



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**ANÁLISE DOS PROCESSOS DE FORMAÇÃO DE
NEVOEIRO NOS AEROPORTOS DE MANAUS-AM**

LOURDES GABRIELA VIEIRA BATISTA

MACEIÓ-AL
2022

LOURDES GABRIELA VIEIRA BATISTA

ANÁLISE DOS PROCESSOS DE FORMAÇÃO DE NEVOEIRO NOS AEROPORTOS DE MANAUS-AM

Dissertação submetida ao colegiado do
Curso de Pós-Graduação em Meteorolo-
gia da Universidade Federal de Alagoas –
UFAL para obtenção do título de Mestre
em Meteorologia – área de concentração
em Processos de Superfície Terrestre.

Orientador:

Prof^ª. Dr^ª. Natalia Fedorova

Co-orientador:

Prof. Dr. Vladimir Levit

MACEIÓ-AL

2022

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

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

- B333a Batista, Lourdes Gabriela Vieira.
 Análise dos processos de formação de nevoeiro nos aeroportos de Manaus-AM / Lourdes Gabriela Vieira Batista. – 2022.
 140 f. : il.
- Orientadora: Natalia Fedorova.
 Co-orientador: Vladimir Levit.
 Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2022.
- Bibliografia: f. 79-82.
 Apêndices: f. 83-92.
 Anexos: f. 93-140.
1. Nevoeiro. 2. Aeroportos - Manaus (AL). 3. *Parametrized FOG*. I. Título.

CDU: 551.575



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-195.

*“Análise do Processo de Formação dos Nevoeiros nos Aeroportos de
Manaus- AM.”*

LOURDES GABRIELA VIEIRA BATISTA

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dra. Natalia Fedorova
(Orientador)

Prof. Dr. Vladimir Levit
(Coorientador)

Prof. Dra. Maria Luciene Dias de Melo
(Membro Interno)

Prof. Dra. Rosa Maria Nascimento dos Santos
(Membro Externo)

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha mãezinha Carmelita (in memorian) por todas as vezes que ela me amparou, me apoiou, me amou e acreditou em mim. A senhora sempre estará viva em meu coração, mãezinha.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças durante todo este processo, à minha família pelo apoio e a todos os amigos que estiveram junto comigo nesta fase tão importante.

Agradeço meus orientadores, Natália Fedorova e Vladimir Levit, por fornecer todo o apoio que eu precisava para a realização deste trabalho, por acreditarem em mim e por toda paciência. Agradeço também à UFAL pelo apoio institucional e ao Andreas Bott por disponibilizar o modelo PAFOG.

Em especial, agradeço à minha amiga-irmã Raquel, que é minha fortaleza, que acreditou em mim quando eu não mais acreditava. Agradeço às minhas amigas Ranyelli, Letícia e Juliana, que mesmo longe fisicamente, sempre estiveram presentes.

Resumo

Analisar os processos de formação de nevoeiros em Manaus-AM e criar um método operacional de previsão, foram os principais objetivos deste trabalho. A escassez de trabalhos sobre nevoeiro na região norte do Brasil motivou o entendimento a fim do seu processo de formação. Dos 10 anos de dados, foram identificados 741 casos no aeroporto Eduardo Gomes e 8 no aeroporto Ponta Pelada. As análises foram realizadas para uma amostra dos eventos mais intensos para cada aeroporto, durante a estação seca e estação chuvosa. As análises foram compostas por: (1) Análise das variáveis de superfície (temperatura do ar à 2m (T), temperatura do ponto de orvalho (Td), umidade relativa (UR), direção e velocidade do vento e precipitação); (2) Análise termodinâmica (perfis verticais de temperatura e umidade construídos por dados de reanálise) e (3) Análise Sinótica (Campos de linhas de corrente, divergência e ômega construídos por dados de reanálise). O modelo PAFOG também foi utilizado a fim de analisar a previsibilidade e o desempenho do modelo para a região norte do Brasil. No aeroporto Eduardo Gomes, os dados observados na análise de superfície não apresentaram diferenças significativas entre as estações seca e chuvosa. Em ambas estações a temperatura média foi de 23°C; T-TD entre 0 e 2°C; direção do vento entre 220 e 50° e velocidade do vento entre 00 e 03KT. Houve precipitação antecedendo os eventos na maioria dos casos. Em Ponta Pelada, as variáveis de superfície, individualmente, mostraram um cenário menos propício às formações de nevoeiro. No entanto, as condições médias mostraram alta umidade relativa (entre 94 e 100%) e T-TD entre 1 e 2°C. A direção do vento foi a variável que mais destoou entre os aeroportos. Os perfis termodinâmicos mostraram que os nevoeiros em Manaus se formaram sob condições de: atmosfera condicionalmente instável; fraca ou nenhuma inversão e camada úmida até 900 hPa. Os sistemas sinóticos atuantes que influenciaram as formações de nevoeiro durante a estação chuvosa foram VCAN, Alta da Bolívia e cavado na região nordeste. Durante a estação seca, houve influência de anticiclones e cristas no Norte, Nordeste, Centro Oeste e do hemisfério norte. A previsibilidade do modelo PAFOG foi considerada satisfatória para todos os casos analisados e a previsão foi classificada como boa/excelente. Os resultados permitiram a construção de um método de previsão operacional baseado nas condições favoráveis para a formação de nevoeiro em Manaus nos aspectos observacionais, sinóticos e termodinâmicos.

Palavras-Chave: Nevoeiro, Aeroportos de Manaus, PAFOG, Método de Operacional de Previsão.

Abstract

Analyzing the fog formation processes in Manaus-AM and creating an operational forecasting method were the main objectives of this work. The scarcity of works on fog in the northern region of Brazil motivated the understanding in order to its formation process. Of the 10 years of data, 741 cases were identified at Eduardo Gomes airport and 8 at Ponta Pelada airport. Analyzes were performed for a sample of the most intense events for each airport, during the dry season and rainy season. The analyzes were composed by: (1) Analysis of surface variables (air temperature at 2m (T), dew point temperature (Td), relative humidity (RH), wind direction and speed and precipitation); (2) Thermodynamic analysis (vertical temperature and humidity profiles constructed by reanalysis data) and (3) Synoptic Analysis (Streamline, divergence and omega fields constructed by reanalysis data). The PAFOG model was also used in order to analyze the predictability and performance of the model for the northern region of Brazil. At Eduardo Gomes airport, the data observed in the surface analysis did not show significant differences between the dry and rainy seasons. In both seasons the average temperature was 23°C; T-TD between 0 and 2°C; wind direction between 220 and 50° and wind speed between 00 and 03KT. There was precipitation preceding the events in most cases. In Ponta Pelada, the surface variables, individually, compose a scenario less favorable to fog formations. However, the average conditions showed high relative humidity (between 94% and 100%) and T-TD between 1 and 2°C. Wind direction was the variable that most diverged between airports. The predominant wind direction in Eduardo Gomes was north-northwest, while in Ponta Pelada, it was not possible to determine the predominance due to the observed variations. The thermodynamic profiles showed that fogs in Manaus were formed under conditions of: conditionally unstable atmosphere; weak or no inversion and wet layer up to 900 hPa. The active synoptic systems that influenced fog formations during the rainy season were VCAN, Alta da Bolivia and trough in the northeast region. During the dry season, there was influence of anticyclones and ridges in the North, Northeast, Midwest and Northern Hemisphere. The predictability of the PAFOG model was considered satisfactory for all cases analyzed and the forecast was classified as good/excellent. The results allowed the construction of an operational forecasting method based on favorable conditions for fog formation in Manaus in observational, synoptic and thermodynamic aspects.

Keywords: Fog, Manaus Airports, PAFOG, Forecast Operational Method.

Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introdução | 14 |
| 2 | Fundamentação Teórica | 16 |
| 2.1 | Nevoeiro | 16 |
| 2.1.1 | Processo de formação de nevoeiros | 16 |
| 2.1.2 | Classificação dos nevoeiros | 16 |
| 2.2 | Estudos sobre Nevoeiro no Brasil | 19 |
| 3 | Metodologia | 23 |
| 3.1 | Delineamento Metodológico | 23 |
| 3.2 | Local de Estudo | 23 |
| 3.3 | Dados | 24 |
| 3.4 | Métodos de Análise | 26 |
| 3.4.1 | Etapa 1 - Organização dos dados e Análise de Superfície | 26 |
| 3.4.2 | Etapa 2 - Análise Termodinâmica | 28 |
| 3.4.3 | Etapa 3 - Análise Sinótica | 31 |
| 3.4.4 | Etapa 4 - Análise do Modelo PAFOG | 31 |
| 3.5 | Elaboração do Método Operacional de Previsão | 35 |
| 4 | Resultados | 36 |
| 4.1 | Análise de Superfície | 40 |
| 4.1.1 | Aeroporto Eduardo Gomes | 40 |
| 4.1.2 | Aeroporto Ponta Pelada | 42 |
| 4.2 | Análise Termodinâmica | 44 |
| 4.3 | Análise Sinótica | 48 |
| 4.3.1 | Estação Chuvosa | 48 |
| 4.3.2 | Estação Seca | 55 |
| 4.4 | Análise do Modelo PAFOG | 62 |
| 4.4.1 | Análise do desempenho PAFOG quanto a previsibilidade | 62 |
| 4.4.2 | Análise do desempenho do PAFOG quanto a qualidade das previsões | 67 |
| 4.5 | Método Operacional de previsão de Nevoeiro | 74 |
| 5 | Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros | 77 |
| 5.1 | Conclusões | 77 |
| 5.2 | Sugestões para Trabalhos Futuros | 80 |
| 6 | Referências | 81 |

Lista de Figuras

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Fatores Meteorológicos ligados à acidentes aeronáuticos | 19 |
| 2 | Perfis verticais dos Tipos I (subtipos Ia e Ib) (A) e II(subtipos IIa, IIb e IIc) (B) para temperatura (linha contínua) e ponto de orvalho (T d) (linha pontilhada) para dias de névoa na costa sul do Brasil. A escala distância do eixo T corresponde a 3°C. Os números circulados são valores de (T [Pleaseinsertintopreamble]T d). Os números ao quadrado são as diferenças de temperatura entre a superfície. e níveis mais altos de inversão. | 21 |
| 3 | Mapa da área urbana de Manaus-AM, (a) Localização geral dos Aeroportos; (a) Aeroporto Internacional Eduardo Gomes (b) Aeroporto Ponta Pelada (c). | 23 |
| 4 | Mapa de vegetação da área urbana de Manaus-AM (a). Vegetação predominante no aeroporto Eduardo Gomes (a) e no aeroporto Ponta Pelada (b). | 24 |
| 5 | Fluxograma da metodologia adotada. | 26 |
| 6 | Delineamento da Etapa 1. | 27 |
| 7 | Variáveis analisadas na Etapa 1. | 28 |
| 8 | Delineamento da Etapa 2. | 29 |
| 9 | Delineamento da Etapa 3. | 31 |
| 10 | Delineamento da Etapa 4. | 34 |
| 11 | Horários frequente de ocorrência de nevoeiro durante as estações seca e chuvosa | 39 |
| 12 | Duração dos eventos de nevoeiro em Eduardo Gomes durante as estações seca e chuvosa. Linha tracejada vermelha representa a duração média dos casos | 39 |
| 13 | Dados de umidade relativa, temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho para os casos da estação seca- Aeroporto Eduardo Gomes | 41 |
| 14 | Dados de umidade relativa, temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho para os casos da estação seca- Aeroporto Eduardo Gomes | 42 |
| 15 | Comparativo da velocidade e direção predominante do vento observadas nos casos de nevoeiro em Eduardo Gomes e Ponta Pelada | 44 |
| 16 | Exemplos de perfis verticais de temperatura e umidade recorrentes durante a estação seca. | 45 |
| 17 | Exemplos de perfis verticais de temperatura e umidade recorrentes durante a estação chuvosa. | 46 |

| | | |
|----|--|----|
| 18 | Campos de linhas de corrente e divergência com os principais sistemas sinóticos atuantes da estação chuvosa em 200 hPa. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; AB: Alta da Bolívia; VCAN: Vórtice Ciclônico de Altos Níveis; CN: Cavado do Nordeste; VC:Vórtice Ciclônico. | 49 |
| 19 | Campos de linhas de corrente e divergência com os principais sistemas sinóticos atuantes da estação chuvosa em 500 hPa. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; AC: Anticiclone (a,b); Setas em preto: escoamento de Norte (d). | 50 |
| 20 | Campos de linhas de corrente e divergência com os principais sistemas sinóticos atuantes da estação chuvosa em 500 hPa. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; AC: Anticiclone (a,b); Setas em preto: escoamento de Norte (d). | 51 |
| 21 | Campos de linhas de corrente e divergência com os principais sistemas sinóticos atuantes da estação chuvosa em 500 hPa. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; AC: Anticiclone (a,b); Setas em preto: escoamento de Norte (d). | 52 |
| 22 | Campos de linhas de corrente e ômega em 200 hPa (a) e 1000 hPa (b). Círculo vermelho: região de Manaus-AM. | 53 |
| 23 | Campos divergência e linhas de corrente para o caso de nevoeiro do dia 19/12/2011. Círculo preto – Manaus-AM; Círculo tracejado vermelho – Alta da Bolívia; Tracejado Preto - Cavado | 54 |
| 24 | Campos de linhas de corrente e ômega em 200hPa (a) e 1000hPa (b). Círculo vermelho: região de Manaus-AM. | 55 |
| 25 | Campos de linhas de corrente e divergência com os principais sistemas sinóticos atuantes da estação seca em 200 hPa. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; AB: Alta da Bolívia; Cav: Cavado; VC HN: Vórtice Ciclônico no Hemisfério Norte. | 56 |
| 26 | Campos de linhas de corrente e divergência com os principais sistemas sinóticos atuantes da estação seca em 500 hPa. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; AC:Anticiclone; CRIS: Crista. | 57 |
| 27 | Campos de linhas de corrente, divergência e ômega. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; CRIS: Crista. | 58 |
| 28 | Campos de divergência e linhas de corrente para o caso de nevoeiro do dia 12/08/2012 (Estação Seca). Círculo vermelho: Manaus-AM; VC HN: Vórtice Ciclônico no HN; AC: Anticiclone. | 59 |
| 29 | Campos de linhas de corrente e ômega para o caso de nevoeiro do dia 12/08/2012 (Estação Seca). Círculo preto: Manaus-AM. | 60 |

| | | |
|----|---|----|
| 30 | Desempenho do PAFOG para a rodada de 24h. Nil: ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim | 67 |
| 31 | Desempenho do PAFOG para a rodada de 18h. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim | 68 |
| 32 | Desempenho do PAFOG para a rodada de 12h. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim | 68 |
| 33 | Desempenho do PAFOG para a rodada de 06h. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim | 69 |
| 34 | Desempenho do PAFOG para a rodada de 24h - estação chuvosa. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim | 70 |
| 35 | Desempenho do PAFOG para a rodada de 18h - estação chuvosa. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim | 71 |
| 36 | Desempenho do PAFOG para a rodada de 12h - estação chuvosa. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim | 72 |
| 37 | Desempenho do PAFOG para a rodada de 06h - estação chuvosa. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim | 72 |
| 38 | Método Operacional de previsão de Nevoeiro - Manaus/Estação Seca. T – Temperatura do ar; TD – Temperatura do ponto de orvalho; UR-umidade relativa; VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis; AC- Anticiclone; N-Norte; NE- Nordeste; CO- Centro Oeste; CAPE- Energia Potencial de Convectiva Disponível; LI- Índice de Levantamento. | 75 |
| 39 | Método Operacional de previsão de Nevoeiro- Manaus/Estação Chuvosa. T – Temperatura do ar; TD – Temperatura do ponto de orvalho; UR-umidade relativa; VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis; AB- Alta da Bolívia; AC- Anticiclone; N- Norte; NE- Nordeste; CO- Centro Oeste; CAPE- Energia Potencial de Convectiva Disponível; LI- Índice de Levantamento. | 76 |

Lista de Tabelas

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Tipos de nevoeiro | 17 |
| 2 | Critérios de classificação do estado atmosférico | 30 |
| 3 | Critérios de potencial de convecção a partir dos valores de CAPE | 30 |
| 4 | Critérios de instabilidade a partir dos valores de LI | 30 |
| 5 | Altura das camadas superior, média e inferior de nuvem | 34 |
| 6 | Relação dos casos de nevoeiro selecionados para aeroporto Eduardo Gomes - Estação Seca | 37 |
| 7 | Relação dos casos de nevoeiro selecionados para o aeroporto Eduardo Go- mes - Estação Chuvosa | 38 |
| 8 | Relação dos casos de nevoeiro selecionados para o aeroporto Ponta Pelada | 40 |
| 9 | Valores máximos, médios e mínimos das variáveis de Superfície - Estação Seca. Temperatura, Temperatura e depressão do ponto de orvalho (°C); Umidade relativa (%); Precipitação (mm/h). | 41 |
| 10 | Valores máximos, médios e mínimos das variáveis de Superfície - Estação Chuvosa. Temperatura do ar, Temperatura e depressão do ponto de orvalho (°C); Umidade relativa (%); Precipitação (mm/h). | 42 |
| 11 | Variáveis observadas - Aeroporto Ponta Pelada. Temperatura do ar; Tem- peratura do ponto de orvalho (°C); Umidade relativa (%) e Precipitação (mm/h). | 43 |
| 12 | Valores máximos, médios e mínimos das variáveis de Superfície - Ponta Pelada Temperatura, Temperatura e depressão do ponto de orvalho (°C); Umidade relativa (%); Precipitação (mm/h). | 43 |
| 13 | Valores máximos, médios e mínimos de CAPE e LI (estação seca - 12UTC | 46 |
| 14 | Valores máximos, médios e mínimos de CAPE e LI (estação chuvosa - 12UTC). | 47 |
| 15 | Dados de visibilidade observada e visibilidade prevista pelo modelo PA- FOG, para as rodadas de 24, 18, 12 e 06 horas de antecedência (Estação Seca). Os tracinhos (-), representam as rodadas em que o nevoeiro não foi previsto. | 64 |
| 16 | Dados de visibilidade observada e visibilidade prevista pelo modelo PA- FOG, para as rodadas de 24, 18, 12 e 06 horas de antecedência (Estação Chuvosa). Os tracinhos (-), representam as rodadas em que o nevoeiro não foi previsto. | 66 |

1 Introdução

Nevoeiro é um dos fenômenos que mais restringem a visibilidade horizontal. Quando não previsto, a restrição de visibilidade provocada pelo fenômeno pode impactar seriamente a economia e a segurança nos transportes rodoviário, marítimo e aéreo. O setor operacional é o mais afetado pela baixa visibilidade relacionada às ocorrências de nevoeiro.

O processo de formação de nevoeiro depende de diversos fatores como a topografia, tipo de vegetação local, sistemas sinóticos atuantes, sazonalidade, condições de superfície e altitude. Estes fatores variam de região para região, trazendo complexidade ao processo. A compreensão destes fatores é extremamente importante na identificação dos processos de formação do fenômeno e na melhoria da previsibilidade. No Brasil, há alguns estudos sobre a formação de nevoeiros e baixa visibilidade na região dos trópicos (Fedorova *et. al.* (2008), Rodrigues *et. al.* (2010), Gomes *et. al.* (2011), Fedorova *et. al.* (2012), Fedorova *et. al.* (2015), Fedorova e Levit (2016)), no entanto, a maior parte desses estudos estão concentrados nos subtropicais (regiões Sul e Sudeste do Brasil - (Ferreira (1998), Piva e Fedorova (1999), Piva e Anabor (2008), Almeida(2009), de Paula (2015), Afonso, *et. al.* (2019), Silva (2012)).

A lacuna de estudos sobre nevoeiros na região tropical, mais especificamente na região norte do Brasil, não significa que a região não está suscetível às formações de nevoeiro. De acordo com os registros das estações meteorológicas de superfície disponível na Rede de Meteorologia do comando da Aeronáutica (REDEMET), Manaus-AM, por exemplo, registrou mais de 700 casos de nevoeiro nos últimos 10 anos.

Não é esperado que uma região de altas médias anuais de temperatura apresente um número tão elevado de casos. Essas ocorrências surpreendem tanto os aeronavegantes, quanto os previsores, que não conseguem prognosticar a baixa visibilidade e tomar as decisões cabíveis a fim de minimizar os danos.

O elevado número de ocorrências de nevoeiro em Manaus-AM e as deficiências na previsão do fenômeno nesta região foram as principais fatores que motivaram a realização deste estudo. Regiões de diferentes características locais, climáticas e seus sistemas sinóticos atuantes, sugerem diferentes processos de formação de nevoeiros e diferentes métodos de previsão (FEDOROVA, 2015).

Tendo em vista a extrema necessidade de estudos mais aprofundados a fim dos processos de formação de nevoeiro e a necessidade de métodos de previsão na região norte do Brasil, o estudo realizado tem como objetivo:

- Identificar os sistemas sinóticos responsáveis pela formação de nevoeiro em Manaus-AM;
- Avaliar os processos de superfície e termodinâmicos que favoreceram a ocorrência de nevoeiro;
- Avaliar o desempenho do modelo unidimensional de previsão de nevoeiro PAFOG, nunca utilizado na região Norte do Brasil;
- Elaborar um método de previsão operacional.

Este estudo pode contribuir para a expansão de outros estudos sobre nevoeiro e com a melhoria da previsibilidade do fenômeno no Norte do Brasil.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Nevoeiro

Nevoeiro é um fenômeno que se forma pela saturação e supersaturação do vapor d'água em superfície. A Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 2008), define o nevoeiro como um aglomerado de minúsculas gotículas de água, em suspensão na camada atmosférica contígua à superfície terrestre, de forma a restringir a visibilidade horizontal a menos de 1000 metros. A intensidade do nevoeiro está relacionada com as restrições de visibilidade causadas pelo fenômeno. De acordo com Peterssen (1940), os nevoeiros são considerados densos quando a restrição for abaixo de 50 m; forte, quando a visibilidade for entre 50 m e 200 m; moderado, para valores de visibilidade entre 200 m e 700 m, e fraco se a visibilidade restringir 700 m até 1000 m inclusive.

2.1.1 Processo de formação de nevoeiros

A condição inicial para que os nevoeiros se formem é a saturação do vapor d'água em superfície. O processo de formação dos nevoeiros se assemelha ao processo de formação de nuvens, já que o nevoeiro é como uma nuvem estratiforme em superfície (ROGERS, 1989). Nuvens estratiformes são características da baixa atmosfera, quando uma inversão térmica bem desenvolvida existe ou quando há uma camada de isoterma (MATVEEV, 1984). Se o ar abaixo for suficientemente úmido, uma camada estratiforme poderá se formar, com o topo à altura da base da inversão. Para que a formação seja caracterizada como nevoeiro, a base da inversão deve estar próxima à superfície.

Grande parte dos nevoeiros são produzidos pelo resfriamento do ar em contato com a superfície da Terra. O desafio em estudá-los, consiste em estabelecer as circunstâncias nas quais o resfriamento das massas de ar em superfície pode ocorrer. Os diferentes processos de formação determinam os tipos de nevoeiro e suas classificações.

2.1.2 Classificação dos nevoeiros

Os nevoeiros são classificados de acordo com as condições meteorológicas, com a região geográfica da formação (continente ou oceano) e com os processos que influenciam a sua formação ou deslocamento (WILLET, 1928).

Willett (1928), realizou um estudo que detalhou a importância do núcleo de condensação para formação do nevoeiro e as diferentes características de partículas na formação das gotículas. Neste estudo, Willett (1928) propôs a primeira classificação de nevoeiros baseado nas causas e nas condições sinóticas favoráveis. Além de classificar, ele subclassificou os eventos considerando todas as variáveis meteorológicas envolvidas nos processos

de formação. A Tabela 1 mostra a classificação dos principais tipos de nevoeiro, segundo Willet (1928).

Tabela 1: Tipos de nevoeiro

| Nevoeiros de massa de ar | Nevoeiros frontais |
|---------------------------------|---------------------------|
| Tipo Advecção | Pré-Frontal |
| Tipo Radiação | Pós-Frontal |
| Tipo Orográfico | De Passagem Frontal |

Fonte: Willett, 1929.

Nevoeiros de Massas de Ar

Nevoeiros de massa de ar ocorrem quando há resfriamento de uma massa de ar próxima à superfície, de modo que sua temperatura se aproxime da temperatura do ponto de orvalho. Podem ser classificados como de advecção, de radiação e orográfico.

- **Nevoeiros de Advecção**

Nevoeiros de advecção se formam pelo transporte horizontal de uma massa de ar quente para uma superfície fria, ou de uma massa de ar fria para uma superfície mais aquecida (Wallace e Hobbs (2006)). Este tipo de formação ocorre durante o ano todo e são típicos de regiões costeiras. Quando uma massa de ar quente se desloca para uma superfície fria, ela se resfria ao ponto de saturação do vapor d'água e o nevoeiro se forma. Se o deslocamento for da massa de ar fria, a água da massa de ar fria em contato com uma região mais quente evapora e o nevoeiro se forma pelo aumento da umidade e pelo resfriamento evaporativo.

- **Nevoeiros de Radiação**

Nevoeiros de radiação se formam devido ao processo de resfriamento radiativo próximo à superfície. Segundo Willet (1928), as condições necessárias para a formação de nevoeiros de radiação são encontradas em massas continentais em transição, ou seja, anticiclones termicamente estáveis. Em 1940, Peterssem propôs que a atmosfera favorável para a formação do nevoeiro de radiação deveria apresentar alta umidade relativa, pouca ou nenhuma nuvem e vento fraco.

O resfriamento radiativo ocasionado pela perda de radiação de onda longa em noites de céu claro, provoca a diminuição da temperatura e o aumento da umidade relativa, favorecendo a formação do nevoeiro. O vento fraco confina este resfriamento radiativo nas camadas mais baixas da superfície, influenciando a manutenção e formação do fenômeno.

- **Nevoeiro Orográfico**

O nevoeiro orográfico é formado quando ar úmido ascende um terreno inclinado, como encostas de colinas ou montanhas. O movimento ascendente provoca expansão do ar e resfriamento adiabático (BYERS, 1959). É um dos poucos tipos de nevoeiro que se mantém em condições de vento relativamente forte (JIUSTO, 1981). A razão para isso é que quanto maior a velocidade do vento, mais rápido o ar irá se mover para altitudes maiores e mais rápido será o resfriamento.

- **Nevoeiro Frontal**

Em geral, a formação do nevoeiro frontal ocorre pela adição de umidade por precipitação. O nevoeiro frontal está associado à passagem de frentes ou regiões com grande atividade ciclônica (WILLETT, 1928).

- **Nevoeiro Pré-frontal (Frente Quente)**

Neste tipo de formação, a frente quente contribui para a evaporação da precipitação dentro do ar frio e estável causando a saturação e formação do nevoeiro. Segundo Jiusto (1981), a alta estabilidade das massas de ar continental polar, associada a frentes quentes e precipitantes, formam nevoeiro ou nuvens estratiformes bem baixas. Já a massa de ar marítima polar não é estável o bastante para permitir a formação de nevoeiro.

- **Nevoeiros Pós-frontais**

O nevoeiro pós-frontal está associado às frentes frias e se formam pela umidade da precipitação frontal, assim como ocorre no nevoeiro pré-frontal. A diferença entre as formações é que a banda associada a precipitação na frente fria é mais restrita do que na frente quente e, dessa forma, os nevoeiros pós-frontais são menos espalhados.

2.2 Estudos sobre Nevoeiro no Brasil

Embora as restrições de visibilidade provocadas pelos nevoeiros tenham grande impacto em atividades marítimas e terrestres, as operações aéreas são as mais afetadas pelo fenômeno. Segundo um estudo desenvolvido pela *Federal Aviation Administration – FAA*, no período de 2003 a 2007, aproximadamente 21% do total de acidentes aeronáuticos tiveram fatores meteorológicos dentre os possíveis contribuintes. O principal contribuinte foi o vento (50%), seguido da visibilidade/ altura vertical da base da nuvem em relação ao solo - teto (20%). A visibilidade e o teto são as principais variáveis afetadas pelas formações de nevoeiro (Figura 1).

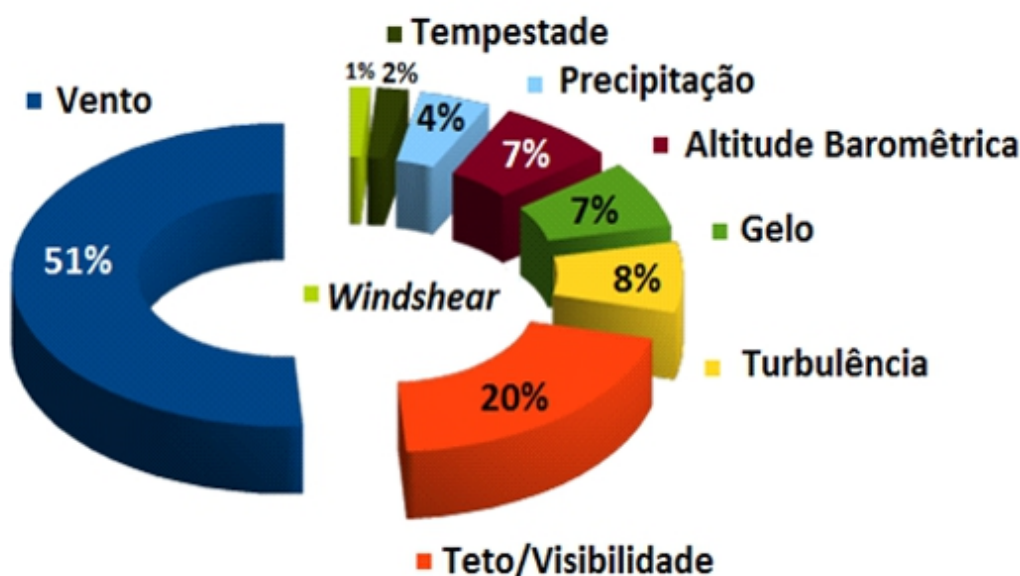


Figura 1: Fatores Meteorológicos ligados a acidentes aeronáuticos
Fonte: *Federal Aviation Administration – FAA*.

Deste modo, no Brasil, os principais estudos de nevoeiros se restringem aos terminais de aeroportos de grandes movimentações, sendo o Sul e o Sudeste os setores de maior concentração destes aeroportos (ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil). O estudo de Silva *et.al.*(2018), mapeou todas as regiões do Brasil em que foram realizados pelo menos um estudo sobre nevoeiro e foi constatado que grande parte dos estudos foram centralizados nas regiões Sul e sudeste, latitudes extratropicais. Os estudos sobre o fenômeno abrangiam diversas áreas, como modelagem, sensoriamento remoto, estatística e climatologia.

Regiões Sudeste e Sul

De modo geral, nos estudos realizados na região sudeste, os autores como França, 2008; Pinheiro, 2006; Piva e Anabor, 2008; Almeida, 2009 e Oliveira, 2002, buscaram entender os processos de formação do nevoeiro na região, buscando a melhor forma de prevê-lo.

Nestes trabalhos foram realizados testes em modelos como o BRAMS (Brazilian Regional Atmospheric System) (Piva e Anabor, 2008), além de utilização de redes neurais (Almeida, 2009), sensoriamento remoto (Silva, 2018) e métodos estatísticos (Oliveira, 2008).

Na região Sul, Lima (1982) foi um dos autores pioneiros a estudar nevoeiro na região, desenvolvendo uma metodologia para a previsão de nevoeiro de radiação em Porto Alegre, através de contínuas observações em superfície. Lima (1982) também mostrou, através da distribuição vertical de temperatura, que os nevoeiros de radiação podem se formar se houver camada úmida da superfície até 750 hPa e camada seca logo acima. Do mesmo modo que Lima (1982), Piva e Fedorova (1999), também estudaram nevoeiros de radiação em Porto Alegre, determinando as condições favoráveis para a formação do fenômeno. As condições, normalmente encontradas na atuação de anticiclones, foram as seguintes:

- Acúmulo de umidade em baixos níveis;
- Ventos fracos;
- Inversões Térmicas e
- Ausência de convecção térmica.

No mesmo estudo, Piva e Fedorova (1999) construíram perfis termodinâmicos padrões, baseados nas análises dos perfis verticais no momento da ocorrência dos nevoeiros de radiação. Foram construídos 2 tipos de perfis verticais, separados de acordo com :

- Inversão térmica na camada à superfície;
- camada úmida em baixos níveis;
- camada seca e
- velocidade do vento até 1000 hPa.

Perfis verticais de temperatura e umidade para o estudo de nevoeiros também foram construídos por Fedorova *et. al.* (2008). Neste estudo, foram construídos dois tipos de perfis verticais para as formações de nevoeiro em toda a região Sul. Os tipos de perfis foram : 1) casos com inversão térmica e 2) casos sem inversão térmica. Os casos sem inversão térmica foram subclassificados baseados na altura da camada úmida (Figura 2A), enquanto que os casos com inversão foram subclassificados em 3 subtipos :IIa) Casos com intensa inversão; IIb) Casos com fraca inversão e alta umidade e IIc) Casos de altitude de inversão acima de 900 hPa associados com camadas seca (Figura 2B).

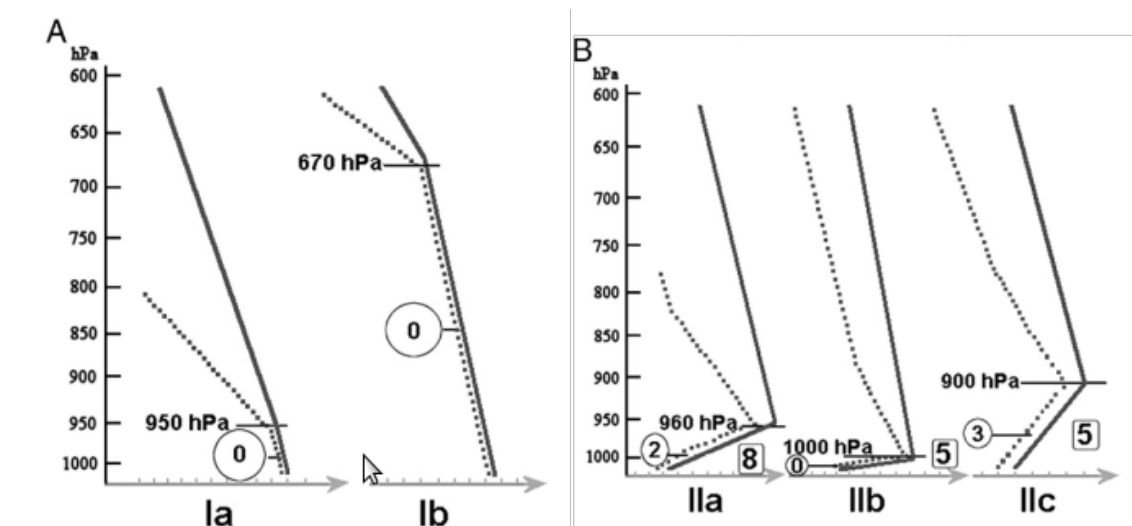


Figura 2: Perfis verticais dos Tipos I (subtipos Ia e Ib) (A) e II(subtipos IIa, IIb e IIc) (B) para temperatura (linha contínua) e ponto de orvalho (T_d) (linha pontilhada) para dias de névoa na costa sul do Brasil. A escala distância do eixo T corresponde a 3°C . Os números circulados são valores de $(T - T_d)$. Os números ao quadrado são as diferenças de temperatura entre a superfície, e níveis mais altos de inversão.

Fonte: Adaptado Fedorova *et al.* (2008).

Regiões Nordeste e Norte

As pesquisas destinadas aos nevoeiros nas regiões norte e nordeste são escassas, em relação as demais regiões. Estas regiões estão localizadas na faixa tropical e possuem altas temperaturas e baixa amplitude térmica anual. As estações do ano são representadas por um período seco e chuvoso. O período seco é caracterizado por temperaturas extremas e estiagem, enquanto que o período chuvoso conta com alta pluviosidade e temperaturas amenas em relação às máximas da região (INMET – Instituto Nacional de Meteorologia). Assim, estudos e trabalhos voltados ao Norte e Nordeste se tornam essenciais para entender o que faz com que estas regiões se tornem ambientes favoráveis às formações de nevoeiro e quais os processos envolvidos na formação do fenômeno. Os estudos encontrados para a região nordeste foram realizados por Silveira (2003), Fedorova *et al.* (2008), Fedorova (2012), Fedorova e Levit (2015) e Fedorova e Levit (2016).

Silveira (2003), foi um dos primeiros autores a estudar as formações de nevoeiro no Nordeste Brasileiro (NEB). O estudo desenvolvido buscou identificar os mecanismos de formação e dissipação do nevoeiro, os parâmetros meteorológicos e os sistemas sinóticos associados às formações no aeroporto de Maceió-AL. De acordo com o estudo, a advecção de umidade local e a calmaria do vento favoreceram a saturação do ar e a formação do nevoeiro. Da Cruz (2012), constatou em seu estudo que os nevoeiros no NEB, dificilmente estão relacionados com sistemas frontais. Segundo Silva (2012), somente os nevoeiros de massa de ar dos tipos radiação e advecção são interessantes para o NEB, principalmente para Alagoas.

Fedorova *et. al.* (2008); Fedorova *et. al.* (2012); Fedorova e Levit (2015) e Fedorova e Levit (2016) estudaram as ocorrências de nevoeiro em Maceió-AL e na costa brasileira, incluindo a costa do nordeste. De modo geral, os estudos mostraram a presença de um cavado nos alísios em baixos níveis (perturbação ondulatório nos alísios - POA), na costa do NEB. Este distúrbio provocou confluência e aumento da umidade em baixos níveis, favorecendo a formação dos nevoeiros. Os resultados mais completos sobre a formação de visibilidade baixa no Nordeste foram apresentados no livro Fedorova e Levit, (2016). Nos estudos para a região nordeste citados acima, também foi testado um método de previsão a partir do modelo unidimensional PAFOG (Parametrized Fog). O método de previsão pelo modelo PAFOG foi desenvolvido por Bott e Trautmann (2002), para nevoeiros de radiação e nuvens estratiformes em baixos níveis na Alemanha. O modelo PAFOG também foi utilizado no Brasil por Da Silva (2018) e Afonso *et. al.* (2019).

Não foram encontrados publicações sobre formação de nevoeiros e baixa visibilidade na região norte do Brasil. O principal aeroporto do norte, é o Aeroporto Internacional Eduardo Gomes, localizado em Manaus-MN. De acordo com a INFRAERO (Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária), Eduardo Gomes encerrou 2019 com movimentação de 3.008.587 passageiros. O número representa um crescimento de 6,4% em comparação com 2018, quando foram contabilizados 2.827.615 embarques e desembarques. A movimentação de aeronaves também cresceu no período, com 40.120 pousos e decolagens e um aumento de 2,3% em relação às 39.199 operações registradas no ano anterior. O segundo aeroporto de Manaus é o Aeroporto Ponta Pelada, muito utilizado antes da construção de Eduardo Gomes em 1976, porém, atualmente, é exclusivo de operações militares. Nos últimos 10 anos, as ocorrências de nevoeiros em Manaus tem causado grande impacto nas operações de pouso e decolagem, principalmente em Eduardo Gomes. De acordo com informações da INFRAERO, houve casos em que, dos 12 voos previstos, 6 tiveram que modificar sua rota e 6 foram cancelados devido às restrições provocadas pela baixa visibilidade. Estas ocorrências causaram prejuízo na segurança, na economia e no gerenciamento das operações aéreas, gerando diversos transtornos. Para que haja mitigação dos danos causados pelos nevoeiros em Manaus, é extremamente necessário o aumento no número de estudos que busquem compreender os processos de formação do nevoeiro na região. O aumento de trabalhos e estudos irá contribuir para a melhoria e o avanço dos modelos previsão de nevoeiro, além de auxiliar nas tomadas de decisão.

3 Metodologia

3.1 Delineamento Metodológico

Para o estudo, foram utilizadas duas fontes de dados: Estações Meteorológicas de Superfície (dados observados), e reanálises. Com os dados, foram realizadas análises de superfície, análises termodinâmicas e análises sinóticas.

O estudo também contou com a análise da previsibilidade e da qualidade das previsões do modelo de previsão de nevoeiro PAFOG. Os dados de superfície e de reanálises também serviram como dados de entrada para a inicialização do modelo.

As análises realizadas vão contribuir para a elaboração de um método de operacional de previsão, baseado nos resultados encontrado dentro de cada etapa.

3.2 Local de Estudo

O estudo foi realizado na região de Manaus-AM, abrangendo os dois aeroportos da capital : Aeroporto Internacional Eduardo Gomes e Aeroporto Ponta Pelada (Figura 3). Eduardo Gomes está situado na Zona Oeste de Manaus, sendo o terceiro maior movimentador de cargas do país, atrás apenas do Aeroporto de Guarulhos (São Paulo - SP) e do Aeroporto de Viracopos (Campinas- SP), (Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC). Ponta Pelada é um aeroporto militar, situado na Zona Sul de Manaus. Atualmente é utilizado para operações das Forças Armadas e da Polícia Federal.



Figura 3: Mapa da área urbana de Manaus-AM, (a) Localização geral dos Aeroportos; (a) Aeroporto Internacional Eduardo Gomes (b) Aeroporto Ponta Pelada (c).

Fonte: Google Earth.

A vegetação característica na área dos aeródromos consiste em florestas de terra firme, não alagáveis, situadas em uma região mais elevada do relevo amazônico. De acordo com o mapa de vegetação (Figura 4), a área vegetada do aeroporto Eduardo Gomes é composta predominantemente por Florestas Ombrófilas Densas de Terras Firmes (Db). AS florestas Ombrófilas são florestas úmidas, com árvores de grande porte, podendo alcançar até 60 metros de altura em dossel uniforme (VELOSO *et. al.*, 1991). Nesse aspecto vegetativo, as folhas das árvores se entrelaçam impedindo a penetração de luz solar, retendo a umidade no seu interior. Ponta Pelada, por sua vez, está situado dentro de uma maior área influenciada pelo urbanismo (Iu). A vegetação de Ponta Pelada está dividida em pastagens (Ap) e vegetação secundária sem palmeira (Vss).

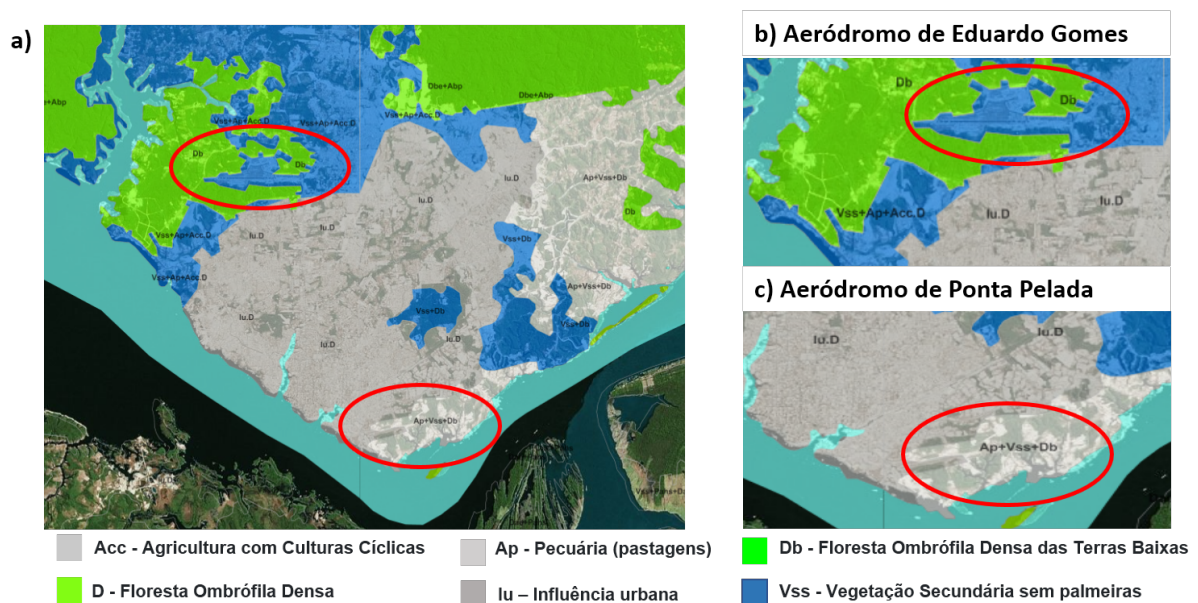


Figura 4: Mapa de vegetação da área urbana de Manaus-AM (a). Vegetação predominante no aeroporto Eduardo Gomes (a) e no aeroporto Ponta Pelada (b).

Fonte: <http://bdiaweb.ibge.gov.br>

3.3 Dados

Dados observados

Os dados observados foram adquiridos de informes meteorológicos, produzidos pelas Estações Meteorológicas de Superfície (EMS's) dos aeroportos Eduardo Gomes e Ponta Pelada, no período de 2009 a 2018, totalizando 10 anos de dados. O período foi escolhido devido a disponibilidade dos dados. A Estação Meteorológica de Superfície de Eduardo Gomes está posicionada geograficamente a 03°02' Sul e 060°03' Oeste, 21 km distante de Ponta Pelada (03°08' Sul, 059°59' Oeste).

Os informes meteorológicos são mensagens confeccionadas em formato de códigos do tipo METAR (Meteorologic Airdrome Reports) e SPECI (Special Meteorologic Airdrome

Reports), destinados a divulgação completa de observações meteorológicas de superfície (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA)). O METAR é transmitido pelas estações em horários regulares, enquanto que o SPECI é confeccionado somente em caso de mudanças significativas nas condições meteorológicas em horários não-regulares. As campos contidos nos códigos são: vento (direção (graus) e velocidade (KT - nós)); visibilidade horizontal (m); tempo presente; nebulosidade (quantidade (oitavos) e altura (ft - pés)); temperatura do ar (°C); temperatura do ponto de orvalho (°C) e pressão (hPa). Os dados observados foram disponibilizados pela REDEMET (Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica), e obtidos através do link <<https://www.redemet.aer.mil.br/?i=facilidades&p=api-redemet.>>

Dados de reanálises

Os dados de reanálises foram disponibilizados pelo ERA -5, o quinto da geração de reanálise atmosférica global do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), com resolução de 0,25 x 0,25, obtidos através do site <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/>>. Foram utilizadas informações de todos os níveis de pressão padrão (1000, 950, 900, 850, 800, 750, 600, 500, 400 e 300 hPa), a fim de se obter a estrutura vertical da atmosfera. As variáveis utilizadas foram as componente zonal (U) e meridional (V) do vento (m/s), temperatura do ar (Kelvin) e umidade relativa (%).

3.4 Métodos de Análise

A metodologia foi dividida em 4 (quatro) etapas, sendo: a) Etapa 1: Organização dos Dados e Análise de Superfície; b) Etapa 2: Análise Termodinâmica; c) Etapa 3: Análise Sinótica e d) Etapa 4: Análise do modelo PAFOG (Figura 5)

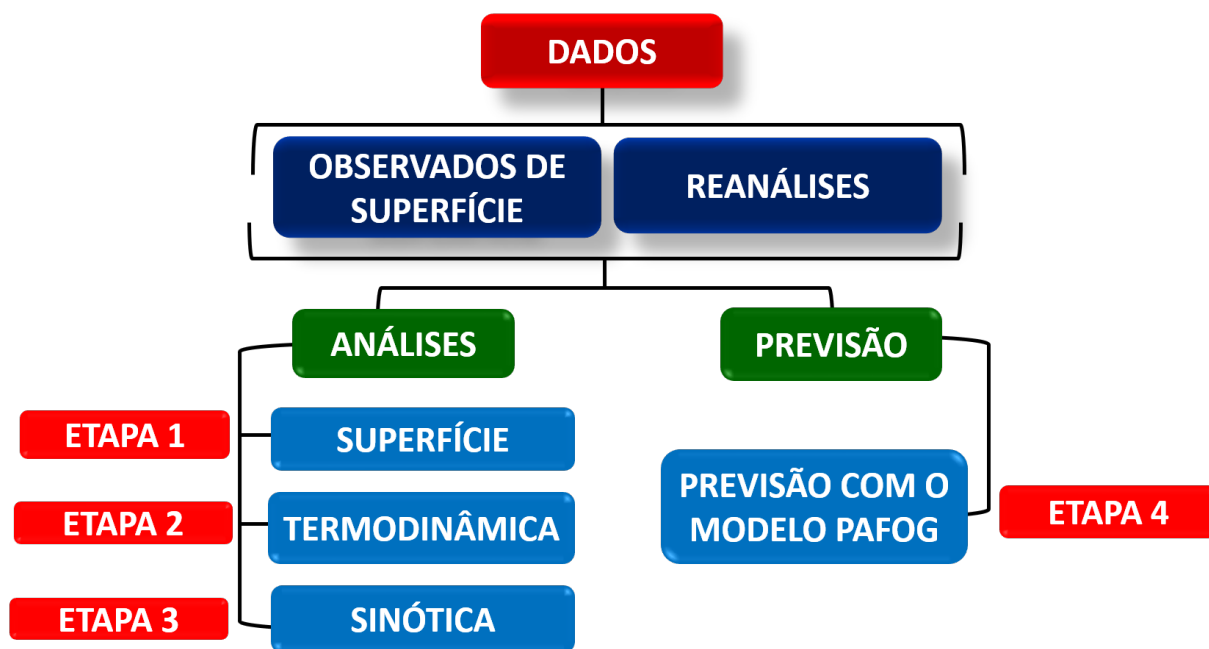


Figura 5: Fluxograma da metodologia adotada.

3.4.1 Etapa 1 - Organização dos dados e Análise de Superfície

Na Etapa 1, os casos de nevoeiro em Eduardo Gomes e Ponta Pelada foram identificados e separados por estação seca e chuvosa, no período entre 2009 e 2018. Após a identificação dos casos, foi selecionada uma amostra dos casos mais intensos ocorridos em cada estação, resultando em 30 casos para a estação seca e 30 casos para a estação chuvosa (Figura 6).

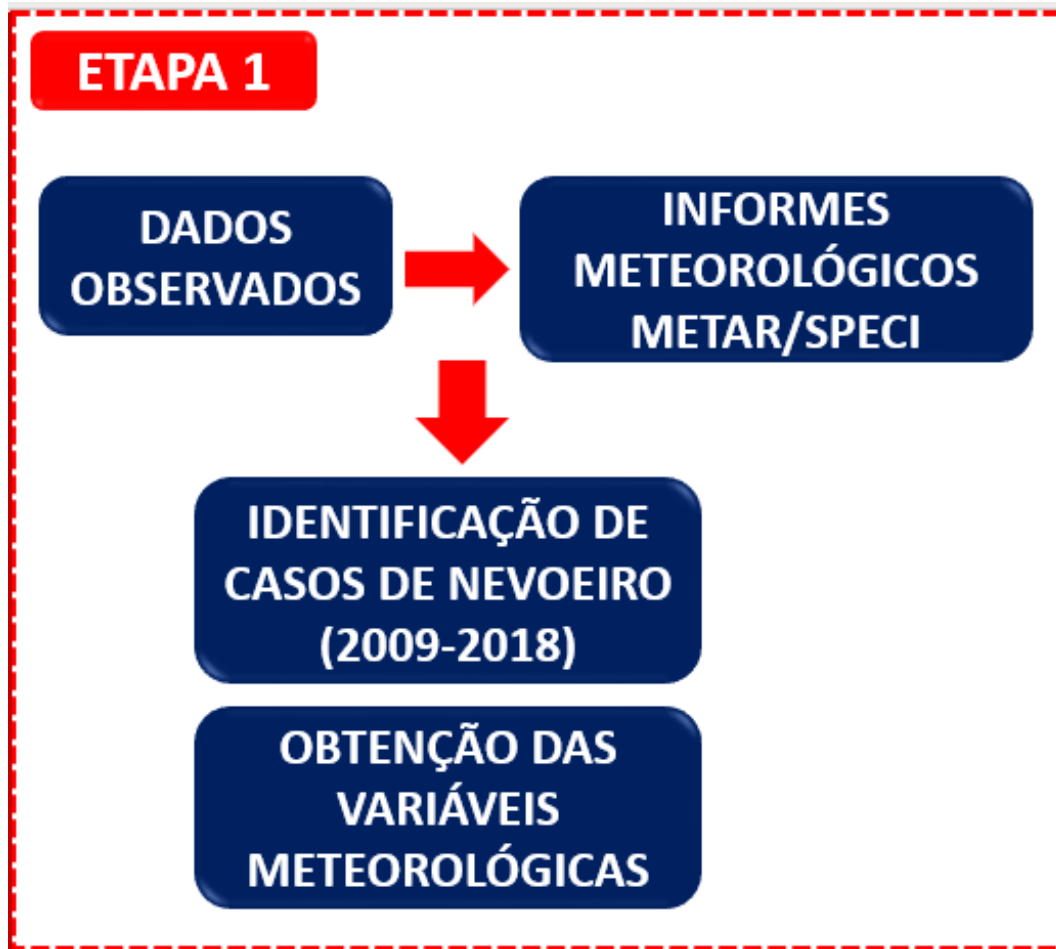


Figura 6: Delineamento da Etapa 1.

Os casos foram separados por estações seca e chuvosa a fim de identificar o impacto da sazonalidade nas formações de nevoeiro em Manaus (Figura ??). Segundo a classificação climática de Koepen (1948), Manaus-AM possui um clima tropical úmido (Af), caracterizado pela temperatura média do mês mais frio sempre superior a 18°C, apresentando uma estação seca de pequena duração que é compensada pelos totais elevados de precipitação. A estação seca abrange os meses de maio a outubro, e a estação chuvosa de novembro a abril (FIGUEIROA e NOBRE, 1990).

A análise de superfície foi realizada após a identificação e seleção dos casos. As variáveis analisadas para avaliar as condições em superfície dos aeroportos no momento do nevoeiro foram: visibilidade horizontal, temperatura do ar (T), temperatura do ponto de orvalho (TD), direção e velocidade do vento, depressão do ponto de orvalho (DP), umidade Relativa (UR) e acumulado de precipitação (registrado antes da ocorrência dos eventos). A temperatura do ponto de orvalho foi utilizada para o cálculo da depressão do ponto de orvalho e da umidade relativa. Com os dados também foram analisados a intensidade, o horário de ocorrência e duração do nevoeiro. A esquematização da Etapa 1 pode ser visualizada na Figura 7.

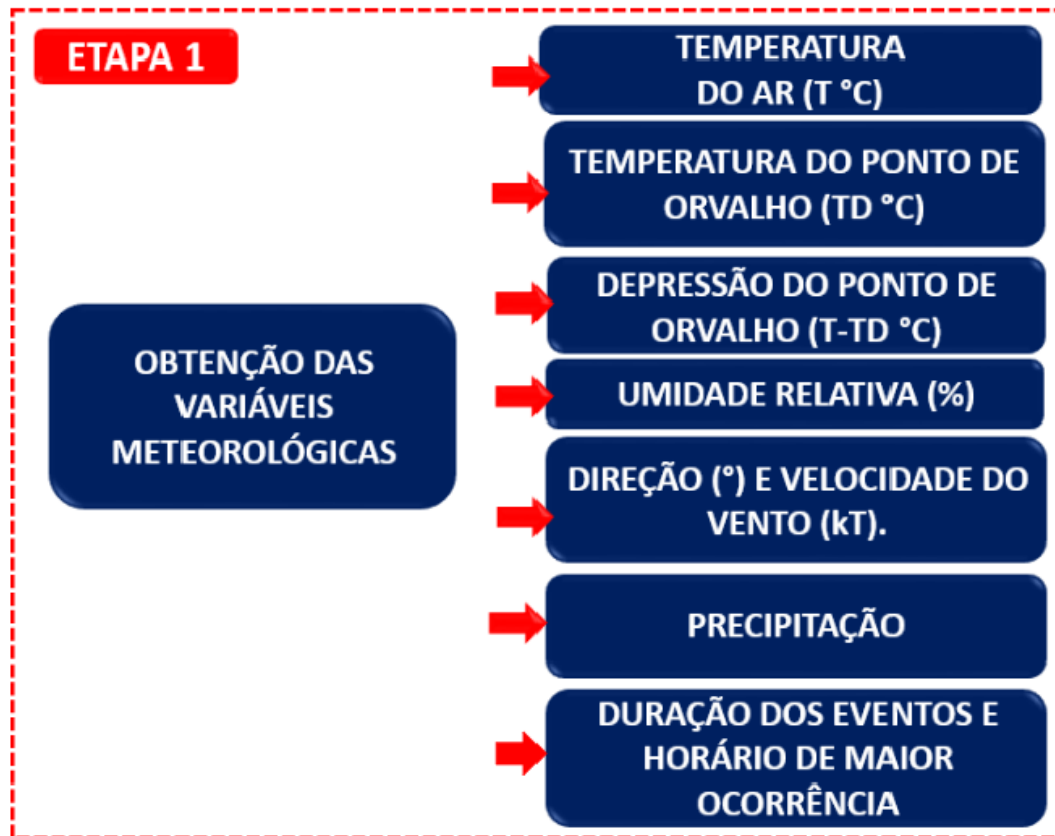


Figura 7: Variáveis analisadas na Etapa 1.

3.4.2 Etapa 2 - Análise Termodinâmica

A partir dos dados de reanálise foram construídos perfis verticais de temperatura e umidade (12 UTC), para todos os casos de nevoeiro selecionados na Etapa 1. Os perfis construídos permitiram identificar e analisar as camadas úmidas, a estabilidade atmosférica, a inversão térmica em baixos níveis, além dos índices de instabilidade CAPE (Convective Available Potential Energy) e LI (Lifted Index) (Figura 8). Os dados de reanálises são obtidos a partir de coordenadas geográficas, assim, devido a proximidade dos aeródromos, os perfis foram construídos para uma área em comum, abrangendo os dois aeródromos.

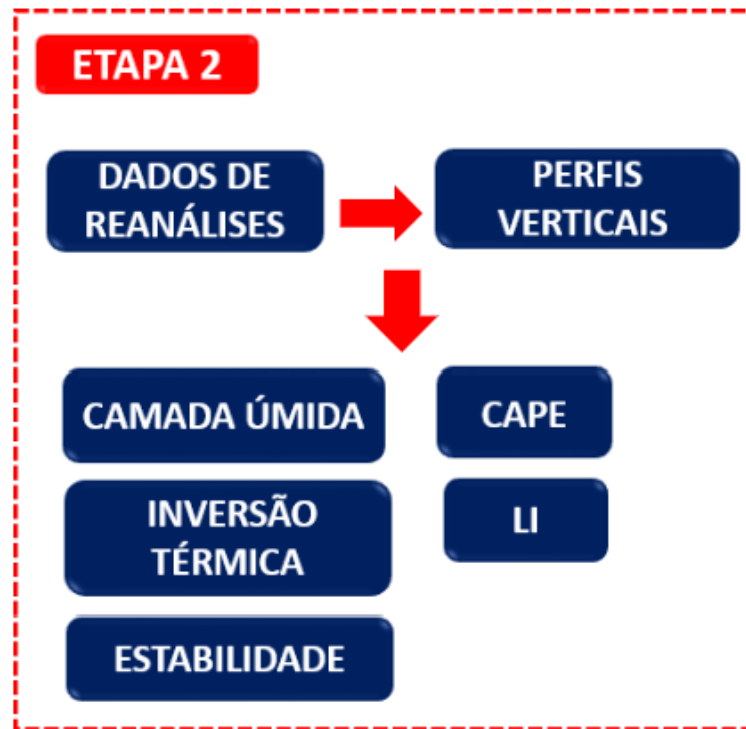


Figura 8: Delineamento da Etapa 2.

Camada Úmida

Para as nuvens com desenvolvimento horizontal, como é o caso do nevoeiro, a umidade é mais importante do que a instabilidade. A camada será considerada úmida em baixos e médios níveis, quando a diferença entre a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho, for menor que 3°C (FEDOROVA *et. al.*, 2017). Em casos de nevoeiro, esta diferença não ultrapassa 2°C .

Estabilidade Atmosférica e Inversão Térmica

Através da análise da estabilidade atmosférica, é possível determinar a ocorrência de nebulosidade de desenvolvimento horizontal ou vertical (FEDOROVA *et. al.*, 2017). Sendo o nevoeiro um tipo de formação de desenvolvimento horizontal, têm-se que haverá provável inversão, isoterminia ou estabilidade. Nesses casos, a atmosfera deverá se apresentar, preferencialmente, como estável ou condicionalmente instável. A instabilidade atmosférica é determinada de acordo com a Tabela 2 (VAREJÃO, 2000), em que γ é a distribuição vertical da temperatura real (ou estratificação da temperatura); γ_d é a adiabática seca e γ_m é a adiabática saturada.

Tabela 2: Critérios de classificação do estado atmosférico

| | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| $\gamma > \gamma_d$ | Camada Absolutamente Instável |
| $\gamma < \gamma_m$ | Camada Absolutamente Estável |
| $\gamma_d > \gamma > \gamma_m$ | Camada Condicionalmente Instável |
| $\gamma = 0$ | Camada Isotérmica |

Índices de instabilidade CAPE e LI

Convective Available Potential Energy (CAPE), indica a quantidade de energia potencial disponível à medida que uma parcela de ar é levantada. O CAPE é um indicador do potencial de convecção profunda e fornece uma medida de estabilidade integrada sobre a profundidade da sondagem (FEDOROVA *et. al*, 2017).

Segue abaixo a Tabela 3 com os critérios estabelecidos para o CAPE.

Tabela 3: Critérios de potencial de convecção a partir dos valores de CAPE

| CAPE | Potencial de Convecção |
|--------------------|-------------------------------|
| CAPE < 300 | Pequena ou nenhuma |
| 300 < CAPE < 1000 | Fraca |
| 1000 < CAPE < 2500 | Moderada |
| 2500 < CAPE < 3000 | Forte |

Fonte: <<http://www.crh.noaa.gov/lmk/soo/docu/indices.php>>

O Lifted Index (LI) ou Índice de Levantamento, é ideal para determinar a instabilidade das parcelas de ar na metade inferior da troposfera em regiões barotrópicas, ou seja, regiões quentes e úmidas, de distribuição uniforme de temperatura (GASPARETTO, 2011). O cálculo do LI é dado pela temperatura da parcela que se elevou de 850 hPa até 500 hPa(TL), e pela temperatura no nível de 500 hPa (T500). É obtido através da fórmula:

$$LI = TL - T500 \quad (1)$$

Na Tabela 4 têm-se os critérios de instabilidade de acordo com os valores de LI.

Tabela 4: Critérios de instabilidade a partir dos valores de LI

| LI | Instabilidade |
|--------------|------------------------------------|
| LI > 3 | Sem atividade significativa |
| -3 < LI < 0 | Possibilidade de chuva |
| 0 < LI < 3 | Levemente Instável |
| -6 < LI < -3 | Moderadamente Instável |
| LI < -6 | Possibilidade de trovoadas severas |

Fonte: <<http://www.crh.noaa.gov/lmk/soo/docu/indices.php>>

3.4.3 Etapa 3 - Análise Sinótica

A análise sinótica, assim como a análise termodinâmica, foi realizada a partir de dados de reanálise, para uma região abrangendo os dois aeroportos de Manaus. A análise sinótica, tem como finalidade identificar os sistemas de escalas sinóticas que influenciam os processos de formação de nevoeiro. Com os dados de reanálise, foram construídos campos de linhas de corrente, divergência e ômega (Figura 9).

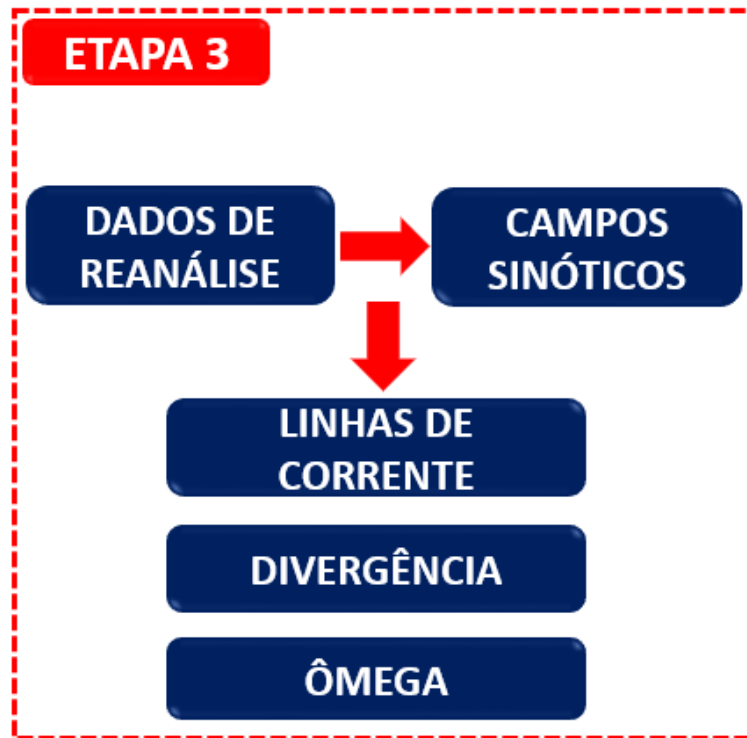


Figura 9: Delineamento da Etapa 3.

3.4.4 Etapa 4 - Análise do Modelo PAFOG

O modelo PAFOG foi utilizado como uma forma de prever as restrições de visibilidade provocadas pelas ocorrências de nevoeiro. Assim, será possível verificar a previsibilidade e a qualidade das previsões executadas pelo modelo para região norte do Brasil.

O PAFOG (Parametrized Fog) é um modelo unidimensional para previsão de visibilidade dos nevoeiros ocorridos dentro de uma massa de ar e de nuvens estratiformes em baixos níveis (BOTT *et.al.*, 2002). O modelo foi elaborado com tratamento detalhado dos processos de microfísica de nuvens, sendo composto por:

- Módulo dinâmico;
- Microfísica das nuvens;
- Radiação e
- Vegetação baixa.

O PAFOG pode ser utilizado para simulações de duas maneiras diferentes:

1. Para simulações no modo nevoeiro: a porção mais baixa, que se estende da superfície até a altura $Z1$, é subdividida em um número $N1$ de camadas equidistantes. Os valores de $Z1$ e $N1$ são, por padrão, configurados para $Z1= 200$ m e $N1= 50$, mas seus valores podem ser alterados, de acordo com as necessidades do usuário. Uma segunda região que se estende de $Z1$ até $Z2$ é subdividida em $N2$ camadas equidistantes. Os valores de $Z2$ e $N2$ foram configurados para 2500 m e 20 m, respectivamente.
2. Para simulações no modo stratus: a camada equidistante do modelo se estende da superfície até um novo valor definido para $z1$ (1500 m). A parte restante da estrutura da grade são as mesmas como no modo nevoeiro.

Os processos de microfísica de nuvens são calculados somente nas regiões equidistantes do modelo (0-200 m, modo nevoeiro; 0-1500 m, modo stratus). Assim, em uma determinada simulação, o topo do nevoeiro ou stratus não pode exceder essa região, para não comprometer a confiabilidade das simulações. Para os cálculos dos perfis de temperatura e umidade no solo, a região 0-50 cm abaixo da superfície é subdividida em 20 camadas equidistantes.

Esquemas Físicos do PAFOG

O modelo PAFOG é composto por quatro módulos que envolvem as partes dinâmicas, Microfísicas, de radiação e de vegetação.

- **Módulo Dinâmico**

A parte dinâmica consiste em um conjunto de equações prognósticas para o campo do vento horizontal (u,v), temperatura potencial (θ) e umidade específica (q). Os processos de turbulência na camada limite são resolvidos a partir de equações prognósticas para energia cinética turbulenta.

- **Módulo da Microfísica**

Os processos de microfísica de nuvens são tratados por meio de duas equações prognósticas: uma para o conteúdo de água líquida e a outra para concentração total do número de gotículas de nuvem.

- **Cálculo da Radiação**

Nas aproximações usadas no cálculo da radiação, o intervalo do espectro eletromagnético solar (0,28-6 μm) é dividido em quatro partes. Em cada uma das partes são considerados toda a extinção dos gases, dos hidrometeoros líquidos e sólidos, assim como das partículas de aerossol, são levadas em conta. As regiões do infravermelho (3,5-100 μm) e da janela atmosférica (8,75-12,25 μm) são resolvidas separadamente, no tocante à extinção dos gases. Somente para comprimentos de onda maiores que 100 μm (região do infravermelho), a absorção dos gases, aerossol e gotículas d'água é tratada pelo método da emissividade.

- **Módulo da Vegetação**

O módulo de vegetação descreve a interação entre os processos de superfície terrestre e a atmosfera adjacente. Parâmetros de entrada para o módulo de vegetação são usados para calcular a temperatura e a umidade específica dentro da cobertura de vegetação, bem como a temperatura e a umidade específica de saturação da folhagem.

Dados de Entrada do PAFOG

Os dados de entrada do modelo PAFOG estão divididos em quatro partes:

1. Dados geográficos, tipo e textura do solo, dados de vegetação e informações meteorológicas de superfície;
2. Dados de nebulosidade baixa, média e alta em oitavos das últimas 24 horas para cálculos de radiação;
3. Dados de radiossondagem (pressão atmosférica, temperatura do ar e ponto de orvalho) e o vento geostrófico acima da camada limite.
4. Informações de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e conteúdo de umidade volumétrica (kg/m^3) do solo em função da profundidade.

As previsões foram realizadas para 24h, 18h, 12h e 06h de antecedência ao horário de ocorrência do evento. Desse modo, os dados de entrada foram selecionados de modo a abranger todo período de ocorrência do fenômeno (Figura 10).

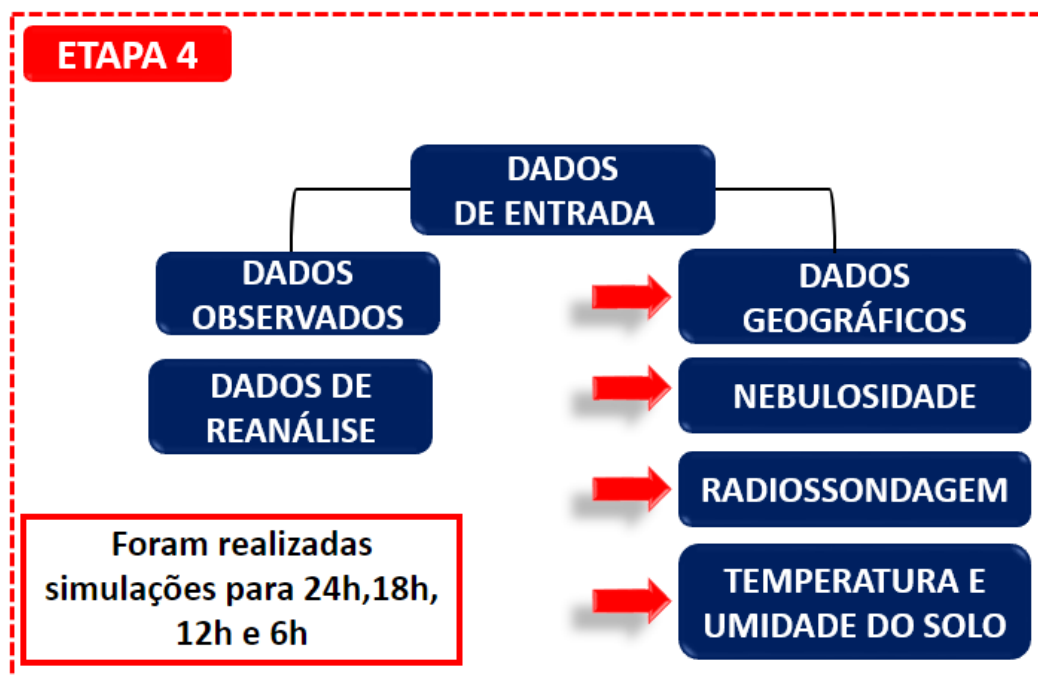


Figura 10: Delineamento da Etapa 4.

Na primeira parte, os dados de vegetação não foram alterados devido à dificuldade em obter informações referentes a região de Manaus. Na segunda parte, foram utilizados dados do METAR, que fornece a altura das nuvens (pés) e a cobertura do céu (em oitavos). O parâmetro de identificação da altura de nuvens para a região do estudo (região tropical), foi de acordo com Fedorova, (2001) (Tabela 5). Na terceira parte das inicializações do modelo PAFOG, foram utilizados dados de reanálise do modelo ECMWF com resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, devido a falta de informação de radiossondagens para os casos analisados.

Tabela 5: Altura das camadas superior, média e inferior de nuvem

| Camadas | Regiões Polares | Regiões Temperadas | Regiões Tropicais |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Superior | De 3 A 8Km | De 5 A 13Km | De 6 A 18Km |
| Média | De 2 A 4Km | De 2 A 7Km | De 2 A 8Km |
| Inferior | Da Superfície até 2Km | Da Superfície até 2Km | Da Superfície até 2Km |

Fonte: Fedorova, 2001

3.5 Elaboração do Método Operacional de Previsão

A construção do método operacional de previsão foi baseado nas condições resultantes das análises de superfície, sinótica e termodinâmica. Os resultados obtidos delinearam cada passo do método.

O método consiste em estabelecer quais as condições favoráveis às formações de nevoeiro em determinada região, neste caso, na região de Manaus. Com este método, os previsores conseguirão identificar se haverá condições favoráveis ao desenvolvimento de névoas e nevoeiros, e assim, alertar os órgãos operacionais em tempo hábil.

4 Resultados

No período entre 2009-2018, foram identificados 741 casos de nevoeiro nos aeródromos de Manaus. Desses 741 casos, 733 ocorreram em Eduardo Gomes e apenas 8 em Ponta Pelada. Devido ao número de casos, somente as ocorrências em Eduardo Gomes foram separadas por estações (seca e chuvosa).

Aeroporto de Eduardo Gomes

Foram escolhidas as 60 ocorrências mais intensas em Eduardo Gomes, sendo 30 casos para a estação seca e 30 para a estação chuvosa. A relação dos casos para as análises, assim como o valor da visibilidade horizontal, o horário de início das ocorrências, a duração e a intensidade dos nevoeiros, podem ser visualizado na Tabela 6 e na Tabela 7. A classificação da intensidade do nevoeiro foi de acordo com o manual do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Segundo o manual, o nevoeiro será considerado forte se visibilidade horizontal for inferior a 200 m; moderado, se a visibilidade variar entre 200 e 700 m e nevoeiro fraco se a visibilidade for superior a 700 m e inferior a 1 km.

De acordo com as tabelas, a intensidade predominante dos eventos foi moderada, tanto na estação seca, quanto na estação chuvosa (6/7). Alguns casos de nevoeiro apresentaram visibilidade abaixo de 200 m (4 na estação seca e 5 na estação chuvosa) e visibilidade máxima foi de 800 m (6/7).

Tabela 6: Relação dos casos de nevoeiro selecionados para aeroporto Eduardo Gomes - Estação Seca

| | Data | Hora 1° Obs. (UTC) | Visibilidade (m) | Duração (h) | Intensidade |
|---------|------------|-----------------------|---------------------|----------------|-------------|
| caso 1 | 20/06/2010 | 06 | 100 | 03 | Forte |
| caso 2 | 07/05/2010 | 09 | 200 | 02 | Moderado |
| caso 3 | 29/05/2010 | 08 | 300 | 04 | Moderado |
| caso 4 | 04/09/2011 | 06 | 800 | 03 | Fraco |
| caso 5 | 07/07/2011 | 08 | 300 | 02 | Moderado |
| caso 6 | 03/06/2011 | 07 | 400 | 03 | Moderado |
| caso 7 | 16/07/2012 | 08 | 150 | 03 | Forte |
| caso 8 | 17/07/2012 | 07 | 100 | 04 | Forte |
| caso 9 | 03/09/2012 | 07 | 100 | 03 | Forte |
| caso 10 | 14/07/2012 | 10 | 200 | 01 | Moderado |
| caso 11 | 24/07/2012 | 08 | 200 | 03 | Moderado |
| caso 12 | 12/08/2012 | 10 | 350 | 01 | Moderado |
| caso 13 | 10/08/2012 | 08 | 400 | 03 | Moderado |
| caso 14 | 09/05/2013 | 09 | 400 | 02 | Moderado |
| caso 15 | 28/05/2013 | 06 | 400 | 06 | Moderado |
| caso 16 | 29/07/2013 | 05 | 400 | 07 | Moderado |
| caso 17 | 06/09/2013 | 10 | 400 | 02 | Moderado |
| caso 18 | 31/05/2014 | 05 | 200 | 07 | Moderado |
| caso 19 | 16/08/2014 | 07 | 200 | 03 | Moderado |
| caso 20 | 11/07/2014 | 07 | 200 | 03 | Moderado |
| caso 21 | 27/06/2014 | 00 | 300 | 09 | Moderado |
| caso 22 | 26/07/2015 | 05 | 300 | 02 | Moderado |
| caso 23 | 31/08/2015 | 06 | 500 | 06 | Moderado |
| caso 24 | 05/06/2016 | 09 | 400 | 02 | Moderado |
| caso 25 | 06/06/2016 | 06 | 500 | 05 | Moderado |
| caso 26 | 23/09/2017 | 05 | 400 | 05 | Moderado |
| caso 27 | 30/09/2017 | 07 | 500 | 02 | Moderado |
| caso 28 | 29/05/2018 | 05 | 100 | 07 | Forte |
| caso 29 | 28/08/2018 | 10 | 400 | 01 | Moderado |
| caso 30 | 07/09/2018 | 05 | 400 | 06 | Moderado |

Tabela 7: Relação dos casos de nevoeiro selecionados para o aeroporto Eduardo Gomes - Estação Chuvosa

| | Data | Hora 1° Obs. (UTC) | Visibilidade (m) | Duração (h) | Intensidade |
|---------|-------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------|
| Caso 1 | 16/11/2009 | 07 | 150 | 04 | Forte |
| Caso 2 | 16/04/2009 | 09 | 350 | 03 | Moderado |
| Caso 3 | 01/03/2009 | 05 | 400 | 07 | Moderado |
| Caso 4 | 25/03/2009 | 06 | 350 | 05 | Moderado |
| Caso 5 | 20/04/2009 | 08 | 300 | 03 | Moderado |
| Caso 6 | 23/02/2010 | 08 | 500 | 04 | Moderado |
| Caso 7 | 17/02/2010 | 10 | 300 | 01 | Moderado |
| Caso 8 | 03/04/2010 | 01 | 300 | 03 | Moderado |
| Caso 9 | 06/01/2010 | 11 | 400 | 01 | Moderado |
| Caso 10 | 27/02/2010 | 02 | 700 | 03 | Moderado |
| Caso 11 | 26/03/2011 | 01 | 200 | 04 | Moderado |
| Caso 12 | 19/12/2011 | 09 | 500 | 02 | Moderado |
| Caso 13 | 24/04/2012 | 06 | 100 | 02 | Forte |
| Caso 14 | 27/04/2012 | 08 | 50 | 03 | Forte |
| Caso 15 | 29/04/2012 | 01 | 100 | 10 | Forte |
| Caso 16 | 05/04/2012 | 06 | 100 | 04 | Forte |
| Caso 17 | 24/01/2012 | 10 | 500 | 01 | Moderado |
| Caso 18 | 10/01/2012 | 10 | 500 | 01 | Moderado |
| Caso 19 | 25/02/2012 | 10 | 300 | 01 | Moderado |
| Caso 20 | 07/04/2012 | 07 | 300 | 05 | Moderado |
| Caso 21 | 08/04/2012 | 06 | 300 | 01 | Moderado |
| Caso 22 | 02/12/2013 | 07 | 300 | 04 | Moderado |
| Caso 23 | 18/04/2014 | 04 | 300 | 04 | Moderado |
| Caso 24 | 22/04/2015 | 05 | 800 | 05 | Fraco |
| Caso 25 | 25/02/2017 | 08 | 400 | 04 | Moderado |
| Caso 26 | 29/01/2017 | 06 | 500 | 04 | Moderado |
| Caso 27 | 04/01/2018 | 06 | 500 | 02 | Moderado |
| Caso 28 | 23/11/2013 | 07 | 500 | 06 | Moderado |
| Caso 29 | 25/03/2014 | 05 | 550 | 04 | Moderado |
| Caso 30 | 04/06/2014 | 06 | 400 | 02 | Moderado |

O período mais favorável às formações de baixa visibilidade foi entre 06 e 11 UTC para ambas estações (Figura 11). Em relação à duração dos eventos, a ocorrência mais duradoura foi de 08h, durante o período seco, e 10h durante o período chuvoso, com duração média de 4h (Figura 12).

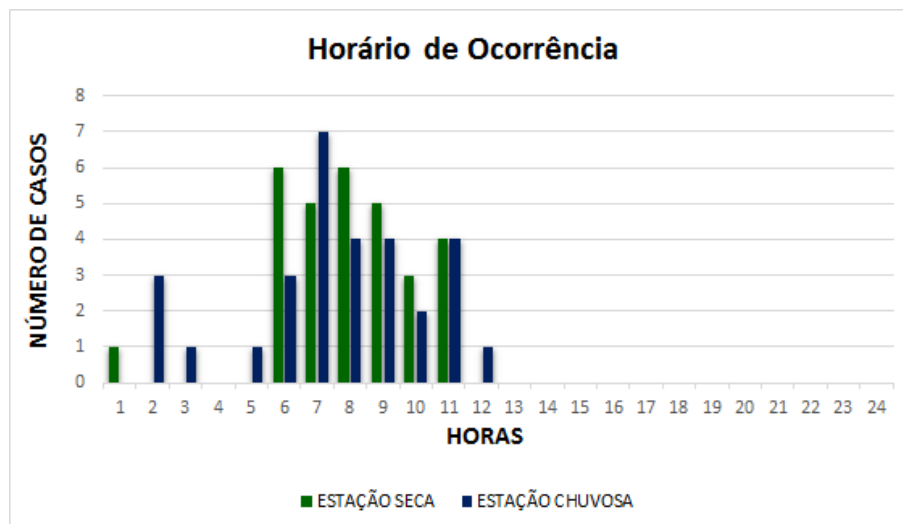


Figura 11: Horários frequente de ocorrência de nevoeiro durante as estações seca e chuvosa

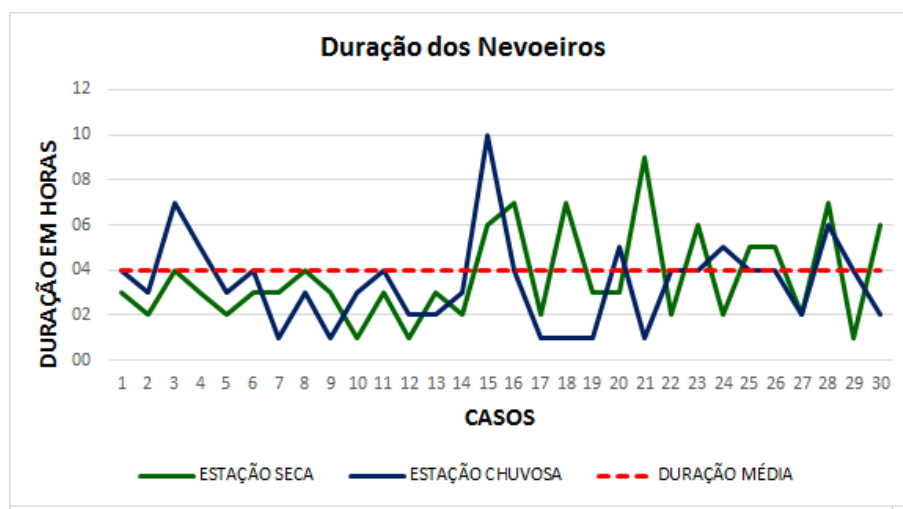


Figura 12: Duração dos eventos de nevoeiro em Eduardo Gomes durante as estações seca e chuvosa. Linha tracejada vermelha representa a duração média dos casos

Aeroporto de Ponta Pelada

Em Ponta pelada foram encontradas apenas 8 ocorrências de nevoeiro dentro do período de 10 anos de estudo. As formações de nevoeiro ocorreram perincipalmente nos anos de 2018 e 2017 (com 4 casos em 2018 e 2 em 2017). Os demais casos ocorreram de forma pontual em 2012 e 2014 (Tabela 8). A duração máxima de ocorrência dos fenômenos foi de 02h e a intensidade dos eventos variou de fraca a moderada (Tabela 8).

Tabela 8: Relação dos casos de nevoeiro selecionados para o aeroporto Ponta Pelada

| | Data | Hora 1° Obs. (UTC) | Visibilidade (m) | Duração (h) | Intensidade |
|--------|------------|-----------------------|------------------|----------------|-------------|
| Caso 1 | 17/07/2012 | 10 | 900 | 01 | Fraco |
| Caso 2 | 21/10/2014 | 10 | 900 | 01 | Fraco |
| Caso 3 | 15/10/2017 | 09 | 700 | 02 | Moderado |
| Caso 4 | 29/11/2017 | 12 | 900 | 01 | Fraco |
| Caso 5 | 01/01/2018 | 10 | 500 | 01 | Moderado |
| Caso 6 | 04/01/2018 | 06 | 300 | 02 | Moderado |
| Caso 7 | 30/03/2018 | 10 | 800 | 01 | Fraco |
| Caso 8 | 29/05/2018 | 12 | 800 | 01 | Fraco |

4.1 Análise de Superfície

4.1.1 Aeroporto Eduardo Gomes

Estação Seca

O nevoeiro se formou em Eduardo Gomes sob condições de temperatura média de 23,5°C, depressão do ponto de orvalho médio de 1°C e umidade relativa entre 90% e 100% (Tabela9). A Figura 13 mostra altos valores de umidade relativa em todos os casos.

Foram registrados acumulados de precipitação antes das formações de nevoeiro na estação seca em 27, dos 30 casos totais (APÊNDICE A). O acumulado médio para a estação foi de 14 mm/h e o máximo de 46,7 mm/h (Tabela 9). De acordo com Figueiroa e Nobre (1990), por estar localizada na região tropical, Manaus está sujeita às precipitações durante todo o ano, inclusive durante a estação seca. Com o aumento das temperaturas e da atividade convectiva no período seco, os grandes acumulados são devido às chuvas intensas e de curta duração, do tipo pancada. De acordo com Marengo (1991), os acumulados de precipitação na região amazônica durante a estação seca, muitas vezes elevados para o período, não chegam a ultrapassar o volume de chuva da estação chuvosa. A presença de chuva na região tem influência nas variáveis que condicionam as formações de nevoeiro, como a umidade e a temperatura do ar. O aumento da umidade acelera o processo de saturação do ar, fator essencial para a formação e manutenção dos nevoeiros. A direção do vento foi predominante de Norte/Noroeste (N/NW), com velocidade média e máxima de 4KT (APÊNDICE A).

Tabela 9: Valores máximos, médios e mínimos das variáveis de Superfície - Estação Seca. Temperatura, Temperatura e depressão do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$); Umidade relativa (%); Precipitação (mm/h).

| | Temperatura | Temperatura Ponto de Orvalho | Depressão do de Orvalho | Umidade Relativa | Precipitação |
|--------|-------------|------------------------------|-------------------------|------------------|--------------|
| máximo | 25,0 | 24,0 | 1,1 | 100,0 | 46,7 |
| média | 23,5 | 22,4 | 2,0 | 94,0 | 14,0 |
| mínimo | 22,0 | 21,0 | 0,0 | 90,0 | 0,0 |

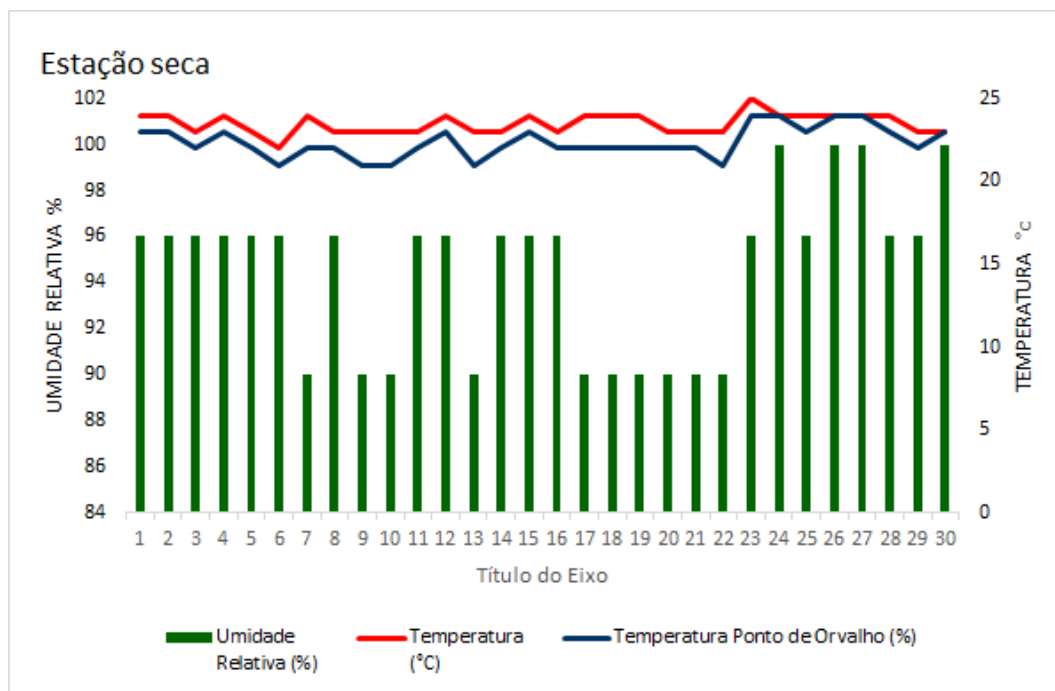


Figura 13: Dados de umidade relativa, temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho para os casos da estação seca- Aeroporto Eduardo Gomes

Estação Chuvosa

Durante a estação chuvosa, a temperatura média observada nos eventos foi de $23,2^{\circ}\text{C}$ e valor máximo encontrado para T e TD foi de 25°C (Tabela 10). Não é comum encontrar na literatura processos formação de nevoeiro sob condições de temperaturas elevadas. Mesmo em Manaus, os valores médios de T são entre 22°C e 23°C (Tabela 10). Esse caso específico, com T e TD = 25° , mostra que, em regiões quentes e úmidas, pode haver casos de formação de nevoeiro devido a saturação do ar por acréscimo de vapor, sem que haja resfriamento. A Figura 14 mostra que, assim como na estação seca, a umidade relativa apresentou valores elevados para todos os casos de nevoeiro e a depressão do ponto de orvalho máximo de $2,0^{\circ}\text{C}$. O volume de precipitação registrado antes dos casos alcançou valor máximo de $63,9\text{ mm/h}$, com média de $21,9\text{ mm/h}$ (Tabela 10). A direção predominante do vento não apresentou diferença entre as estações e, na maioria dos casos, o vento foi de N/NW/NE, com velocidade entre 00KT e 04 KT (APÊNDICE B).

Tabela 10: Valores máximos, médios e mínimos das variáveis de Superfície - Estação Chuvosa. Temperatura do ar, Temperatura e depressão do ponto de orvalho (°C); Umidade relativa (%); Precipitação (mm/h).

| | Temperatura | Temperatura Ponto de Orvalho | Depressão do Ponto de Orvalho | Umidade Relativa | Precipitação |
|--------|-------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------|
| máximo | 25,0 | 25,0 | 2,0 | 100,0 | 63,9 |
| média | 23,2 | 22,3 | 0,7 | 96,7 | 21,9 |
| mínimo | 21,0 | 20,0 | 0,0 | 90,0 | 0,0 |

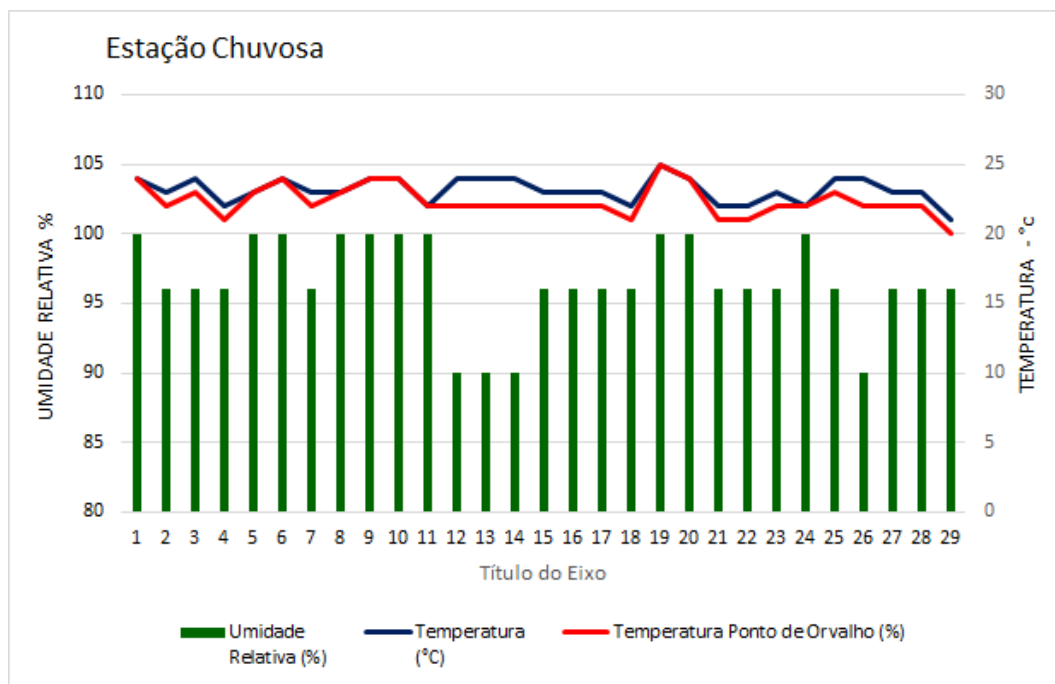


Figura 14: Dados de umidade relativa, temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho para os casos da estação seca-Aeroporto Eduardo Gomes

4.1.2 Aeroporto Ponta Pelada

A temperatura do ar máxima observada foi de 25 °C, com valor médio de 24°C (Tabela12/Tabela11). A temperatura elevada no aeródromo pode estar relacionada com a sua localização, já que o aeroporto Ponta Pelada está localizado no polo industrial de Manaus, sob influência das emissões gases e de partículas sólidas que absorvem e retêm o calor no local. Com os resultados já vistos, têm-se que altas temperaturas não inibem as formações de nevoeiros em Manaus, desde que a diferença entre T e TD seja mínima ou zero (ar saturado). Nos casos de Ponta Pelada, a depressão do ponto de orvalho média foi de 1,0°C e máxima de 2,0°C, com umidade relativa entre 94,8% e 96% (Tabela12/Tabela11).

Em todos os casos houve ocorrência de precipitação, com acumulado médio de 12,8 mm/h e máximo de 20,7 mm/h (Tabela12/Tabela11). Embora o aumento da umidade devido a ocorrência de precipitação tenha influência nas formações de nevoeiro em Manaus, em Ponta Pelada a precipitação não foi suficiente para aumentar a frequência de casos. A umidade proveniente da floresta amazônica, presente no aeroporto de Eduardo

Gomes, seria uma importante forçante que poderia potencializar os processos de formação de nevoeiro em Ponta Pelada.

Tabela 11: Variáveis observadas - Aeroporto Ponta Pelada. Temperatura do ar; Temperatura do ponto de orvalho (°C); Umidade relativa (%) e Precipitação (mm/h).

| Data | Temp | Temp. Ponto de Orvalho | Umidade Relativa | Dir. / Vel.do Vento | Precipitação |
|------------|------|---------------------------|---------------------|------------------------|--------------|
| 17/07/2012 | 23 | 21 | 90 | 34003KT | 20,6 |
| 21/10/2014 | 25 | 24 | 96 | 23005KT | 13,7 |
| 15/10/2017 | 24 | 23 | 96 | 23002KT | 14,7 |
| 29/11/2017 | 25 | 24 | 96 | 12003KT | 6,5 |
| 01/01/2018 | 25 | 24 | 96 | 22002KT | 22 |
| 04/01/2018 | 24 | 23 | 96 | 00000KT | 0 |
| 30/03/2018 | 24 | 23 | 96 | 15002KT | 11,9 |
| 29/05/2018 | 25 | 24 | 96 | 34006KT | 5,7 |

Tabela 12: Valores máximos, médios e mínimos das variáveis de Superfície - Ponta Pelada Temperatura, Temperatura e depressão do ponto de orvalho (°C); Umidade relativa (%); Precipitação (mm/h).

| | Temperatura | Temperatura Ponto de Orvalho | Depressão do de Orvalho | Umidade Relativa | Precipitação |
|--------|-------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------|--------------|
| máximo | 25,0 | 24,0 | 1,0 | 96,0 | 20,6 |
| média | 24, | 23,3 | 2,0 | 95,3 | 12,8 |
| mínimo | 23,0 | 21,0 | 1,0 | 90,0 | 0,0 |

Em relação à direção e velocidade do vento, Ponta Pelada apresentou maior variação. Enquanto que a direção predominante do vento foi de Norte/Noroeste em Eduardo Gomes, em Ponta Pelada houve casos com vento nos setores Sudeste (SE) e Sudoeste (SW). A velocidade do vento máxima na qual o nevoeiro se formou foi de 06 KT e os demais casos se formaram com ventos de 0 a 3 KT. A Figura 15 mostra um comparativo da direção predominante do vento mais frequente nos casos dos dois aeroportos. Interessante ressaltar que o vento, além de ser um fator importante na formação e na manutenção dos nevoeiros, pode estar relacionado com a diferença entre o número de ocorrências do fenômeno nos aeroportos.

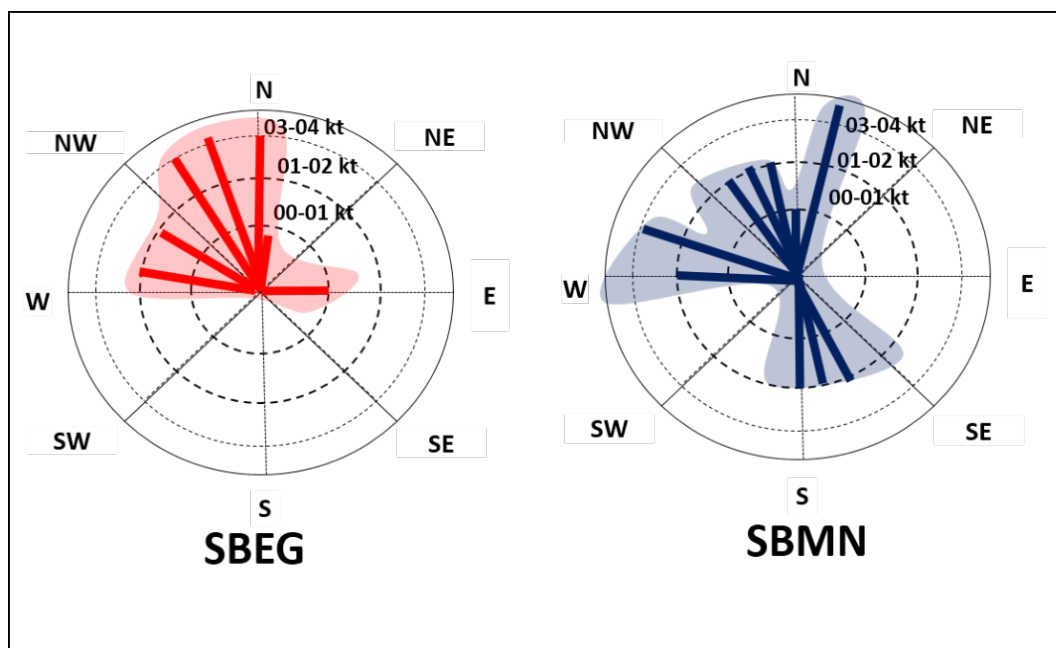


Figura 15: Comparativo da velocidade e direção predominante do vento observadas nos casos de nevoeiro em Eduardo Gomes e Ponta Pelada

4.2 Análise Termodinâmica

Os perfis verticais de temperatura e umidade construídos para Manaus (ANEXO A e ANEXO B), permitiram analisar a umidade, inversão térmica, estabilidade das camadas da atmosfera, além do Potencial de Convecção (CAPE) e do Índice de Levantamento (LI). Os dados referentes aos perfis termodinâmicos para todos os casos estão no APÊNDICE C e D.

Estação Seca

Os perfis termodinâmicos mostraram uma atmosfera úmida da superfície até 900 hPa e camadas mais secas nos níveis acima em 26 casos (APÊNDICE C). A Figura 16 mostra exemplos dos perfis mais recorrentes entre os casos selecionados. Foi observado umidade em baixos níveis na maioria dos perfis da estação seca, contudo, as camadas não ultrapassaram o nível de 900 hPa (Figura 16a, 16b). As camadas secas em médios níveis se formaram devido à forte subsidência presente nos perfis (Figura 16b). A umidade em superfície em conjunto com a forte subsidência representam padrões característicos do período seco. A estabilidade atmosférica foi caracterizada como condicional instável (Figura 16a, 16b) e ocorreu em praticamente todos os perfis. Apenas alguns perfis apresentaram camadas estáveis próximas à superfície (Figura 16c). A área de cape positivo, indicada pela seta vermelha, mostra a presença de atividade convectiva e possível formação de nuvens do tipo altocumulos em médios níveis.

Ocorreu inversão térmica ocorreu em somente 7 casos, sendo 3 em superfície 4 em 950 hPa (Figura 16c). Nos demais casos não foram observadas inversões de temperatura em baixos níveis (APÊNDICE C). Embora a inversão tenha influenciado alguns casos de nevoeiro, a mesma não pode ser considerada um fator condicionante para as formações em Manaus.

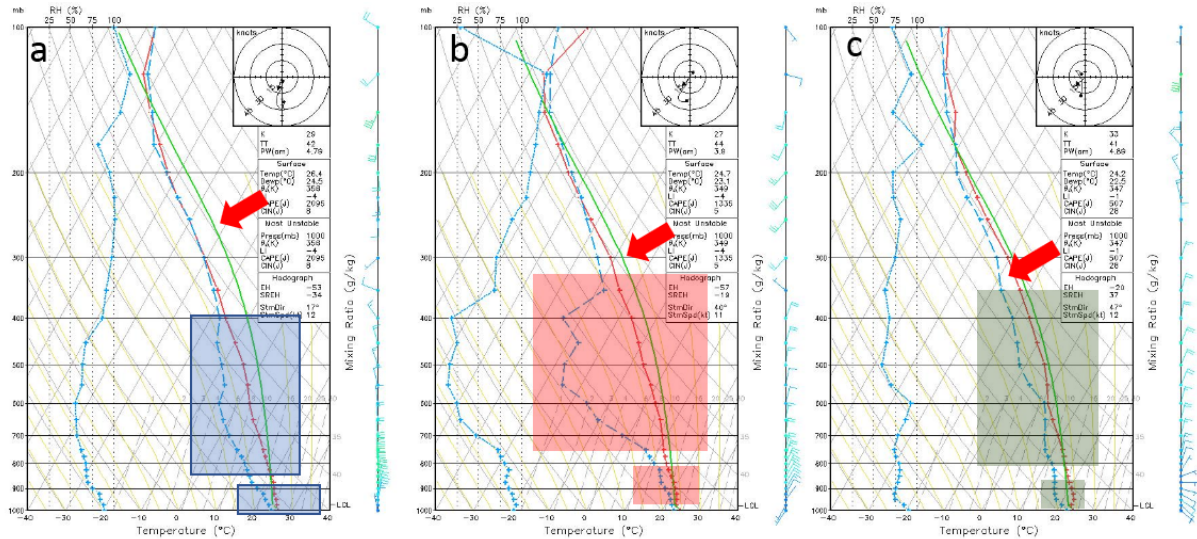


Figura 16: Exemplos de perfis verticais de temperatura e umidade recorrentes durante a estação seca.

Valores positivos de CAPE foram encontrados em todos os casos analisados. Embora o potencial de convecção não seja um fator determinante para as formações de nevoeiro, é interessante observar que o fenômeno conseguiu se formar em uma atmosfera potencialmente convectiva. O valor máximo e médio do CAPE foi de 750 J/kg e 1961 J/kg, indicando convecção fraca e moderada, respectivamente (Tabela 13). O CAPE representa a quantidade de energia que a parcela de ar possui ao ascender na atmosfera, e desse modo é possível identificar a instabilidade atmosférica. Nas latitudes extratropicais, os eventos de nevoeiro não foram associados ao CAPE positivo (FEDOROVA, 2008; FEDOROVA *et al.*, 2012; FEDOROVA, 2015), contudo, foi verificado e descrito por Fedorova *et al.*, 2008 e Fedorova, 2012, a presença de convecção nos perfis verticais dos casos de nevoeiro na região dos trópicos.

A instabilidade foi identificada pelo índice Lifting Index (LI). O LI médio encontrado foi de -2 (instabilidade fraca), e o mínimo foi de -5 (instabilidade moderada) (Tabela 13).

Tabela 13: Valores máximos, médios e mínimos de CAPE e LI (estação seca - 12UTC)

| | LI | CAPE (J/Kg) |
|--------|----|-------------|
| MÉDIA | -2 | 750 |
| MÁXIMO | -1 | 1961 |
| MÍNIMO | -5 | 361 |

Estação Chuvosa

A umidade esteve presente em todos os níveis dos perfis termodinâmicos da estação chuvosa em 20, dos 30 casos estudados (APÊNDICE D). Na maioria dos casos, a umidade se estendeu da superfície até a camada de 600 hPa ou em todo perfil (Figura 17a, 17b e 17c). No exemplo da Figura 17b, o ar estava úmido em baixos níveis e saturou a partir de 600 hPa ($T=T_d$). Em alguns eventos, a umidade diminuiu com os níveis, caracterizando subsidência ar em médios e altos níveis (Figura 16a). A subsidência é caracterizada pelos movimentos descendentes que favorecem o afundamento do ar mais frio e seco das camadas superiores, agindo como uma “tampa” e aprisionando o ar úmido nos níveis mais baixos da atmosfera. Todos os perfis apresentaram atmosfera estável ou condicionalmente instável, com inversão térmica em apenas 7 casos (Figura 16c). As setas da Figura indicam área de CAPE positivo favorecendo a formação de nuvens em médios níveis (Figura 17)

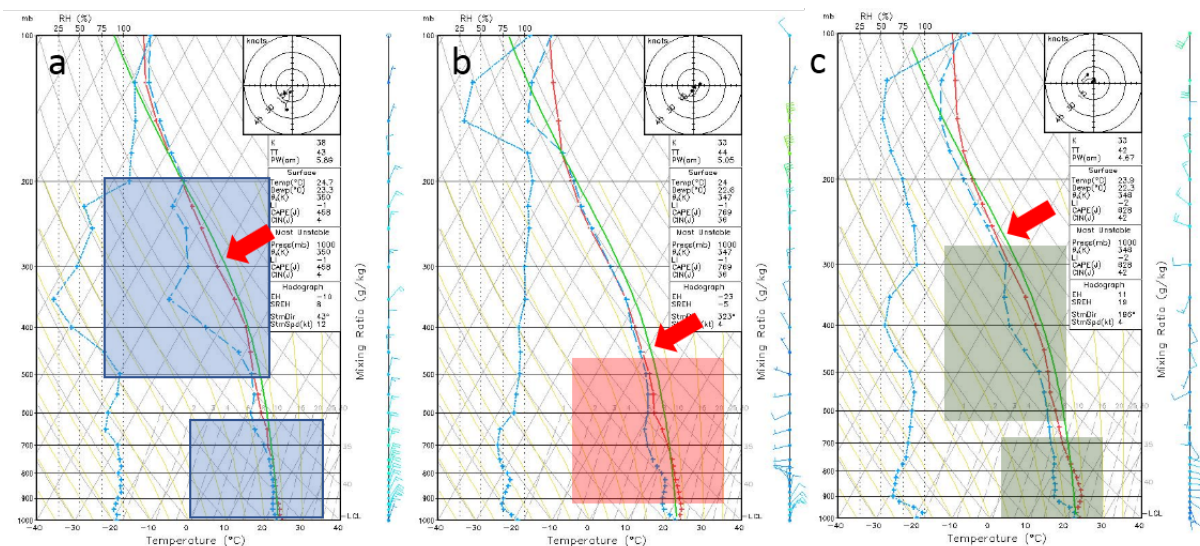


Figura 17: Exemplos de perfis verticais de temperatura e umidade recorrentes durante a estação chuvosa.

Os valores do CAPE positivo indicaram convecção de fraca a moderada, com CAPE máximo de 1961 J/kg (convecção moderada) e médio foi 537 J/Kg (convecção fraca) (Tabela14). A instabilidade foi considerada leve, com LI entre 0 e -3 em todos os casos (Tabela14).

Tabela 14: Valores máximos, médios e mínimos de CAPE e LI (estação chuvosa - 12UTC).

| | LI | CAPE (J/Kg) |
|--------|----|-------------|
| MÉDIA | -2 | 537 |
| MÁXIMO | 0 | 1961 |
| MÍNIMO | -5 | 135 |

Síntese da Análise Termodinâmica

Os perfis verticais de temperatura e umidade em Manaus foram igualmente identificados nos estudos de Fedorova *et.al.* (2008), Fedorova *et.al.* (2015), para casos de nevoeiro ocorridos em Maceió-AL. Nesses estudos, os perfis construídos apresentaram as mesmas características dos perfis construídos para Manaus:

- Umidade nas camadas mais baixas da atmosfera;
- Instabilidade Condicional;
- Ausência de inversão térmica;
- CAPE positivo, com potencial de convecção de fraco a moderado; e
- Instabilidade leve.

4.3 Análise Sinótica

Foram construídos campos sinóticos a fim de analisar os sistemas atuantes durante o período de ocorrência de nevoeiros, para as estações seca e chuvosa. Foram gerados campos de divergência (200, 500 e 1000 hPa), linhas de corrente (200, 500 e 1000 hPa) e campos de ômega (200 e 1000 hPa) para a região de Manaus, abrangendo os dois aeroportos. As tabelas contendo as informações sinóticas e o acervo com todos os campos estão nos APÊNDICES E-F, e ANEXOS C-M, respectivamente.

4.3.1 Estação Chuvosa

Os campos sinóticos da alta troposfera mostraram que a região Amazônica estava sob atuação de sistemas característicos do verão da América do Sul na maioria dos casos da estação chuvosa. Os sistemas observados foram: Alta da Bolívia (AB), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) e Cavado do Nordeste (CN). A AB, o VCAN e o CN são considerados os principais sistemas que favorecem a precipitação no período chuvoso da região Amazônica e se desenvolvem com maior intensidade no período entre dezembro, janeiro e fevereiro (DIAS *et.al.*(2009)). A relação com todos os sistemas sinóticos atuantes durante os casos da estação chuvosa estão discriminados no APÊNDICE F.

Altos Níveis

Nos campos de linhas de corrente e divergência em 200 hPa, foram identificados 19 casos em que os sistemas Alta da Bolívia, VCAN e Cavado do Nordeste atuavam de forma isolada e de forma conjunta (Figura 18a, Figura 18b, APÊNDICE F). Independente da forma de atuação, as circulações anticiclônica da AB e ciclônica do VCAN e CN influenciaram na circulação da região de Manaus, provocando divergência em altos níveis em 64 dos casos (APÊNDICE E). De acordo com Lima *et.al* (2003), a divergência em altos níveis está relacionada com a atividade convectiva, em função da relação existente entre o fluxo de massa no interior das nuvens e a divergência do vento em altos níveis. Desse modo, o intenso fluxo de massa no interior da nuvem representa forte atividade convectiva, formação de nuvens convectivas, geração de precipitação e o posterior desenvolvimento de nuvens estratiformes.

Os demais casos de divergência em altos níveis foram provocados pela interação das linhas de corrente do hemisfério Norte com a região norte do Hemisfério Sul (Figura 18c e Figura 18d). Casos de nevoeiro associados à interação entre sistemas sinóticos dos hemisférios Norte e Sul foram identificados por Fedorova e Levit,(2016), em um estudo no Nordeste brasileiro. Em um dos casos do estudo, a circulação entre a perturbação ondulatória dos alísios (HS) e uma depressão tropical (HN) provocou confluência e subsidência

do ar na costa do Nordeste Brasileiro.

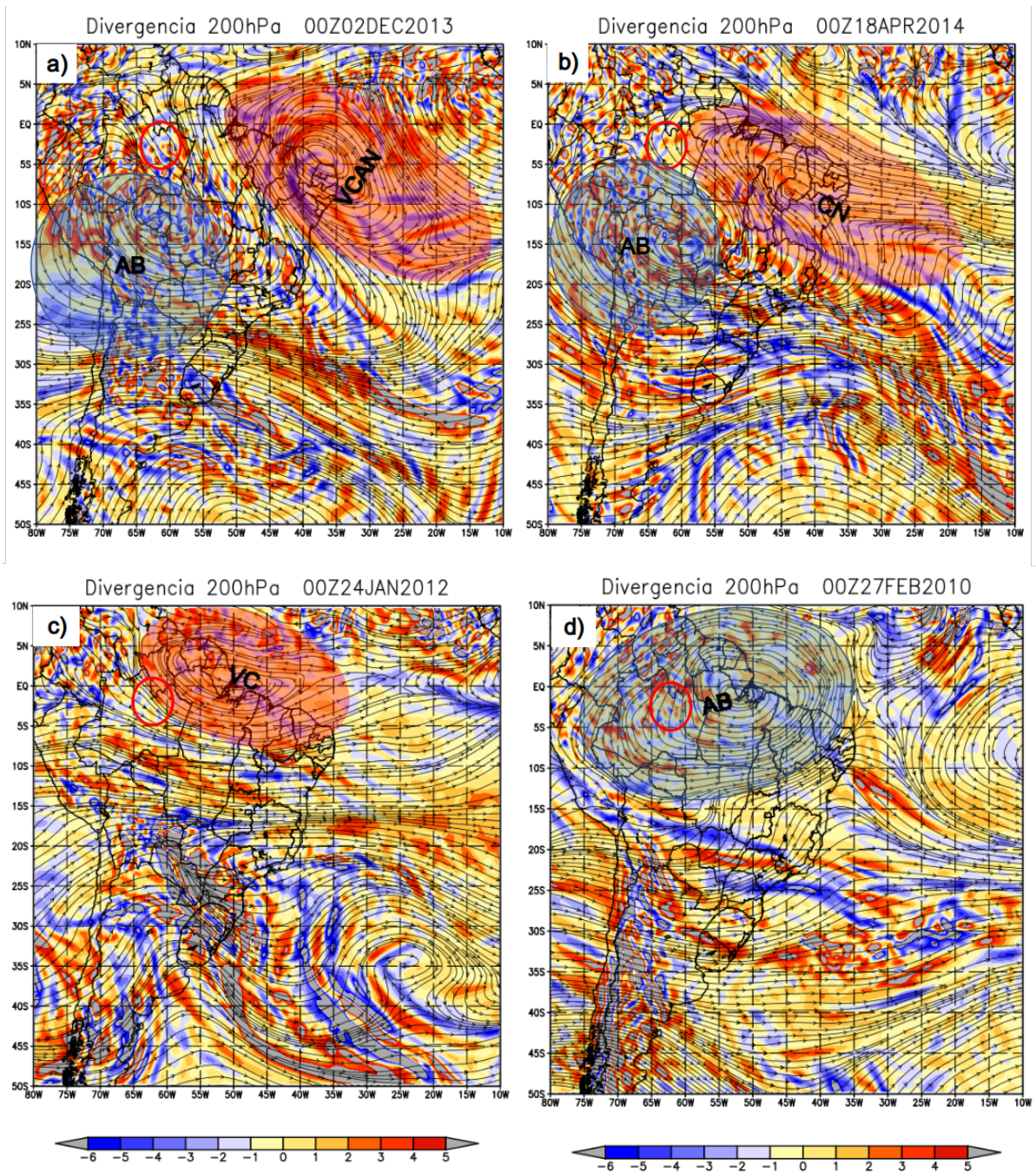


Figura 18: Campos de linhas de corrente e divergência com os principais sistemas sinóticos atuantes da estação chuvosa em 200 hPa. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; AB: Alta da Bolívia; VCAN: Vórtice Ciclônico de Altos Níveis; CN: Cavado do Nordeste; VC:Vórtice Ciclônico.

Médios Níveis

Em médios níveis, os escoamentos divergentes continuaram sendo predominantes sobre a região de Manaus. Portanto, foram observados 24 casos com difluências e 6 casos com confluências (APÊNDICE F). Em 18 casos, as correntes divergentes em 500 hPa estavam associadas às circulações anticiclônicas nas regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste (Figura 19a e Figura 19b). Nos demais eventos, a divergência foi provocada por cristas observadas na região nordeste e por escoamentos divergentes de norte (Figura 19c e Figura 19d).

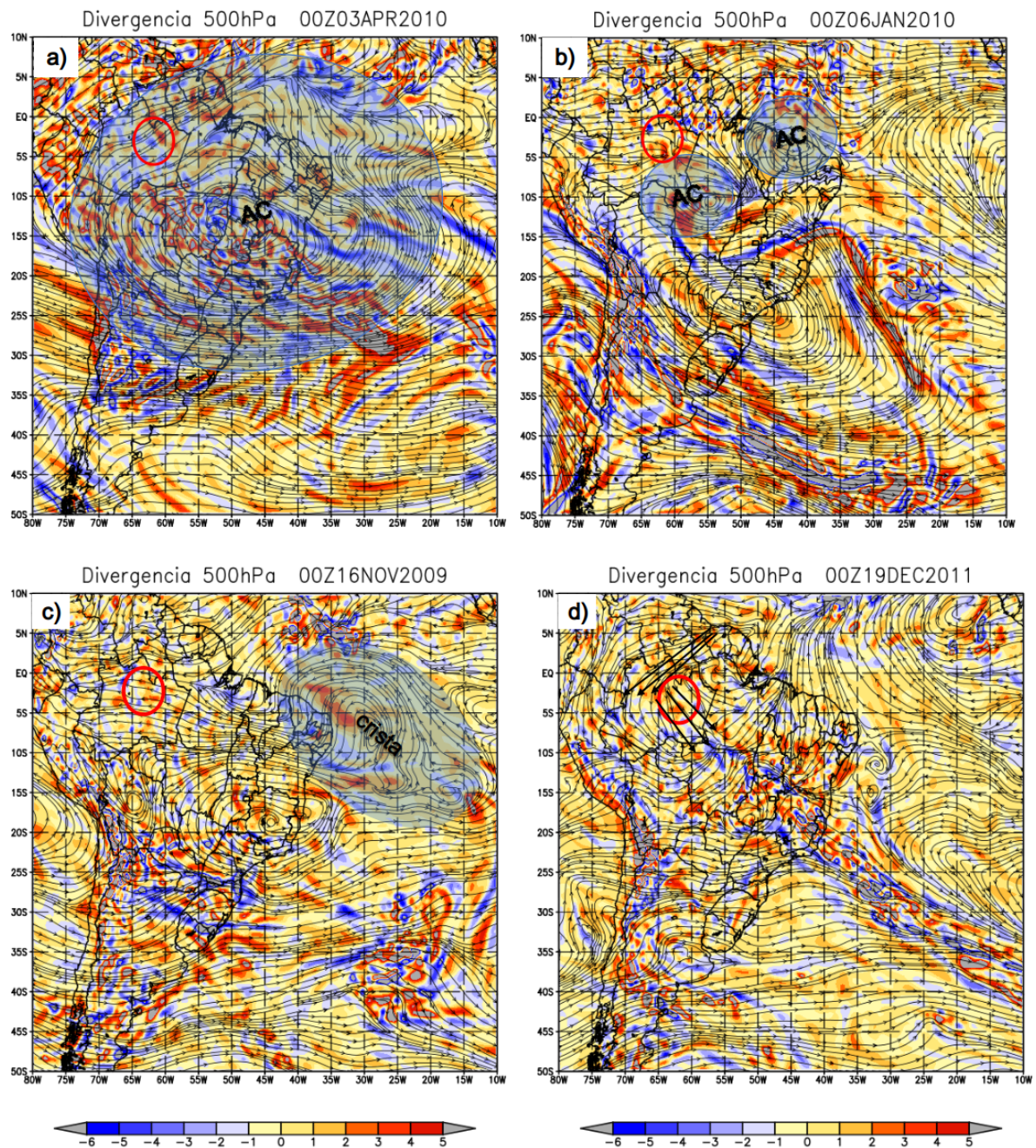


Figura 19: Campos de linhas de corrente e divergência com os principais sistemas sinóticos atuantes da estação chuvosa em 500 hPa. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; AC: Anticiclone (a,b); Setas em preto: escoamento de Norte (d).

Baixos Níveis

Anticiclones e cristas influenciaram no escoamento convergente da região estudada em 10, dos 30 casos analisados. Destes 10, 2 estavam localizados na costa Sudeste do Brasil (Figura 20a) e dois na parte sul do Atlântico Sul (Figura 20b). Houve interação de um dos anticiclones centralizados no Atlântico Sul com um vórtice no HN, resultando em uma circulação confluyente sobre Manaus (Figura 20a). Os demais sistemas estavam localizados na região Nordeste e no HN (Figura 20c).

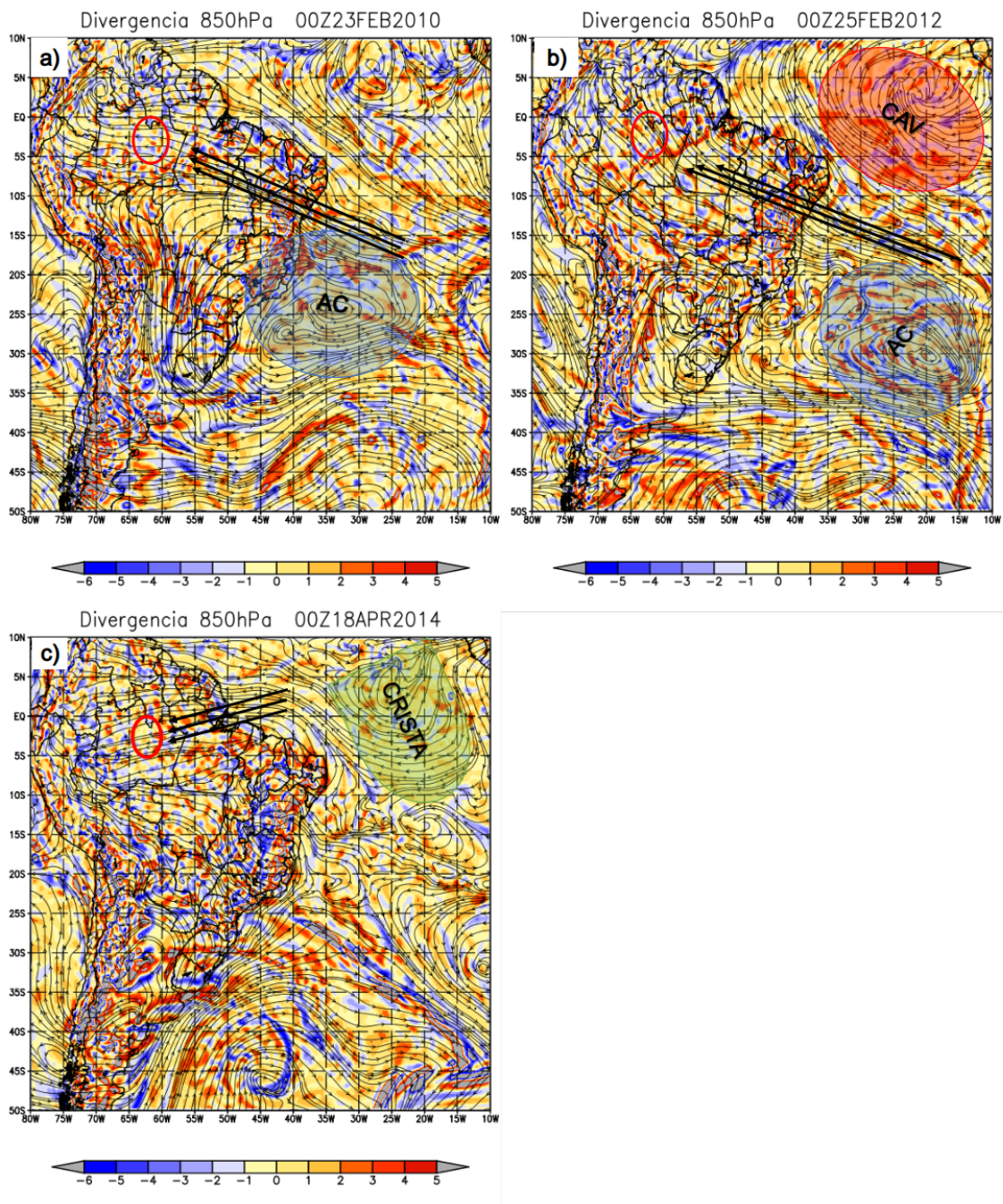


Figura 20: Campos de linhas de corrente e divergência com os principais sistemas sinóticos atuantes da estação chuvosa em 500 hPa. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; AC: Anticiclone (a,b); Setas em preto: escoamento de Norte (d).

Outro fator responsável pela confluência em baixos níveis foi o fluxo zonal de leste (Figura 21a), observado em 8 casos. Em alguns casos, os campos de linhas de corrente foram difusos, sendo possível visualizar apenas áreas de confluência e difluência próximo a região de Manaus (Figura 21b). Foram 5 os eventos em que o escoamento foi divergente em baixos níveis, sendo 4 deles influenciados pelo forte escoamento de nordeste (Figura 21c) e 1 pela circulação na extremidade de um anticiclone, localizado no Centro Oeste (Figura 21d).

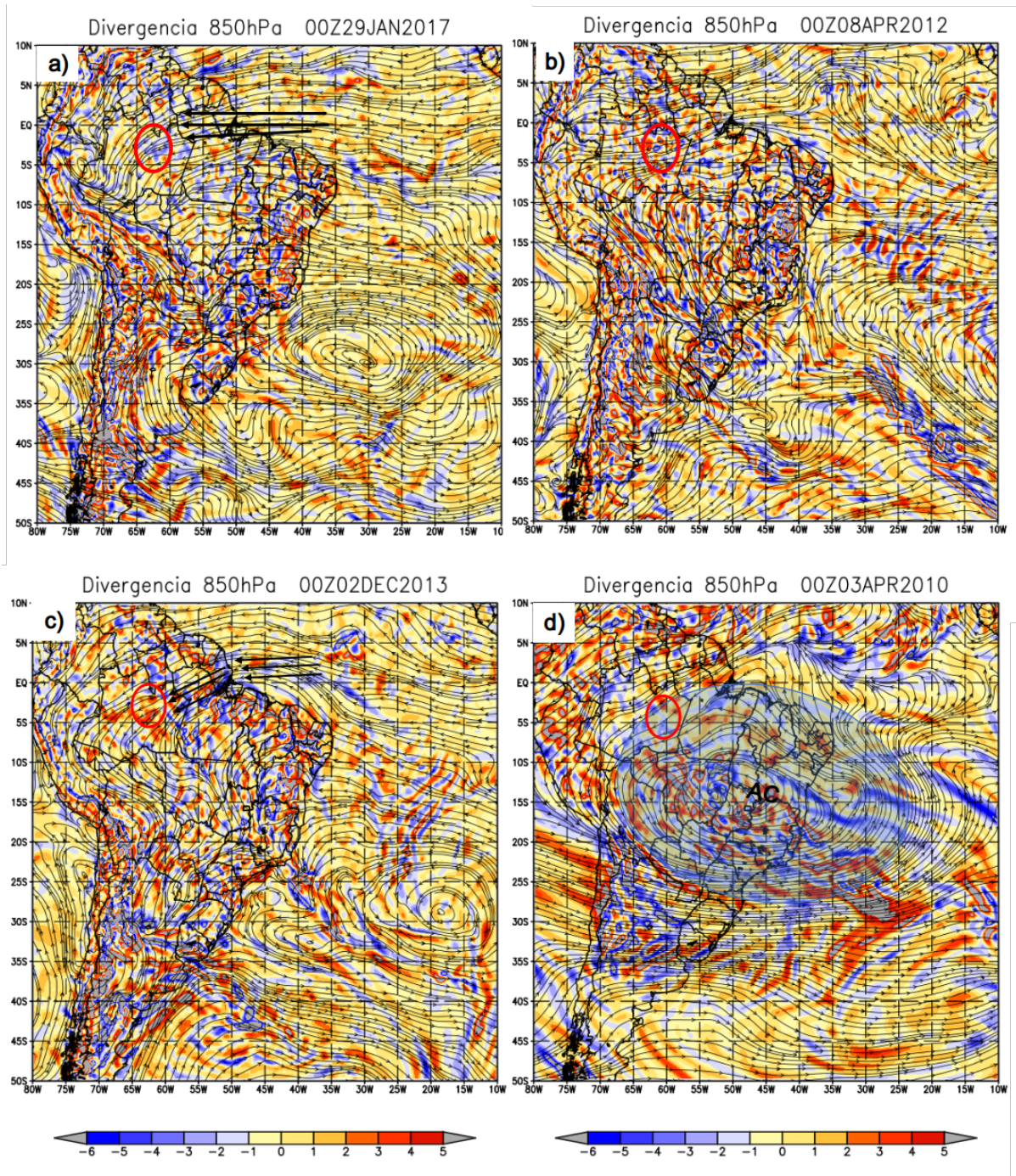


Figura 21: Campos de linhas de corrente e divergência com os principais sistemas sinóticos atuantes da estação chuvosa em 500 hPa. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; AC: Anticiclone (a,b); Setas em preto: escoamento de Norte (d).

Movimentos Verticais

A atuação e a interação da Alta da Bolívia, do VCAN e do Cavado do Nordeste observada nos campos sinóticos de 200 hPa, favoreceu o escoamento difluente, que por sua vez, favoreceu a divergência de massa na maioria dos casos (APÊNDICE F). Esta divergência favoreceu os movimentos ascendentes, observados nos campos de velocidade vertical. Os movimentos ascendentes foram de fortes (0,25 a 0,3) a moderados (0,15 a 0,2) (Figura 22a). Em 1000 hPa ocorreram movimentos descendentes do ar sobre a região de estudo (Figura 22b). A subsidência favorece o afundamento do ar, acúmulo de umidade em baixos níveis e as formações de névoas e nevoeiros.

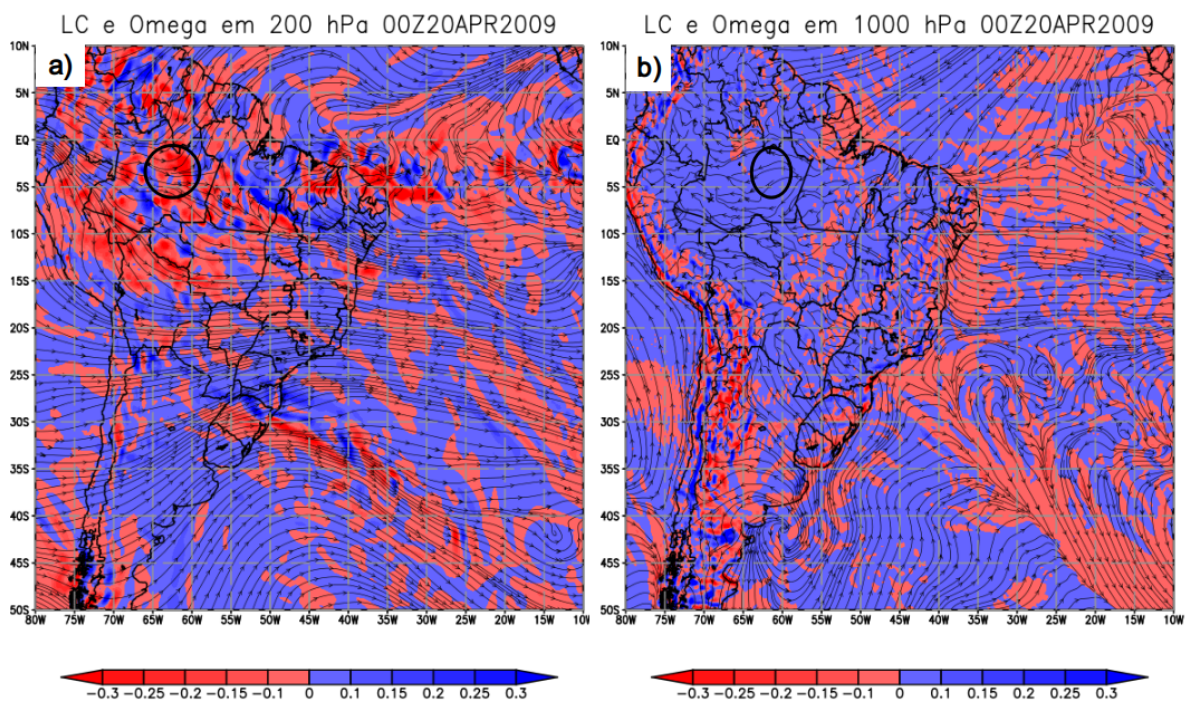


Figura 22: Campos de linhas de corrente e ômega em 200 hPa (a) e 1000 hPa (b). Círculo vermelho: região de Manaus-AM.

Exemplo Estação Chuvosa

Uma ilustração do comportamento comumente observado nas ocorrências de nevoeiro no período chuvoso pode ser vista na Figura 23. Em 200 hPa (Figura 23a), pode-se observar uma circulação anticiclônica característica da Alta da Bolívia (círculo tracejado vermelho) e um cavado sobre a região nordeste se estendendo até o hemisfério norte. A interação destes dois sistemas gerou difluência sobre a região norte, sobre Manaus. Nos níveis mais baixos (Figura 23b e Figura 23c) os sistemas perdem a configuração, mas ainda podem ser observadas regiões de divergência devido ao escoamento do HN. A divergência observada contribuiu para os movimentos ascendentes em 200 hPa (Figura 24a) e subsidentes em 1000 hPa (Figura 24b).

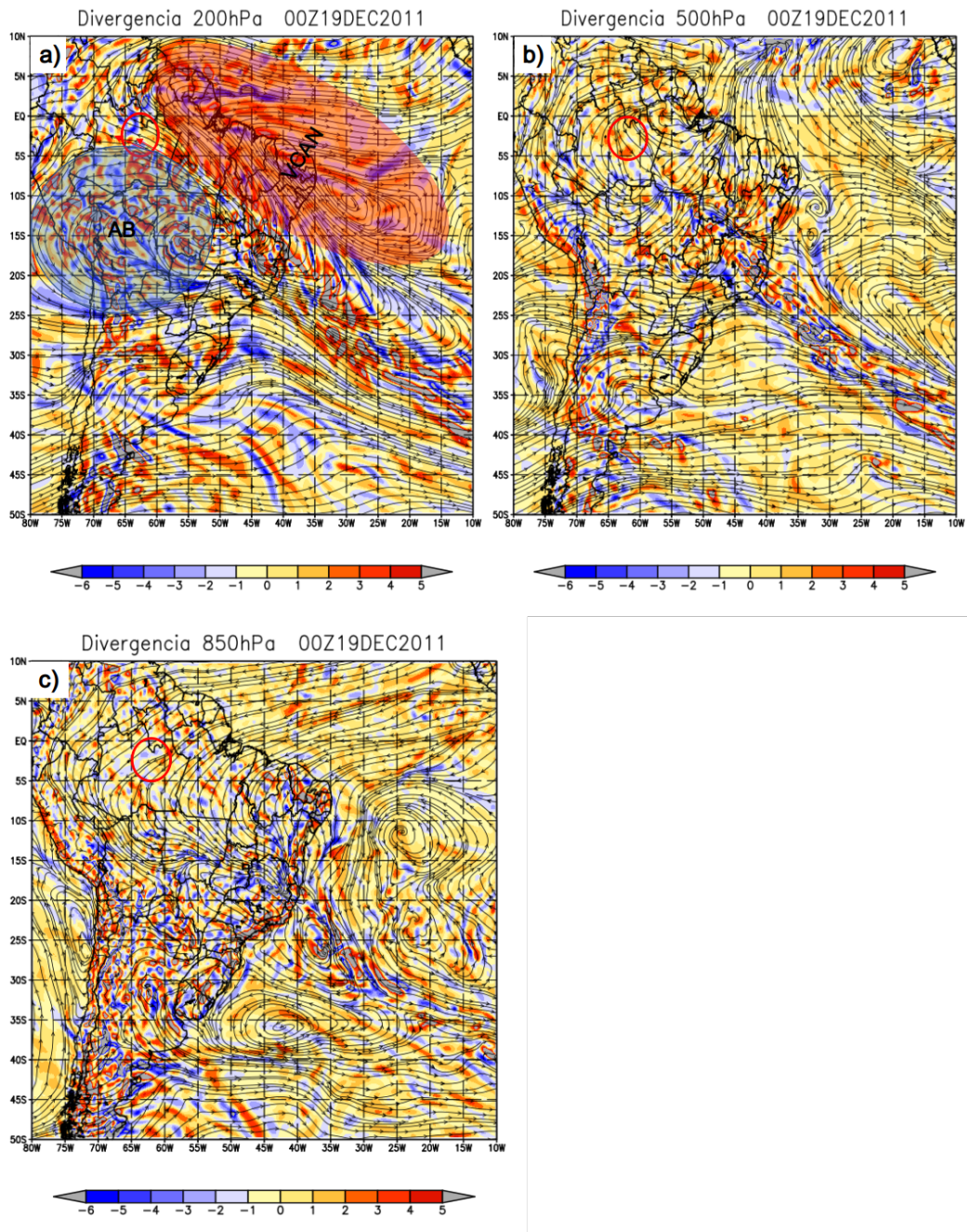


Figura 23: Campos divergência e linhas de corrente para o caso de nevoeiro do dia 19/12/2011. Círculo preto – Manaus-AM; Círculo tracejado vermelho – Alta da Bolívia; Tracejado Preto - Cavado

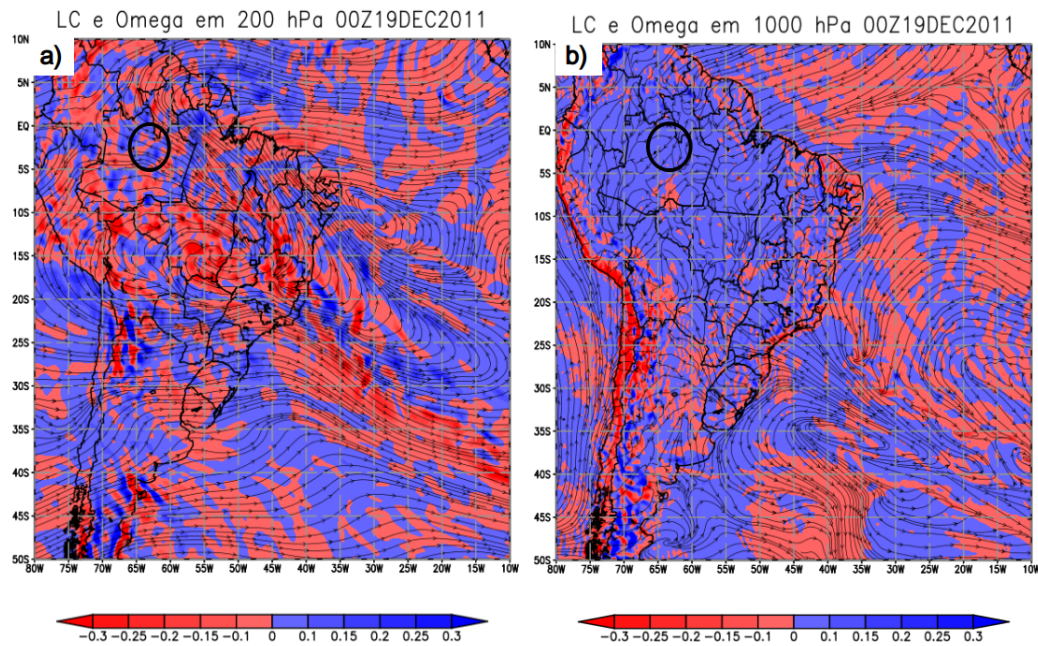


Figura 24: Campos de linhas de corrente e ômega em 200hPa (a) e 1000hPa (b). Círculo vermelho: região de Manaus-AM.

4.3.2 Estação Seca

Circulações e movimentos verticais

As análises de linhas de corrente e divergência em altos níveis mostraram um cenário semelhante à estação chuvosa, com fluxos divergentes na maioria dos casos, totalizando 23 casos com divergência de massa e apenas 7 com convergência (APÊNDICE E).

Os principais sistemas responsáveis pela divergência em 200 hPa foram: anticlones centralizados nas regiões Norte e no Centro Oeste, cavados e vórtices ciclônicos no Nordeste (Figura 25a e Figura 25b), escoamentos zonais de Oeste (Figura 25c) e sistemas do Hemisfério Norte (Figura 25d).

Em 500 hPa, as difluências mantiveram-se devido às circulações envolvidas nos sistemas em altos níveis. Os anticlones e cristas observados no norte e nordeste em 200 hPa, estavam presentes em médios níveis, ainda que mais fracos, favorecendo a circulação difluente (Figura 26). Além destes sistemas, haviam anticlones no Sudeste, Centro Oeste e escoamentos de nordeste ocasionando as difluências.

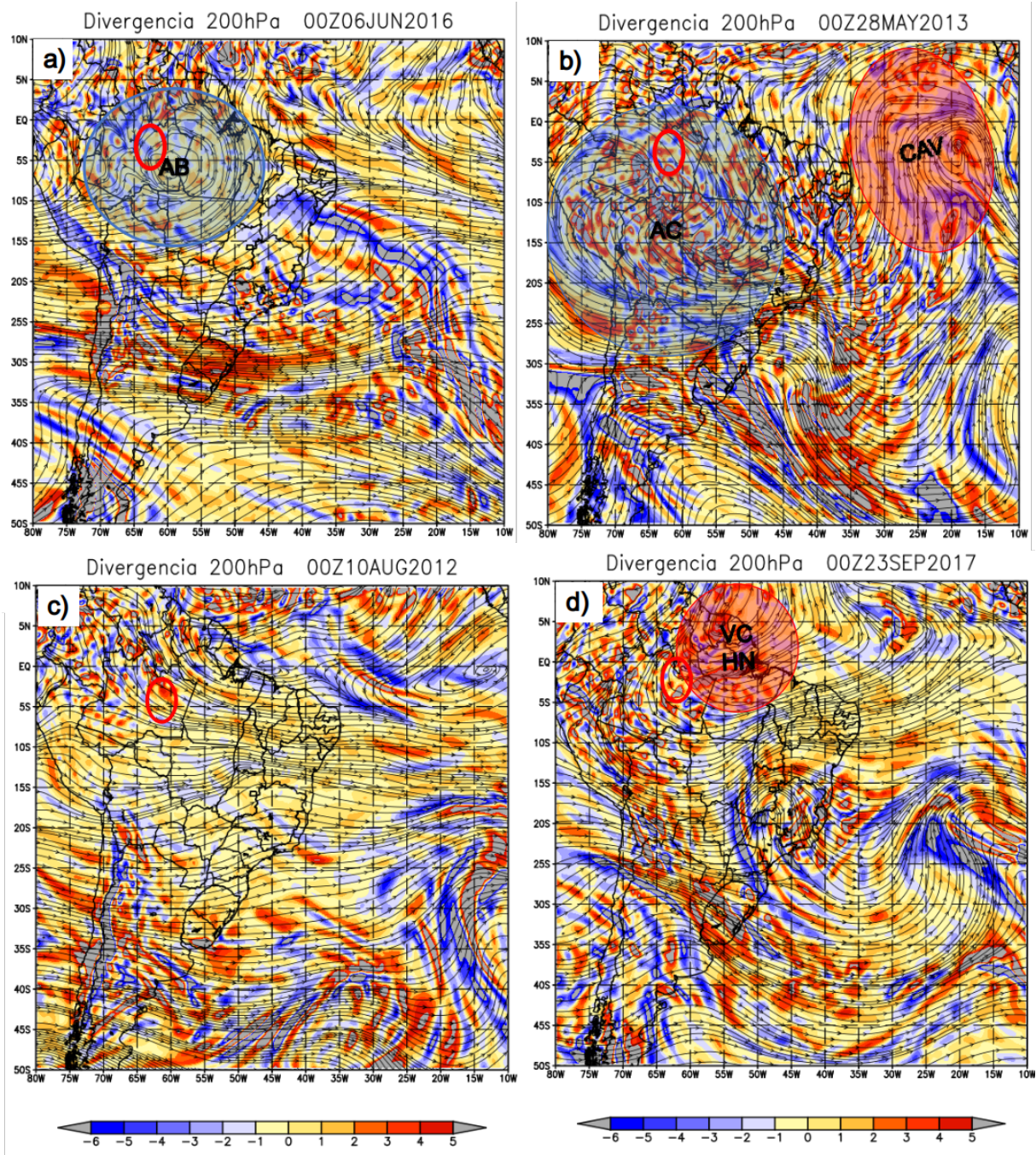


Figura 25: Campos de linhas de corrente e divergência com os principais sistemas sinóticos atuantes da estação seca em 200 hPa. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; AB: Alta da Bolívia; Cav: Cavado; VC HN: Vórtice Ciclônico no Hemisfério Norte.

Interessante destacar que em 850 hPa houve predominância de fluxos divergentes, contrariando a estação chuvosa. Os campos de linhas de corrente mostraram divergência em altos, médios e baixos níveis em 20, de 30 casos estudados (APÊNDICE E). A divergência em superfície foi causada por cristas nas regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste (Figura a-b) e pelos escoamentos de E/NE, também vistos em altos e médios níveis. Esta difluência favorece o afundamento e subsidência do ar na baixa troposfera e os movimentos ascendentes em altos níveis, que podem ser vistos nos campos de ômega (Figura 27c e Figura 27d).

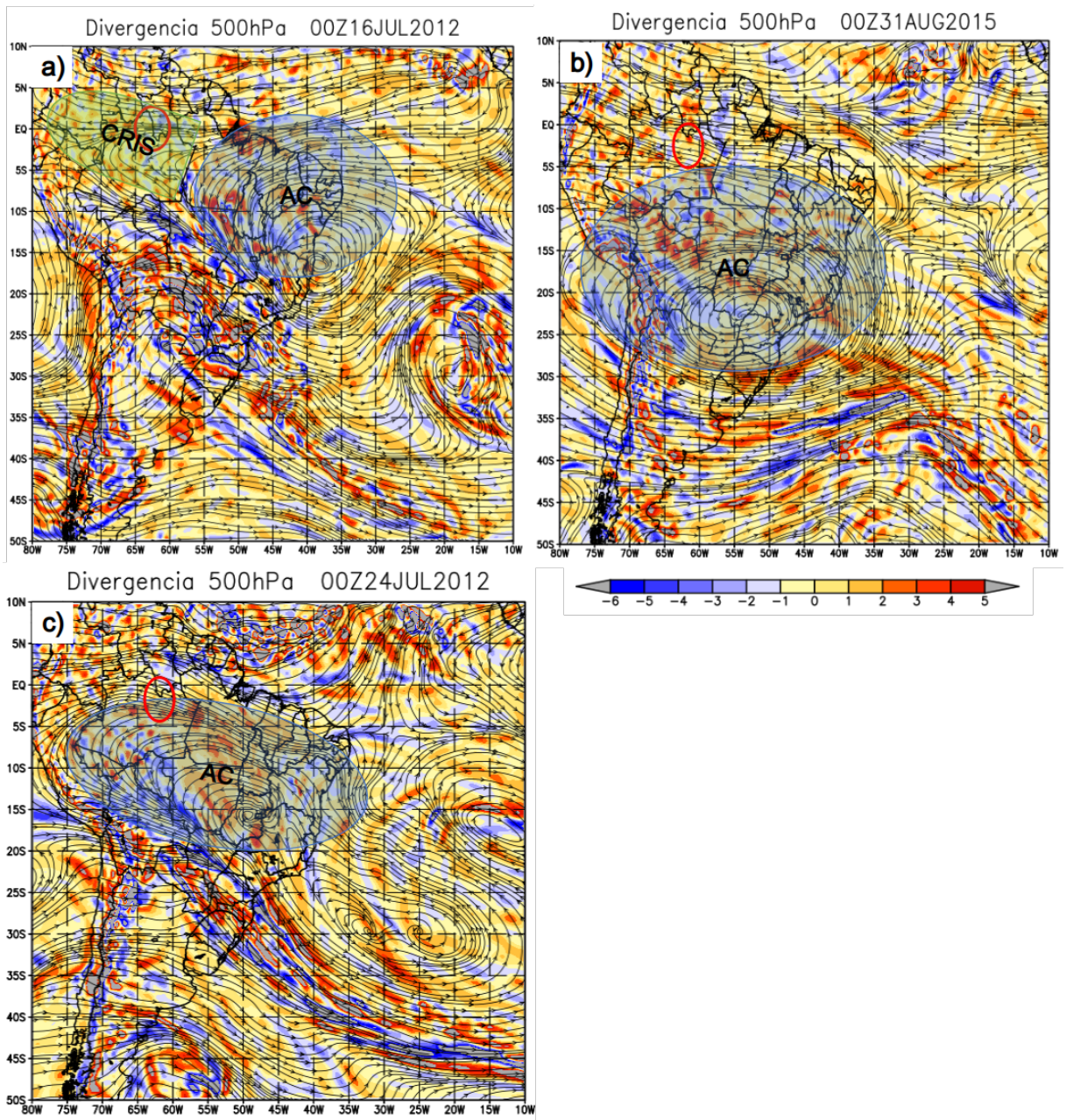


Figura 26: Campos de linhas de corrente e divergência com os principais sistemas sinóticos atuantes da estação seca em 500 hPa. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; AC:Anticlone; CRIS: Crista.

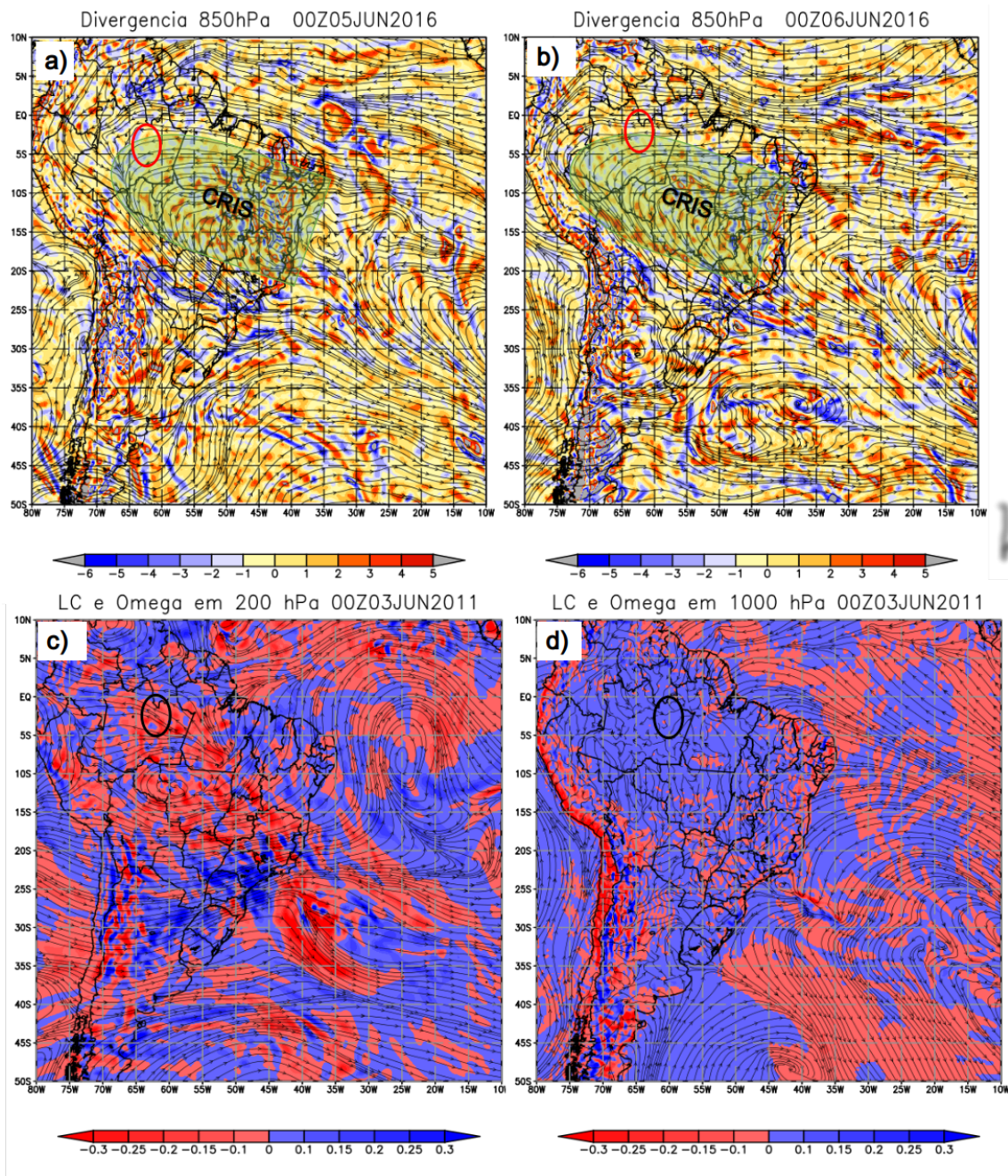


Figura 27: Campos de linhas de corrente, divergência e ômega. Círculo vermelho: região de Manaus-AM; CRIS: Crista.

Exemplo Estação Seca

Os casos de nevoeiro ocorridos na estação seca podem ser representados pelo caso da Figura 28. Em altos níveis (Figura 28a), pode-se observar um vórtice ciclônico centralizado no Hemisfério Norte, influenciando na circulação do norte do Brasil. A periferia deste vórtice gerou fraca difluência sobre Manaus. Em 500 hPa (Figura 28b), o vórtice perde intensidade, porém uma grande circulação anticiclônica sobre o Centro Oeste e Sudeste continuou provocando difluência na região. Em 850 hPa (Figura 28c), a circulação perdeu a configuração, mas pode ser visualizada causando fraca divergência. Esta divergência está relacionada aos movimentos ascendentes em 200 hPa e descendentes em 1000 hPa (Figura 29a e Figura 29b).

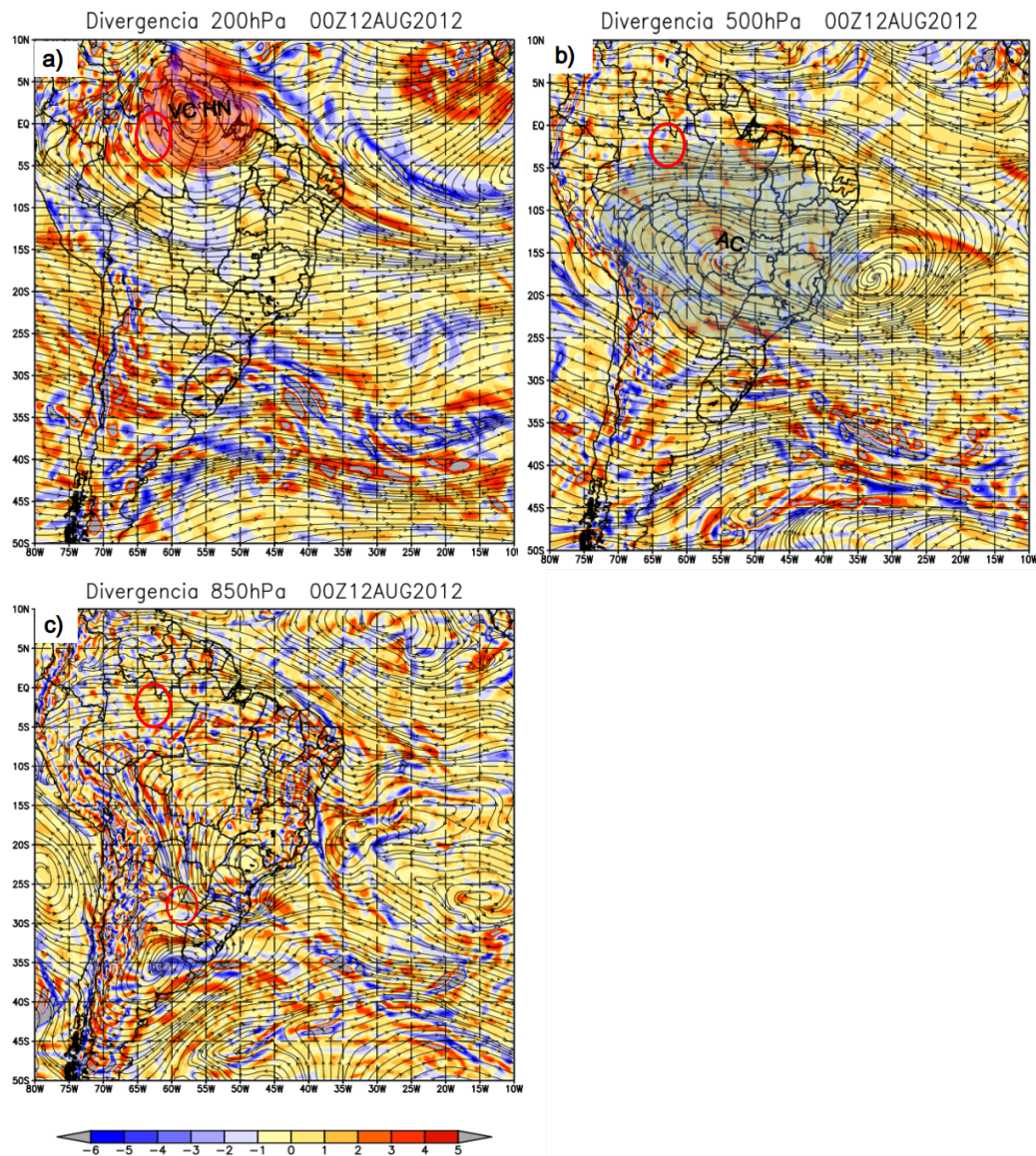


Figura 28: Campos de divergência e linhas de corrente para o caso de nevoeiro do dia 12/08/2012 (Estação Seca). Círculo vermelho: Manaus-AM; VC HN: Vórtice Ciclônico no HN; AC: Anticiclone.

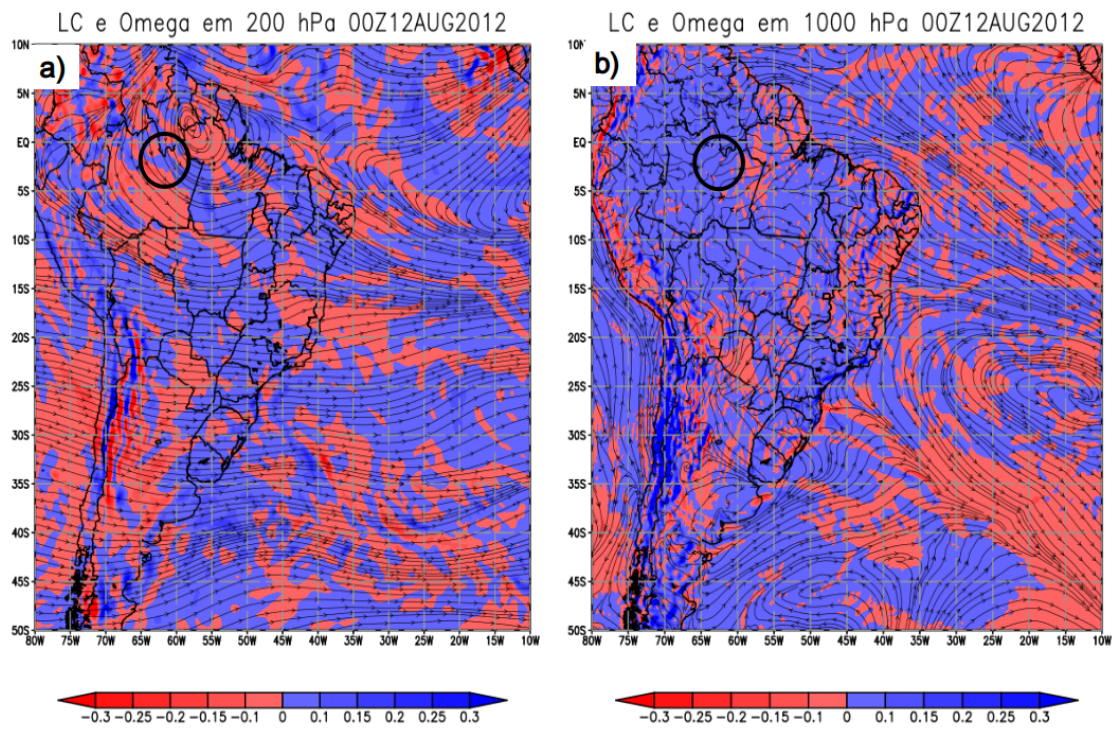


Figura 29: Campos de linhas de corrente e ômega para o caso de nevoeiro do dia 12/08/2012 (Estação Seca). Círculo preto: Manaus-AM.

Síntese da Análise Sinótica

Interessante observar que, de um modo geral, os nevoeiros se formam em Manaus sob condições diferentes das observadas nos estudos de latitudes extratropicais. Os estudos de Fedorova *et.al.* (2008), mostraram que nos extratropicos os nevoeiros se formaram principalmente durante o inverno e, na maioria dos casos, sob influência de uma alta baroclínica ou crista em superfície. Estes sistemas provocaram divergência em superfície e movimentos subsidentes, favorecendo a formação de névoas e nevoeiros.

Em Manaus, região tropical, os nevoeiros se formaram durante todo o ano por conta da influência local da floresta Amazônica. Ademais, foi observado que os nevoeiros se desenvolveram tanto sob condições de instabilidade, quanto de estabilidade atmosférica. Os casos da estação chuvosa mostraram a presença de divergência de massa em altos níveis e convergência nos níveis mais baixos da troposfera. Estes processos contribuíram com o acúmulo de umidade em superfície e com a formação de nuvens de convectivas. Deste modo, a ocorrência das chuvas provocadas pela atividade convectiva em decorrência da divergência em altos níveis, aumenta a umidade já existente na região tropical, potencializando os processos de formação dos nevoeiros.

Durante a estação seca, a atuação de anticiclones provocou difluência em todos os níveis da atmosfera e movimentos subsidentes em superfície. A subsidência resultante da atuação dos anticiclones em conjunto com a convergência de umidade pelo fluxo zonal de leste, foram os principais fatores contribuintes para as formações dos nevoeiros. Com a diminuição das chuvas no período seco, somente a umidade da floresta não seria suficiente para que os nevoeiros se formassem.

Embora o estudo sinótico seja importante para a compreensão dos processos de formação dos nevoeiros, os processos locais e em superfície são os fatores preponderantes para o desenvolvimento do fenômeno. As figuras citadas nesta seção são apenas exemplos das situações sinóticas mais comuns observadas nas análises. O acervo total encontra-se nos ANEXOS C-M.

4.4 Análise do Modelo PAFOG

O modelo PAFOG foi utilizado a fim de verificar sua previsibilidade na região norte, mais especificamente em Manaus. A análise do desempenho de um modelo de previsão de nevoeiro como o PAFOG no norte do Brasil é extremamente importante, tendo em vista a deficiência de estudos sobre previsão de nevoeiros na região. Para avaliar a previsibilidade do PAFOG os critérios utilizados foram:

- Previsão SATISFATORIA: quando o modelo conseguir prever 50% ou mais dos casos;
- Previsão INSATISFATORIA: quando os casos previstos forem menor que 50%.

Além da previsibilidade, o PAFOG também foi avaliado pela qualidade das previsões realizadas. Para este estudo, a avaliação da qualidade das previsões foi realizada a partir dos valores da visibilidade/intensidade previstos em comparação com os valores observados. A classificação foi feita da seguinte forma:

- Excelente: quando o nevoeiro observado e previsto apresentarem a mesma intensidade (moderado/moderado; forte/forte; fraco/fraco);
- Bom: quando a intensidade do nevoeiro previsto e observado forem próximas (moderado/forte; fraco/moderado);
- Ruim: quando o nevoeiro for observado, mas não for previsto;

Além desta classificação, houve casos em que a previsão se afastou muito dos valores observados, e os nevoeiros fortes foram previstos como fracos.

4.4.1 Análise do desempenho PAFOG quanto a previsibilidade

Estação Seca

A previsibilidade do PAFOG foi mensurada de duas formas: I) Pelo número total de casos previstos; II) Pelo número total de eventos previstos por rodadas executadas. Pelo número total de casos previstos (I), a previsibilidade do modelo PAFOG durante a estação seca foi considerada satisfatória. O modelo realizou previsão do nevoeiro em 80% dos casos, ou seja, dos 30 casos analisados, 24 casos foram previstos em pelo menos uma rodada (Tabela 15).

Quando verificado o número de previsões em relação as rodadas executadas (II), o desempenho do modelo ficou próximo do esperado (50% ou mais), mas não foi considerado satisfatório. Para cada caso foram realizadas 4 rodadas de previsões (24, 18, 12 e 06 horas de antecedência), ou seja, 120 rodadas foram executadas para cada estação, e em 59 delas rodadas o nevoeiro foi previsto (49,16% das rodadas). As previsões bem-sucedidas das 59 rodadas, foram distribuídas da seguinte forma:

- 24 previsões com 06h de antecedência;
- 18 previsões com 12h de antecedência;
- 11 previsões com 18h de antecedência;
- 8 previsões com 24h de antecedência.

Em uma análise geral, pode-se concluir que a previsibilidade do PAFOG no período seco foi considerada satisfatória, contudo, o modelo é mais eficiente em rodadas com horas de antecedência, ou seja, nos horários mais próximos da ocorrência do nevoeiro.

Tabela 15: Dados de visibilidade observada e visibilidade prevista pelo modelo PAFOG, para as rodadas de 24, 18, 12 e 06 horas de antecedência (Estação Seca). Os tracinhos (-), representam as rodadas em que o nevoeiro não foi previsto.

| Casos | Vis. Obs(m) | Prev.24h | Prev. 18h | Prev.12h | Prev. 6h |
|------------|-------------|----------|-----------|----------|----------|
| 20/06/2010 | 100 | - | - | 726.7 | 930.2 |
| 07/05/2010 | 200 | - | - | 535.2 | 674.2 |
| 29/05/2010 | 300 | - | - | - | 254.6 |
| 04/09/2011 | 200 | - | - | - | - |
| 07/07/2011 | 300 | - | - | - | - |
| 03/06/2011 | 400 | - | 940.2 | 985.3 | 726.4 |
| 16/07/2012 | 150 | 236.2 | 154.4 | 75.6 | 98.0 |
| 17/07/2012 | 100 | - | 852.4 | 944.3 | 721.5 |
| 03/09/2012 | 100 | 54 | 128.5 | 254.3 | 657.8 |
| 14/07/2012 | 200 | 85.7 | 132.4 | 158.6 | 347.2 |
| 24/07/2012 | 200 | - | - | - | 859.5 |
| 12/08/2012 | 350 | - | - | 685,9 | 598,4 |
| 10/08/2012 | 400 | - | 148.20 | 587.4 | 456.24 |
| 09/05/2013 | 400 | - | - | 847.6 | 975.1 |
| 28/05/2013 | 400 | - | 528.4 | 569.4 | 784.0 |
| 29/07/2013 | 400 | - | - | - | 963,8 |
| 06/09/2013 | 400 | 841.8 | - | 652.7 | 758.1 |
| 31/05/2014 | 200 | - | - | 965.4 | 894.2 |
| 16/08/2014 | 200 | - | - | 524.1 | 875.4 |
| 11/07/2014 | 200 | - | - | - | - |
| 27/06/2014 | 300 | - | - | - | 932.0 |
| 26/07/2015 | 300 | - | - | - | - |
| 31/08/2015 | 500 | - | 987.0 | 894.2 | 754.6 |
| 05/06/2016 | 400 | - | - | - | - |
| 06/06/2016 | 500 | - | - | - | - |
| 23/09/2017 | 400 | - | 247.9 | - | 594.4 |
| 30/09/2017 | 500 | 658.5 | 563.0 | 798.6 | 854.4 |
| 29/05/2018 | 100 | 542.2 | 358 | 247 | 78.4 |
| 28/08/2018 | 400 | - | - | - | 568.7 |
| 07/09/2018 | 400 | - | - | 259 | 369 |
| TOTAL | 30 | 06 | 11 | 18 | 24 |

Estação Chuvosa

Na estação chuvosa, a performance do modelo PAFOG na análise geral (I) foi ainda mais satisfatória, com um total de 29 casos previstos (96,7%), sem interrupções (Tabela 2). Em relação as previsões por rodadas executadas (II), a previsibilidade foi considerada satisfatória. De 120 rodadas totais, o nevoeiro foi previsto em 76 (63,3%). Assim como na estação seca, a eficiência do PAFOG foi melhor nas rodadas de 06 e 12h. Na Tabela 1 é possível visualizar que, nas 30 rodadas realizadas com 06 horas de antecedência, em 29 o nevoeiro foi previsto, e para as mesmas 30 rodadas, dessa vez com de 12h de antecedência, em 25 foi obtida a previsão do fenômeno.

Tabela 16: Dados de visibilidade observada e visibilidade prevista pelo modelo PAFOG, para as rodadas de 24, 18, 12 e 06 horas de antecedência (Estação Chuvosa). Os tracinhos (-), representam as rodadas em que o nevoeiro não foi previsto.

| Casos | Vis. Obs(m) | Prev.24h | Prev. 18h | Prev.12h | Prev. 6h |
|------------|-------------|----------|-----------|----------|----------|
| 16/11/2009 | 150 | - | - | 486.7 | 725.5 |
| 16/04/2009 | 350 | - | - | - | 985.2 |
| 01/03/2009 | 400 | - | - | 889.3 | 974.6 |
| 25/03/2009 | 350 | - | 742.3 | 847.3 | 756.4 |
| 20/04/2009 | 300 | - | 941.2 | 987.4 | 952.7 |
| 23/02/2010 | 500 | 685.4 | - | 774 | 852.3 |
| 17/02/2010 | 300 | - | - | 529.6 | 825.3 |
| 03/04/2010 | 300 | - | - | - | - |
| 06/01/2010 | 400 | - | 548.9 | 425.2 | 85.2 |
| 27/02/2010 | 700 | 553.6 | 745.6 | 687.2 | 254.7 |
| 26/03/2011 | 200 | 769.8 | 485.3 | 657.3 | 586.6 |
| 19/12/2011 | 500 | - | - | - | 875.3 |
| 24/04/2012 | 100 | - | 874.3 | 895.6 | 741.3 |
| 27/04/2012 | 50 | 254.2 | 65.3 | 89.3 | 356.4 |
| 29/04/2012 | 100 | 755.6 | 258.7 | 97.2 | 125.8 |
| 05/04/2012 | 100 | - | 682.2 | 745.2 | 874 |
| 24/01/2012 | 500 | 854.6 | - | 897.2 | 954.2 |
| 10/01/2012 | 500 | - | - | 412.6 | 978.3 |
| 25/02/2012 | 300 | - | - | - | 746.3 |
| 07/04/2012 | 300 | 587.2 | 445.9 | 498.5 | 387.7 |
| 08/04/2012 | 300 | - | 845.9 | 985.1 | 987.7 |
| 02/12/2013 | 300 | - | 847.2 | 687.1 | 557.9 |
| 23/11/2013 | 500 | - | - | 687.3 | 721.5 |
| 04/06/2014 | 400 | - | - | - | 998.7 |
| 18/04/2014 | 300 | - | - | 815.7 | 748.2 |
| 25/03/2014 | 550 | 845.9 | - | 964.2 | 982.1 |
| 22/04/2015 | 800 | - | - | 625.3 | 987.2 |
| 25/02/2017 | 400 | - | 965.1 | 932.5 | 789.4 |
| 29/01/2017 | 500 | 985.2 | - | 368.7 | 254.3 |
| 04/01/2018 | 500 | - | - | 847.6 | 874.5 |
| TOTAL | 30 | 09 | 13 | 25 | 29 |

4.4.2 Análise do desempenho do PAFOG quanto a qualidade das previsões Estação Seca

Na rodada de 24h de antecedência (Figura 30), a previsão realizada pelo PAFOG foi considerada ruim para 22 casos. Desses 22 casos observados que não foram previstos, 21 foram de nevoeiro moderado e 1 caso de nevoeiro forte. Em 4 casos, a previsão foi considerada boa, com a intensidade do nevoeiro previsto próxima a do nevoeiro observado (Figura 30- cinza claro). Em apenas 2 casos a previsão foi classificada como excelente, com casos observados e previstos na mesma intensidade (moderada e forte), (Figura 30- cinza escuro)

| | | DADOS OBSERVADOS | | | | | |
|-----------------------|----------|---|-----|-------|-------------|----------------------------|-------|
| | | NEVOEIRO | NIL | FRACO | MODERADO | FORTE | TOTAL |
| MODELO PAFOG - 24H | NIL | | | | *22 | 20/06/2010; 17/07/2012; | 24 |
| | FRACO | | | | 06/09/2013; | | 1 |
| | MODERADO | | | | 30/09/2017; | 16/07/2012; 29/05/2018; | 3 |
| | FORTE | | | | 14/07/2012; | 03/09/2012; | 2 |
| | TOTAL | | 0 | 0 | 25 | 5 | 30 |
| | | *22= 22 casos 07/05/2010;29/05/2010;04/09/2011;07/07/2011;03/06/2011;24/07/2012;12/08/2012; 10/08/2012;09/05/2013;29/07/2013;31/05/2014;16/08/2014;11/07/2014;27/06/2014;26/07/2015;31/08/2015; 05/06/2016;06/06/2016;23/09/2017;28/08/2018;07/09/2018; 28/05/2013; | | | | | |

Figura 30: Desempenho do PAFOG para a rodada de 24h. Nil: ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim

Com 18h de antecedência, o número de previsões ruins baixou para 19, (Figura 31), com 18 casos de nevoeiro moderado e 1 de nevoeiro forte observados e não previstos. Em 4 casos as previsões foram consideradas boas (Figura 31- cinza claro) e em 6 casos os resultados foram considerados excelentes (Figura 31- cinza escuro). Os casos com as previsões excelentes apresentaram intensidades moderada e forte. Em um dos casos analisados, o modelo foi subestimado, e um nevoeiro forte observado foi previsto como nevoeiro fraco (Figura 31 – verde).

| | | DADOS OBSERVADOS | | | | | |
|---|----------|------------------|-----|-------|---|----------------------------|-------|
| | | NEVOEIRO | NIL | FRACO | MODERADO | FORTE | TOTAL |
| MODELO PAFOG - 18H | NIL | | | | *18 | 20/06/2010; | 19 |
| | FRACO | | | | 03/03/2011; 31/08/2015; | 17/07/2012; | 3 |
| | MODERADO | | | | 28/05/2013; 23/09/2017; 30/09/2017; | 29/05/2018; | 4 |
| | FORTE | | | | 10/08/2012; | 16/07/2011; 03/09/2012; | 4 |
| TOTAL | | 0 | 0 | 24 | 6 | 30 | |
| *18= 18 casos 07/05/2010;29/05/2010;04/09/2011;07/07/2011;24/07/2012;12/08/2012;09/05/2013;29/05/2013;06/09/2013;31/05/2014;16/08/2014;11/07/2014;27/06/2014;26/07/2015;05/06/2016;06/06/2016;28/08/2018;07/09/2018 | | | | | | | |

Figura 31: Desempenho do PAFOG para a rodada de 18h. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim

As rodadas de 12h e 06h foram as quais o modelo obteve o melhor desempenho. Na rodada de 12h de antecedência, a previsão foi ruim para 13 casos de nevoeiro moderado; excelente para 8 casos (Figura 32 – cinza escuro) e boas para 4 casos (Figura 32 – cinza claro). Na rodada de 06h, apenas 6 casos não foram previstos (Figura 33), a previsão foi boa e excelente para um total de 11 casos (Figura 33 – cinza claro; cinza escuro). Nas duas rodadas (12h e 6h), o modelo foi subestimado em dois casos, onde dois eventos fortes foram previstos como fracos.

| | | DADOS OBSERVADOS | | | | | |
|--|----------|------------------|-----|-------|---|---------------------------|-------|
| | | NEVOEIRO | NIL | FRACO | MODERADO | FORTE | TOTAL |
| MODELO PAFOG - 12H | NIL | | | | *13 | | 13 |
| | FRACO | | | | 03/06/2011; 09/05/2013; 31/08/2015; 30/09/2017 | 20/06/2010; 17/07/2012 | 6 |
| | MODERADO | | | | *7 | 03/09/2012; 29/05/2018 | 9 |
| | FORTE | | | | 14/07/12 | 16/07/2012 | 2 |
| TOTAL | | 0 | 0 | 25 | 5 | 30 | |
| *13= 13 casos 29/07/2010;04/09/2011;07/07/2011;11/07/2014;27/06/2014;26/07/2015;05/06/2016;06/06/2016;23/09/2017;28/08/2018; 24/07/2012;09/05/2013;29/07/2013. | | | | | | | |
| *7= 7 casos- 07/05/2010;12/08/2012;10/08/2012;28/05/2013;06/09/2013;16/08/2014;07/09/2018. | | | | | | | |

Figura 32: Desempenho do PAFOG para a rodada de 12h. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim

| | | DADOS OBSERVADOS | | | | |
|--|----------|------------------|-------|----------|----------------------------|-------|
| NEVOEIRO | | NIL | FRACO | MODERADO | FORTE | TOTAL |
| MODELO PAFOG - 06H | NIL | | | *06 | | 6 |
| | FRACO | | | *10 | 20/06/2010; 17/07/2012; | 12 |
| | MODERADO | | | *09 | 03/09/2012; | 10 |
| | FORTE | | | | 16/07/2011; 29/05/2018 | 2 |
| TOTAL | | 0 | 0 | 25 | 5 | 30 |
| <p>*06= 06 casos 04/09/2011;07/07/2011;11/07/2014; 26/07/2015;05/06/2016;05/06/2016;</p> <p>*10=10 casos 03/06/2011;27/06/2014;30/09/2018;24/07/2012;28/05/2013;29/07/2013;06/09/2013;31/05/2014 16/08/2014;31/08/2015.</p> <p>*09= 9 casos 07/05/2010;29/05/2010;14/07/2012;12/08/2012;10/08/2012;09/05/2013;23/09/2017;28/08/2018; 07/09/2018.</p> | | | | | | |

Figura 33: Desempenho do PAFOG para a rodada de 06h. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim

Estação Chuvosa

A avaliação da qualidade das previsões realizadas, pelo modelo PAFOG, nos casos da estação chuvosa, mostraram resultados semelhantes aos da estação seca. A rodada de 24h de antecedência foi a que obteve mais previsões ruins, com 21 casos não previstos, sendo eles 18 moderados e 3 fortes (Figura 34). Dos casos previstos, 4 apresentaram excelentes previsões, com intensidade moderada observada e prevista (Figura 34 – cinza escuro). A previsão foi classificada como boa para 4 casos (Figura 34 – cinza claro), e em apenas um caso a previsão foi subestimada, (Figura 34 – verde). Neste caso, a intensidade observada foi forte e a prevista foi fraca.

| | | DADOS OBSERVADOS | | | | |
|---|--------------|------------------|----------|---|--|-----------|
| | NEVOEIRO | NIL | FRACO | MODERADO | FORTE | TOTAL |
| MODELO PAFOG - 24H | NIL | | | *18 | 16/11/2009; 24/04/2012; 05/04/2012 | 21 |
| | FRACO | | | 24/01/2012; 25/03/2014; 29/01/2017 | 29/04/2012; | 4 |
| | MODERADO | | | 23/02/2010; 27/02/2010; 26/03/2011; 07/04/2012 | 27/04/2012; | 5 |
| | FORTE | | | | | |
| | TOTAL | 0 | 0 | 25 | 5 | 30 |
| *18 = 18 casos 16/04/2009;01/03/2009;25/03/2009;20/04/2009;17/02/2010;03/04/2010; 06/01/2010;19/12/2011;10/01/2012;25/02/2012;08/04/2012;02/12/2013;23/11/2013;04/06/2014;18/0 4/2014;22/04/2015;25/02/2017;04/01/2018; | | | | | | |

Figura 34: Desempenho do PAFOG para a rodada de 24h - estação chuvosa. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim

Com 18h de antecedência o modelo deixou de prever 16 casos, sendo 15 moderados e 1 forte (Figura 35), classificando a previsão como ruim. Em 4 casos a previsão foi vista como excelente, com 3 casos de intensidade moderada e 1 de intensidade forte previstos e observados. Foram 5 os casos com previsões subestimadas pelo modelo na rodada de 18h de antecedência e, em todos, a intensidade do nevoeiro foi forte enquanto a previsão foi de nevoeiro fraco (Figura 35).

| | | DADOS OBSERVADOS | | | | |
|---|----------|------------------|-------|---|----------------------------|-------|
| | NEVOEIRO | NIL | FRACO | MODERADO | FORTE | TOTAL |
| MODELO PAFOG -18H | NIL | | | *15 | 16/11/2009; | 16 |
| | FRACO | | | 25/03/2009; 20/04/2009; 27/02/2010; | *5 | 8 |
| | MODERADO | | | 06/01/2010; 26/03/2011; 07/04/2012; | 29/04/2012; 05/04/2012; | 5 |
| | FORTE | | | | 27/04/2012; | 1 |
| | TOTAL | 0 | 0 | 21 | 9 | 30 |
| *15= 15 casos 16/04/2009;01/03/2009;23/02/2010;17/02/2010;03/04/2010;19/12/2011;24/01/2012; 10/01/2012;25/02/2012;04/06/2014;18/04/2014;25/03/2014;22/04/2015;29/01/2017;04/01/2018; *5=5 casos 24/04/2012;08/04/2012;02/12/2013;23/11/2013;25/02/2017; | | | | | | |

Figura 35: Desempenho do PAFOG para a rodada de 18h - estação chuvosa. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim

Assim como foi visto na estação seca, os melhores resultados do PAFOG foram nas rodadas de 12 e 06h de antecedência. Em relação aos casos com previsões ruins, a rodada de 06h foi melhor do que a de 12h, com apenas 2 casos contra 5 casos não previstos (Figura 36 e Figura 37). Contudo, o número de casos com previsões excelentes foi maior na rodada de 12h, sendo 10 casos moderados e 2 fortes, totalizando 12 excelentes previsões (Figura 37 – cinza escuro). Ainda na rodada de 12h, em 11 casos a previsão foi classificada como boa (Figura 37 – cinza claro) e apenas em 2 casos o modelo foi subestimado (Figura 37 – verde). Na rodada de 06h, 5 casos moderados apresentaram excelente previsão (Figura 36 – cinza escuro) e em 3 casos de nevoeiro forte a previsão foi subestimada pelo modelo com fraca (Figura 36 - verde). Na maioria dos casos analisados com 06h de antecedência, a previsão foi classificada como boa (20 casos, Figura 36 – cinza claro).

| | | DADOS OBSERVADOS | | | | |
|--|--------------|------------------|----------|-----------|----------------------------|-----------|
| | NEVOEIRO | NIL | FRACO | MODERADO | FORTE | TOTAL |
| MODELO PAFOG - 12H | NIL | | | *5 | | 5 |
| | FRACO | | | *10 | 24/04/2012; 05/04/2012; | 12 |
| | MODERADO | | | *10 | 16/11/2009; | 11 |
| | FORTE | | | | 27/04/2012; 29/04/2012; | 2 |
| | TOTAL | 0 | 0 | 25 | 5 | 30 |
| *5 = 5 casos 16/04/2009;03/04/2010;19/12/2011;25/02/2012;04/06/2014; *10=10 casos 01/03/2009;25/03/2009;20/04/2009;23/02/2010;24/01/2012;08/04/2012; 18/04/2014;25/03/2014;25/02/2017;04/01/2018; *10=10 casos 17/02/2010;06/01/2010;27/02/2010;26/03/2011;10/01/2012;07/04/2012; | | | | | | |

Figura 36: Desempenho do PAFOG para a rodada de 12h - estação chuvosa. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim

| | | DADOS OBSERVADOS | | | | |
|---|--------------|------------------|----------|-------------|---|-----------|
| | NEVOEIRO | NIL | FRACO | MODERADO | FORTE | TOTAL |
| MODELO PAFOG - 06H | NIL | | | 03/04/2010; | 29/04/2012; | 2 |
| | FRACO | | | *18 | 16/11/2009; 24/04/2012; 05/04/2012; | 21 |
| | MODERADO | | | *5 | 27/04/2012; | 6 |
| | FORTE | | | 06/01/2010; | | 1 |
| | TOTAL | 0 | 0 | 25 | 5 | 30 |
| *18= 18 casos 16/04/2009;01/03/2009;25/03/2009;20/04/2009;23/02/2010;17/02/2010;19/12/2011; 24/01/2012;10/01/2012;25/02/2012;08/04/2012;23/11/2012;04/06/2014;18/04/2014;25/03/2014; 22/04/2015;25/02/2017;04/01/2018; *5= 5 casos 27/02/2010;26/03/2011;07/04/2012;02/12/2013;29/01/2017; | | | | | | |

Figura 37: Desempenho do PAFOG para a rodada de 06h - estação chuvosa. Nil:ausência de nevoeiro; Cinza claro: previsão boa; Cinza escuro: previsão excelente; Verde: previsão ruim

Síntese PAFOG

O modelo PAFOG obteve resultados satisfatórios em ambas as estações, conseguindo prever 55 casos de nevoeiro, dos 60 analisados. O PAFOG foi mais eficiente para as rodadas de 06 e 12h, seguidas das rodadas de 18 e 24h de antecedência. Deste modo, pode-se concluir que a previsão com PAFOG é mais eficiente nas rodadas próximas do horário de ocorrência do nevoeiro.

A qualidade da previsão também foi mensurada, e a maioria das previsões realizadas pelo PAFOG nas estações seca e chuvosa foram boas ou excelentes. Os casos da estação seca, das rodadas de 24 e 18h, foram os que obtiveram mais previsões ruins, tendo 22 casos não previstos com 24h de antecedência e 19 casos não previstos com 18h de antecedência. A estação chuvosa foi a que teve os valores observados mais subestimados pelo modelo, quando comparada com a estação seca. Em nenhuma rodada o modelo foi superestimado. O melhor desempenho do PAFOG foi nas rodadas de 06 e 12 horas de antecedência. Em ambas as estações, o maior número de casos previstos e a maioria das previsões excelentes realizadas pelo PAFOG foram nos horários de 06 e 12 horas antes da ocorrência do nevoeiro.

Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que o PAFOG alcançou um bom desempenho na região de Manaus, tanto na estação seca quanto na chuvosa. O modelo apresentou melhor previsibilidade e previsões mais confiáveis nas rodadas de 06h e 12h. A boa performance do PAFOG pode estar relacionada com as condições locais, já que o norte é caracterizado pela alta umidade relativa e alto índice pluviométrico. A umidade pode ter sido fator importante em conjunto com os dados de temperatura e nebulosidade, inseridos na inicialização do modelo.

4.5 Método Operacional de previsão de Nevoeiro

O processo de formação do nevoeiro demanda de condições que variam conforme a região. O estudo realizado por Fedorova *et. al.* (2015), por exemplo, mostrou que a ocorrência de nevoeiros na região nordeste e na região sul, apresentam fatores distintos em seu processo de formação. Análises sobre a formação de nevoeiro em diferentes regiões, facilitam a compreensão dos fatores locais que influenciam o desenvolvimento do fenômeno.

O norte do Brasil sofre com a escassez de pesquisas sobre formações de nevoeiro, o que dificulta o seu prognóstico e conseqüentemente a mitigação dos impactos operacionais. A fim de melhorar as previsões de nevoeiro na região norte, foi criado um método de previsão operacional de nevoeiro para a estação seca e para a estação chuvosa de Manaus, com base nas condições em superfície, condições termodinâmicas e condições sinóticas (Figura 38 e Figura 39).

Este Método de previsão de nevoeiro foi o primeiro a ser desenvolvido para Manaus, sendo um método completo composto por diversas etapas. Cada etapa deste método leva em consideração o comportamento das variáveis de superfície e altitude, assim como os sistemas atuantes durante as formações de Nevoeiro. Com posse deste método, o previsor meteorologista poderá compará-lo com as condições atuantes e verificar a possibilidade de formação de névoas e nevoeiros. A principal vantagem deste método, além de aprimorar a forma de se prever nevoeiros, é o auxílio nas tomadas de decisão na área operacional.

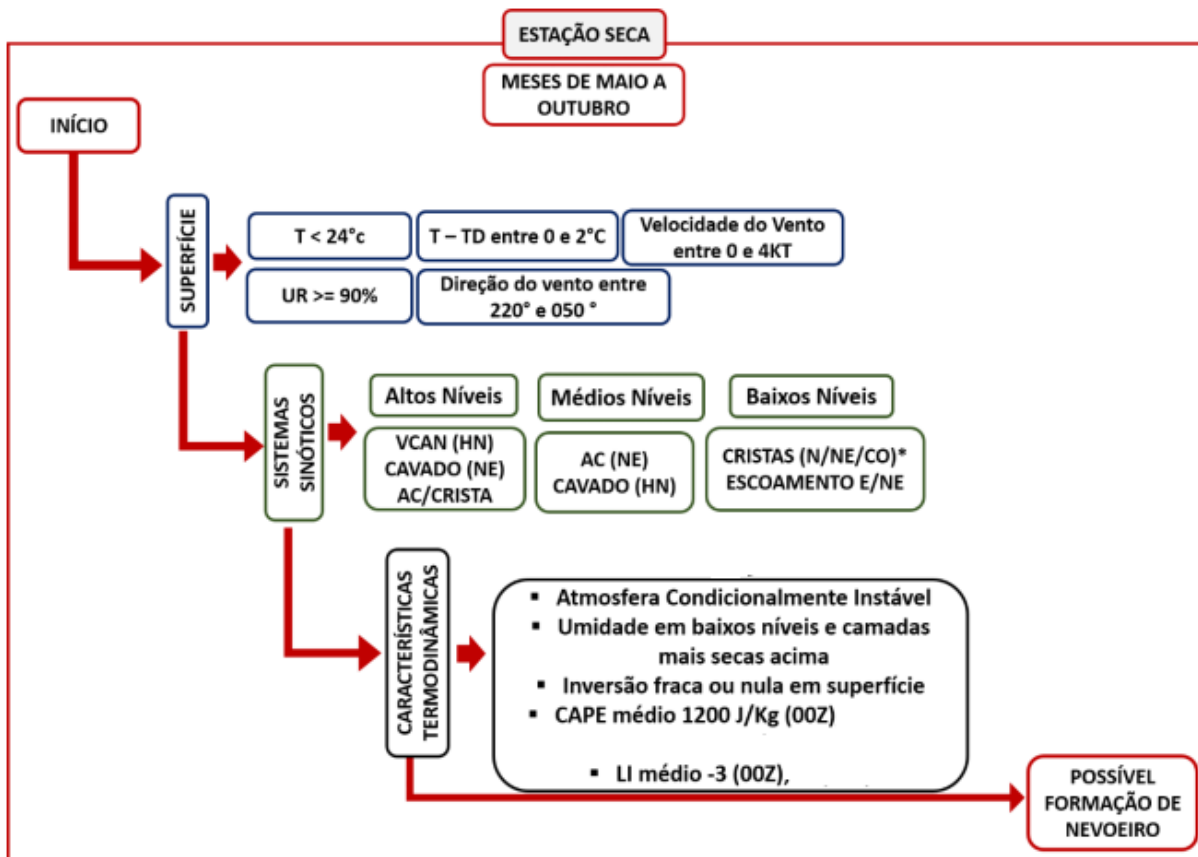


Figura 38: Método Operacional de previsão de Nevoeiro - Manaus/Estação Seca. T – Temperatura do ar; TD – Temperatura do ponto de orvalho; UR-umidade relativa; VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis; AC- Anticiclone; N- Norte; NE- Nordeste; CO- Centro Oeste; CAPE- Energia Potencial de Convectiva Disponível; LI- Índice de Levantamento.

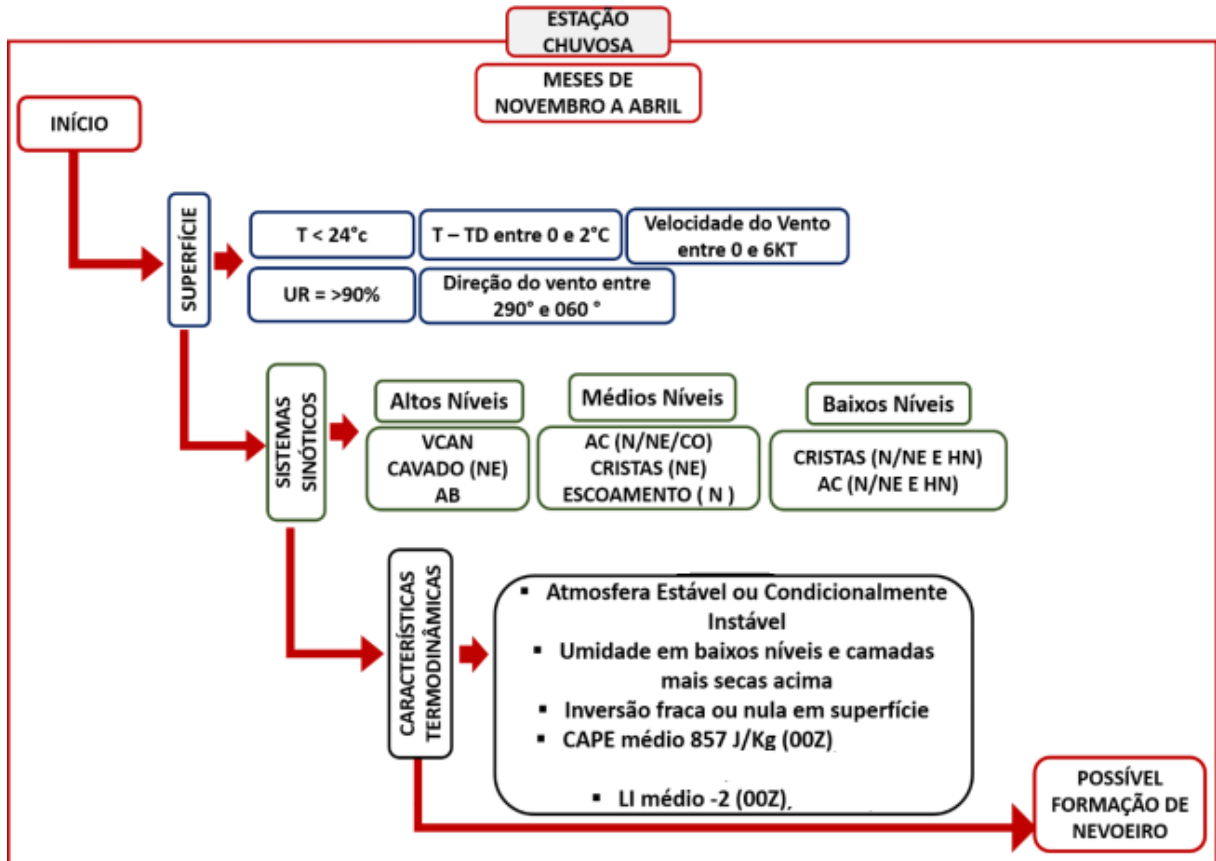


Figura 39: Método Operacional de previsão de Nevoeiro- Manaus/Estação Chuvosa. T – Temperatura do ar; TD – Temperatura do ponto de orvalho; UR-umidade relativa; VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis; AB- Alta da Bolívia; AC- Anticiclone; N- Norte; NE- Nordeste; CO- Centro Oeste; CAPE- Energia Potencial de Convectiva Disponível; LI- Índice de Levantamento.

5 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

5.1 Conclusões

Entre 2009-2018, foram identificados 741 casos de nevoeiro em Manaus-AM, sendo 733 no Aeroporto Internacional Eduardo Gomes e apenas 8 no Aeroporto Ponta Pelada. Os 60 casos mais intensos de Eduardo Gomes foram selecionados e separados em estação seca e estação chuvosa. Em Ponta Pelada, todos os 8 casos registrados foram estudados. As análises desenvolvidas foram 1) Análise de Superfície; 2) Análise Termodinâmica; 3) Análise Sinótica e 4) Análise do modelo PAFOG. Devido a proximidade dos aeroportos e a grande diferença entre o número de casos, as análises 2, 3 e 4 foram realizadas para Manaus de forma geral, em uma área abrangendo os dois aeroportos.

Análise de Superfície - Aeroporto Eduardo Gomes

Não houve influência efetiva da sazonalidade nos processo de formação dos nevoeiro em Eduardo Gomes. A Umidade relativa e a depressão do ponto de orvalho, principais variáveis envolvidas na formação do nevoeiro, apresentaram valores entre 94 e 100% (umidade relativa) e 0 e 2°C (depressão do ponto de orvalho) em ambas estações. A ocorrência de precipitação antes dos eventos tanto na estação seca, quanto na chuvosa, pode ter sido responsável pela não influência da sazonalidade.

As formações de nevoeiro sob alto teor de umidade e elevadas temperaturas mostraram que o processo de saturação em Manaus não necessita de um acentuado resfriamento, podendo ocorrer somente pelo acréscimo de vapor d'água.

A direção predominante do vento foi de N/NW e velocidade entre 00 e 04 KT.

Análise de Superfície - Aeroporto Ponta Pelada

As variáveis analisadas individualmente mostraram um cenário menos favorável à formação do nevoeiro em Ponta Pelada, contudo, as condições médias dos dois aeroportos foram similares. A temperatura e a depressão do ponto de orvalho médio foram de 25°C e 02°C, respectivamente, com a umidade também variando entre 94 e 100%, e ocorrência de precipitação antes de todos os casos. O vento foi a única variável com diferença significativa. A direção do vento em Ponta Pelada variou entre N/NE, com componentes no setor W (Oeste), S (Sul), SE (Sudeste) e SW (Sudoeste). A direção do vento pode ter tido influência na diferença de frequência de casos de nevoeiro entre os aeroportos, além da localização de ambos.

Análise Termodinâmica

Os perfis verticais de temperatura e umidade em Manaus, foram semelhantes aos perfis construídos para Maceió-AL, nos estudos de Fedorova *et.al.*, (2008), e Fedorova *et.al.*, (2015). As semelhanças observadas se dão pelo fato de pertencerem às latitudes tropicais. O perfil termodinâmico padrão encontrado para a maioria das formações de nevoeiro em Manaus, para as duas estações (seca e chuvosa), foram :

- Camada úmida superficial;
- Instabilidade condicional;
- Camadas mais secas e subsidência nos níveis médios e superiores ;
- Ausência de inversão térmica;
- Nuvens stratus em baixos níveis e altocumulus em médios níveis;
- Fraco potencial de convecção e leve instabilidade.

No aspecto termodinâmico, a sazonalidade influenciou na umidade das camadas da atmosfera. Os perfis verticais mostraram mais umidade nos casos da estação chuvosa e uma atmosfera mais seca durante a estação seca.

Análise Sinótica

Os casos da estação chuvosa mostraram presença de divergência de massa em altos níveis e convergência nos níveis mais baixos da troposfera. Estes processos contribuíram com o acúmulo de umidade em superfície e com a formação de nuvens convectivas. Os principais sistemas atuantes foram os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, Cavados do Nordeste e Alta da Bolívia, além da interação de Vórtices Ciclônicos do Hemisfério Norte.

Durante a estação seca, a subsidência resultante da atuação dos anticlones em conjunto com a convergência de umidade pelo fluxo zonal de leste, foram os principais fatores contribuintes para as formações dos nevoeiros.

Análise PAFOG

O modelo PAFOG alcançou um bom desempenho na região de Manaus, tanto na estação seca, quanto na estação chuvosa, com melhor previsibilidade e previsões mais confiáveis nas rodadas de 06h e 12h.

A boa performance do PAFOG pode estar relacionada com as condições locais, já que o norte é caracterizado pela alta umidade relativa e alto índice pluviométrico. A umidade pode ter sido fator importante em conjunto com os dados de temperatura e nebulosidade, inseridos na inicialização do modelo.

Método Operacional de previsão

Com os resultados obtidos, foi possível desenvolver um método de previsão operacional para as formações de nevoeiro Manaus (estação seca e estação chuvosa). Não se tem conhecimento de estudos detalhados e de métodos de previsão de nevoeiro para a região Norte, mais especificamente Manaus. O modelo irá auxiliar na previsão e mitigação dos impactos deste fenômeno de baixa visibilidade, além de contribuir para o desenvolvimento e melhoria de outros métodos de previsão e pesquisas na região Norte.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Este trabalho contribuiu para a compreensão dos processos de formação de nevoeiro em Manaus e, considerando a escassez de trabalhos na região norte, o estudo será o ponto de partida para o desenvolvimento científico de pesquisas nesta área. Uma das grandes contribuições deste trabalho, além de identificar um elevado número de ocorrência de nevoeiro em Manaus, foi conseguir determinar a influência das variáveis de superfície, dos sistemas sinóticos e dos perfis termodinâmicos nos processos de formação do fenômeno. Mostrar a eficácia do modelo PAFOG em prever nevoeiro também foi muito satisfatório, já que nenhum modelo de previsão havia sido testado antes em Manaus. E todo este estudo permitiu elaborar o primeiro método conceitual de previsão de nevoeiro em Manaus, que vai auxiliar os previsores nas tomadas de decisão e na mitigação dos impactos do nevoeiro no setor operacional.

Embora bastante completo, o estudo mostrou que há alguns pontos a serem investigados, a fim de aumentar o conhecimento sobre a formação de nevoeiro na região norte.:

- Analisar detalhadamente a diferença entre o número de ocorrência de nevoeiro nos dois aeroportos de Manaus;
- Analisar a influência topográfica nos processos de formação de nevoeiro em Manaus;
- Verificar a influência das brisas fluviais nos casos de nevoeiro;
- Realizar estudos sobre nevoeiros em outras regiões do norte do Brasil.

6 Referências

- Almeida M. V., **Aplicação de técnicas de redes neurais artificiais na previsão de curtíssimo prazo da visibilidade e teto para o Aeroporto de Guarulhos - SP**, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009, Tese de Doutorado, 206 p.
- AZEVEDO, A. F. **Análise climatológica-probabilística dos casos de fechamentos operacionais para pouso e decolagem no Aeroporto Zumbi dos Palmares (Maceió-AL)**. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Departamento de Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.
- BRASIL, 2011 Comando da Aeronáutica, Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Manual de Estações Meteorológicas de Superfície - MCA 105-2**. Rio de Janeiro.
- BRASIL, 2012 Comando da Aeronáutica, Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Manual de Códigos Meteorológicos - MCA 105-10**. Rio de Janeiro.
- BYERS, H. R. General meteorology. New York: 4. ed. **MC Graw Hill Book Company**, p. 480-510, 1959, 540 p.
- BOTT, A.; Sievers, U.; Zdunkowski, W. **A radiation fog model with a detailed treatment of the interaction between radiative transfer and fog microphysics**. Journal of Atmospheric Science. v. 47, n. 18, 2153-2166, 1990.
- BOTT, A. **A numerical model of the cloud-topped planetary boundary-layer: Impact of aerosol particles on radiative forcing of stratiform clouds**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. v. 123, 631-656, 1997.
- BOTT, A.; Trautmann, T. **PAFOG – A new efficient forecast model of radiation fog and low-level stratiform clouds**. Atmospheric Research. v. 64, 191-203, 2002.
- COTTON, W.R.; Anthes, R.A., Storm and cloud dynamics, 1 ed. San Diego: Academic Press, 1989. 303-367p.
- Da CRUZ, C. D. **Determinação sinótica dos fatores que favorecem as influências frontais sobre o Estado de Alagoas**. 2008. 137 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Departamento de Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.
- FEDOROVA, N. **Meteorologia sinótica**., 1ed. Pelotas: Universitária-UFPel, 1999. v.1, 259p.
- FEDOROVA, N., **Meteorologia sinótica**. , 1ed. Pelotas: Universitária-UFPel, 2001. v.2, 242p.

FEDOROVA, N.; Levit, V.; Fedorov, D., **Fog and Stratus Formation on the Coast of Brazil**. Atmospheric Research, 87, 2008, 268-278.

FEDOROVA, N.; Levit, V.; Silva, A. O.; Santos, D. M. B. **Low Visibility Formation and Forecasting on the Northern Coast of Brazil**. Pure and Applied Geophysics. 2013, 170(4),689-709.

FEDOROVA, N.; Levit, V.; Souza, J. L.; Silva, A. O.; Afonso, J. M. S.; Teodoro, I., **Fog Events at Maceio Airport on the Northern Coast of Brazil During 2002-2005 and 2007**. Pure and Applied Geophysics, 2015. DOI 10.1007/s00024-014-1027-0.

FEDOROVA, N.; Levit, V.; Da Cruz, C., **On frontal zone analysis in the tropical region of the Northeast Brasil**. Pure and Applied Geophysics, 2015. DOI 10.1007/s00024-015-1166-y.

FRANÇA V. D. J., **Avaliação da metodologia de previsão de nevoeiro e visibilidade horizontal do modelo ETA**, São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008, Dissertação de Mestrado, 173 p.

FERREIRA N. J., Nunes A. M. B., Ferreira N. S., de Brito Bastos E., **Determinação de nevoeiros sobre as regiões sul e sudeste do Brasil utilizando-se imagens multiespectrais do satélite GOES-8**, In: X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília, 1998, vol. 2, p. 1

FIGUEIROA, SN; Nobre, CA **Distribuição das precipitações sobre a América do Sul Tropical Central e Ocidental**. Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática, 5 (6): 36 - 45, 1990;

GULTEPE, I.; Muller, M. D.; Boybeyi, Z. **A new visibility parameterization for warm-fog applications in numerical weather prediction models**. Journal of Applied Meteorology and Climatology. v. 45, 1469-1480, 2006.

GULTEPE I. et al. **Fog Research: A review of past achievements and future perspectives**. Pure and Applied Geophysics. 2007.

INMET. **Manual de observação meteorológica**. 3ed. Brasilia, 1999, 29/62p. Janicke, R. Aerosol-Cloud-Climate Interactions, Chapt. Tropospheric Aerosols, pp. 1- 31. Academic Press, San Diego. 1999.

JIUSTO, J., Fog structure. 1ed. San Diego: Academic Press, 1981. 156-299p. Leipper, D. F. **Fog on the U.S. West Coast: A Review**. Reno, Nevada: Bulletin of the American Meteorological Society. v. 75, n. 2, 229-240, 1994.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LIMA, J.S. **Previsão de ocorrência e duração de Nevoeiro em Porto Alegre**. método objetivo. São José dos Campos: Instituto de Proteção ao Vôo do Ministério da Aeronáutica, p. 1-18, 1982.

MEYER, M. B.; LALA, G. **Climatological aspects of radiation fog occurrence at Albany**, New York. *Journal of Climate*, v.3, p. 577-586, May 1990.

MARENGO, J. **Eventos climáticos extremos na Bacia Amazônica e suas associações com a circulação dos trópicos globais**. Tese de Doutorado, Departamento de Meteorologia, Universidade de Wisconsin-Madison, 147 pp., 1991 [disponível no Departamento de Ciências Atmosféricas e Oceânicas, Universidade de Wisconsin-Madison, Madison WI 53706];

Oliveira G. A., **Método Estatístico no Auxílio ‘a Previsão de Nevoeiro para o Aeródromo de Guarulhos, Florianópolis**: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002, Dissertação de Mestrado, 122 p.

PAGOWSKI, M.; Gulpepe, I.; King, P. **Analysis and modeling of an extremely dense fog event in southern Ontario**. *Journal of Applied Meteorology*. v. 43, 3-16, 2004.

PETERSSEN, S., **Weather analysis and forecasting**. 1ed. New York: MC Graw Hill Book, 1940. 110-137p.

Piva E., Anabor V., **Avaliação do modelo BRAMS na formação de nevoeiro de radiação em ambiente com turbulência pouco desenvolvida**, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2008, vol. 23, p. 417 Piva E., Fedorova N., Um estudo sobre a formação de nevoeiro de radiação em Porto Alegre, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 1999, vol. 14, p. 47

PIVA, E.; Fedorova, N. **Um estudo sobre a formação de nevoeiro de radiação em Porto Alegre**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Rio de Janeiro. V.14, n.2, p.47-62, 1999.

THOMA, C.; Schneider, W.; Masbou, M.; Bott, A. **Integration of local observations into the one dimensional fog model PAFOG**. *Pure and Applied Geophysics*. 2011.

ROGERS, R.; YAU, M. **A short course in cloud physics**. 3. Ed. Burlington: Butterworth Heinemann, 1989. 293 p. *Internacional series in natural philosophy*, v. 113.

SATYAMURTI P, Nobre CA., Silva Dias PL. 1998. **South America, In Meteorology of Southern Hemisphere.** Karoly DJ, Vincent DG (ed.). American Meteorological Society: Boston; 119-139.

Silva A. O. d., Filho A. J. P., Karam H. A., **The effect of the atmospheric and cloud properties on the retrieval of fog microphysics at night for MSG/SEVIRI: a sensitivity test using LibRadtran**, Submetido a revista Remote Sensing of Environment em 03 de Marco de 2018.

SILVEIRA, V. P., **Análise dos casos de nevoeiros e nuvens stratus no aeroporto de Maceió (Alagoas)** . 2003. 91 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Departamento de Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2003.

SOUZA M. P., **Previsão de duração de nevoeiro no Aeródromo Internacional de São Paulo utilizando análise de sobrevivência**, São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008, Dissertação de Mestrado, 177 p.

TAYLOR, G. F. **Aeronautical Meteorology**. Pitman, 1941. 455 p.

THOMA, C.; Schneider, W.; Masbou, M.; Bott, A. **Integration of local observations into the one dimensional fog model PAFOG**. Pure and Applied Geophysics. 2011.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 1ed. Brasília: Stilo, 2000, 367-391p.

VAREJAO, M. A. S. Perturbações atmosféricas, In: **Meteorologia e Climatologia**. ed. comemorativa. Brasília (DF): Gráfica e editora Stilo, 2005. p. 417-442.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science – An introductory Survey**. 2.. ed . Amsterdam: Elsevier, 2006. 483 p.

WILLET, H. C. **Fog and haze, their causes, distribution, and forecasting**. Washington: Monthly Weather Review. v. 56, 435-468, 1929.

WMO-2008, World Meteorological Organization No 8. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. 7th. ed. Switzerland, 2008.

APÊNDICE A - Tabela das variáveis meteorológicas observadas nos casos da estação seca – Aeroporto Eduardo Gomes

| | Data | Temperatura (°C) | Temperatura Ponto de Orvalho (%) | Umidade Relativa (%) | Direção do Vento (°) e Velocidade do vento (KT) | Precipitação (mm) |
|-----------------|-------------|-------------------------|---|-----------------------------|--|--------------------------|
| #caso 1 | 20/06/2010 | 24 | 23 | 96 | 00000KT | 20,6 |
| #caso 2 | 07/05/2010 | 24 | 23 | 96 | 01002KT | 46,7 |
| #caso 3 | 29/05/2010 | 23 | 22 | 96 | 36002KT | 26,7 |
| #caso 4 | 04/09/2011 | 24 | 23 | 96 | 00000KT | 22,2 |
| #caso 5 | 07/07/2011 | 23 | 22 | 96 | 00000KT | 25,6 |
| #caso 6 | 03/06/2011 | 22 | 21 | 96 | 00000KT | 0 |
| #caso 7 | 16/07/2012 | 24 | 22 | 90 | 34003KT | 11,9 |
| #caso 8 | 17/07/2012 | 23 | 22 | 96 | 33003KT | 33,7 |
| #caso 9 | 03/09/2012 | 23 | 21 | 90 | 00000KT | 2,7 |
| #caso 10 | 14/07/2012 | 23 | 21 | 90 | 00000KT | 0 |
| #caso 11 | 24/07/2012 | 23 | 22 | 96 | 34004KT | 1,2 |
| #caso 12 | 12/08/2012 | 24 | 23 | 96 | 30002KT | 0 |
| #caso 13 | 10/08/2012 | 23 | 21 | 90 | 34003KT | 1,7 |
| #caso 14 | 09/05/2013 | 23 | 22 | 96 | 31002KT | 8,2 |
| #caso 15 | 28/05/2013 | 24 | 23 | 96 | 33003KT | 9,5 |
| #caso 16 | 29/07/2013 | 23 | 22 | 96 | 35003KT | 12,1 |
| #caso 17 | 06/09/2013 | 24 | 22 | 90 | 33003KT | 1,3 |
| #caso 18 | 31/05/2014 | 24 | 22 | 90 | 00000KT | 28,5 |
| #caso 19 | 16/08/2014 | 24 | 22 | 90 | 34003KT | 11,8 |
| #caso 20 | 11/07/2014 | 23 | 22 | 90 | 33003KT | 21,4 |
| #caso 21 | 27/06/2014 | 23 | 22 | 90 | 33002KT | 9,2 |
| #caso 22 | 26/07/2015 | 23 | 21 | 90 | 02001KT | 14 |
| #caso 23 | 31/08/2015 | 25 | 24 | 96 | 32002KT | 0 |
| #caso 24 | 05/06/2016 | 24 | 24 | 100 | 33004KT | 0 |
| #caso 25 | 06/06/2016 | 24 | 23 | 96 | 05001KT | 21,1 |
| #caso 26 | 23/09/2017 | 24 | 24 | 100 | 35004KT | 20,6 |
| #caso 27 | 30/09/2017 | 24 | 24 | 100 | 00000KT | 21,8 |
| #caso 28 | 29/05/2018 | 24 | 23 | 96 | 34004KT | 20,5 |
| #caso 29 | 28/08/2018 | 23 | 22 | 96 | 34003KT | 28 |
| #caso 30 | 07/09/2018 | 23 | 23 | 100 | 33003KT | 0,4 |

APÊNDICE B - Tabela das variáveis meteorológicas observadas nos casos da estação chuvosa – Aeroporto Eduardo Gomes

| | Data | Temperatura (°C) | Temperatura Ponto de Orvalho (%) | Umidade Relativa (%) | Direção do Vento (°) e Velocidade do vento (KT) | Precipitação (mm) |
|----------|------------|------------------|----------------------------------|----------------------|---|-------------------|
| #caso 1 | 16/11/2009 | 24 | 24 | 100 | 00000KT | 61 |
| #caso 2 | 16/04/2009 | 23 | 22 | 96 | 01002KT | 60,2 |
| #caso 3 | 01/03/2009 | 24 | 23 | 96 | 36002KT | 3,2 |
| #caso 4 | 25/03/2009 | 22 | 21 | 96 | 00000KT | 6,5 |
| #caso 5 | 20/04/2009 | 23 | 23 | 100 | 00000KT | 41,4 |
| #caso 6 | 23/02/2010 | 24 | 24 | 100 | 00000KT | 11,1 |
| #caso 7 | 17/02/2010 | 23 | 22 | 96 | 34003KT | 2,6 |
| #caso 8 | 03/04/2010 | 23 | 23 | 100 | 33003KT | 60,5 |
| #caso 9 | 06/01/2010 | 24 | 24 | 100 | 00000KT | 1,1 |
| #caso 10 | 27/02/2010 | 24 | 24 | 100 | 00000KT | 63,9 |
| #caso 11 | 26/03/2011 | 22 | 22 | 100 | 34004KT | 0,3 |
| #caso 12 | 19/12/2011 | 24 | 22 | 90 | 30002KT | 16,8 |
| #caso 13 | 24/04/2012 | 24 | 22 | 90 | 34003KT | 40,3 |
| #caso 14 | 27/04/2012 | 24 | 22 | 90 | 31002KT | 2,2 |
| #caso 15 | 29/04/2012 | 23 | 22 | 96 | 33003KT | 1,1 |
| #caso 16 | 05/04/2012 | 23 | 22 | 96 | 35003KT | 13,5 |
| #caso 17 | 24/01/2012 | 23 | 22 | 96 | 33003KT | 10,9 |
| #caso 18 | 10/01/2012 | 22 | 21 | 96 | 00000KT | 30,9 |
| #caso 19 | 25/02/2012 | 25 | 25 | 100 | 34003KT | 41,4 |
| #caso 20 | 07/04/2012 | 24 | 24 | 100 | 33003KT | 2,2 |
| #caso 21 | 08/04/2012 | 22 | 21 | 96 | 33002KT | 46,4 |
| #caso 22 | 02/12/2013 | 22 | 21 | 96 | 02001KT | 4 |
| #caso 23 | 18/04/2014 | 23 | 22 | 96 | 32002KT | 0 |
| #caso 24 | 22/04/2015 | 22 | 22 | 100 | 33004KT | 2 |
| #caso 25 | 25/02/2017 | 24 | 23 | 96 | 05001KT | 31,4 |
| #caso 26 | 29/01/2017 | 24 | 22 | 90 | 35004KT | 4 |
| #caso 27 | 04/01/2018 | 23 | 22 | 96 | 00000KT | 36 |
| #caso 28 | 23/11/2013 | 23 | 22 | 96 | 34004KT | 10,5 |
| #caso 29 | 25/03/2014 | 21 | 20 | 96 | 34003KT | 40,13 |
| #caso 30 | 04/06/2014 | 23 | 21 | 100 | 33003KT | 10,2 |

APÊNDICE C - Tabela das variáveis termodinâmicas observadas nos perfis verticais de Manaus - estação seca. C.I - Condicional Instável; EST – Estável; U1 – Umidade em todo perfil vertical; U2 – umidade em baixos níveis e camadas mais secas nos níveis acima; - ausência de ocorrências

| Casos | Camada De Inversão (hPa) | Estabilidade | Camada Úmida |
|--------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| # 1 | SUP. | C.I | U2 |
| # 2 | - | C.I | U1 |
| # 3 | - | C.I | U2 |
| # 4 | - | C.I | U2 |
| # 5 | 950 | EST | U2 |
| #6 | SUP. | C.I | U2 |
| # 7 | - | C.I | U1 |
| #8 | - | EST | U2 |
| # 9 | - | C.I | U2 |
| # 10 | - | EST | U2 |
| #11 | - | C.I | U2 |
| #12 | - | EST | U2 |
| #13 | - | C.I | U2 |
| # 14 | - | C.I | U2 |
| # 15 | - | C.I | U1 |
| #16 | - | C.I | U2 |
| #17 | 950 | C.I | U2 |
| #18 | - | C.I | U2 |
| # 19 | - | C.I | U2 |
| # 20 | - | C.I | U2 |
| # 21 | - | C.I | U2 |
| # 22 | SUP. | C.I | U2 |
| # 23 | 950 | C.I | U2 |
| # 24 | - | EST | U2 |
| # 25 | - | EST | U2 |
| # 26 | - | EST | U2 |
| # 27 | - | EST | U2 |
| # 28 | - | C.I | U1 |
| # 29 | 950 | C.I | U2 |
| # 30 | - | C.I | U2 |

APÊNDICE D - Tabela das variáveis termodinâmicas observadas nos perfis verticais de Manaus - estação chuvosa. C.I - Condicional Instável; EST – Estável; U1 – Umidade em todo perfil vertical; U2 – umidade em baixos níveis e camadas mais secas nos níveis acima; - ausência de ocorrências

| Casos | Camada De Inversão (hPa) | Estabilidade | Camada Úmida |
|--------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| # 1 | - | C.I | U2 |
| # 2 | - | C.I | U1 |
| # 3 | - | C.I | U1 |
| # 4 | - | C.I | U2 |
| # 5 | 925 | EST | U2 |
| # 6 | - | C.I | U2 |
| # 7 | - | C.I | U2 |
| # 8 | 950 | C.I | U1 |
| # 9 | - | EST | U2 |
| # 10 | 975 | C.I | U1 |
| # 11 | - | C.I | U1 |
| # 12 | 975 | C.I | U2 |
| # 13 | - | C.I | U1 |
| # 14 | 950 | C.I | U2 |
| # 15 | - | C.I | U1 |
| # 16 | - | C.I | U1 |
| # 17 | - | C.I | U1 |
| # 18 | - | EST | U1 |
| # 19 | - | C.I | U1 |
| # 20 | - | C.I | U1 |
| # 21 | - | EST | U1 |
| # 22 | - | C.I | U1 |
| # 23 | - | C.I | U2 |
| # 24 | - | C.I | U1 |
| # 25 | 950/900 | C.I | U1 |
| # 26 | 950 | EST | U1 |
| # 27 | 975 | EST | U1 |
| # 28 | 950 | EST | U1 |
| # 29 | - | EST | U1 |
| # 30 | - | C.I | U2 |

APÊNDICE E - Sistemas sinóticos atuantes na região de Manaus e nas áreas adjacentes, para o horário de 00 UTC (Estação seca). Div/Lc: Divergência/Linhas de Corrente em 200, 500 e 850 hPa; CON. : Convergência; AB: Alta da Bolívia; VCAN: Vórtice Ciclônico de Altos Níveis; AC: Anticiclone; CAV: Cavado; HN: Hemisfério Norte; NE: Nordeste; N: Norte; ASC: Movimentos ascendentes; SUB: Movimentos Subsidentes; FRT (Forte): Mov. Verticais entre 0.25 e 3.0;MOD (Moderado): Mov. Verticais entre 0.2 e 0.25; FLX. Z: Escoamento Zonal de Leste; FLX N: Escoamento de Norte

| CASOS | Div/Lc 200 | Div/Lc 500 | Div/Lc 850 | OMEGA 200 | OMEGA 1000 |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| #1 | DIV AC (N) CAV (NE) | DIV CC (NE) AC (NW) | CON. | ASC MOD | SUB MOD |
| #2 | DIV | DIV AC (NE) | CON. | ASC FRC | SUB MOD |
| #3 | DIV AC (N) | DIV AC (CO) | DIV | SUB MOD | SUB MOD |
| #4 | DIV CRIS (N) | DIV AC (N/NE) | DIV | SUB MOD | SUB MOD |
| #5 | DIV AC (NE) | DIV AC (N/NE) | DIV | SUB MOD | SUB MOD |
| #6 | DIV CRIS (N) | DIV | CON. | ASC MOD | SUB MOD |
| #7 | DIV AC (N) | DIV AC (N/NE/SE) | DIV | ASC FRT | SUB MOD |
| #8 | CON. | CON. ASAS CAV (NW) | DIV | ASC MOD | SUB MOD |
| #9 | DIV VC (HN) AC (NE) | DIV | CON. | ASC FRT | SUB MOD |
| #10 | CON. | DIV VC (HN) | DIV | ASC MOD | SUB MOD |
| #11 | DIV | DIV AC (N/NE/CO) | DIV | ASC FRC | SUB MOD |
| #12 | DIV CAV (NE) | DIV | CON. | ASC FRC | SUB MOD |
| #13 | DIV VC (HN) | DIV AC (N/CO) AC (NE) | DIV | SUB MOD | SUB MOD |

| | | | | | |
|------------|----------------------------|----------------------------|------|---------|---------|
| #14 | DIV | DIV AC (NE) | DIV | ASC FRT | SUB MOD |
| #15 | DIV VC (HN) | DIV AC (NE) CRIS (N) | DIV | ASC FRC | SUB MOD |
| #16 | DIV VC (HN) | DIV AC (NE) CRIS (N) | DIV | ASC MOD | SUB MOD |
| #17 | CON. | CON. CC (CO) | DIV | SUB MOD | SUB MOD |
| #18 | DIV | DIV | DIV | SUB MOD | SUB MOD |
| #19 | CON. | DIV CC (CO) | DIV | ASC FRT | SUB MOD |
| #20 | DIV CRIS (N) | CON. AC (CO) | CON. | ASC FRT | SUB MOD |
| #21 | DIV CAV (HN) | DIV | DIV | SUB FRT | SUB MOD |
| #22 | DIV | DIV AC (N) AC (NE) | DIV | ASC MOD | SUB MOD |
| #23 | DIV AC (N) | DIV CAV (HN) | DIV | ASC MOD | SUB MOD |
| #24 | DIV AC (N) VC (HN) | DIV | DIV | ASC FRC | SUB MOD |
| #25 | CON. AC (CO) | DIV AC (NE) | DIV | SUB MOD | SUB MOD |
| #26 | CON. CAV (NE) | DIV | DIV | SUB FRT | SUB MOD |
| #27 | DIV CRIS (NE) | DIV | DIV | ASC FRT | SUB MOD |
| #28 | DIV VC (HN) | DIV AC (CO/SE) | DIV | ASC FRT | SUB MOD |
| #29 | DIV CAV (NE) AC (CO) | DIV | CON. | ASC FRT | SUB MOD |

| #30 | DIV VC (HN) | DIV | DIV | ASC FRT | SUB MOD |
|--------------|---|---|--|---|-------------|
| TOTAL | <u>DIV: 24</u> <u>CON.: 6</u> VC (HN):12 CAV NE: 4 CAV (HN): 2 AC(N): 5 AC (CO): 4 CRIS (N): 5 CRIS (NE): 1 | <u>DIV: 27</u> <u>CON.: 3</u> VC (HN):2 CAV (HN): 2 AC(N): 1 AC (CO): 2 AC (NW): 1 AC (NE): 7 CRIS (N): 2 | <u>DIV: 23</u> <u>CON.: 7</u> | ASC FRT: 9 ASC MOD:7 ASC FRC: 5 SUB FRT: 2 SUB MOD: 7 | SUB MOD: 30 |

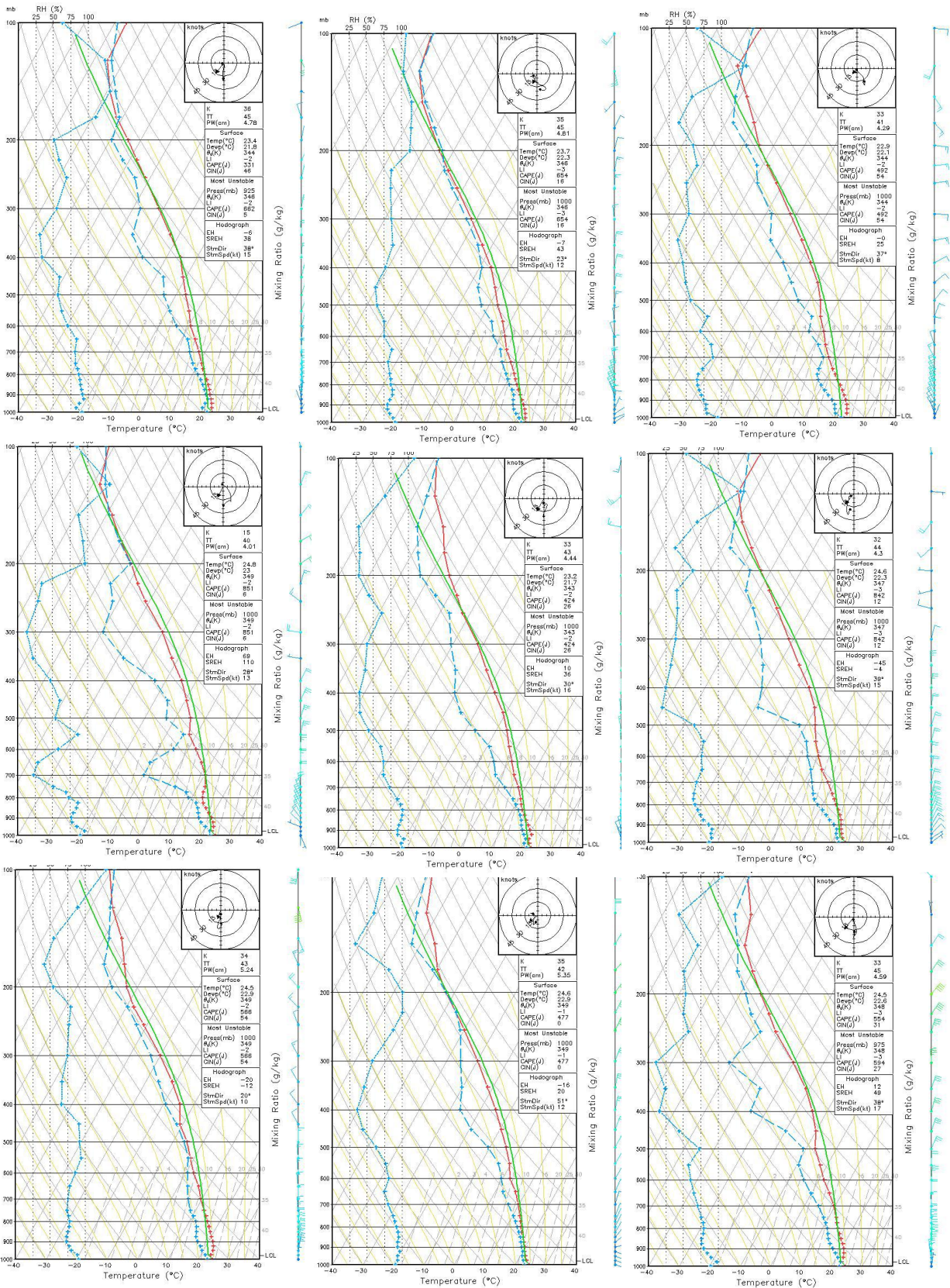
APÊNDICE F - Sistemas sinóticos atuantes na região de Manaus e nas áreas adjacentes, para o horário de 00 UTC (Estação chuvosa). Div/Lc: Divergência/Linhas de Corrente em 200, 500 e 850 hPa; CON. : Convergência; AB: Alta da Bolívia; VCAN: Vórtice Ciclônico de Altos Níveis; AC: Anticiclone; CAV: Cavado; HN: Hemisfério Norte; NE: Nordeste; N: Norte; ASC: Movimentos ascendentes; SUB: Movimentos Subsidentes; FRT (Forte): Mov. Verticais entre 0.25 e 3.0;MOD (Moderado): Mov. Verticais entre 0.2 e 0.25; FLX. Z: Escoamento Zonal de Leste; FLX N: Escoamento de Norte

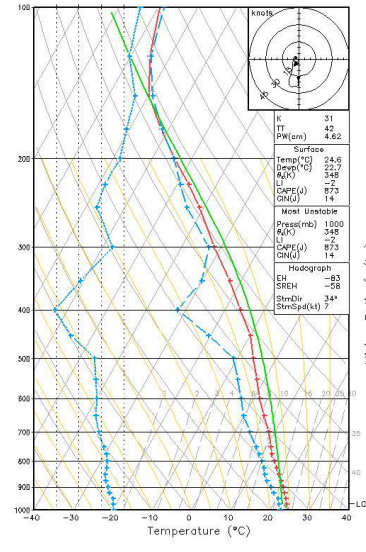
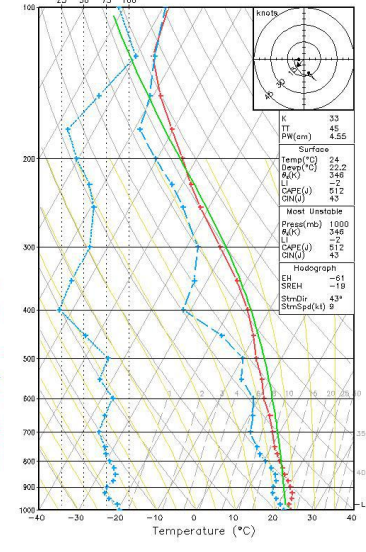
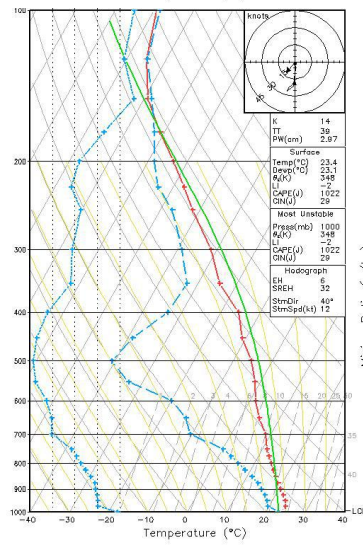
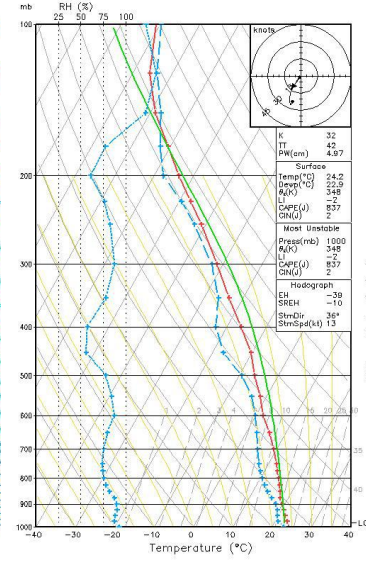
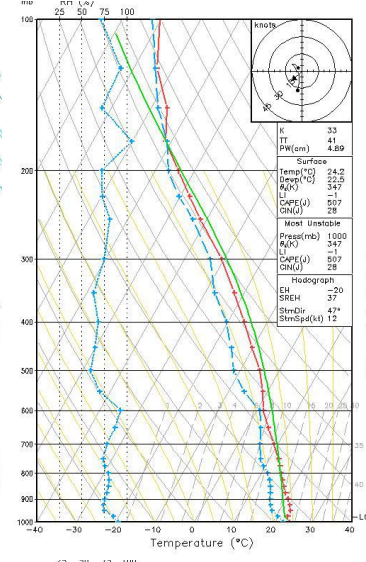
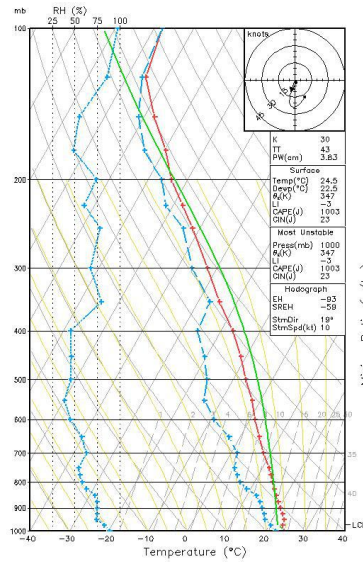
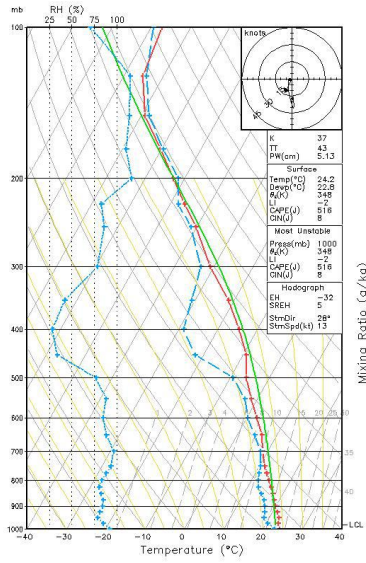
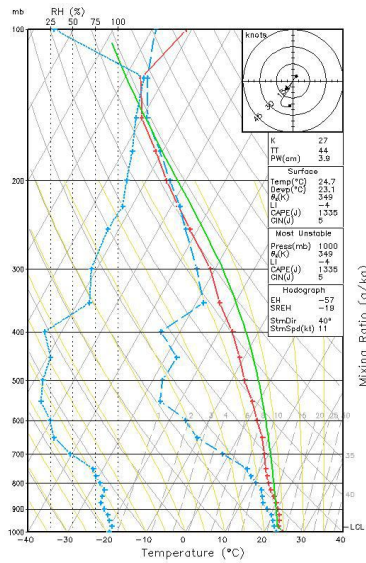
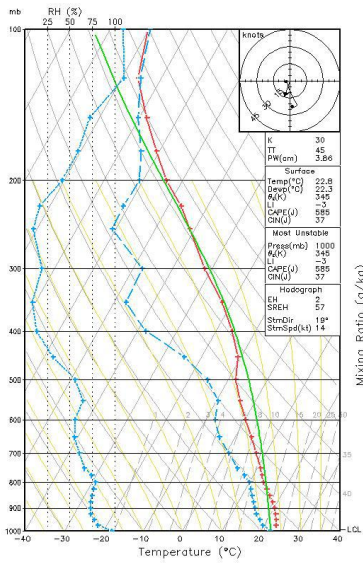
| Casos | Div/Lc 200 | Div/Lc 500 | Div/Lc 850 | Omega 200 | Omega 1000 |
|--------------|----------------------|---------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| #1 | DIV AC (HN) | CON FLX. Z.L | CON | SUB. FRT | SUB. FRT |
| #2 | DIV AB VCAN | DIV AC (NE) CRIS(N) | CON | ASC. FRT | SUB. FRT |
| #3 | DIV AB | DIV AC (CO) CAV NE | DIV AC (NE) | SUB. FRT | SUB. FRT |
| #4 | DIV AB VCAN | DIV AC (NE) | CON | SUB. FRT | SUB. FRT |
| #5 | DIV AC (HN) | CON AC (CO) | CON | SUB. MOD | SUB. MOD |
| #6 | DIV CAV NE | DIV AC (CO) | CON | SUB. MOD | SUB. MOD |
| #7 | DIV AC (HN) | DIV AC (CO) | CON | ASC. MOD | SUB. MOD |
| #8 | CON AC (HN) | DIV AC (SE) | CON | ASC. FRT | SUB. FRT |
| #9 | DIV AC (HN) | DIV CAV NE | CON | ASC. FRT | SUB. FRT |
| #10 | CON AC (HN) | DIV AC (NE) | CON | SUB. MOD | SUB. MOD |
| #11 | DIV. AB CAV NE | DIV CRIS (N) | DIV | ASC.FRT | SUB. FRT |
| #12 | DIV. AB CAV NE | CON AC (CO) | CON | SUB. MOD | SUB. MOD |

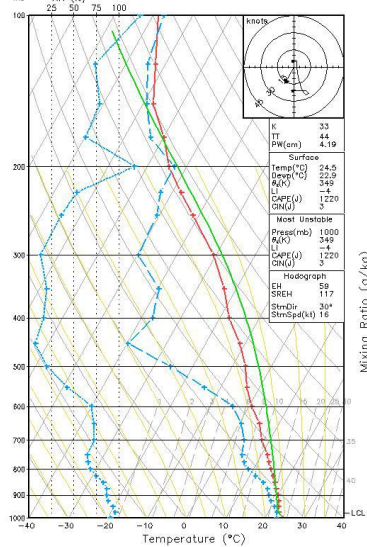
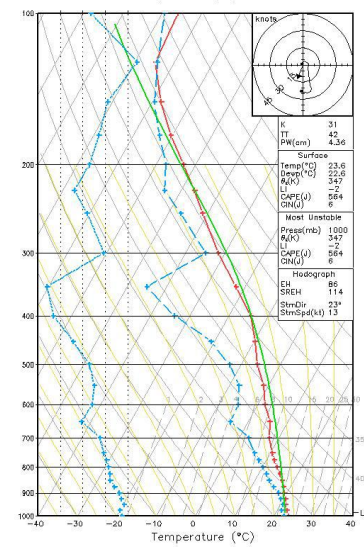
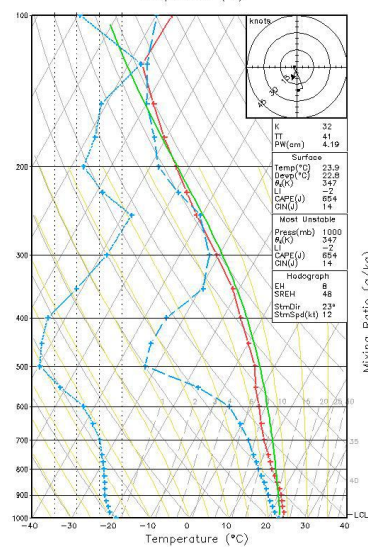
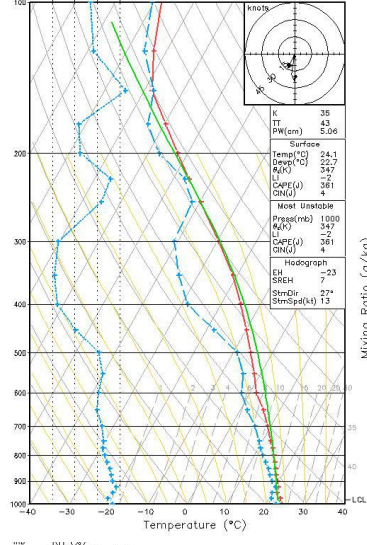
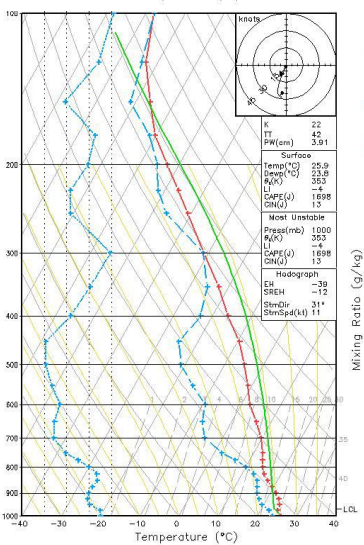
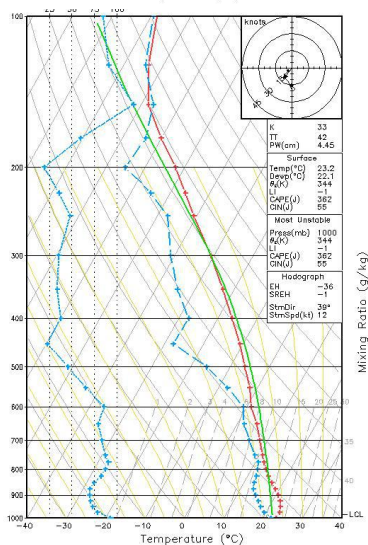
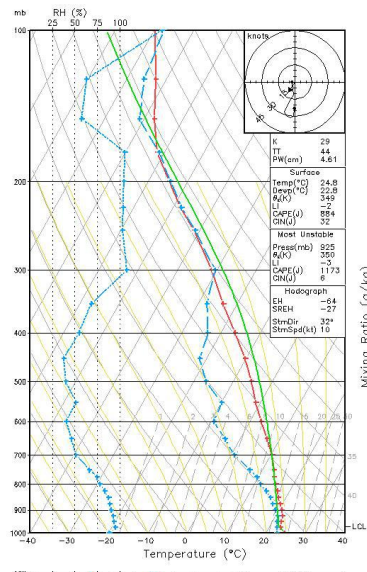
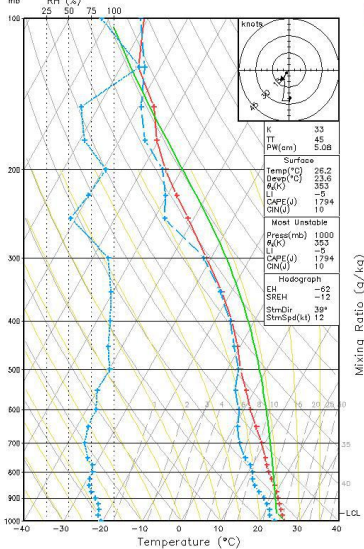
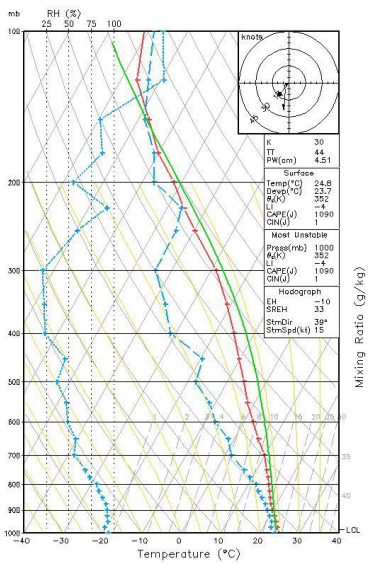
| | | | | | |
|------------|---------------------|----------------|-----|----------|----------|
| #13 | DIV AB CAV NE | DIV CAV NE | DIV | ASC. MOD | SUB. MOD |
| #14 | DIV AB CAV NE | DIV AC (N) | DIV | SUB FRT | SUB. FRT |
| #15 | CON FLUXO HN | CON FLX.Z.L | DIV | ASC. FRT | SUB. FRT |
| #16 | DIV AB CAV NE | CON FLX. N | CON | ASC.FRT | SUB. FRT |
| #17 | DIV AB CAV NE | CON AC (NE) | DIV | SUB. FRT | SUB. FRT |
| #18 | DIV AB CAV NE | CON FLX. N | DIV | ASC.FRT | SUB. FRT |
| #19 | DIV | DIV AC (CO) | CON | ASC.FRT | SUB. FRT |
| #20 | DIV AC (HN) | DIV FLX.Z.N | DIV | SUB. FRT | SUB. FRT |
| #21 | DIV AB CAV NE | CON FLX.Z.L | CON | ASC.FRT | SUB. FRT |
| #22 | DIV AB CAV NE | DIV AC (CO) | DIV | ASC.FRT | SUB. FRT |
| #23 | DIV AB CAV NE | DIV AC (CO) | DIV | ASC.FRT | SUB. FRT |
| #24 | DIV AC (HN) | CON FLX.N | DIV | ASC.FRT | SUB. FRT |
| #25 | DIV CAV NE | DIV AC (NE) | CON | SUB. FRT | SUB. FRT |
| #26 | DIV CAV NE | CON FLX.N | DIV | ASC.FRT | SUB. FRT |
| #27 | | | DIV | ASC.FRT | SUB. FRT |

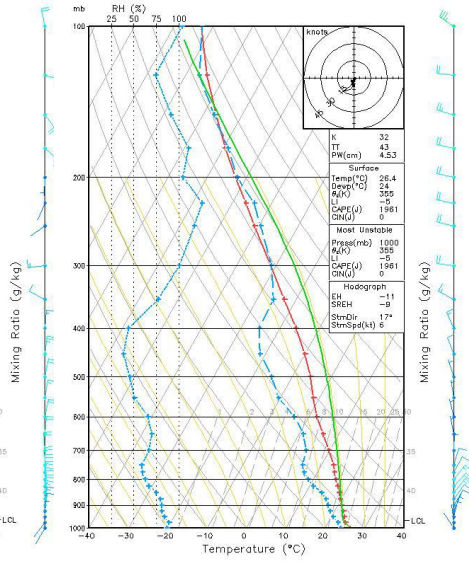
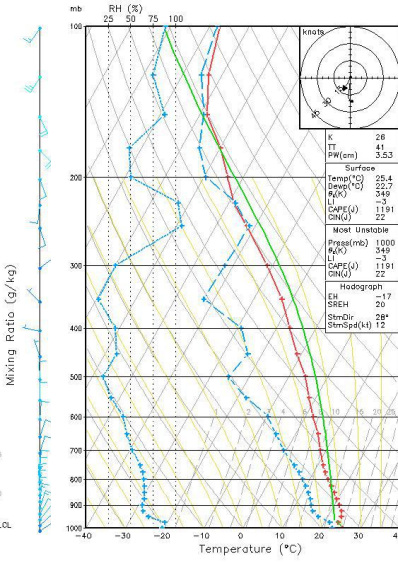
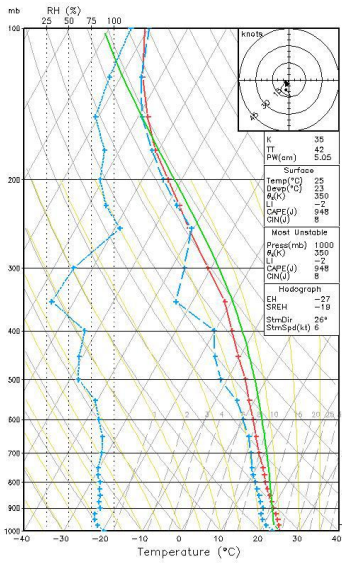
| | | | | | |
|--------------|--|---|--|--|---------------------------|
| | DIV AC (HN) | DIV AC (NE) | | | |
| #28 | DIV CAV NE | DIV CAV NE | DIV | ASC.FRT | SUB. FRT |
| #29 | DIV CAV NE | DIV CAV NE | CON | ASC.FRT | SUB. FRT |
| #30 | CON CAV NE | DIV AC (NE) | CON | ASC.FRT | SUB. FRT |
| TOTAL | DIV: 26 CON: 4 AB: 2 AB+VCAN: 2 AB+CAV NE:9 CAV NE: 6 AC(HN): 11 | DIV: 24 CON: 6 FLX.Z.L : 5 FLX.N: 4 AC(CO): 8 AC(NE): 7 CRIS (N): 3 CAV NE : 5 | <u>DIV: 13</u> <u>CON: 17</u> | ASC FRT: 17 ASC MOD:2 SUB FRT: 7 SUB MOD: 4 | SUB FRT: 24 SUB MOD: 6 |

ANEXO A Perfis verticais de temperatura e umidade para os casos da estação seca (12UTC)

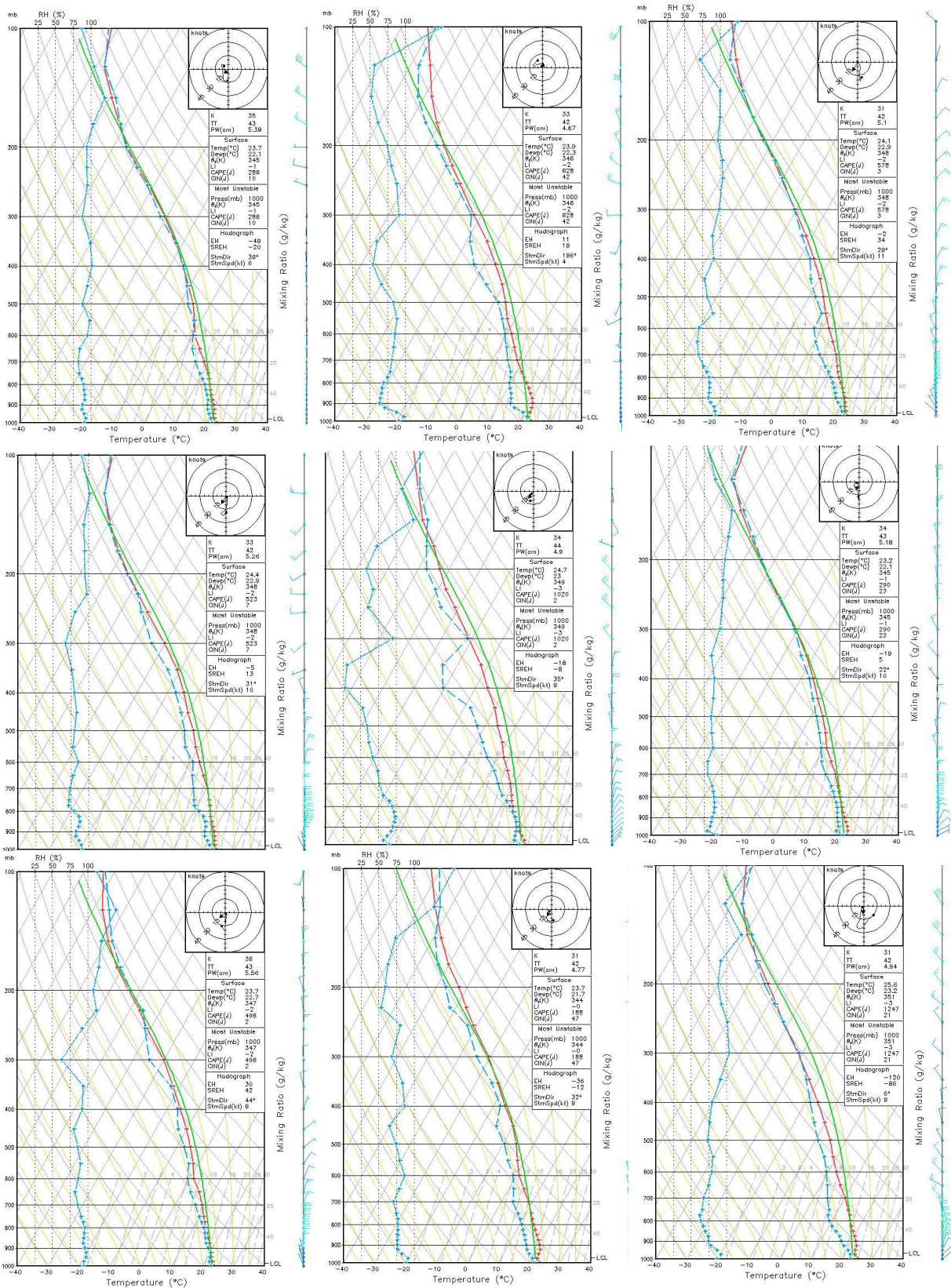


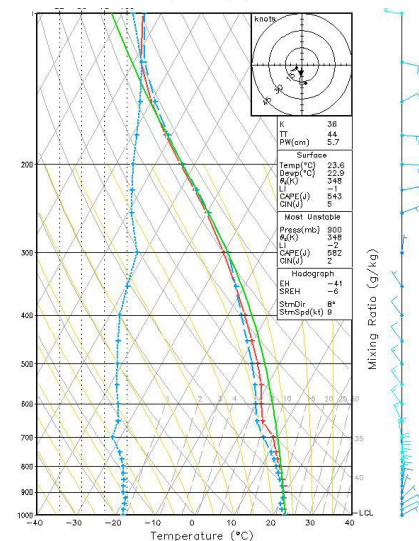
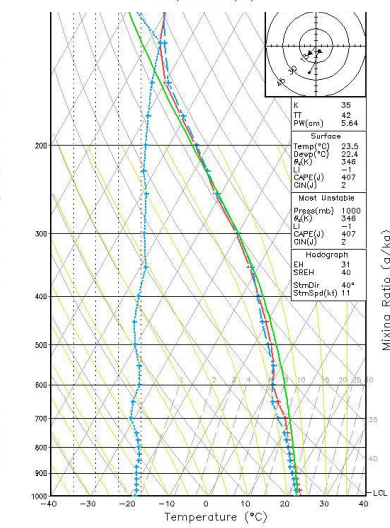
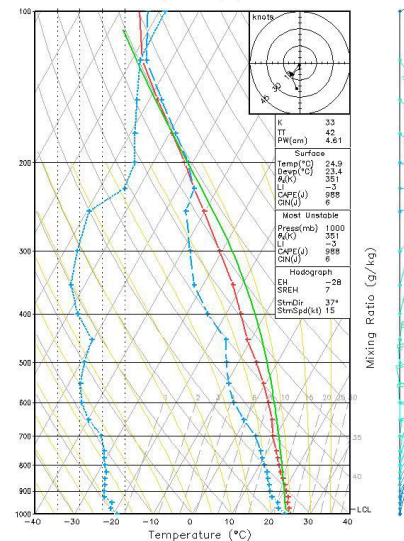
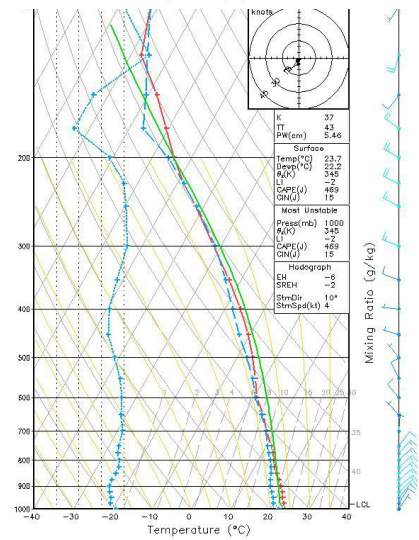
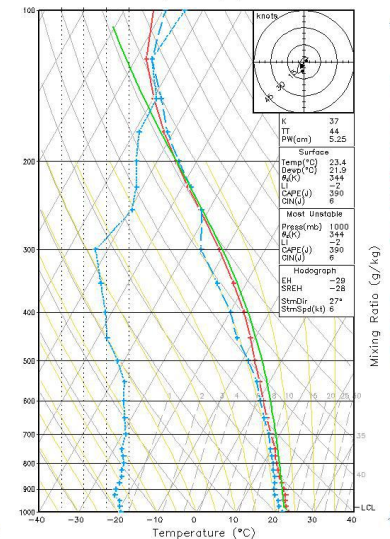
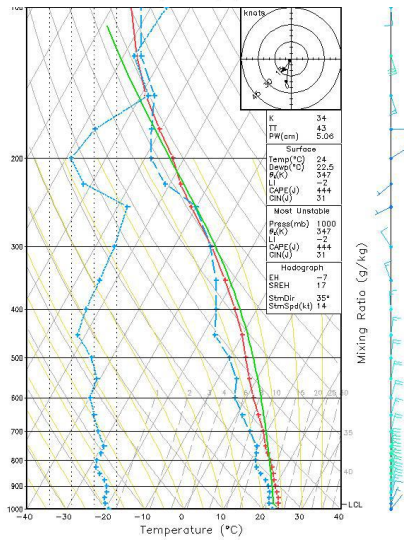
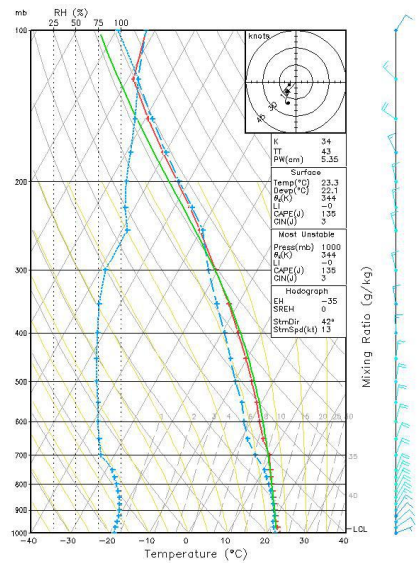
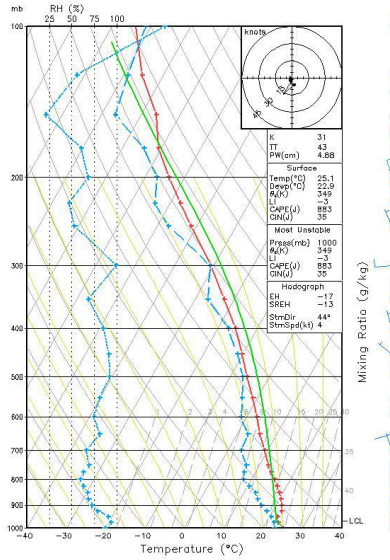
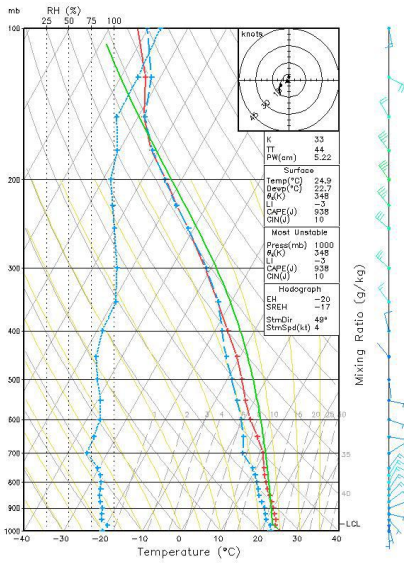


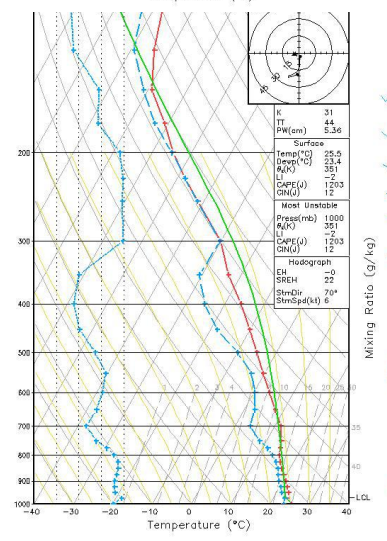
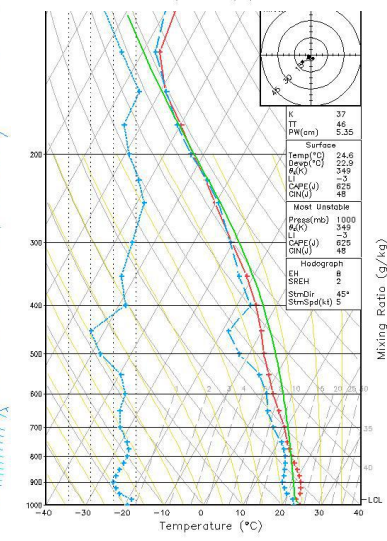
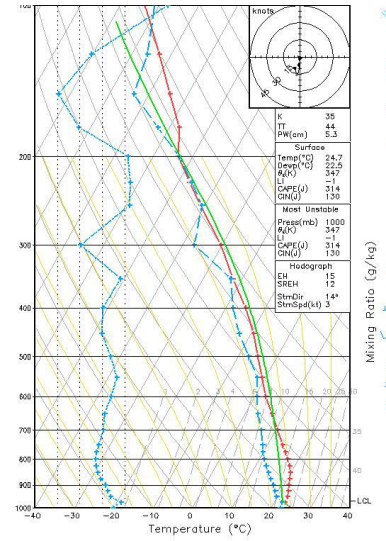
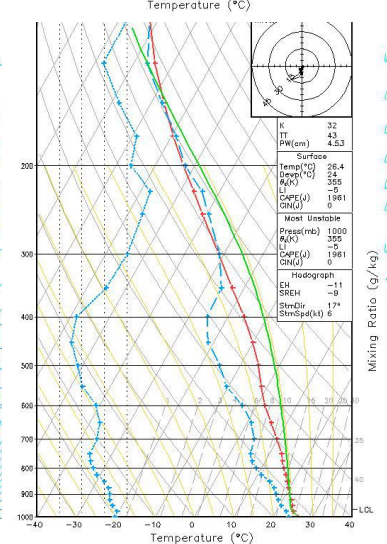
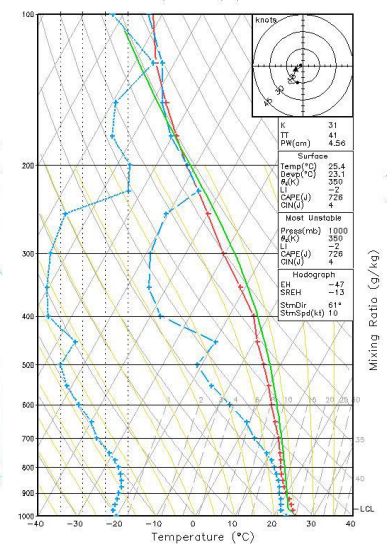
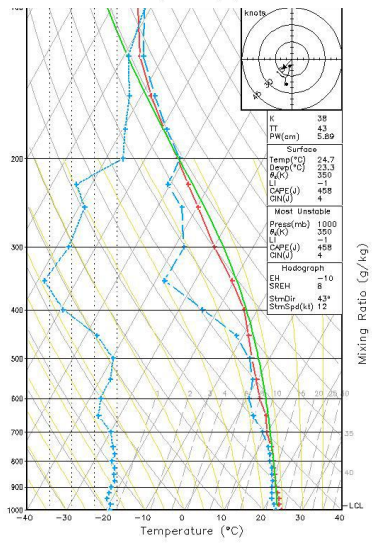
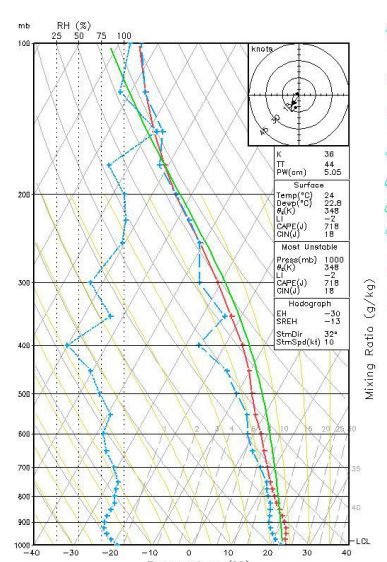
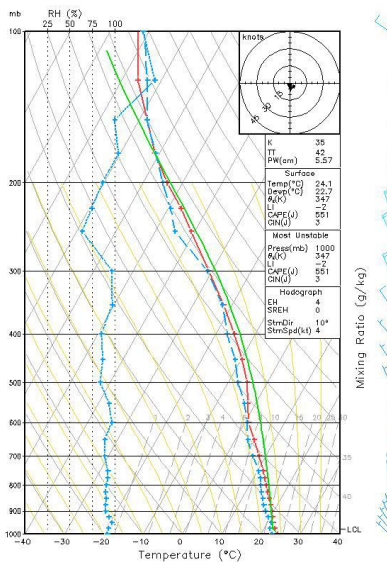
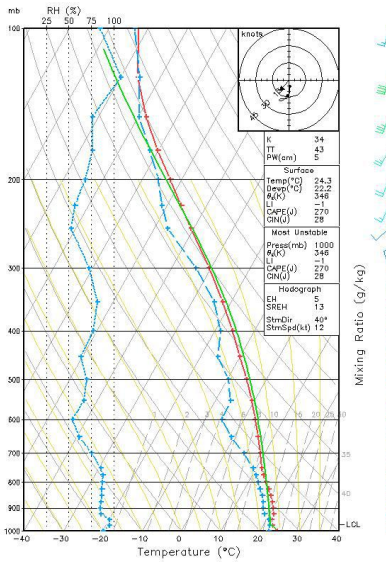


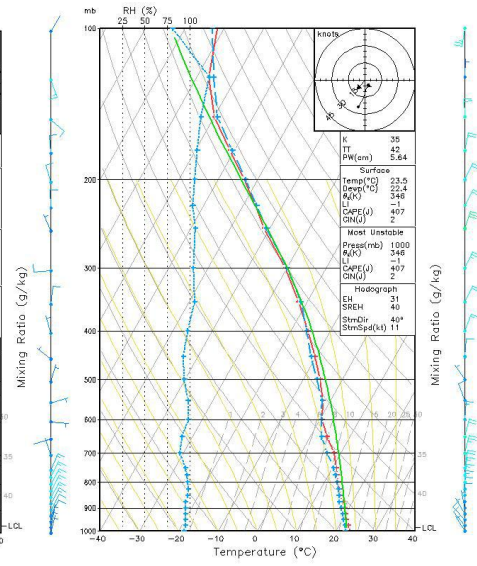
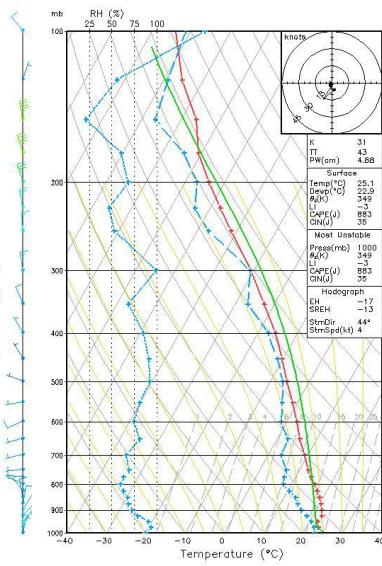
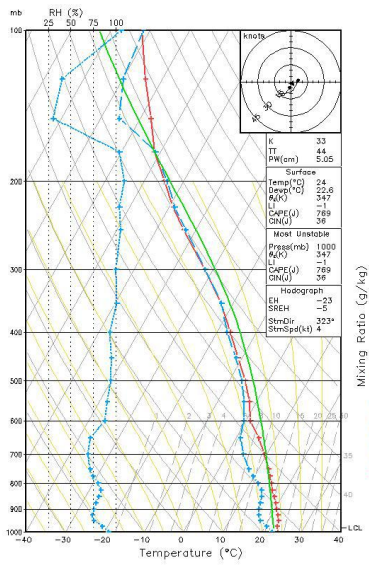


ANEXO B Perfis verticais de temperatura e umidade para os casos da estação chuvosa (12UTC)

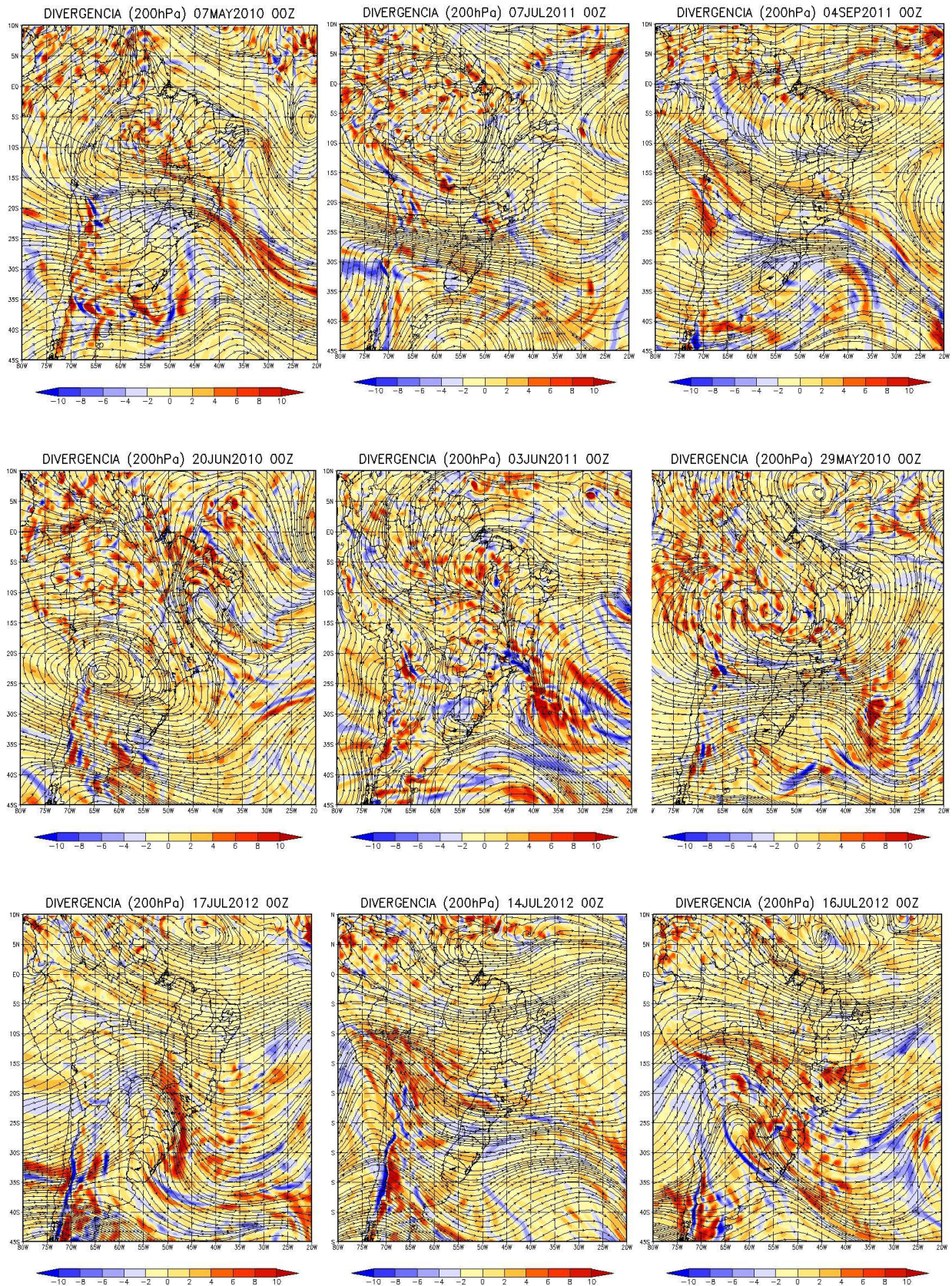




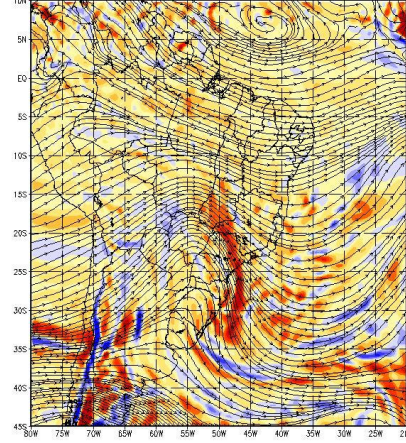




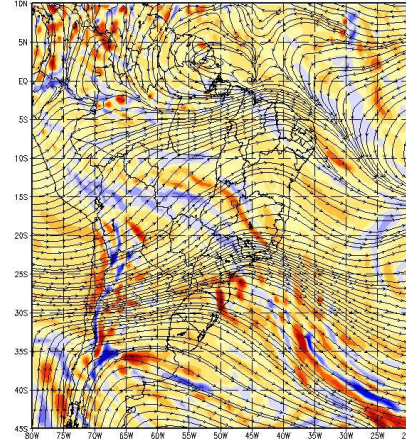
ANEXO C Campos de Linhas de Corrente e divergência para os casos de nevoeiro da estação seca - 200 hPa



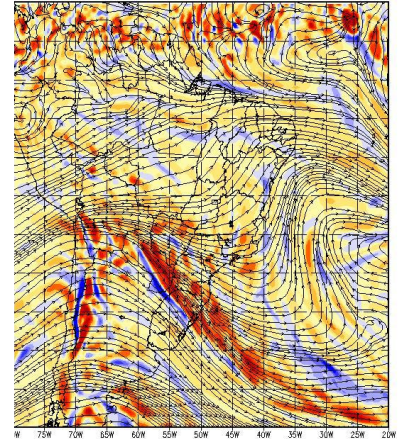
DIVERGENCIA (200hPa) 17JUL2012 00Z



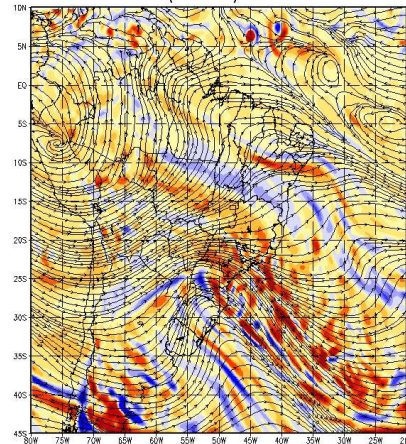
DIVERGENCIA (200hPa) 10AGO2012 00Z



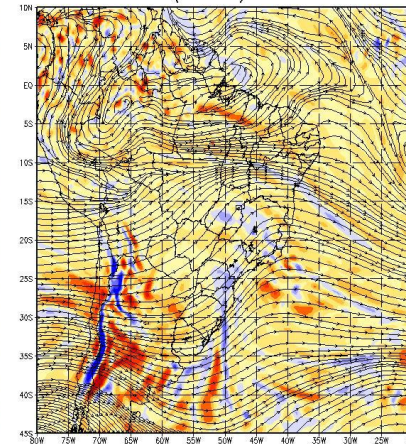
DIVERGENCIA (200hPa) 24JUL2012 00Z



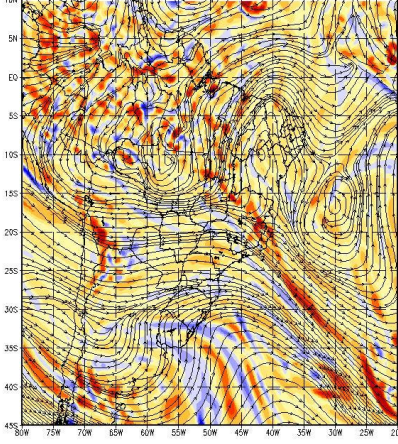
DIVERGENCIA (200hPa) 12AGO2012 00Z



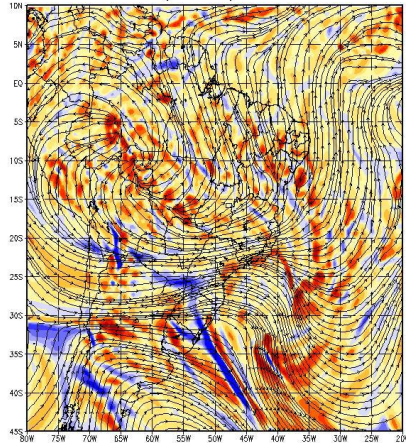
DIVERGENCIA (200hPa) 03SEP2012 00Z



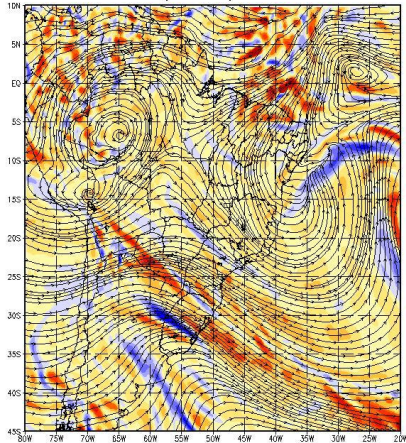
DIVERGENCIA (200hPa) 09MAY2013 00Z



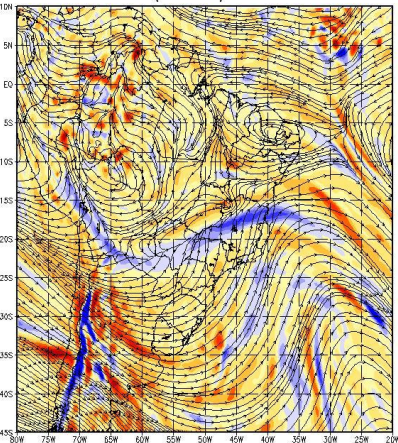
DIVERGENCIA (200hPa) 28MAY2013 00Z

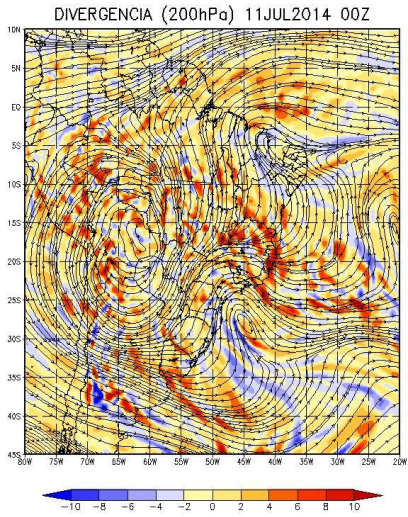
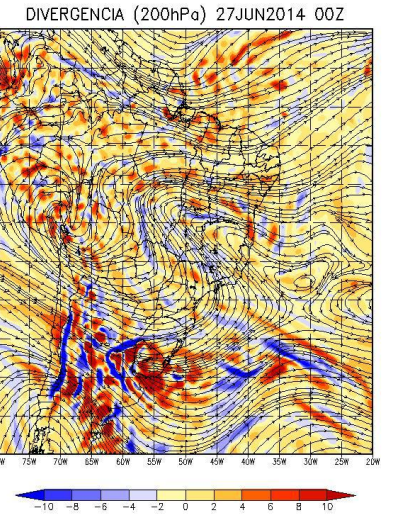
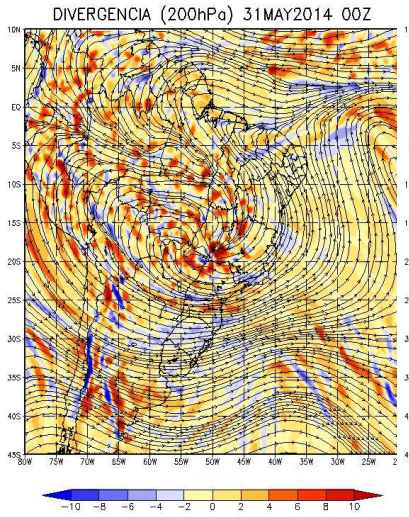
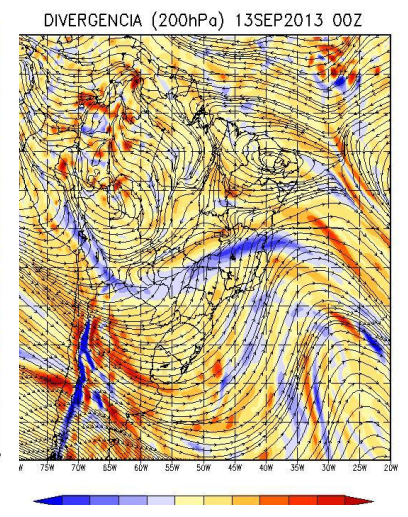
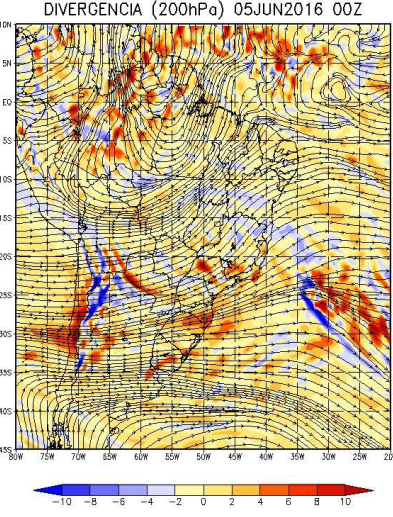
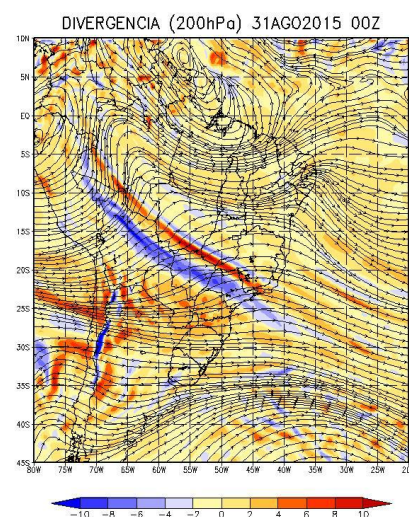
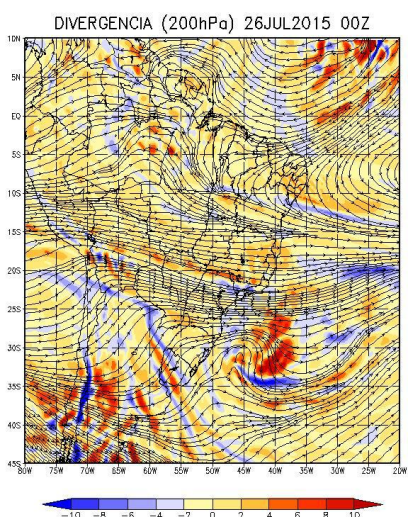
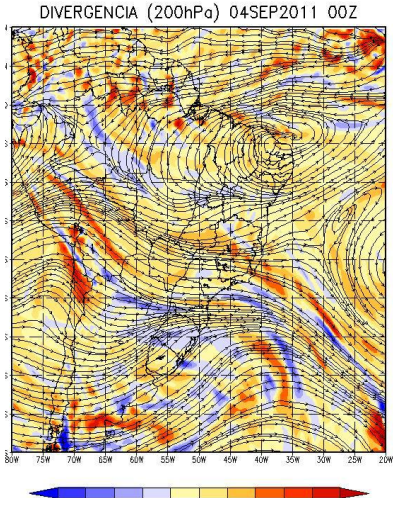
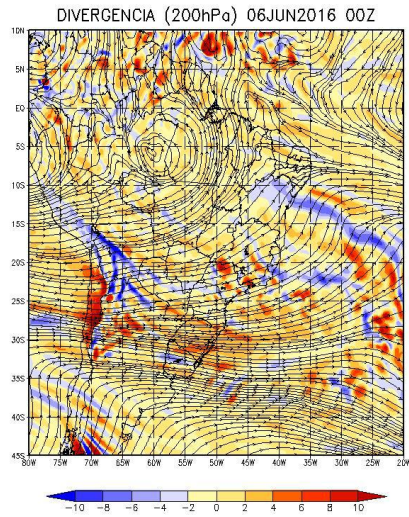


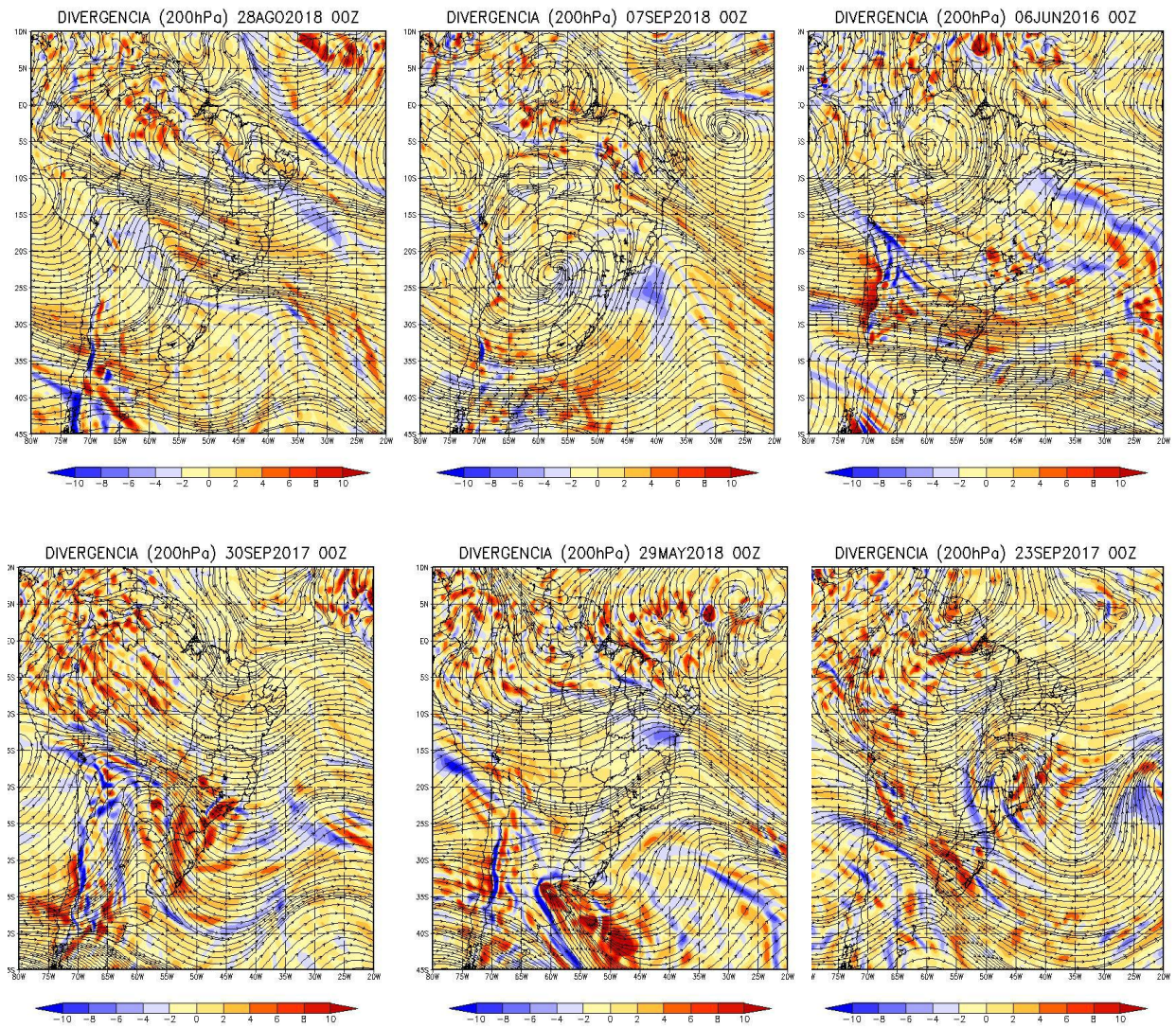
DIVERGENCIA (200hPa) 29JUL2013 00Z



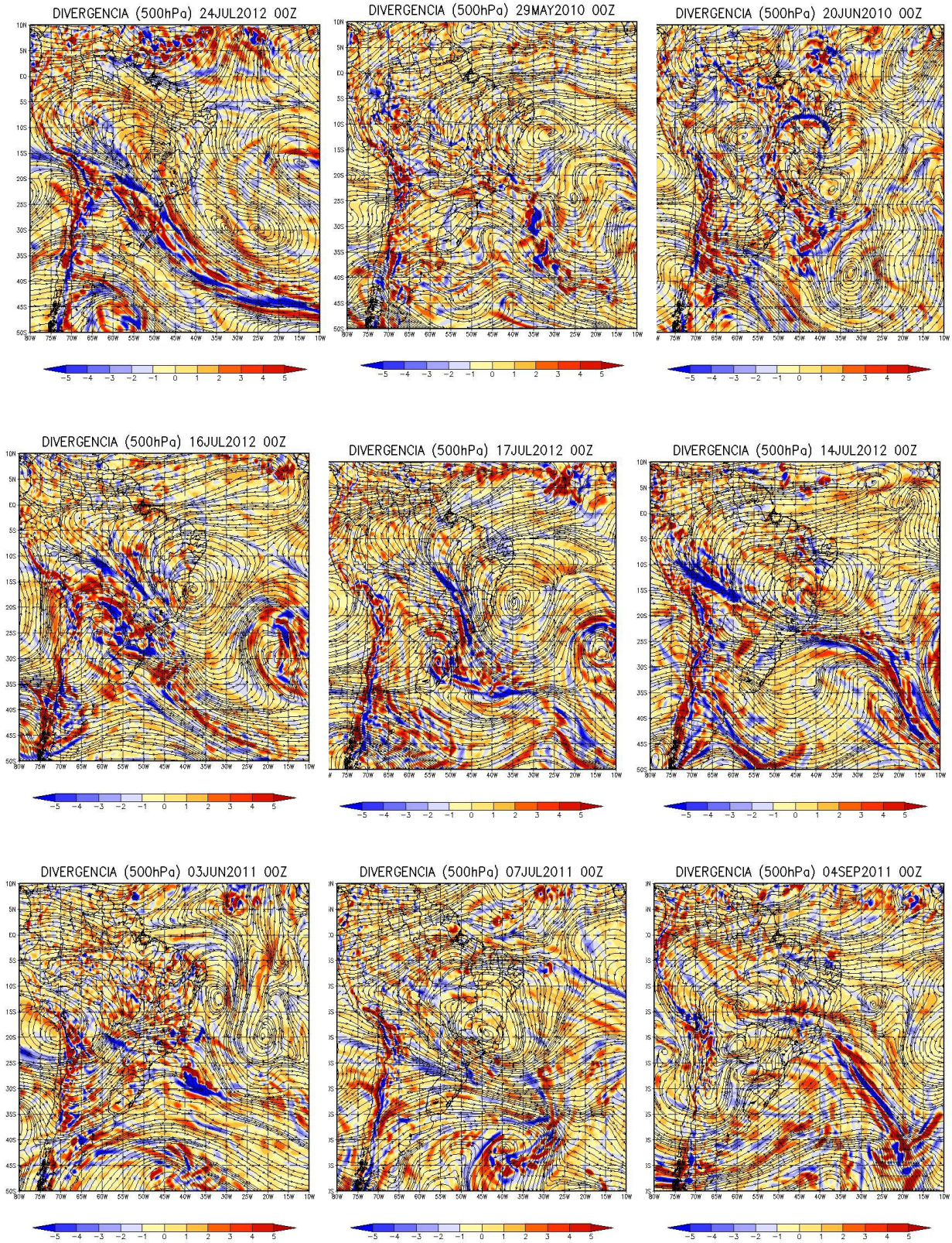
DIVERGENCIA (200hPa) 13SEP2013 00Z

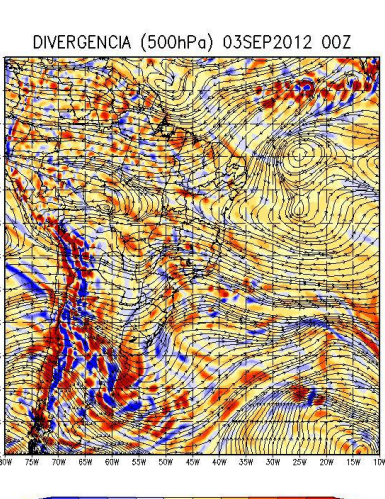
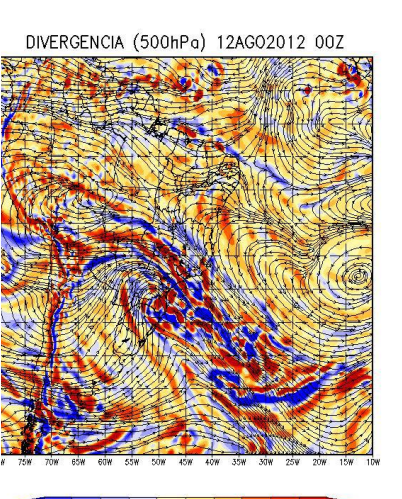
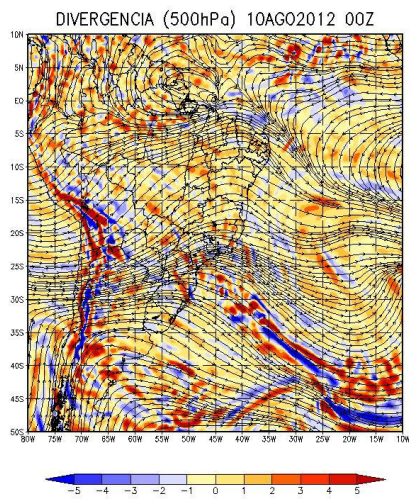
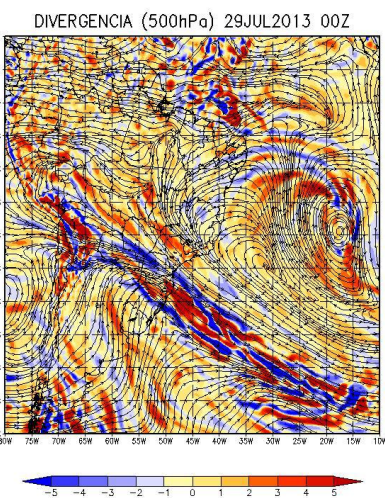
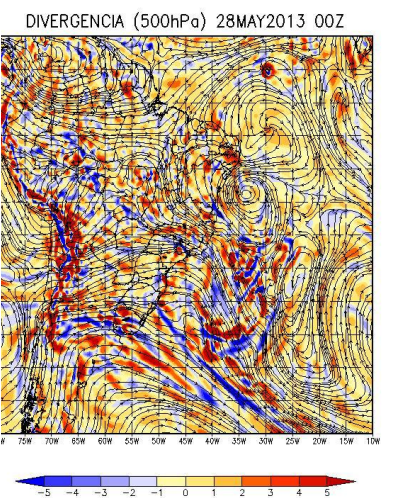
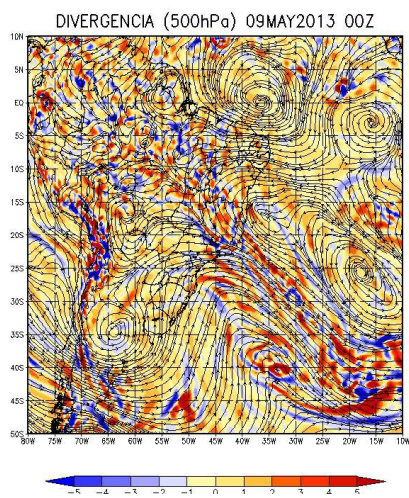
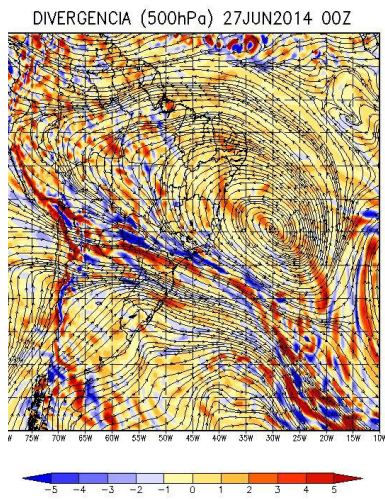
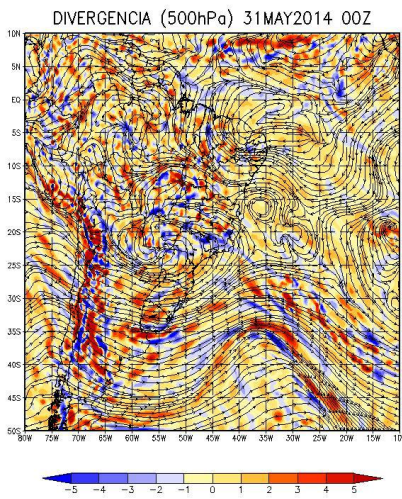
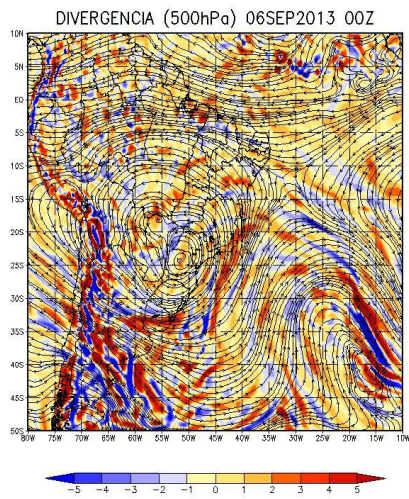


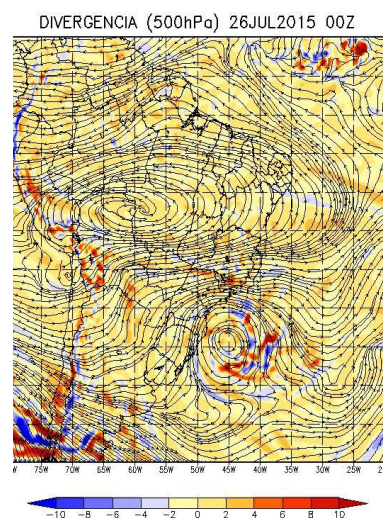
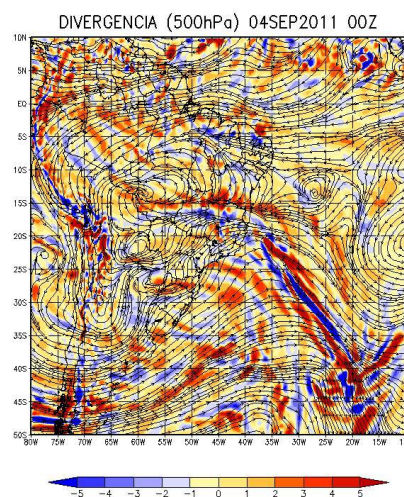
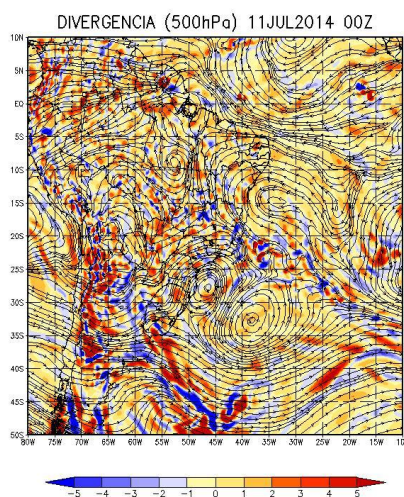
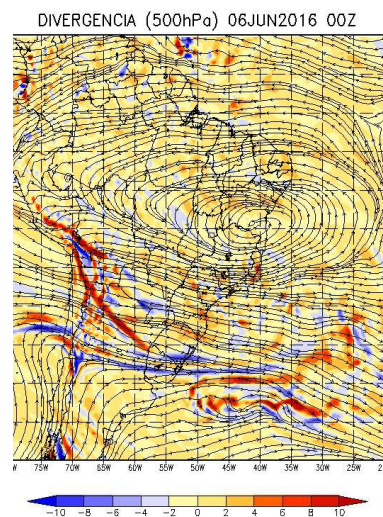
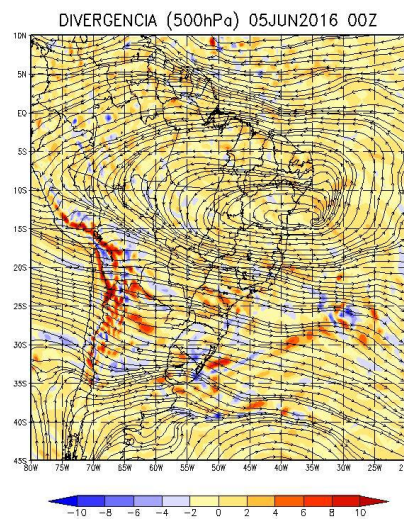
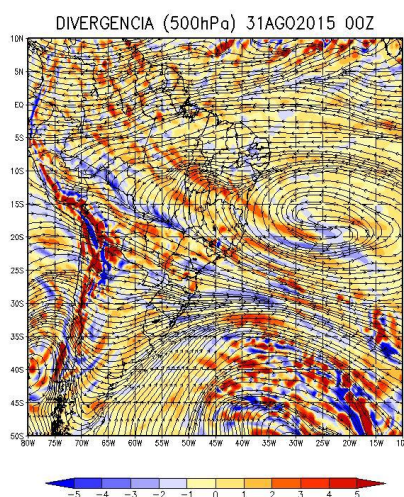
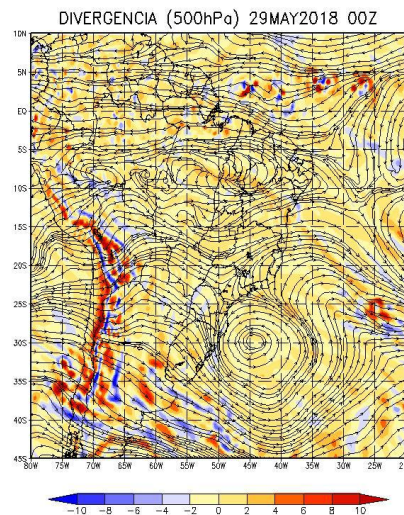
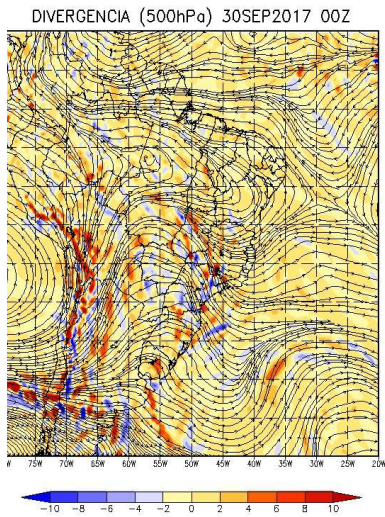
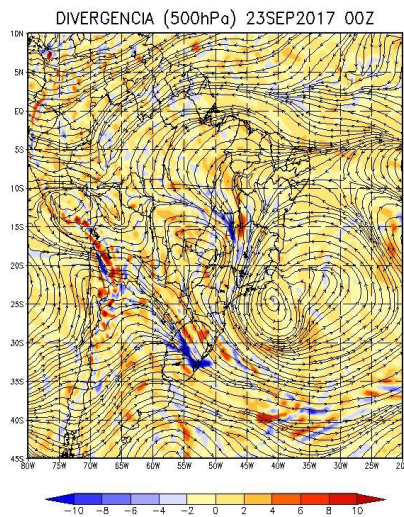


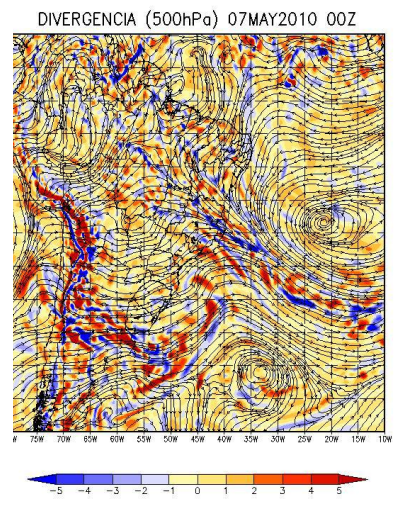
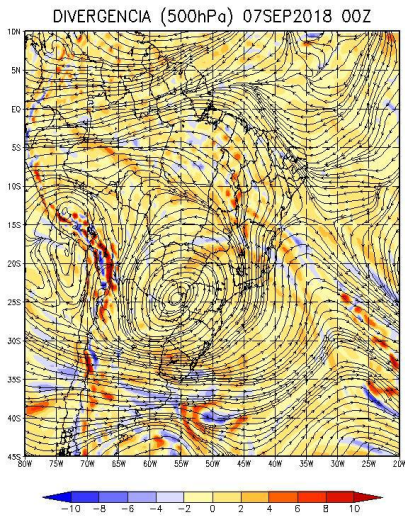
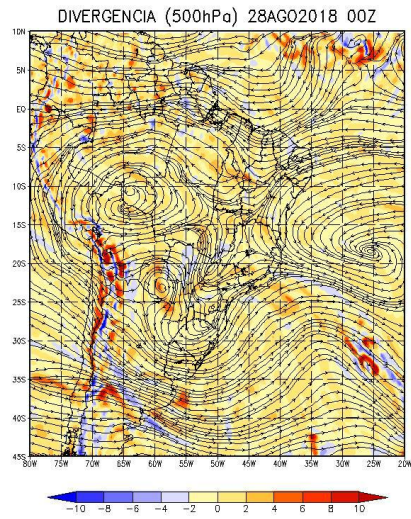


ANEXO D Campos de Linhas de Corrente e divergência para os casos de nevoeiro da estação seca - 500 hPa

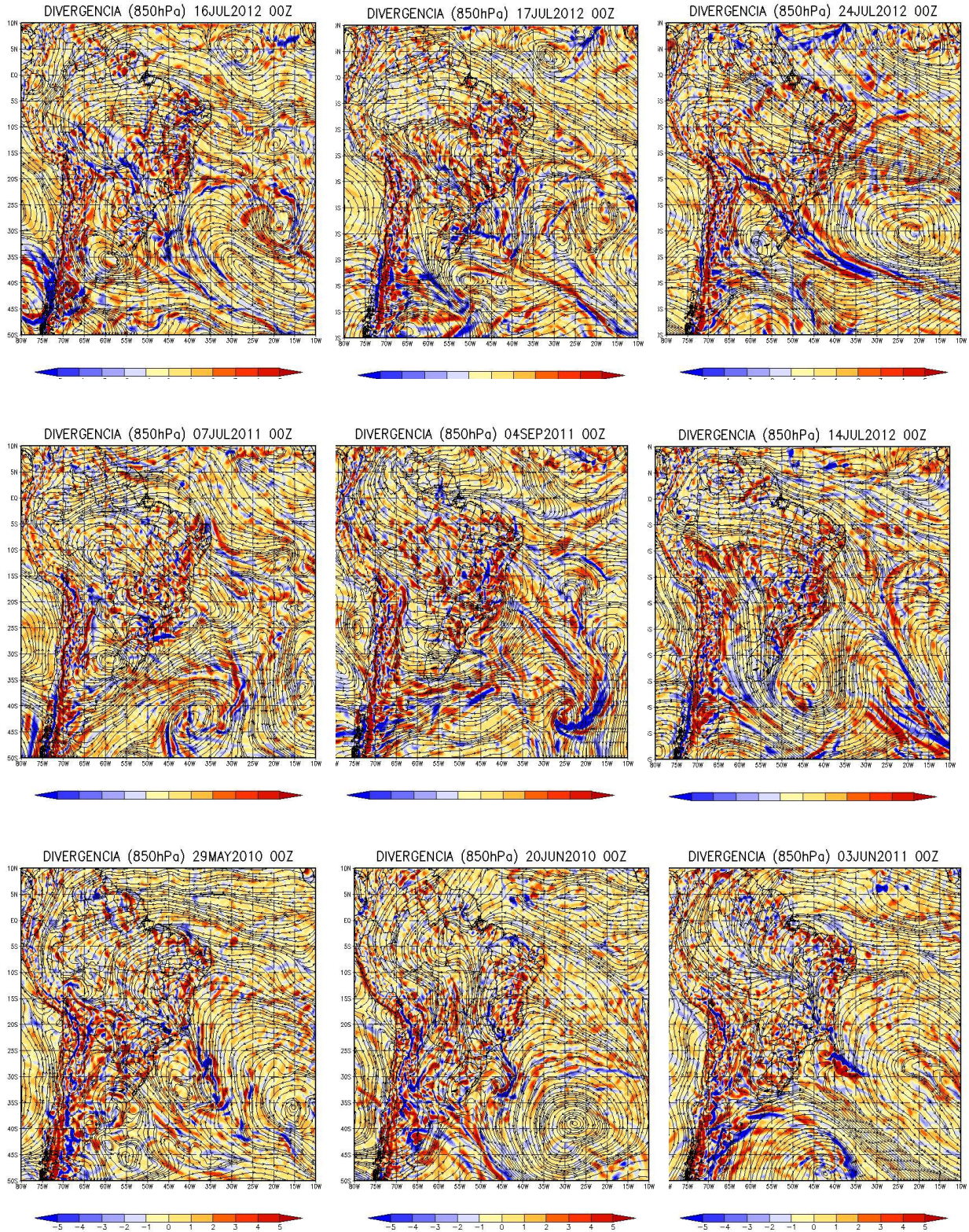


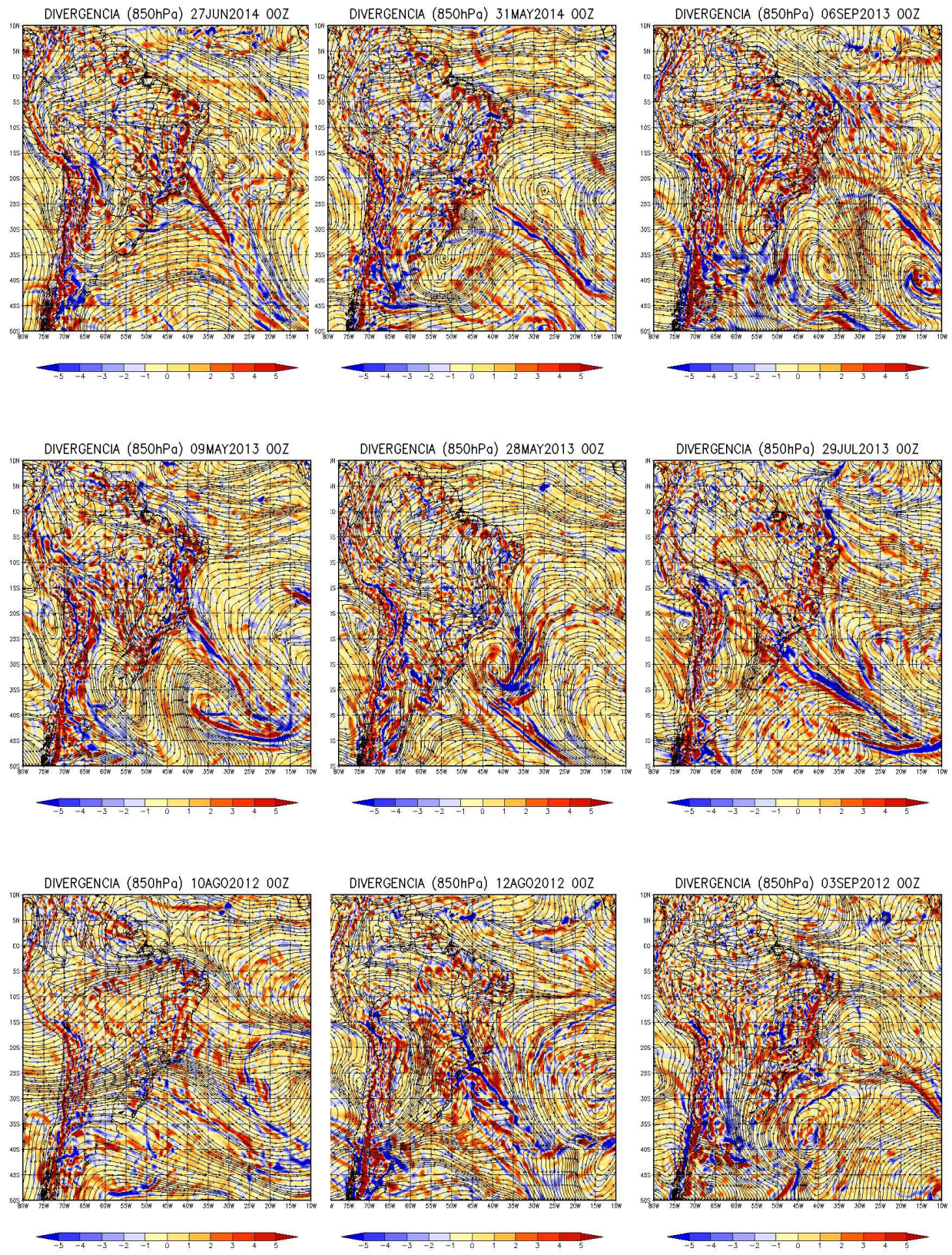


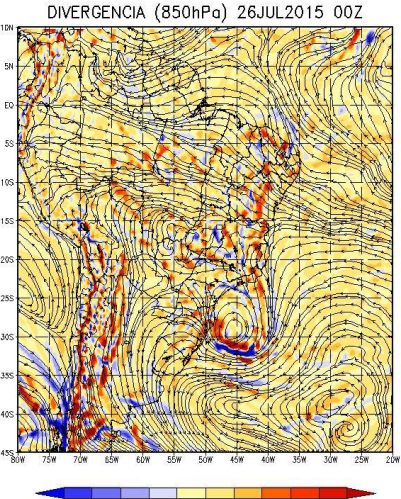
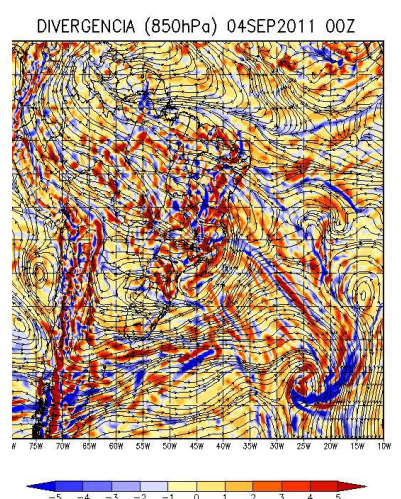
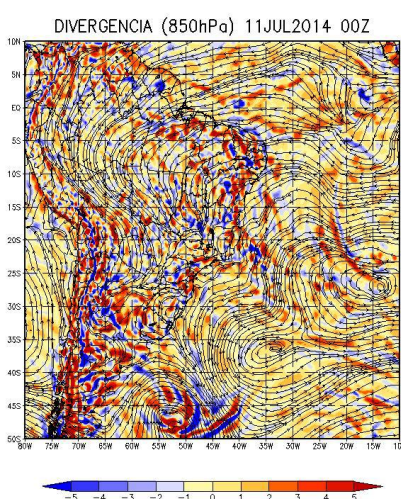
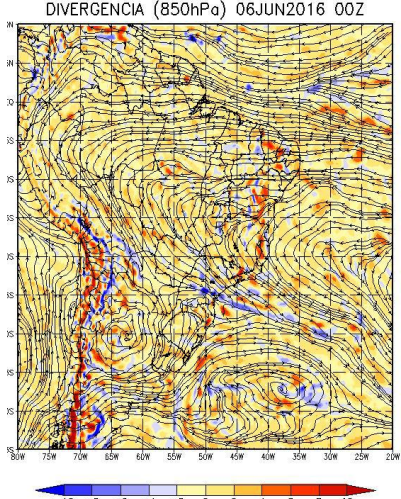
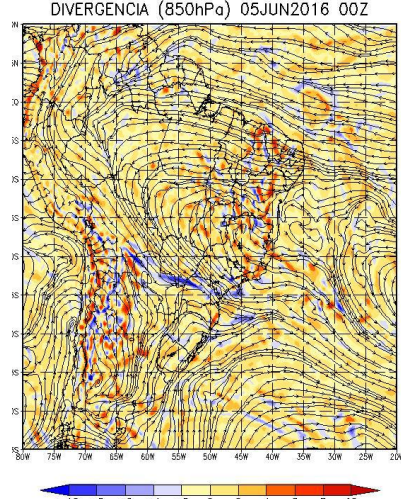
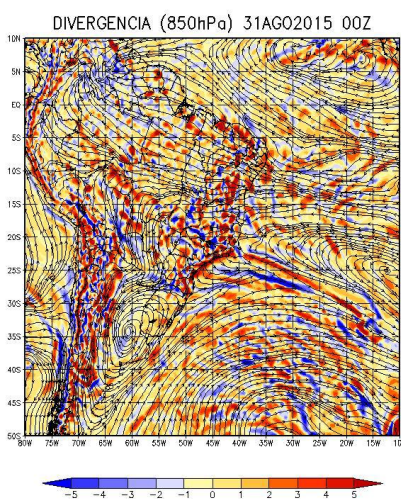
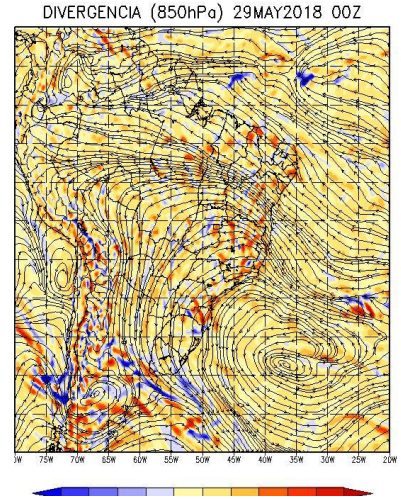
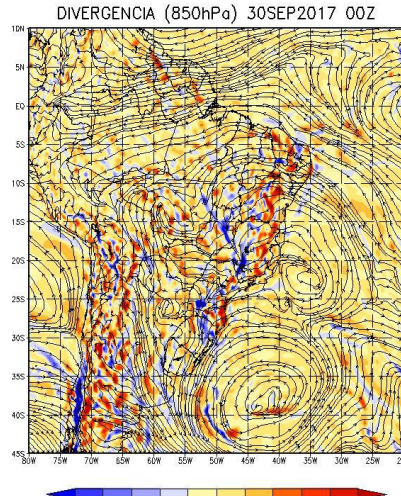
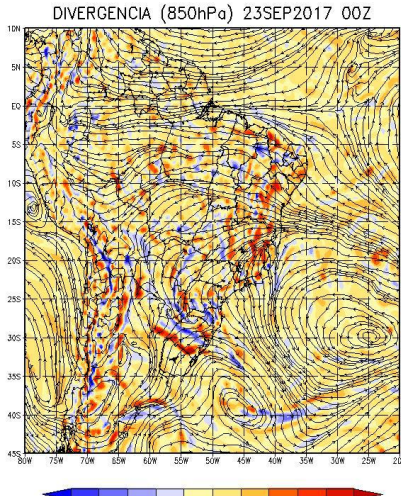


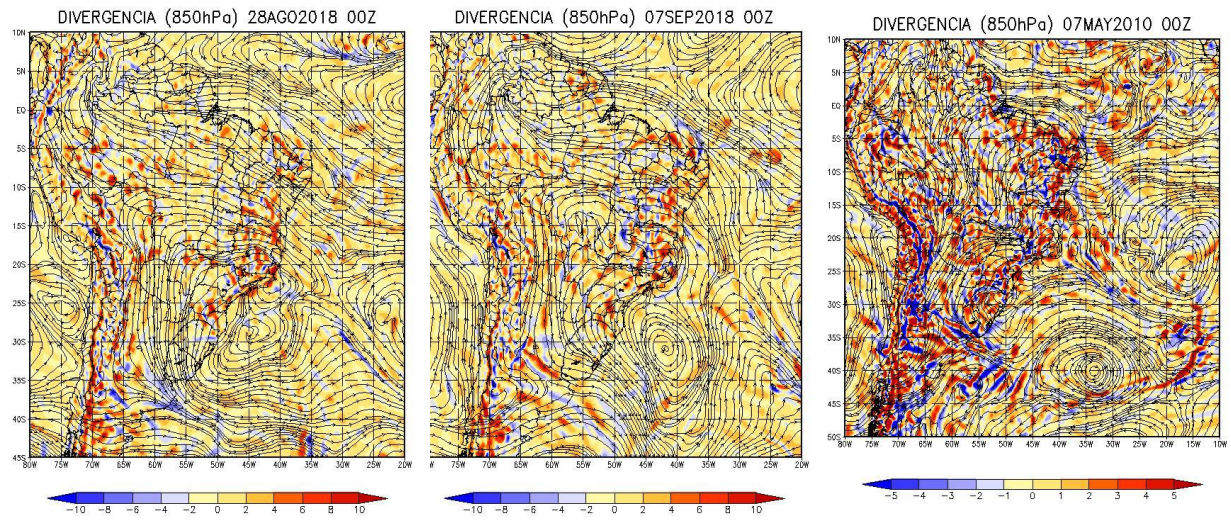


ANEXO E Campos de Linhas de Corrente e divergência para os casos de nevoeiro da estação seca - 850 hPa

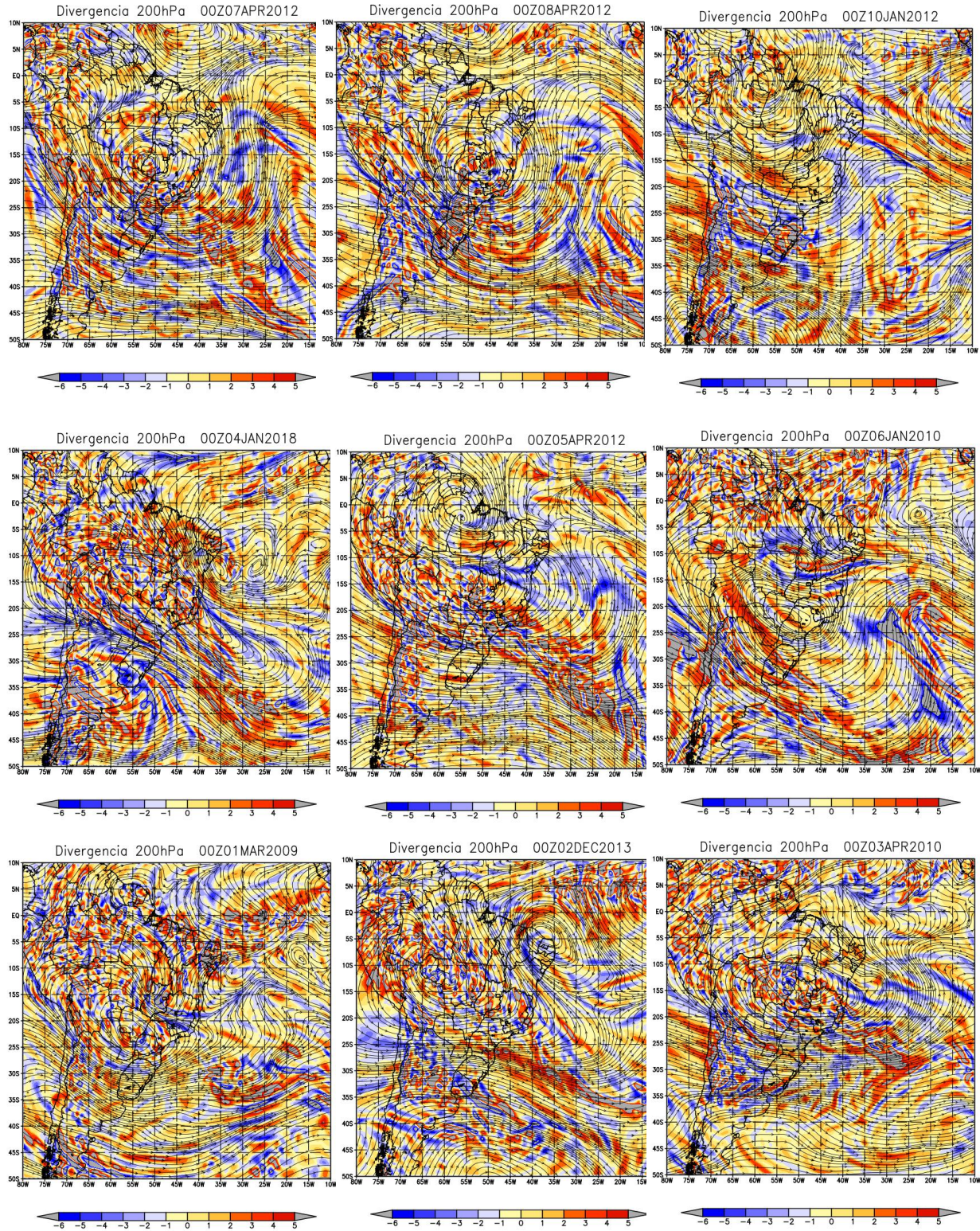


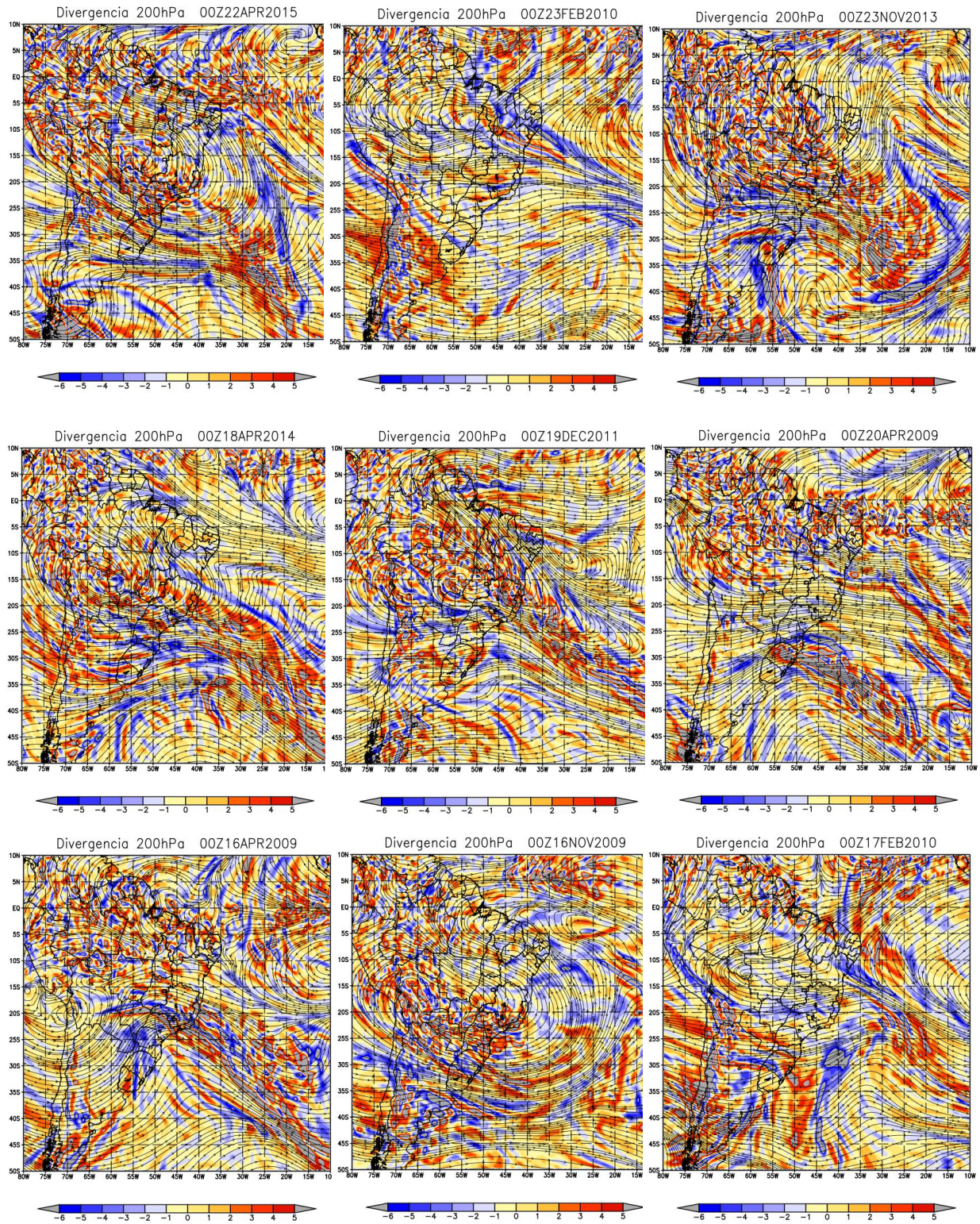


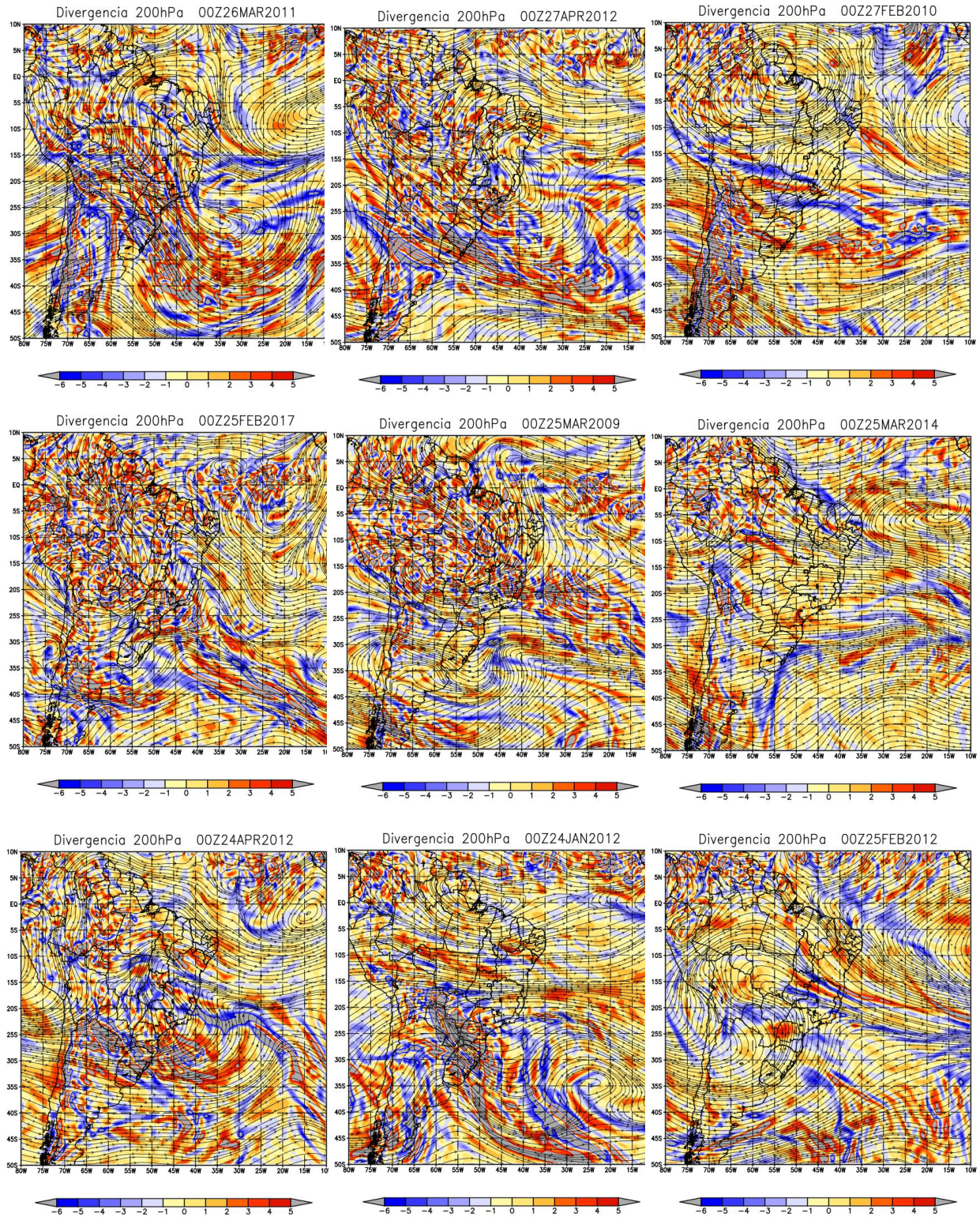


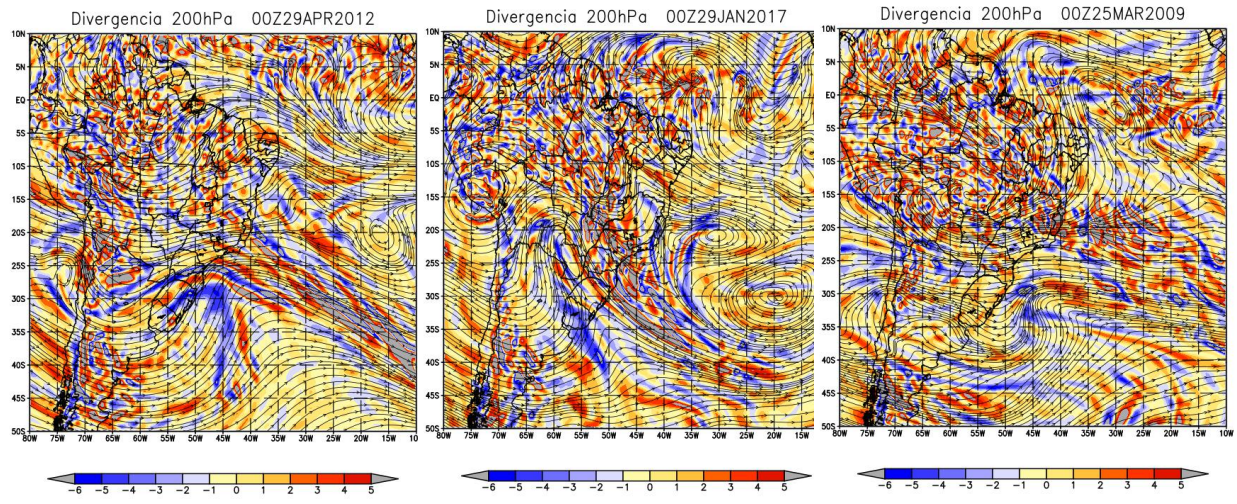


ANEXO F Campos de Linhas de Corrente e divergência para os casos de nevoeiro da estação chuvosa - 200 hPa

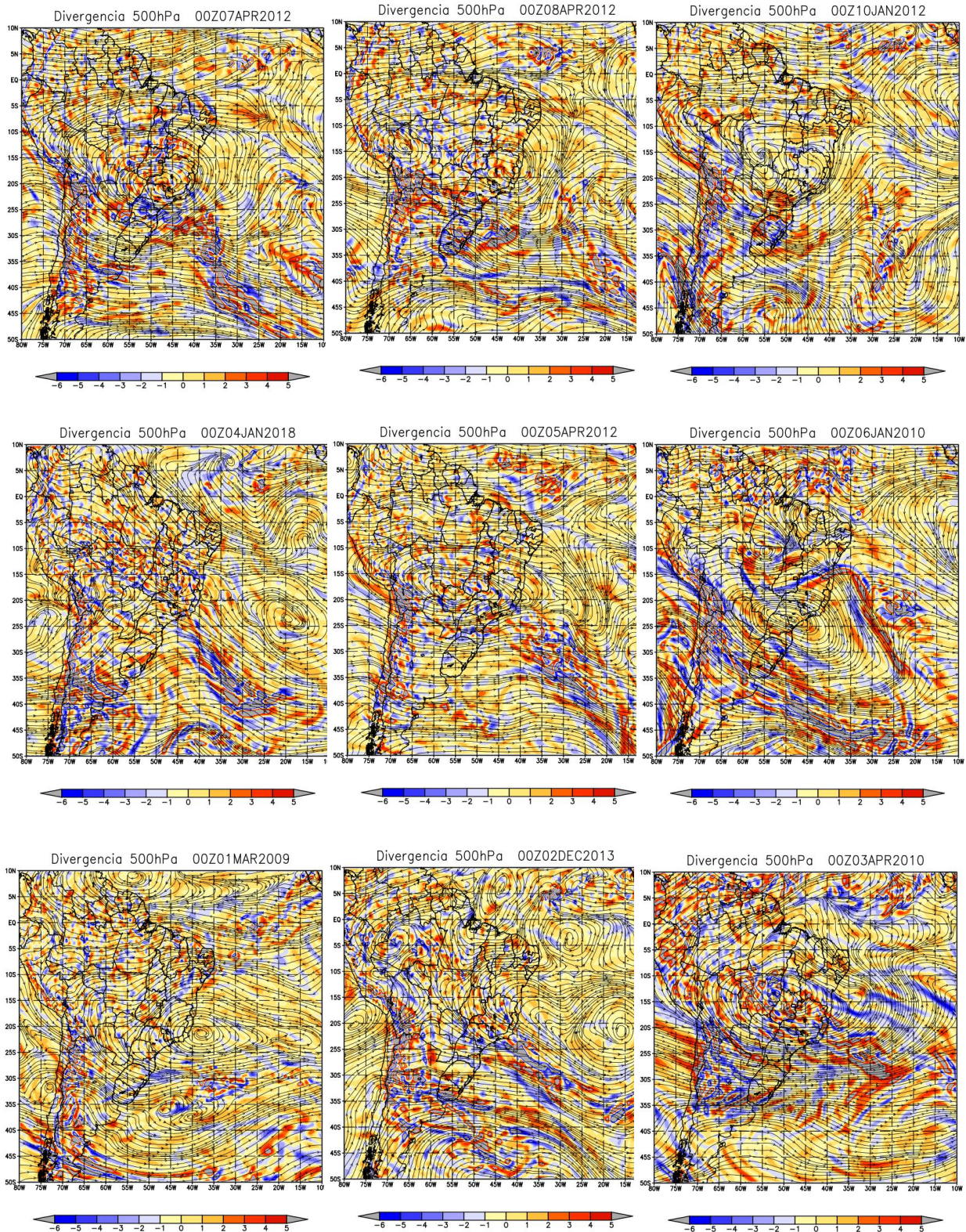


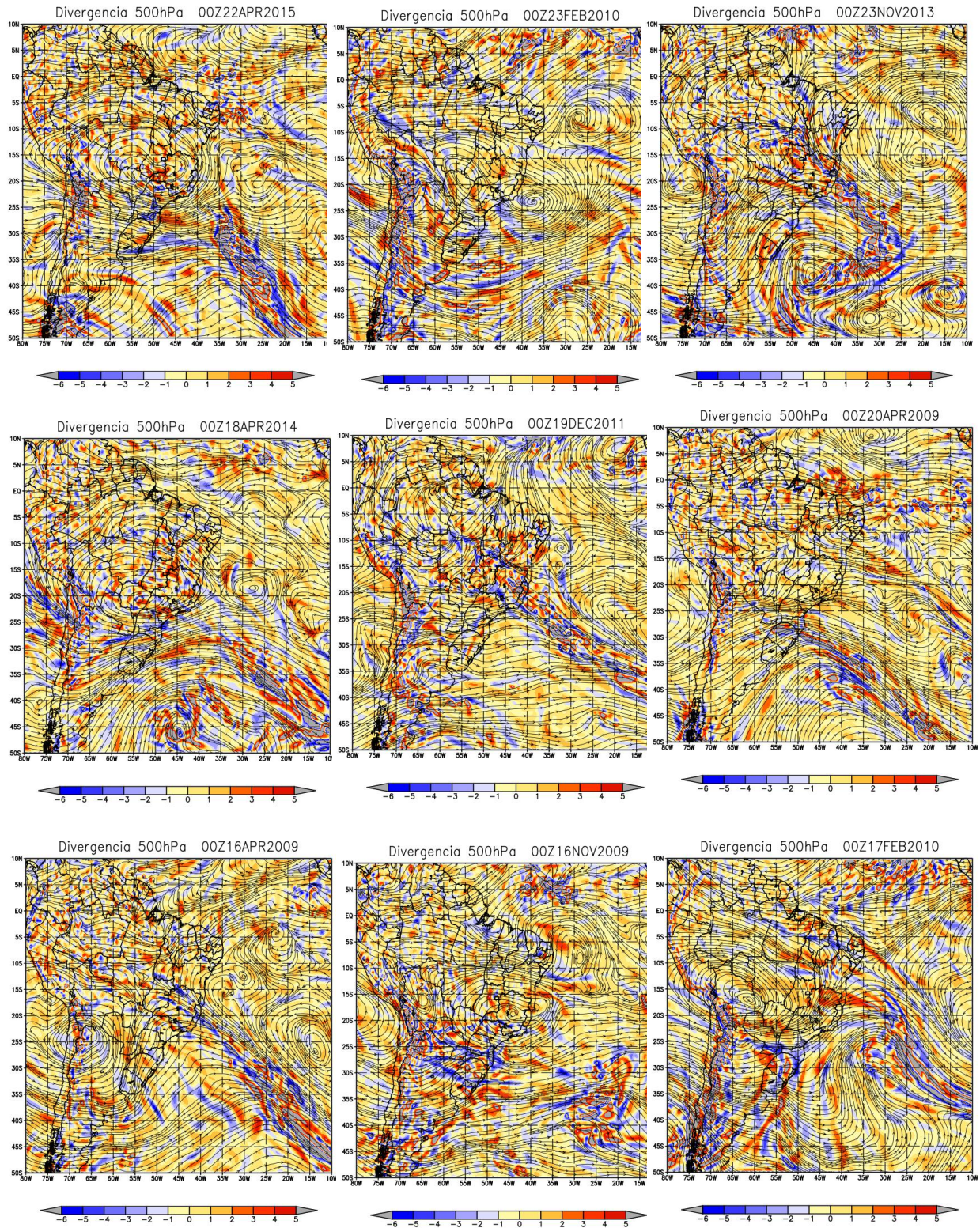


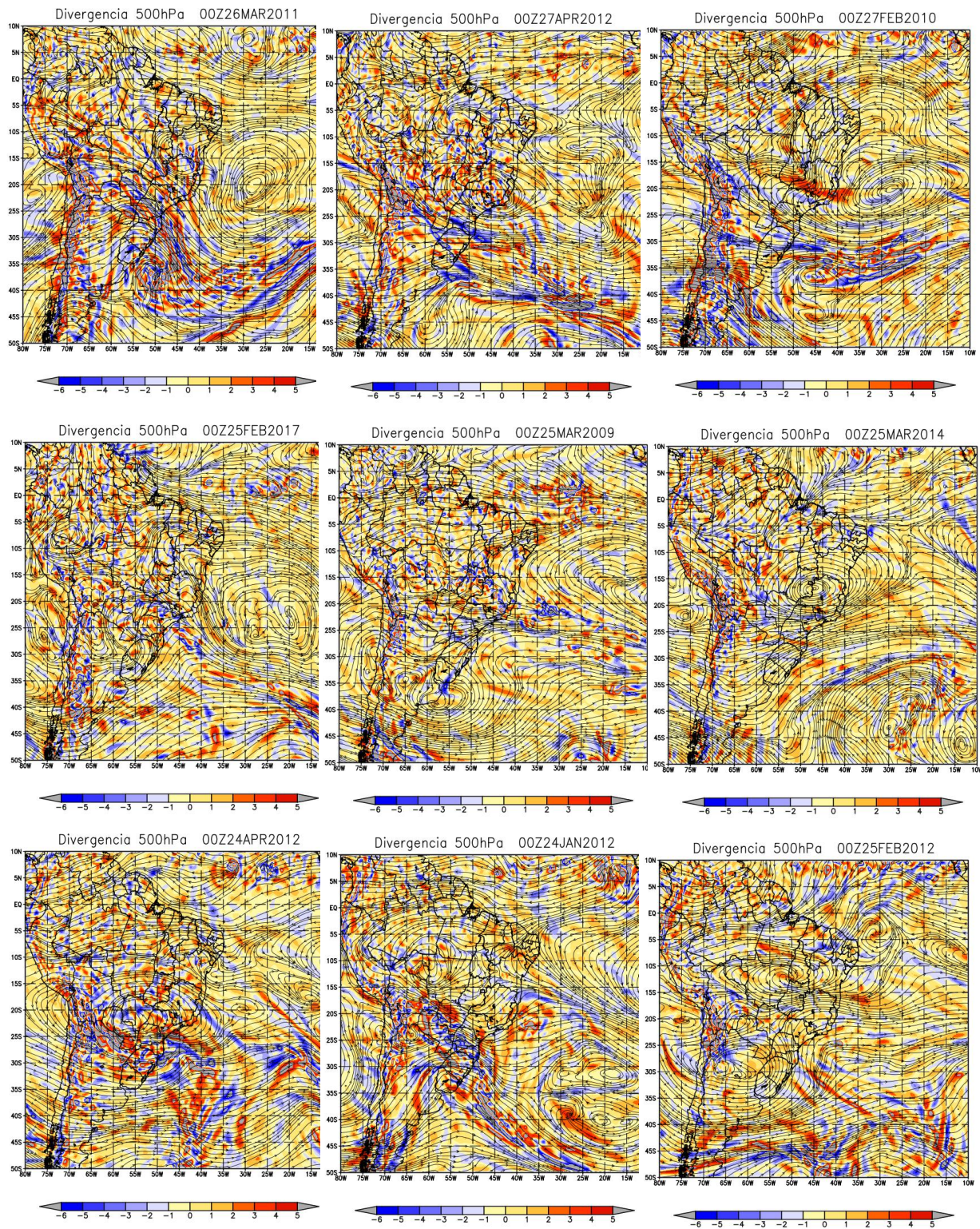


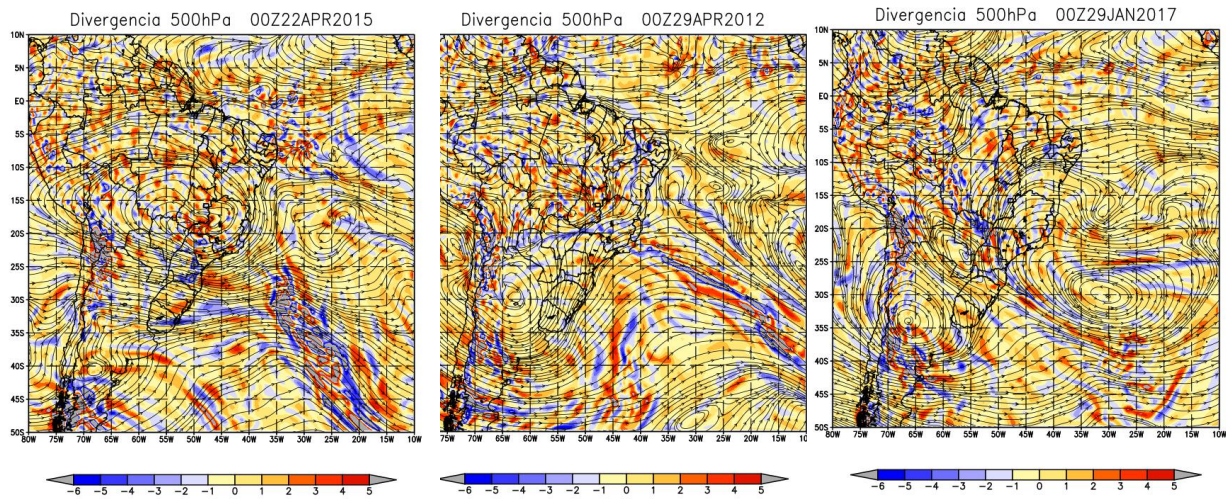


ANEXO G Campos de Linhas de Corrente e divergência para os casos de nevoeiro da estação chuvosa - 500 hPa

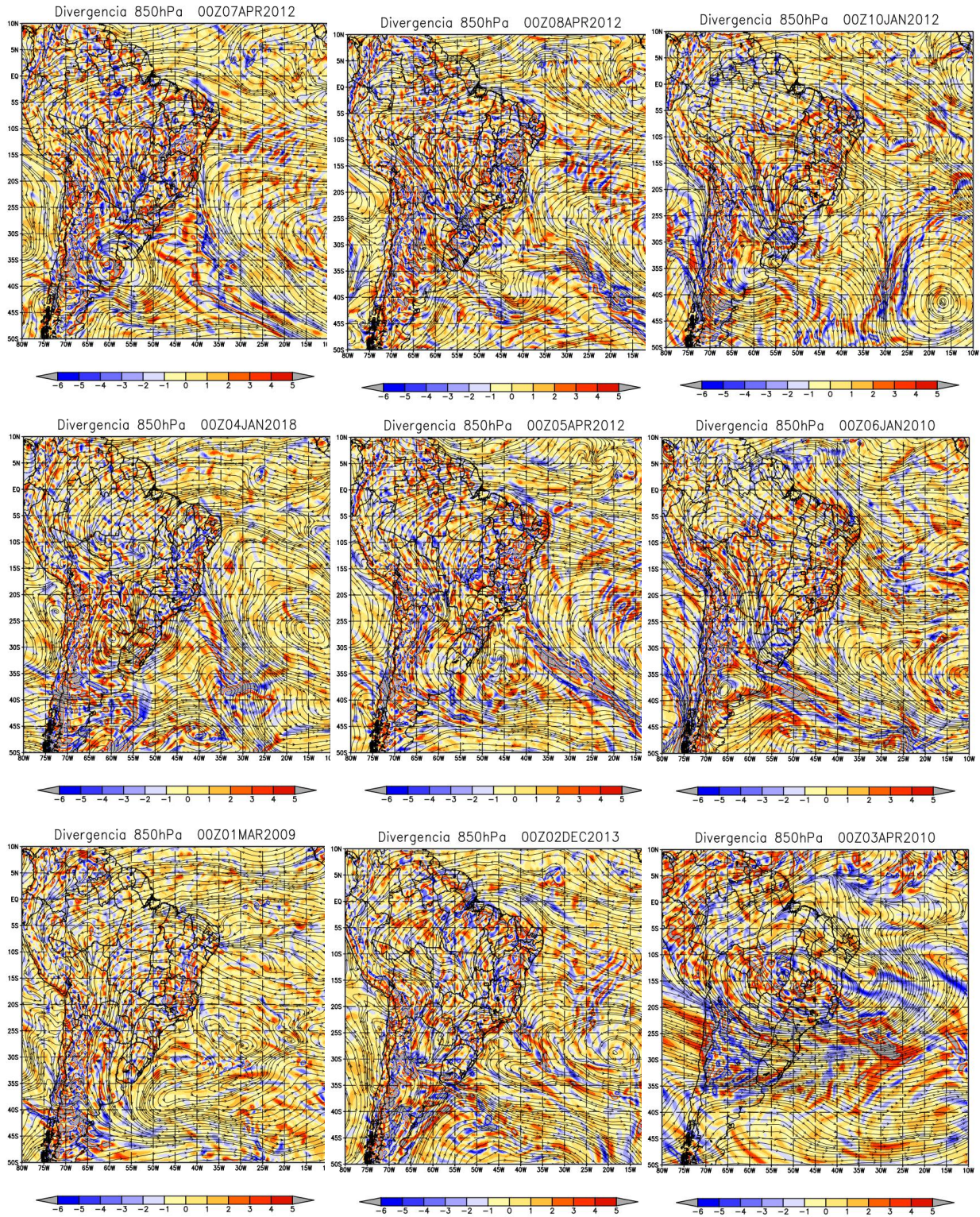


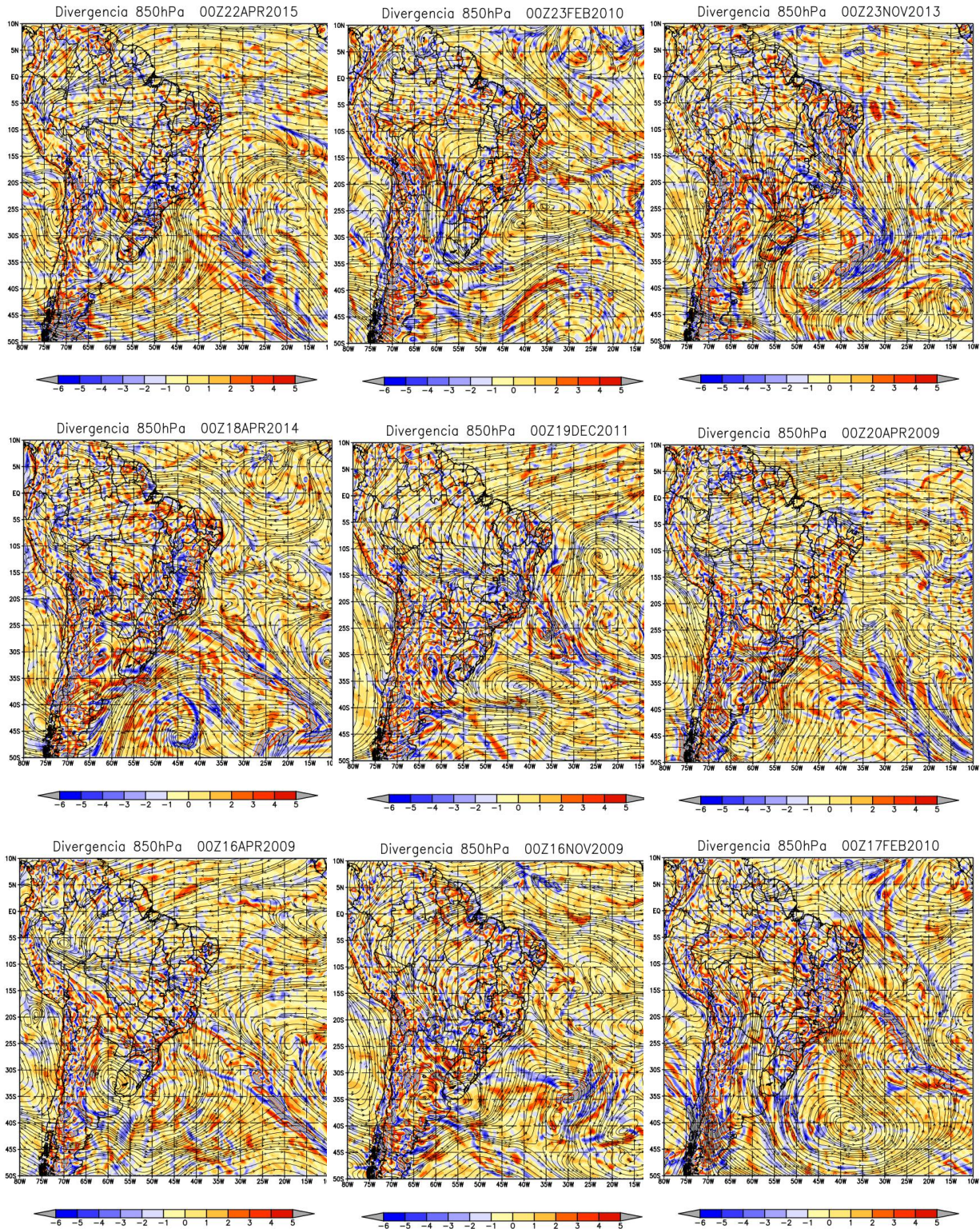


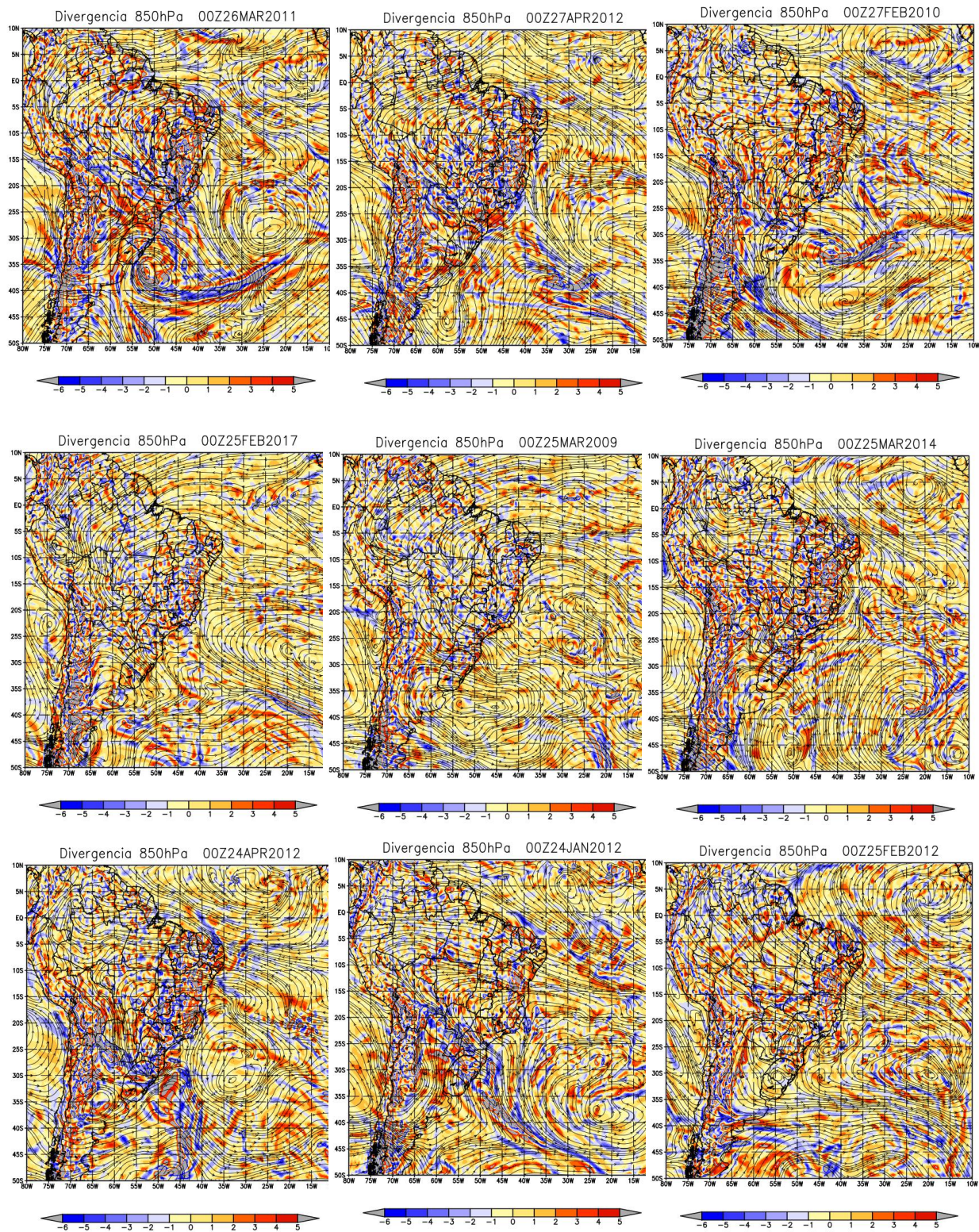


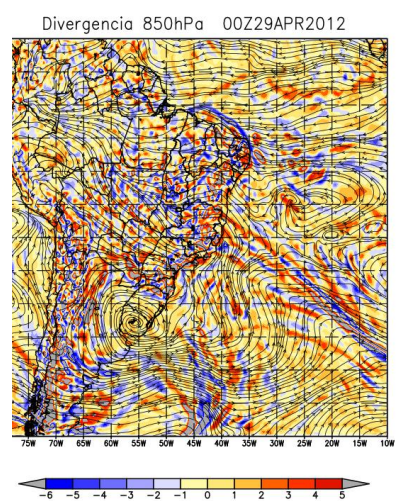
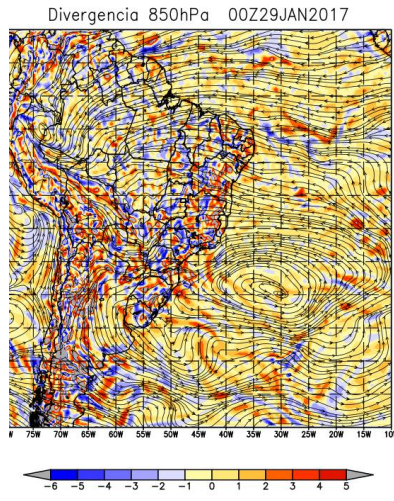
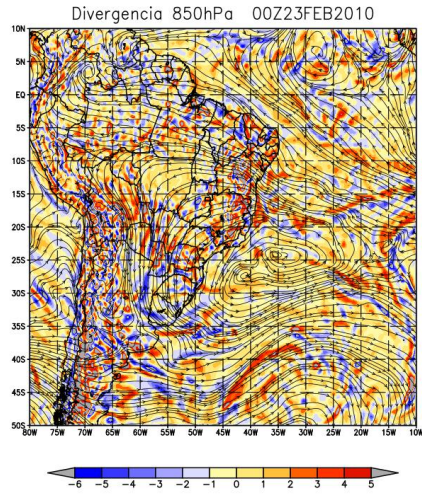


ANEXO H Campos de Linhas de Corrente e divergência para os casos de nevoeiro da estação chuvosa - 850 hPa

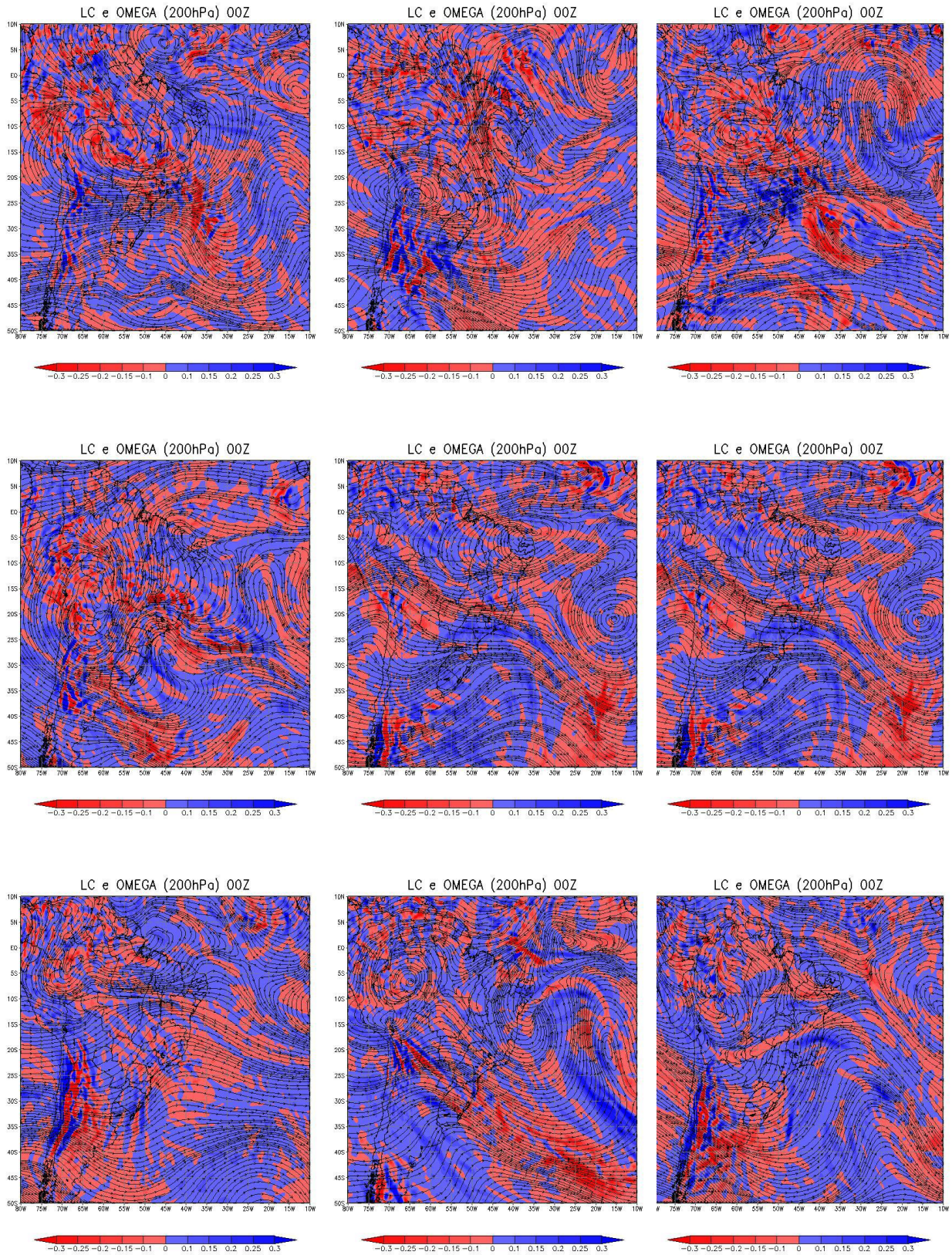


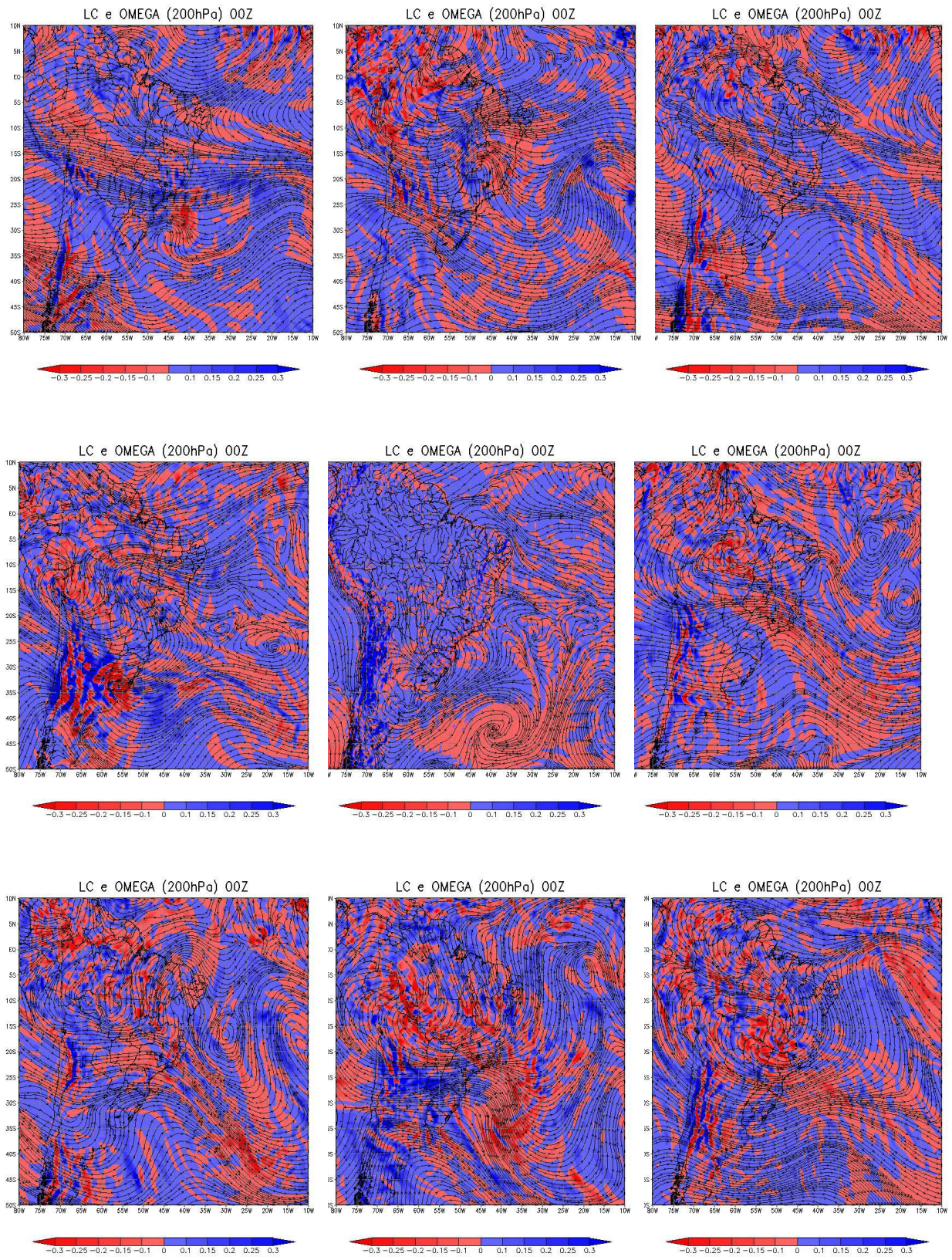


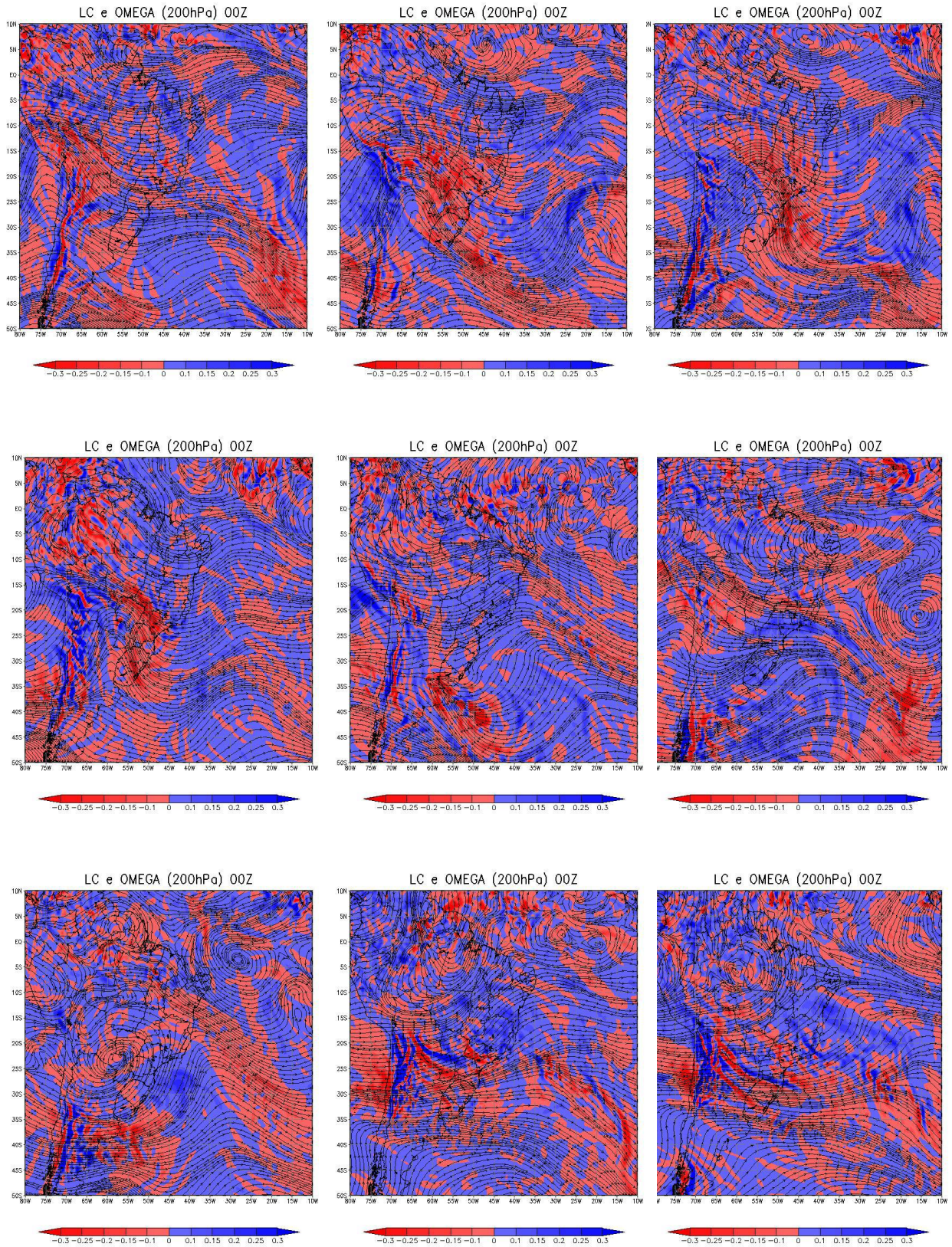


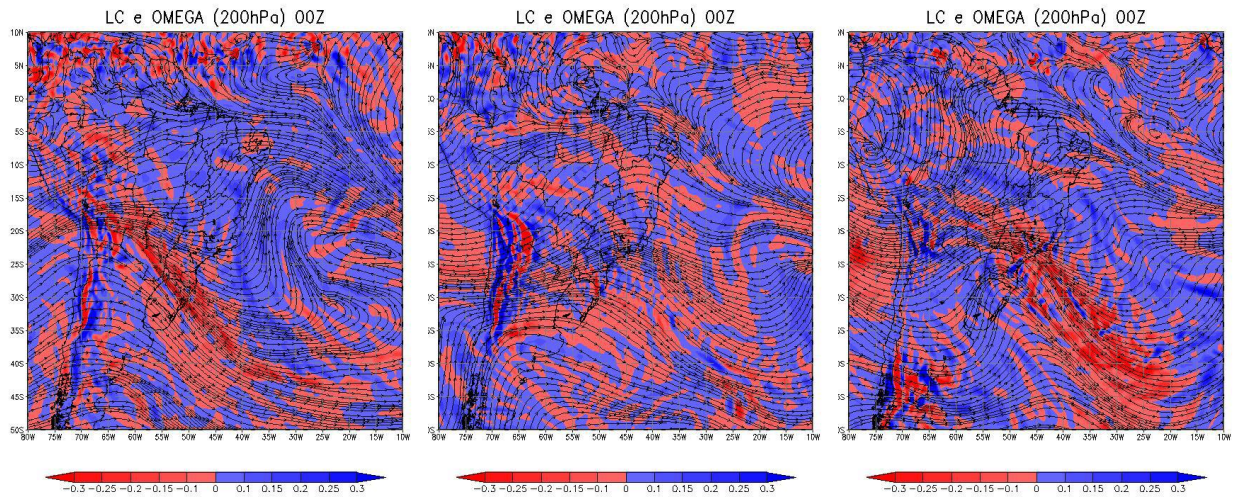


ANEXO I Campos de Linhas de Corrente e omega para os casos de nevoeiro da estação seca - 200 hPa

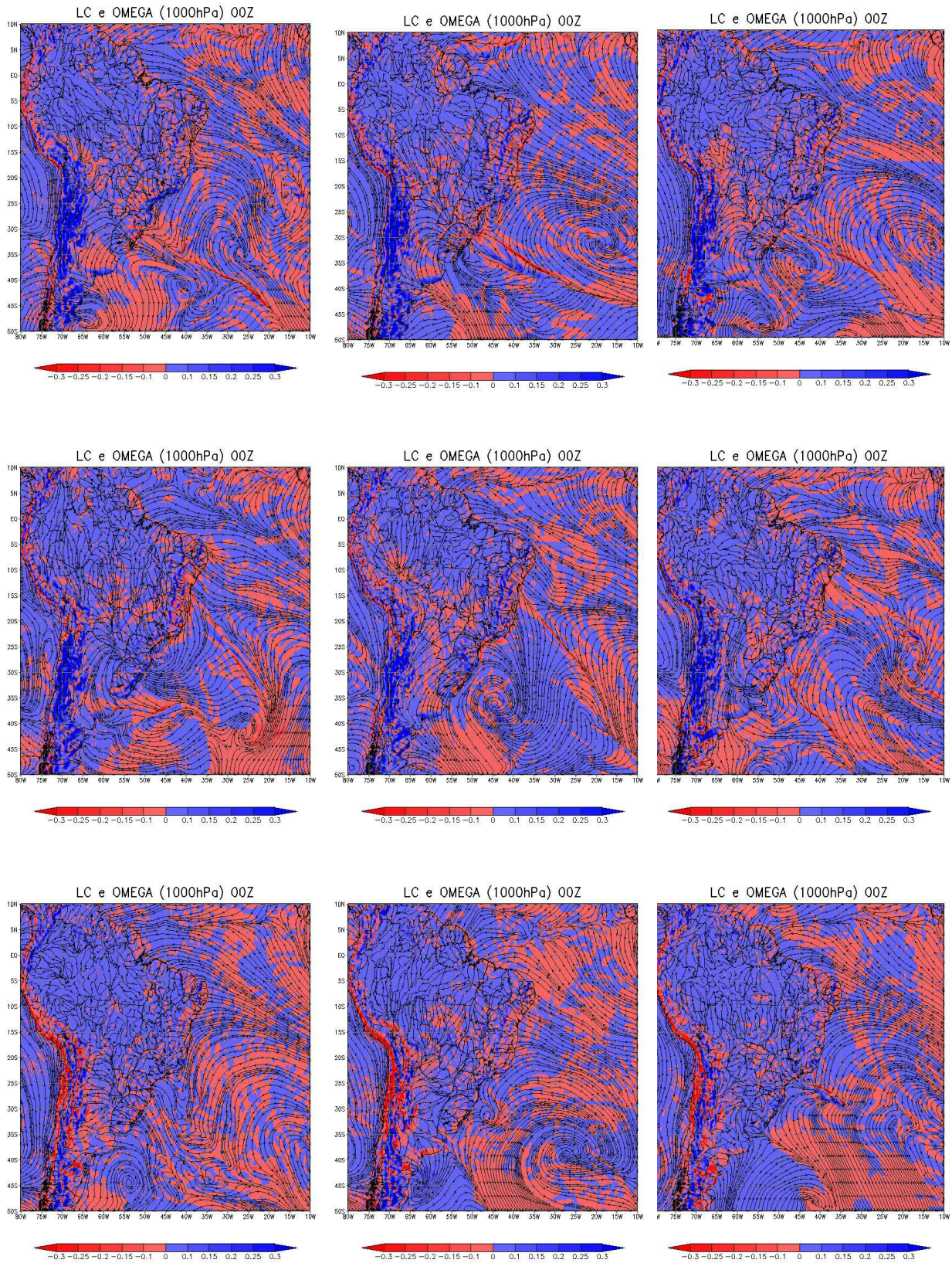


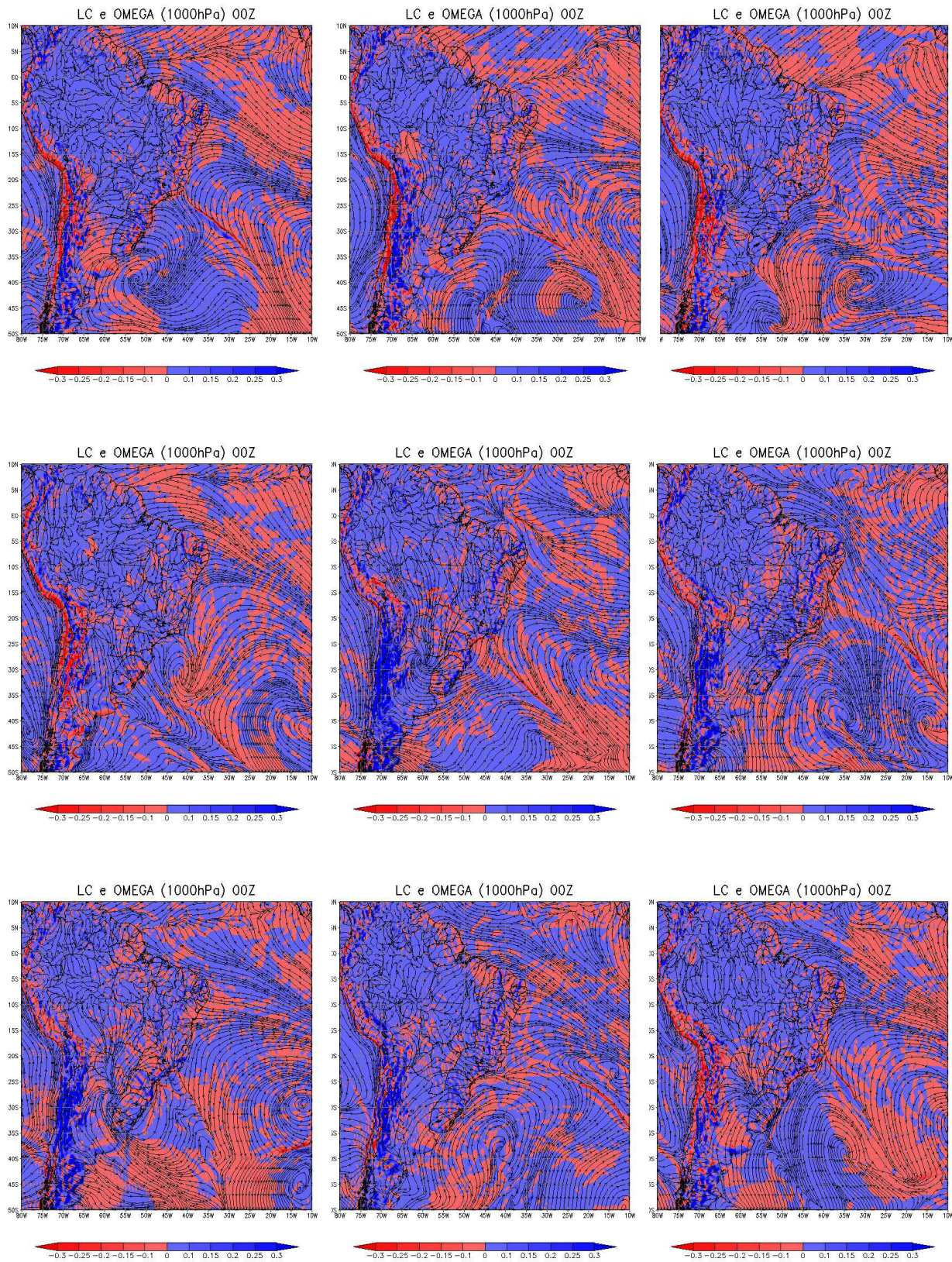


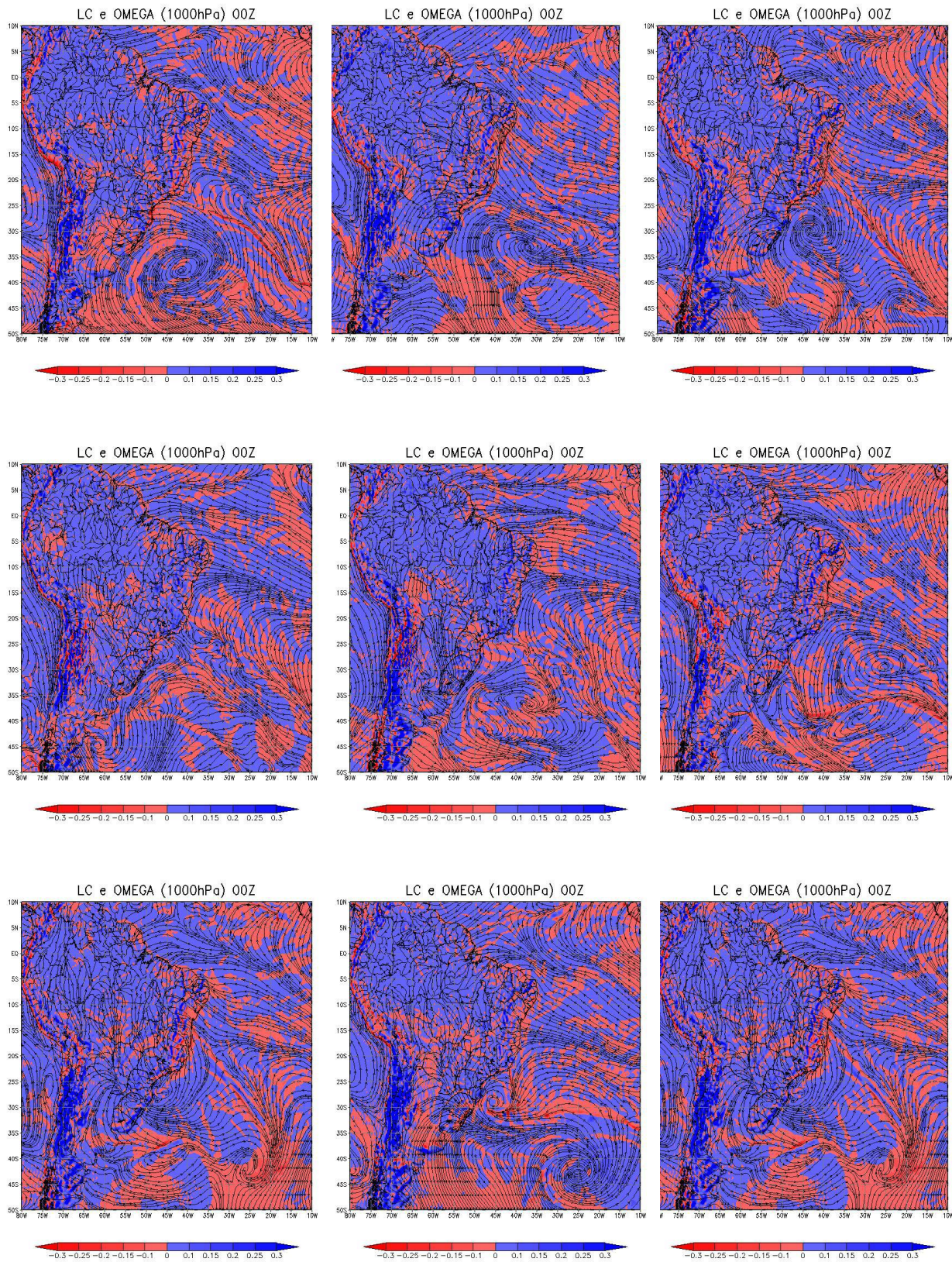


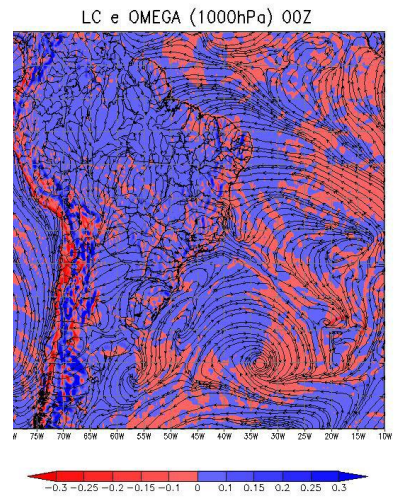
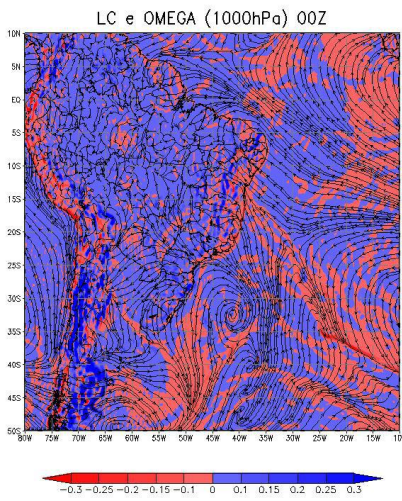
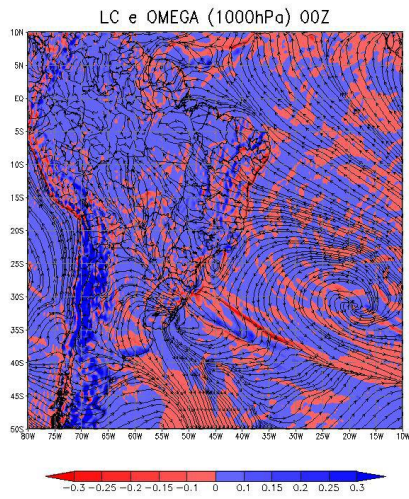


ANEXO J campos de Linhas de Corrente e omega para os casos de nevoeiro da estação seca - 1000 hPa

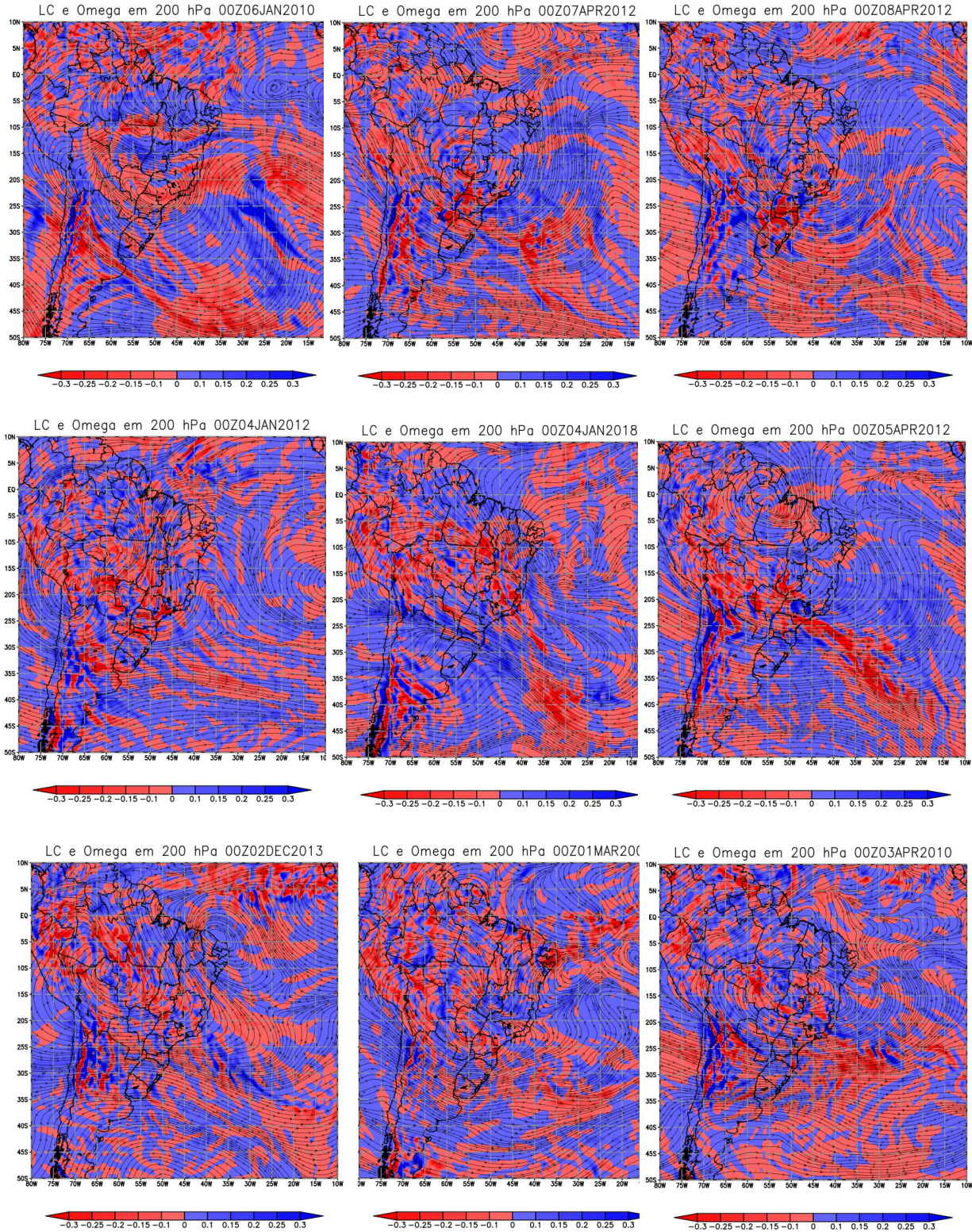


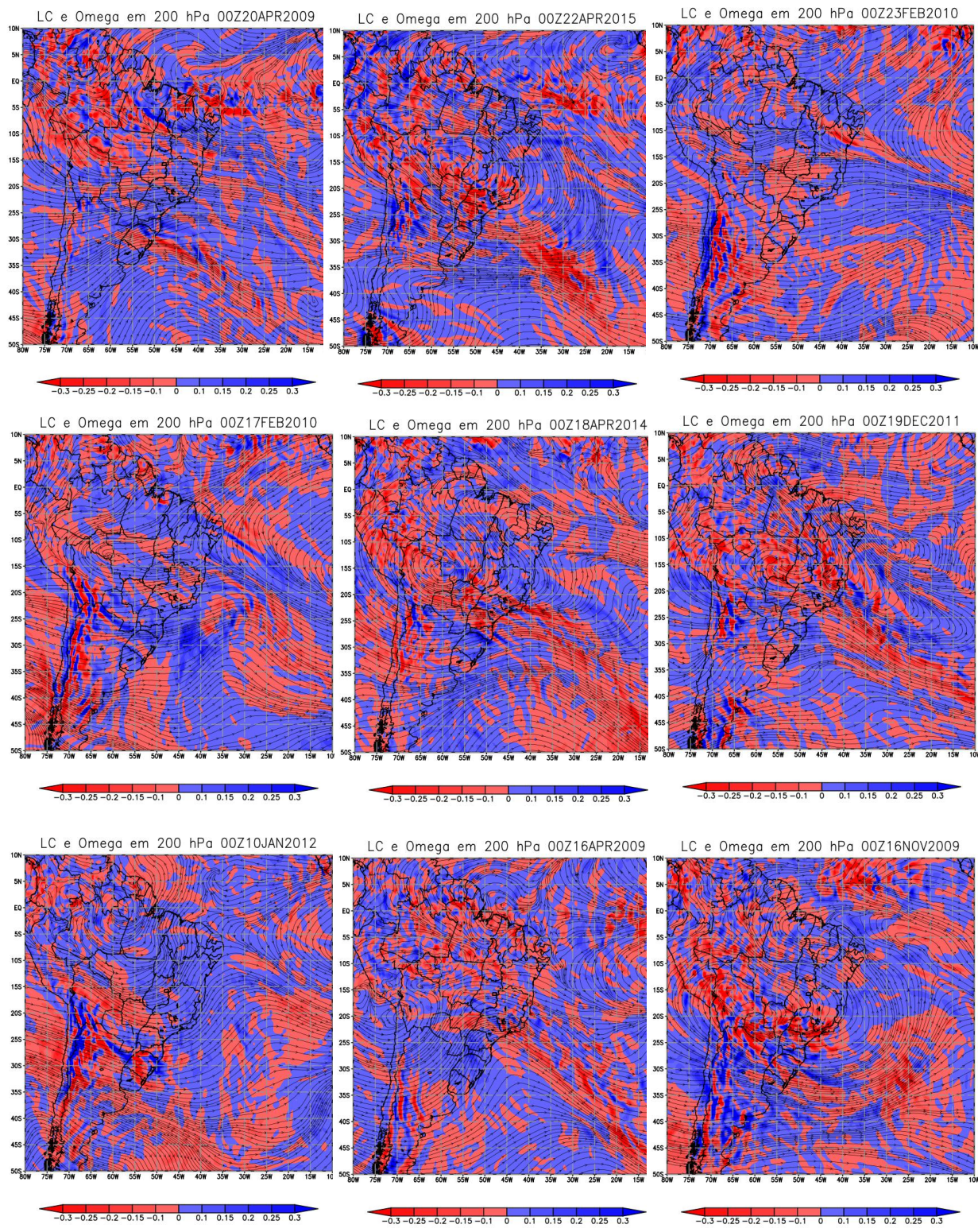


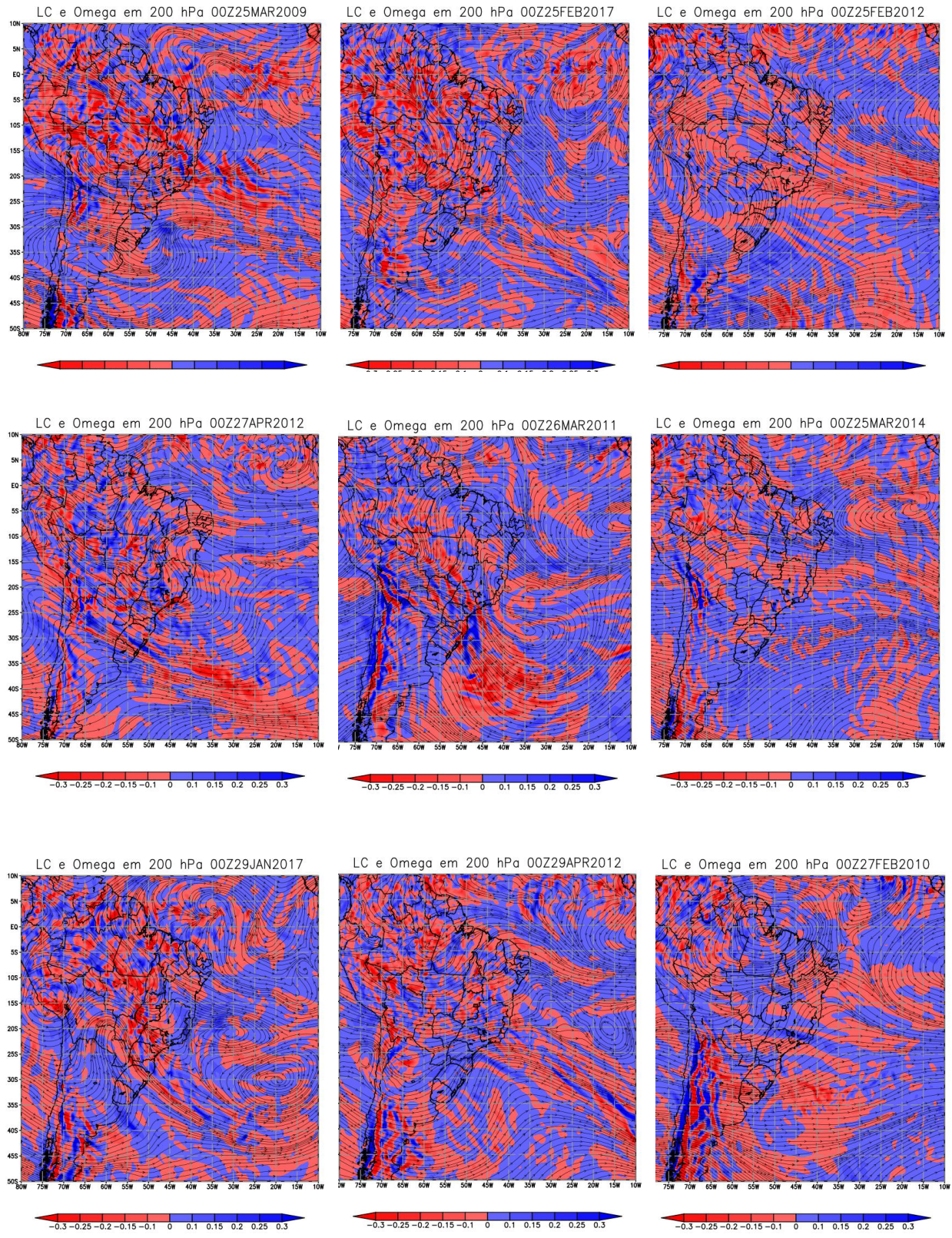


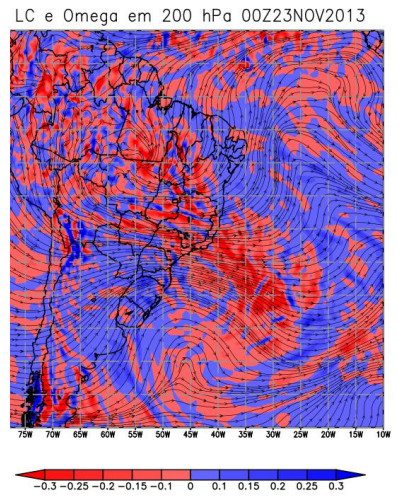
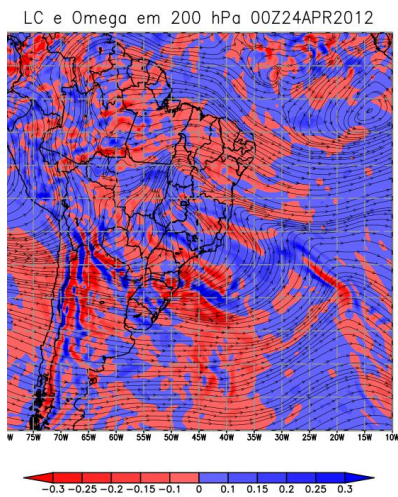
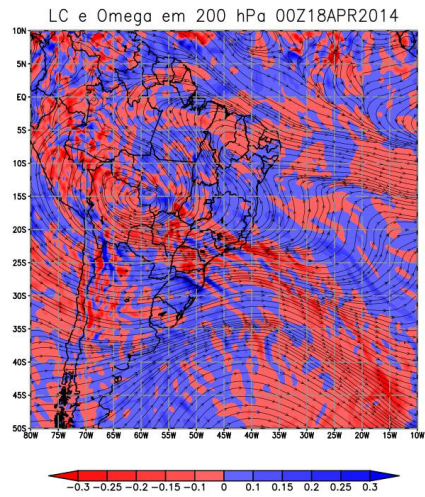


ANEXO L Campos de Linhas de Corrente e omega para os casos de nevoeiro da estação chuvosa - 200 hPa









ANEXO M Campos de Linhas de Corrente e omega para os casos de nevoeiro da estação chuvosa - 1000 hPa

