



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m18/2015/04.27.19.17-TDI

**ESTUDO OBSERVACIONAL DOS EVENTOS DE  
FRIAGENS E TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS NA BACIA  
AMAZÔNICA BRASILEIRA**

Liviany Pereira Viana

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Meteorologia, orientada pelo Dr.  
Dirceu Luis Herdies, aprovada em  
14 de maio de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/3JD5U85>>

INPE  
São José dos Campos  
2015

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO  
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**Membros:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas  
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos  
(CPT)

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação  
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m18/2015/04.27.19.17-TDI

**ESTUDO OBSERVACIONAL DOS EVENTOS DE  
FRIAGENS E TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS NA BACIA  
AMAZÔNICA BRASILEIRA**

Liviany Pereira Viana

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Meteorologia, orientada pelo Dr.  
Dirceu Luis Herdies, aprovada em  
14 de maio de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/3JD5U85>>

INPE  
São José dos Campos  
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Viana, Liviany Pereira.

V654e Estudo observacional dos eventos de friagens e tendências climáticas na Bacia Amazônica brasileira / Liviany Pereira Viana. – São José dos Campos : INPE, 2015.  
xxii + 106 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m18/2015/04.27.19.17-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

Orientador : Dr. Dirceu Luis Herdies.

1. Friagem. 2. Tendência climática. 3. Bacia Amazônica.  
4. Desflorestamento. 5. Temperatura. I.Título.

CDU 551.588(292.88)

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de **Mestre** em  
**Meteorologia**

Dr. Gilberto Fernando Fisch



\_\_\_\_\_  
Presidente / IAE/DCTA / SJCampos - SP

Dr. Dirceu Luis Herdies



\_\_\_\_\_  
Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dra. Gabriela Viviana Müller



\_\_\_\_\_  
Convidado(a) / CONICET / Buenos Aires - AR

**Este trabalho foi aprovado por:**

maioria simples

unanimidade

**Título: "Estudo Observacional dos Eventos de Friagens e Tendências Climáticas na Bacia Amazônica Brasileira".**



Aluno (a): **Liviany Pereira Viana**

**São José dos Campos, 14 de Maio de 2015**

*A meus pais **Lídia e Adelson (in memoriam)**, a meus irmãos, a mi pasión  
**Jhonatan** e a meus sobrinhos.*



## AGRADECIMENTOS

Durante todo o tempo do mestrado muitas pessoas participaram de minha vida. Dentre estas pessoas algumas se tornaram muito especiais e relevantes, cada um ao seu modo, seja academicamente ou pessoalmente, desta maneira, seria injusto não mencioná-las.

A Deus, por conceder a vida e auxiliar nas mais difíceis e boas situações em todo o momento de minha vida.

Ao meu orientador Dr. Dirceu Luis Herdies, obrigada por aceitar a orientação em meu trabalho, pois sem sua ajuda, apoio, confiança e incentivo não conseguiria concluí-lo.

Ao meus amigos, Patrícia Guimarães, Adriane Brito, Elaine Barreto, Rudinei Martins, Marcos Yoshida, Rômulo Oliveira, Diego Enoré e Diogo Ramos pela amizade, humildade e disponibilidade.

Aos novos amigos (Sr. Arnaldo, Sr. Tião, Agildo, entre outros) e colegas do INPE pela ajuda, amizade e alegrias.

À secretaria de pós-graduação pela eficiência e atenção prestada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela ajuda financeira durante o tempo de mestrado.

Ao Setor de Estudos Climatológicos da Aeronáutica pela disponibilidade dos dados observados sobre a Amazônia.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) pela oportunidade de estudo e por sua estrutura.



## RESUMO

Neste trabalho foi realizado um estudo observacional, em que na primeira parte, analisou-se os eventos de friagens sobre a Bacia Amazônica Brasileira (Vilhena, Porto Velho, Rio Branco, Tabatinga, Manicoré e Manaus) para o período de inverno austral desde 1980 a 2013, destacando eventos que conseguiram alcançar a linha do Equador (Iauaretê) e a estrutura vertical da atmosfera. Os dados utilizados foram obtidos pelo Setor de Estudos Climatológicos pertencente ao Instituto de Controle do Espaço Aéreo, Instituto Nacional de Meteorologia, as Reanálises do National Center for Environmental Prediction e dados de radiossondagem da campanha Mini Barca de 2008. As variáveis utilizadas foram as temperaturas mínima, máxima, componentes zonal e meridional do vento, umidade específica e pressão atmosférica. A metodologia utilizada foi a diferença da média mensal do valor de 1,5 desvios-padrão para os eventos em toda a Bacia Amazônica. Em relação aos eventos que ultrapassaram a linha do Equador, a diferença foi o valor de 2 desvios-padrão da média mensal. Na segunda parte verificaram-se as tendências climáticas dos extremos da temperatura do ar com inclusão da cidade de Conceição do Araguaia (PA). Neste último, aplicaram-se os testes de significância estatística de Mann-Kendall e as estimativas de tendência linear através do método de Sen. Os resultados obtidos indicaram que desde Vilhena até Manaus, ocorreram no total 68 eventos de friagem, sendo que, 23 casos conseguiram ultrapassar a linha do Equador (cidade de Iauaretê). As intensidades desses eventos foram mais significativas em anos de La Niña, enquanto as maiores frequências foram observadas em anos de El Niño. Como mostrado, há a redução das temperaturas e umidade específica, aumento da pressão atmosférica e velocidade de vento, cujas componentes meridional e zonal modificaram a direção, a primeira tornou-se de sul e a segunda, de leste. Em relação as tendências climáticas verificadas pela confiança estatística, os valores positivos da tendência foram observados tanto na temperatura mínima como na temperatura máxima, com aumento de até 2,5 °C na temperatura mínima, o qual foi constatado principalmente nas cidades com maiores taxas de desflorestamento (Conceição do Araguaia, Vilhena, Porto Velho e Manicoré). Tornou-se evidente que os fenômenos de escala global foram influentes em alguns anos no aumento das temperaturas, porém, os efeitos de escala local também sobrepuseram em outros pontos as elevações observadas. Contudo, o estudo aponta que o desflorestamento local pode contribuir com o aumento das temperaturas na região da Bacia Amazônica Brasileira, além disso, a sua combinação com fatores de escala sinótica juntamente com as condições de La Niña podem aumentar a sensibilidade das intensidades em relação as incursões frias na região.

Palavras-chave: Friagem. Tendência Climática. Bacia Amazônica. Desflorestamento. Temperatura.



# OBSERVATIONAL STUDY OF OUTBREAKS EVENTS AND CLIMATE TRENDS IN THE BRAZILIAN AMAZON BASIN

## ABSTRACT

This work represents an observational study in which the first part, outbreaks events analyzed on the Brazilian Amazon Basin (Vilhena, Porto Velho, Rio Branco, Tabatinga, Manicoré and Manaus) to the austral winter period from 1980 to 2013 highlighting cases that failed reaching the equator (Iauaretê) and the vertical structure of the atmosphere. The data used were obtained by Climatological Studies Sector belonging to the Institute of Airspace Control, National Institute of Meteorology, the Reanalysis of the National Center for Environmental Prediction and radiosonde data of Mini Barca campaign of 2008. The variables used were the minimum temperature, maximum temperature, zonal and meridional wind components, specific humidity and atmospheric pressure. The methodology used was the difference of the monthly average value of 1,5 standard deviations for cases throughout the Amazon Basin. In relation to the events that have crossed the equator, the difference was the value of 2,0 standard deviation of the monthly average. In the second part there were climatic trends of air temperature extremes with inclusion of the city of Conceição do Araguaia (PA). In the latter, the tests of statistical significance Mann-Kendall and the linear trend estimates were applied through Sen. method The results indicated that from Vilhena to Manaus, there were in total 68 cold weather events, and 23 cases managed to overcome the equator (city Iauaretê). The intensities of these events were more significant in La Niña years, while the higher frequencies were observed in El Niño years. As shown, there is a decrease in temperature and specific humidity, increased atmospheric pressure and wind speed, whose southern zonal component and changed the direction, the first became the second of south and from east. Regarding climate trends for statistical confidence, the positive values of trend were observed in both the minimum temperature as the maximum temperature, up to 2,5 °C in minimum temperature, which was mainly found in cities with higher rates deforestation (Conceição do Araguaia, Vilhena, Porto Velho and Manipur). It became apparent that the global scale phenomena were influential in some years in the rising temperatures, however, the effects of local scale also overlapped elsewhere observed elevations. However, the study points out that local deforestation can contribute to the rising temperatures in the region of the Brazilian Amazon Basin, in addition, its combination with synoptic scale factors along with La Niña conditions can increase the sensitivity of the intensities than the cold incursions in the region.

Keywords: Outbreak. Climatic Trends. Amazon Basin. Deforestation. Temperature.



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Taxa média anual do desflorestamento nos estados do Acre, Amazonas e Rondônia ( $km^2.ano^{-1}$ ) para o período de 1977 a 2013. . . . .	4
2.1 Modelo conceitual de um ciclone extratropical. Fonte: Bjerknes (1919) citado por Ribeiro (2014). . . . .	7
2.2 Topografia Global e áreas de freqüência ocorrência de ondas frias. Fonte: Garreaud (2001). . . . .	9
3.1 Localização das cidades de estudo e o desmatamento na Amazônia legal até o ano de 2012. . . . .	21
3.2 Série temporal do Índice de Oscilação Decadal do Pacífico desde 1900 a 2013 (MANTUA et al., 1997) . . . . .	23
4.1 Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima para a cidade de Rio Branco - AC . . . . .	33
4.2 Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima para a cidade de Manicoré - AM . . . . .	33
4.3 Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima para a cidade de Vilhena - RO . . . . .	34
4.4 Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima para a cidade de Porto Velho - RO . . . . .	35
4.5 Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima para a cidade de Tabatinga - AM . . . . .	36
4.6 Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima para a cidade de Manaus - AM . . . . .	36
4.7 Freqüência mensal dos eventos de friagem sobre a Bacia Amazônica Brasileira . . . . .	38
4.8 Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima da cidade de Iauaretê no estado do Amazonas . . . . .	42
4.9 Caso 1: variação espacial da temperatura do ar (sombreado) e umidade específica (contorno) para os dias 11 a 12 de julho de 2000 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada). . . . .	47
4.10 Caso 1: variação espacial da temperatura do ar (sombreado) e umidade específica (contorno) para os dias 13 a 14 de julho de 2000 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada). . . . .	48

4.11	Caso 1: variação espacial da pressão atmosférica (contorno) para os dias 11 a 12 de julho de 2000 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).	49
4.12	Caso 1: variação espacial da pressão atmosférica (contorno) para os dias 13 a 14 de julho de 2000 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).	50
4.13	Caso 1: série do GOES-8 imagem infravermelha para o dia 12 de julho de 2000 às 12Z.	51
4.14	Caso 1: série do GOES-8 imagem infravermelha para o dia 13 de julho de 2000 às 12Z.	51
4.15	caso 1: série do GOES-8 imagem infravermelha para o dia 15 de julho de 2000 às 12Z.	52
4.16	Caso 3: variação espacial da pressão ao nível médio do mar (contorno) para os dias 12 a 13 de julho de 1993 sobre o continente sulamericano.	55
4.17	Caso 3: variação espacial da pressão ao nível médio do mar (contorno) para os dias 14 a 15 de julho de 1993 sobre o continente sulamericano.	56
4.18	Caso 2: variação espacial da pressão atmosférica (contorno) para os dias 27 a 28 de junho de 1996 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).	57
4.19	Caso 2: variação espacial da pressão atmosférica (contorno) para os dias 29 a 30 de junho de 1996 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).	58
4.20	Caso 4: variação espacial da pressão atmosférica (contorno) para os dias 16 a 17 de julho de 2010 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).	59
4.21	Caso 4: variação espacial da pressão atmosférica (contorno) para os dias 17 a 18 de julho de 2010 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).	60
4.22	Climatologia do campo de vento em 850 hPa para os meses que correspondem ao inverno austral.	62
4.23	Anomalia do campo do vento em 850 hPa para o dia 15 de julho de 1993.	63
4.24	Série do METEOSAT-3 imagem infravermelha para o dia 14 de julho de 1993 às 12Z.	64
4.25	Série do METEOSAT-3 imagem infravermelha para o dia 15 de julho de 1993 às 12Z.	64
4.26	Componente meridional do vento em 850 hPa para o mês de julho de 1993 nas cidade de Vilhena (superior), Porto Velho (meio) e Rio Branco (inferior).	66

4.27	Componente meridional do vento em 850 hPa para o mês de julho de 1993 nas cidade de Tabatinga (superior), Manicoré (meio) e Manaus (inferior).	67
4.28	Estrutura vertical da (a) temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho e (b) velocidade de vento em Rio Branco as 00H no dia 24 de junho. . . . .	69
4.29	Estrutura vertical da (a) temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho e (b) velocidade de vento em Rio Branco as 12H no dia 24 de junho. . . . .	70
4.30	Estrutura vertical da (a) temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho e (b) velocidade de vento em Tabatinga as 12H no dia 25 de junho.	70
4.31	Estrutura vertical da (a) temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho e (b) velocidade de vento em Manaus as 06H no dia 26 de junho.	71
4.32	Estrutura vertical da (a) temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho e (b) velocidade de vento em Manaus as 18H no dia 26 de junho.	71
4.33	Estrutura vertical da (a) componente zonal e (b) componente meridional do vento em Rio Branco as 06H no dia 24 de junho. . . . .	73
5.1	Tendência climática da temperatura mínima para a cidade de Conceição do Araguaia juntamente com as taxas de desflorestamento do estado do Pará. . . . .	79
5.2	Tendência climática da temperatura mínima para as cidades (a) Vilhena e (b) Tabatinga. . . . .	79
5.3	Tendência climática da temperatura mínima para as cidades (a) Porto Velho e (b) Rio Branco. . . . .	80
5.4	Tendência climática da temperatura mínima para as cidades (a) Manicoré e (b) Manaus. . . . .	80
5.5	Tendência climática da temperatura máxima para as cidades Conceição do Araguaia. . . . .	81
5.6	Tendência climática da temperatura máxima para as cidades (a) Vilhena e (b) Tabatinga. . . . .	81
5.7	Tendência climática da temperatura máxima para as cidades (a) Porto Velho e (b) Rio Branco. . . . .	82
5.8	Tendência climática da temperatura máxima para as cidades (a) Manicoré e (b) Manaus. . . . .	82
5.9	Tendência climática da temperatura mínima para a cidade de Porto Velho juntamente com as taxas de desflorestamento do estado de Rondônia. . .	85
5.10	Tendência climática da temperatura máxima para a cidade de Vilhena juntamente com as taxas de desflorestamento do estado de Rondônia. . .	85

5.11	Desvio médio padronizado para (a) temperatura máxima e (b) temperatura mínima para o município de Conceição do Araguaia - PA. . . . .	87
5.12	Desvio médio padronizado para (a) temperatura máxima e (b) temperatura mínima para o município de Porto Velho - RO. . . . .	88
5.13	Desvio médio padronizado para (a) temperatura máxima e (b) temperatura mínima para o município de Manaus - AM. . . . .	88
5.14	Desvio médio padronizado para (a) temperatura máxima e (b) temperatura mínima para o município de Vilhena - RO. . . . .	89
5.15	Desvio médio padronizado para (a) temperatura máxima e (b) temperatura mínima para o município de Tabatinga - AM. . . . .	89
5.16	Desvio médio padronizado para (a) temperatura máxima e (b) temperatura mínima para o município de Manicoré - AM. . . . .	90
5.17	Desvio médio padronizado para (a) pressão atmosférica máxima na cidade de Tabatinga - AM. . . . .	90

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 Anos de ocorrência dos eventos de El Niño e La Niña durante o período de estudo. . . . .	22
4.1 Teste Run das $T_{máx}$ e $T_{mín}$ para as cidades de Vilhena, Porto Velho, Rio Branco, Tabatinga, Manicoré, Manaus e Conceição do Araguaia . . .	31
4.2 Anomalia negativa da $T_{mín}$ e $T_{máx}$ dos eventos de friagem para as cidades de Vilhena, Tabatinga e Rio Branco. . . . .	40
4.3 Anomalia negativa da $T_{mín}$ e $T_{máx}$ dos eventos de friagem para as cidades de Porto Velho, Manicoré e Manaus. . . . .	40
4.4 Os 23 eventos de friagens juntamente com as anomalias da $T_{máx}$ e $T_{mín}$ que alcançaram a cidade de Iauaretê - AM. . . . .	43
4.5 Caso 1: Deslocamento em julho de 2000 da incursão de ar frio desde Vilhena a Iauaretê ocasionando reduções nos extremos da temperatura. .	53
4.6 Caso 2: Deslocamento em junho de 1996 da incursão de ar frio desde Vilhena a Iauaretê ocasionando reduções nos extremos da temperatura. .	53
4.7 Caso 3: Deslocamento em julho de 1993 da incursão de ar frio desde Vilhena a Iauaretê ocasionando reduções nos extremos da temperatura. .	53
4.8 Caso 4: Deslocamento em julho de 2010 da incursão de ar frio desde Vilhena a Iauaretê ocasionando reduções nos extremos da temperatura. .	54
5.1 Valores do teste de Mann-Kendal (teste Z e Significância) e método de Sen's (Estimador de Sen's - Q) para o inverno austral no período de 1980 a 2013 da $T_{mín}$ sobre as cidades da região Amazônica Brasileira. . . . .	76
5.2 Valores do teste de Mann-Kendal (teste Z e Significância) e método de Sen's (Estimador de Sen's - Q) para o inverno austral no período de 1980 a 2013 da $T_{máx}$ sobre as cidades da região Amazônica Brasileira. . . . .	76
5.3 Características da altitude e área total das cidades de estudo assim como as porcentagens das áreas desflorestadas até 2013 (Fonte: (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS.OBSERVAÇÃO DA TERRA (INPE.OBT), 2013)) . . . . .	77
5.4 Valores do teste de Mann-Kendal (teste Z e Significância) e método de Sen's (Estimador de Sen's - Q) para o inverno austral da $T_{mín}$ para as cidades que apresentaram significância estatística. . . . .	84

5.5	Valores do teste de Mann-Kendal (teste Z e Significância) e método de Sen's (Estimador de Sen's - Q) para o inverno austral da T <sub>máx</sub> para as cidades que apresentaram significância estatística. . . . .	84
-----	---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRACOS	–	Anglo Brazilian Amazonian Climate Observational Study
RBLE	–	Rondônia Boundary Layer Experiment
LBA	–	Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia
CLA	–	Camada Limite Atmosférica
BRAMS	–	Brazilian Regional Atmospheric Modelling System
NCEP	–	National Center for Environmental Prediction
NCAR	–	National Center for Atmospheric Research
NESDIS	–	National Environmental Satellite, Data, and Information Service
NCDC	–	National Climatic Data Center
NOAA	–	National Oceanic Atmospheric Administration
CPTEC	–	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DSA	–	Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
CFSR	–	Climate Forecast System Reanalysis
TSA	–	América do Sul Tropical
SSA	–	América do Sul Subtropical
ENOS	–	El Niño-Oscilação Sul
ICEA	–	Instituto de Controle do Espaço Aéreo
INMET	–	Instituto Nacional de Meteorologia
BARCA	–	Balanco Atmosférico Regional do Carbono na Amazônia
IMAZON	–	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
MAKESENS	–	Mann-Kendall test for trend and Sen's Slope
GrADS	–	Grid Analysis and Display System
COLA	–	Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies
MATLAB	–	Matrix Laboratory
ODP	–	Oscilação Decadal do Pacífico
CP1	–	Componente Principal 1
CP2	–	Componente Principal 2
CP3	–	Componente Principal 3



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Objetivos . . . . .	4
1.2 Objetivo Geral . . . . .	4
1.3 Objetivos Específicos . . . . .	4
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> . . . . .	<b>7</b>
2.1 Sistemas frontais e anticiclones extratropicais: principais características . . . . .	7
2.1.1 Características sobre a Bacia Amazônica . . . . .	10
2.2 Tendências climáticas dos extremos de temperaturas do ar . . . . .	13
2.3 Desflorestamento sobre a região Amazônica Brasileira . . . . .	15
<b>3 DADOS E METODOLOGIAS</b> . . . . .	<b>19</b>
3.1 Dados observacionais e área de estudo . . . . .	19
3.1.1 Dados de reanálises . . . . .	21
3.2 Metodologias . . . . .	23
3.2.1 Teste de homogeneidade . . . . .	23
3.2.2 Critérios de identificação dos eventos de friagens . . . . .	24
3.2.3 Determinação das tendências climáticas . . . . .	25
3.2.3.1 Teste de Mann-Kendall . . . . .	26
3.2.3.2 Método de Sen's . . . . .	28
3.2.3.3 Desvio Padronizado . . . . .	29
3.3 Análise dos dados observacionais e de reanálises . . . . .	29
<b>4 MASSAS DE AR FRIO NA AMAZÔNIA E SUAS PARTICULARIDADES</b> . . . . .	<b>31</b>
4.1 Homogeneidade dos dados . . . . .	31
4.2 Comportamento dos dados observacionais . . . . .	31
4.3 Análise dos eventos de friagem sobre a Bacia Amazônica Brasileira . . . . .	37
4.3.1 Eventos de friagens sobre a Bacia Amazônica Brasileira . . . . .	37
4.4 Eventos de friagens que atingiram a linha do Equador . . . . .	41
4.4.1 Estudo de caso: Iauaretê -AM . . . . .	42
4.5 Campo de vento dos eventos intensos . . . . .	61
4.6 Estrutura vertical da atmosfera . . . . .	67

<b>5</b>	<b>TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS E FATORES RELACIONADOS</b>	<b>75</b>
5.1	Tendências Climáticas . . . . .	75
5.1.1	Tendência regional das temperaturas máxima e mínima . . . . .	75
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> . . . . .	<b>93</b>
6.1	Sugestões Futuras . . . . .	95
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> . . . . .	<b>97</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é a maior floresta tropical úmida do mundo com grandes extensões territoriais e vasta biodiversidade. Está localizada nos trópicos, recebendo no topo da atmosfera grande quantidade de radiação solar incidente, que varia de acordo com a sua sazonalidade, isto é, aproximadamente  $36.7 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  em dezembro/janeiro a  $30.7 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  em junho/julho (SALATI; MARQUES, 1984). Devido a sua posição na região equatorial, intensas trocas de energia, umidade e massa ocorrem entre a superfície continental e a atmosfera, além de desempenhar importante papel nos balanços globais de carbono e água (GRACE et al., 1998), (MALHI et al., 1998), (COX et al., 2004), (MARENGO, 2006a), (MARENGO, 2006b). A região Amazônica, por sua localização tropical e seu intenso metabolismo, é uma importante fonte natural de aerossóis, vapor de água e gases traços para atmosfera global (ANDREAE; CRUTZEN, 1997).

Durante as últimas décadas, a floresta Amazônica tem sido ameaçada por diversas ações de origem antrópica, como: desflorestamento, fragmentação de hábitat, corte seletivo e queimadas (MALHI et al., 2008). Os desflorestamentos são concentrados no arco do desmatamento, sendo dirigido principalmente pela expansão do gado e produção de soja (MALHI et al., 2008). Esta última, tem uma grande contribuição na economia brasileira, e o Brasil é um dos líderes mundiais de produção de carne, soja e biocombustíveis para o mercado internacional. Se esta tendência continuar no futuro, cerca de 40% da floresta Amazônica poderá desaparecer em 2050 (SOARES-FILHO et al., 2006). O arco do desmatamento compreende os estados do Acre, Mato Grosso, Pará e Rondônia, localizados nas bordas sudoeste, sul e leste da Amazônia Legal. De 1988 a 2012, cerca de  $396.772 \text{ km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  da floresta Amazônica brasileira foi desflorestada, sendo a década de 90 apresentando as maiores taxas, aproximadamente  $163.427 \text{ km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ . Apesar de apresentar um decaimento a partir de 2006, os valores ainda são significativos, principalmente sobre a área do arco do desmatamento. Na Figura 1.1 é possível observar as taxas anuais de desflorestamento sobre os estados do Acre, Amazonas e Rondônia. Verifica-se que o estado com maiores taxas de desflorestamento é Rondônia, com um acumulado igual a  $53.839 \text{ km}^2.\text{ano}^{-1}$  durante 1988 a 2012.

Mudanças no uso da terra ocasionadas em grande parte pela atividade antropogênica - incêndios florestais intencionais sazonais ou naturais, principalmente durante a estação seca da região, são responsáveis pela liberação de aerossóis e gases para a atmosfera. Desse modo, são responsáveis pelas perturbações direta e indireta do

balanço de radiação local, regional e até mesmo global. O impacto dessas atividades contribuem com perda na biodiversidade e perturbação climática (FEARNSIDE, 2005), modificando não somente o clima local mas regiões remotas, tais como, o sudeste e centro-oeste do Brasil. Como discutido por (GALVÃO; FISCH, 2000), a substituição de área de floresta tropical por pastagem na Amazônia implica em diferentes contribuições, em termos de balanço de energia e nos elementos microclimáticos. Ao substituir a floresta por pastagem há aumento do albedo, diminuição da rugosidade da superfície, e há redução do índice de área foliar (e associada interceptação do dossel) e da umidade do solo (principalmente porque a pastagem geralmente tem raízes menos profundas do que as árvores da floresta tropical) (GASH; NOBRE, 1997).

Sobre os continentes no decorrer do ano, a atmosfera interage com as diferentes massas de ar ocasionadas pelos sistemas transientes (BJERKNES, 1919). Os distúrbios transientes mais comuns são as frentes frias, e torna-se de grande importância por provocarem mudanças significativas no tempo em diversas partes das Américas, como destaque, para as regiões de baixas latitudes. Durante o inverno, esses sistemas são acompanhados de massas de ar das latitudes altas e que, muitas vezes, causam geadas e friagens, respectivamente, sobre as regiões sul e norte do Brasil.

Durante o outono e o inverno austral, a região Amazônica sofre com as incursões de ar frio provenientes de elevadas latitudes do Hemisfério Sul. Alguns estudos, tais como Hamilton e Tarifa (1978), Fisch (1995), Marengo et al. (1997a), Marengo et al. (1997b), Oliveira et al. (2004), Longo et al. (2004), Amorim Neto (2013) e Ricarte et al. (2014) foram realizados para compreender as modificações ocorridas na atmosfera com a incursão de ar frio que se propaga, por vezes, até o sul da Amazônia. Fenômeno localmente conhecido como Friagem, alteram as características do tempo na região, bem como, modificam a vida da população durante sua ocorrência. A diminuição brusca da temperatura média na região é a principal característica da incursão proveniente do sistema frontal no sul da América do Sul e de seu anticiclone na retaguarda, que ganham intensidade e sofrem modificações durante seu deslocamento, tanto para o leste em direção ao Oceano Atlântico ou para o norte do Brasil, atingindo as baixas latitudes. Esse deslocamento também pode ultrapassar a linha do equador, como comentado por Myers (1964).

Além dessas características, reduções bruscas das temperaturas mínima e máxima, umidade específica e aumento da pressão atmosférica são observados durante os eventos de friagem na parte sul e sudoeste da Amazônia. No período de verão, os sistemas de ondas de ar frio produzem menores flutuações na temperatura e pres-

são, desta forma, são associadas com bandas reforçadas de convecção e precipitação (GARREAUD, 1999). Isto acontece devido a troca de temperatura e pressão ocorrer de forma rápido, evitando assim o transporte da massa de ar frio e seco até as regiões tropicais (SANCHO, 2001).

Parmenter (1976), Fortune e Kousky (1983), Satyamurty e Lima (1994) entre outros, identificaram a propagação e o desenvolvimento desses sistemas, e verificaram que as influências mais acentuadas decorrentes da atuação de friagem na Bacia Amazônica ocorrem sobre os Estados de Rondônia, Acre e Mato Grosso. Alguns destes estudos tiveram a contribuição de dados de alguns experimentos de campo realizados nesta região [*Anglo Brazilian Amazonian Climate Observational Study* - **ABRACOS**, *Rondônia Boundary Layer Experiment* - **RBLE**, *Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia* - **LBA**, etc), que auxiliaram com um estudo mais detalhado das variáveis meteorológicas e sua interação com a floresta Amazônica.

Em relação a tendência climática, o Quinto Relatório de Avaliação (em inglês, AR5) do Painel Intergovernamental de Mudança Climática (IPCC, na sigla em inglês) indicou que, vários registros global e regional que foram analisados de forma independente, tal como a temperatura do ar, obtidos a partir de observações de estação, mostraram um amplo consenso que esta tem aumentado. Sobre a Amazônia, poucos estudos foram realizados. Porém, estes demonstraram que existem indícios indicando o aumento nas temperaturas máxima e mínima ao longo das últimas décadas.

Simulações numéricas sobre o efeito da substituição de floresta por pastagem na Amazônia foi realizada por alguns autores, entre esses, Nobre et al. (1991), Henderson-Sellers et al. (1993), Gash e Nobre (1997), Costa e Foley (1999) e Sampaio (2008) e indicaram mudanças na circulação regional, aumento da temperatura e velocidade do vento, bem como reduções na precipitação e umidade. Como mostrado por Fisch et al. (1997) com dados observados, a velocidade do vento é sistematicamente maior na pastagem do que na floresta, principalmente durante a época seca, outrossim, acrescenta-se que no trabalho Viana e Silva (2012) a advecção de ar frio foi um dos fatores responsáveis nas reduções na temperatura do ar no evento frio que ocorreu em julho de 2010 na Bacia Amazônica. Desta forma, averigou-se por dados observacionais, os eventos frios que alcançaram a Amazônia central e a relação das áreas desflorestadas pertencente a cada cidade do estudo nas tendências climáticas significativas nos extremos da temperatura sobre a Amazônia Brasileira.

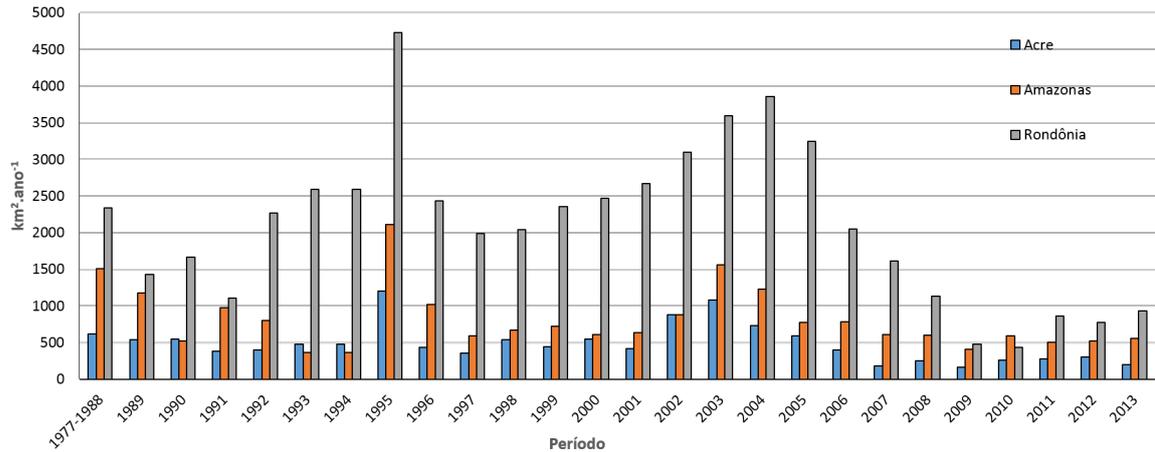


Figura 1.1 - Taxa média anual do desflorestamento nos estados do Acre, Amazonas e Rondônia ( $km^2.ano^{-1}$ ) para o período de 1977 a 2013. Fonte:PRODES(2013).

## 1.1 Objetivos

### 1.2 Objetivo Geral

O presente trabalho tem o objetivo principal de realizar um estudo observacional dos eventos de friagens e das tendências climáticas, relacionando-os com as áreas de desflorestamento sobre os estados do Acre, Amazonas e Rondônia.

### 1.3 Objetivos Específicos

- Estudar e quantificar os eventos das incursões frias a partir das reduções das temperaturas máxima e mínima.
- Analisar o deslocamento da massa fria e seca até alcançar a linha do Equador.
- Verificar as tendências climáticas das temperaturas máxima e mínima utilizando o teste de Mann-Kendall e método de Sen.
- Investigar a relação dos extremos frios e as tendências climáticas com os ENOS e a ODP.
- Examinar a estrutura vertical do evento frio em junho de 2008.

Este trabalho divide-se em 6 capítulos: No Capítulo 2 estão as revisões bibliográficas. No Capítulo 3 será apresentado os dados e metodologia utilizados. No Capítulo 4 as características do eventos frios e no Capítulo 5 a relação das tendências climáticas com o desflorestamento. As conclusões encontra-se-á no Capítulo 6.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo apresentar-se-á uma revisão bibliográfica, mostrando as características gerais das incursões das massas de ar em latitudes baixas e estudos sobre o comportamento destes na América do Sul. Além disso, as principais alterações dos extremos das temperaturas e as tendências climáticas ocorridas sobre a Bacia Amazônica Brasileira, juntamente com as modificações ocasionadas pelo desflorescimento.

### 2.1 Sistemas frontais e anticiclones extratropicais: principais características

O conceito clássico de um sistema frontal também chamado de um conjunto de frentes é dado pela composição de um ramo frio, ramo quente e um centro de baixa pressão em superfície, denominado ciclone extratropical (BJERKNES, 1919). Como mostrado na Figura 2.1 - modelo conceitual de Bjerknes, o processo de convergência à superfície ocorre pela inclinação do ar frio sob o ar quente, o qual este ascende-se e resfria-se, formando desta maneira as nuvens e precipitação. Esses sistemas são causadores de grandes perturbações meteorológicas e atuam sobre a América do Sul em grande parte do ano. Suas trajetórias estão associadas ao escoamento de grande escala e costumam ser orientadas no sentido sudoeste-nordeste.

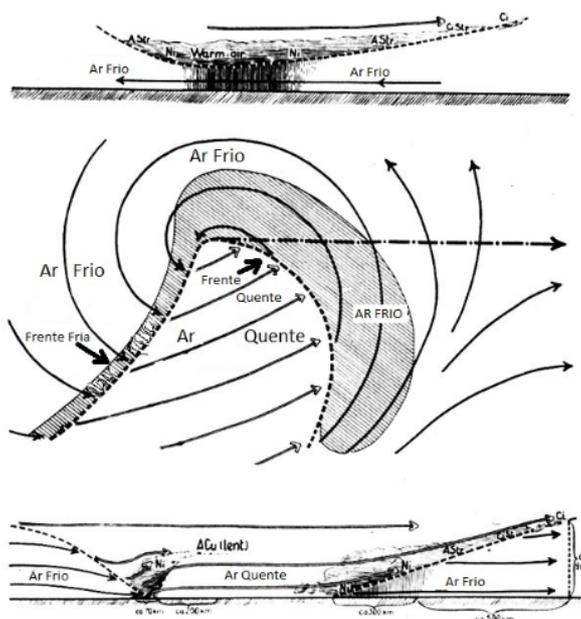


Figura 2.1 - Modelo conceitual de um ciclone extratropical. Fonte: Bjerknes (1919) citado por Ribeiro (2014).

Acompanhando esses sistemas frontais, existem os anticiclones extratropicais, que são grandes massas de ar polar, formados na retaguarda desses sistemas e são caracterizados pela ausência de convecção, ventos calmos e pouca nebulosidade. Além disso, as baixas temperaturas neles encontrados podem causar os fenômenos de geadas e friagens nas regiões onde acontece sua propagação. Segundo [Harman \(1987\)](#), os anticiclones extratropicais migram de oeste para leste com uma componente do movimento para o lado do equador. As massas de ar frio a eles associadas são rasas e se alteram ao longo de seu deslocamento, passando por alterações termodinâmicas devido aos efeitos de troca de calor e umidade com a superfície sobre as quais percorrem. Por exemplo, se a superfície for os oceanos, tem-se grande quantidade de umidade, caso contrário, sobre os continentes, apresentam-se secas (continente).

Definido originalmente por [Ramage \(1971\)](#), o termo 'ondas frias' foi usado para descrever a queda rápida da temperatura do ar sobre o Sudeste da Ásia e o mar adjacente no Sul da China produzido pelos rasos surtos frios do ar continental, no inverno do Hemisfério Norte. Esses episódios de incursões de ar frio nas latitudes médias que penetram profundamente nos trópicos são observados frequentemente no leste das principais cadeias montanhosas orientadas norte-sul ([GARREAUD, 2001](#)). De maneira geral, essas ondas de ar frio conseguem alcançar as baixas latitudes devido às interações dos fluxos de escalas sinóticas com as topografias.

Para verificar as influências das altas topografias nas ondas de frios, experimentos numéricos com a presença de montanha e sem montanha foram realizados por: [Tilley \(1990\)](#) para o Sudeste da Ásia; [Hartjenstein e Bleck \(1991\)](#) para a América do Norte e, [Knight e Bosart \(1998\)](#) para a América do Sul, em que todos obtiveram similar conclusão: sem a presença dessas cadeias montanhosas, o ar frio não se propaga na direção do equador, apenas desloca-se na direção leste como ondas de médias latitudes. Neste contexto, no período de inverno no Hemisfério Norte, as ondas de frios propagam-se no interior dos trópicos contornando o leste do declive das Serras Mexicanas. Além disso, as ondas de frio de escala sinótica foram descritas para regiões que apresentam cadeias montanhosas como mostrado na Figura 2.2, tal como: Sudeste da Ásia (contornado pelo Planalto do Himalaia), América Norte e Central (leste das Rochosas e serra Mexicana) e na América do Sul (leste da Cordilheira dos Andes).

[Satyamurty e Lima \(1994\)](#) realizaram um estudo de trajetória e formação dos anticiclones extratropicais sobre a América do Sul e constataram que, cerca de 80 % dos anticiclones extratropicais intensos que passam pelo sul da América do Sul ocorrem

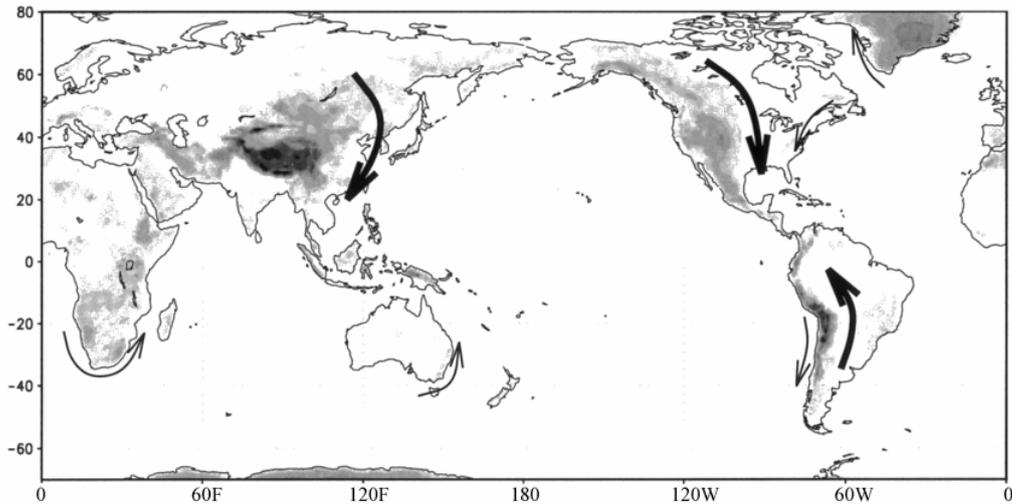


Figura 2.2 - Topografia Global e áreas de frequência ocorrência de ondas frias. Fonte: Garreaud (2001).

no período de junho a setembro, sendo que os mais intensos ocorrem em julho. As trajetórias quase meridionais, no sentido Sul-Norte, sobre o continente causam as friagens na Amazônia.

Durante o outono, as frentes frias começam a adentrar mais sobre o continente sulamericano. A região Amazônica encontra-se no final de seu período chuvoso, iniciando um período de transição entre as estações. Durante esse período, a temperatura e umidade podem sofrer variações bruscas devido à intrusão do ar polar nas latitudes baixas. Conceitualmente, Hamilton e Tarifa (1978) baseado nas imagens de satélites, definiram o termo friagem como um anticiclone em desenvolvimento na retaguarda de um sistema frontal que se desloca para o norte, atingindo a região Amazônica. A massa polar que segue pelo interior do continente pode ocasionar elevação da pressão em 4,0 hPa e declínio da temperatura de 3,0 °C, o ar frio pode atingir uma espessura de até 3000 m em Cuiabá e apenas 500 m em Manaus (SERRA; RATISBONNA, 1942).

De acordo com o estudo realizado por Myers (1964) a frente fria pode mover-se na direção norte e atravessar a linha do equador. Esta característica refere-se ao estudo de caso que ocorreu em julho de 1957, sendo responsável por contribuir com elevadas taxas de precipitação no sul da Venezuela, aproximadamente em torno de 5 °N. Mudanças na direção e velocidade do vento, na temperatura do ponto de orvalho, nas condições de tempo e pressão, embora minimizados, foram bastante representativo nas estações localizadas no Brasil e em Lethem, na Guiana Inglesa.

Parmenter (1976) fez uma avaliação das friagens através das imagens de satélites, com base nas análises para os campos sinóticos, e assim, elucidar suas consequências sobre a região do Caribe. O autor obteve como características principais a supressão das atividades convectivas normais, as quais restabeleceram após esse período. Nos campos de ventos houve uma alta variabilidade por aproximadamente uma semana.

Continuando a enfatizar alguns países do Hemisfério Sul e como estes são afetados por fenômenos frios, verificou-se que estes são dependentes da intensidade e expansão do sistema, além do que podem está acoplado com diferentes sistemas sinóticos. Dapozzo e Dias (1994) analisaram o avanço de um sistema frontal intenso que provocou diminuição da temperatura em Iquito (Peru) de 13,0 °C, com a máxima encontrada de 18,0 °C, o qual deveria ser de 31,0 °C para a época do ano (julho). Desta maneira foi possível observar a dimensão desse sistema frontal sobre o continente sul-americano, que se originou através de um forte desenvolvimento de um ciclone extratropical, gerando advecção de ar frio em superfície (850 e 700 hPa), bem como o acoplamento de um jato polar em 200 hPa sobre o continente. Esta junção de sistemas sinóticos influenciou um anticiclone em superfície e nos níveis de 850 e 700 hPa, persistindo até a região tropical. Todavia, o fortalecimento do centro de alta pressão sobre a Argentina central que alcançou 1045 hPa, foi determinante para deslocar o ar frio até o Equador.

### 2.1.1 Características sobre a Bacia Amazônica

Brinkmann e Ribeiro (1971) verificaram o registro diário da temperatura do ar na floresta secundária próximo a Manaus, sob condições de uma onda fria em julho de 1969. Este evento apresentou decréscimo, em poucas de horas, de 10,0 a 15,0 °C na temperatura do ar e um aumento da velocidade do vento. Ambas variáveis meteorológicas foram responsáveis por afetar a biosfera na região de estudo.

Fisch (1995), que estudou as influências da friagem na camada limite ocorrida no ano de 1993 para cobertura de floresta na região de Ji-Paraná (RO), destacou características relacionadas principalmente no fluxo de calor sensível, sendo maior do que normalmente é observado. De acordo com autor, essa característica prevaleceu devido ao fato que, durante o evento de friagem ocorreu uma diminuição da temperatura do ar, logo a condutância e a evapotranspiração da floresta foram pequenas, em relação a disponibilidade de energia, como consequência, o fluxo de calor sensível se elevou. A velocidade do vento apresentou-se superior ao que normalmente é observado para floresta tropical, que está em torno de 1,5 a 2,0 m/s. Com a chegada do sistema frontal, a velocidade do vento na superfície foi alterada para 5 m/s assim

como sua direção, que se inverteu de norte para sul. Como este estudo se concentrou em fazer uma avaliação detalhada das influências na Camada Limite Atmosférica (CLA), logo, observou um resfriamento intenso nas variáveis meteorológicas como também em sua estrutura termodinâmica. Acima de 2-3 km de altura as modificações não foram tão significativas, no entanto, como fora observado por Fisch (1995), a atmosfera depende da dimensão do sistema para recuperar suas características normais, o que ocorre, em média, de 2-3 dias.

Estudo das variáveis de superfície e ar superior em sítios de floresta e desflorestado foi realizada por Marengo et al. (1997a), ambos localizados na cidades de Ji-Paraná (RO), Manaus (AM) e Marabá (PA). Os autores concluíram que o impacto da friagem influenciou em ambos os sítios de floresta e desflorestado, o qual afetou a fauna e flora local, e talvez igualmente a população, os quais todos são adaptados ao tempo quente. No entanto, o efeito maior foi encontrado nos sítios desflorestados, como observado na variável de temperatura mínima. Os valores da temperatura mínima do ar no sítio desflorestado eram de 0,5 - 2,0 °C menor quando comparado a sítios de floresta. De acordo com os autores, durante as friagens, a diferença de temperatura mínima entre os sítios é maior, provavelmente porque os céus claros comuns durante as friagens favorecem o desenvolvimento das inversões em ambos os locais. A energia da biomassa e cobertura espacial da floresta tem um efeito regulatório da temperatura do ar.

Oliveira et al. (2004) analisou a forte friagem ocorrido em junho de 2001, que ocasionou uma intensa redução na variável de temperatura do ar implicando em quase 15,0 °C em menos de 24 horas. Em relação a umidade específica, os valores reduziram cerca de 49%, sendo que o valor mínimo foi encontrado um dia após o menor valor de temperatura. Nos valores observados da velocidade do vento, verificou um aumento na intensidade em torno de 97%, o que pode-se considerar que a friagem influenciou praticamente os valores médios dessa variável, uma vez que os dados anteriores indicavam velocidade de 4,3 m.s<sup>-2</sup>. Em relação a variável de fluxo de calor latente, o mesmo apresentou maior efeito da incursão de ar frio.

O trabalho de Vilhena et al. (2010) simulou com o modelo BRAMS (*Brazilian Regional Atmospheric Modelling System*) três casos de friagens no sul da Bacia Amazônica Brasileira. Os autores concluíram que, as parametrizações proposta para simular ocorrências de friagens no sul da Amazônia obteve resultados satisfatórios, tornando a modelagem sugerida pelo estudo viável para simular ou até mesmo prever a ocorrência de friagens com prognósticos para até uma semana, ou seja, 168 horas de

antecedência. Na análise dos parâmetros termodinâmicos observou-se que o modelo BRAMS reproduziu bem os eventos de friagem ocorridos nos períodos observados, detalhando cada alteração dos parâmetros termodinâmicos estudados com bastante veracidade das informações. Na simulação dos eventos de incursão de massa de ar fria e seca observou-se que através dos dados gerados pelo modelo é possível identificar o momento em que a massa de ar fria começa a influenciar a atmosfera da região estudada.

Viana e Silva (2012) analisaram um estudo de caso em julho de 2010 e observaram nos campos de anomalia da velocidade potencial e água precipitável que, ambas variáveis demonstraram mudanças significativas durante o período de atuação da friagem. A primeira tendeu a elevar-se, caracterizando uma atmosfera com ausência de atividade convectiva. A segunda apresentou um deslocamento da coluna de vapor d'água para a parte nordeste da região, mostrando com clareza a influência da friagem sobre essa área. Em relação ao fluxo de calor latente, verificou-se que o mesmo reduziu durante este evento de ar frio e que, as reduções significativas no fluxo de calor latente fora de 25% comparado ao valor normal para a região.

Em relação ao favorecimento da precipitação durante os eventos de friagens na Amazônia, Amorim Neto (2013) identificou a estrutura e evolução de frentes frias intensas na Região Amazônica Brasileira e concluiu que, nos casos de inverno austral, as incursões de ar frio produzem 20% a mais de convecção e precipitação sobre a bacia que os casos de verão. Além que, as frentes frias que afetam a bacia apresentam uma queda na temperatura máxima diária cerca de 8 °C em 48 horas na região Central e sul da Amazônia.

Recentemente Ricarte et al. (2014) fazendo uma climatologia dos eventos de friagens através das análises dos campos compostos e anomalias de composto em baixos, médios e altos níveis encontraram características dominante de um anticiclone pós-frontal ingressando o continente em altas latitudes, em aproximadamente 40 °S e se alongando em direção as latitudes tropicais. As características associadas a este padrão indicaram a presença de uma frente fria com trajetória sudoeste/nordeste vista inicialmente no sudeste e centro do Brasil no dia do evento (D0). A propagação deste sistema está associada a uma onda frontal em níveis médios, cuja crista encontra-se posicionada no extremo sul da América do Sul e o cavado entre o continente e o oceano Atlântico Sul. O escoamento configurado favorece a incursão da massa de ar frio em direção a latitudes baixas, e as anomalias negativas de temperaturas são superiores a 10,0 °C na região central do continente. Desse modo, a onda frontal ob-

servada no dia do evento (D0) foi o sistema meteorológico responsável por provocar advecção de ar frio desde o sul do continente até as latitudes mais baixas.

## 2.2 Tendências climáticas dos extremos de temperaturas do ar

Discutido amplamente por pesquisadores do mundo todo, a temática de aquecimento global e mudanças climáticas ganharam grande repercussões nos últimos anos. Muitos eventos extremos apresentaram-se de forma contínua e seus impactos ainda não são totalmente conhecidos. No entanto, como meio de encontrar alguns “vilões climáticos”, verificaram-se quais fatores poderiam está contribuindo com o aumento dos extremos climáticos e a redução da precipitação pluvial, obtido a partir da constatação das tendências climáticas. Muitos autores defendem as mudanças climáticas causadas pelo fator antropogênico outros discordam, justificando que existe apenas um ciclo natural da terra com suas variabilidades. Dentre este tema tão complexo, alguns trabalhos que estudaram as tendências climáticas da variável meteorológica de temperatura do ar serão argumentadas abaixo, com o propósito de contribuir com futuras discussões da presente pesquisa.

[Easterling et al. \(1997\)](#) analisaram as tendências nos extremos climáticos da temperatura do ar global com dados de 5400 estações meteorológicas distribuídas pelo planeta (54% da superfície terrestre). Os autores constataram uma tendência de aumento da temperatura máxima de 0,8 °C/século e na temperatura mínima de 1,8 °C/século, podendo esta última ter sido influenciada pelo decréscimo da amplitude.

Para as variabilidades da temperatura sobre a América do Sul, [Collins et al. \(2009\)](#) analisaram para o período de 1948-2007 a temperatura média do ar acima de 2 metros das reanálises do NCEP-NCAR. Definiram também duas áreas sobre o território sul-americano: região da América do Sul Tropical (TSA) entre as latitudes 20°S - 10°N e longitudes 80°-35°W e América do Sul Subtropical (SSA) inseridas nas latitudes 60°-20°S e longitudes 75°-50°W. Dos resultados obtidos, destacaram-se dois enfoques: 1) para o período de inverno austral, observou-se um acentuado aumento da temperatura média durante 1992-2007 sobre a região Central da Amazônia em torno de 0,6 °C e na na parte da região SSA um resfriamento de -1,5 °C e, 2) existiu um significativo aumento na temperatura para a maior parte da América do Sul no período recente de dados - apoiando a sugestão de que o El Niño Oscilação Sul (ENOS) não é o único a causar o aquecimento observado sobre o Hemisfério Sul.

Direcionando os estudos realizados apenas para as regiões do Brasil, cita-se o trabalho de [Marengo e Camargo \(2008\)](#), que analisaram as tendências das temperaturas

máxima e mínima para o Sul do país durante 1960 a 2002. Eles constataram que desde 1960 a temperatura máxima, mínima anual e sazonal estiveram mudando sobre a região. E que no geral, a maioria das estações mostraram elevado aumento da temperatura mínima quando comparado com o leve aumento da temperatura máxima, na média anual e sazonal durante o inverno e verão. Mudanças no padrão do uso da terra (desflorestamento, agricultura e cidades) que afetaram a evaporação e nebulosidade podem ser mais importante durante o inverno, visto que a forçante da temperatura da superfície do mar é menor no verão, porém as tendências das temperaturas do ar são maiores durante o inverno. Sansigolo et al. (1992) mostraram que, desde o início do século XX, as regiões sul e sudeste do Brasil têm apresentado um aquecimento sistemático.

Blain et al. (2009) focaram seu trabalho para seis localidades sobre o estado de São Paulo, com o objetivo de caracterizar as possíveis elevações na temperatura mínima. Os autores constataram tendências significativas em três localidades ocorrida de forma temporalmente distinta. Desta forma, os fatores de escala local parecem sobreporem-se a possíveis fatores de escala global como principais forçantes radiativas no aumento médio dos valores dessa variável.

No trabalho seguinte de Blain (2010) para a mesma região, os resultados indicaram que a variável de temperatura mínima do ar apresentou maiores taxas de elevação, implicando em fortes indícios de tendências climáticas. As séries compostas pelas médias anuais da temperatura máxima apresentaram baixa significância quanto à indícios de alterações climáticas.

Minuzzi et al. (2011) analisaram para a região Sul o comportamento sazonal e anual das características das temperaturas máxima e mínima do ar no estado do Paraná. Mudanças na variabilidade climática foram identificadas na temperatura máxima anual e no outono. Na temperatura mínima as mudanças foram observadas, em sua maioria, também no outono, assim como na primavera.

Keller et al. (2013) também verificaram as tendências climáticas nas séries temporais dos extremos da temperatura do ar para a região sul, porém com destaque para o estado do Rio Grande do Sul. Seus resultados mostraram um maior número de estações com tendência significativa na temperatura máxima bem como para a temperatura mínima. Tais resultados indicaram tendências de aquecimento no estado, principalmente no verão.

Sobre a Amazônia poucos estudos destacaram este tema, além do recente trabalho

de Collins et al. (2009), existem alguns antigos, tais como, Victoria et al. (1998), Marengo (2003) e Vincent et al. (2005). Victoria et al. (1998) averiguaram a temperatura do ar à superfície em 17 estações distribuídas sobre a região da Amazônia e suas fronteiras durante o período de 1913 a 1995. Seus resultados confirmam que há tendência de aumento de 0,5 °C/século. Ainda que exista alguma variabilidade dos dados, é razoável dizer que a alteração ocorreu em meados dos anos 1960 e a tendência de aquecimento começou a ser estatisticamente significativa na década de 1970. Marengo (2003) utilizou os dados de 1917 a 2002 e seus resultados indicaram uma elevação da temperatura do ar de 0,8 °C/século.

Vincent et al. (2005) verificaram as tendências nos índices de extremos diários de temperatura ao longo do período 1960-2000. Sua pesquisa demonstrou que não houve modificações significativas dos índices diário na temperatura máxima. No entanto, as tendências mais significativas foram observada quando se considerou a temperatura mínima. Esta última poderia ter relação devido as importantes tendências de incremento no percentual de noites quentes e tendências decrescentes no percentual de noites frias em muitas estações.

### **2.3 Desflorestamento sobre a região Amazônica Brasileira**

Durante as últimas décadas a floresta Amazônica tem resistido ao desflorestamento e as queimadas, que em sua grande maioria é ocasionada por atividades humanas. Essas atividades acabam acarretando em grandes perda da fauna e da flora - efeito físico, bem como no funcionamento climático que ainda apresenta-se desconhecido em algumas áreas científicas. De acordo com o AR5, grande redução na taxa de desmatamento irá diminuir o risco de mudanças abruptas na Amazônia, bem como potenciais impactos negativos dessa mudança. Muitos trabalhos foram realizados com o intuito de compreender as incontáveis vantagens que a floresta oferece ao clima e a sobrevivência dos seres vivos, à medida que as ações antropogênicas aumentam sua área de destruição sobre os estados do arco de desmatamento (Mato Grosso, Pará, Rondônia e sul do Amazonas). Alguns processos de retroalimentação entre a floresta e a biosfera já são entendidos, outros porém, ainda necessitam de dados observacionais e melhorias dos modelos de simulação, que, de certa forma, ajudam a compreender as lacunas ignoradas. Dessa maneira, apresenta-se-á alguns trabalhos realizados em experimentos, dados observacionais e com modelos numéricos sobre os efeitos que o desflorestamento pode influenciar no clima e na fauna.

Um dos principais trabalhos referentes a Amazônia foi realizado por Bastable et al. (1993). Os autores analisaram uma série temporal de dados coletados sobre área de

floresta e desmatada em meados de Outubro a meados de Dezembro de 1990, e umas das conclusões observadas foi que, o vento sobre a floresta tendem a se manter entre 1,5 a 2,2 m/s, com altos valores durante o dia. No entanto, sobre a área desmatada, o padrão diurno da velocidade do vento também pode ser comparado a área de floresta durante o dia, variando de 1,6 a 1,9 m/s.

Fisch et al. (1997) realizou uma simulação climática do efeito do desmatamento na região Amazônica para o estado de Rondônia. Nesse experimento, os autores verificaram que a temperatura do ar na pastagem foi sempre superior a floresta, com uma diferença média de 0,9 °C. A velocidade do vento foi sistematicamente maior também na pastagem que na floresta, principalmente durante a época seca. Isto ocorreu pelo fato da rugosidade ser maior na floresta, ao passo que a pastagem possui características mais lisas.

Silva et al. (1998) compararam com dados do experimento RBLE-3 o nível da baixa troposfera as áreas de floresta e de pastagem. Os resultados indicaram que a camada até 2500 m o ar sobre a pastagem é mais quente e mais seca. A diferença média da temperatura foi de 1,17 K e a umidade específica de 0,19 g.kg<sup>-1</sup>.

Alves et al. (1999) realizaram uma análise comparativa dos elementos climáticos registrados em áreas desmatada (pastagem) e de floresta tropical, afim de compreender como o desmatamento afeta o ciclo hidrológico (em termos de precipitação e evapotranspiração) para o período de janeiro de 1992 a outubro de 1993. Os autores encontraram que a velocidade do vento na pastagem apresentou um máximo durante o mês de julho. A evapotranspiração na floresta, em média, foi de 10 mm.dia<sup>-1</sup> maior que a calculada para a pastagem, correspondendo a uma evapotranspiração 24% menor na área desmatada. Além disso, a precipitação total na pastagem foi de 281,7 mm menor que na área de floresta, representando um decréscimo de 10%.

Chen et al. (2001) verificaram que as tendências interdecadais nas variáveis de precipitação, radiação de onda longa, temperatura e pressão a superfície das estações dentro da Bacia Amazônica sugerem que o impacto negativo do desmatamento sobre os processos hidrológicos foram ofuscadas por mudanças interdecadais, devido as características da circulação global. Bala et al. (2007) empregou o modelo que esteve integrando o clima com o carbono para investigar as interações transientes do carbono/clima para o ano de 2000 a 2150. Eles encontraram que o deforestamento tropical contribuiu pra o aquecimento global desde o ciclo do carbono a efeitos biofísicos.

Fernandes (2011) utilizou 15 anos de dados meteorológicos na tentativa de identificar possíveis tendências em função das crescentes taxas de desmatamento em Conceição do Araguaia (PA). A temperatura na cidade estava aumentando desde 2000, provavelmente relacionada ao aquecimento global, podendo nestas condições, o índice de desmatamento acumulado, contribuir indiretamente para o aumento do valor dessa variável.

Estudo realizado para compreender se o desflorestamento contribui para o aumento de eventos extremos, tal como, eventos frios sobre a Bacia Amazônica, foi desenvolvido por Medvigy et al. (2012). Os autores identificaram mudanças surpreendentes em eventos frios extremo no sul da América do Sul como também nas regiões desflorestadas. Em particular, eventos frios extremos se tornaram ambos mais frequentes e mais frio na Amazônia ocidental, e menos frequente na Amazônia oriental. O desmatamento na Amazônia também causou aumentos na frequência e intensidade de eventos frios extremos no sul da América do Sul, como por exemplo, a Bacia do Plata. Esta região é produtora importante de feijão-soja, arroz, girassol, trigo, e milho, e se tem experimentado desmatamento significativo nas últimas décadas. Nesse trabalho, os autores propuseram um mecanismo pelo qual o desmatamento favorece mudanças em eventos extremos no sul da América do Sul relacionados a tais fatores (i) o desmatamento na Amazônia causa um aquecimento, aumentando o gradiente térmico norte-sul; (ii) o jato a oeste fortalece bruscamente em 20°S; (iii) uma circulação secundária é fixa ascendentemente o qual reduz velocidades verticais ao sul do jato e aumenta a velocidade ao norte do jato; e (iv) esta circulação secundária aumenta a vorticidade anticiclônica em baixo nível ao sul do jato e causa resfriamento em médios níveis ao norte do jato. Ambos fatores agem para fortalecer os anticiclones de superfície associados com eventos frios extremos.



### 3 DADOS E METODOLOGIAS

Neste capítulo será apresentado a origem dos dados juntamente com a metodologia utilizada para a realização do presente trabalho, de forma a alcançar o objetivo do estudo. Esta análise dividiu-se em duas partes observacionais: a primeira foi a verificação da ocorrência dos eventos de friagens sobre as cidades descritas abaixo e a segunda, analisou-se as tendências climáticas das temperaturas máxima e mínima para as mesmas cidades. Posteriormente, tentou-se encontrar relação dos eventos de friagens (intensos) com as áreas desflorestadas a partir das análises das tendências climáticas significativamente identificadas.

#### 3.1 Dados observacionais e área de estudo

Os dados observacionais das temperaturas mínima, máxima e pressão máxima atmosférica foram obtidos pelo Setor de Estudos Climatológicos da Aeronáutica pertencente ao Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA)(Rio Branco, Manaus, Manicoré, Tabatinga, Porto Velho e Vilhena) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)(Iauaretê e Conceição do Araguaia). O período compreendeu desde 1980 a 2013, totalizando 34 anos de dados observados dos seguintes aeroportos (ICEA) e suas respectivas cidades localizadas sobre a Bacia Amazônica Brasileira.

- a) Aeroporto Plácido de Castro (SBRB): está localizado em Rio Branco (Acre) na latitudes de  $09^{\circ}52'S$  e longitude de  $67^{\circ}54'W$ . Distante 18 km do centro de Rio Branco e está a 190 metros do nível médio do mar.
- b) Aeroporto de Ponta Pelada (SBMN): situado na cidade de Manaus (Amazonas). Está a 81 metros do nível médio do mar e localizado na zona sul da cidade de Manaus. Compreendido entre a latitude  $03^{\circ}09'S$  e  $59^{\circ}59'W$ .
- c) Aeroporto de Manicoré (SBMY): situa-se no município de Manicoré, ao sul do estado do Amazonas. Apresenta coordenadas geográficas de  $05^{\circ}49'S$  e  $61^{\circ}17'W$  e, está a 53 metros do nível médio do mar, no entanto, os dados observados estão contidos desde 1981 a 2013.
- d) Aeroporto de Tabatinga (SBTT): encontra-se na latitude de  $04^{\circ}15'S$  e longitude  $69^{\circ}56'W$  com uma altitude de 81 metros em relação ao nível médio do mar. Localizado na cidade de Tabatinga, a oeste do estado do Amazonas, desta maneira, está compreendido no meio da floresta amazônica em uma região fronteira com os países da Colômbia e Peru.

- e) Aeroporto de Porto Velho (SBPV): localizado na cidade de Porto Velho, capital do estado de Rondônia e situado entre as coordenadas  $08^{\circ}42' S$  e  $63^{\circ}54' W$ . Apresenta uma altitude em relação ao nível médio do mar de 88 metros.
  
- f) Aeroporto de Vilhena (SBVH): está a 605 metros em relação ao nível médio mar e compreende as latitudes de  $12^{\circ}42' S$  e  $60^{\circ}06' W$ . Situado na cidade Vilhena na região sudeste do estado de Rondônia.
  
- g) Cidade de Iauaretê (São Gabriel de Uaupes) está localizada nas coordenadas de  $0.1^{\circ} N$  e  $67^{\circ} W$ , tendo uma altitude em relação ao nível médio do mar de 90 metros. Está situada a noroeste do estado do Amazonas, região de fronteira com o país Colombiano.
  
- h) Conceição do Araguaia é uma cidade localizada a sudeste do estado do Pará. Está entre a latitude de  $08^{\circ} C 15' S$  e longitude  $49^{\circ} C 16' W$ , apresentando uma alitude de 156 metros em relação ao nível médio do mar.

Também foram utilizados dados de temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho e velocidade do vento dos perfis termodinâmicos do projeto intitulado Mini-Barca (*Balanço Atmosférico Regional do Carbono na Amazônia*) do ano de 2008. Esta campanha propôs-se a adquirir informações detalhadas das condições do tempo para um determinado período, totalizando 22 dias (09 a 22 de junho). As cidades de interesse deste experimento foram do estado do Acre, Amazonas, Pará e Maranhão por meio das radiossondagens lançadas diariamente nos 4 horários sinóticos (00, 06, 12 e 18 UTC). No presente estudo, as cidades investigadas foram Rio Branco, Tabatinga e Manaus, as quais averiguou-se o comportamento da intrusão da massa fria nos níveis atmosféricos, bem como seu deslocamento até a Amazônia Central.

A Figura 3.1 mostra as cidades do estudo juntamente com o mapa de desflorestamento até o ano de 2012 elaborado pelo Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON).

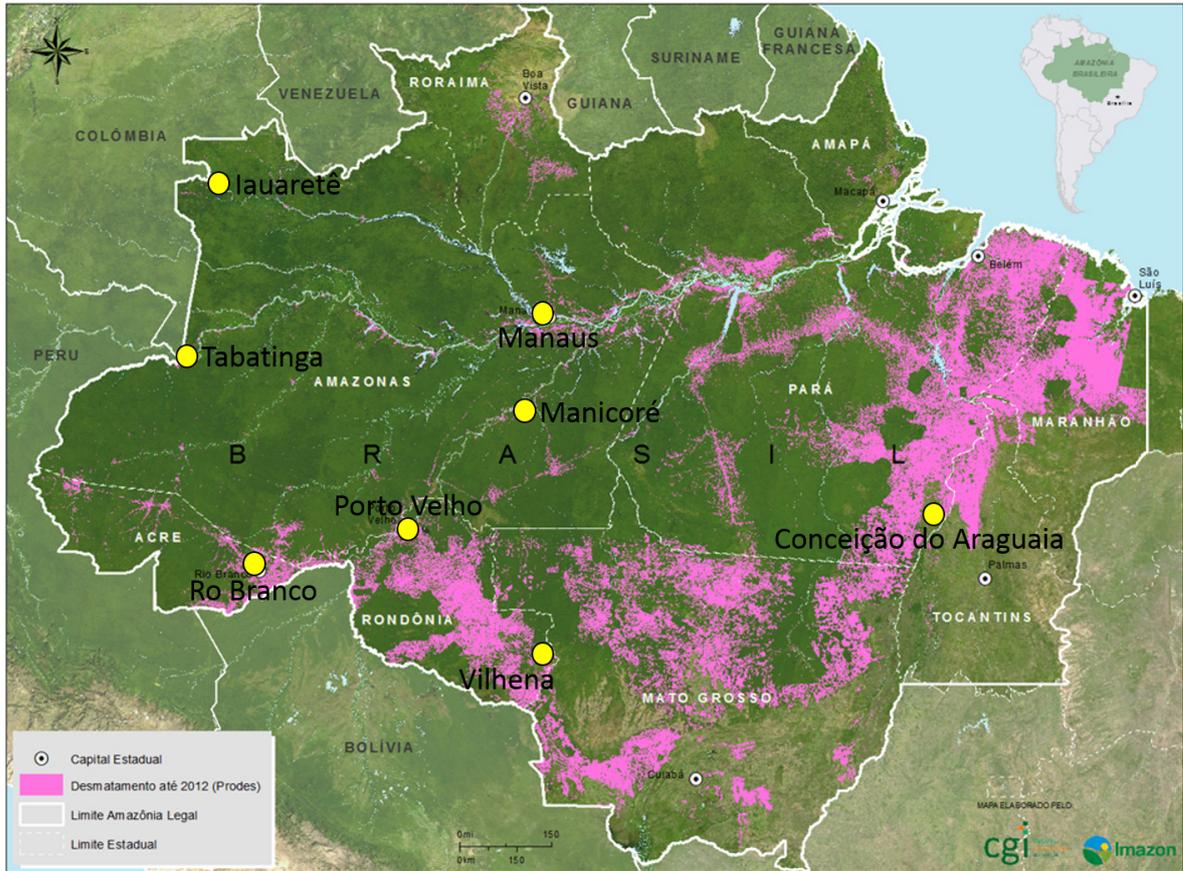


Figura 3.1 - Localização das cidades de estudo e o desmatamento na Amazônia legal até o ano de 2012.

Fonte: IMAZON(2013)

### 3.1.1 Dados de reanálises

Utilizou-se os dados de campo de vento (componentes zonal e meridional -  $u$  e  $v$ ) das reanálises do Climate Forecast System Reanalysis - CSFR (SAHA et al., 2010) produzido pelo National Center for Environmental Prediction (NCEP) para o período de 1979 a 2010. Esse modelo global apresenta resolução horizontal de 38 km (T382), 64 níveis na vertical e saída de dados a cada 6 horas. Calculou-se as médias diárias das saídas das 00, 06, 12 e 18 horas para o nível atmosférico de 850 hPa. Esse nível foi utilizado para se observar o impacto da superfície nas incursões da massa de ar fria e seca durante os 32 anos de dados.

Para comprovar o estudo de caso na cidade de Iauaretê, empregou-se além dos campos de ventos, as variáveis de temperatura do ar, umidade específica e pressão atmosférica no nível de 850 hPa entre os dias 10 a 14 de julho de 2000.

Os dados de reanálises do CFSR foram utilizado devido apresentar melhores desempenho em seus resultados, como abordado no trabalho de [Quadro et al. \(2012\)](#). De acordo com os autores, as reanálises apresentaram menores diferenças entre as médias mensais de seu período de estudo (1979 a 2007) sobre todo o continente, incluindo a região dos Andes, além de 3 diferenças principais em relação as reanálises anteriores (NCEP 1 e NCEP 2), tais como: 1) alta resolução vertical e horizontal, 2) as simulações são realizadas com um sistema acoplado atmosfera-oceano-mar gelo-terra, e 3) medidas históricas das radiâncias dos satélites são assimiladas.

Os anos padrões referente ao El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e Oscilação Decadal do Pacífico (ODP, em inglês PDO), os quais utilizaram-se nas comparações das frequências dos eventos de friagens e a tendência climática, foram provenientes do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (ENOS) e do *Joint Insitute for the Study of the atmosphere and Ocean (Joint)*-(índices da ODP), verificados na Tabela 3.1 e Figura 3.2, respectivamente.

Tabela 3.1 - Anos de ocorrência dos eventos de El Niño e La Niña durante o período de estudo.

<b>El Niño</b>	<b>La Niña</b>
1979-1980	1982-1983
1982-1983	1984-1985
1986-1988	1988-1989
1990-1993	1995-1996
1994-1995	1998-2001
1997-1998	2007-2008
2002-2003	2010-2011
2004-2005	2011-2012
2006-2007	-
2009-2010	-

Fonte:(<http://enos.cptec.inpe.br>)

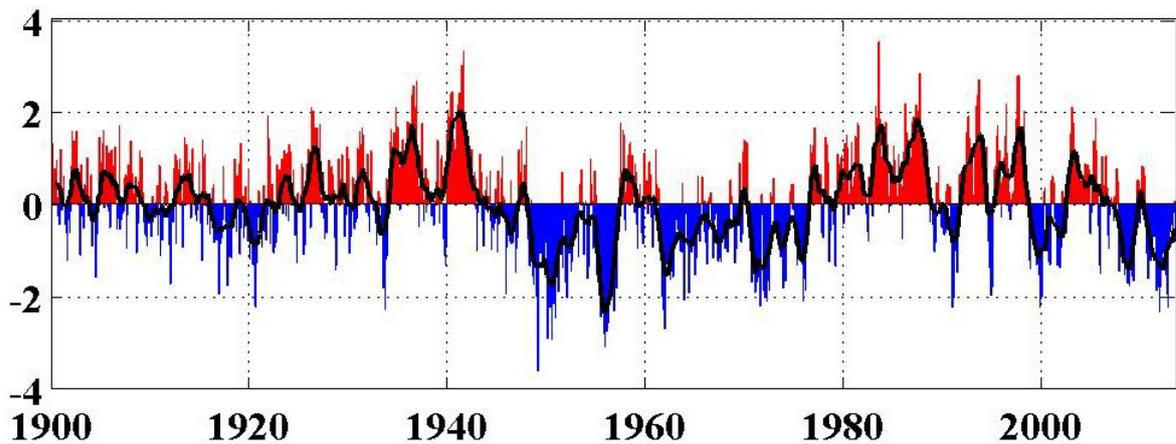


Figura 3.2 - Série temporal do Índice de Oscilação Decadal do Pacífico desde 1900 a 2013 (MANTUA et al., 1997)  
 Fonte:(<http://research.jisao.washington.edu/pdo/>)

### 3.2 Metodologias

#### 3.2.1 Teste de homogeneidade

Primeiramente, para trabalhar com dados observados confiáveis, aplicou-se o teste de homogeneidade, conhecido como teste Run ou teste de aleatoriedade (THOM, 1966). Este é um teste não-paramétrico usado para avaliar a correlação serial das séries temporais das variáveis meteorológicas, o qual foi indicado pela WMO (1966). Conforme descrito por Back (2001), consiste em realizar a contagem de números de oscilações dos valores acima e abaixo da mediana, numa série de dados, naturalmente ordenada. O número de oscilação é chamado de Run, e deve-se testar se o valor observado está dentro da faixa de distribuição considerada normal. Quando ocorrer muitas oscilações o valor de Run será alto, caso contrário, terá valores baixos, o qual indica um desvio em relação à mediana durante o período de registro.

A distribuição amostral do número de Runs total pode ser aproximada pela distribuição normal com média, dependendo da sequência do grupo  $N_1$  e  $N_2$ :

$$E(u) = \frac{2N_1N_2}{N_1 + N_2} + 1 \quad (3.1)$$

e a variância da distribuição pode ser estimada por

$$Var(u) = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N_1 - N_2)}{(N_1 + N_2)^2(N_1 + N_2 - 1)} \quad (3.2)$$

onde  $u$  representa o número de Runs. A estatística aplicada na análise de que os valores ocorrem de forma aleatória é dada:

$$z = \frac{u - E(u)}{\sqrt{var(u)}} \quad (3.3)$$

O valor calculado poderá ser comparado com os valores da distribuição normal de  $z$ . Utilizando o nível de significância de 0,05, o valor de  $z$  deverá está entre -1,96 e 1,96. Se os valores calculado estiverem fora do limiar, rejeita-se a hipótese nula. A hipótese nula foi considerada sendo uma distribuição normal e sem aleatoridade.

### 3.2.2 Critérios de identificação dos eventos de friagens

O critério utilizado para determinar os eventos de friagens para as cidades de interesse, foi a ocorrência da redução concomitantemente nas temperaturas máxima ( $T_{m\acute{a}x}$ ) e mínima ( $T_{m\acute{i}n}$ ), a partir de um limiar estipulado para cada mês do inverno austral (maio, junho, julho, agosto e setembro), ou seja, um novo critério baseado nos extremos da temperatura. De acordo com [Satyamurty e Lima \(1994\)](#), nestes meses são identificadas as maiores ocorrências de sistemas frontais atuando sobre a América do Sul com trajetórias quase meridionais, no sentido sudoeste-nordeste (SW-NE), podendo causar as friagens na Amazônia.

Esse limiar foi definido a partir do cálculo das médias aritméticas e o desvio-padrão para cada cidade. Consequente, reduziu-se da média o valor de 1,5 do desvio-padrão (1,5DP) de cada mês. Por exemplo, a média da  $T_{m\acute{a}x}$  e  $T_{m\acute{i}n}$  no mês de julho para a cidade de Tabatinga foram, respectivamente, 30,1 °C e 22,4 °C, cujos desvios-padrão foram equivalentes a 2,26 para a  $T_{m\acute{a}x}$  e 1,13 para a  $T_{m\acute{i}n}$ . De acordo com a metodologia e a formulação abaixo, o valor limite que considerou-se evento de friagem no corrente mês foi de 26,7 °C e 20,7 °C para a  $T_{m\acute{a}x}$  e  $T_{m\acute{i}n}$ , respectivamente. Para os eventos extremos considerados, os quais foram verificados para a cidade de Iauaretê - situada acima da linha do equador, reduziu-se da média mensal o valor de 2,0 desvios-padrão (2,0DP). Em alguns eventos apenas com o limiar definido não foi possível detectar o evento automaticamente, devido apresentar redução abaixo do li-

miar somente em uma das temperaturas, ou seja, o efeito não foi tão intenso capaz de reduzir concomitantemente as temperaturas em determinada cidade. Neste caso, foi necessário a utilização de uma análise manual - verificação diária para cada cidade a partir de Vilhena e Tabatinga. Também considerou-se que, os eventos definido como friagens teriam que ocorrer desde a cidade de Vilhena até alcançar a cidade de Manaus, na Amazônia Central. Desse modo, deixa-se esclarecido que, os eventos frios considerados no presente trabalho apresentou-se em quantidades menores que o recente trabalho de [Ricarte et al. \(2014\)](#).

As anomalias diárias da  $T_{mín}$  e  $T_{máx}$  foram calculadas diferenciando o valor médio climatológico (1980-2013) de cada mês do inverno austral para cada cidade, pelo valor encontrado no dia do evento considerado como friagem. Isto foi realizado com o propósito de averiguar a intensidade do evento sobre a região. Também verificou-se, a partir dos dados obtidos do experimento Mini-Barca, a estrutura vertical do campo de vento sobre as cidades de Rio Branco, Tabatinga e Vilhena. Além dessa observação, verificou-se apenas para a cidade de Rio Branco, o comportamento das componentes zonal e meridional antes, durante e após o dia da friagem.

**Determinação diária para cada mês dos eventos de friagem:**

$$T_{(friagem)} = média_{(mensal)} - 1.5DP(desvio - padrão)_{(mensal)}$$

( $T_{friagem}$  considera os valores de  $T_{mín}$  e  $T_{máx}$ )

Em particular, para identificar os eventos que ultrapassaram a linha do equador, definiu-se:

**Determinação diária para cada mês dos eventos de friagem extremos:**

$$T_{(friagem)} = média_{(mensal)} - 2DP(desvio - padrão)_{(mensal)}$$

( $T_{friagem}$  considera os valores de  $T_{mín}$  e  $T_{máx}$ )

### 3.2.3 Determinação das tendências climáticas

Utilizou-se o software MAKESENS (*Mann-Kendall test for trend and Sen's Slope estimates*), o qual foi desenvolvido para detectar e estimar tendências na série temporal de valores anuais de variáveis atmosféricas, tais como: temperatura e precipitação. Esse programa foi produzido pelo Instituto Meteorológico Finlândes ([SALMI, 2002](#)) e constata a presença de uma tendência monotônica crescente ou decrescente, através do teste não-paramétrico de Mann-Kendall. Em seguida, foi estimado a inclinação e magnitude de uma tendência linear com o método não-paramétrico de

Sen (GILBERT, 1987). O teste não-paramétrico é usado quando a amostra tem uma distribuição que não é normal ou quando a amostra tem um número superior a trinta (30), optando por conclusões mais conservativas. Abaixo, uma descrição sucinta de cada um dos métodos aplicados. Também ressalta-se que nessa parte da pesquisa, verificou-se as tendências climáticas para os decênios de 80 (1980-1989), 90 (1990-1999) e 00 (2000-2013) para averiguar qual década contribuiu com as tendências positivas/negativas da série temporal. Para esta análise, inseriu-se a cidade de Conceição do Araguaia, por apresentar características relevantes em relação a sua área de floresta, que totaliza 13% de sua área total, enquanto a área deflorestada corresponde a mais de 50% (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS.OBSERVAÇÃO DA TERRA (INPE.OBT), 2013).

### 3.2.3.1 Teste de Mann-Kendall

O teste d Mann-Kendall foi originalmente criado por Mann (1945) e reformulado por Kendall (1948), em que considera em uma série temporal a hipótese de estabilidade, e sua sucessão de valores ocorre de forma independente o qual a distribuição da probabilidade permaneça sempre a mesma (série aleatória qualquer).

De acordo com Goossens et al. (1986) o teste de Mann-Kendall é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas e permite também a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência. Silveira e Gan (2006) notaram que o teste de Mann-Kendall pode ser usado em séries descontínuas com distribuição desconhecida, com a vantagem de usar a magnitude relativa dos valores da série. Caso deseja-se averiguar que não há tendência na hipótese nula ( $H_0$ ), os quais os dados precisam ser variáveis aleatórias ( $H_1$ ), independentes e identicamente distribuída, apresentando uma tendência de aumento ou diminuição (GILBERT, 1987). O teste de Mann-Kendall apresenta a seguinte equação

$$S = \sum_{j=i+1}^n (R_j - R_i) \quad (3.4)$$

em que,  $R_j$  e  $R_i$  representam os valores de cada elemento da série temporal. Os valores para cada diferença ( $R_j - R_i$ ) foram determinados da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
& 1, \text{ se } (R_j - R_i) > 0 \\
& 0, \text{ se } (R_j - R_i) = 0 \\
& -1, \text{ se } (R_j - R_i) < 0
\end{aligned}$$

Supondo  $H_0$  seja verdadeira, a variância de  $S$  é computada seguindo a equação o qual pode ser representada como:

$$VAR(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (3.5)$$

onde  $q$  é o número de grupos vinculados,  $n$  o número de observações e  $t_p$  é o número de valores de dados no grupo  $p^{\text{ésimo}}$ . Enfim, os valores de  $S$  e  $VAR(S)$  usados para calcular a estatística do teste  $Z$  é dada por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, \text{ se } S > 0 \\ 0, \text{ se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}}, \text{ se } S < 0 \end{cases}$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada usando o valor de  $Z$ , o qual testará a hipótese nula ( $H_0$ ) de estacionaridade da série temporal. Valores positivos de  $Z$  indicam tendência crescente, caso contrário, tendência decrescente (valores negativos). Para casos em que as séries temporais contêm menos de 10 amostras, usou-se o teste estatístico S. Em séries contendo amostras maiores do que 10 valores a aproximação será normal (teste estatístico Z). Por exemplo, para um nível de significância de  $\alpha = 0.05$  a confiabilidade no resultados obtido será de 95%, para um nível de confiança significativo maior, igual a 99.9%, o nível de significância será de  $\alpha = 0.001$ .

No presente estudo, como os valores corresponderam as amostras maiores que 10, a significância estatística será avaliada de acordo com o teste estatístico Z, mencionado acima. De acordo com [Oliveira e Angelis \(2011\)](#), o teste Mann-Kendall, por ser um método não paramétrico, não necessita que a série de dados apresente uma distribuição normal (gaussiana). Além do que os testes não-paramétricos são mais conservadores que os testes paramétricos, porém as conclusões não são tão robustas

como as apresentads pelos testes paramétricos (como o caso do *teste t de student*).

### 3.2.3.2 Método de Sen's

Para estimar a existência da inclinação da tendência - como aquelas mudanças decorrentes ano a ano, utilizará o método não paramétrico de Sen (SEN, 1968); (GILBERT, 1987). Nesse método, os valores em falta são permitidos e os dados não precisam obedecer a uma distribuição específica qualquer (OLIVEIRA; ANGELIS, 2011). Esse método não é influenciado por erros de dados. Considerando que haja uma linearidade nas séries temporais, o método de Sen's estimará a inclinação e a magnitude desta tendência. Isto significa que a equação será igual a

$$f(t) = Q_t + B, \quad (3.6)$$

onde  $Q$  é a inclinação e  $B$  é uma constante.

Para obter a estimativa de inclinação  $Q$ , primeiro calculam-se as inclinações de todos os pares de dados

$$q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}, \quad (3.7)$$

onde  $j > k$ .

Se haver  $n$  valores  $x_j$  na série temporal, obtêm-se  $N = n(n-1)/2$  para as estimativas de inclinação  $Q_i$ . Desse modo, a estimativa de inclinação obtida pelo método de Sen é a mediana destes valores  $N$  de  $Q_i$ . Os valores  $N$  de  $Q_i$  são classificados do menor para o maior, e a estimativa de Sen é

$$Q = Q_{[(N+1)/2]}, \text{ se } N \text{ é ímpar} \quad (3.8)$$

ou

$$Q = \frac{1}{2}[Q_{(N/2)} + Q_{(N+2/2)}], \text{ se } N \text{ é par} \quad (3.9)$$

Melhores detalhes para o cálculo do teste estatístico  $Z$  de Mann-Kendall, estimativa

de inclinação Q e da constante B pelo método Sen pode ser encontrada em [Salmi \(2002\)](#).

### 3.2.3.3 Desvio Padronizado

Após a verificação de valores positivos ou negativos nas tendências individuais e por décadas, tentou-se justificar os resultados encontrados destas através dos desvios padronizados das variáveis das temperaturas máxima e mínima. Esse conceito foi incluído para elucidar as variabilidades presente nas séries temporais, tanto as de baixa como de alta frequência e assim, descartá-las como responsáveis principais das tendências climáticas. Desse modo, poderá existir relação, mesmo que pequena, com as taxas de desflorestamento da região.

O desvio padronizado dos extremos da temperatura foram calculados a partir da média e do desvio-padrão da série de dados. Primeiro, tem-se o valor anual que se deseja padronizar, em seguida, faz-se a diferença da média e divide pelo desvio-padrão. Abaixo a fórmula exemplificada para melhores esclarecimentos.

$$DP_t = \frac{T_i - \mu}{\sigma}, \quad (3.10)$$

onde o  $DP_t$  é desvio padronizado das temperaturas máxima e mínima (T), o  $i$  é índice do referente ano,  $\mu$  a média da série temporal e  $\sigma$  o desvio-padrão da mesma série.

## 3.3 Análise dos dados observacionais e de reanálises

Para as visualizações e análises dos dados observacionais e das reanálises foram utilizados os softwares GrADS (em inglês, '*Grid Analysis and Display System*') e Matlab (em inglês, '*Matrix Laboratory*').

O GrADS é um sistema de visualização e análises da dados em ponto de grade, interativo e simples manipulação. Trabalha com dados nos formatos grib, binários, netcdf ou hdf-sds com até 4 dimensões - latitude, longitude, tempo e níveis verticais. Foi desenvolvido na Unversidade de Maryland pelo pesquisador Brian Doty no COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies) na década de 80.

O software Matlab é destinado a gráficos científicos e cálculos numéricos, através dos pacotes comerciais. Seu ponto forte integra o manuseio de cálculos matriciais, análise numéricas e processamento de sinais.



## 4 MASSAS DE AR FRIO NA AMAZÔNIA E SUAS PARTICULARIDADES

Neste Capítulo serão apresentados os resultados do teste de homogeneidade, a distribuição climatológica dos dados para cada cidade e os eventos de friagens sobre a Bacia Amazônica Brasileira, que compreende aqui os estados estudado, durante os 34 anos de dados.

### 4.1 Homogeneidade dos dados

De acordo com a tabela 4.1 verifica-se que para as cidades de Vilhena, Porto Velho, Rio Branco, Tabatinga, Manicoré, Manaus e Conceição do Araguaia os valores de toda a série temporal, décadas de 80, 90 e 00 foram consideradas homogêneas pelo teste de Run. Porém, para a década de 80 e 90, respectivamente, as cidades de Manicoré e Tabatinga não apresentaram homogeneidade. Isto de fato ocorreu devido a presença de descontinuidades nas séries temporais, que podem ser por razões humanas, técnicas e mudança local da estação. De acordo com a [WMO \(2003\)](#) o problema mais comum, na maioria das regiões, principalmente em áreas remotas como a bacia Amazônica, inclui o inadequado monitoramento das redes, falhas nos dados, redução geral do número de estações, diferença de processamento e controle de qualidade e diferentes políticas de gestão de dados. Ressalta-se que, não se utilizou nenhum método para preenchimento das falhas ou descontinuidades.

Tabela 4.1 - Teste Run das  $T_{máx}$  e  $T_{mín}$  para as cidades de Vilhena, Porto Velho, Rio Branco, Tabatinga, Manicoré, Manaus e Conceição do Araguaia

Cidades	Série Temporal	80 (1980-1989)	90 (1990-1999)	00 (2000-2013)
Vilhena	H	H	H	H
Porto Velho	H	H	H	H
Rio Branco	H	H	H	H
Tabatinga	H	H	NH	H
Manicoré	H	NH	H	H
Manaus	H	H	H	H
Conceição do Araguaia	H	H	H	H
Iauaretê	H	H	H	H

\*H=Homogênea; NH=Não-Homogênea

### 4.2 Comportamento dos dados observacionais

Inicialmente foi calculada a climatologia do meses de inverno austral das  $T_{máx}$  e  $T_{mín}$ , com a finalidade de observar o comportamento das mesmas. Esta análise foi

adquirida pelo gráfico de diagrama de caixa ou boxplot. O diagrama de caixa é uma ferramenta que tem a finalidade de apresentar de forma rápida a distribuição dos dados e a existência ou não de outliers. Além de informar de forma simples, apenas pelo posicionamento da mediana, se a distribuição dos dados observados é simétrica ou assimétrica.

A forma como expressa a síntese dos dados é realizado por resumos estatísticos conhecidos como quartis, dividindo o conjunto de dados em quatro partes. O primeiro quartil (Q1) para o qual 25% das observações situam-se iguais ou abaixo de seu valor, o segundo quartil (Q2), também conhecido por mediana para a qual 50% das observações são iguais ou situam-se abaixo dela, e o terceiro quartil (Q3), que separa 75% das observações iguais ou abaixo de seu valor (SILVESTRE et al., 2012).

A distribuição de toda a série temporal para as respectivas cidades do estudo podem ser verificadas nas Figuras 4.1 a 4.6. Em Rio Branco (Figura 4.1), observa-se a partir da mediana, que os dados da  $T_{mín}$  nos meses de maio, julho, agosto e setembro, estiveram de forma assimétrica em direção aos menores valores, bem como simétrico (mês de junho). Nos meses de maio, agosto e setembro é possível verificar valores extremos variando entre 27,0 a 28,5 °C. No entanto, dentre esses meses, julho apresentou os menores valores de  $T_{mín}$ , alcançando até 9,8 °C. Em relação a  $T_{máx}$ , valores elevados de 40,0 °C foram verificados, entretanto, para todos os meses de inverno austral, foram perceptíveis a presença de valores extremos abaixo do limiar. Para a cidade de Manicoré (Figura 4.2), a distribuição dos dados da  $T_{mín}$  variaram entre 12,0 a 27,0 °C, cujos meses de julho e agosto apresentaram-se de forma simétrica. Porém nos meses de maio, junho e setembro, os valores se comportaram-se de forma assimétrica. Na distribuição da  $T_{máx}$ , apenas no mês setembro que verificou-se valores elevados (38,9 °C).

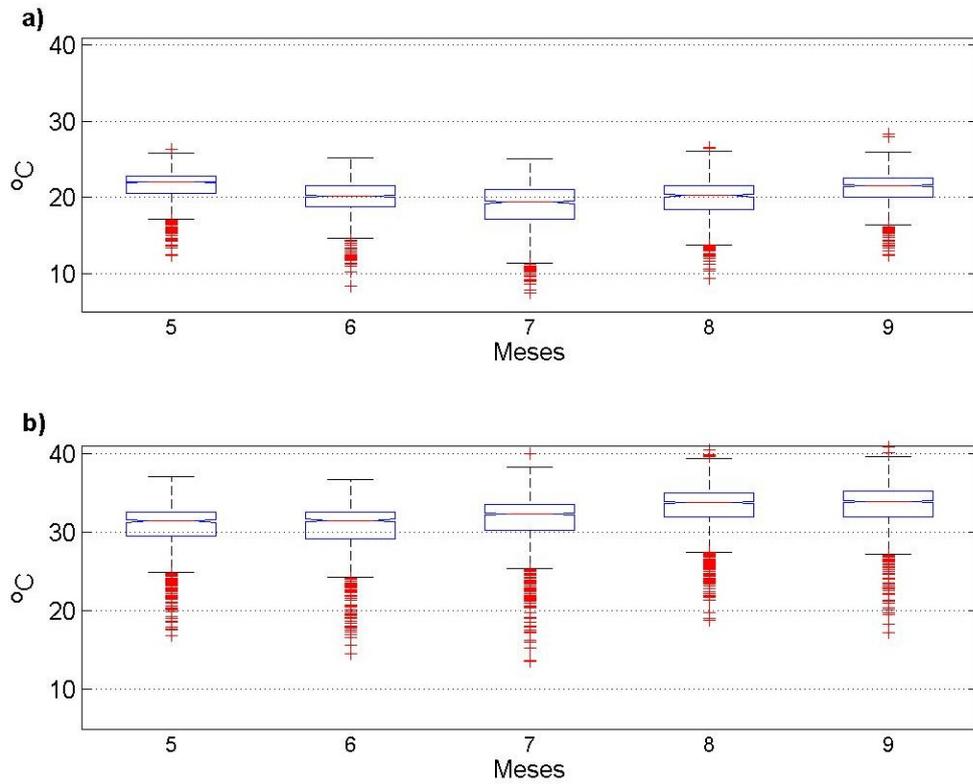


Figura 4.1 - Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima para a cidade de Rio Branco - AC

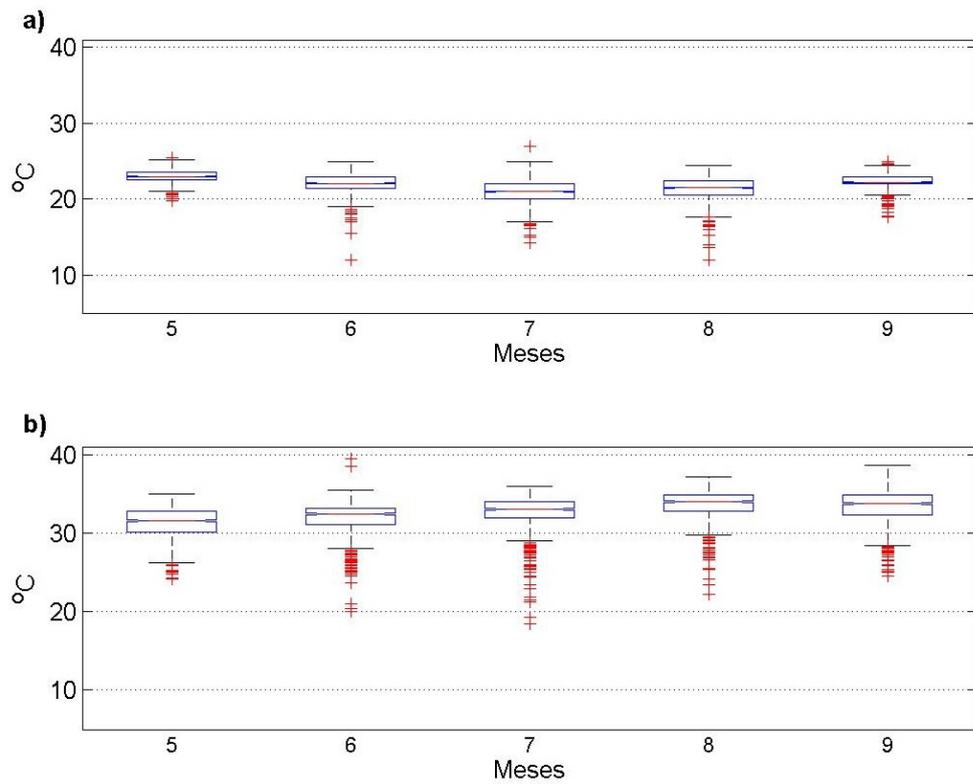


Figura 4.2 - Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima para a cidade de Manicoré - AM

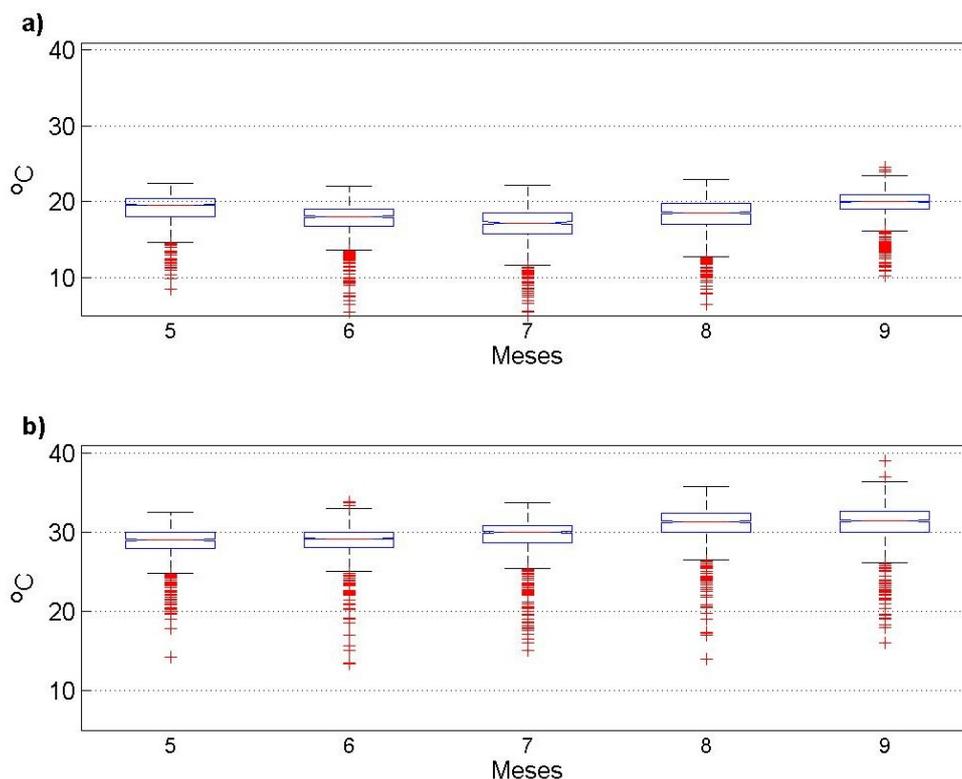


Figura 4.3 - Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima para a cidade de Vilhena - RO

A climatologia da cidade de Vilhena (Figura 4.3), localizada bem ao sul da Bacia Amazônica, mostra valores da  $T_{mín}$  variando desde 9,0 °C em julho a 25,5 °C em setembro. Setembro também apresentou os maiores valores na  $T_{máx}$ , atingindo até 37,5 °C. Ambas temperaturas constataram valores extremos, os quais foram bem significativos, quando comparado as outras cidades de interesse. Na cidade de Porto Velho (Figura 4.4), excetuando o mês de agosto, os meses restantes apresentaram distribuição simétrica quanto a sua mediana na  $T_{mín}$ . As mesmas observações também são direcionadas a  $T_{máx}$ . Além disso, esta apresenta, valores acentuados, ocorrendo principalmente no mês de agosto.

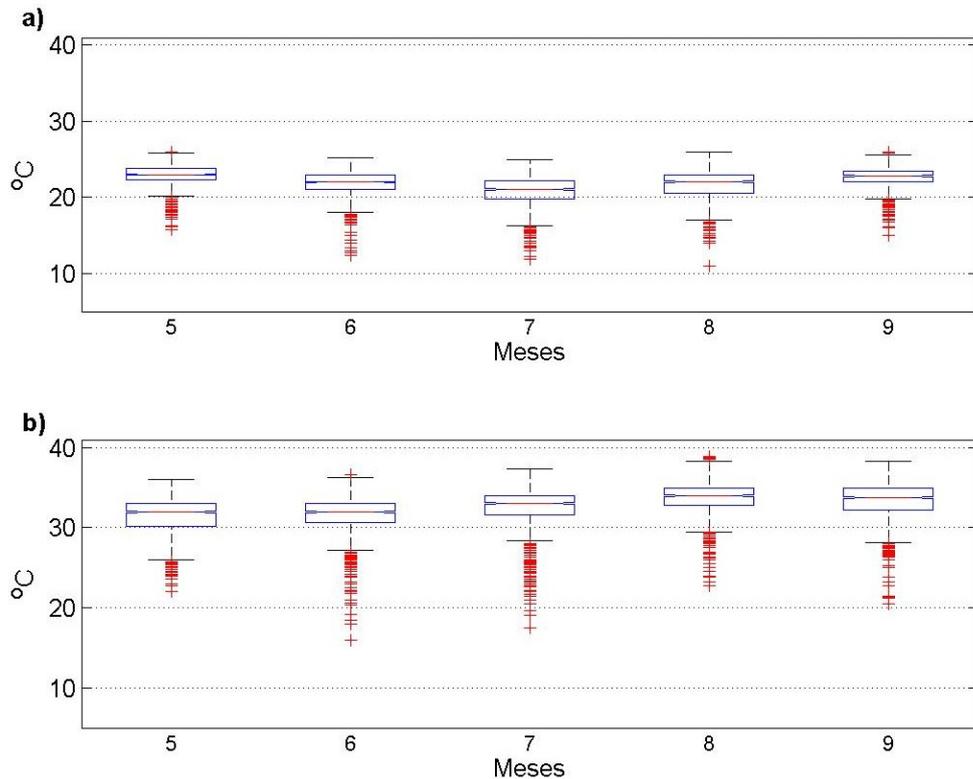


Figura 4.4 - Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima para a cidade de Porto Velho - RO

Os valores da  $T_{mín}$  para a cidade de Tabatinga (Figura 4.5) variaram entre 18,0 a 38,0 °C, com uma distribuição ocorrendo de forma simétrica e valores extremos significativos, principalmente nos meses de junho e julho. Nestes meses também foi possível atestar os menores valores na  $T_{máx}$ , os quais variaram entre 19,0 a 38,0 °C. Em Manaus (Figura 4.6), apesar de está situada na Amazônia Central, alguns eventos de friagens foram comprovados - de modo que é possível verificar os valores extremos abaixo do limiar inferior, com o mês de julho apresentando os menores valores de  $T_{mín}$ . Alguns valores mínimos também foram observados na  $T_{máx}$ , os quais sucederam principalmente nos meses de junho e junho, por outro lado, os valores máximos extremos ocorreram no mês de agosto. Porém, a maior amplitude dos dados foi encontrada no mês de setembro, o qual é considerado o mês mais quente para capital Amazonense.

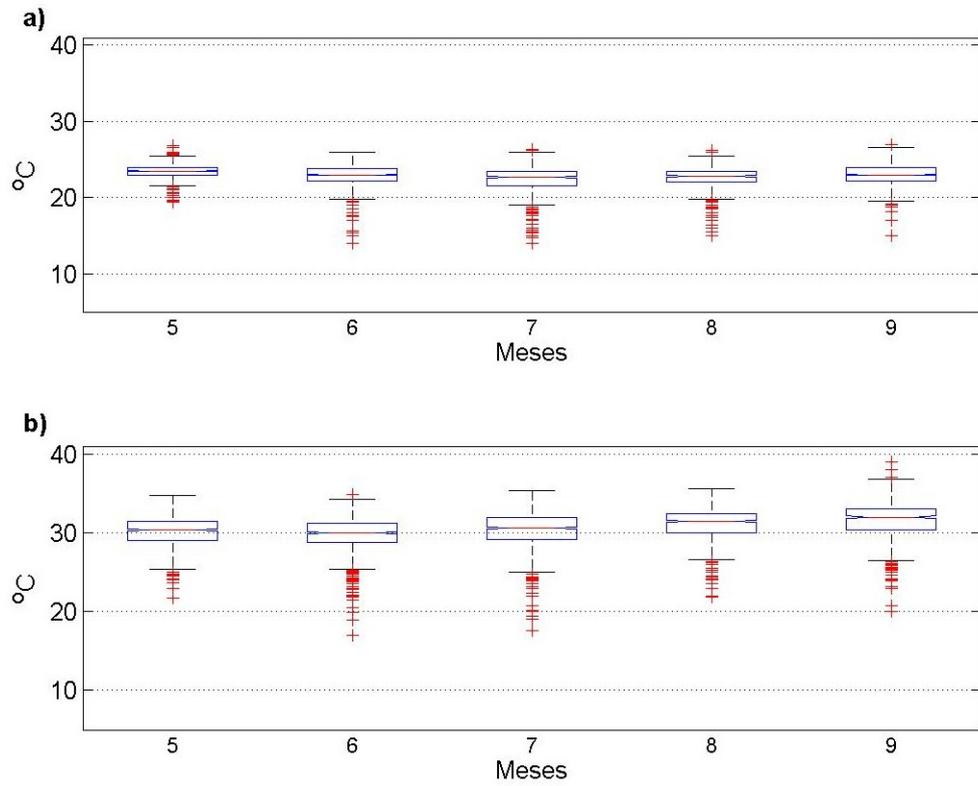


Figura 4.5 - Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima para a cidade de Tabatinga - AM

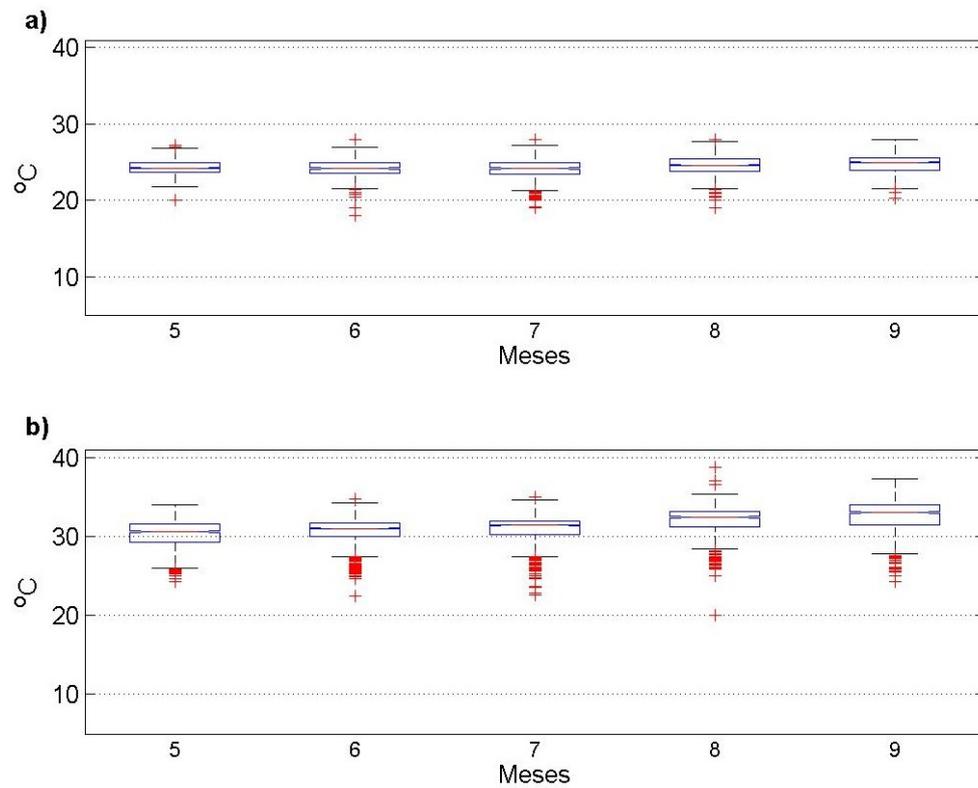


Figura 4.6 - Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima para a cidade de Manaus - AM

Desta forma, é possível constatar - a partir da climatologia verificada pelo diagrama de caixa, que todas as cidades do estudo apresentaram valores extremos ou anômalos, provavelmente devido a presença dos eventos de friagem. Assim, ocasionam declínios acentuados nos extremos da temperatura na região da Bacia situada nas latitudes baixas.

### **4.3 Análise dos eventos de friagem sobre a Bacia Amazônica Brasileira**

A partir do limiar definido no Capítulo anterior, expõe-se nesta seção os resultados obtidos dos eventos de friagens para o período de 1980 a 2013 durante o inverno austral. Desta forma, os resultados apresentados estão subdivididos em três partes, tais como: o número mensais de eventos encontrados, eventos de intensidade extrema e a estrutura vertical do campo de vento antes, durante e após a entrada da massa de ar frio e seca.

#### **4.3.1 Eventos de friagens sobre a Bacia Amazônica Brasileira**

Segundo a metodologia aplicada, 68 eventos foram constatados para toda a Bacia Amazônica Brasileira (desde a cidade de Vilhena a Manaus) no período de 34 anos. Desse total, a quantidade individual de eventos foram de 96 em Vilhena, 73 eventos em Tabatinga, 102 eventos em Rio Branco, Porto Velho apresentou 75 eventos, Manaus 79 eventos e Manicoré somou 23 eventos. Vale ressaltar que o banco de dados da cidade de Manicoré apresentou muitas falhas, denotando consequência nos eventos individuais. Também é possível observar que, nem todos os eventos individuais obtidos utilizando a metodologia foram direcionados unicamente as friagens, pois existe outro fator que pode contribuir com a ocorrência da redução similar das temperaturas, tal como, os sistemas convectivos locais.

Essa quantidade de eventos no total tornou-se admissível porque observou-se atentamente o deslocamento da massa de ar frio por todas as cidades de estudo e também, pela semelhança da quantidade dos eventos de friagens verificado no trabalho de [Ricarte et al. \(2014\)](#). Como foi visto, Manicoré apresentou automaticamente 23 eventos, e quando atribuiu-se a análise geral foram encontrados 68 eventos. Nestes caso, é importante esclarecer que, a partir da análise automatizada, efetuou-se também as considerações observacionais. Essas considerações foram realizadas através da visualização de cada evento identificado em Vilhena e sucessivamente em Tabatinga, buscando dessa maneira os respectivos efeitos nas cidades restantes, ou seja, o deslocamento tardio da massa de ar frio e seca.

Quando foram comparados os eventos identificados para Vilhena com o trabalho de Ricarte et al. (2014), percebeu-se que no presente, os eventos distinguidos foram em quantidades menores. Isso ocorreu devido a metodologia aplicada, que empregou o valor de 1,5 no desvio-padrão na média de cada mês em ambas temperaturas, enquanto no trabalho de Ricarte et al. (2014) utilizaram-se valores da temperatura mínima menor e igual a 16,0 °C.

Na análise da frequência mensal dos eventos (Figura 4.7), verificou-se que a maior frequência observada ocorreu em julho, totalizando 18 eventos, seguido por junho com 17 eventos, maio e agosto com 12 eventos e setembro contabilizando 9 eventos. Estes resultados estão de acordo com o observado por Ricarte et al. (2014) e Satyamurty e Lima (1994), com a maior ocorrência sendo observada no mês de julho. Mais uma vez é válido ressaltar que, para a frequência mensal os eventos também foram em quantidade menores que o recente trabalho de Ricarte et al. (2014), devido serem considerados os eventos que se propagaram por toda a Bacia Amazônica, desde Vilhena até a cidade de Manaus, na parte central da região.

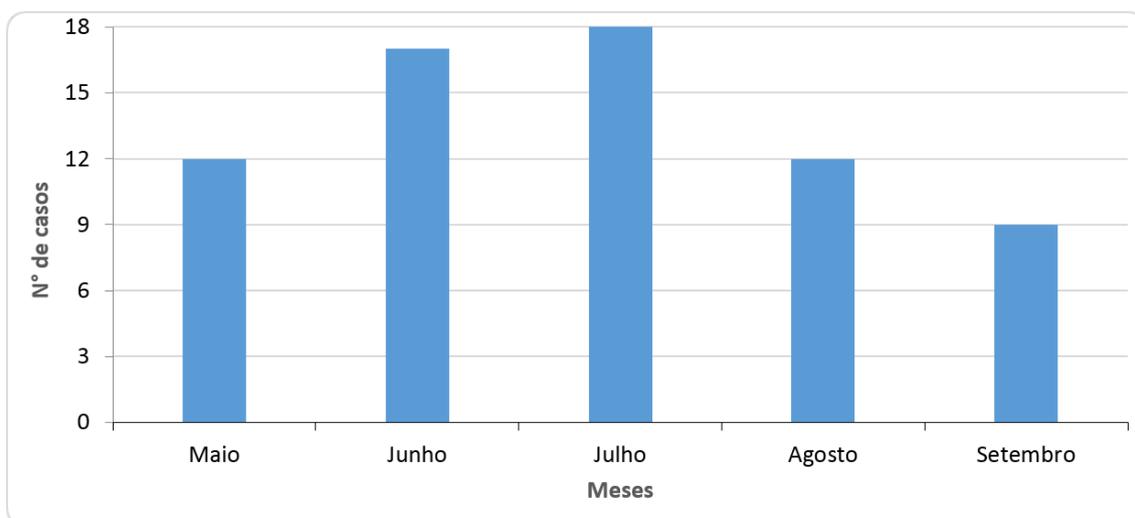


Figura 4.7 - Frequência mensal dos eventos de friagem sobre a Bacia Amazônica Brasileira

Verificam-se nas Tabelas 4.2 e 4.3 as maiores intensidades dos eventos de friagens e seus respectivos anos de ocorrência, obtidos pelo cálculo das anomalias. Essa anomalia foi avaliada reduzindo o valor, tanto da  $T_{mín}$  como da  $T_{máx}$ , do dia do evento da média de cada mês para as respectivas cidades. Por exemplo, a média do mês de agosto da  $T_{mín}$  para Tabatinga e Vilhena são, respectivamente, 22,6 °C e 18,0 °C. Para o ano de 1993 o evento de friagem diminuiu a  $T_{mín}$  para 15,0 °C em Tab-

tinga e 8,0 °C em Vilhena, conseqüentemente, o efeito da friagem contribuiu com a redução desta variável de 7,6 °C (Tabatinga) e 10,0 °C (Vilhena) para estas cidades. As Tabelas mostram os valores mais representativos dos eventos encontrados para as últimas décadas nos referentes meses em cada cidade, tanto na  $T_{mín}$  como na  $T_{máx}$ . Esse cálculo foi determinado para comprovar e depois associar aos fatores que poderiam ter contribuído com as reduções significativas, tais como, as variabilidades interanuais, decadal ou até mesmo os efeitos antropogênicos (desflorestamento).

Ao analisar mensalmente a ocorrência dos eventos frios, dos 12 eventos encontrados para o mês de maio (Figura 4.7), 2 (dois) eventos ocorreram em 1987, ano este influenciado pelo evento de El Niño com intensidade moderada. Para este caso, as anomalias negativas da  $T_{mín}$  reduziram 7,5 °C em Vilhena, 4,0 °C em Tabatinga, 6,4 °C em Rio Branco, 5,3 °C em Porto Velho, 1,8 °C em Manicoré e em Manaus 1,3 °C. No entanto, os valores que diminuiram significativamente foram constatados na  $T_{máx}$ . Esses valores reduziram em Vilhena em até 7,1 °C, em Tabatinga 6,1 °C, mais que 8,0 °C em Rio Branco, 7,7 °C em Porto Velho, 7,2 °C em Manicoré e 4,9 °C em Manaus.

Em junho, os valores apresentaram reduções mais significativa bem como maiores eventos encontrados que no mês anterior. As diminuições mais pronunciadas também ocorreram na  $T_{máx}$ , com anomalia de até 15,1 °C em Vilhena, 12,7 °C em Tabatinga, 16,1 °C em Rio Branco, 15,4 °C em Porto Velho, 11,5 °C em Manicoré e 7,9 °C em Manaus. Uma similaridade observada entre essas cidades foi que, essas reduções significativas verificadas foram obtidas em anos de La Niña (intensidade moderada e fraca - 1996/2001). No entanto, de todos os eventos constatados (17 eventos no mês de junho), os anos que mais apresentaram friagens foram anos de El Niño. Para o mês de julho o mesmo comportamento foi observado com reduções bruscas ocorrendo principalmente na  $T_{máx}$ , os quais diferenciaram em termos de intensidade. Em Vilhena a diminuição alcançou até 14,3 °C, menor que o observado no mês anterior, assim como na cidade de Porto Velho (12,0 °C). Por outro lado, Rio Branco, Manicoré e Manaus apresentaram intensidades consideráveis de 17,1 °C, 13,4 °C e 8,0 °C, respectivamente. Os eventos contabilizados neste mês também foram maiores (18 eventos) que o mês de junho, os quais sucederam-se durante os anos de El Niño, enquanto anos de La Niña e Neutro verificaram-se em menor quantidade. Não obstante, as intensidades evidenciadas acima ocorreram principalmente nos poucos eventos de La Niña (Vilhena, Rio Branco, Manicoré e Manaus), enquanto em anos de El Niño registraram-se as maiores diminuições das temperaturas nas cidades de Tabatinga e Porto Velho.

No mês de agosto (12 eventos) as anomalias negativas bem acentuadas da  $T_{máx}$  ocorreram principalmente na cidade de Vilhena (16,8 °C), seguida por Rio Branco (12,5 °C), Manicoré (10,1 °C), Porto Velho (9,4 °C), Tabatinga (9,0 °C) e Manaus (4,5 °C). Setembro foi o mês que apresentou os menores eventos, totalizando 9 do total de 68 eventos. Dentre esses, as cidades que mais destacaram-se com as quedas pronunciadas foram as cidades de Vilhena, Rio Branco e Porto Velho, com anomalias negativas da  $T_{máx}$  de 14,8 °C, 14,5 °C e 11,9 °C, respectivamente. Como observou-se, estas cidades estão localizadas mais ao sul da Bacia Amazônica, e consequentemente, mais afetadas pela incursão fria. As cidades de Tabatinga, Manicoré e Manaus apresentaram, respectivamente, anomalias negativas de 10,7 °C, 6,5 °C e 5,8 °C.

Tabela 4.2 - Anomalia negativa da  $T_{mín}$  e  $T_{máx}$  dos eventos de friagem para as cidades de Vilhena, Tabatinga e Rio Branco.

	Vilhena		Tabatinga		Rio Branco	
	$T_{mín}$	$T_{máx}$	$T_{mín}$	$T_{máx}$	$T_{mín}$	$T_{máx}$
<b>Maio</b>	-8,7 °C (2010)	-9,5 °C (1989)	-4,0 °C (1987)	-7,1 °C (1989)	-8,9 °C (2008)	-13,8 °C (2008)
<b>Junho</b>	-12,1 °C (1994)	-15,1 °C (2001)	-8,9 °C (1996)	-12,7 °C (1996)	-13,1 °C (1985)	-16,1 °C (2001)
<b>Julho</b>	-11,3 °C (1981)	-14,3 °C (2000)	-8,4 °C (1990)	-13,5 °C (2010)	-12,2 °C (2013)	-17,1 °C (2000)
<b>Agosto</b>	-9,5 °C (1984)	-16,8 °C (1984)	-7,6 °C (1993)	-9,0 °C (1984)	-8,8 °C (1993)	-12,5 °C (2000)
<b>Setembro</b>	-9,4 °C (1983)	-14,8 °C (2005)	-8,1 °C (1980)	-10,7 °C (2003)	-7,8 °C (2003)	-14,5 °C (1980)

Tabela 4.3 - Anomalia negativa da  $T_{mín}$  e  $T_{máx}$  dos eventos de friagem para as cidades de Porto Velho, Manicoré e Manaus.

	Porto Velho		Manicoré		Manaus	
	$T_{mín}$	$T_{máx}$	$T_{mín}$	$T_{máx}$	$T_{mín}$	$T_{máx}$
<b>Maio</b>	-5,5 °C (2008)	-9,2 °C (2008)	-3,1 °C (1989)	-7,2 °C (1987)	-2,4 °C (1982)	-5,1 °C (2011)
<b>Junho</b>	-9,9 °C (1985)	-15,4 °C (2001)	-10,5 °C (1996)	-11,5 °C (1996)	-6,2 °C (1996)	-7,9 °C (2001)
<b>Julho</b>	-9,5 °C (1981)	-12,0 °C (2013)	-7,7 °C (1989)	-13,4 °C (1989)	-5,2 °C (1989)	-8,0 °C (1989)
<b>Agosto</b>	-10,7 °C (1984)	-9,4 °C (1987)	-9,9 °C (1993)	-10,1 °C (1984)	-5,3 °C (1993)	-4,5 °C (1980)
<b>Setembro</b>	-5,1 °C (2005)	-11,9 °C (1980)	-4,1 °C (2005)	-6,5 °C (2005)	-4,1 °C (1983)	-5,8 °C (1990)

Destacando a distribuição dos eventos de friagens durante as décadas (não mostrado), observou-se que dos 68 eventos, pelos menos um caso de friagem ocorreu em cada ano da década de 80 (1980-1989), na década de 90 (1990-1999) apenas os anos de 1991 e 1999 não apresentaram eventos que conseguiram deslocar por todas as cidades de interesse, assim como a década de 2000 (2000-2009), com os anos de 2002, 2006 e 2007. Por outro lado, desde 2010 a 2013, todos os anos apresentaram

eventos de friagem com grande intensidades e que moveram-se em direção a todas as cidades. Ao relacionar este resultado com as variabilidades interanuais, destacam-se que, as reduções das temperaturas ocorreram tanto em anos de El Niño como de La Niña, bem como em ano Neutro, concordando com os resultados de [Ricarte et al. \(2014\)](#), quando verificaram que os eventos de friagens não estavam diretamente relacionados com anos de El Niño e La Niña, e de [Satyamurty e Lima \(1994\)](#), os quais observaram que as frequências das passagens dos anticiclones intensos sobre o continente sul-americano não apresentaram nenhuma correlação significativa com os eventos de El Niño e La Niña.

Todavia, evidenciam-se que os valores mais expressivos das anomalias negativas ocorreram em anos de La Niña (Tabelas 4.2 e 4.3), que estão de acordo com o trabalho de [Rusticucci e Vargas \(2002\)](#). Outrossim, os outros anos foram característicos do fenômeno de El Niño, os quais confirmaram que as friagens podem ser mais frequentes durante esta configuração no oceano Pacífico. Tais resultados concordam com o trabalho de [Dettinger et al. \(2000\)](#) que notaram em anos de El Niño há o transporte de temperaturas frias para a região leste da Amazônia e por [Fedorova e Carvalho \(2000\)](#), quando mostraram que nos meses em que os fenômenos de El Niño estão ativos, a quantidade de frentes frias dentro da faixa de 20 °S - 40 °S é maior. Por conseguinte, podem deslocar-se para as latitudes baixas, tornando-se frequentes sobre essa região.

Além disso, comprovou-se que para um determinado evento a forte anomalia negativa ocorreu na  $T_{mín}$ , enquanto em outros eventos observaram-se influências na  $T_{máx}$ , contudo, as maiores anomalias negativas ocasionadas pelos eventos frios foram constatados na  $T_{máx}$ . Isto concorda com os resultados de [Amorim Neto \(2013\)](#), o qual mostrou que a queda diária da temperatura máxima foi em torno de 8,0 °C em 48 horas na região sul e central da Amazônia.

#### **4.4 Eventos de friagens que atingiram a linha do Equador**

Em 1964, Myes publicou um artigo sobre um caso de friagem que deslocou na direção norte, atravessando a linha do Equador e que atingiu o sul da Venezuela, influenciando, desta forma, a ocorrência de forte precipitação em julho de 1957. Diante deste relato, considerou-se como uma análise desafiadora, uma vez que os resultados anteriores mostraram que dos totais de eventos encontrados, apenas 68 eventos que passaram por Vilhena conseguiram alcançar Tabatinga e se deslocar até Manaus. Assim, esse trabalho procurou constatar se eventos extremos de friagens conseguem, realmente, alcançar a linha do equador, dado que o estudo realizado pelo autor foi

efetuado unicamente por imagens de satélites.

#### 4.4.1 Estudo de caso: Iauaretê -AM

Nesta subseção foi analisado o deslocamento da massa de ar frio e seca dentro da latitude tropical, escolhendo a cidade de Iauaretê (0.61N;69.0W;120 m) e dados do INMET durante o período de 1979 a 2013. Esta cidade está localizada no extremo noroeste do estado do Amazonas, posicionada acima da linha do equador (Figura 3.1) e dentro da Terra Indígena Alto Rio Negro. A localidade é o ponto onde o rio Uaupés adentra o território brasileiro, após percorrer uma extensa zona desde suas nascentes, na Colômbia, delimitando um grande trecho da fronteira entre os dois países. Além dessas características, Iauaretê apresenta um clima quente e úmido - como toda a Amazônia Brasileira, e médias mensais nos meses de inverno austral correspondente a Figuras 4.8 e Tabela 4.4.

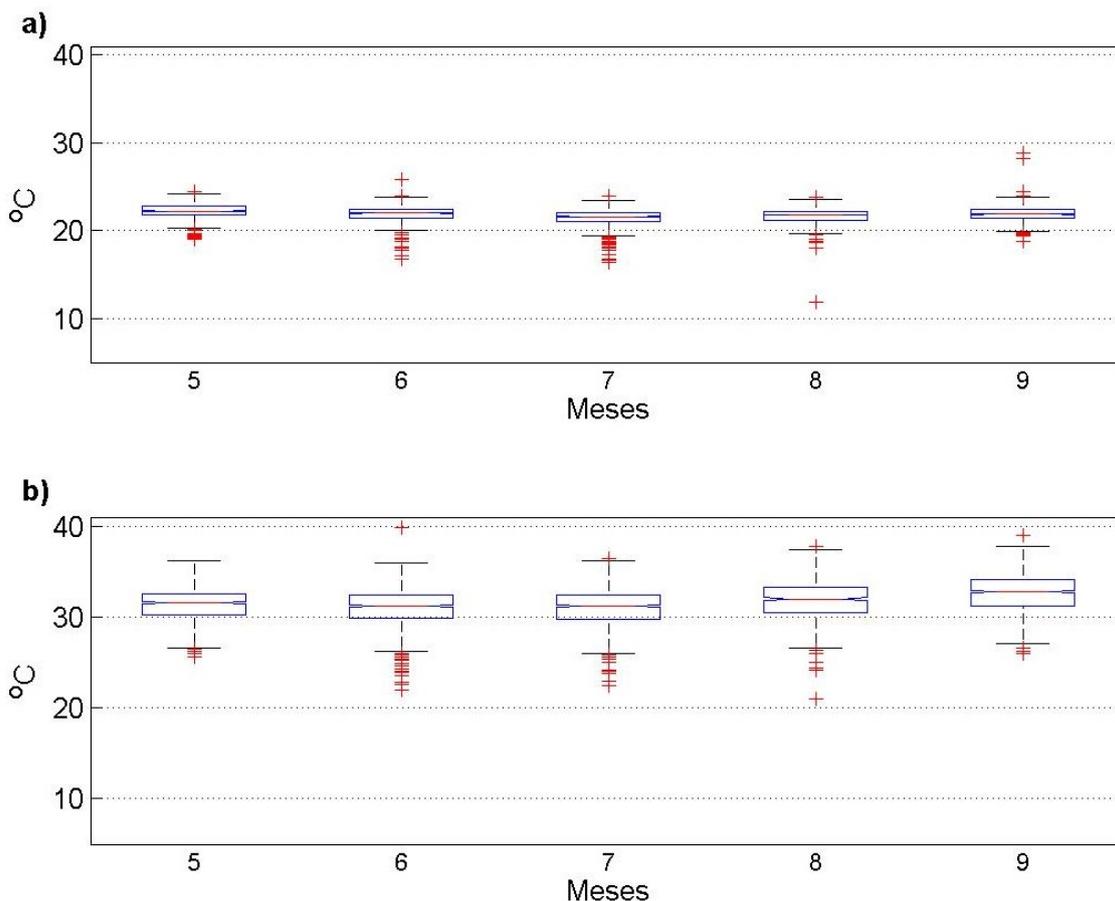


Figura 4.8 - Série temporal da (a) temperatura mínima e (b) temperatura máxima da cidade de Iauaretê no estado do Amazonas

Tabela 4.4 - Os 23 eventos de friagens juntamente com as anomalias da T<sub>máx</sub> e T<sub>mín</sub> que alcançaram a cidade de Iauaretê - AM.

Meses	Ano	Dia	T <sub>mín</sub>	T <sub>máx</sub>	Média T <sub>mín</sub>	Média T <sub>máx</sub>	Anom. T <sub>mín</sub>	Anom. T <sub>máx</sub>
<b>Maio</b>	1987	27	20,0 °C	28,0 °C	22,2 °C	31,4 °C	-2,2 °C	-3,4 °C
	1998	18	19,0 °C	27,8 °C			-3,2 °C	-3,6 °C
		19	19,2 °C	27,0 °C			-3,0 °C	-4,4 °C
	2004	28	20,9 °C	28,6 °C			-1,3 °C	-2,8 °C
	2010	13	21,0 °C	28,0 °C			-1,2 °C	-3,4 °C
<b>Junho</b>	1985	9	20,0 °C	28,2 °C	22,0 °C	31,2 °C	-2,5 °C	-7,2 °C
		10	19,5 °C	24,0 °C			-2,5 °C	-7,2 °C
		11	18,2 °C	26,8 °C			-3,8 °C	-4,4 °C
	1988	3	20,0 °C	28,0 °C			-2,0 °C	-3,2 °C
		1994	27	19,2 °C	28,0 °C			-2,8 °C
	28		19,2 °C	28,4 °C			-2,8 °C	-2,8 °C
	1996	30	16,8 °C	22,0 °C			-5,2 °C	-9,2 °C
	1998	28	19,8 °C	28,2 °C			-2,2 °C	-3,0 °C
	2001	20	18,0 °C	26,0 °C			-4,0 °C	-5,2 °C
		21	18,0 °C	25,6 °C			-4,0 °C	-5,6 °C
		22	17,8 °C	25,4 °C			-4,2 °C	-5,8 °C
		23	17,2 °C	28,0 °C			-4,8 °C	-3,2 °C
<b>Julho</b>	1980	5	20,0 °C	24,0 °C	21,8°C	31,1°C	-1,8°C	-7,1°C
		6	20,0 °C	24,2 °C			-1,8°C	-6,9°C
		7	20,2 °C	27,8 °C			-1,6 °C	-3,3 °C
	1981	20	19,8 °C	27,0 °C			-2,0 °C	-4,1 °C
		21	19,5 °C	27,2 °C			-2,3 °C	-3,9 °C
		22	18,5 °C	26,8 °C			-3,3 °C	-4,3 °C
		23	20,0 °C	28,0 °C			-1,8 °C	-3,1 °C
	1989	8	18,8 °C	23,8 °C			-3,0 °C	-7,3 °C
		9	18,7 °C	25,0 °C			-3,1 °C	-6,1 °C
		10	18,8 °C	26,4 °C			-3,0 °C	-4,7 °C
		11	18,4 °C	26,8 °C			-3,4 °C	-4,3 °C
	1993	15	18,4 °C	23,0 °C			-3,4 °C	-8,1 °C
		16	18,0 °C	29,2 °C			-3,8 °C	-1,9 °C
	1994	11	19,2 °C	28,0 °C			-2,6 °C	-3,1 °C
		12	19,0 °C	27,6 °C			-2,8 °C	-3,5 °C
	2000	14	18,0 °C	25,0 °C			-3,8 °C	-6,1 °C
15		17,8 °C	26,0 °C			-4,0 °C	-5,1 °C	
2010	18	18,1 °C	22,8 °C			-3,7 °C	-8,3 °C	
	19	16,8 °C	22,6 °C			-3,7 °C	-8,5 °C	
	20	17,3 °C	26,4 °C			-5,0 °C	-4,7 °C	
	2013	26	18,1 °C	23,5 °C			-3,7 °C	-7,6 °C
<b>Agosto</b>	1980	28	20,2 °C	28,0 °C	21,8°C	31,3°C	-1,6°C	-3,2°C
	1984	28	20,4 °C	27,0 °C			-1,4°C	-4,2°C
<b>Setembro</b>	1980	17	20,4 °C	26,0 °C	21,8°C	31,5°C	-1,4°C	-5,5°C
	1990	15	20,2 °C	28,0 °C			-1,6°C	-3,5°C
	2003	12	20,0 °C	26,2 °C			-1,8°C	-5,3°C

De acordo com a Tabela 4.4, os valores da T<sub>máx</sub> variam de 31,1 °C (julho) a 31,5 °C (setembro) e, T<sub>mín</sub> de 21,8 °C (julho, agosto, setembro) a 22,2 °C (Maio), ambas com pequena tendência de temperatura. A série temporal da T<sub>mín</sub> e T<sub>máx</sub> (Figura

4.8) mostraram que a maioria dos dados foram igualmente distribuído - devido a posição da mediana no diagrama de caixa, e que os valores extremos ocorreram em praticamente todo o período de inverno austral. Estes valores anômalos de  $T_{mín}$  e  $T_{máx}$  possivelmente foram ocasionados pelas intrusões de ar frio e seco nas baixas latitudes. O critério utilizado para encontrar os eventos de friagem foi a redução de 2 desvios-padrão da média mensal dos meses de inverno austral, mencionado no capítulo de Dados e Metodologia. Escolheu-se esse valor de desvio-padrão como forma de encontrar as variações extremas ocasionadas pela incursão de ar frio, uma vez que a tendência tanto da  $T_{máx}$  como da  $T_{mín}$  são pequenos na região tropical (Tabela 4.4).

Como se observa na Tabela acima, 23 (vinte e três) eventos foram considerados como friagem de intensidade extrema - pois ultrapassaram a linha do equador, os quais apresentam-se: 4 (quatro) em maio (1987, 1998, 2004, 2010), 6 (seis) em junho (1985, 1988, 1994, 1996, 1998, 2001), 8 (oito) em julho (1980, 1981, 1989, 1993, 1994, 2000, 2010, 2013), 2 (dois) em agosto (1980, 1984) e 3 (três) em setembro (1980, 1990, 2003). Segundo a Tabela 4.4, o mínimo valor que a  $T_{mín}$  alcançou foi de 16,8 °C em junho de 1996 e julho de 2010, a  $T_{máx}$  registrou 22,0 °C e 22,6 °C, ambas em junho de 1996 e julho de 2010. Como se observa, a anomalia da  $T_{mín}$  e  $T_{máx}$  foi de aproximadamente 5,2 °C e 9,2 °C, respectivamente, com reduções significativas na  $T_{máx}$ . Esse avanço do anticiclone de massa fria modifica claramente as condições do tempo na Bacia Amazônica Brasileira, reduzindo as temperaturas máxima e mínima da região. Ao analisar os anos dos eventos extremos com a variabilidade interanual, observou-se que os eventos em sua maioria ocorreram nos anos de El Niño (14 eventos), seguidos por anos de La Niña (8 eventos) e ano considerado Neutro (1 caso).

Entretanto, os eventos mencionados acima, os quais apresentaram diminuição expressiva para ambas temperaturas, ocorreram em ano de condições de La Niña considerada de intensidade fraca (1996), porém, em anos de El Niño, a frequência dos eventos registrados em Iauaretê foram maiores, concordando com os resultados observados para as cidades localizadas no sul, oeste e central da Bacia Amazônica. Por exemplo, no ano de 1994 dois eventos atingiram a cidade de interesse, um em junho e outro em julho, assim como em 1980, em que 3 eventos foram registrados. Torna-se evidente deste modo que, exista uma contribuição nas intensidades e ocorrências tanto da variabilidade interanual (El Niño-Oscilação Sul) como da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) - fase fria da oscilação que pode influenciar no aumento das quantidades de frentes frias e, conseqüentemente podem impulsionar as intru-

sões frias sobre a região equatorial e atingir cidades acima da linha do equador. Além disso, também acrescenta-se a existência de configuração de fatores sinóticos em médios e baixos níveis atmosféricos, citada por muitos trabalhos anteriores, o qual não foi o foco da presente pesquisa.

Os resultados - com relação a variabilidade interanual (ENOS) que influenciaram a friagem com grande anomalia negativa de temperatura (1996 e 2010), estão de acordo com o trabalho de Santos Neto e Nóbrega (2008). Os autores mostraram que em anos de La Niña existe uma alta possibilidade de ocorrer eventos de friagem com intensidade muito forte. Em relação aos numerosos eventos encontrados em anos de El Niño, estes resultados conferem com os trabalhos de Fedorova e Carvalho (2000) e Andrade (2005).

Dentre os eventos encontrados escolheu-se quatro para comprovar (Tabelas 4.5 a 4.8) as reduções das temperaturas verificadas durante os eventos frios acima da linha do equador, além do deslocamento desde Vilhena até Iauaretê e Manaus. No entanto, apenas no caso 1 incluiu-se outras variáveis meteorológicas. Este caso ocorreu entre 13 a 16 de julho de 2000 (La Niña de intensidade moderada) e as variáveis utilizadas foram temperatura média do ar, umidade específica e pressão atmosférica. Como verificado nas Figuras 4.9 e 4.10, a temperatura do ar (sombreado) e a umidade específica (contorno) apresentaram valores no dia 13 de julho de 24,0 °C e 12,0 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para o nível de 850 hPa. Nos dias seguintes, os valores começaram a reduzir e alcançaram, respectivamente, 15,0 °C e 10,0 g.kg<sup>-1</sup>, caracterizando o efeito da friagem até Iauaretê. Na Figura 4.11, encontra-se a variação da pressão atmosférica em relação ao nível do mar, como observa-se, no dia 13 de julho os valores eram de 1014 hPa sobre a cidade de Iauaretê, nos dias posteriores, esses valores variaram e elevaram, alcançando 1016 hPa nos dias 15 e 16 de julho. Pode-se perceber pelas imagens de satélites (Figuras 4.13 a 4.15) que essas modificações foram decorrentes da passagem de um sistema frontal no sudeste da América do Sul, influenciando a cidade de Vilhena no dia 12 de julho e, conseqüentemente Iauaretê nos dias posteriores.

Estas imagens mostram claramente a existência da banda de nebulosidade que acompanha o sistema frontal sobre o Brasil e a falta de nebulosidade associada ao anticiclone que está situado atrás da frente. As imagens são baseadas do GOES-8 da banda infravermelha às 12 Z. Para o dia 12 às 12Z (Figura 4.13) observa-se a banda de nebulosidade do sistema frontal com o ciclone sobre o oceano Atlântico. Essa banda de nebulosidade apresenta uma cobertura desde o estado de São Paulo ao

Acre.

No dia 13 (Figura 4.14) as temperaturas do ar foram reduzidas sobre a região sul e sudeste do país. O centro de baixa pressão do sistema frontal sobre a área oceânica está deslocado mais para o sudeste do continente, com nuvens rasas sobre o sul do Brasil. Para o dia seguinte (não mostrado), não há nebulosidade sobre grande parte do Brasil. Céu claro atrás da frente fria indica baixas temperaturas sobre as regiões de influência desse sistema frontal. Nebulosidades são vista sobre a parte litorânea dos estados da Bahia, Rio de Janeiro, Maranhão e Pará. O sistema frontal encontra-se bem estendido sobre o sudeste do oceano Atlântico. Para o dia 15 (Figura 4.15), desde o estado do Acre a Minas Gerais, estiveram com falta de nebulosidade e nuvens rasas sobre o noroeste do Amazonas. Neste dia, os valores das temperaturas máxima, média, mínima e umidade específica ficaram bem reduzidas e a pressão atmosférica elevada, denotando claramente a influência da incursão de ar frio e seco sobre a cidade de Iauaretê. Percebe-se ainda um centro de baixa pressão sobre o oceano Atlântico no dia seguinte, localizado próximo a região sul do Brasil (Figura 4.16).

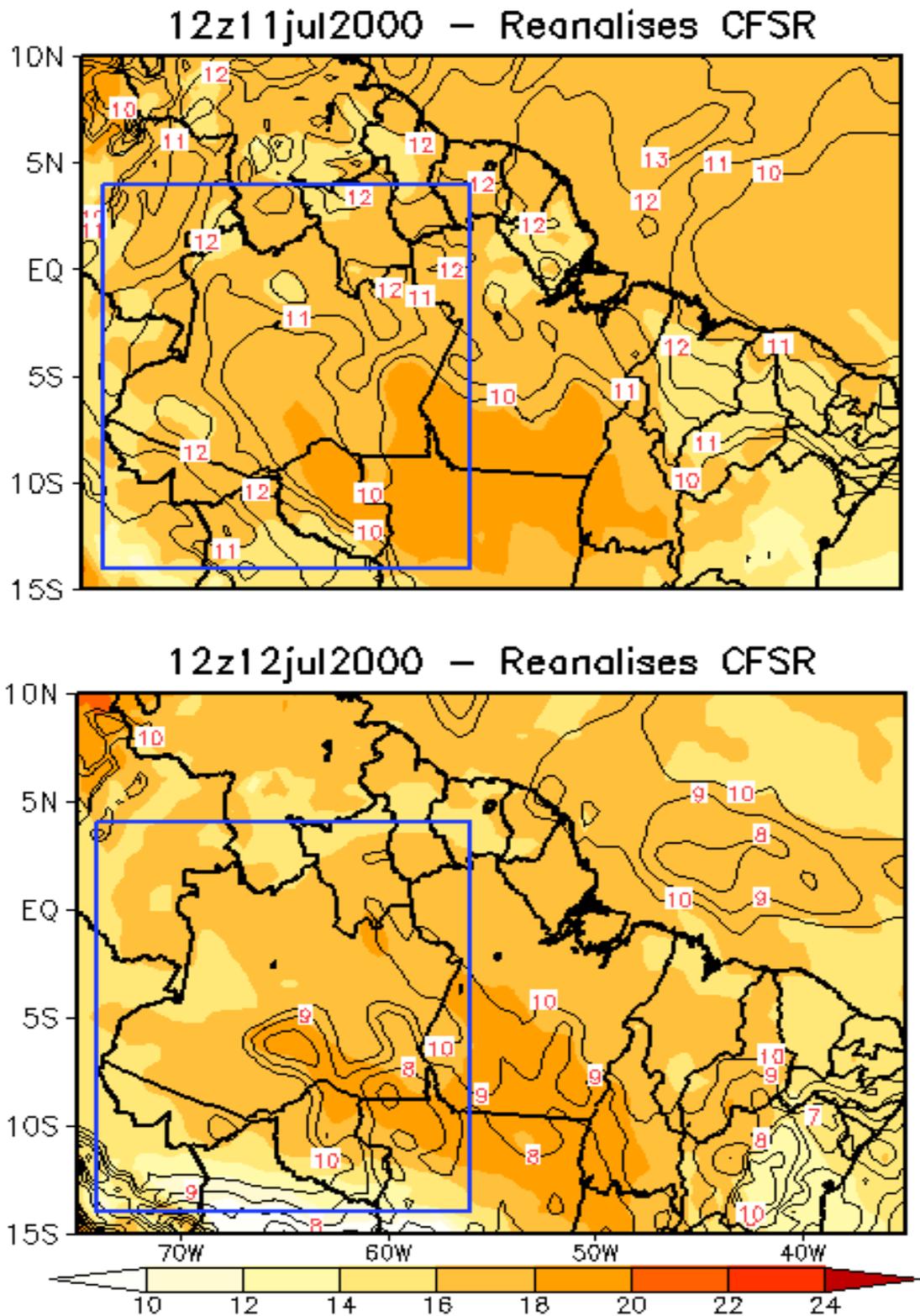


Figura 4.9 - Caso 1: variação espacial da temperatura do ar (sombreado) e umidade específica (contorno) para os dias 11 a 12 de julho de 2000 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).  
Fonte: Reanálises do CFSR(2014)

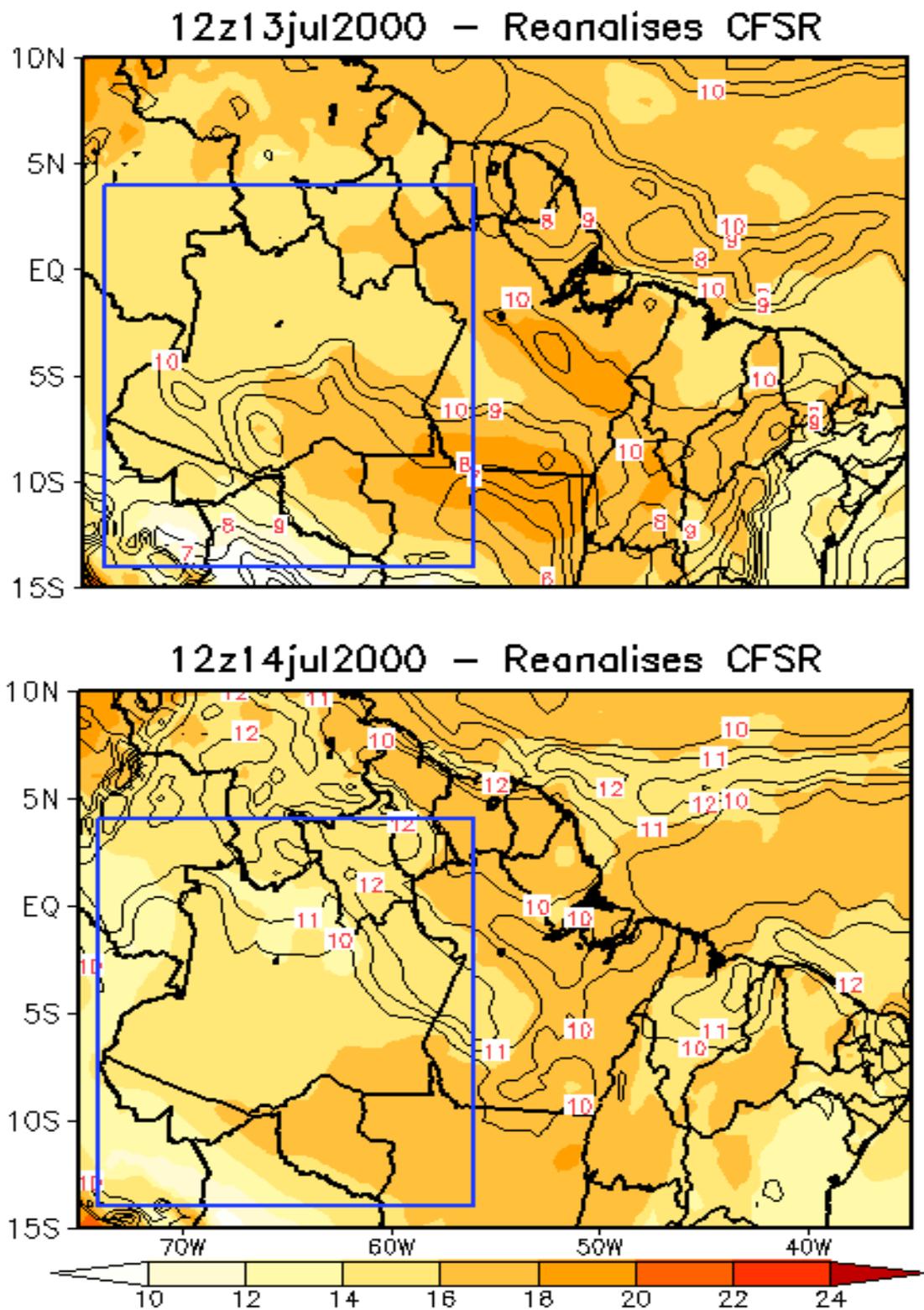
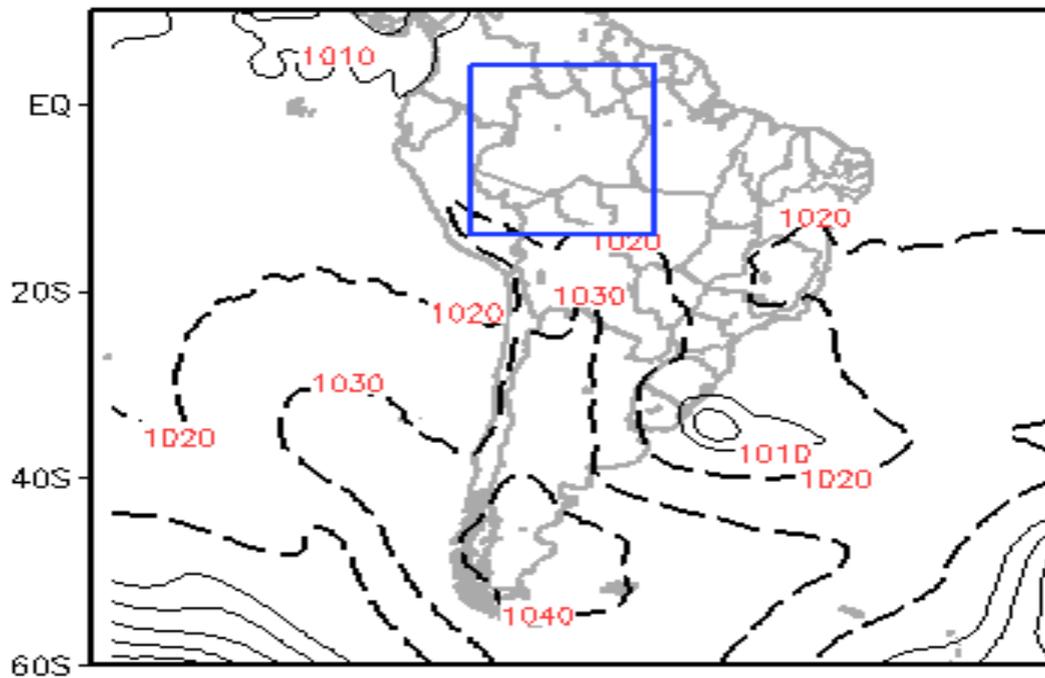


Figura 4.10 - Caso 1: variação espacial da temperatura do ar (sombreado) e umidade específica (contorno) para os dias 13 a 14 de julho de 2000 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).  
 Fonte: Reanálises do CFSR(2014)

### 12z11jul2000 – Reanalises CFSR



### 12z12jul2000 – Reanalises CFSR

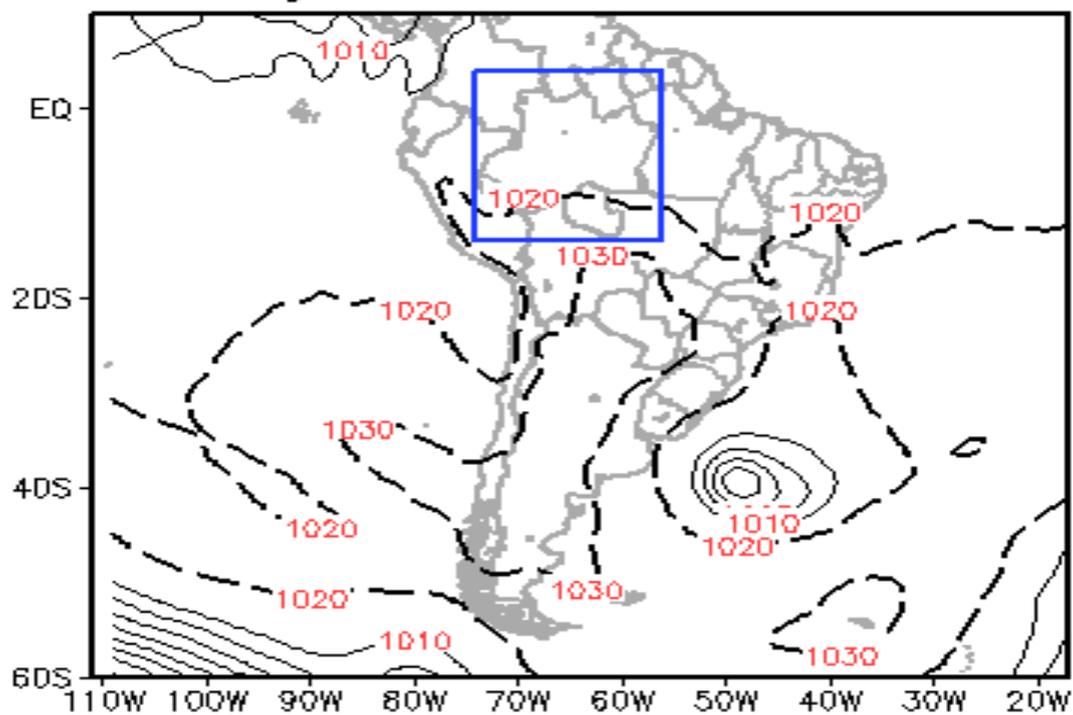
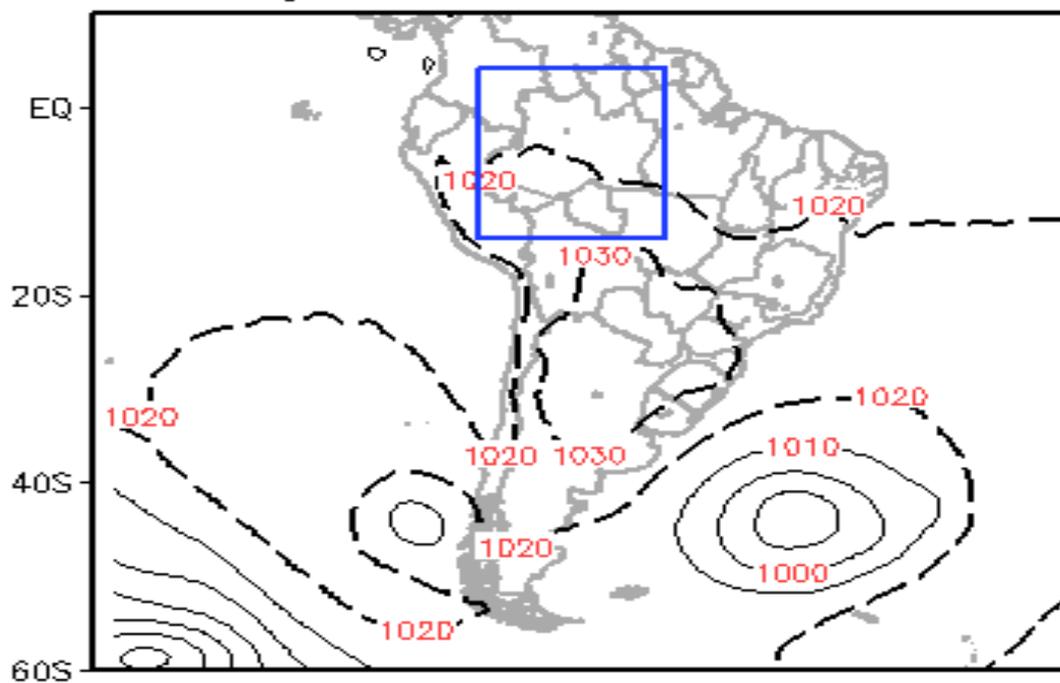


Figura 4.11 - Caso 1: variação espacial da pressão atmosférica (contorno) para os dias 11 a 12 de julho de 2000 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).  
Fonte: Reanálises do CFSR(2014)

### 12z13jul2000 – Reanalises CFSR



### 12z14jul2000 – Reanalises CFSR

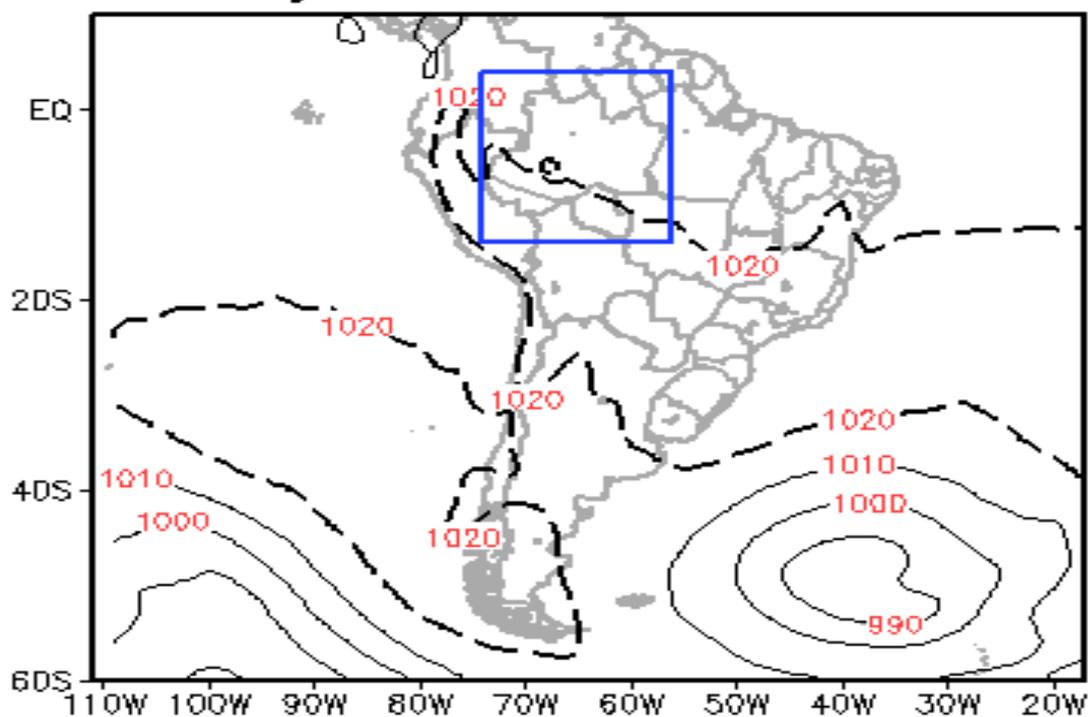


Figura 4.12 - Caso 1: variação espacial da pressão atmosférica (contorno) para os dias 13 a 14 de julho de 2000 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).  
Fonte: Reanálises do CFSR(2014)

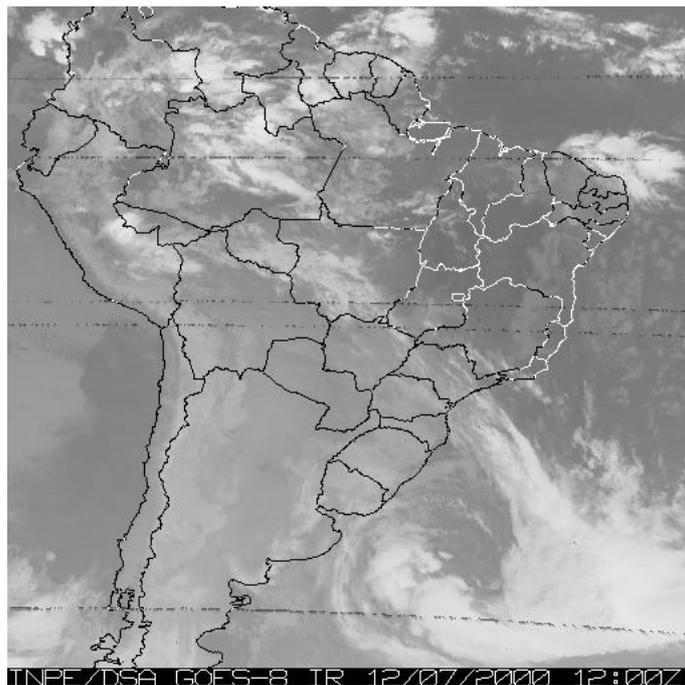


Figura 4.13 - Caso 1: série do GOES-8 imagem infravermelha para o dia 12 de julho de 2000 às 12Z.  
 Fonte:CPTEC/DSA(2014)

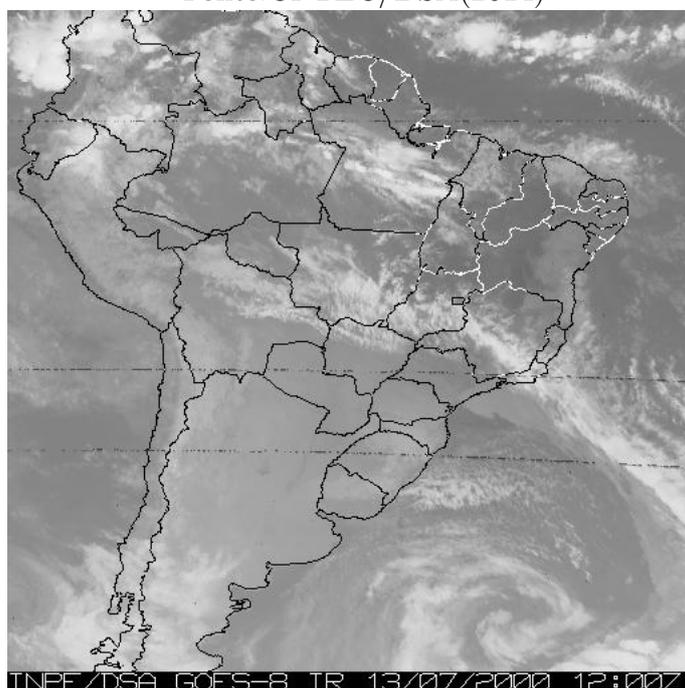


Figura 4.14 - Caso 1: série do GOES-8 imagem infravermelha para o dia 13 de julho de 2000 às 12Z.  
 Fonte:CPTEC/DSA(2014)

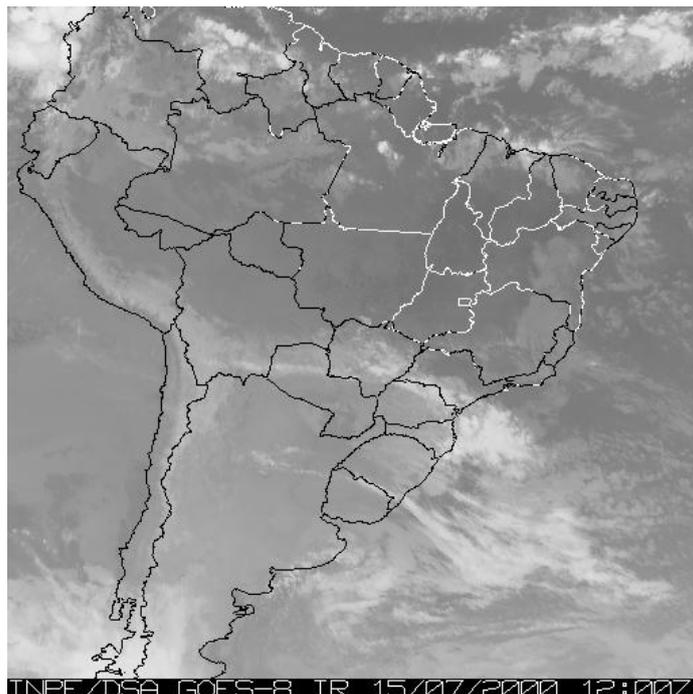


Figura 4.15 - caso 1: série do GOES-8 imagem infravermelha para o dia 15 de julho de 2000 às 12Z.  
 Fonte:CPTEC/DSA(2014)

Nas Tabelas 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8 são apresentados quatro eventos de friagens que mostram o deslocamento da massa seca e fria sobre as cidades em diferentes situações de variabilidade interanual, os quais ocasionaram o declínio nos valores dos extremos de temperatura. O caso 1 foi definido acima (visualizado por outras variáveis), o caso 2 para o mês de junho de 1996, caso 3 ocorreu em julho de 1993 e o caso 4 em julho de 2010. Dos 4 eventos, 2 ocorreram em anos com condições favoráveis de La Niña (2000 e 1996), um em ano considerado sob influências do El Niño (1993) e outro com transição rápida de El Niño para La Niña (2010).

Observa-se nas tabelas 4.5 a 4.8 que, em todos os eventos selecionados, o deslocamento em média desde Vilhena até Manaus ocorreu em 1 (um) dia, e até Iauaretê foram de 2 (dois) dias. Além disso, verifica-se que esse deslocamento independe da situação favorável de La Niña e El Niño.

Tabela 4.5 - Caso 1: Deslocamento em julho de 2000 da incursão de ar frio desde Vilhena a Iauaretê ocasionando reduções nos extremos da temperatura.

Cidades	Dia da friagem	Tmín da friagem	Tmáx da friagem	Anom. Tmín	Anom. Tmáx
Vilhena	12/07/2000	7,4 °C	15,0 °C	-9,3 °C	-14,3 °C
Rio Branco	12/07/2000	10,6 °C	13,6 °C	-9,4 °C	-17,1 °C
Porto Velho	13/07/2000	13,4 °C	22,8 °C	-8,0 °C	-8,9 °C
Tabatinga	13/07/2000	15,4 °C	20,0 °C	-7,0 °C	-10,1 °C
Manicoré	13/07/2000	17,6 °C	26,5 °C	-4,4 °C	-5,4 °C
Manaus	13/07/2000	21,5 °C	25,8 °C	-2,7 °C	-4,8 °C
Iauaretê	14/07/2000	18,0 °C	25,0 °C	-3,8 °C	-6,1 °C

Tabela 4.6 - Caso 2: Deslocamento em junho de 1996 da incursão de ar frio desde Vilhena a Iauaretê ocasionando reduções nos extremos da temperatura.

Cidades	Dia da friagem	Tmín da friagem	Tmáx da friagem	Anom. Tmín	Anom. Tmáx
Vilhena	28/06/1996	7,6 °C	13,5 °C	-10,0 °C	-15,0 °C
Rio Branco	29/06/1996	10,2 °C	16,6 °C	-10,5 °C	-13,8 °C
Porto Velho	29/06/1996	20,0 °C	24,0 °C	-2,3 °C	-7,4 °C
Tabatinga	29/06/1996	15,4 °C	17,0 °C	-7,5 °C	-12,7 °C
Manicoré	29/06/1996	15,5 °C	20,0 °C	-7,0 °C	-11,5 °C
Manaus	29/06/1996	19,0 °C	25,0 °C	-5,2 °C	-5,4 °C
Iauaretê	30/06/1996	16,8 °C	22,0 °C	-5,2 °C	-9,2 °C

Tabela 4.7 - Caso 3: Deslocamento em julho de 1993 da incursão de ar frio desde Vilhena a Iauaretê ocasionando reduções nos extremos da temperatura.

Cidades	Dia da friagem	Tmín da friagem	Tmáx da friagem	Anom. Tmín	Anom. Tmáx
Vilhena	13/07/1993	13,6 °C	21,0 °C	-3,1 °C	-8,3 °C
Rio Branco	14/07/1993	14,0 °C	23,0 °C	-6,0 °C	-7,1 °C
Porto Velho	14/07/1993	16,0 °C	25,0 °C	-5,4 °C	-6,7 °C
Tabatinga	14/07/1993	18,0 °C	22,0 °C	-4,4 °C	-8,1 °C
Manicoré	14/07/1993	19,6 °C	21,2 °C	-2,4 °C	-10,7 °C
Manaus	15/07/1993	22,0 °C	27,0 °C	-2,2 °C	-3,6 °C
Iauaretê	15/07/1993	18,4 °C	23,0 °C	-3,4 °C	-8,1 °C

Tabela 4.8 - Caso 4: Deslocamento em julho de 2010 da incursão de ar frio desde Vilhena a Iauaretê ocasionando reduções nos extremos da temperatura.

Cidades	Dia da friagem	Tmín da friagem	Tmáx da friagem	Anom. Tmín	Anom. Tmáx
<b>Vilhena</b>	17/07/2010	8,2 °C	17,6 °C	-8,5 °C	-11,7 °C
<b>Rio Branco</b>	17/07/2010	13,2 °C	15,3 °C	-6,8 °C	-15,4 °C
<b>Porto Velho</b>	17/07/2010	15,0 °C	21,0 °C	-6,4 °C	-10,7 °C
<b>Tabatinga</b>	18/07/2010	14,8 °C	16,6 °C	-7,6 °C	-13,5 °C
<b>Manicoré</b>	18/07/2010	16,8 °C	21,5 °C	-5,2 °C	-10,4 °C
<b>Manaus</b>	18/07/2010	20,7 °C	23,5 °C	-3,5 °C	-7,1 °C
<b>Iauaretê</b>	19/07/2010	16,8 °C	22,6 °C	-5,0 °C	-8,5 °C

Ao verificar o comportamento padrão de pressão ao nível do mar (caso 3) que auxiliou nas anomalias negativas e assim, no eventos frios acima da linha do equador, denota-se que, no dia anterior a chegada na cidade de Vilhena (Figura 4.16), existiu um centro alongado de alta pressão com magnitude de 1030 hPa, o qual adquiriu um formato bifurcado ao se aproximar dos Andes e adentrar o continente sulamericano. Nos dias seguintes, o centro de alta pressão de 1030 hPa permanece ao lado leste dos Andes com uma direção meridional norte-sul, praticamente acima da Argentina e sul do Brasil, em que posteriormente desloca-se para leste do continente. A magnitude da alta pressão que atingiu Iauaretê foi em torno de 1020 hPa. Essas características foram equivalentes a Componente Principal 1 (CP1) do trabalho de Ricarte et al. (2014). Esse padrão, de acordo com os autores, caracterizam-se, entre outras, por atuação de um centro de alta pressão (no presente de 1030 hPa) desde os dias D-1 (dia anterior a chegada em Vilhena) ao dia D+1 (dia posterior a chegada em Vilhena), posicionada entre o continente e o oceano Atlântico sul, cuja trajetória extremamente meridional e continental permite inferir que a massa de ar seja muito fria e seca. Essa CP1 correspondeu a variância explicada de 42% dos eventos encontrados por Ricarte et al. (2014), ou seja, a maioria dos eventos de incursões que adentram a região tropical caracterizam-se por esse padrão de pressão ao nível médio do mar.

Nos eventos 1 e 2 (Figuras 4.11;4.12 e 4.18;4.19), o comportamento do campo de pressão ao nível médio do mar foi um pouco diferenciado, com dois centros de pressões, tanto de alta como de baixa, bem configurados. O centro de alta pressão adentrando o continente pelo lado oeste e o centro de baixa pressão sobre o oceano Atlântico. Essa configuração auxiliou nas fortes anomalias negativas de temperatura observadas nas Tabelas 4.5 e 4.6, bem como a condição de La Niña observada nesses anos. Além disso, esse padrão foi semelhante ao identificado como CP2 em Ricarte et al. (2014) e CP3 em Müller et al. (2003), responsáveis por ocasionar forte friagens

sobre a parte sul da Amazônia e geadas sobre a Pampa Úmida na Argentina. No caso 4, facilmente se observa um centro intenso, com magnitude de 1035 hPa sobre o continente (Figuras 4.20 e 4.21), valor elevado quando comparado com os três eventos. Também é possível observar uma permanência alongada do centro de alta pressão de 1030 hPa desde o Paraguai ao sul da Argentina, conduzindo a declínio da temperatura do ar sobre essas localidades. Esse evento foi equivalente ao padrão CP3 estabelecido por Ricarte et al. (2014), com atuação de um anticiclone pós-frontal sobre grande parte do continente e oceano Atlântico Sul, favorecendo a incursão de massa fria e seca que ultrapassa a latitude de 10 °S.

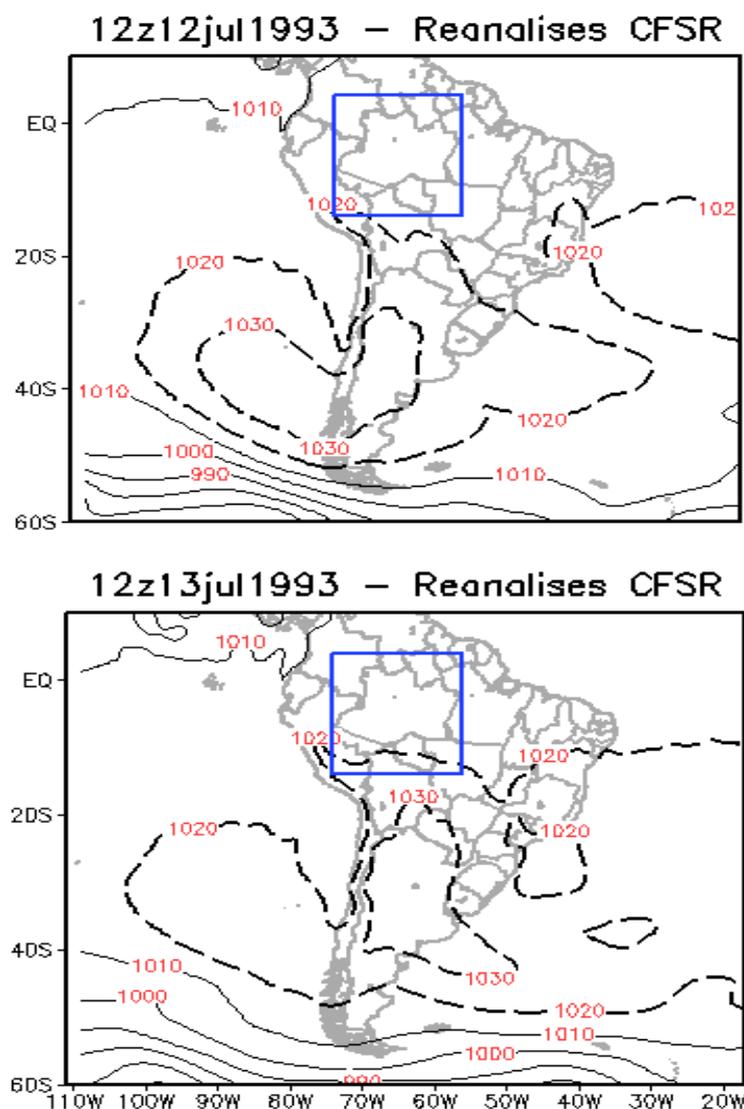
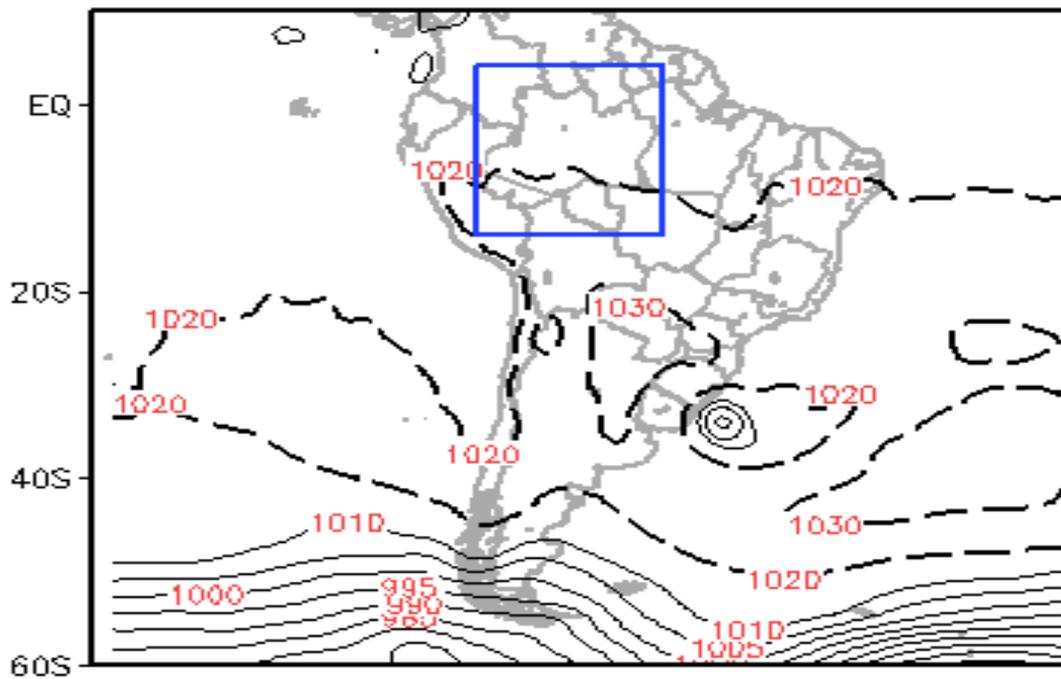


Figura 4.16 - Caso 3: variação espacial da pressão ao nível médio do mar (contorno) para os dias 12 a 13 de julho de 1993 sobre o continente sulamericano. Fonte:Reanálises do CFSR(2014)

### 12z14jul1993 – Reanalises CFSR



### 12z15jul1993 – Reanalises CFSR

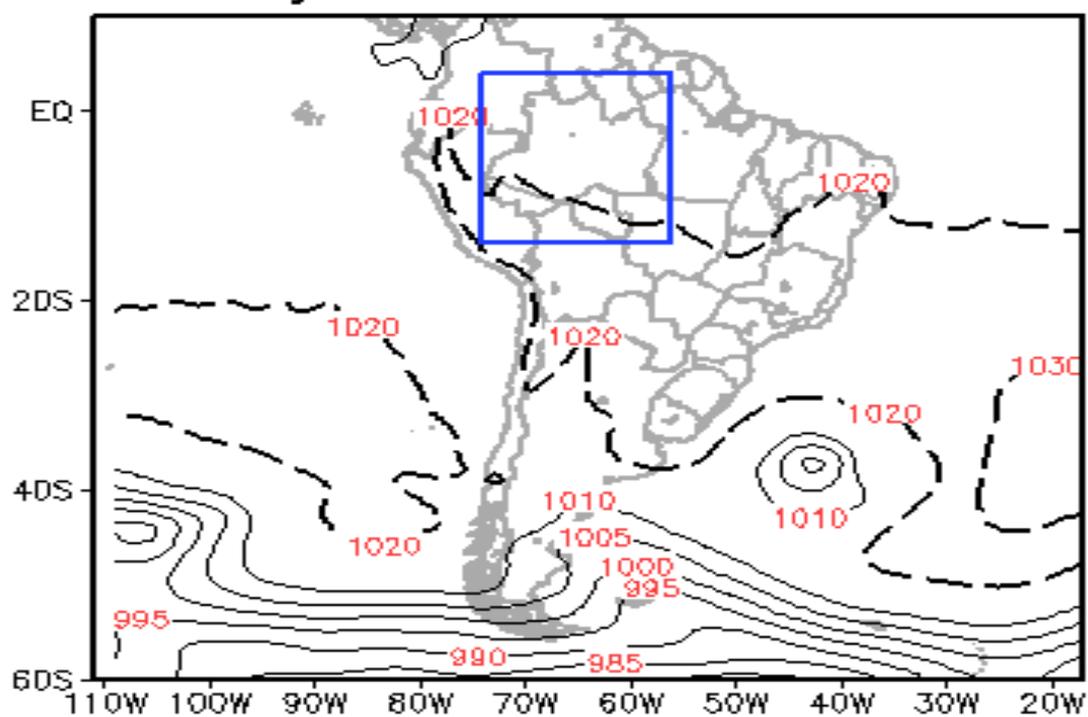
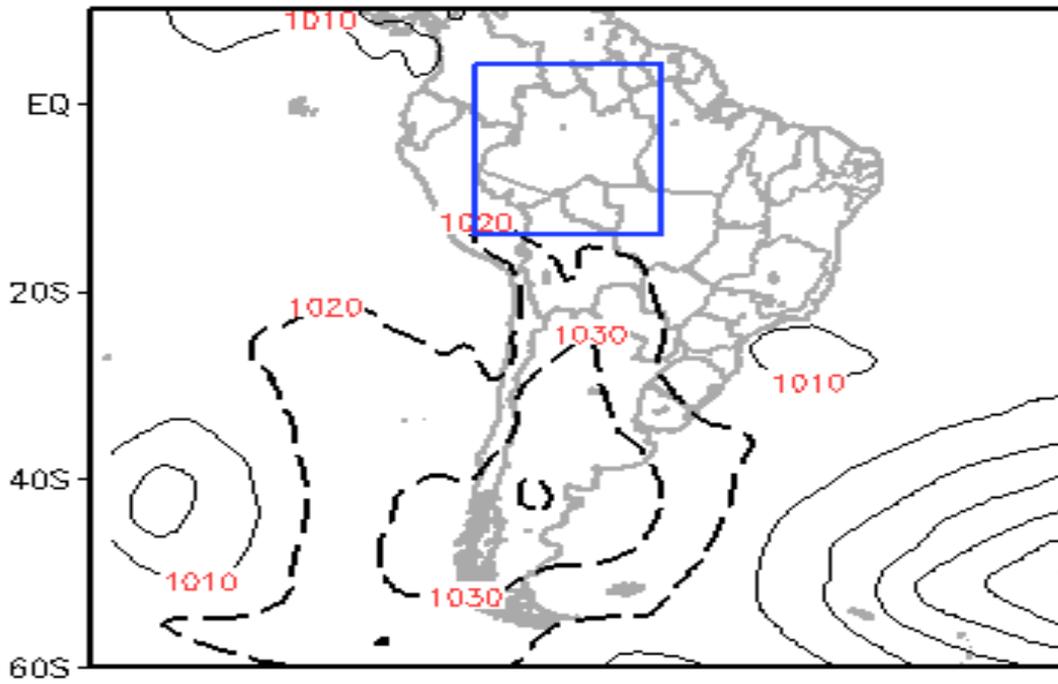


Figura 4.17 - Caso 3: variação espacial da pressão ao nível médio do mar (contorno) para os dias 14 a 15 de julho de 1993 sobre o continente sulamericano.

Fonte: Reanálises do CFSR(2014)

### 12z27jun1996 - Reanalises CFSR



### 12z28jun1996 - Reanalises CFSR

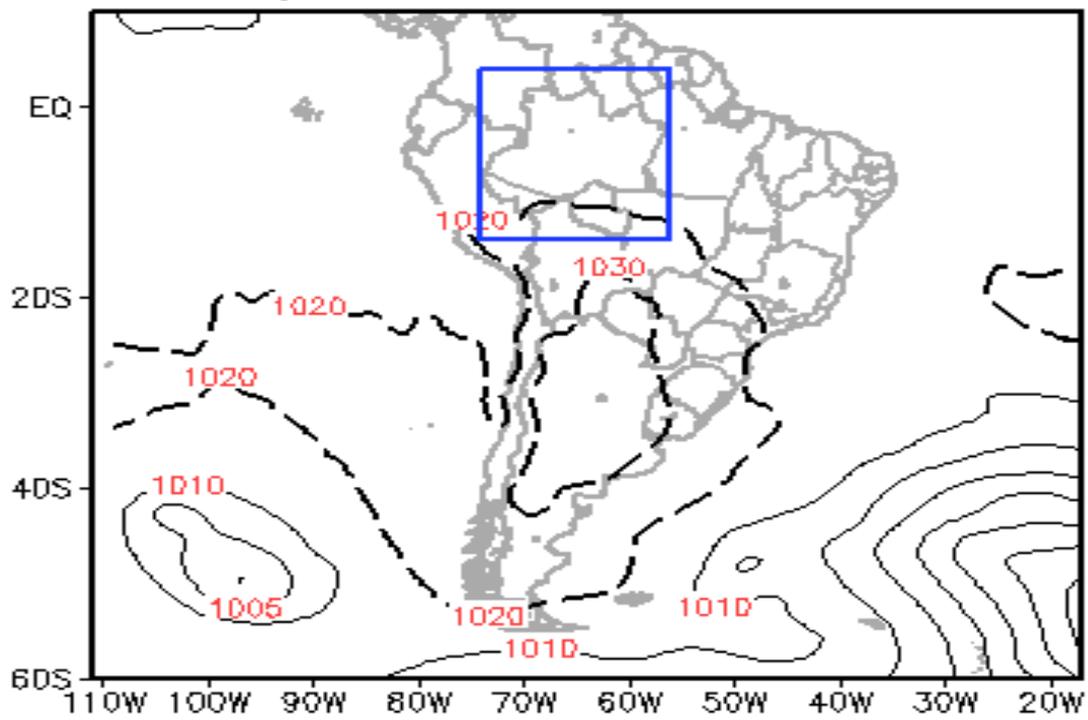
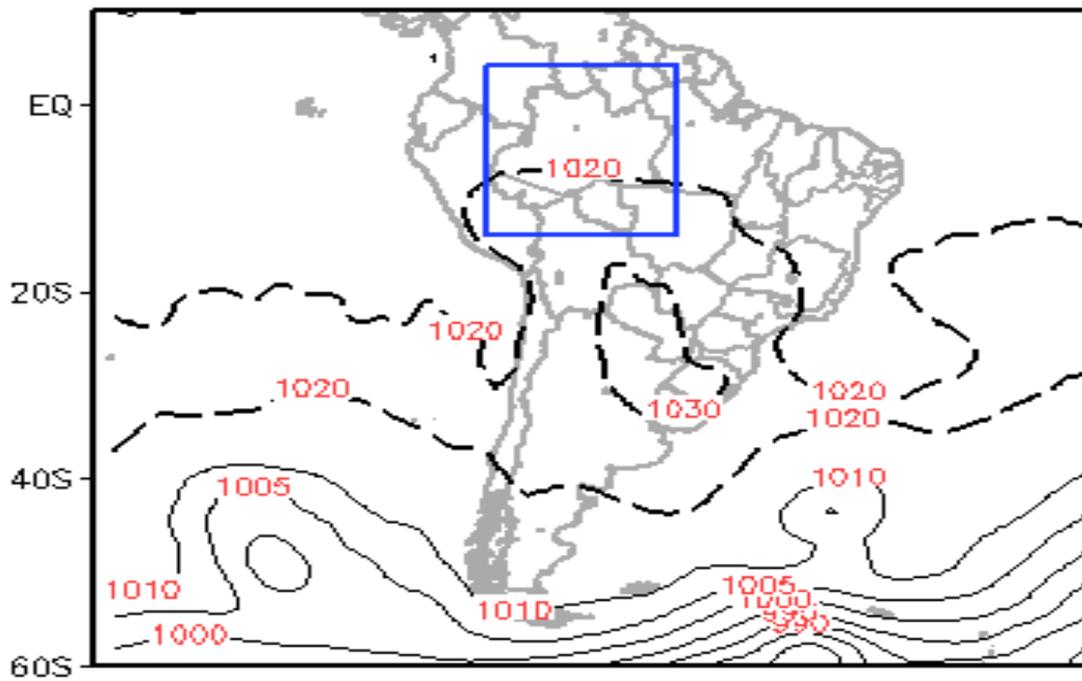


Figura 4.18 - Caso 2: variação espacial da pressão atmosférica (contorno) para os dias 27 a 28 de junho de 1996 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).  
Fonte: Reanálises do CFSR(2014)

### 12z29jun1996 - Reanalises CFSR



### 12z30jun1996 - Reanalises CFSR

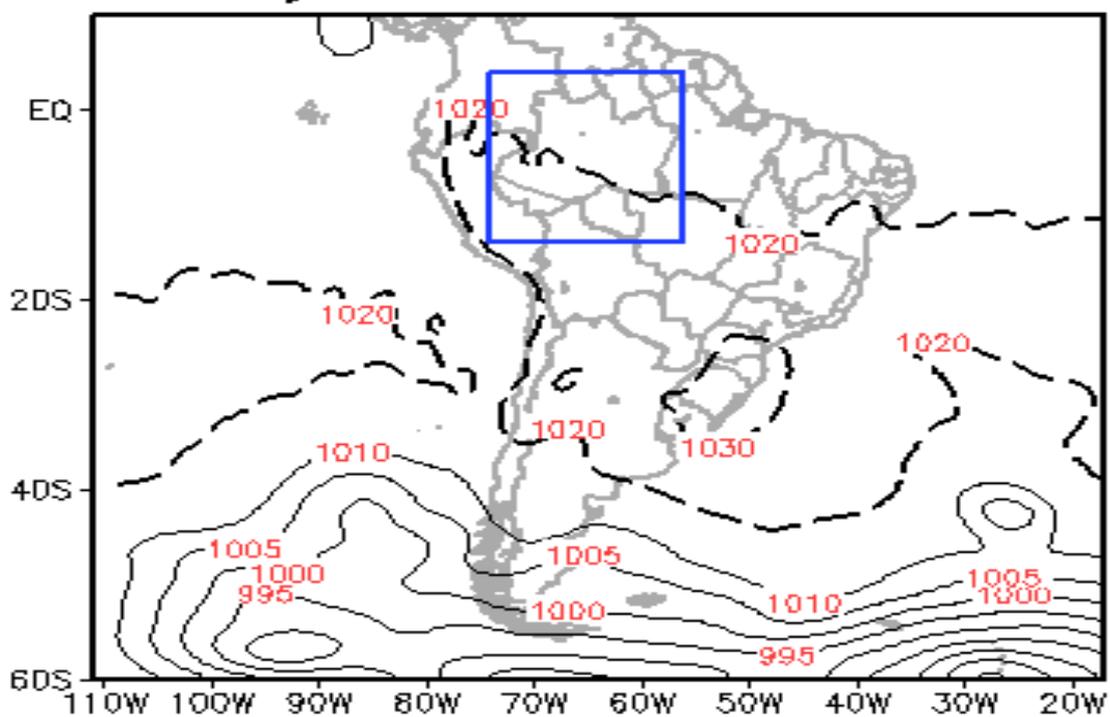
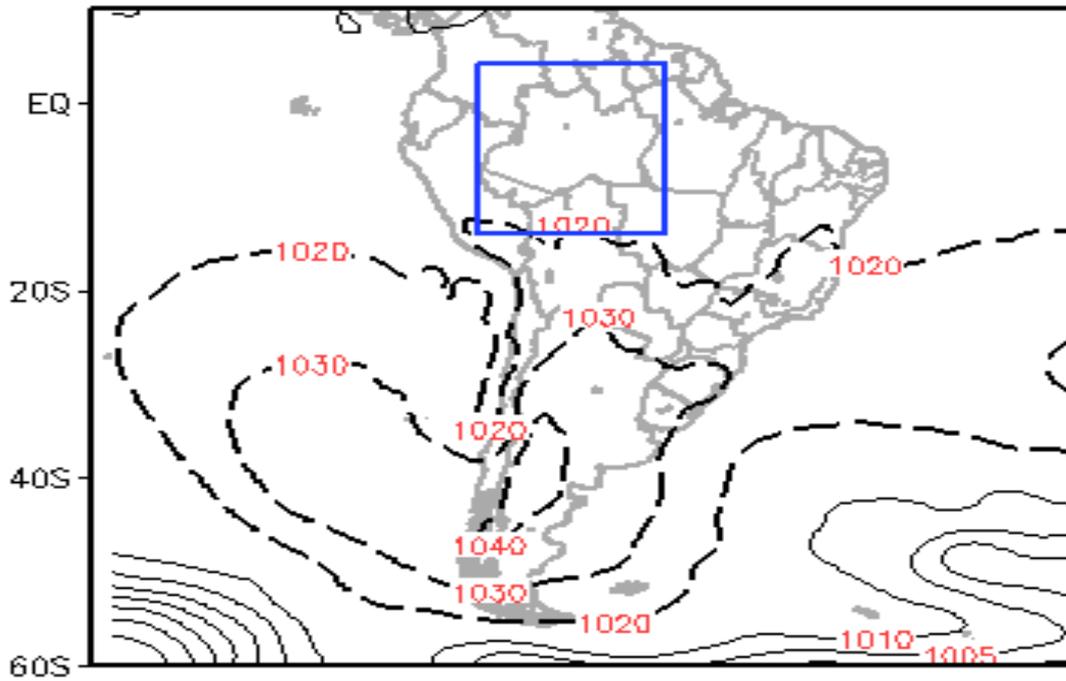


Figura 4.19 - Caso 2: variação espacial da pressão atmosférica (contorno) para os dias 29 a 30 de junho de 1996 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).  
Fonte: Reanálises do CFSR(2014)

### 12z15jul2010 – Reanalises CFSR



### 12z16jul2010 – Reanalises CFSR

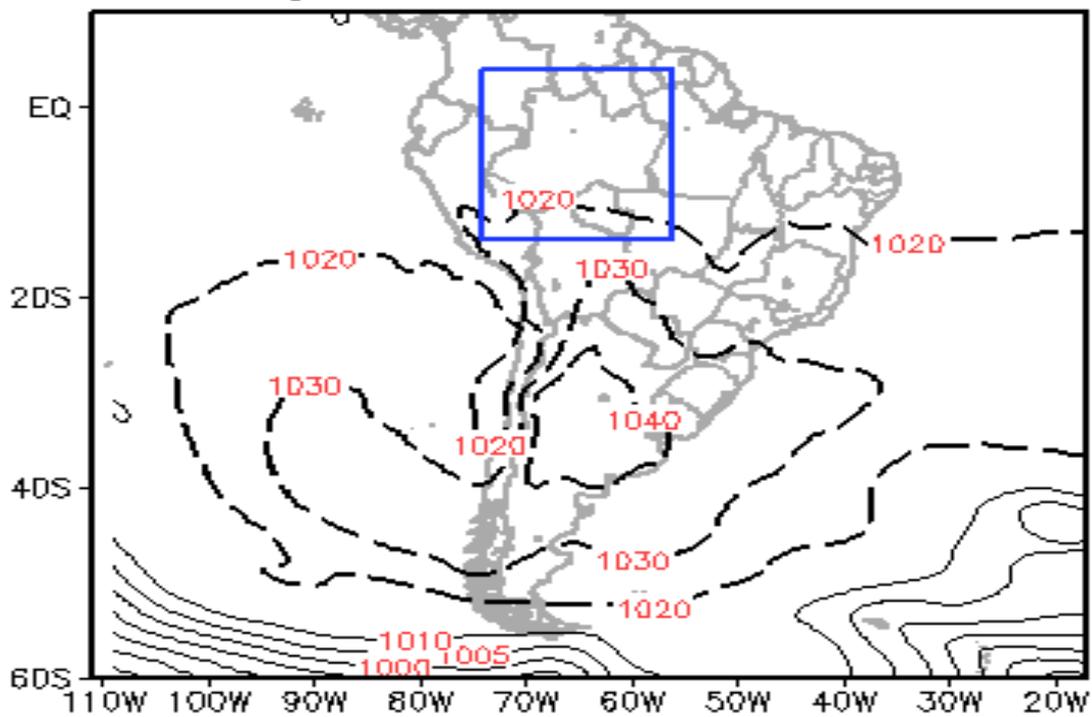
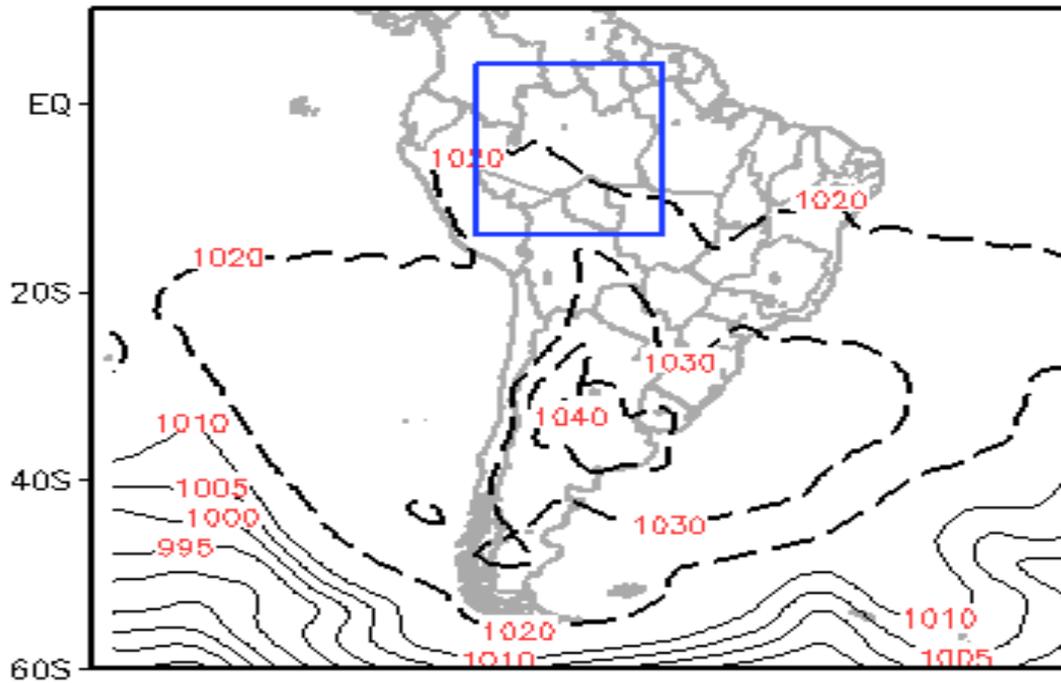


Figura 4.20 - Caso 4: variação espacial da pressão atmosférica (contorno) para os dias 16 a 17 de julho de 2010 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).  
Fonte: Reanálises do CFSR(2014)

### 12z17jul2010 – Reanalises CFSR



### 12z18jul2010 – Reanalises CFSR

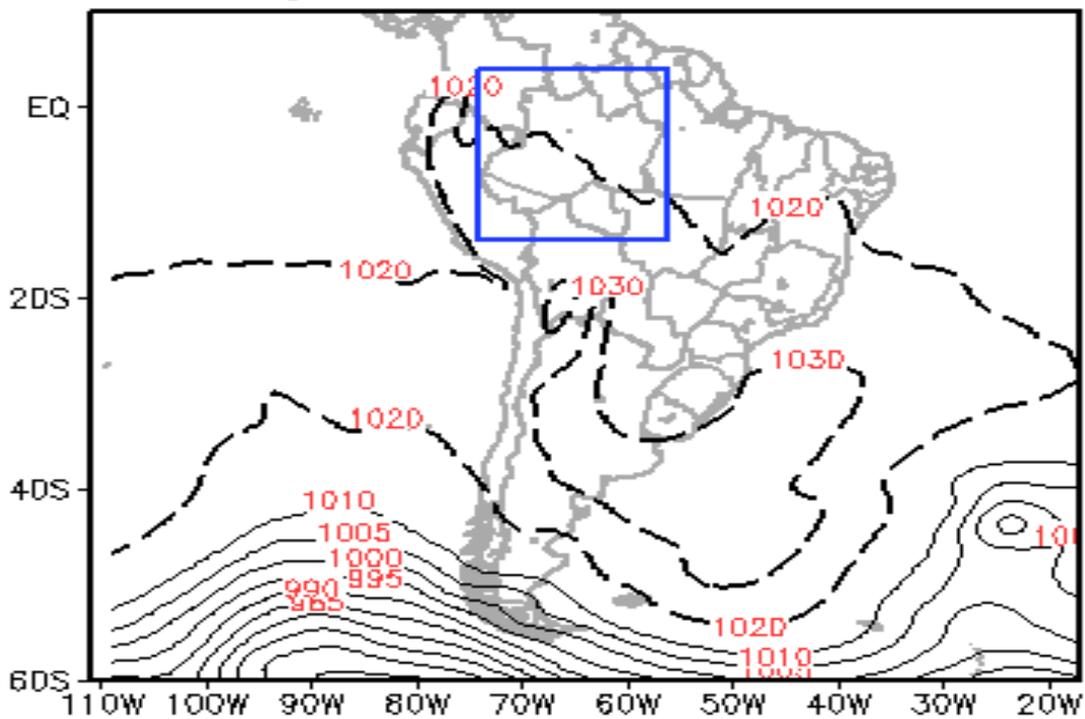


Figura 4.21 - Caso 4: variação espacial da pressão atmosférica (contorno) para os dias 17 a 18 de julho de 2010 sobre a Bacia Amazônica Brasileira (área destacada).  
Fonte: Reanálises do CFSR(2014)

Em resumo, diante das análises descritas acima, comprovou-se que o caso estudado por Myers (1964) não foi um caso raro, e que as massas de ar frio e seco avançam na direção norte, influenciando a vida da população local, as quais estão acostumada com o tempo quente e úmido da região (MARENGO et al., 1997a). Em relação ao padrão observado da pressão atmosférica ao nível do mar, os quatro eventos verificados apresentaram padrões com formato semelhantes aos padrões indenticado por Ricarte et al. (2014), tais como, CP1 (caso 1), CP2 (caso 2 e 3) e CP3 (caso 4). Além disso, observou-se que em média, as trajetória até a região central da Amazônia se deu 1 após Vilhena, enquanto o tempo de deslocamento até Iauaretê foi em torno de 2 dias, ambas contribuindo com anomalias negativas das temperaturas na Bacia Amazônica Brasileira. Outrossim, as configurações sinóticas combinadas de baixos e médios níveis atmosférico são necessárias para a existência de advecção do ar frio na região equatorial.

#### 4.5 Campo de vento dos eventos intensos

Um das principais características identificadas do efeito da massa de ar frio e seca nas regiões tropicais, além da temperatura do ar e umidade específica, são as modificações na direção e velocidade dos ventos. Deste modo, a Figura 4.22 mostra o comportamento climatológico dos meses que equivalem ao período de inverno austral e assim, constatar as mudanças decorrentes do deslocamento do anticiclone extratropical. Verifica-se que o comportamento dominante dos ventos são precedentes do quadrante leste sobre todo o estado do Acre, Amazonas e Rondônia, cujas magnitudes variam de 2,0 a 7,0 m/s. Estes resultados concordam com o trabalho de Bastable et al. (1993), quando verificaram com dados observados que o comportamento do vento para o Amazonas são provenientes deste mesmo quadrante.

Fazendo-se uma análise geral do vento sobre a América do Sul, claramente se observa magnitudes elevadas sobre a região Nordeste com valores variando de 3,0 a 7,0 m/s, enquanto sobre o litoral da mesma região a magnitude é superior, entre 9,0 a 10,0 m/s. Outras características individuais (não mostradas) também foram facilmente detectáveis sobre o oceano Atlântico sul, a partir do mês de junho a agosto. Há a permanência predominante de uma circulação anticiclônica entre as latitudes 33°S a 23°S e longitudes 45°W a 35°W. Essa circulação anticiclônica permanece na média do inverno austral, apresentando magnitudes variando de 1,0 a 4,0 m/s. Sobre o oceano Pacífico também foi observado uma circulação anticiclônica, porém as magnitudes variam de 3,0 a 5,0 m/s.

A partir das características climatológicas apresentadas acima, destaca-se-á as mu-

danças no comportamento do campo do vento ocasionada pela incursão da massa de ar frio e seco sobre a Bacia Amazônica Brasileira, com base nos eventos intensos. Na Figura 4.23 observa-se a alteração do campo de vento no caso que ocorreu em julho de 1993, confirmado pelas imagens do infravermelho do satélites METEOSAT-3 (Figuras 4.24 e 4.25). De acordo com o boletim da Climanálise (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), 1998), entre os dias 14 e 16 foi observada a formação de um sistema de baixa pressão, e a entrada de mais uma massa de ar frio, a qual foi responsável pelo declínio de temperatura no Sul, parte do Sudeste e Centro-Oeste do país. Essa massa de ar foi responsável pela entrada de ar frio até o sudoeste da Região Norte, caracterizando o fenômeno friagem.

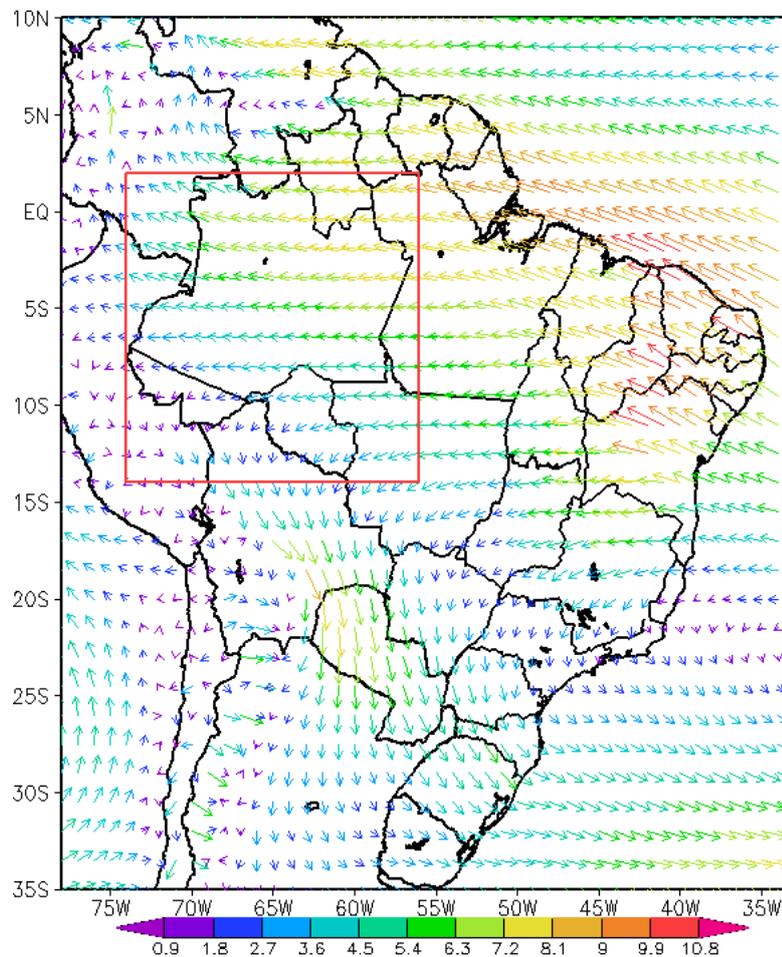


Figura 4.22 - Climatologia do campo de vento em 850 hPa para os meses que correspondem ao inverno austral.

Fonte: Reanálises do CFSR(2014)

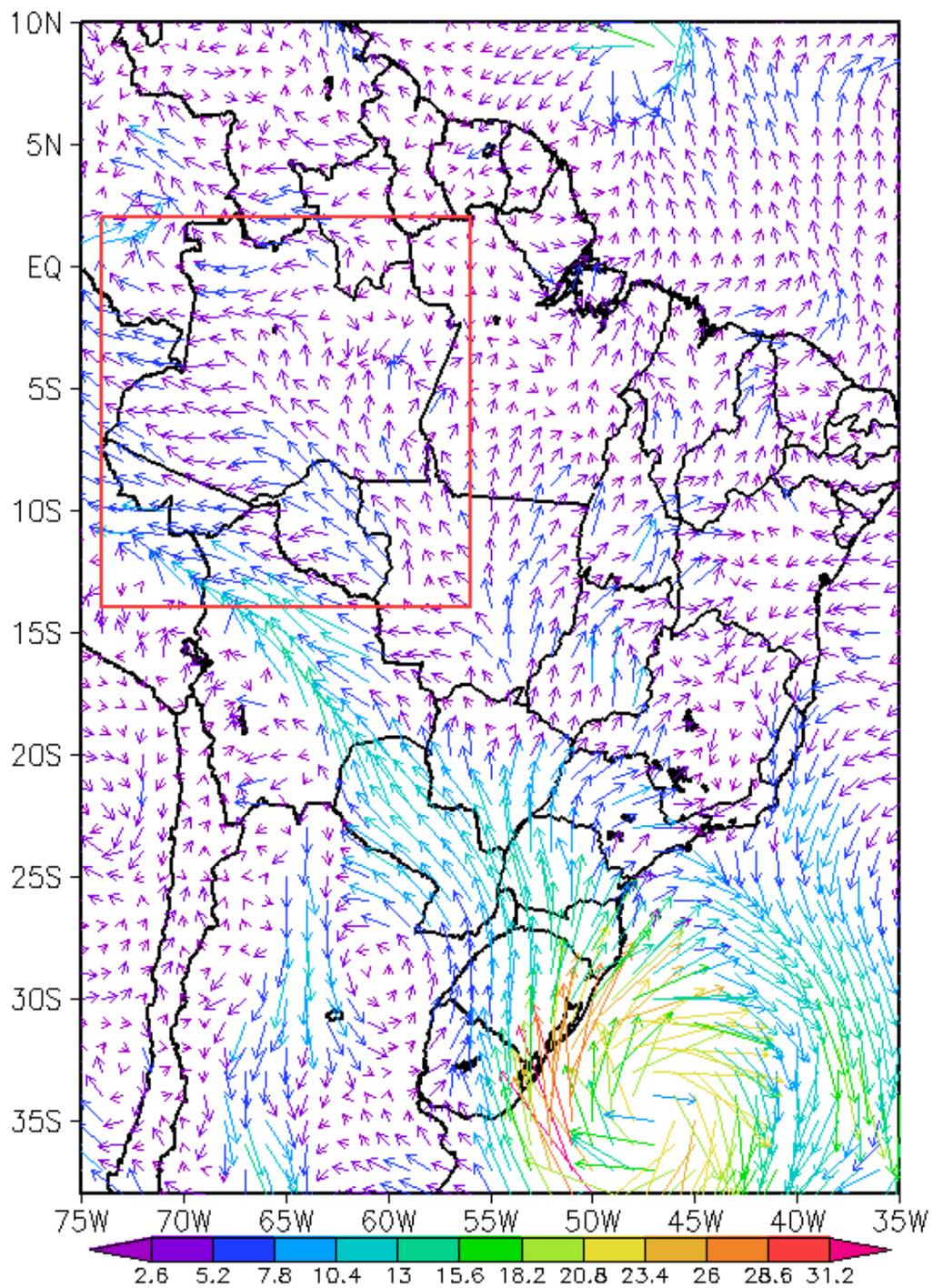
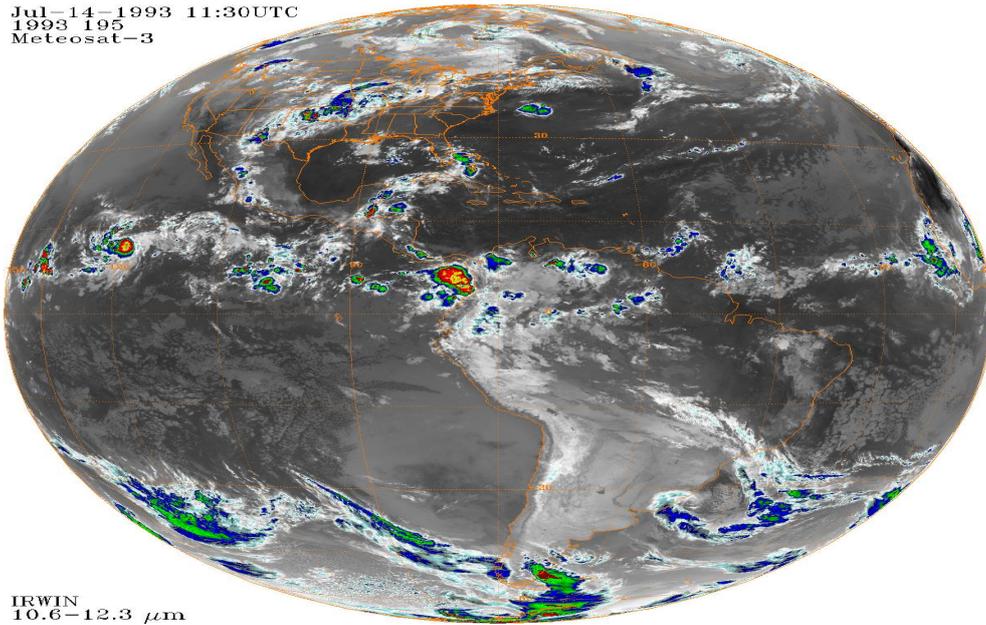


Figura 4.23 - Anomalia do campo do vento em 850 hPa para o dia 15 de julho de 1993.  
 Fonte: Reanálises do CFSR (2014)

Jul-14-1993 11:30UTC  
1993 195  
Meteosat-3

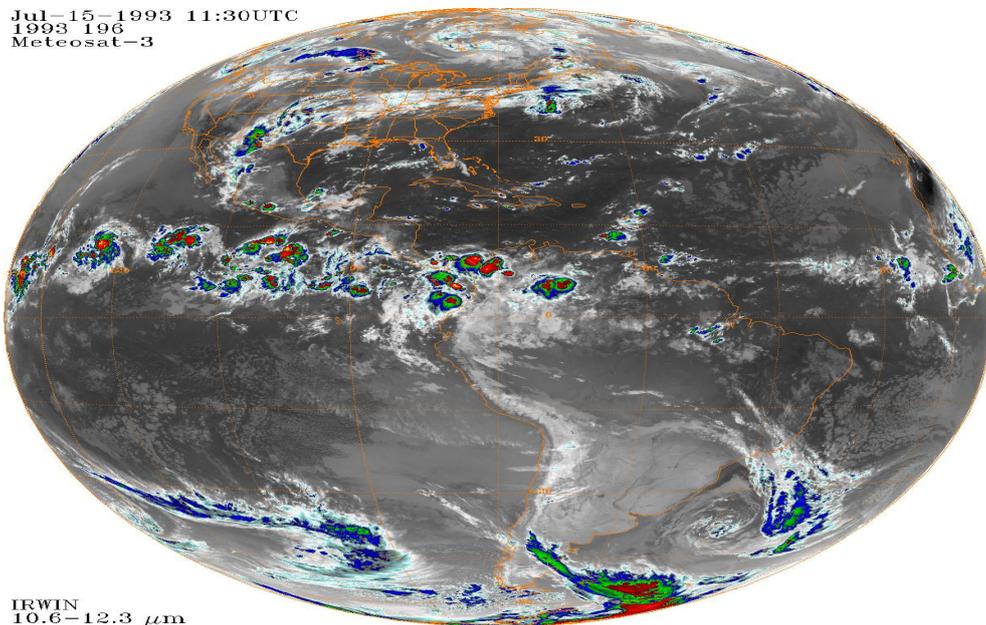


IRWIN  
10.6-12.3  $\mu\text{m}$

Figura 4.24 - Série do METEOSAT-3 imagem infravermelha para o dia 14 de julho de 1993 às 12Z.

Fonte:NOAA/NESDIS/NCDC(2014)

Jul-15-1993 11:30UTC  
1993 196  
Meteosat-3



IRWIN  
10.6-12.3  $\mu\text{m}$

Figura 4.25 - Série do METEOSAT-3 imagem infravermelha para o dia 15 de julho de 1993 às 12Z.

Fonte:Fonte:NOAA/NESDIS/NCDC(2014)

Como verificado por outros autores ( (FISCH, 1995), (MARENGO et al., 1997a), (LONGO et al., 2004), (OLIVEIRA et al., 2004), (VIANA; SILVA, 2012)), o campo de vento apresenta uma modificação em sua direção: inicialmente era de leste sobre a região de interesse, e com a influência da massa de ar frio e seca tornou-se de sul. Notadamente, esse aspecto é atribuído para todos os meses do inverno austral, com mudanças na direção e velocidades do vento, pois são estes os causadores da advecção do ar frio para a região da Amazônia, responsáveis principalmente pela redução abrupta das temperaturas.

Nas Figuras 4.26 e 4.27 observam-se o comportamento diário do vento meridional sobre as cidades de estudo para julho de 1993, lembrando que, quando este for positivo a predominância do vento será de sul, caso contrário (negativo), será oriundo de norte. Nas cidades de Vilhena, Rio Branco e Porto Velho (Figura 4.26) é claramente verificado a inversão do vento meridional, tornando-se de sul desde os dias 13 a 16 de julho com velocidades variando entre 6 m/s (Rio Branco) a 8,0 m/s (Vilhena). Manicoré e Tabatinga (Figura 4.27) apresentaram o efeito até o dia 17 de julho da inversão do vento meridional, porém com velocidades diferentes. A primeira cidade permanece em 6,0 m/s, enquanto a segunda alcança 8 m/s. Em Manaus (Figura 4.27), esse mesmo comportamento é caracterizado, porém, a velocidade do vento atingiu apenas 4,0 m/s. No dia anterior a velocidade era de 3 m/s e proveniente do quadrante norte.

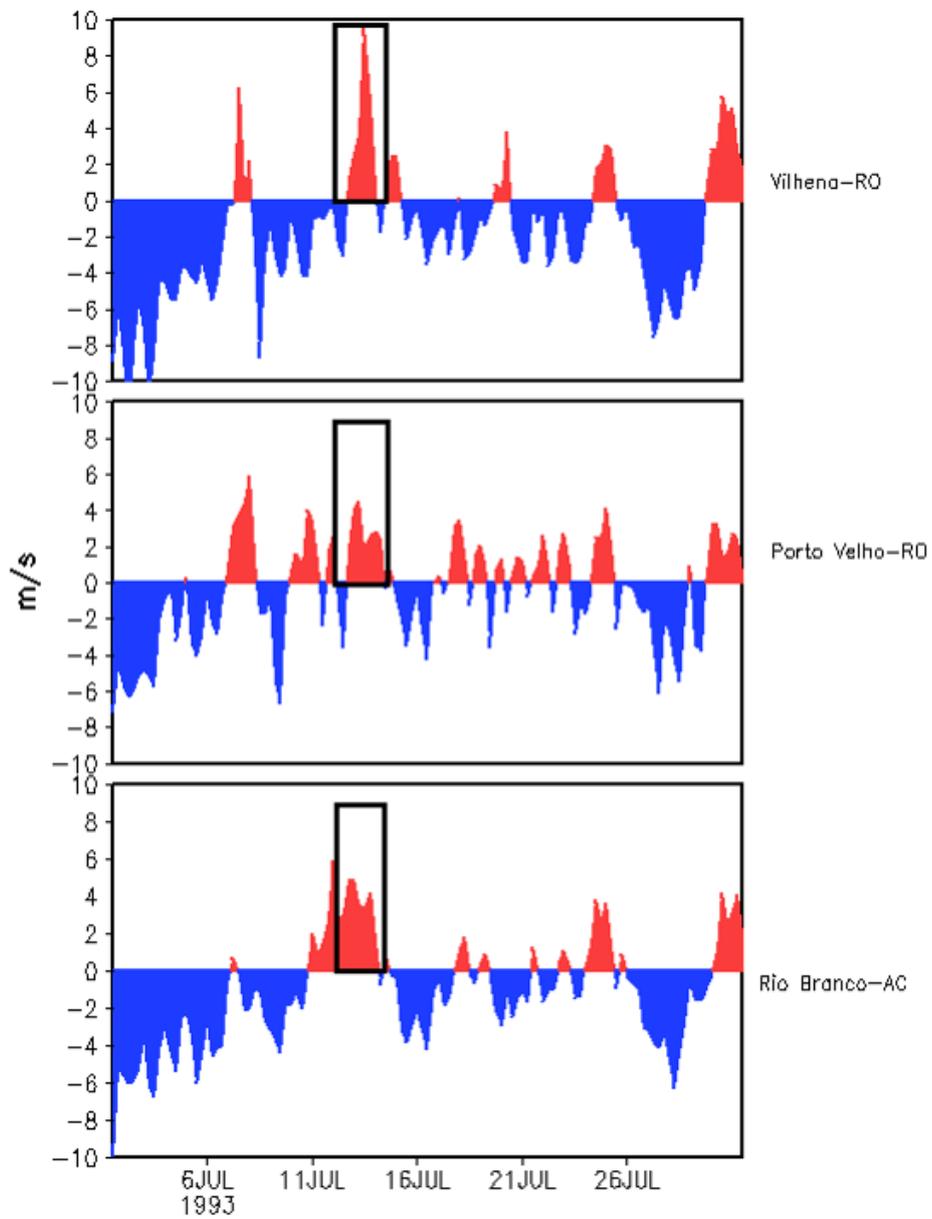


Figura 4.26 - Componente meridional do vento em 850 hPa para o mês de julho de 1993 nas cidade de Vilhena (superior), Porto Velho (meio) e Rio Branco (inferior).  
 Fonte: Reanálises do CFSR(2014)

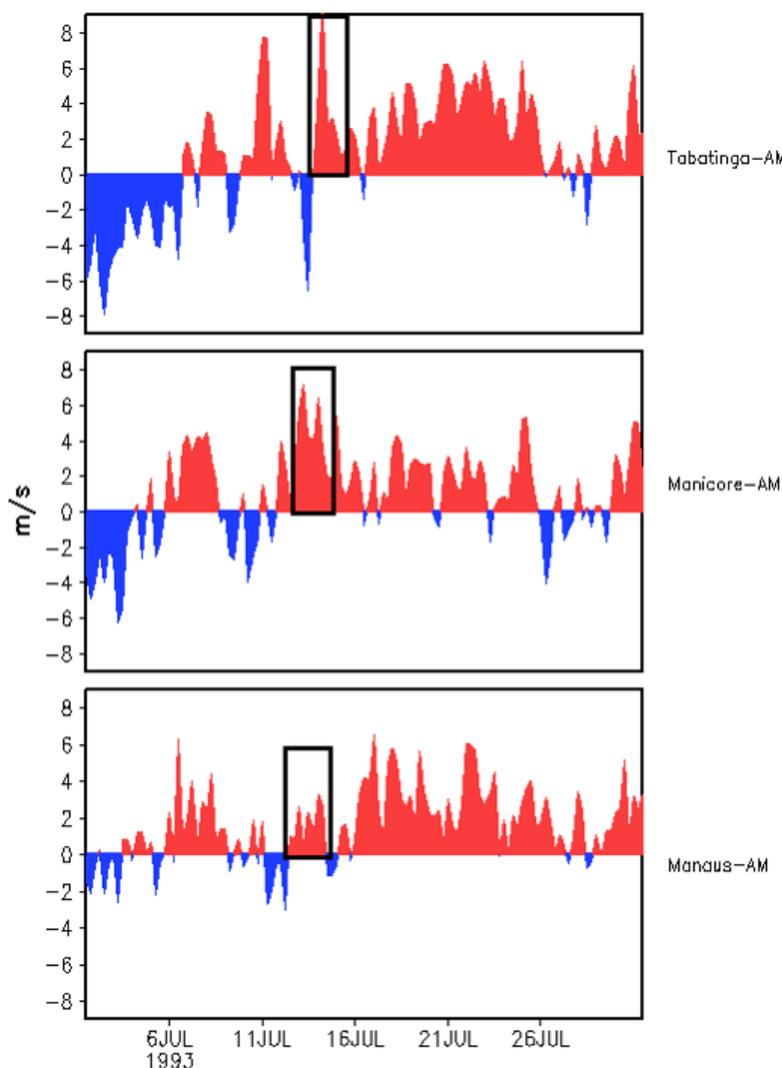


Figura 4.27 - Componente meridional do vento em 850 hPa para o mês de julho de 1993 nas cidade de Tabatinga (superior), Manicoré (meio) e Manaus (inferior).  
Fonte: Reanálises do CFSR(2014)

#### 4.6 Estrutura vertical da atmosfera

As Figuras 4.28, 4.29 4.30, 4.31 e 4.32 mostram os dados de radiossondagem da campanha Mini-Barca de 2008 para as cidades de Manaus, Rio Branco e Tabatinga. Essas análises foram realizadas para verificamos o comportamento nos níveis atmosféricos sob influência da massa de ar frio e seca, de maneira que comprove a mudança da intrusão do ar frio até Manaus, após a passagem sobre Rio Branco e Tabatinga. O evento analisado ocorreu nos dias 24 a 27 de junho e segundo a Climanálise (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), 2008), essa foi a quinta massa

de ar frio que atuou no país e ocasionou reduções nas temperaturas no oeste do Região Sul no dia 21, deslocando-se, posteriormente, para a Região Centro-Oeste e sul da Região Norte, onde se registrou o segundo episódio de friagem.

Sobre a cidade de Rio Branco verificou-se no perfil vertical (Figura 4.28), a partir das 00H do dia 24 de junho, claramente, a incursão de ar frio e seco através da inversão frontal. Essa inversão é caracterizada quando a temperatura do ar (linha preta) e a temperatura do ponto de orvalho (linha vermelha) atenuam-se com a altura. Isto foi constatado no nível próximo de 900 hPa. Quanto à velocidade do vento, para este mesmo horário, esta variou de 1 a 9 m/s. Para as 12H (Figura 4.29), a velocidade do vento permaneceu elevada em baixos níveis. A inversão frontal continua no nível de 950 hPa, porém com alto teor de umidade na atmosfera, conduzindo a precipitação. Essa característica está de acordo com o trabalho de [Amorim Neto \(2013\)](#) quando seus resultados indicaram que as friagens produzem chuvas a mais na Bacia Amazônica. O padrão de inversão frontal é contínuo no dia posterior (25 de junho) durante as quatro medidas, bem como a velocidade do vento variando entre 6 a 9 m/s (não mostrado).

Em Tabatinga, para o mesmo dia as 00H (não mostrado), verificou-se uma pequena inversão frontal no nível de 800 hPa. Infelizmente, os dados referente a velocidade do vento não foi observada na baixa atmosfera, permanecendo assim até as 06H (não mostrado). Para o nível de 800 hPa as 12H (Figura 4.30) observou-se uma inversão de subsidência, característico de uma atmosfera seca com velocidades do vento atingindo 10 m/s. Essa particularidade foi decorrente da entrada da massa de ar frio e seca na região. Nas horas seguintes, a atmosfera permaneceu seca bem como velocidade do vento em torno de 16 m/s.

Para a cidade de Manaus, a peculiaridade da incursão por meio da inversão frontal não foi perceptível em baixos níveis (Figuras 4.31 e 4.32). Isto ocorreu devido a massa fria perder as propriedades iniciais ocasionadas pela interação com a superfície por onde se deslocou. Todavia, observou-se uma atmosfera seca - averiguada pela distância entre as linhas da temperatura do ar e do ponto de orvalho, no dia 27 de junho as 06H. A velocidade do vento nos baixos níveis variou das 00H de 4 m/s para 10 m/s as 18H. A partir destas características, além do declínio dos extremos de temperatura, considerou-se que houve a intrusão do ar seco e frio na Amazônia Central, dada a observação da atmosfera seca e valores elevados da velocidade do vento.

Estes resultados estão coerentes com o trabalho de [Longo et al. \(2004\)](#) quando veri-

ficaram uma incursão de ar frio no sudoeste da Amazônia. Os autores encontraram que o impacto da friagem foi muito mais restrito às proximidades da superfície, atingindo uma camada mais fria em 925 hPa, sob uma região de forte inversão térmica até cerca de 800 hPa (Rio Branco e Tabatinga). Viana e Silva (2012) encontraram características semelhantes para o perfil vertical sobre a cidade de Manaus. Segundo os autores, o ar frio que avançou para o norte, tornou-se estável com uma coluna de ar seco acima de 900 hPa (Manaus).

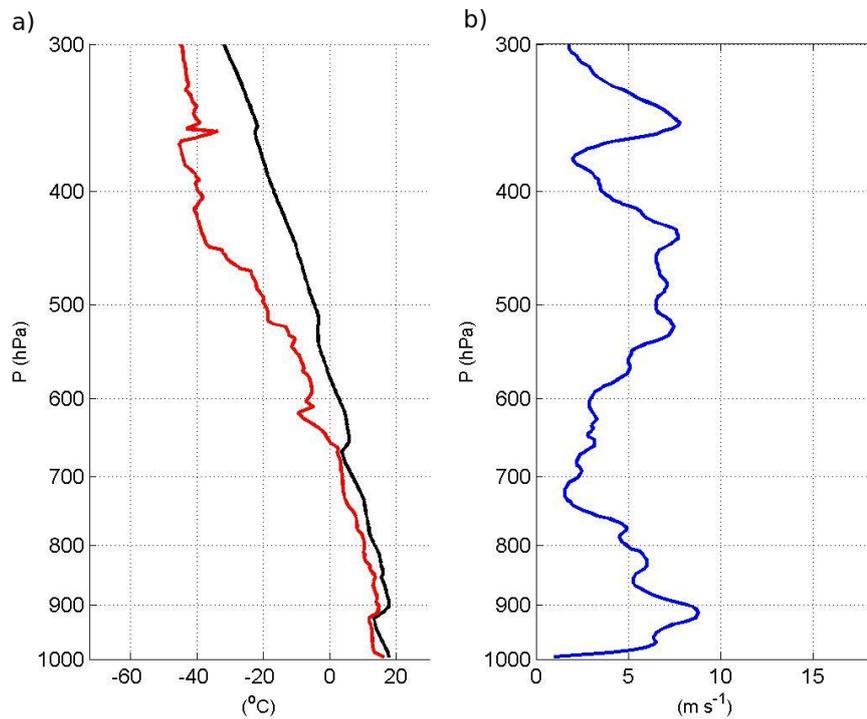


Figura 4.28 - Estrutura vertical da (a) temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho e (b) velocidade de vento em Rio Branco as 00H no dia 24 de junho. Fonte: Campanha Mini Barca(2008)

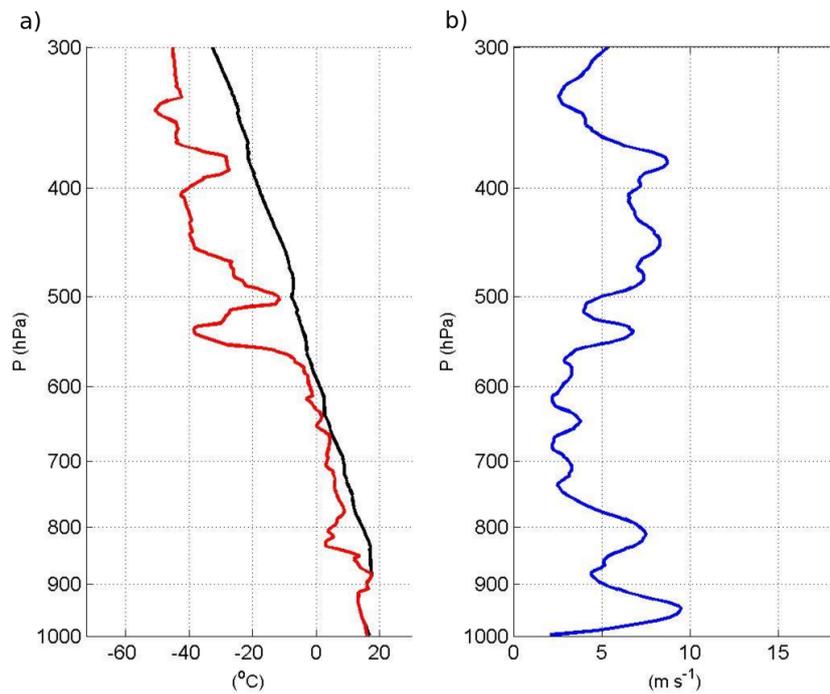


Figura 4.29 - Estrutura vertical da (a) temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho e (b) velocidade de vento em Rio Branco as 12H no dia 24 de junho.

Fonte: Campanha Mini Barca(2008)

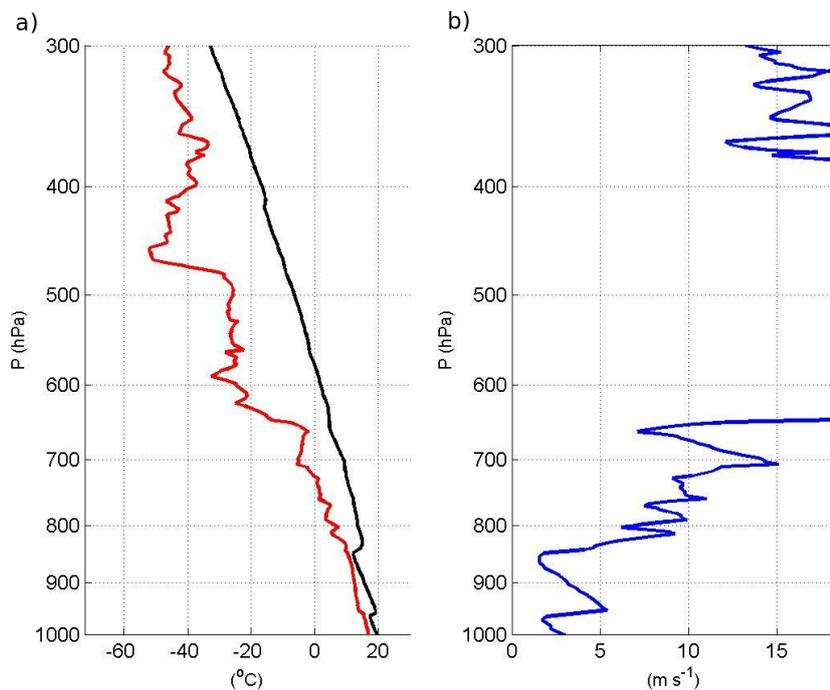


Figura 4.30 - Estrutura vertical da (a) temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho e (b) velocidade de vento em Tabatinga as 12H no dia 25 de junho.

Fonte: Campanha Mini Barca(2008)

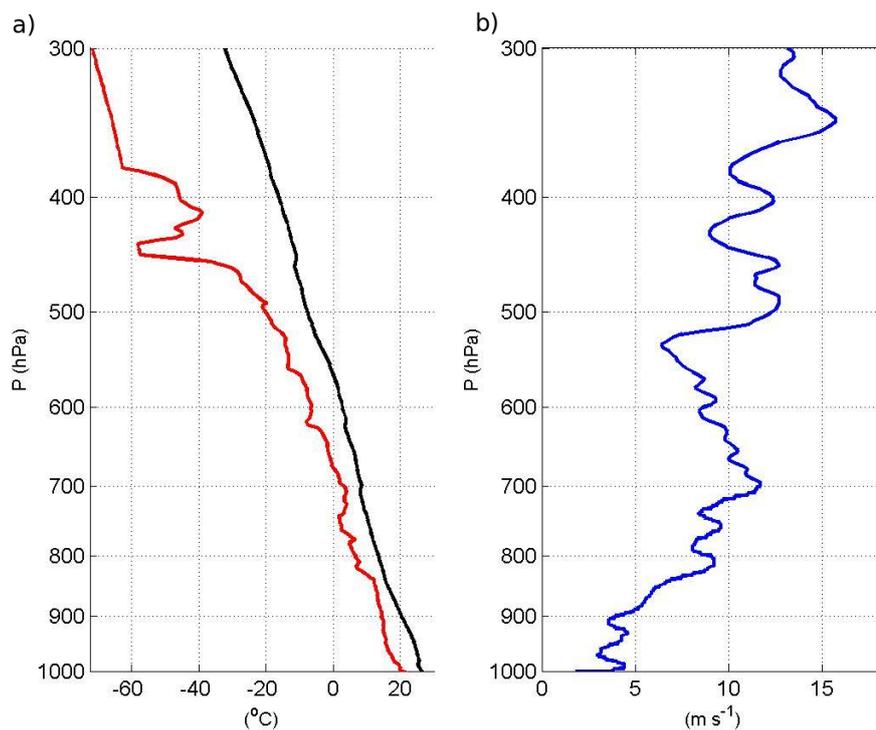


Figura 4.31 - Estrutura vertical da (a) temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho e (b) velocidade de vento em Manaus as 06H no dia 26 de junho.

Fonte: Campanha Mini Barca(2008)

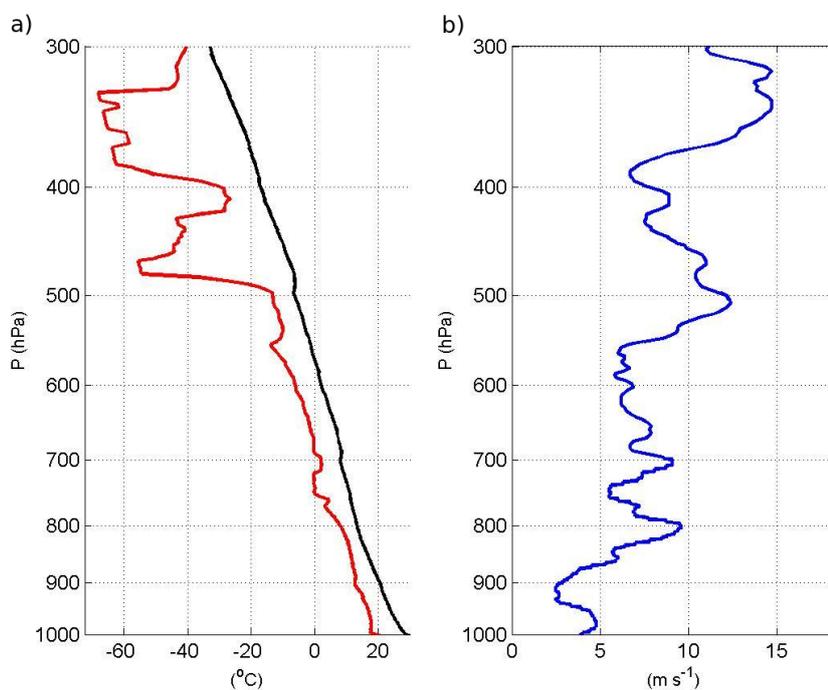


Figura 4.32 - Estrutura vertical da (a) temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho e (b) velocidade de vento em Manaus as 18H no dia 26 de junho.

Fonte: Campanha Mini Barca(2008)

Para uma análise mais detalhada sobre o comportamento vertical e aproveitando os dados observados de ar superior na cidade de Rio Branco (a mesma apresentou forte inversão frontal), verificaram-se as componentes zonal e meridional do vento antes, durante e após o intrusão de ar frio sobre a parte sudoeste da Amazônia (Figura 4.33). Utilizaram-se as simbologias de D-2 para dois dias antes do resfriamento intenso, D0 para o dia considerado friagem e D+2 para o segundo dia após a forte redução dos extremos diários. O caso ocorreu entre os dias 23 e 25 de junho, logo consideramos o dia 22 como D-2, D0 para o dia 24 e D+2 o dia 26. Com relação a componente zonal do vento (Figura 4.33a), observou-se que para as 06H em D0 a camada de 1000-900 hPa apresentou predominância de vento de leste com intensidade de 6 m/s, aproximadamente. No dia D-2, os ventos foram de oeste e para o dia D+2 os ventos apresentaram pouca intensidade e se tornaram oriundos de leste. Para todas essas situações foi perceptível que a intensidade zonal do vento apresentou forte cisalhamento dentro da camada próximo a superfície.

Observando as características apresentadas para a componente meridional (Figura 4.33b), como já destacada na seção anterior, houve uma modificação evidente na direção, mas principalmente na intensidade. No dia D-2, a componente variou de norte (-7 m/s) para sul (+7 m/s) entre a camada de 1000-900 hPa. No dia do resfriamento significativo (D0), a intensidade do vento meridional foi elevada para 10 m/s (de sul) com forte cisalhamento próximo de 910 hPa. No dia D+2 o comportamento do vento retornou a valores reduzidos e proveniente de norte, com fraco cisalhamento dentro da camada próximo a superfície.

Essas características foram semelhantes as observadas por [Fisch \(1995\)](#) quando verificou as componentes zonal e meridional do vento sobre o Rebio Jaru, com dados de radiossondas do RBL2 (Esse evento foi verificado entre os dias 5 e 7 de julho de 1993). A componente zonal apresentou-se de leste no dia do evento, bem como houveram as mudanças bruscas da componente meridional na Camada Limite Atmosférica.

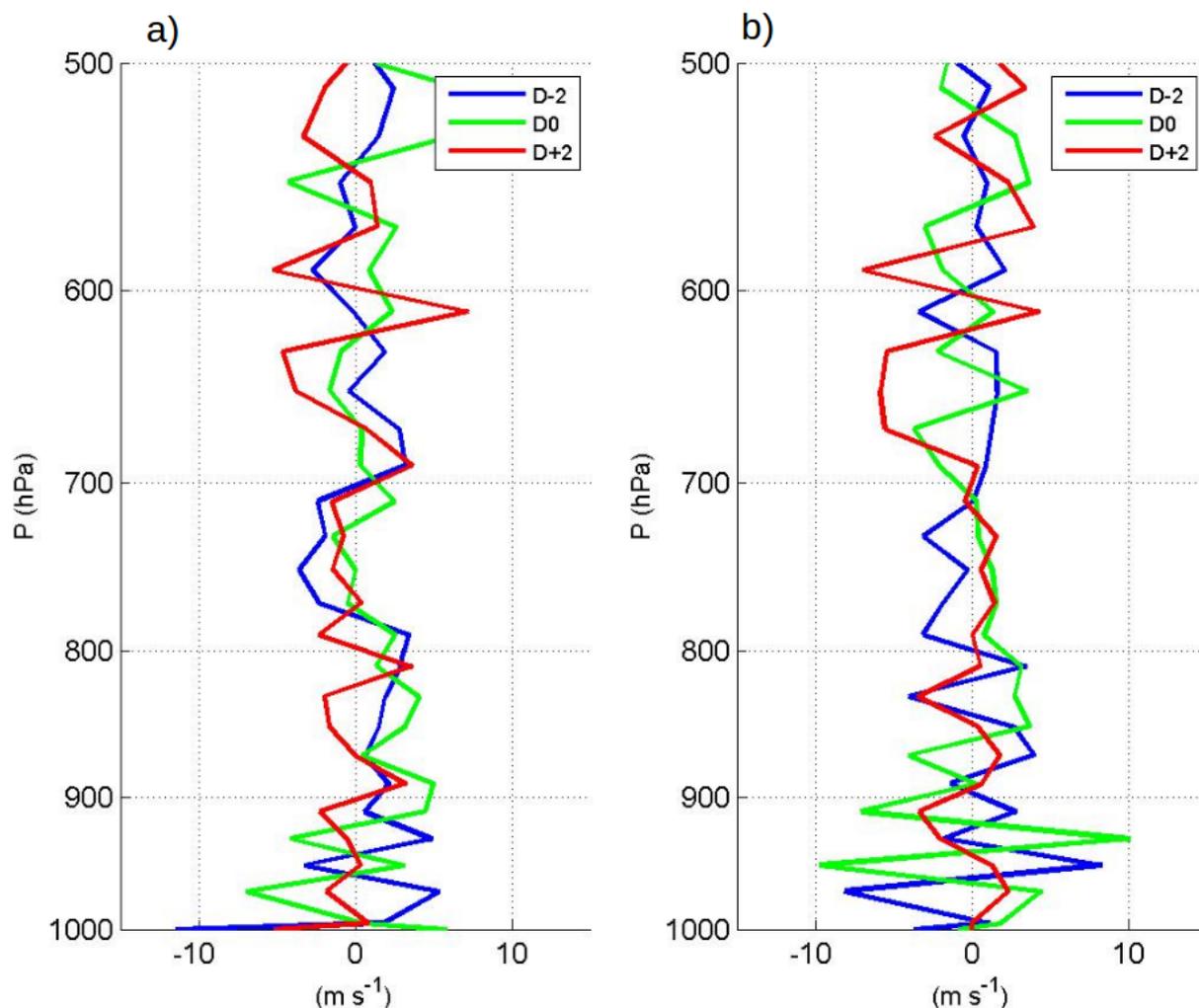


Figura 4.33 - Estrutura vertical da (a) componente zonal e (b) componente meridional do vento em Rio Branco as 06H no dia 24 de junho.  
 Fonte: Campanha Mini Barca(2008)

Das características descritas acima, a velocidade e direção do vento foram variáveis que demonstraram mudanças características das friagens. As velocidades foram elevadas e a direção das componentes zonal e meridional, no dia da friagem, tornaram-se modificadas: a primeira era de oeste e tornou-se de leste, a segunda era de norte e alterou-se para sul. As inversões frontais vista pelo perfil da radiossondagem foram notadamente identificado em Rio Branco (localizada a sudoeste da região Amazônica), reduzindo-se a medida que a massa fria desloca em direção ao norte da região. Manaus apresentou grande subsidência e estabilidade atmosférica, mostrando uma camada seca, em consequência da intrusão de ar das latitudes polares.



## 5 TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS E FATORES RELACIONADOS

Nesta Capítulo será apresentado os resultados das tendências climáticas das temperaturas máxima e mínima sobre a Bacia Amazônica Brasileira, a partir das análises do teste de Mann-Kendall e do método de Sen, para as cidades que apresentaram significância estatística. Desse modo, buscou-se relacioná-las com o aumento das áreas desflorestadas sobre região Amazônica. Também ressalta-se que, a cidade de Conceição do Araguaia foi incluída, apesar de não se encontrar na região afetada por massas de ar frio, devido apresentar elevadas taxas de desflorestamento, os quais contabilizaram até 2013 a porcentagem de 84,6% de sua área total.

### 5.1 Tendências Climáticas

Antes de qualquer análise, vale ressaltar que, acompanhando os valores positivos ou negativos das tendências climáticas, destacou-se a confiança estatística do teste não-paramétrico de Mann-Kendall, para que os resultados encontrados sejam verdadeiros quanto a representatividade da amostra. Um resultado obtido que não apresenta confiança estatística (ex.: em alguns casos para a cidade de Tabatinga e Rio Branco), não quer dizer que os resultados das tendências foram desconsiderados, mas que foram fracas as evidências de confiabilidade das variáveis envolvidas.

#### 5.1.1 Tendência regional das temperaturas máxima e mínima

De acordo com as Tabelas 5.1 e 5.2 para toda a série temporal (1980-2013), verificam-se valores de tendências positivas nas temperaturas máxima e mínima em todas as cidades. Em relação a  $T_{máx}$ , apenas a cidade de Tabatinga não apresentou confiança estatística, do mesmo modo que, para a  $T_{mín}$  foi a cidade de Rio Branco. Para a  $T_{mín}$  as cidades apresentaram aumento variando de 0,4 °C a 2,3 °C, respectivamente em Vilhena e Conceição do Araguaia. A confiabilidade estatística para esta variável foi equivalente a 99% para Vilhena e 99,9% em Conceição do Araguaia. Para a  $T_{máx}$ , os acréscimos alternaram entre 0,5 °C em Manaus (90% de confiança estatística) a 1,9 °C em Vilhena (99,9% confiabilidade estatística). Notoriamente verificaram-se que todos os municípios apresentaram tendências positivas para todo o período da análise, tanto na  $T_{mín}$  como na  $T_{máx}$ , constantando que os fenômenos de escala global ou sinóticos estariam possivelmente influenciando essas elevações nas temperaturas. No entanto, o período que ocorre esse acréscimo é diferenciado, logo, acrescenta-se que os fatores locais não devem ser desprezados, tais como o desflorestamento e a urbanização.

Tabela 5.1 - Valores do teste de Mann-Kendal (teste Z e Significância) e método de Sen's (Estimador de Sen's - Q) para o inverno austral no período de 1980 a 2013 da T<sub>mín</sub> sobre as cidades da região Amazônica Brasileira.

Cidades	Teste Z	Sign.	Estimador Q	Magnitude (°C)
<b>Conceição do Araguaia</b>	5,56	***	0,07	+2,3
<b>Manaus</b>	2,58	**	0,02	+0,7
<b>Manicoré</b>	2,39	*	0,02	+0,5
<b>Porto Velho</b>	4,03	***	0,05	+1,8
<b>Rio Branco</b>	0,83		0,02	+0,4
<b>Tabatinga</b>	1,67	+	0,02	+0,5
<b>Vilhena</b>	2,70	**	0,02	+0,4

Confiança estatística:(\*\*\*) 99,9%, (\*\*) 99%, (\*) 95% , (+) 90% e () < 90%

Tabela 5.2 - Valores do teste de Mann-Kendal (teste Z e Significância) e método de Sen's (Estimador de Sen's - Q) para o inverno austral no período de 1980 a 2013 da T<sub>máx</sub> sobre as cidades da região Amazônica Brasileira.

Cidades	Teste Z	Sign.	Estimador Q	Magnitude (°C)
<b>Conceição do Araguaia</b>	4,27	***	0,05	+1,54
<b>Manaus</b>	1,66	+	0,02	+0,5
<b>Manicoré</b>	3,18	**	0,03	+1,0
<b>Porto Velho</b>	1,99	*	0,02	+0,7
<b>Rio Branco</b>	2,99	**	0,,3	+1,2
<b>Tabatinga</b>	1,33		0,01	+0,3
<b>Vilhena</b>	5,22	***	0,06	+1,9

Confiança estatística:(\*\*\*) 99,9%, (\*\*) 99%, (\*) 95%, (+) 90% e () < 90%

Em Conceição do Araguaia a tendência positiva significativa conferiu-se na T<sub>mín</sub>, como mostrado na Tabela 5.1 e Figura 5.1, e ao relacionar esse aumento com as variabilidades interanual e decadal, algumas características distintas podem ser observadas. Desde o início da série (1980) os valores médios anuais estão abaixo da média climatológica (Figura 5.1) - conferido pelo desvio padronizado (Figura 5.11), e a partir de 1995, os valores tenderam a aumentar. Este ano foi caracterizado pelo fenômeno interanual de grande escala La Niña de intensidade fraca (1995/1996), não sendo fator preponderante para auxiliar na diminuição da média anual da T<sub>mín</sub> - como é observado na região Amazônica e na presente análise (anos de 1984/1985 e 2007/2008). Além disso, os anos de 1998 a 2001 também foram caracterizado pelas condições frias no oceano Pacífico, porém os valores anuais da T<sub>mín</sub> não apresen-

taram reduções. Por outro lado há um fator de escala local que apresentou grandes proporções - o desflorestamento, e o estado do Pará contribuiu com elevadas taxas dessa variável neste ano, em relação aos valores relativos da média sobre a Bacia, com um total de  $7.845 \text{ km}^2.\text{ano}^{-1}$ . Provavelmente, este pode ter contribuído com as verificações de aumento nos valores da  $T_{mín}$  nos anos posteriores, além disso, Conceição do Araguaia apresentou uma área desflorestada até 2013 (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS.OBSERVAÇÃO DA TERRA (INPE.OBT), 2013) de aproximadamente 84.6% de sua área total. Observa-se também que, o comportamento desta variável não retornou aos valores abaixo da média climatológica - como verificado no início do período. A Tabela 5.3 apresenta os valores em porcentagens das áreas desflorestada para cada cidade da Bacia Amazônica.

Tabela 5.3 - Características da altitude e área total das cidades de estudo assim como as porcentagens das áreas desflorestadas até 2013 (Fonte: (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS.OBSERVAÇÃO DA TERRA (INPE.OBT), 2013))

Cidades	Área	Altitude	Desflorestamento
<b>Conceição do Araguaia</b>	5847 $\text{km}^2$	156 m	84,6%
<b>Manaus</b>	11473 $\text{km}^2$	81 m	10,9%
<b>Manicoré</b>	48689 $\text{km}^2$	53 m	12,0%
<b>Porto Velho</b>	34631 $\text{km}^2$	88 m	26,1%
<b>Rio Branco</b>	9113 $\text{km}^2$	190 m	28,7%
<b>Tabatinga</b>	3343 $\text{km}^2$	81 m	4,7%
<b>Vilhena</b>	11584 $\text{km}^2$	605 m	29,7%

Collins et al. (2009), sugeriram que em seus resultados, provavelmente, a mudança climática verificada sobre o continente da América do Sul não foram predominantemente uma resposta às variações do ENOS, mas sim, em resposta a outro tipo de variabilidade climática e/ou como resultado de atividades humanas. Atribui-se grande parte dos resultados, da presente pesquisa, ao fator antropogênico (desflorestamento), devido as resultados obtidos por alguns trabalhos ( (NOBRE et al., 1991), (COX et al., 2000), (SAMPAIO et al., 2007), (MALHI et al., 2008)) que relataram quais os possíveis impactos do desmatamento ao sistema climático, tais como, redução/aumento da precipitação, aumento da temperatura do ar, redução da evapotranspiração e do escoamento superficial. No presente apenas foi analisado os extremos de temperatura. Esse efeitos locais e regionais no clima já estão sendo observados muito antes do esperado, especialmente ao longo das zonas mais devas-

tadas, mas também nas áreas mais afastadas que dependiam da floresta para sua chuva (SAMPAIO et al., 2007).

Nos anos seguintes, há uma relação positiva quanto ao aumento da  $T_{mín}$  e a variabilidade interanual, ou seja, em anos de El Niño observou-se o aumento da  $T_{mín}$  e em anos de La Niña o oposto foi averiguado. Vale ressaltar que, a partir de 1997 o fenômeno característico foi o El Niño com sequência longas, tais como, 2002/2003, 2004/2005 e 2006/2007 (Tabela 3.1), podendo contribuir com a tendência positiva encontrada. Destaca-se que o fenômeno de baixa frequência (ODP) também pode ter auxiliado no comportamento das anomalias positivas da TSM. Segundo Peterson et al. (2010), a ODP esteve oscilando desde 1998 entre fases positivas e negativas, e durante esse anos seguidos de El Niños esteve em sua fase positiva, contribuindo com as ocorrências desse fenômeno. Esse efeito pode não ocorrer de forma momentânea, mas sim a partir de um determinado tempo, como discutido por Fearnside (2005). Diante desta observação, é justificável que os efeitos na cidade de Conceição do Araguaia tenha sido característico e consequente de sua extensa área desflorestada. Desta maneira, utilizou-a como comparação para as cidades do Estado do Acre, Amazonas e Rondônia e assim analisar o impacto do desflorestamento nos extremos da temperatura do ar.

Esses resultados, em relação ao aumento para todo o período na  $T_{mín}$ , foram similares ao encontrado por Salati et al. (2007), quando analisaram a variabilidade climática para o período de 1961 a 2004 para a região Norte do Brasil, com aumentos detectáveis de 0,5 °C e 1,5 °C nas temperaturas máxima e mínima, respectivamente. Entretanto, no presente estudo, os valores foram mais elevados. Easterling et al. (1997) analisaram as tendências nos extremos da temperatura do ar global e encontraram uma tendência de aumento da temperatura máxima de 0,8°C/século e na temperatura mínima de 1,8 °C/século, ficando constatado um decréscimo da amplitude. Esses resultados foram semelhantes quando analisado o efeito urbano, ou seja, considerando somente estações meteorológicas localizadas em cidades com populações acima de 50 mil (1300 estações). É evidente, desta maneira que, as tendências exatas variaram dependendo do início e do fim do período observado (VICTORIA et al., 1998), bem como a base de dados utilizado, podendo mostrar tanto a redução como aumento das temperaturas, mas que a maioria apresentaram aumento.

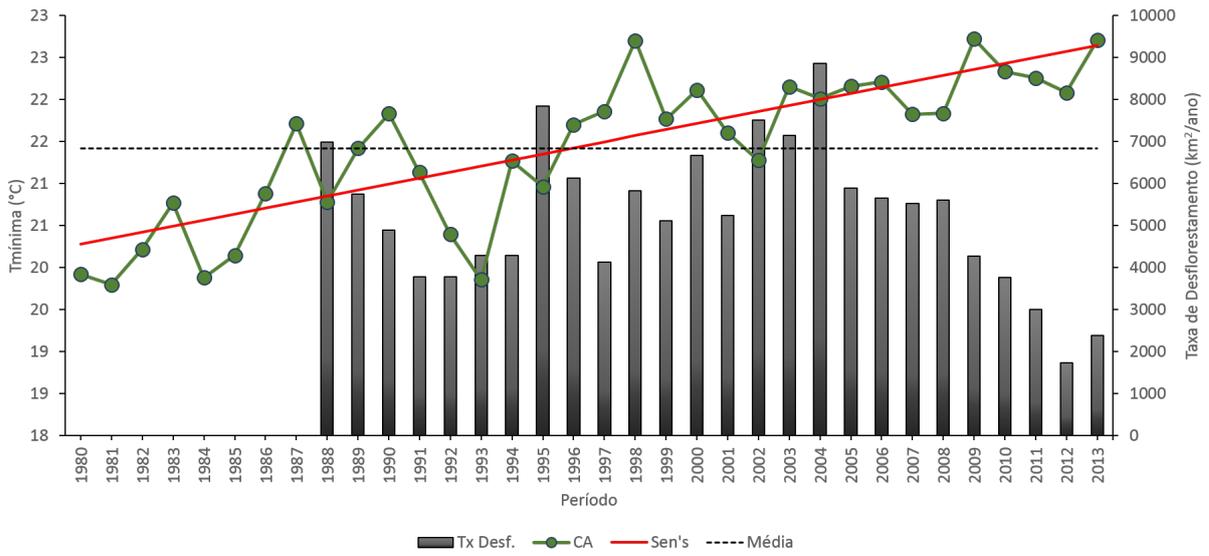


Figura 5.1 - Tendência climática da temperatura mínima para a cidade de Conceição do Araguaia juntamente com as taxas de desflorestamento do estado do Pará.

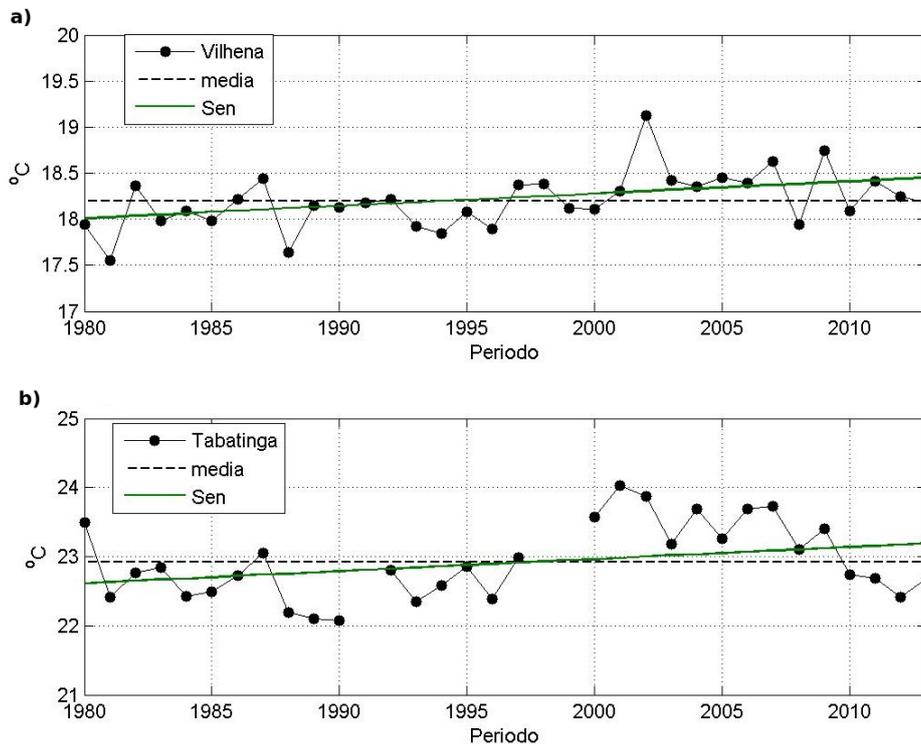


Figura 5.2 - Tendência climática da temperatura mínima para as cidades (a) Vilhena e (b) Tabatinga.

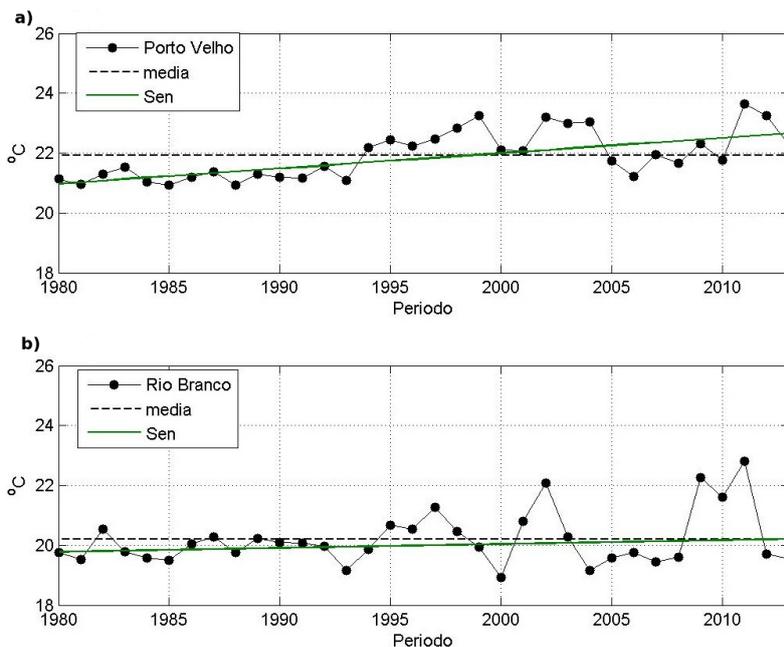


Figura 5.3 - Tendência climática da temperatura mínima para as cidades (a) Porto Velho e (b) Rio Branco.

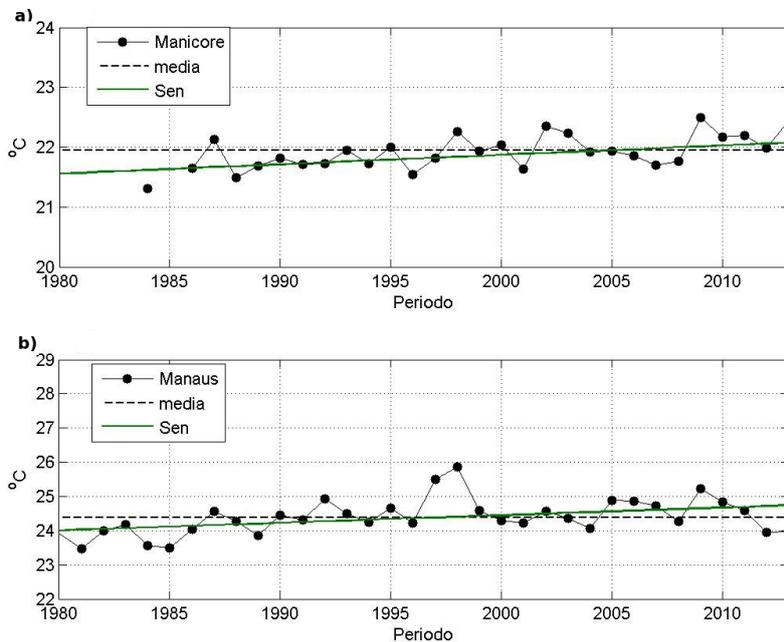


Figura 5.4 - Tendência climática da temperatura mínima para as cidades (a) Manicoré e (b) Manaus.

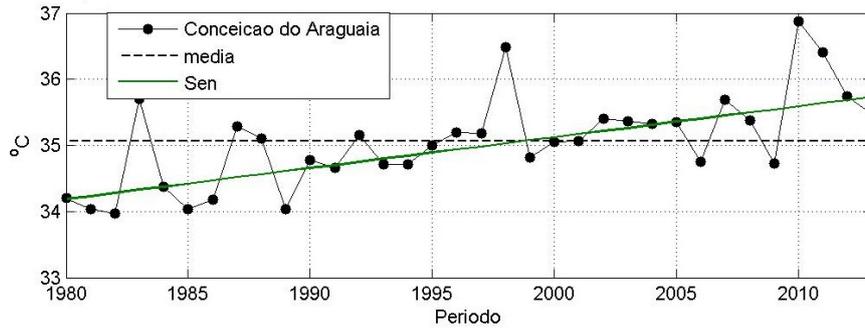


Figura 5.5 - Tendência climática da temperatura máxima para as cidades Conceição do Araguaia.

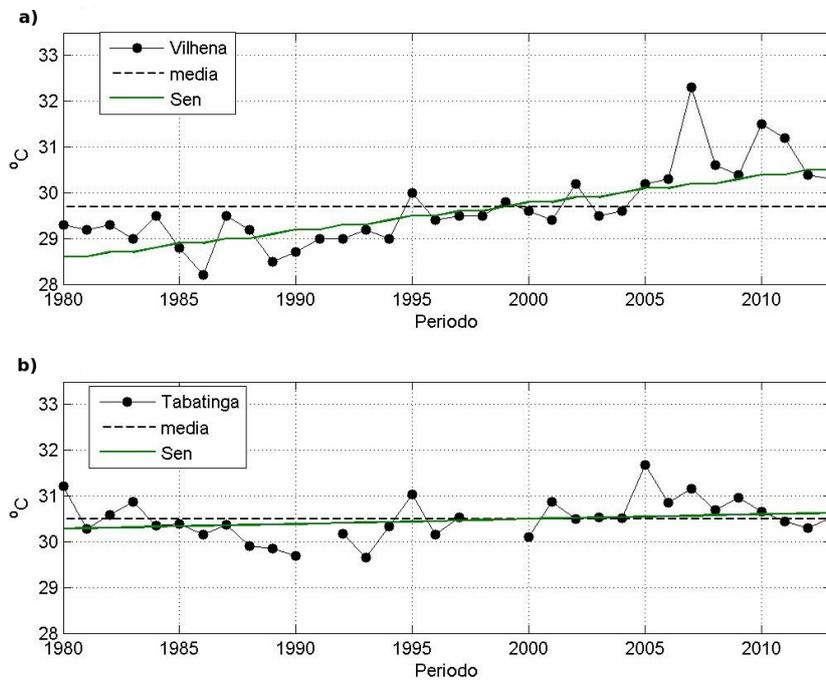


Figura 5.6 - Tendência climática da temperatura máxima para as cidades (a) Vilhena e (b) Tabatinga.

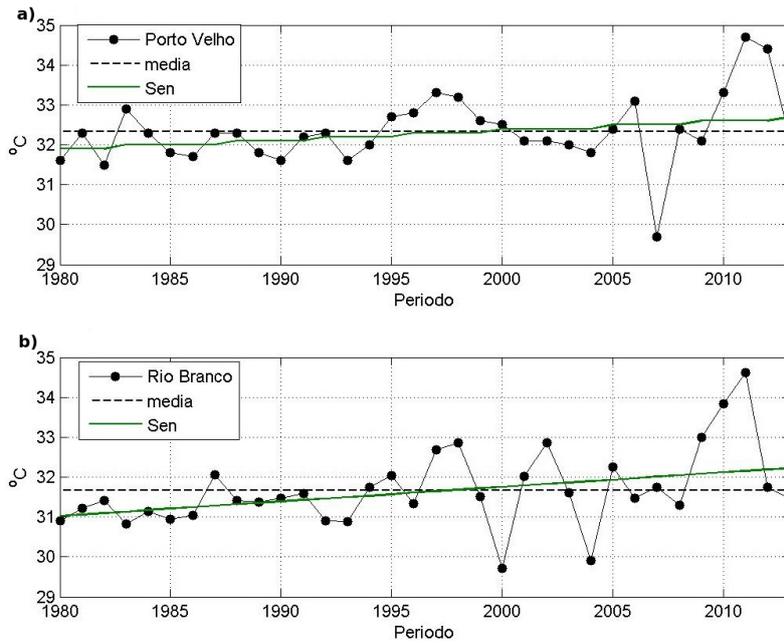


Figura 5.7 - Tendência climática da temperatura máxima para as cidades (a) Porto Velho e (b) Rio Branco.

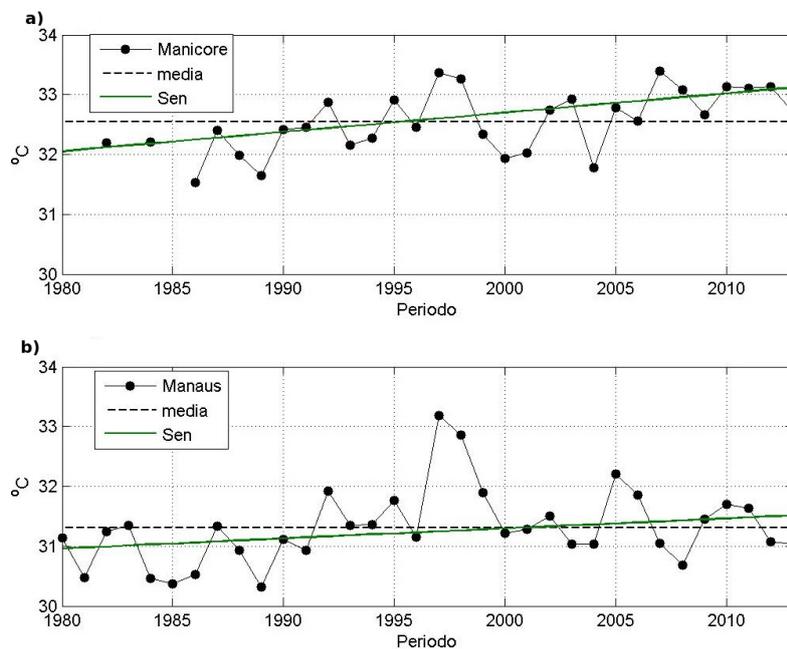


Figura 5.8 - Tendência climática da temperatura máxima para as cidades (a) Manicoré e (b) Manaus.

A partir dos resultados para toda a série temporal, tentou-se identificar quais decênios apresentaram respostas positiva e/ou negativa em relação à tendência climática de todo o período. Isso realizou-se de modo que, os resultados gerais possam ter consistência, além também de tentar averiguar e confirmar a variabilidade climática nas diferentes décadas que influenciaram todo o período, bem como os efeitos antropogênicos. Na Tabela 5.4 para a década de 80 (1980-1989) observou-se que, apenas a cidade de Tabatinga na  $T_{máx}$  apresentou valores significativos quanto ao teste de Mann-Kendall. Esses resultados demonstraram redução de até  $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $T_{máx}$  com confiança estatística de 95%. Esta redução pode está associada pelos longos período de ocorrência do fenômeno La Niña (1983/1984, 1984/1985, 1988/1989), que como consequência influenciam altos índices pluviométricos na região, aumentando a nebulosidade e diminuindo os valores de  $T_{máx}$ . Como identificado por [Krishnamurti et al. \(1973\)](#) e [Streten e Zillman \(1984\)](#) a Bacia Amazônica está localizada na raiz de um ramo ascendente de circulação Leste-Oeste. O aumento da precipitação pode ser acoplada com a intensificação desta circulação e o movimento ascendente. Esta intensificação pode ser refletida pela diminuição da pressão em superfície. No presente estudo, houve uma diminuição da pressão atmosférica máxima durante essa década (Figura 5.17), deste modo, corrobora que os fenômenos de variabilidade interanual pode influenciar essa parte da Amazônia.

Na década de 90 (1990-1999), os resultados mostraram que, tanto para a  $T_{mín}$  como a  $T_{máx}$ , a cidade de Porto Velho sobressaiu das demais. Os valores positivos elevados alcançaram desde  $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $T_{máx}$  como  $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $T_{mín}$  (Tabelas 5.4 e 5.5). O município de Porto Velho, em termos do crescimento populacional, passou de 50.996 habitantes, na década de 1960, para 84.048 habitantes, na década de 1970, e 134.621 habitantes, na década de 1980. Um crescimento acelerado combinado com queimadas e desflorestamento municipal, tornando o efeito significativo décadas depois. No entanto, as influências ocorridas apenas pelo efeito antropogênico não é totalmente aceito, uma vez que durante esta década, a frequência do fenômeno El Niño foi alta, conduzindo aos desvio-padronizado positivos verificados na Figura 5.12. Entretanto, é detectável que a partir desta década em alguns anos não há relações diretas com os fenômenos El Niño e La Niña nos extremos da temperatura (1990/1996), podendo desta maneira, atribuir o fator desflorestamento ao valor da tendência positiva decadal (Figura 5.9). Além de Porto Velho, Manaus (Figura 5.8 e Tabela 5.5) e Vilhena (Figura 5.6 e Tabela 5.5) apresentaram resultados positivos de tendências, variando de  $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Para esta década, a cidade de Manaus exibiu desvio padronizado positivo (Figura 5.13) desde 1995 a 1999, com valores elevados em até  $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  coincidentes com o intenso El Niño de 1997/1998.

Vilhena mostrou apenas no ano de 1995 e 1999 desvios padronizados positivos, os anos restantes foram de desvios negativos (Figura 5.14).

Tabela 5.4 - Valores do teste de Mann-Kendal (teste Z e Significância) e método de Sen's (Estimador de Sen's - Q) para o inverno austral da T<sub>mín</sub> para as cidades que apresentaram significância estatística.

Décadas	Cidades	teste Z	Sign.	Estimador Q	Magnitude (°C)
<b>Década 90 (1990-1999)</b>	Porto Velho	3,04	**	0,23	+2,0
<b>Década 00 (2000-2013)</b>	Conceição do Araguaia	2,08	*	0,04	+0,5
	Tabatinga	-2,85	**	-0,01	-1,2
<b>Décadas 90 a 00</b>	Conceição do Araguaia	3,70	***	0,05	+1,3
	Manicoré	2,01	*	0,01	+0,3
	Porto Velho	1,76	+	0,04	+1,0
	Vilhena	1,96	+	0,01	+0,3

Confiança estatística:(\*\*\*) 99,9%, (\*\*) 99%, (\*) 95%, (+) 90% e () < 90%

Tabela 5.5 - Valores do teste de Mann-Kendal (teste Z e Significância) e método de Sen's (Estimador de Sen's - Q) para o inverno austral da T<sub>máx</sub> para as cidades que apresentaram significância estatística.

Décadas	Cidades	teste Z	Sign.	Estimador Q	Magnitude (°C)
<b>Década 80 (1980-1989)</b>	Tabatinga	-2,33	*	-0,11	-1,0
<b>Década 90 (1990-1999)</b>	Manaus	1,79	+	0,12	+1,1
	Porto Velho	2,33	*	0,14	+1,3
	Vilhena	2,50	*	0,10	+0,9
<b>Década 00 (2000-2013)</b>	Conceição do Araguaia	1,75	+	0,04	+0,5
	Manicoré	1,97	+	0,05	+0,7
	Vilhena	2,63	**	0,09	+1,2
<b>Décadas 90 a 00</b>	Conceição do Araguaia	3,20	**	0,04	+0,9
	Manicoré	1,71	+	0,02	+0,5
	Tabatinga	1,84	+	0,03	+0,7
	Vilhena	4,84	***	0,08	+1,9

Confiança estatística:(\*\*\*) 99,9%, (\*\*) 99%, (\*) 95%, (+) 90% e () < 90%

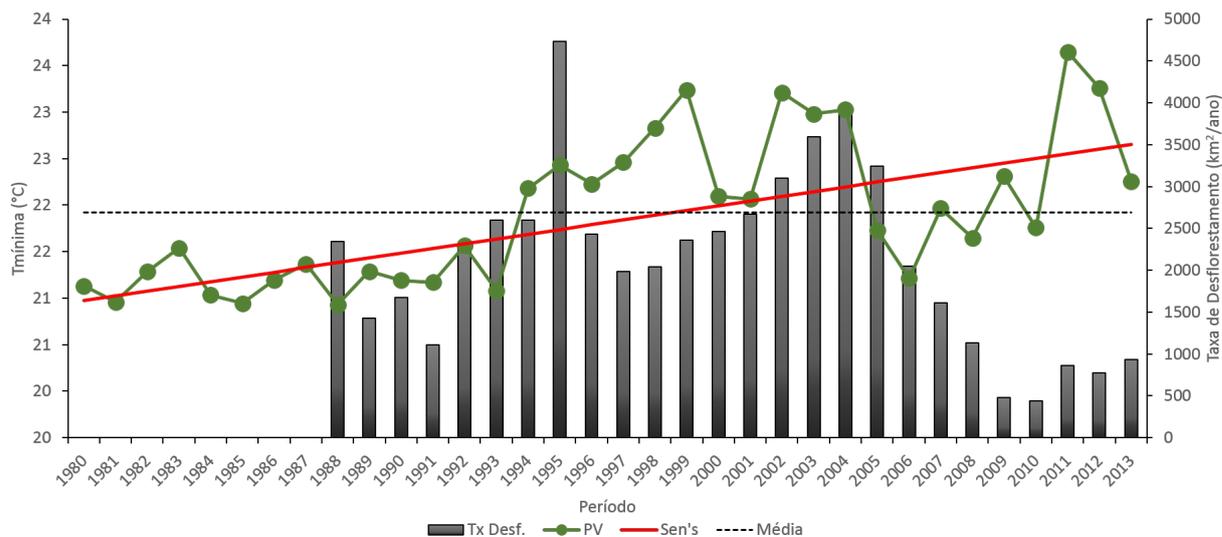


Figura 5.9 - Tendência climática da temperatura mínima para a cidade de Porto Velho juntamente com as taxas de desflorestamento do estado de Rondônia.

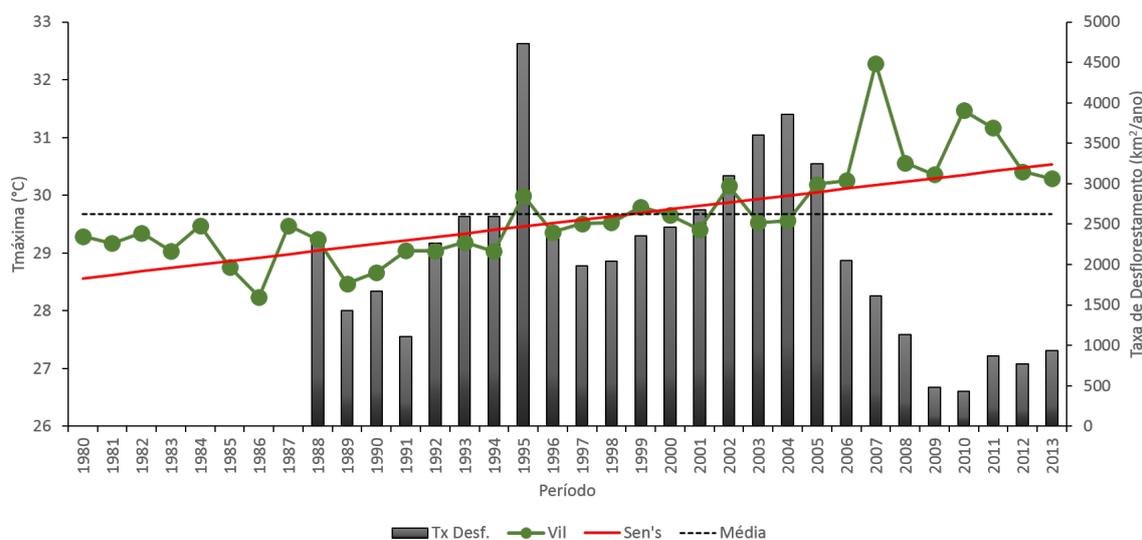


Figura 5.10 - Tendência climática da temperatura máxima para a cidade de Vilhena juntamente com as taxas de desflorestamento do estado de Rondônia.

No decênio 00 (2000 - 2013) as cidades que se destacaram com valores significantes estatisticamente foram, Conceição do Araguaia e Tabatinga para a  $T_{mín}$  e, Conceição do Araguaia, Manicoré e Vilhena na  $T_{máx}$  (Tabela 5.4 e 5.5). Como se obsevou para a década 80, Tabatinga apresentou tendência negativa e na presente década, novamente conduz ao mesmo resultado, porém com significância e valor maior que a

década 80 na  $T_{mín}$ . Deste modo, fica claro que a cidade de Tabatinga apresenta uma variabilidade bem distinta, em que os decênios apresentaram tendências climáticas intercaladas entre valores positivos e negativos. Em parte há justificativa direta para este comportamento, relacionado-a apenas com a fase fria da ODP que iniciou desde 1998 e se estendeu até 2013. Mas se correlacionar este comportamento apenas com a ODP, surge então o questionamento: por que na década de 80 essa configuração existiu significativamente, uma vez que a fase era quente da ODP? Atribui-se a esse resultado as características da região que Tabatinga está localizada, descrita no Capítulo 3. A parte oriental da Amazônia é bastante influenciada pelo fenômeno ENOS - tal como verificado nos resultados deste trabalho como de outros autores na cidade de Conceição do Araguaia (FERNANDES, 2011). Para Tabatinga, essa variabilidade apresentou-se de maneira minimizada, não sendo tão claro o efeito destas variações na temperatura, pois os desvios padronizados da  $T_{mín}$  (Figura 5.15) mostraram valores positivos em toda a década, mas que não foram suficientes para conduzir aos valores positivos das tendências climáticas.

A cidade de Conceição do Araguaia apresentou valores estatisticamente significante de até  $\alpha = 0.01$  na  $T_{mín}$  com acréscimo de  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o mesmo valor foi equivalente para a  $T_{máx}$  ( $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Para Manicoré o aumento da  $T_{máx}$  foi de  $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (90% de confiança estatística), com um crescente desvio positivo desde o ano de 2007, sendo que para este ano a 2008, o fenômeno de variabilidade interanual característico era a La Niña de intensidade fraca, o qual não contribuiu com o decréscimo do valor anual dessa variável. Logo, também pode justificar parte desse aumento com as elevadas taxas decorrentes do desflorestamento na região, quase fronteira com o Estado do Mato Grosso e o “arco do desmatamento”. A cidade de Vilhena exibiu tendência positiva e confiança estatística elevada quando comparada as outras cidades, produzindo assim alguns questionamentos. Se relacionar essa positiva tendência com os episódios do fenômeno ENOS, verifica-se-á que há uma ligeira relação com os anos de El Niño e La Niña (Figuras 5.6 e 5.10). Porém, o ano de 2007 foi contraditório, não podendo associá-lo com a fase fria do ENOS, mostrando que os fatores de escala global não foram determinantes para reduzir a temperatura neste ano. Ao analisá-la com os fatores locais, tais como, desflorestamento, é evidente que as taxas do estado de Rondônia são alarmantes, mas no ano de 2007 a taxa de incremento do desflorestamento para Vilhena, de acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.Observação da Terra (INPE.OBT) (2013), foi apenas de  $0,14\%$ . Entretanto, ao observar as taxas de Vilhena individualmente (Tabela 5.4), verifica-se que esta foi a segunda maior taxa de desflorestamento dentre as cidades, com um somatório da área de não-floresta mais o desflorestamento de  $29,7\%$  até 2013.

Além do que, nos anos anteriores a 2007, as taxas para este município foram elevadas, com o ano de 2003, 2004 e 2005 contribuindo com o incremento anual de desflorestamento de 0,79%, 0,71% e 0,51%, respectivamente. Esta colaboração resultou em uma área desflorestada em 2007 de 1654,7  $km^2$ , equivalente a 15,0% de sua área total. Dessa forma, conhecendo a geografia de Vilhena com uma altitude de 605 m, atribui-se que o valor elevado da  $T_{máx}$  seja consequência das modificações no uso da terra, em que os fatores de escala local sobrepuseram os de grande escala. Na cidade de Manicoré, ao sul do estado do Amazonas, verificou-se tendência positiva de 0,7 °C, porém a partir do ano de 2005 os desvios padronizados tornam-se positivos, diferente do início do período, com grande parte dos desvios sendo negativos (Figura 5.16). A atividade de agropecuária e a exploração madeireira são fatores que estão crescendo no município, e as taxas de desflorestamento já alcançaram 12,07%. Na Figura 5.8 é possível observar valores acima da média climatológica na última década, podendo ser resultado acoplado das variabilidades interanuais e o desflorestamento.

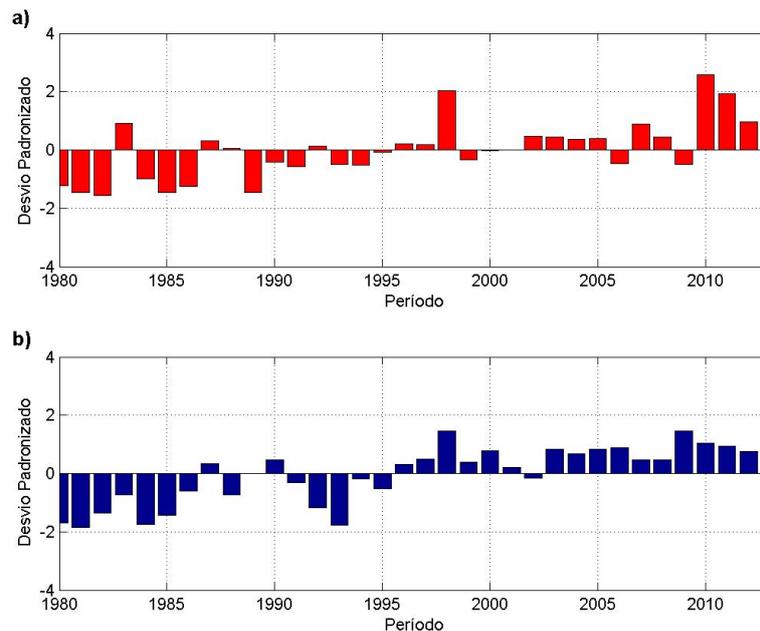


Figura 5.11 - Desvio médio padronizado para (a) temperatura máxima e (b) temperatura mínima para o município de Conceição do Araguaia - PA.

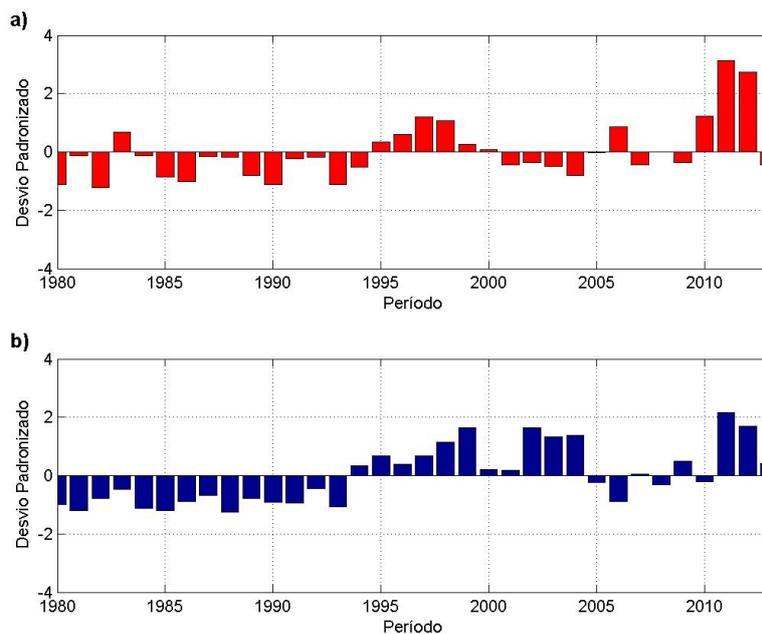


Figura 5.12 - Desvio médio padronizado para (a) temperatura máxima e (b) temperatura mínima para o município de Porto Velho - RO.

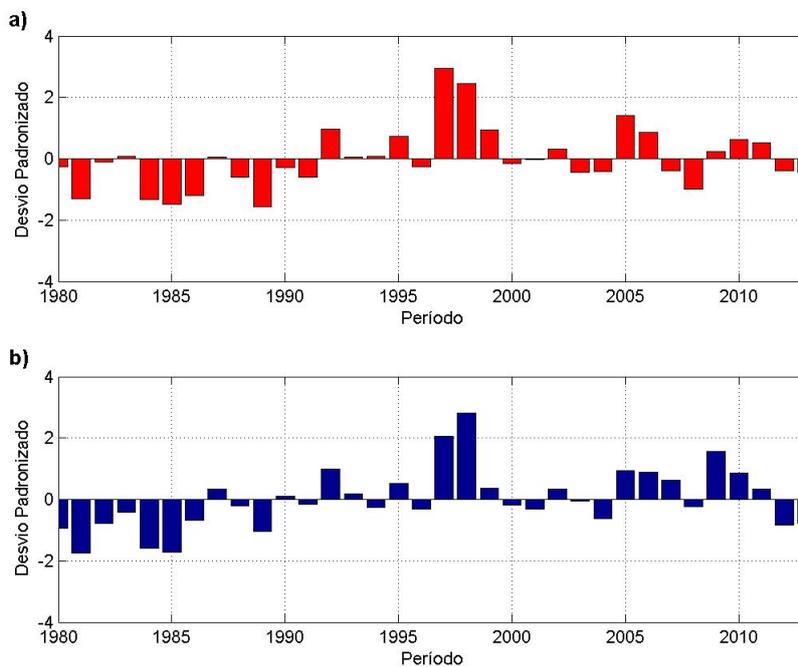


Figura 5.13 - Desvio médio padronizado para (a) temperatura máxima e (b) temperatura mínima para o município de Manaus - AM.

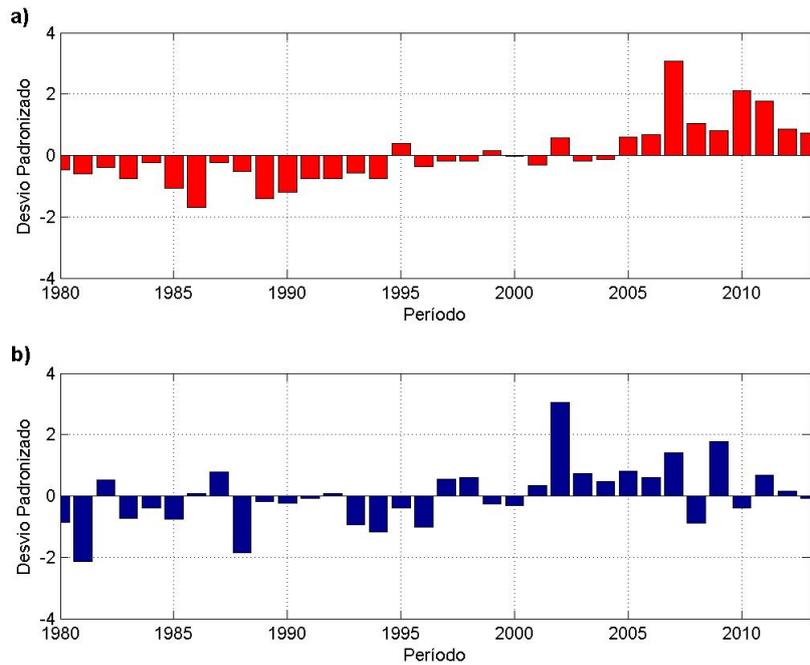


Figura 5.14 - Desvio médio padronizado para (a) temperatura máxima e (b) temperatura mínima para o município de Vilhena - RO.

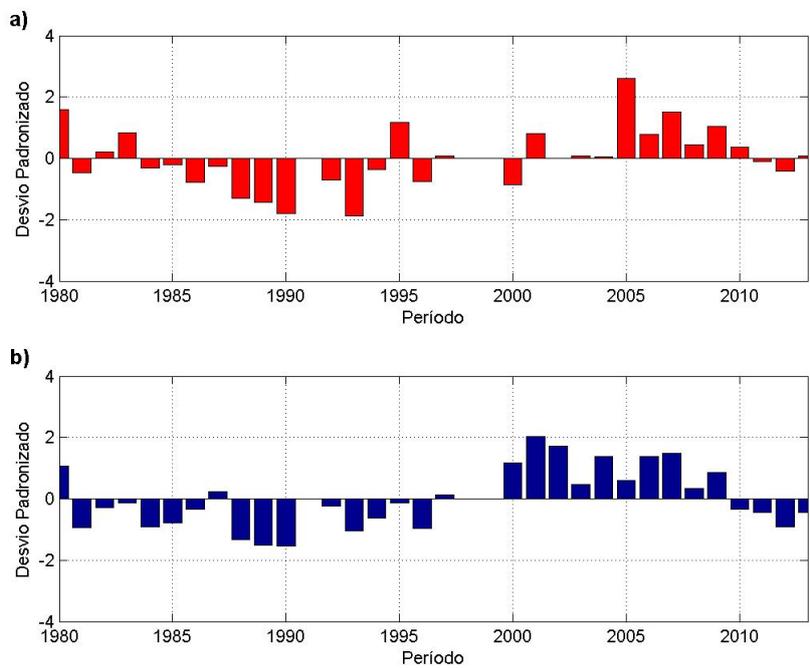


Figura 5.15 - Desvio médio padronizado para (a) temperatura máxima e (b) temperatura mínima para o município de Tabatinga - AM.

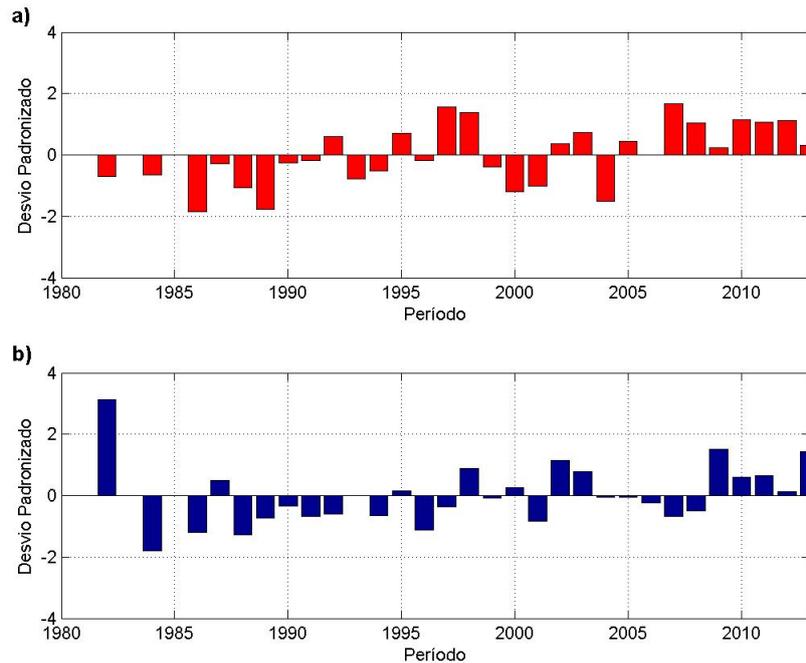


Figura 5.16 - Desvio médio padronizado para (a) temperatura máxima e (b) temperatura mínima para o município de Manicoré - AM.

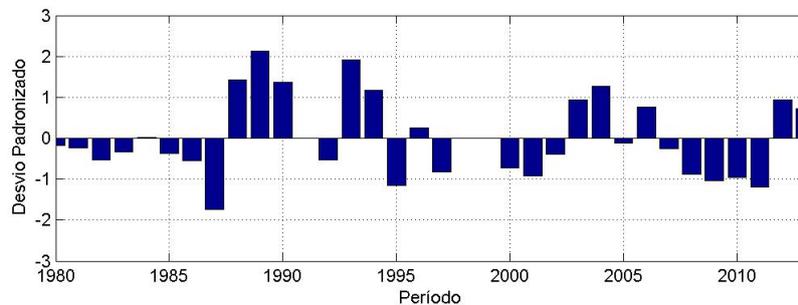


Figura 5.17 - Desvio médio padronizado para (a) pressão atmosférica máxima na cidade de Tabatinga - AM.

Por fim, quando se analisou os últimos decênios, as cidades destacadas com tendências climáticas positivas em ambas temperaturas foram Conceição do Araguaia, Manicoré e Vilhena. Os valores foram elevados ( $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para Conceição do Araguaia na  $T_{mín}$ , o que pode ter contribuído com os significantes aumento no período total ( $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). A cidade Vilhena apresentou tendência positiva de  $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tornando-se de grande parcela para o acréscimo de todo o período. A mesma característica é atribuída a cidade de Manicoré, que apresentou valores elevados de  $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $T_{máx}$  em

todo o período. Como discutido por Marengo (2003), Minuzzi et al. (2006), Minuzzi (2010) e Blain e Lulu (2011) e comprovado no presente estudo, há um aumento na tendência das temperaturas na maioria das cidades na região Norte do Brasil. Este aumento varia por cada localidade, e as causas podem ser devido mudanças naturais de clima ou decorrente da atividade humana. Neste, alguns aumentos nos extremos das temperatura foram favorecidas por forçantes de escala local.



## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho realizado com dados observacionais, em que na primeira parte, analisou-se os eventos de friagens sobre a Bacia Amazônica Brasileira desde 1980 a 2013, destacando eventos que conseguiram alcançar a linha do equador (Iauaretê) e a estrutura vertical da atmosfera. Enquanto a segunda parte caracterizou-se na verificação das tendências climáticas dos extremos das temperaturas com inclusão da cidade de Conceição do Araguaia (PA), para o mesmo período de dados. Neste último, aplicaram-se os testes de significância estatística de Mann-Kendall e as estimativas de tendência linear através do método de Sen. Por fim, tentou-se quantificar as intensidades dos casos de friagens desde Vilhena a Manaus, e as tendências climáticas relacionando-as com as taxas de desflorestamento sobre a mesma região.

Em relação aos eventos de friagens destacou-se que, 68 eventos foram classificados como friagens cujo deslocamento compreendeu desde Vilhena (sul da Bacia Amazônica) até a cidade de Manaus (Amazônia Central). A maioria destas incursões ocorreram no mês de julho, como foi também constatado em outros trabalhos. As anomalias negativas da  $T_{mín}$  para as cidades de Vilhena, Porto Velho, Rio Branco, Tabatinga, Manicoré e Manaus variaram de 2,4 °C (Manaus) a 13,1 °C (Rio Branco). A  $T_{máx}$  apresentou valores de anomalias negativas com grande declínio, os quais variaram em Manaus em 5,1 °C até 16,8 °C e 17,1 °C em Vilhena e Rio Branco, respectivamente. Desses eventos, comprovou-se que existem eventos que conseguiram alcançar a linha do equador, como demonstrado pela comprovação na cidade de Iauaretê. Dos totais encontrados, 23 atingiram esta cidade com declínio tanto na temperatura máxima como na temperatura mínima, porém os valores mais significativos foram observados na  $T_{máx}$ .

Sobre a variabilidade interanual, observou-se que, durante os eventos de El Niño há uma frequência maior dessas intrusões de ar frio quando comparado com os anos de La Niña. Entretanto, quando as anomalias negativas de temperatura da superfície do mar estiverem persistentes (anos de La Niña), a intensidade dos casos se tornaram bem significativos. Ao analisar a estrutura vertical de Rio Branco, Tabatinga e Manaus, percebeu-se que a massa de ar fria perdeu suas propriedades iniciais ao deslocar para latitudes baixas, os quais foram perceptíveis na cidade de Manaus - sem inversão frontal, enquanto em Rio Branco claramente apresentou essa característica. As componentes zonal e meridional também modificaram no dia D0, a primeira era de oeste em D-2 e no dia D0 se tornou proveniente de leste, a segunda componente, como foi principalmente salientada, mudou do quadrante norte (D-2)

para o quadrante sul (D0).

Além dessas características, foi evidente que existe um padrão de escala sinótica de baixos e médios níveis atmosféricos que conduzem ao efeitos significativos das incursões frias, e como consequências atingem as cidades de estudo com mais intensidades. Como verificado por outros trabalhos e no presente, o padrão da pressão ao nível médio do mar apresentou características semelhantes ao trabalho de (RICARTE et al., 2014), os quais destacam-se, os CP1, CP2 e CP3.

Em relação as tendências climáticas analisadas, verificaram-se que em quase todas as cidades, excetuando Tabatinga nos decênios, apresentaram tendências positivas tanto na temperatura mínima como na temperatura máxima, quando comparadas aos acréscimos verificados na cidade de Conceição do Araguaia. Variabilidades interanual e decadal influenciaram em alguns períodos as elevações constatadas no presente estudo, porém, fatores locais (desflorestamento) em outros períodos sobrepueram os fatores de escala global. Este comportamento foi perceptível, além de Conceição do Araguaia, em Porto Velho, Vilhena e Manicoré. Tabatinga, localizada no extremo oeste do estado do Amazonas, apresentou característica distinta quando averigou-se o comportamento decenal das tendências positivas para todo o período compreendido, os quais comportaram-se de forma intercaladas, porém, para toda a série temporal, apresentou tendência positiva reduzida, acrescenta-se a este comportamento a maior área florestada, com a taxa da área desflorestada de 4,8%. A cidade de Vilhena, por apresentar dentre todas as cidades, taxas elevadas de desflorestamento com relação a sua área total, mostrou um forte acréscimo na temperatura máxima nas últimas décadas de 1,9 °C quando comparado com Conceição do Araguaia (0,9 °C).

Também acrescenta-se que, com o conjunto de dados do presente estudo foi difícil observar o efeito individual do desflorestamento, tanto nas intensidades das friagens como nas tendências climáticas, sendo necessário destacar as variabilidades de curto e longo prazo. As fortes anomalias negativas dos extremos de temperatura ocorreram tanto nas décadas anteriores (década de 80) como na atual (década 00). Entretanto, a combinação de fatores de escala sinótica juntamente com as condições de La Niña e áreas desflorestadas, conduzem a um deslocamento dos ventos de sul frios, alcançando desta maneira as cidades mais ao sul do estado do Amazonas, em especial a cidade de Manicoré. Contudo, fica evidente que há aumento significativo das temperatura máxima e mínima nas cidades analisadas, principalmente as que apresentaram as maiores taxas de desflorestamento da região (Conceição do

Araguaia, Manicoré, Porto Velho e Vilhena).

### 6.1 Sugestões Futuras

- Estudar o comportamento dos aerossóis e o fluxo de metano nas áreas de floresta nativa e desflorestada durante as incursões de ar frio.
- Analisar dados observacionais a partir de uma série longa para a Amazônia, maior que 34 anos de dados ou de uma reanálise de décadas.
- Fazer uma climatologia dos dados observacionais para a variável do vento (velocidade e direção) em áreas de floresta e desflorestado, e assim averiguar as mudanças durante as últimas décadas.
- Comparar os dados observados dos perfis verticais disponíveis de campanhas (Mini-Barca entre outros) sobre a Amazônia e com os dados simulados pelos modelos, de tal forma que os dados de reanálises auxiliem em futuras pesquisas na Amazônia.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, F. S. M.; FISCH, G.; VENDRAME, I. F. Modificações do microclima e regime hidrológico devido ao desmatamento na amazônia: estudo de um caso em Rondônia (RO), Brasil. **Acta Amazônica**, v. 29, n. 3, p. 395–409, 1999. 16
- AMORIM NETO, A. C. **Estrutura e evolução de frentes frias intensas na região amazônica brasileira**. 182 p. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2013. 2, 12, 41, 68
- ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 185 p. INPE-14056-TDI/1067. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. Disponível em: <<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZ3P8SECKy/Gt9nD>>. Acesso em: 25 Nov. 2014., 2005. 45
- ANDREAE, M. O.; CRUTZEN, P. J. Atmospheric aerosols: Biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 276, n. 5315, p. 1052–1058, 1997. 1
- BACK, A. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 36, n. 5, p. 717–726, 2001. 23
- BALA, G.; CALDEIRA, K.; WICKETT, M.; PHILLIPS, T.; LOBELL, D.; DELIRE, C.; MIRIN, A. Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, National Acad Sciences, v. 104, n. 16, p. 6550–6555, 2007. 16
- BASTABLE, H.; SHUTTLEWORTH, W. J.; DALLAROSA, R.; FISCH, G.; NOBRE, C. A. Observations of climate, albedo, and surface radiation over cleared and undisturbed amazonian forest. **International Journal of Climatology**, Wiley Online Library, v. 13, n. 7, p. 783–796, 1993. 15, 61
- BJERKNES, J. On the structure of moving cyclones. **Monthly Weather Review**, v. 47, n. 2, p. 95–99, 1919. 2, 7
- BLAIN, G.; LULU, J. Valores anuais absolutos de séries diárias de temperatura máxima e mínima do ar no Estado de São Paulo: Tendências, periodicidades e probabilidades associadas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 29–40, 2011. 91

BLAIN, G. C. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no Estado de São Paulo: variações e tendências climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, SciELO Brasil, v. 25, n. 1, p. 114–124, 2010. 14

BLAIN, G. C.; PICOLI, M. C. A.; LULU, J. Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no Estado de São Paulo. **Bragantia**, SciELO Brasil, v. 68, n. 3, p. 807–815, 2009. 14

BRINKMANN, W.; RIBEIRO, M. G. Air temperatures in central amazonia. **Acta Amazonica**, v. 2, p. 51–56, 1971. 10

CHEN, T.-C.; YOON, J.-h.; CROIX, K. J. S.; TAKLE, E. S. Suppressing impacts of the amazonian deforestation by the global circulation change. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 82, n. 10, p. 2209–2216, 2001. 16

COLLINS, J. M.; CHAVES, R. R.; MARQUES, V. da S. Temperature variability over south america. **Journal of Climate**, v. 22, n. 22, p. 5854–5869, 2009. 13, 15, 77

COSTA, M. H.; FOLEY, J. A. Trends in the hydrologic cycle of the Amazon basin. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)**, Wiley Online Library, v. 104, n. D12, p. 14189–14198, 1999. 3

COX, P. M.; BETTS, R.; COLLINS, M.; HARRIS, P.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. **Theoretical and applied climatology**, Springer, v. 78, n. 1-3, p. 137–156, 2004. 1

COX, P. M.; BETTS, R. A.; JONES, C. D.; SPALL, S. A.; TOTTERDELL, I. J. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. **Nature**, Nature Publishing Group, v. 408, n. 6809, p. 184–187, 2000. 77

DAPOZZO, J.; DIAS, M. S. Um estudo de caso da penetração do ar polar em latitudes baixas: Julho de 1988. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro:SBMet, 1994. p. 601–606. 10

DETTINGER, M. D.; CAYAN, D. R.; MCCABE, G. J.; MARENGO, J. A. **Multiscale streamflow variability associated with El Nino/Southern oscillation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 41

EASTERLING, D. R.; HORTON, B.; JONES, P. D.; PETERSON, T. C.; KARL, T. R.; PARKER, D. E.; SALINGER, M. J.; RAZUVAYEV, V.; PLUMMER, N.; JAMASON, P. et al. Maximum and minimum temperature trends for the globe. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 277, n. 5324, p. 364–367, 1997. **13, 78**

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na amazônia brasileira: história, índices e conseqüências. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 113–123, 2005. **2, 78**

FEDOROVA, N.; CARVALHO, M. H. Processos sinóticos em anos de la niña e de el niño. parte 11: Zonas frontais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, n. 2, p. 57–72, 2000. **41, 45**

FERNANDES, D. O desmatamento e as variações climáticas no município de conceição de araguaia-pa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL: GESTÃO AMBIENTAL NAS ORGANIZAÇÕES, 2., 2011, Londrina. **Anais...** Rio de Janeiro:IBEAS, 2011. p. 601–606. **17, 86**

FISCH, G. **Camada limite amazônica: aspectos observacional e de modelagem**. 202 p. INPE-6123-TDI/584. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. Disponível em: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.30.17.33/doc/INPE-6123-TDI-584.pdf>>. Acesso em: 25 FEV. 2014., 1995. **2, 10, 11, 65, 72**

FISCH, G.; LEAN, J.; WRIGHT, I. R.; NOBRE, C. A. Simulações climáticas do efeito do desmatamento na região amazônica: Estudo de um caso em rondônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 12, n. 1, p. 33–48, 1997. **3, 16**

FORTUNE, M. A.; KOUSKY, V. E. Two severe freezes in Brazil: precursors and synoptic evolution. **Monthly weather review**, v. 111, n. 1, p. 181–196, 1983. **3**

GALVÃO, J. d. C.; FISCH, G. Balanço de radiação em área de pastagem na amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 1–10, 2000. **2**

GARREAUD, R. Cold air incursions over subtropical and tropical South America: a numerical case study. **Monthly Weather Review**, v. 127, n. 12, p. 2823–2853, 1999. **3**

GARREAUD, R. D. Subtropical cold surges: regional aspects and global distribution. **International Journal of Climatology**, Wiley Online Library, v. 21, n. 10, p. 1181–1197, 2001. **8, 9**

GASH, J.; NOBRE, C. Climatic effects of amazonian deforestation: Some results from abracos. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 5, p. 823–830, 1997. 2, 3

GILBERT, R. O. **Statistical methods for environmental pollution monitoring**. New York: John Wiley & Sons, 1987. 26, 28

GOOSSENS, C.; BERGER, A. et al. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and europe during the last century. **Annales Geophysicae**, v. 4, p. 385–400, 1986. 26

GRACE, J.; LLOYD, J.; MIRANDA, A. C.; MIRANDA, H.; GASH, J. Fluxes of carbon dioxide and water vapour over a c4 pasture in southwestern Amazonia (Brasil). **Functional Plant Biology**, CSIRO, v. 25, n. 5, p. 519–530, 1998. 1

HAMILTON, M. G.; TARIFA, J. Synoptic aspects of a polar outbreak leading to frost in tropical Brazil, july 1972. **Monthly weather review**, v. 106, n. 11, p. 1545–1556, 1978. 2, 9

HARMAN, J. R. Mean monthly north american anticyclone frequencies, 1950-79. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 11, p. 2840–2848, 1987. 8

HARTJENSTEIN, G.; BLECK, R. Factors affecting cold-air outbreaks east of the rocky mountains. **Monthly weather review**, v. 119, n. 9, p. 2280–2292, 1991. 8

HENDERSON-SELLERS, A.; DICKINSON, R. E.; DURBIDGE, T.; KENNEDY, P.; MCGUFFIE, K.; PITMAN, A. Tropical deforestation: Modeling local-to regional-scale climate change. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)**, Wiley Online Library, v. 98, n. D4, p. 7289–7315, 1993. 3

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Climanálise boletim de monitoramento e análise climática**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/rclimanl/boletim/>>. Acesso em: 20 Fev. 2015., 1998. 62

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/rclimanl/boletim/>>. Acesso em: 10 Fev. 2015., 2008. 67

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS.OBSERVAÇÃO DA TERRA (INPE.OBT). **Projeto Prodes - Monitoramento da Floresta Amazônica brasileira por satélite**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação Geral de Observação da Terra. São José dos Campos. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.Php>. Acesso em: 15 Dez. 2013, 2013. xvii, 26, 77, 86

KELLER, K.; GRECO, A.; SANTOS, R. dos; OLIVEIRA, M.; OLIVEIRA, L. Identificação de tendências climáticas no Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 22., Pelotas. **Anais...** Pelotas:UFpel, 2013. 14

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. London: Charles Griffin & Company, 1948. 26

KNIGHT, J.; BOSART, L. A modeling study of south american cold air damming and frontogenesis east of the andes. preprints. In: CONF. ON MOUNTAIN METEOROLOGY, 8., Flagstaff, AZ. **Proceedings...** AMS, 1998. p. 268–269. 8

KRISHNAMURTI, T.; KANAMITSU, M.; KOSS, W. J.; LEE, J. D. Tropical east-west circulations during the northern winter. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 30, n. 5, p. 780–787, 1973. 83

LONGO, M.; CAMARGO, R.; DIAS, M. S. Análise das características dinâmicas e sinóticas de um evento de friagem durante a estação chuvosa no sudeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 59–72, 2004. 2, 65, 68

MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G.; CULF, A.; SCOTT, S. Carbon dioxide transfer over a central amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)**, Wiley Online Library, v. 103, n. D24, p. 31593–31612, 1998. 1

MALHI, Y.; ROBERTS, J. T.; BETTS, R. A.; KILLEEN, T. J.; LI, W.; NOBRE, C. A. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 319, n. 5860, p. 169–172, 2008. 1, 77

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, JSTOR, p. 245–259, 1945. 26

MANTUA, N. J.; HARE, S. R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J. M.; FRANCIS, R. C. A pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 6, p. 1069–1079, 1997. [xiii](#), [23](#)

MARENGO, J. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte Brasileiro. **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**, Associação Brasileira de Recursos Hídricos FBMC/ANA, v. 9, p. 117–161, 2003. [15](#), [91](#)

MARENGO, J.; CORNEJO, A.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.; SEA, W. Cold surges in tropical and extratropical South America: the strong event in June 1994. **Monthly Weather Review**, v. 125, n. 11, p. 2759–2786, 1997b. [2](#)

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, Ministério do Meio Ambiente, 2006a. [1](#)

\_\_\_\_\_. On the hydrological cycle of the Amazon basin: A historical review and current state-of-the-art. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 1–19, 2006b. [1](#)

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of Climatology**, Wiley Online Library, v. 28, n. 7, p. 893–904, 2008. [13](#)

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CULF, A. D. Climatic impacts of deforestation in forested and deforested areas of the Amazon Basin. **Journal of Applied Meteorology**, v. 36, n. 11, p. 1553–1566, 1997a. [2](#), [11](#), [61](#), [65](#)

MEDVIGY, D.; WALKO, R. L.; AVISSAR, R. Simulated links between deforestation and extreme cold events in South America. **Journal of Climate**, v. 25, n. 11, p. 3851–3866, 2012. [17](#)

MINUZZI, R. B. Tendências na variabilidade climática de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 14, n. 12, p. 1288–1293, 2010. [91](#)

MINUZZI, R. B.; CARAMORI, P. H.; BORROZINO, E. Tendências na variabilidade climática sazonal e anual das temperaturas máxima e mínima do ar no Estado do Paraná. **Bragantia**, SciELO Brasil, v. 70, n. 2, p. 471–479, 2011. [14](#)

- MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N. da; VIANELLO, R. L. Influência do fenômeno climático el niño no período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Geografia (Londrina)**, v. 15, n. 2, p. 5–19, 2006. [91](#)
- MÜLLER, G. V.; COMPAGNUCCI, R.; NUÑEZ, M. N.; SALLES, A. Surface circulation associated with frost in the wet Pampas. **International journal of climatology**, Wiley Online Library, v. 23, n. 8, p. 943–961, 2003. [54](#)
- MYERS, V. A. A cold front invasion of southern venezuela. **Mon. Wea. Rev**, Citeseer, v. 92, p. 513–521, 1964. [2](#), [9](#), [61](#)
- NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, v. 4, n. 10, p. 957–988, 1991. [3](#), [77](#)
- OLIVEIRA, P. J. de; ROCHA, E. J. P. da; FISCH, G.; KRUIJT, B.; BATISTA, J.; RIBEIRO, M. Efeitos de um evento de friagem nas condições meteorológicas na amazônia: um estudo de caso. **Acta amazônica**, SciELO Brasil, v. 34, n. 4, p. 613–619, 2004. [2](#), [11](#), [65](#)
- OLIVEIRA, R. A. J.; ANGELIS, C. Características e tendências da precipitação estimada por satélite sobre uma região de intenso desmatamento na amazônia legal: Uma comparação entre áreas de floresta e desmatadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR, 15., 2011, Curitiba, PR. **Anais...** São José dos Campos:INPE, 2011. v. 30, p. 2263. [27](#), [28](#)
- PARMENTER, F. C. A southern hemisphere cold front passage at the equator. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 57, n. 12, p. 1435–1440, 1976. [3](#), [10](#)
- PETERSON, W. T.; MORGAN, C. A.; CASILLAS, E.; FISHER, J. L.; FERGUSON, J. W. **Ocean ecosystem indicators of salmon marine survival in the Northern California Current**. [S.l.]: US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Northwest Fisheries Science Center, 2010. [78](#)
- QUADRO, M. F. L. d.; DIAS, M. S.; GONCALVES, L.; HERDIES, D.; BERBERY, E. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da zcas através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, SciELO Brasil, v. 27, n. 2, p. 152–162, 2012. [22](#)
- RAMAGE, C. **Monsoon meteorology**. San Diego, CA: Academic Press, New York and London: International Geophysics Series, 1971. [8](#)

RIBEIRO, B. Z. **Climatologia sinótica das frentes quentes no sudeste da América do Sul**. 171 p. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/3FL69TE>>. Acesso em: 20 Mar. 2015., 2014.

7

RICARTE, R. M. D.; HERDIES, D. L.; BARBOSA, T. F. Patterns of atmospheric circulation associated with cold outbreaks in southern amazonia. **Meteorological Applications**, Wiley Online Library, 2014. 2, 12, 25, 37, 38, 41, 54, 55, 61, 94

RUSTICUCCI, M.; VARGAS, W. Cold and warm events over argentina and their relationship with the enso phases: risk evaluation analysis. **International journal of climatology**, Wiley Online Library, v. 22, n. 4, p. 467–483, 2002. 41

SAHA, S.; MOORTHY, S.; PAN, H.-L.; WU, X.; WANG, J.; NADIGA, S.; TRIPP, P.; KISTLER, R.; WOOLLEN, J.; BEHRINGER, D. et al. The ncep climate forecast system reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, American Meteorological Society, v. 91, n. 8, p. 1015–1057, 2010. 21

SALATI, E.; MARQUES, J. Climatology of the amazon region. In: SIOLI, H. (Ed.). **The Amazon**. [S.l.]: Springer, 1984. p. 85–126. 1

SALATI, E.; SALATI, E.; CAMPANHOL, T.; NOVA, N. V. Tendências de variações climáticas para o Brasil no século xx e balanços hídricos para cenários climáticos para o século xxi. **Brasília:MMA.SBF.DCbio**, Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade, 2007. 78

SALMI, T. **Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen’s slope estimates-the Excel template application MAKESENS**. Helsinki,Finland: Finnish Meteorological Institute, 2002. 25, 29

SAMPAIO, G. **Conseqüências climáticas da substituição gradual da floresta Tropical Amazônica por pastagem degradada ou por plantação de soja: um estudo de modelagem**. 417 p. INPE-15263-TDI/1346. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/02.28.17.17>>. Acesso em: 19 MAR. 2015., 2008. 3

SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M. H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. Regional climate change over eastern

- amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 34, n. 17, 2007. 77, 78
- SANCHO, S. F. Análisis de los friajes en la amazônia peruana durante el mes de julio del 2000. **Revista de Trabajos de Investigación CNDG-Sismologia Instituto Geofísico del Perú**, v. 2, p. 21–30, 2001. 3
- SANSIGOLO, C.; RODRIGUEZ, R.; ETCHICHURY, P. Tendências nas temperaturas médias do brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE DE METEOROLOGIA, 7., 1992, São Paulo. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1992. p. 367–371. 14
- SANTOS NETO, L. A.; NÓBREGA, R. S. Friagens em Porto Velho (RO) - parte ii: possíveis correlações entre os índices do pacífico e a variabilidade sazonal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo. **Anais..** Rio de Janeiro: SBMet, 2008. 45
- SATYAMURTY, P.; LIMA, L. C. E. Movimento e intensificação de anticiclones extratropicais na região sul americana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro:SBMet, 1994. p. 75–77. 3, 8, 24, 38, 41
- SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**, Taylor & Francis Group, v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968. 28
- SERRA, A. B.; RATISBONNA, L. As massas de ar da América do Sul. 1942. 9
- SILVA, M.; LYRA, R.; SOUZA, S. Modificação na camada limite noturna em função do desmatamento no oeste da amazônia: projeto rble. **Revista Água e Atmosfera**, Núcleo de Meteorologia e Recursos Hídricos (NMRH), Maceió, Alagoas, v. 2, p. 27–31, 1998. 16
- SILVEIRA, V. P.; GAN, M. A. Estudo de tendência das temperaturas mínimas na região sul do brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2006. p. 189–195. 26
- SILVESTRE, M.; SANT'NNA NETO, J.; FLORES, E. Critérios estatísticos para definição de anos-padrão: uma contribuição para à climatologia geográfica. **Formação (Online)**, v. 2, p. 23–53, 2012. 32

- SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon Basin. **Nature**, Nature Publishing Group, v. 440, n. 7083, p. 520–523, 2006. 1
- STRETEN, N.; ZILLMAN, J. Climate of the south pacific ocean. **World survey of climatology**, Elsevier Amsterdam, v. 15, p. 263–429, 1984. 83
- THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis**. Geneva: World Meteorological Organization, 1966. 23
- TILLEY, J. S. **On the application of edge wave theory to terrain-bounded cold surges: a numerical study**. 353 p. Dissertação (Mestrado) — Ph.D. dissertation - The Pennsylvania State University, University Park, PA, 1990. 8
- VIANA, L.; SILVA, M. Efeitos de incursão de ar frio na amazônia em julho de 2010: Estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17., 2012, Gramado. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2012. 3, 12, 65, 69
- VICTORIA, R.; MARTINELLI, L.; MORAES, J.; BALLESTER, M.; KRUSCHE, A.; PELLEGRINO, G.; ALMEIDA, R.; RICHEY, J. Surface air temperature variations in the Amazon region and its borders during this century. **Journal of Climate**, v. 11, n. 5, p. 1105–1110, 1998. 15, 78
- VILHENA, J. E. de S.; GOMES, N. de V.; DANTAS, V. de A. Simulação numérica de um evento de friagem na estrutura da atmosfera da Amazônia ocidental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2010. 11
- VINCENT, L. A.; PETERSON, T.; BARROS, V.; MARINO, M.; RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.; ALVES, L.; AMBRIZZI, T.; BERLATO, M. et al. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. **Journal of climate**, v. 18, n. 23, p. 5011–5023, 2005. 15
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Climatic change**. 79. ed. Geneva, 1966. Technical Note. 23
- \_\_\_\_\_. **Global ozone research and monitoring project, in Scientific Assessment of Ozone Depletion**. 47. ed. Geneva, 2003. Technical Note. 31