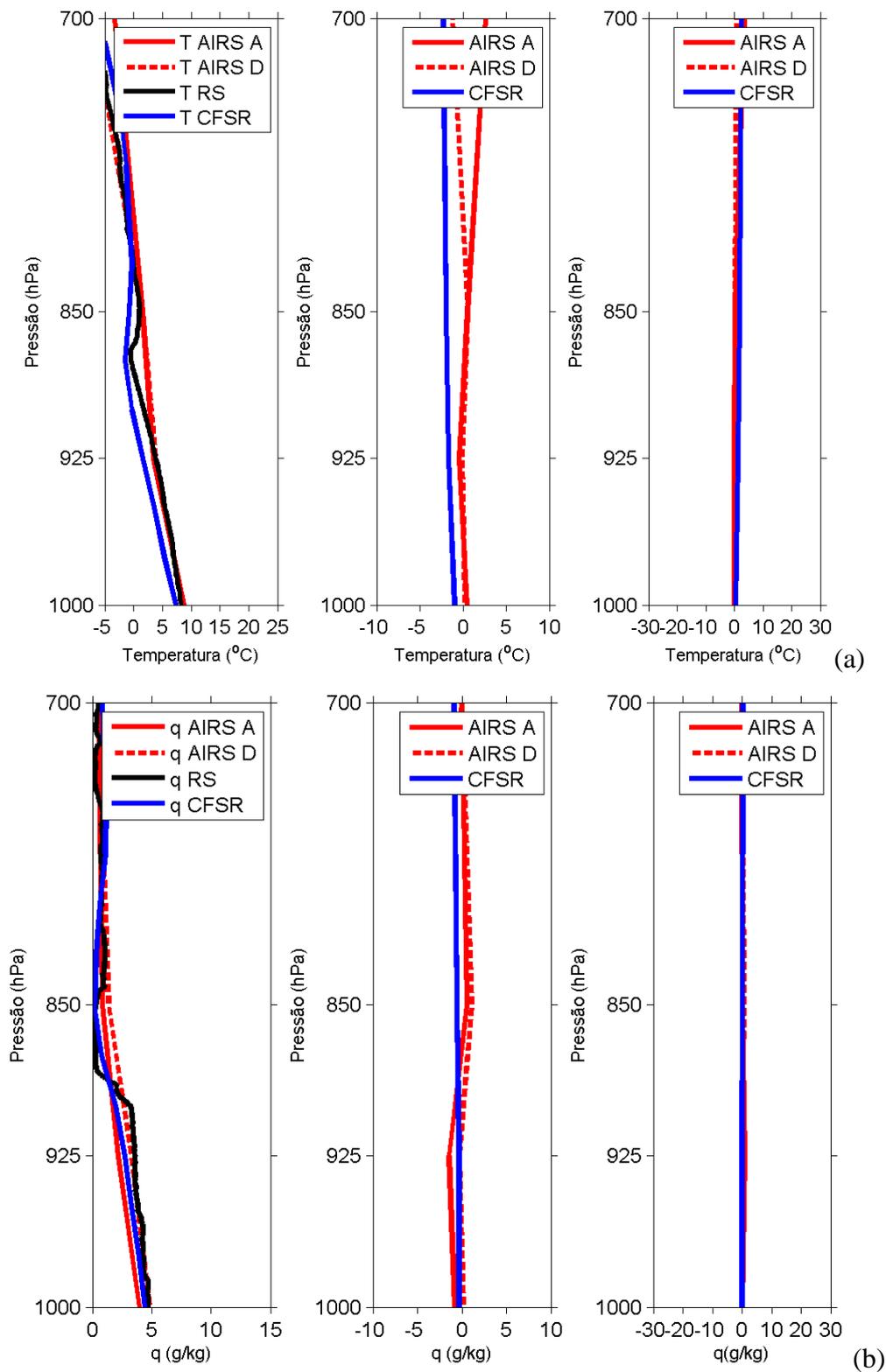
Para dados de umidade específica do ar, os dados mostraram excelente desempenho principalmente para os dados AIRS. Sobre o lado quente, os dados AIRS tem seu erro máximo sobre em 700hPa subestimando os dados da radiossonda com erro máximo de -0,70 g/kg e EQM de 0,24 g/kg, os dados CFSR apresentam erros maiores, porém no mesmo nível, sendo de 2,04 g/kg e EQM de 2,08. Do lado frio da CBM, os dados AIRS tem seu maior erro apresentado em 850 hPa local onde delimita a queda brusca de umidade específica demonstrando o topo da CLAM, neste ponto o AIRS superestima os dados de radiossonda em 0,62g/kg e os dados CFSR apresentam maior acurácia com maior erro em 700hPa com viés de -0,87 g/kg e EQM máximo de 0,37.

Figura 52 - Perfil sobre região quente da CBM referente a RS05 lançada na OP32. (esquerda) Perfis médios obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados de temperatura e painéis inferiores (b) umidade específica do ar



Fonte: (do próprio autor)

Figura 53 - Perfil sobre região fria da CBM referente a RS13 lançada na OP33. (esquerda) Perfis médios obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados de temperatura e painéis inferiores (b) umidade específica do ar



Fonte: (do próprio autor).

Tabela 14 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado quente da CBM para a RS05/OP32

Lado Quente CBM – RS 05 – Temperatura (°C)							
Nível de Pressão (hPa)	Média Radiossonda	Erro médio (viés)			EQM		
		AIRS		CFSR	AIRS		CFSR
		Asc	Desc		Asc	Desc	
1000	13,00	3,41	3,78	-0,95	5,82	7,17	0,45
925	12,80	-1,88	-1,07	-0,95	1,78	0,57	0,45
850	9,60	-0,68	-1,06	0,85	0,23	0,56	0,36
700	0,30	2,05	-1,51	-0,05	2,10	1,14	0,00
Média Geral	8,92	0,72	0,03	-0,27	2,48	2,36	0,31

Tabela 15 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado quente da CBM para a RS05/OP32

Lado Quente CBM – RS 05 – Umidade Específica (g/kg)							
Nível de Pressão (hPa)	Média Radiossonda	Erro médio (viés)			EQM		
		AIRS		CFSR	AIRS		CFSR
		Asc	Desc		Asc	Desc	
1000	9,07	-2,00	0,35	-0,61	2,01	0,06	0,18
925	7,16	-1,69	-0,19	-0,46	1,44	0,01	0,10
850	2,92	-0,24	0,63	1,26	0,03	0,20	0,80
700	2,01	-0,77	-0,70	2,04	0,29	0,24	2,08
Média Geral	5,29	-1,18	0,02	0,55	0,94	0,13	0,79

Tabela 16 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado quente da CBM para a RS13/OP33

Lado Frio CBM – RS 11 – Temperatura do ar (°C)							
Nível de Pressão (hPa)	Média radiossonda	Erro médio (viés)			EQM		
		AIRS		CFSR	AIRS		CFSR
		Asc	Desc		Asc	Desc	
1000	8,30	0,48	0,23	-0,95	0,11	0,02	0,45
925	3,90	-0,42	-0,05	-1,65	0,09	0,00	1,36
850	1,00	0,53	0,60	-1,95	0,14	0,18	1,90
700	-5,90	2,62	-1,18	-2,25	3,44	0,70	2,53
Média Geral	2,63	0,80	-0,10	-1,70	0,94	0,22	1,56

Tabela 17 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM para RS13/OP33

Lado Frio CBM – RS11 – Umidade específica (g/kg)							
Nível de Pressão (hPa)	Média radiossonda	Erro médio (viés)			EQM		
		AIRS		CFSR	AIRS		CFSR
		Asc	Desc		Asc	Desc	
1000	3,96	-0,74	0,00	-0,31	0,28	0,10	0,04
925	2,19	-1,42	0,04	-0,31	1,01	0,00	0,04
850	0,87	0,60	0,62	-0,54	0,18	0,65	0,14
700	0,54	0,01	0,00	-0,87	0,00	0,05	0,37
Média Geral	1,89	-0,38	0,23	-0,50	0,36	0,17	0,15

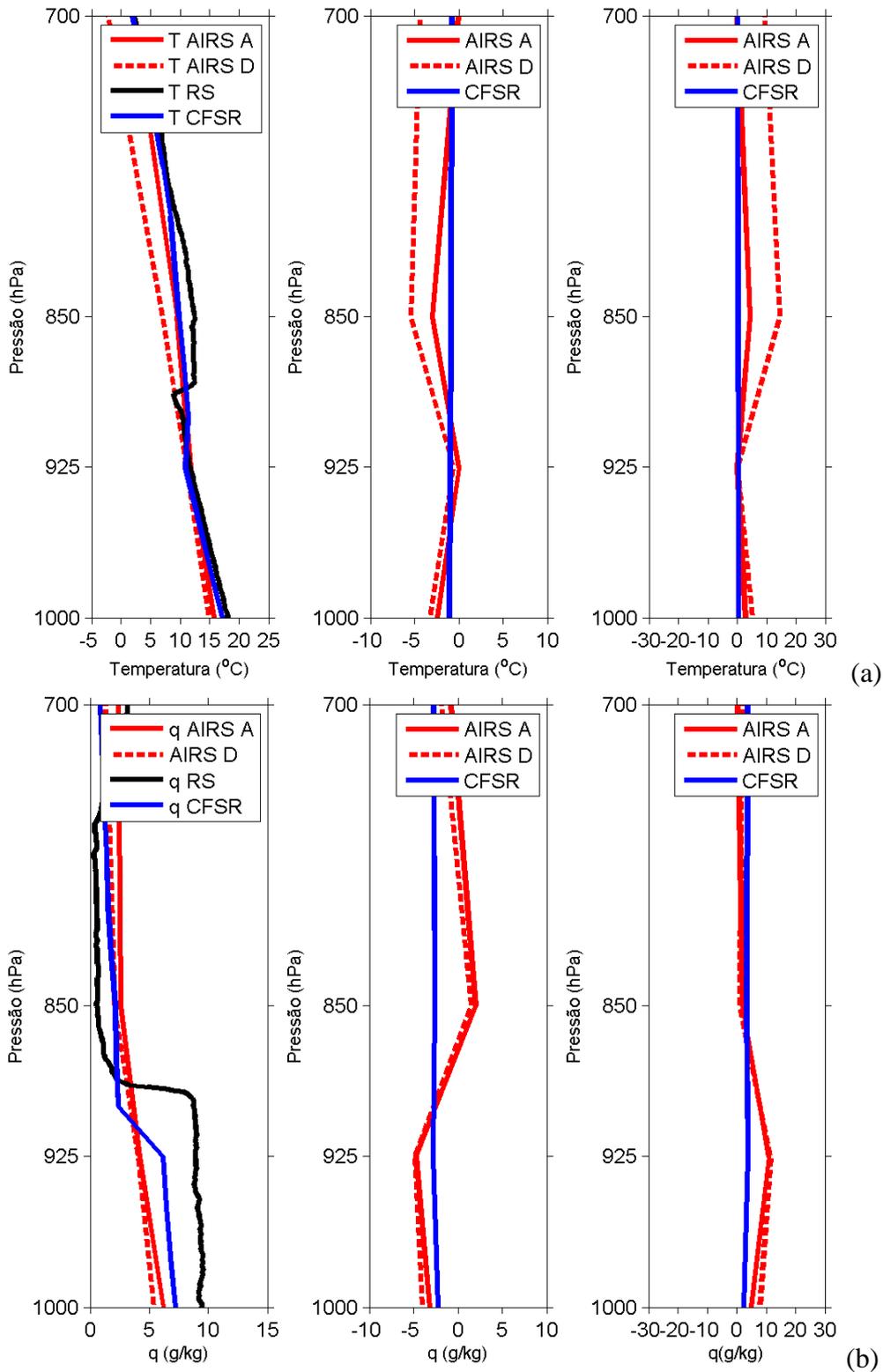
(b) Perfis na presença de ar parcialmente úmido

A Figura 54 e Figura 55 apresentam os perfis de temperatura do ar e umidade específica, viés e EQM das radiossondas, CFSR e AIRS para perfis parcialmente úmidos sobre os lados quente e frio da CBM, sucessivamente. O lado quente é representado pela RS01/OP33 na Figura 54 e seus resultados mostrados na Tabela 18 para dados de temperatura do ar e Tabela 19 para dados de umidade específica, a órbita mais próxima a radiossondagem foi a ascendente com mais de 4h de diferença entre as sondagens. O lado frio é mostrado através da RS14/OP32 na Figura 55 e seus resultados mostrados na Tabela 20 para os dados de temperatura do ar e Tabela 21 para dados de umidade específica, a órbita do satélite Aqua mais próxima a radiossondagem sobre o lado frio da CBM foi a descendente com menos de duas horas de diferença entre as sondagens.

Para sondagens na presença de ar parcialmente úmido sobre o lado quente da CBM, nota-se melhor desempenho dos dados CFSR, tanto para dados de temperatura quando para dados de umidade específica do ar, tanto qualitativamente demonstrando inversões de temperatura de quedas bruscas de umidade, como qualitativamente com valores de viés e EQM bem menores que os resultados apresentados pelos dados AIRS, e os maiores erros demonstrados pelo CFSR são nestas camadas de inversões ou topo da CLAM. Para dados de temperatura do ar, os erros sobre o lado quente dos dados CFSR não ultrapassam o viés de 1°C em todo o perfil enquanto que os dados AIRS ultrapassam o viés de 2°C principalmente em níveis de 1000hPa e 850hPa. Os maiores erros do AIRS apresentaram-se em níveis superficiais (1000hPa) com valores próximos a 2,5°C, onde deve-se este erro a advecção de temperatura (análise não mostrada aqui). Sobre o lado frio os dados de temperatura do ar CFSR obtém desempenho ainda melhor com erros menores que 0,7°C exceto pelo nível de 700hPa que o viés é de -1,25°C. o EQM geral também mostra a melhor acurácia dos dados CFSR.

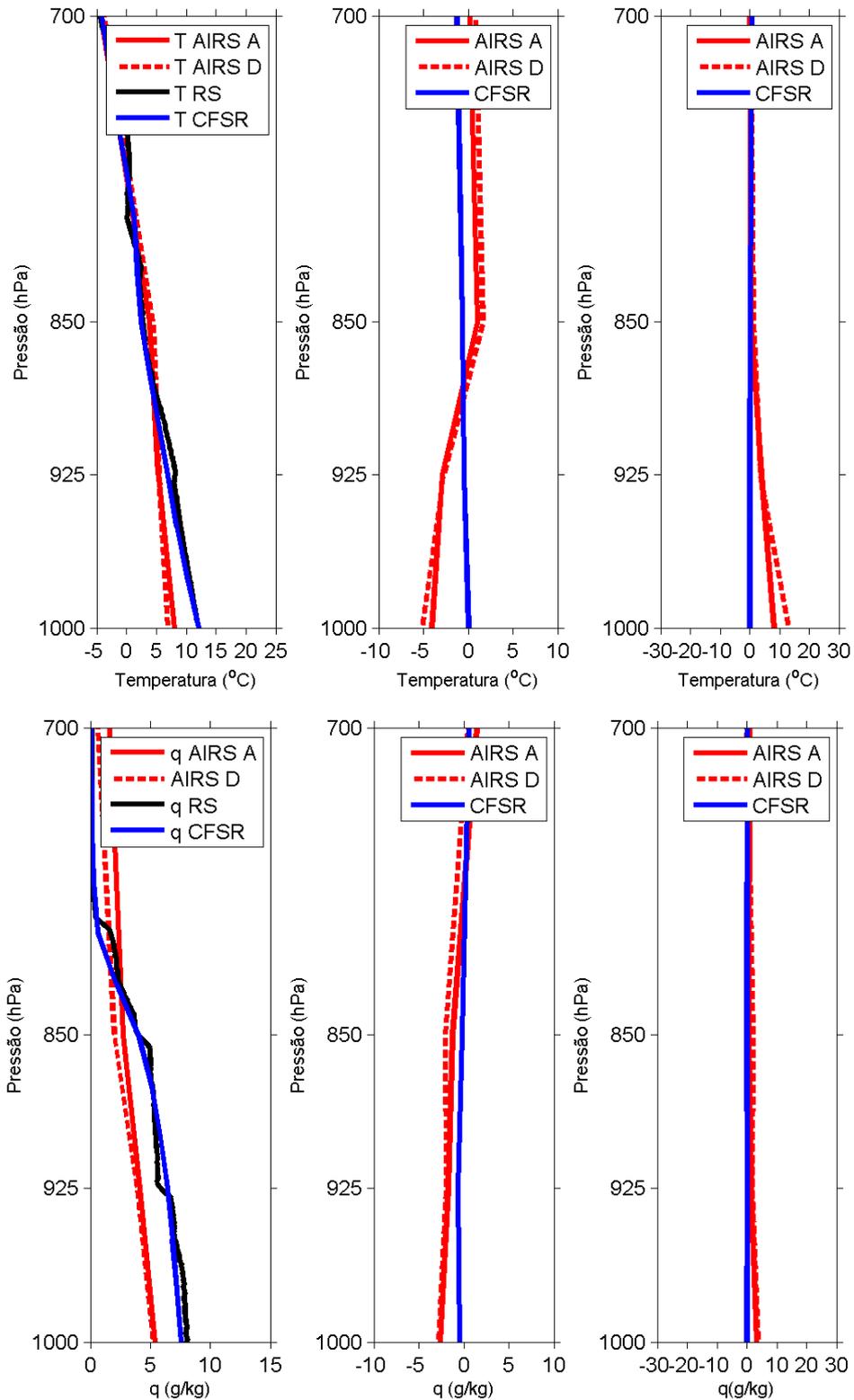
Para dados de umidade específica do ar os dados CFSR também tiveram melhor desempenho, porém subestimam os dados das radiossondagens em ambos os lados, com viés menor que 1°C para o lado quente e menor que 0,5°C para o lado frio. Para os dados de umidade específica, mostrados na Tabela 17, os erros são mais consideráveis, principalmente os erros obtidos pelos dados inferidos pelo AIRS/AQUA em níveis superficiais até 850hPa. Considerando-se a média geral dos erros, atribui-se aos dados CFSR a maior acurácia, tendo erros bem menos consideráveis e abaixo de 2g/kg. Sobre o lado quente.

Figura 54 - Perfil sobre região quente da CBM referente a RS02 lançada na OP33. (esquerda) Perfis médios obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados de temperatura e painéis inferiores (b) umidade específica do ar



Fonte: (do próprio autor).

Figura 55 - Perfil sobre região fria da CBM referente a RS14 lançada na OP32. (esquerda) Perfis médios obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados de temperatura e painéis inferiores (b) umidade específica do ar



Fonte: (do próprio autor).

Tabela 18 - Média, viés e EQM entre perfis de temperatura do ar observados e obtidos por CFSR e AQUA para o lado quente da CBM para a RS02/OP33

Lado Quente CBM – RS 02 – Temperatura do ar							
Pressão (hPa)	Média Radiossonda	Erro médio (viés)			EQM		
		AIRS		CFSR	AIRS		CFSR
		Asc	Desc		Asc	Desc	
1000	15,78	-2,41	-3,22	-1,05	2,91	5,20	0,55
925	11,78	0,08	-0,60	-0,95	0,00	0,18	0,45
850	9,53	-2,96	-5,40	-0,85	4,38	14,58	0,36
700	2,16	-0,03	-4,35	-0,75	0,00	9,46	0,28
Média Total	9,81	-1,33	-3,39	-0,90	1,82	7,35	0,41

Tabela 19 - Média, viés e EQM entre perfis de umidade específica observados e obtidos por CFSR e AQUA para o lado quente da CBM Brasil para a RS02/OP33

Lado Quente CBM – RS 08 – Temperatura do ar							
Pressão (hPa)	Média Radiossonda	Erro médio (viés)			EQM		
		AIRS		CFSR	AIRS		CFSR
		Asc	Desc		Asc	Desc	
1000	9,41	-3,17	-3,98	-2,21	5,04	7,94	2,45
925	8,91	-4,69	-4,82	-2,77	11,02	11,65	3,83
850	0,53	2,05	1,53	-2,61	2,11	1,17	3,41
700	3,14	-0,76	-1,84	-2,74	0,29	1,70	3,75
Média Total	5,50	-1,64	2,28	-2,58	-4,61	5,62	3,34

Tabela 20 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM para a RS14/OP32

Lado Frio CBM – RS 07 – Temperatura do ar (°C)							
Nível de Pressão (hPa)	Média Radiossonda	Erro médio (viés)			EQM		
		AIRS		CFSR	AIRS		CFSR
		Asc	Desc		Asc	Desc	
1000	12,10	-4,06	-5,12	0,05	8,25	13,13	0,00
925	8,20	-2,85	-2,72	-0,45	4,06	3,71	0,10
850	2,80	1,05	1,67	-0,65	0,55	1,40	0,21
700	-4,50	0,22	0,85	-1,25	0,02	0,36	0,78
Média Geral	4,65	-1,40	-1,33	-0,57	3,22	4,65	0,27

Tabela 21 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM para RS14/OP32

Lado Frio CBM – RS 07 – Umidade específica (g/kg)							
Nível de Pressão (hPa)	Média Radiossonda	Erro médio (viés)			EQM		
		AIRS		CFSR	AIRS		CFSR
		Asc	Desc		Asc	Desc	
1000	8,00	-2,58	-2,75	-0,42	3,34	3,80	0,09
925	5,84	-1,68	-1,92	-0,62	1,42	1,85	0,19
850	4,02	-1,25	-2,01	-0,18	0,79	2,03	0,01
700	0,15	1,46	0,49	0,60	1,06	0,12	0,18
Média Geral	4,50	-1,01	-1,55	-0,15	1,65	1,95	0,12

(c) Perfis na presença de ar úmido

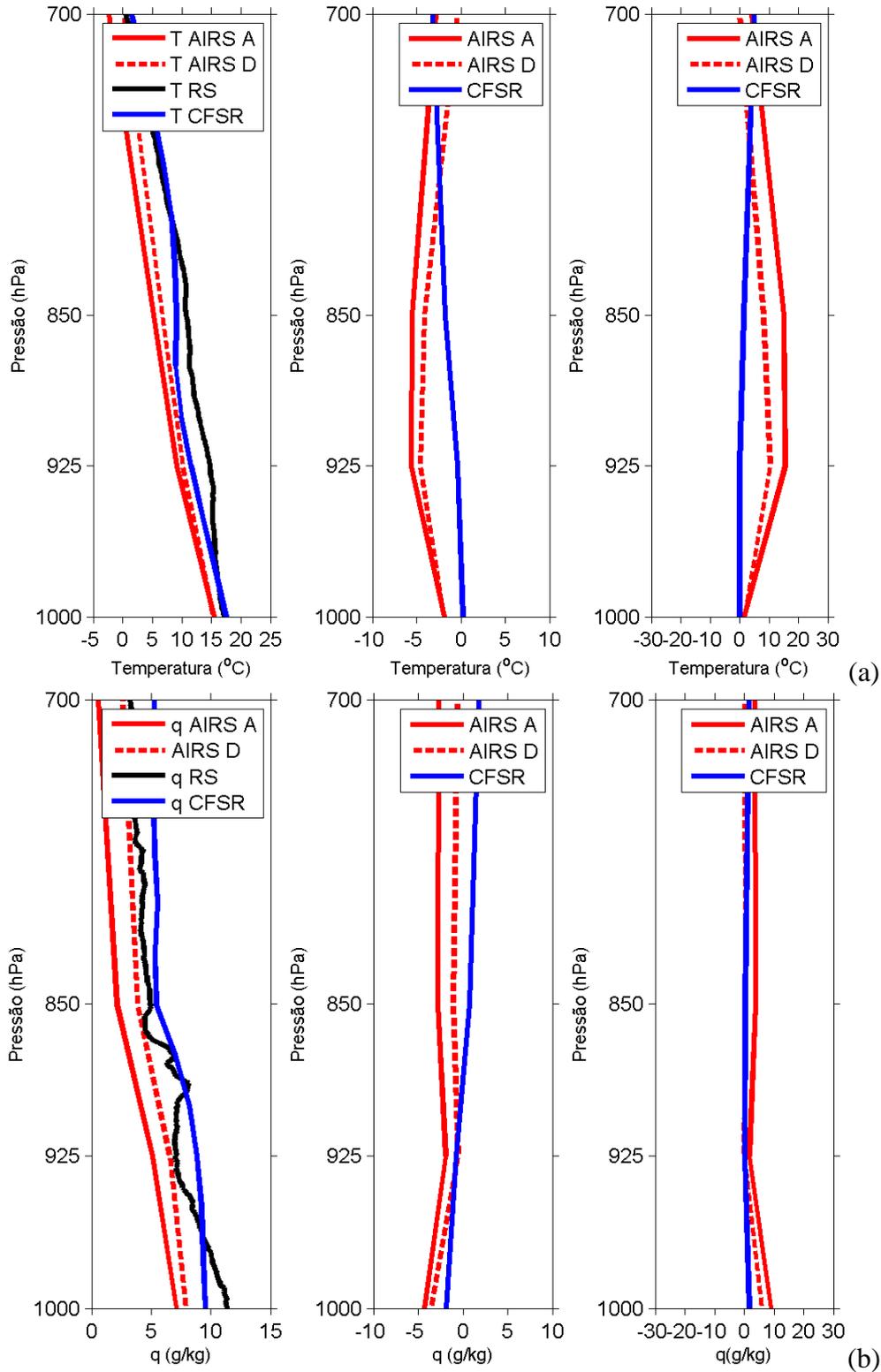
A Figura 56 e Figura 57 apresentam os perfis de temperatura do ar e umidade específica, viés e EQM das radiossondas, CFSR e AIRS para perfis úmidos sobre os lados quente e frio da CBM, sucessivamente. O lado quente é representado pela RS05/OP33 na Figura 56 e seus resultados mostrados na Tabela 22 para os dados de temperatura do ar e Tabela 23 para dados de umidade específica, a órbita do satélite AQUA mais próxima a radiossondagem foi descendente com sete minutos de diferença entre as sondagens. O lado frio é mostrado através da RS11/OP32 na Figura 57 e seus resultados mostrados na Tabela 24 para dados de temperatura do ar e Tabela 25 para dados de umidade específica e a órbita do satélite Aqua mais próxima a radiossondagem foi a descendente com aproximadamente três horas de diferença entre as sondagens, porém, notou-se que em situações em que o perfil encontrava-se com as curvas T e Td muito próximas mostrando ar muito úmido ou saturado, os dados eram inexistentes, logo, usou-se a órbita ascendente para análise, que embora com maior tempo de diferença, representava o período diurno, podendo ser usada para esta análise.

Sobre o lado quente da CBM, para os dados de temperatura do ar mostrados, observa-se que os maiores erros em ambos os lados são apresentados em níveis entre 700-850 hPa, ambos sistemas de sondagem analisados subestimam a temperatura em quase todos níveis, porém os dados AIRS ultrapassam 1°C de viés, enquanto os dados CFSR tem uma boa representação exceto pelo nível de 700hPa onde tem viés máximo, subestimando a radiossondagem em -3,15°C.

Para os dados de umidade específica, sobre o lado quente mostrados na os erros obtidos pelos perfis AIRS/AQUA ultrapassam o limite de 20% do valor necessários de acurácia (em g/kg) enquanto que os dados CFSR embora subestimando as radiossondagens em ambos os lados, não ultrapassam esse valor de erro em ambos os lados da CBM, com menor erro sobre o lado frio.

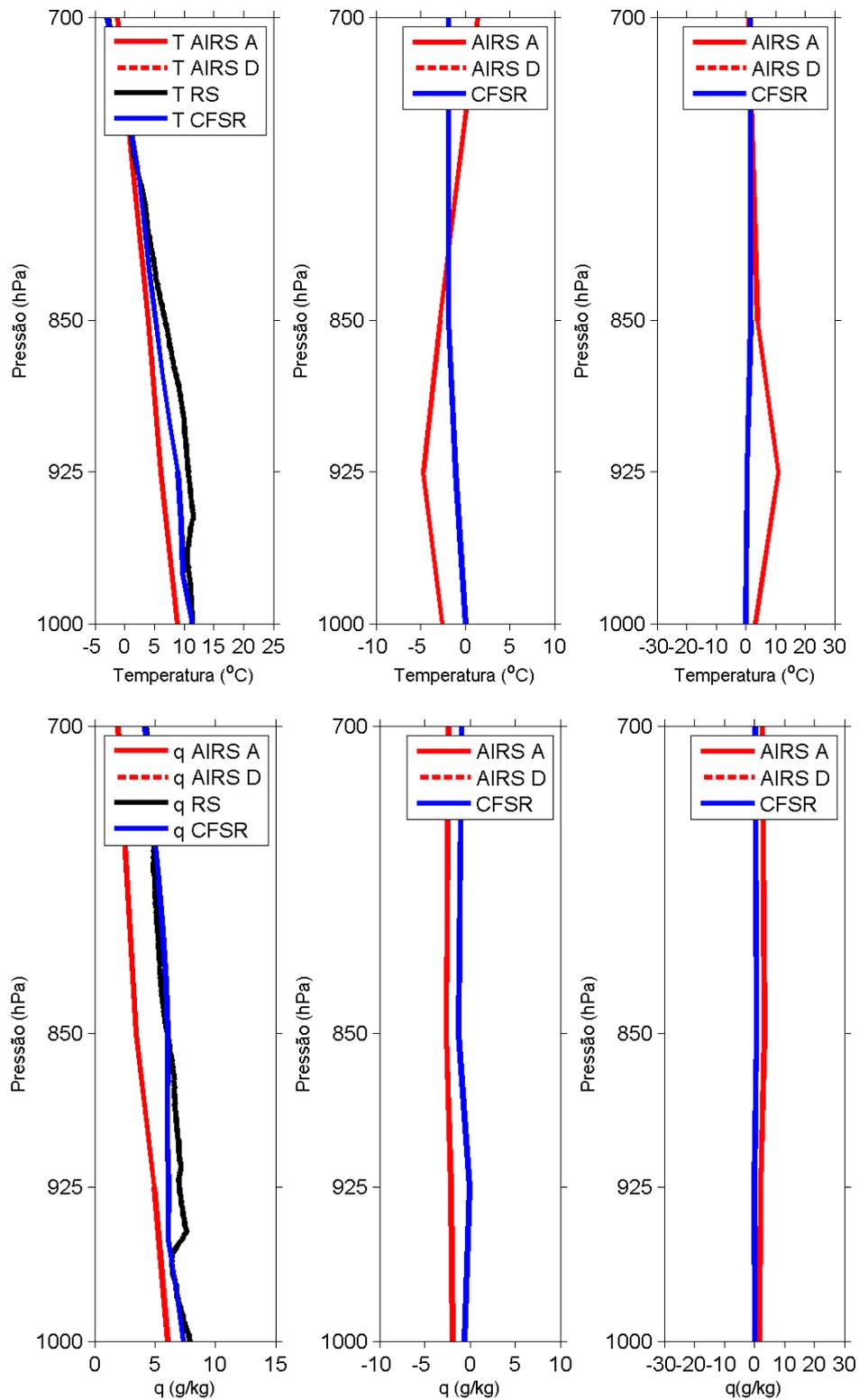
Considerando-se a média geral dos erros, atribui-se aos dados CFSR a melhor acurácia, tendo EQM geral para dados de umidade específica de 1,38 g/kg sobre o lado quente e de 0,33 g/kg sobre o lado frio.

Figura 56 - Perfil sobre região quente da CBM referente a RS05 lançada na OP33. (esquerda) Perfis médios obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados de temperatura e painéis inferiores (b) umidade específica do ar.



Fonte: (do próprio autor)

Figura 57 - Perfil sobre região quente da CBM referente a RS05 lançada na OP33. (esquerda) Perfis médios obtidos pelas radiossondas (RS), AIRS e CFSR; (centro) erro médio ou viés entre as radiossondas e CFSR e AIRS; (direita) erro quadrático médio ou EQM entre as radiossondas e CFSR e AIRS. Painéis superiores (a) indicam dados de temperatura e painéis inferiores (b) umidade específica do ar



Fonte: (do próprio autor)

Tabela 22 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado quente da CBM para RS05/OP33 para RS05/OP33

Lado Quente CBM – RS 05– Temperatura do ar (°C)							
Nível de Pressão (hPa)	Média Radiossonda	Erro médio (viés)			EQM		CFSR
		AIRS Asc	AIRS Desc	CFSR	AIRS Asc	AIRS Desc	
1000	15,47	-1,82	-1,88	0,25	1,66	1,78	0,03
925	9,22	-5,57	-4,57	-0,35	15,54	10,46	0,06
850	5,28	-5,51	-4,07	-1,75	15,19	8,30	1,53
700	-2,33	-2,83	-0,33	-3,15	4,02	0,05	4,96
Média Geral	6,91	-3,93	-2,71	-1,25	9,10	5,15	1,38

Tabela 23 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado quente da CBM para RS05/OP33

Lado Quente da CBM – RS05 – Umidade específica do ar (g/kg)							
Nível de Pressão (hPa)	Média Radiossonda	Erro médio (viés)			EQM		CFSR
		AIRS Asc	AIRS Desc	CFSR	AIRS Asc	AIRS Desc	
1000	11,38	-4,26	-3,46	-1,84	9,07	6,01	1,71
925	7,03	-1,89	-0,47	-0,72	1,79	0,11	0,26
850	4,90	-2,75	-1,03	0,76	3,80	0,53	0,29
700	3,23	-2,66	-0,60	1,80	3,54	0,18	1,63
Média Geral	6,64	-2,89	-1,39	0,0	4,55	1,70	0,97

Tabela 24 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de temperatura do ar e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM para RS05/OP33 para RS11/OP32

Lado Frio CBM – RS 11/OP32– Temperatura do ar (°C)							
Nível de Pressão (hPa)	Média Radiossonda	Erro médio (viés)			EQM		CFSR
		AIRS Asc	AIRS Desc	CFSR	AIRS Asc	AIRS Desc	
1000	8,85	-2,55	*	0,05	3,25	*	0,00
925	6,10	-4,70	*	-1,05	11,04	*	0,55
850	3,97	-2,82	*	-1,85	3,99	*	1,71
700	-1,27	-1,42	*	-1,85	1,01	*	1,71
Média Geral	4,41	2,16	*	-1,17	4,82	*	0,99

Tabela 25 - Média, viés e EQM entre perfis observacionais de umidade específica e obtidos por CFSR e AIRS para o lado frio da CBM para RS11/OP32 (* dados indisponíveis)

Lado Frio da CBM – RS11/OP32 – Umidade específica do ar (g/kg)							
Nível de Pressão (hPa)	Média Radiossonda	Erro médio (viés)			EQM		CFSR
		AIRS Asc	AIRS Desc	CFSR	AIRS Asc	AIRS Desc	
1000	6,07	-1,90	*	-0,59	1,81	*	0,17
925	4,96	-2,09	*	-0,03	2,19	*	0,00
850	3,45	-2,61	*	-1,23	3,41	*	0,76
700	1,93	-2,36	*	-0,91	2,81	*	0,41
Média Geral	4,10	-2,24	*	-0,69	2,56	*	0,33

Esta seção teve por finalidade analisar o desempenho dos sistemas de sondagem Aqua e CFSR comparando perfis verticais de temperatura e umidade sobre as regiões quente e fria da CBM onde os perfis selecionados consideram condições atmosféricas em diferentes concentrações de vapor d'água.

Em geral, avaliando-se as médias e erros médios, EQM e médias totais dos erros mostrados anteriormente observa-se que sobre o lado quente da CBM, os perfis inferidos AIRS/Aqua sob condições em que a atmosfera se apresenta livre da presença de nuvens, e/ou com valores de vapor d'água não elevados na região, que os perfis AIRS reproduzem satisfatoriamente os observacionais. Sob condições em que a concentração de vapor d'água é maior ou na presença de nuvens, atribui-se aos dados CFSR a maior concordância com dados observados.

Sobre o lado frio da CBM, os erros são baixos e estão dentro do aceitável, quando considerados horários próximos a passagem do satélite para perfis inferidos AIRS e sob condições de atmosfera sob baixas concentrações de vapor d'água e livre de nebulosidade. Os perfis CFSR demonstraram ter melhor desempenho tanto sobre o lado quente quanto sobre o lado frio da CBM em condições nas quais a concentração de vapor d'água na região foi elevada, os maiores erros encontram-se nos níveis onde há inversões de temperatura ou onde está o topo da CLAM.

Intercomparações entre os perfis CFSR, AIRS e as radiossondagens mostraram uma boa concordância entre os perfis de temperatura, com um EMQ similar ao encontrado sobre regiões continentais por Fetzer et al. (2005). Os maiores erros próximos às inversões de temperatura e no topo da CLAM mostram a dificuldade de inferir perfis nessas camadas, e podem estar associados à heterogeneidade da superfície, como por exemplo, variações na sua emissividade espectral (Salisbury e D'Aria, 1992 e 1994). Em níveis superficiais os maiores erros encontrados nos dados AIRS referem-se a advecções de temperatura nos mesmos níveis.

No caso da umidade, os EMQ atingiram valores superiores àqueles 2 g/kg, previstos por Susskind et al. (2003). Conforme estudos anteriores revelam, as maiores dificuldades na recuperação de perfis verticais de umidade é a grande variabilidade espacial e temporal na atmosfera, dificultando processos de validação de dados (Souza, 2006).

A limitação do uso dos dados de perfiladores atmosféricos AIRS/Aqua que embora tenha representação em menor qualidade que os dados CFSR em condições de atmosfera úmida ou parcialmente úmida, tem ótima acurácia em perfis com atmosfera na presença de ar seco, dá-se pela perda de dados em situações onde existe altas concentrações de vapor d'água, com perfis saturados.

Os resultados desta seção concordam com Divakarla et al. (2006), que compararam perfis de temperatura e umidade sob condições de céu claro e sob condições de nebulosidade com dados observados e mostraram que perfis na ausência de nebulosidade apresentam mais próximos aos observados com maior evidencia em níveis próximos a superfície, porém, o autor observa a possibilidade da diferença de aproximadamente uma hora entre os dados de satélites e as radiossondas ter sido suficiente para acarretar erros nas camadas próximas à superfície.

5. CONCLUSÕES

Tendo em vista a carência de dados observados no Hemisfério Sul, torna-se de grande relevância medições realizadas durante os dez anos de coletas de dados pelo Programa INTERCONF, proporcionando uma análise do sistema acoplado oceano-atmosfera na região da CBM através de amostragens verticais da atmosfera por meio de radiossondas e também das características oceânicas por meio de equipamentos apropriados.

Este estudo teve por finalidade analisar pela primeira vez o vapor d'água dentro da CLAM na região da CBM, através de dados coletados *in situ* bem como avaliar o desempenho de sistemas de sondagem atmosférica Aqua/AIRS e reanálises CFSR/CFSv2 para que possam ser usados como ferramentas na ausência de dados coletados *in situ*.

Os resultados desse trabalho demonstram que a TSM age como forçante local modulando o vapor d'água atmosférico mantendo maior concentração em níveis superficiais e passando a ser modulada nos níveis médios e altos pelos sistemas de grande escala que atuam na região. Considerando somente a camada limite atmosférica marinha, para a região e período de estudo, o conteúdo de vapor d'água integrado foi maior sobre a área de predominância da Corrente do Brasil onde águas superficiais mais quentes predominam com valor médio de 6,12 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ou mm), enquanto que sobre o lado frio a concentração dentro da CLAM foi de 4,15mm. O Teste-t de Student mostrou que o IWV é significativamente mais alto sobre águas quentes e mais baixo sobre águas frias.

A análise dos demais dados médios observados sobre ambos os lados da CBM, também mostraram que em geral as variáveis analisadas, tais como: pressão atmosférica (hPa), temperatura da superfície do mar e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), altura da camada limite atmosférica marinha (m), velocidade do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), umidade específica em superfície ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), calor sensível ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) e calor latente ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) têm valores mais altos sobre o lado quente.

A predominância do vento de Oeste sobre o lado quente da CBM e de vento Norte sobre o lado frio da CBM, associados ao deslocamento para leste de sistemas sinóticos transientes, induzem advecção de temperatura e umidade sobre a região, influenciando diretamente nas características das variáveis dentro da CLAM por processos induzidos pelo oceano. Estes processos são influenciados pela velocidade do vento, tais como processos turbulentos que transportam vapor d'água na região, influenciando nas concentrações sobre a região. A análise da componente meridional do vento apresentou uma forte influência sob a concentração de vapor d'água principalmente pela intensificação ou inibição dos processos

térmicos de superfície, evaporação e o cisalhamento do vento propiciando condições em que existe altas concentrações de vapor d'água em superfície.

A passagem de sistemas transientes sobre a região da CBM é fator predominante para uma eventual mudança desses padrões. Este estudo também mostra que, na porção quente da CBM, todas as variáveis atmosféricas estudadas são em média mais altas do que sobre a porção fria da frente oceanográfica. A alta variabilidade dos fluxos de calor entre o oceano e a atmosfera evidenciam o balanço entre os fatores locais ligados à TSM e os fatores de grande escala ligados à situação sinótica da atmosfera durante os meses de outubro e novembro entre 2004 e 2015. O padrão médio da pressão atmosférica apresentou-se mais alta sobre águas mais quentes na região da CBM indicando uma possível predominância do mecanismo de estabilidade estática proposto por Wallace et al. (1989) para a região e período desse estudo.

A análise conjunta deste conjunto de dados *in situ*, perfis inferidos AIRS/Aqua e reanálise do CFSR/CFSv2 para a determinação das condições sinóticas leva às seguintes conclusões: O contraste térmico encontrado na região de estudo mostra gradientes de TSM nítidos e mostra-se que a estrutura vertical CLAM é sujeita a variabilidade significativa para o vapor d'água especialmente sob condições de sistemas sinóticos distintas e advecção térmica.

Quando analisados os desempenhos dos sistemas de sondagem sobre a região da CBM, pode-se concluir que perfis verticais de temperatura do ar sobre a região da CBM podem ser bem representados pelos dados CFSR e AIRS/Aqua. Evidencia-se que os maiores erros AIRS/Aqua são apresentados sob condições de altas concentrações de vapor d'água na atmosfera, como é o caso da situação de baixa pressão e nebulosidade apresentadas.

Sobre a análise qualitativa dos perfis, pode-se notar que os maiores erros são encontrados em camadas onde a umidade específica apresenta o topo da CLAM ou que são apresentadas inversões de temperatura. Os perfis CFSR mostram essas inversões ou a declividade referente a CLAM, porém estimam em níveis mais acima/abaixo e declividades menos pronunciadas.

Considerando-se os perfis verticais médios de temperatura do ar e umidade específica na região da CBM, demonstra-se neste estudo que a temperatura e umidade atmosférica podem ser bem representadas pelos dados CFSR/CFSv2 e AIRS/Aqua, de forma geral, os dados CFSR apresentaram melhores resultados sobre ambos os lados da CBM, considerando-se ambos os sistemas de sondagem, nota-se que principalmente sob condições em que as concentrações de vapor d'água não são altas obtêm-se melhores resultados em relação as radiossondas. Isso explica a maior acurácia dos dados sobre a região da CM, onde as concentrações de vapor d'água são menores, implicando na melhor qualidade de dados sobre a região mais fria.

Entre as limitações encontradas neste estudo pode-se citar a defasagem nos horários das comparações entre os dados observacionais, CFSR e AIRS cujos dados diferem por vezes em mais de 3,5 horas, essa defasagem também foi referida por Salisbury (1992), interferindo na acurácia dos dados usados para intercomparações. Outra limitação são os erros encontrados na sequência dos conjuntos de dados associando AIRS+AMSU, que poderiam melhorar a qualidade das comparações em situações sobre altas concentrações de vapor d'água.

Podendo a região da CBM, através de sistemas transientes, deslocar vapor d'água e influenciar diretamente na região Sul e Sudeste do Brasil, sugere-se para estudos futuros, que sejam consideradas as diferenças nas concentrações de vapor d'água sobre a região na melhoria de modelos numéricos de previsão de tempo e clima considerando temporal e espacialmente as análises mostradas neste estudo. Outro fator a considerar-se futuramente é o deslocamento latitudinal e longitudinal da ASAS e suas influências sobre a região, podendo aumentar/diminuir a advecção de temperatura/umidade, influenciando diretamente no vapor d'água sobre a região. Outra sugestão para estudos futuros seria considerar a melhoria da acurácia dos dados sobre a região da CBM através do uso de canais combinados AIRS+AMSU. Embora os dados AMSU apresentem mais falhas, quando estes são combinados aos dados AIRS podem ser o conjunto ideal para ser aplicado sobre a região por ser uma região de passagem de sistemas transientes de alta e baixa pressão, além de ser uma região considerada preferencial na passagem de sistemas extratropicais (Storm Tracks) e conseqüentemente pela presença de nebulosidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, O. C. et al. Atmospheric boundary layer adjustment to the synoptic cycle at the Brazil-Malvinas Confluence, South Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**. v. 115. n. D22. p. 1-12. 2010.
- ANDERSON, T. W. **An introduction to multivariate statistical analysis**. 2ª ed. New York:Wiley, 1984.
- ARSEGO, D.A. **Fluxos de calor e transferência de energia calorífica entre o oceano e a atmosfera sobre estruturas oceânicas de mesoescala no atlântico sul**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.
- ATMOSPHERIC INFRARED SOUNDER. **AIRS**. Disponível em: <https://airs.jpl.nasa.gov/data/get_data>. Acesso em 23 fev. 2017.
- AUMANN, H. H. et al. AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: design, Science objectives, Data products and processing systems. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 41. n. 2. p. 253-264. 2003.
- BLACKMON, M.L.; WALLACE, J.M.; LAU, N.C.; MULLEN, S.L. An observational study of the northern hemisphere wintertime circulation. **Journal of the Atmospheric Science**, v. 34, n. 7, p. 1040-1053, 1977.
- BROWN, R.G.; ZHANG, C. Variability of midtropospheric moisture and its effect on cloud-top height distribution during TOGA COARE. **Journal of the Atmospheric Science**. v. 54. pp. 2760 – 2774. 1997.
- CAMARGO, R. et al. Modulation mechanisms of marine atmospheric boundary layer at the Brazil-Malvinas Confluence region. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**. v. 118. n. 12. p. 6266–6280. 2013.
- CASTRO, B. M. et al. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. B. MADUREIRA, L. S-P. **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil**. 1. ed. São Paulo: EDUSP. 2006.
- CHAHINE, M. T. Determination of the temperature profile in an atmosphere from its outgoing radiance. **Journal of the Optical Society of America**, v.58, p. 1634-1637, 1968.
- CHAHINE, M. T. Inverse problems in radiative transfer: Determination of atmospheric parameters. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.27, p. 960-967, 1970.
- CHOU, S. H., R. ATLAS, C. L. SHIE, AND J. ARDIZZONE; Estimates of surface humidity and latent heat fluxes over oceans from SSMI data. **Monthly Weather Review**. Ed123, 2405-2425. 1995.
- CHOW, C. H.; LIU Q.Y.; Xie, SP. Effects of Kuroshio Intrusions on the atmosphere northeast of Taiwan Island. **Geophysical Research Letter**. 42. 1465–1470. 2015.
- CURRY, J.A.; WEBSTER, P. J. **Thermodynamics of Atmospheres and Oceans**. Volume 65. Pages 1-471. 1999.
- DEGOLA, T. S. D. **Impactos e variabilidade do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros**. 91 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. **Para entender tempo e clima**. In: CAVALCANTI et al. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos. p. 15-23. 2009.
- DIVAKARLA, M. G.; et al. Validation of atmospheric Infrared Sounder temperature and water vapor retrievals with matched radiosonde measurements and forecasts. **Journal Geophysical Research**, 111, 2006.
- DONG, SHENFU, et al. Assessing the potential of the Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) surface temperature and specific humidity in turbulent heat flux estimates in the Southern Ocean. **Journal of Geophysical Research: Oceans** 115.C5. 2010.

- EDSON, James B. et al. On the exchange of momentum over the open ocean. **Journal of Physical Oceanography**, v. 43, n. 8, p. 1589-1610, 2013.
- FAIRALL, C. W. et al. Bulk parameterization of air–sea fluxes: Updates and verification for the COARE algorithm. **Journal of climate**, v. 16, n. 4, p. 571-591, 2003.
- FETZER, E. et al. AIRS/AMSU/HSB validation. **IEEE transactions on geoscience and remote sensing**, v. 41, n. 2, p. 418-431, 2003.
- FETZER, E.; et al. **Validation of AIRS/AMSU/HSB core products for Data Release Version 4.0**. JPL D-31448, 2005.
- GAFFEN, D. J. et al. Relationships between tropospheric water vapor and surface temperature as observed by radiosondes. **Journal of Geophysical Research**, 19:1839–1842. 1992a.
- GAFFEN, D. J. et al.; Annual cycles of tropospheric water vapor. **Journal of Geophysical Research**, 97:185. 1992b.
- GAN, M. A.; RAO, B. V. Surface cyclogenesis over South America. **Mon Weather Review**, 119, 293-302, 1991.
- GARFINKEL, C. I. et al. Temperature trends in the tropical upper troposphere and lower stratosphere: Connections with sea surface temperatures and implications for water vapor and ozone. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 17, p. 9658-9672, 2013.
- GARRISON, Tom S. **Oceanography: an invitation to marine science**. Nelson Education, 2015.
- GARZOLI, S; SIMIONATO, C. Baroclinic instabilities and forced oscillations in the Brazil/Malvinas confluence front. Deep Sea Research Part A. **Oceanographic Research Papers**, v. 37, n. 6, p. 1053-1074, 1990.
- HALLAK, R. et al. Análise de desempenho de índices de instabilidade atmosférica na previsão de fenômenos convectivos de mesoescala na região metropolitana de São Paulo entre 28 de janeiro e 04 de fevereiro de 2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 173-206, 2012.
- HARTMANN, D. L. **Global physical climatology**. Newnes, 1994.
- HOLLOWAY, C. E.; NEELIN, J. D. Moisture vertical structure, column water vapor, and tropical deep convection. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 66, n. 6, p. 1665-1683, 2009.
- HOLTON, James R.; HAKIM, Gregory J. **An introduction to dynamic meteorology**. Academic press, 2012.
- HOSKINS, B. J.; HODGES, K. I., A New on Southern Hemisphere Storm Tracks. **Journal of Climate**, 18, 4108-4129; 2005.
- IPCC, Climate Change 2007a: **The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, S. Solomon et al., Eds. (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2007).
- JUSTICE, C.O.; et al. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.244-262. 2002.
- Kalnay, E. and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 77, 1057-1072. 1996.
- KAUFMANN, T. ; ANABOR, V. . Análise de quatro casos de advecção de nebulosidade rasa no Sul do Brasil por atuação de Anticiclones Transientes na região CBM. In: **Anais XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2010, Belém / Brasil. Anais do XVI CBMet, 2010.
- LARGE, W. G.; POND, S. Sensible and latent heat flux measurements over the ocean. **Journal of Physical Oceanography**, v. 12, n. 5, p. 464-482, 1982.

- LEGECKIS, R.; GORDON, A. L. Satellite observations of the Brazil and Falkland currents—1975 1976 and 1978. **Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers**, v. 29, n. 3, p. 375-401, 1982.
- LENTINI, C. AD; OLSON, D. B.; PODESTÁ, G. P. Statistics of Brazil Current rings observed from AVHRR: 1993 to 1998. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 16, 2002.
- LENTINI, C.A.D., OLSON D.B., PODESTÁ G. Statistics of Brazil Current rings observed from AVHRR: 1993 to 1998, *Geophysical Research Letters*, 29(16), 58-1 – 58-4. 2002.
- LINDZEN, R. S., NIGAM, S. On the role of sea surface temperature gradients in forcing low-level winds and convergence in the tropics, **Journal of the Atmospheric Sciences**, 44(17), 2418 – 2436. 1987.
- MÄCHEL, H.; KAPALA, A.; FLOHN, H. Behaviour of the centres of action above the Atlantic since 1881. Part I: Characteristics of seasonal and interannual variability. **International Journal of Climatology**, v. 18, n. 1, p. 1-22, 1998.
- MAHRT, L., AND D. KHELIF; Heat fluxes over weak SST heterogeneity. **Journal Geophysical Research**, 115, D11103, doi:10.1029/ 2009JD013161. 2010.
- MARTINS, J. et al. Infrared sounding of the trade-wind boundary layer: AIRS and the RICO experiment. **Geophysical Research Letters**, v. 37, n. 24, 2010.
- MESSAGER, Christophe; SPEICH, Sabrina; KEY, E. Marine atmospheric boundary layer over some Southern Ocean fronts during the IPY BGH 2008 cruise. **Ocean Science**, v. 8, n. 6, p. 1001, 2012.
- MORETIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. p. 49-52, Editora Saraiva, São Paulo, 2013.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Ocean motion and surface currents**. Disponível em: <http://oceanmotion.org/html/impact/conveyor.htm>. Acesso em 17 mar. 2017.
- NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION. **CFSv2**. Disponível em: https://nomads.ncdc.noaa.gov/modeldata/cmd_pgbh/%3E. Acesso em 23 fev. 2017.
- NYGÅRD, T., VALKONEN, T., AND VIHMA, T.: Antarctic LowTropospheric Humidity Inversions 10yr Climatology, **Journal of Climate**, 26, 5205–5219, doi:10.1175/JCLI-D-12-00446.1, 2013.
- NOELE, L. F.; DOURADO, M. S. Variabilidade diurna dos fluxos turbulentos de calor no Atlântico Equatorial. **Anais XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Belém. Brasil. 2010.
- OCEAN COLOR WEB. Aqua MODIS. **NASA**. Disponível em: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>. Acesso em 23 fev 2017.
- OLSON, D.B. et al. Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas currents. **Deep-Sea Research**. 35. 1971-1990p. 1988.
- OORT, A. H. **Global atmospheric circulation statistics, 1958-1973**. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, 1983.
- ORLANSKI, I. Localized baroclinicity: A source for meso- α cyclones. **Journal of the atmospheric sciences**, v. 43, n. 23, p. 2857-2885, 1986.
- PARKINSON, C. L. Aqua: An Earth-observing satellite mission to examine water and other climate variables. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 2, p. 173-183, 2003.
- PEZZI, L. P. et al. Air-sea interaction at the Southern Brazilian Continental Shelf – Part 1: In situ observations, **Journal of Geophysical Research**, 121, 6555-6556, 2016a.
- PEZZI, L. P. et al. Ocean-atmosphere in situ observations at the Brazil-Malvinas Confluence region. **Geophysical Research Letters**. v. 32. n. 22. p. 2-5. 2005.

- PEZZI, L. P. et al. Multiyear measurements of the oceanic and atmospheric boundary layers at the Brazil-Malvinas confluence region. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, n. D19, p. 1-19, 2009.
- PEZZI, L.P.; SOUZA, R.B.; QUADROS, M.F.L. Uma revisão dos processos de interação oceano-atmosfera em regiões de intenso gradiente termal do Oceano Atlântico Sul baseada em dados observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2016a.
- PODESTÁ, G. P. et al. The annual cycle of satellite-derived sea surface temperature in the southwestern Atlantic Ocean. **Journal of Climate**, v. 4, n. 4, p. 457-467, 1991.
- QUADRO, M.F.L. et al. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 152-162, 2012.
- REID J.L. et al. On the Characteristics and Circulation of the Southwestern Atlantic Ocean. **Journal Physical Oceanography**, 7: 62-91, 1977.
- RODGERS, C. D. **Satellite infrared radiometer: a discussion of inversion methods**. Oxford: University of Oxford, Clarendon Laboratory, n.66.13, 1966.
- ROUAULT, M. et al. Ocean-atmosphere interaction in the Agulhas Current region and a South African extreme weather event. **Weather and Forecasting**, v. 17, n. 4, p. 655-669, 2002.
- SAHA, S. et al. The NCEP climate forecast system reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 91, n. 8, p. 1015-1057, 2010.
- SAHA, S. et al. The NCEP climate forecast system version 2. **Journal of Climate**, v. 27, n. 6, p. 2185-2208, 2014.
- SALISBURY, J. W.; D'ARIA, D. M. Emissivity of terrestrial materials in the 8–14 μm atmospheric window. **Remote sensing of Environment**, v. 42, n. 2, p. 83-106, 1992.
- SALISBURY, J. W.; D'ARIA, D. M. Emissivity of terrestrial materials in the 3–5 μm atmospheric window. **Remote Sensing of Environment**, v. 47, n. 3, p. 345-361, 1994.
- SANTORELLI, A., et al. Differences Between Two Estimates of Air Sea Turbulent Heat Fluxes over the Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research** 116, 2011.
- SARACENO, M.; PROVOST, C.; PIOLA, A. R. On the relationship between satellite-retrieved surface temperature fronts and chlorophyll a in the western South Atlantic. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 110, n. C11, 2005.
- SHERWOOD, S. C.; ET AL. Relative humidity changes in a warmer climate. **Journal of Geophysics Research**, v. 115, pp. 1-11, 2010a.
- SHIE, C. -L.; TAO, W. -K.; SIMPSON, J. A note on the relationship between temperature and water vapor over oceans, including sea surface temperature effects. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 23, n. 1, p. 141-148, 2006.
- SHIMADA, T.; MINOBE, S. Global analysis of the pressure adjustment mechanism over sea surface temperature fronts using AIRS/Aqua data. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 6, 2011.
- SMITH, W. L. An improved method for calculating tropospheric temperature and moisture from satellite radiometer measurements. **Monthly Weather Review**, v.96, n. 6, p. 387-396, 1968.
- SMITH, W. L.; WOOLF, H. M. The Use of Eigenvectors of Statistical Covariances Matrices for Interpreting Satellite Sounding Radiometer Observations. **Journal of Atmospheric Science**, v.33, n.5, p. 1127-1140, 1976.
- SMITH, W. L.; WOOLF, H. M.; JACOB, W. J. A regression method for obtaining realtime temperature and geopotential height profiles from satellite spectrometer measurements and its application to Nimbus 3 SIRS observations. **Monthly Weather Review**, v.98, n.2, p. 582-603, 1970.

SOLOT, S.B. Computation of depth of precipitable water in a column of air. **Monthly Weather Review**, v. 67, n. 4, pp. 100-103, 1939.

SOUZA, R. A. F.; Análise de desempenho de diferentes sistemas de sondagem sobre Rondônia durante o experimento RACCI/LBA. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.21. n.3a. 129-141. 2006.

SOUZA, R. A. F.; **Análise de sondagens Aqua sobre o Brasil e simulação da temperatura de brilho dos canais HSB a partir de informações do sensor AIRS**. 2004. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, SP, 2004.

SOUZA, R. B.; LORENZZETTI, J. A.; LUCCA, E. V. D. **Estimativas da temperatura da superfície do mar através do sensoriamento remoto no infravermelho**. In: SOUZA, R. B. (Org.). *Oceanografia por Satélites*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

STEPHENS, G. L. On the relationship between water vapor over the oceans and sea surface-temperature. **Journal of Climate**, v. 3, n. 6, p. 634-645, 1990.

STULL, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Dordrecht. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 666 p. 1988.

SULLIVAN, P. P. et al. Structure of the entrainment zone capping the convective atmospheric boundary layer. **Journal of the atmospheric sciences**, v. 55, n. 19, p. 3042-3064, 1998.

SUSSKIND, J. et al. Early results from AIRS/AMSU/HSB. In: **Conference on Remote Sensing and Space Technology**. San Diego, California. p. 245. 2003.

SUSSKIND, Joel; BARNET, Christopher D.; BLAISDELL, John M. Retrieval of atmospheric and surface parameters from AIRS/AMSU/HSB data in the presence of clouds. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 2, p. 390-409, 2003.

THE CLIMATE FORECAST SYSTEM REANALYSIS. **CFSR**. Disponível em: <http://cfs.ncep.noaa.gov/cfsr/docs/>. Acesso em 23 fev 2017.

TIAN, B. et al. AIRS/AMSU/HSB version 6 level 3 product user guide. **Jet Propulsion Laboratory**, California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA, 2013.

TIAN, B. et al. Evaluating CMIP5 models using AIRS tropospheric air temperature and specific humidity climatology. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 1, p. 114-134, 2013.

WALLACE, J. M., T. P. MITCHELL, AND C. J. DESER. The influence of seasurface temperature on surface wind in the eastern equatorial Pacific: Weekly to monthly variability, **Journal of Climate**, 2, 1492 – 1499. 1989.

WALLACE, John M.; HOBBS, Peter V. **Atmospheric science: an introductory survey**. Academic press, 2006.

WARK, DQ; HILLEARY, D. T. Atmospheric temperature: Successful test of remote probing. *Science*, v. 165, n. 3899, p. 1256-1258, 1969. WARK, D.Q. Fleming. H.E. Indirect measurements of atmospheric temperature profiles from satellites: Introduction. **Monthly Weather Review**, v.94, n.1, p.351-362, 1966.

WELLS, N. **The atmosphere and the Ocean: a physical introduction**. 2nd edition. Wiley, New York. 1997. 394p.

WILKS, Daniel S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. Academic press, 2011.

XIE, S-P. Satellite observations of cool ocean-atmosphere interaction. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 85, n. 2, p. 195-208, 2004.

YAMASAKI, Y; **Sistemática das estimativas de água precipitável e modelos de mesoescala**. 2006. Tese de doutorado. (Doutorado em Física) - Universidade de Aveiro; 229p. Portugal, 2006.

YUE, Q., et al. Relationship between marine boundary layer clouds and lower tropospheric stability observed by AIRS, CloudSat, and CALIOP. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 116, n. D18, 2011.