



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

**Nº de ordem: MET – UFAL – MS – 050**

**TERMODINÂMICA DA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA NA  
AMAZÔNIA (TECLA) - INFLUÊNCIA DOS EFEITOS LOCAIS E DOS  
FENÔMENOS DE MESOESCALA**

**Mônica Rodrigues de Queiroz**

**Maceió – AL**

**2008**



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

**Nº de ordem: MET – UFAL – MS – 050**

**TERMODINÂMICA DA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA NA  
AMAZÔNIA (TECLA) - INFLUÊNCIA DOS EFEITOS LOCAIS E DOS  
FENÔMENOS DE MESOESCALA**

**Mônica Rodrigues de Queiroz**

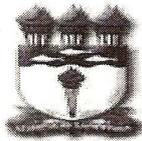
Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, para obtenção do título de Mestre em Meteorologia – área de concentração em Processos de Superfície Terrestre.

Orientador: **Prof. Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra**

Doutor em Física da Atmosfera

**Maceió – AL**

**Maior de 2008**



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

## **CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO**

**N.º de ordem: MET-UFAL-MS-050.**

**“Termodinâmica da Camada Limite Atmosférica na Amazônia (TECLA) –  
Influência dos Efeitos Locais e dos Fenômenos de Mesoescala”**

**MÔNICA RODRIGUES DE QUEIROZ**

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

Aprovada pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra  
(Orientador)

Prof. Dr. Leonardo Deane de Abreu Sá  
(Membro Externo - INPE)

Prof. Dr. Marcos Antônio Lima Moura  
(Membro)

**- Maceió - Al -**

**maio/2008**

A meus pais, **Antônio Audmard de Queiroz Filho** e **Vania dos Santos Rodrigues**,  
pelo amor, educação, paciência e confiança depositada em mim.

Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da Vida e por estar sempre a meu lado nos momentos em que tive dúvidas entre a ciência e a fé.

A meu orientador Prof. Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra, pela amizade, apoio, dedicação e principalmente ensinamentos à minha formação de Mestre.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPEAL, por ter me concedido o financiamento da minha Pós-Graduação, através da bolsa de mestrado.

A todo o corpo docente do Departamento de Meteorologia, responsáveis pela minha formação acadêmica: Dr. Marco Antônio Lima Moura, Msc. Marco Antônio Maringolo Lemes, Dr. José Leonaldo de Souza, Dr. Manoel Toledo, Dr. Luís Carlos Baldicero Molion, Dra. Natalia Fedorova, Dr. Vladimir Levit, Dr. Ricardo Amorim, Dr. Humberto Barbosa.

A minha amiga e colega, Maria de Fátima B. Novas pela ajuda em todos os momentos de minha estada longe de casa.

A meus amigos e colegas do GAMA – Grupo Alagoano de Micrometeorologia Aplicada, Theomar Neves e Gabriel Costa, que me deram apoio e estímulo durante o percurso de minha vida acadêmica.

Ao amigo Gilberto Freitas que de longe sempre me deu forças e apoio para conquistar mais uma etapa em minha carreira.

A minha Família que sempre me apoiou em minhas decisões.

A todos, muito obrigado!

"O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário".

(Einstein)

## RESUMO

QUEIROZ, Mônica Rodrigues de. TERMODINÂMICA DA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA NA AMAZÔNIA (TECLA) - INFLUÊNCIA DOS EFEITOS LOCAIS E DOS FENÔMENOS DE MESOESCALA. Orientador: Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra. Maceió – AL, 2008. Dissertação (Mestrado em Meteorologia).

Foi realizado um estudo com o objetivo de investigar a influência dos efeitos locais e de escala maior sobre a termodinâmica da CLA na região Oeste da Amazônia (Rondônia) em área de floresta nativa e de pastagem em três estações: seca, chuvosa e de transição (seca para chuvosa). Foram utilizados dados de superfície; de altitude (radiossondagens) e imagens de satélite de 3 experimentos: RBLE-3 (agosto – 1994), WET AMC/LBA (fevereiro – 1999) e DRY TO WETAMC/LBA (outubro – 2002). As condições meteorológicas durante os três experimentos foram típicas do período do ano em que os mesmos se desenvolveram e as diferenças entre as áreas floresta e pastagem foram pequenas. Foram estudados 45 casos de comportamento atípicos da CLA (22 na floresta e 23 na pastagem). Eles estiveram sempre ligados a fenômenos de pequena escala, na sua maioria ventos fortes. A abordagem adotada não permitiu encontrar relação direta entre as particularidades da CLA com fenômeno de meso ou grande escala. As particularidades na estação seca ocorrem preferencialmente em dias de vento forte. Durante a estação chuvosa todos os casos de particularidade ocorreram em dias chuvosos. Na estação de transição a maioria dos casos de particularidade também ocorreu em dias com chuva sendo ainda verificados 3 casos de vento forte e 1 JBN.

## ABSTRACT

QUEIROZ, Mônica Rodrigues de. TERMODINÂMICA DA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA NA AMAZÔNIA (TECLA) - INFLUÊNCIA DOS EFEITOS LOCAIS E DOS FENÔMENOS DE MESOESCALA. Adviser: Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra. Maceió - AL, 2008. Dissertation (Master in Meteorology).

On the purpose of studying the influence of local and synoptic effects over the western Amazonia (Rondônia State) ABL's thermodynamics above forest and pasture areas, three different seasons were chosen for analyses: Dry season, Wet season and dry to wet transition season. Surface Weather Station's, radiosonde and satellite data from three different experiments, RBLE-3 (August – 1994), WET AMC/LBA (February – 1999) e DRY TO WETAMC/LBA (October – 2002) were used for the research. The weather conditions during the three experiments were typical, according to the season when each one happened, and no remarkable differences were noticed between the forest and pasture. 45 cases of ABL atypical behavior were found (22 in the forest and 23 in the pasture), which were always related to micrometeorological-scale phenomena, usually strong winds. The method used in this research did not allow us to find direct relationships between the ABL particularities and synoptic-scaled phenomena. The Dry season particularities usually occur in days with strong winds. During the Wet season all the atypical occurrences were in raining days. In the dry to wet season, all the atypical occurrence were also in raining days, furthermore were noticed 3 occurrences of strong wind and 1 of LLJ.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABLE	Atmosféric Boundary Layer Experiment
ABRACOS	Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study
AL	Atmosfera Livre
AMC	Atmospheric Mesoscale Campaign
CAPE	Energia Potencial Convectiva Disponível
CGM	Modelos de Circulação Geral
CINE	Energia de Inibição da Convecção
CLA	Camada Limite Atmosférica
CLA <sub>c</sub>	Camada Limite Atmosférica Continental
CLC	Camada Limite Convectiva
CLE	Camada Limite Estável
CLN	Camada Limite Noturna
CLS	Camada Limite Superficial
CM	Camada de Mistura
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Clima
CR	Camada Residual
CT	Camada de Transição
EMAS	Estação Meteorológica Automática de Superfície
GOES	Satélite Geoestacionário
GrADS	Grid Analysis and Display System
HL	Hora Local
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
JBN	Jato de Baixo Nível
LBA	Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia
MCGA	Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
NCEP	National Center for Environmental Prediction
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
RAMS	Regional Modeling Meteorological System
RBLE	Rondônia Boundary Layer Experiment
SCL	Sub-Camada Laminar

SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SCV	Sub-Camada Viscosa
ZE	Zona de Entranhamento
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
Zi	Atura da CLA
Zc	Atura da CLS

## LISTA DE SÍMBOLOS

$C_{pa}$	Calor específico do ar seco a pressão constante	[J.kg <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> ]
$\overline{dd}$	Direção média do vento resultante	[graus]
$e$	Pressão parcial de vapor	[hPa]
$e_w$	Pressão de vapor de saturação	[hPa]
$\overline{ff}$	Velocidade média do vento resultante	[m.s <sup>-1</sup> ]
$g$	Aceleração da gravidade	[m.s <sup>-1</sup> ]
NCL	Nível de condensação por levantamento	[m]
NE	Nível de equilíbrio	[m]
$P$	Pressão atmosférica	[hPa]
$P_s$	Pressão atmosférica em superfície	[hPa]
$q$	Umidade específica	[g.kg <sup>-1</sup> ]
$r$	Razão de mistura	[g.kg <sup>-1</sup> ]
$R_a$	Constante específica do ar seco	[J.kg <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> ]
$R_b$	Número de Richardson de Bulk	[adimensional]
$R_n$	Saldo de radiação	[W.m <sup>-2</sup> ]
$T$	Temperatura do ar	[°C]
$u$	Componente meridional do vento	[m.s <sup>-1</sup> ]
UR	Umidade relativa	[%]
$v$	Componente zonal do vento	[m.s <sup>-1</sup> ]
$Z$	Altura	[m]
$Z_i$	Altura da Camada Limite Atmosférica	[m]
$\Theta$	Temperatura potencial	[K]
$\Theta_v$	Temperatura potencial virtual	[K]
$\Theta_{ep}$	temperatura potencial equivalente da parcela	[K]
$\Theta_{esa}$	temperatura potencial equivalente saturada do ambiente	[K]
$\varphi$	Direção do vento	[graus]
$v$	Velocidade do vento	[m.s <sup>-1</sup> ]

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

		Página
Figura 1	Evolução temporal da Camada Limite Atmosférica (CAMPOS, 2004).	5
Figura 2	Localização dos sítios dos experimentais.	14
Figura 3	Exemplo de estimativa da altura da Camada Limite Atmosférica diurna (a) e Camada Limite Atmosférica noturna (b)	22
Figura 4	Saldo de radiação médio horário para a floresta e pastagem no período de 14 a 23 de agosto de 1994	27
Figura 5	Temperatura do ar média horária para floresta e pastagem no período de 14 a 23 de agosto de 1994	28
Figura 6	Umidade específica média horária para floresta e pastagem no período de 14 a 23 de agosto de 1994	29
Figura 7	Média horária da velocidade do vento para floresta e pastagem no período de 14 a 23 de agosto de 1994	30
Figura 8	Direção do vento média horária na floresta e pastagem no período de 14 a 23 de agosto de 1994	30
Figura 9	Evolução espaço-temporal da temperatura potencial virtual na floresta (a) e pastagem (b) na estação seca	31
Figura 10	Evolução espaço-temporal da umidade específica na floresta (a) e pastagem (b) na estação seca	32
Figura 11	Evolução espaço-temporal da velocidade do vento na floresta (a) e pastagem (b) na estação seca	33
Figura 12	Saldo de radiação médio horário para floresta e pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999	36
Figura 13	Temperatura do ar média horária para floresta e pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999	37
Figura 14	Umidade específica média horária para floresta e pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999	38
Figura 15	Média horária da velocidade do vento para floresta e pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999	38
Figura 16	Direção do vento média horária para floresta e pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999	39

Figura 17	Ciclo horário da precipitação para floresta e pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999	40
Figura 18	Evolução espaço-temporal da temperatura potencial virtual na floresta (a) e pastagem (b) na estação chuvosa	41
Figura 19	Evolução espaço-temporal da umidade específica na floresta (a) e pastagem (b) na estação chuvosa	42
Figura 20	Evolução espaço-temporal da velocidade do vento na floresta (a) e pastagem (b) na estação chuvosa	43
Figura 21	Saldo de radiação médio horário para floresta e pastagem no período de 15 a 29 de outubro de 2002	45
Figura 22	Temperatura do ar média horária para floresta e pastagem no período de 15 a 29 de outubro de 2002	46
Figura 23	Umidade específica média horária para floresta e pastagem no período de 15 a 29 de outubro de 2002	47
Figura 24	Média horária da velocidade do vento para floresta e pastagem no período de 15 a 29 de outubro de 2002	48
Figura 25	Direção do vento média horária para floresta e pastagem no período de 15 a 29 de outubro de 2002	48
Figura 26	Ciclo horário da precipitação para floresta e pastagem no período de 15 a 29 de outubro de 2002	49
Figura 27	Evolução espaço-temporal da temperatura potencial virtual na floresta (a) e pastagem (b) na estação de transição	50
Figura 28	Evolução espaço-temporal da umidade específica na floresta (a) e pastagem (b) na estação de transição	51
Figura 29	Evolução espaço-temporal da velocidade do vento na floresta (a) e pastagem (b) na estação de transição	52
Figura 30	Número de observações dos casos atípicos encontrados durante a estação seca em área de floresta e pastagem	54
Figura 31	Número de observações dos casos atípicos encontrados durante a estação chuvosa em área de floresta e pastagem	54
Figura 32	Número de observações dos casos atípicos encontrados durante a estação de transição em área de floresta e pastagem	54
Figura 33	Evolução horária das variáveis em superfície para pastagem no dia 19	

	de agosto de 1994	63
Figura 34	Perfil de temperatura potencial virtual para dia 19/08 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d)	64
Figura 35	Perfil de umidade especifica para dia 19/08 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d)	65
Figura 36	Perfil de velocidade do vento para dia 19/08 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d)	66
Figura 37	Imagem de satélite no canal infravermelho para o dia 19/08. Sendo (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL	67
Figura 38	Diagrama Skew-T para o dia 19/08, 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL.	68
Figura 39	Evolução horária das variáveis em superfície para floresta no dia 8 de fevereiro de 1999	72
Figura 40	Perfil de temperatura potencial virtual para dia 08/02 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d)	73
Figura 41	Perfil de umidade especifica para dia 08/02 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d)	74
Figura 42	Perfil de velocidade do vento para dia 08/02 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c)	75
Figura 43	Imagem de satélite no canal infravermelho para o dia 08/02. Sendo (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL	76
Figura 44	Diagrama Skew-T para o dia 08/02, (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL.	77
Figura 45	Evolução horária das variáveis em superfície para pastagem para o dia 25 de outubro de 2002	80
Figura 46	Perfil de temperatura potencial virtual para dia 25/10 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d)	81
Figura 47	Perfil de umidade especifica para dia 25/10 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e	

	média de 17 HL (d)	82
Figura 48	Perfil de velocidade do vento para dia 25/10 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d)	83
Figura 49	Imagem de satélite no canal infravermelho para o dia 25/10. Sendo (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL	84
Figura 50	Diagrama Skew-T para o dia 25/10, (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL.	85
Figura 51	Evolução horária das variáveis em superfície para floresta no dia 27 de outubro de 2002	89
Figura 52	Perfil de temperatura potencial virtual para dia 27/10 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d)	90
Figura 53	Perfil de umidade específica para dia 27/10 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d)	91
Figura 54	Perfil de velocidade do vento para dia 27/10 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d)	92
Figura 55	Imagem de satélite no canal infravermelho, para o dia 27/10. Sendo (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL	93
Figura 56	Diagrama Skew-T para o dia 27/10, (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL.	94
Figura A1	Série temporal floresta (estação seca)	106
Figura A2	Série temporal pastagem (estação seca)	108
Figura B1	Série temporal floresta (estação chuvosa)	110
Figura B2	Série temporal pastagem (estação chuvosa)	112
Figura C1	Série temporal floresta (estação de transição)	114
Figura C2	Série temporal pastagem (estação de transição)	116
Figura E1	Velocidade do vento (a), temperatura potencial virtual (b), umidade específica (c) e número de Richardson Bulk (d), para o dia 18 de agosto de 1994 na floresta	126
Figura E2	Velocidade do vento (a), temperatura potencial virtual (b), umidade específica (c) e número de Richardson Bulk (d) para o dia 29 de outubro de 2002 na pastagem	127

**LISTA DE TABELAS**

	Página
Tabela 1	Radiossondagens utilizadas no estudo, (a) floresta estação seca, (b) pastagem estação seca, (c) floresta estação chuvosa, (d) pastagem estação chuvosa, (e) floresta estação de transição e (f) pastagem estação de transição. 17
Tabela 2	Critérios propostos por de Bonner (1968) 24
Tabela 3	Critérios propostos por de Whiteman et al. (1997) 24
Tabela 4	Parâmetros para dias com particularidades na estação seca 57
Tabela 5	Parâmetros para dias com particularidades na estação chuvosa 58
Tabela 6	Parâmetros para dias com particularidades na estação de transição 59
Tabela D1	Valores diários para o sitio de Floresta na estação seca 117
Tabela D2	Valores diários para o sitio de Pastagem na estação seca 118
Tabela D3	Valores diários para o sitio de Floresta na estação chuvosa 119
Tabela D4	Valores diários para o sitio de Pastagem na estação chuvosa 120
Tabela D5	Valores diários para o sitio de Floresta na estação de transição 121
Tabela D6	Valores diários para o sitio de Pastagem na estação de transição 122
Tabela E1	Jatos de Baixos Níveis – JBNS 124

**LISTA DE EQUAÇÕES**

		Página
1	Temperatura potencial virtual	18
2	Temperatura potencial	18
3	Razão de mistura	18
4	Pressão de vapor	19
5	Umidade específica	19
6	Componente Zonal e Meridional do vento	19
7	Média da componente zonal	20
8	Média da componente meridional	20
9	Velocidade média do vento	20
10	Direção média do vento 1	21
11	Direção média do vento 2	21
12	Número de Richardson de Bulk	21
13	Gradiente de temperatura potencial virtual médio	21
14	CAPE – Energia Potencial Convectiva Disponível	23
15	CINE – Energia de Inibição da Convecção	23

## SUMÁRIO

	Página
<b>1 – Introdução</b>	1
<b>2 – Revisão Bibliográfica</b>	3
2.1 – Camada Limite Atmosférica (CLA)	3
2.2 – A Amazônia brasileira, experimentos e resultados	6
<b>3 – Materiais e métodos</b>	13
3.1 – Localização da área em estudo	13
3.2 – Climatologia da região	15
3.3 – Dados utilizados	15
3.3.1 – Dados superfície	16
3.3.2 – Dados de radiossondagens	16
3.3.3 – Dados de satélite	16
3.4 – Variáveis calculadas	18
3.5 – Evolução espaço-temporal	22
3.6 – Determinação da altura da Camada Limite Atmosférica	22
3.7 – Estrutura termodinâmica da CLC	23
3.8 – Jatos de Baixos Níveis (JBNs)	24
<b>4 – Resultados e discussão</b>	25
4.1 – Estação seca	25
4.1.1 – Aspectos sinóticos	25
4.1.2 – Ciclo médio diário	26
4.1.2.1 – Saldo de radiação	26
4.1.2.2 – Temperatura do ar	27
4.1.2.3 – Umidade específica	28
4.1.2.4 – Velocidade do vento	29
4.1.2.5 – Direção do vento	30
4.1.3 – Evolução espaço-temporal	31
4.2 – Estação chuvosa	33
4.2.1 – Aspectos sinóticos	33
4.2.2 – Ciclo médio diário	35

4.2.2.1 – Saldo de radiação	35
4.2.2.2 – Temperatura do ar	36
4.2.2.3 – Umidade específica	37
4.2.2.4 – Velocidade do vento	38
4.2.2.5 – Direção do vento	39
4.2.2.6 – Precipitação	39
4.2.3 – Evolução espaço-temporal	40
4.3 – Estação de transição	43
4.3.1 – Aspectos sinóticos	43
4.3.2 – Ciclo médio diário	45
4.3.2.1 – Saldo de radiação	45
4.3.2.2 – Temperatura do ar	46
4.3.2.3 – Umidade específica	46
4.3.2.4 – Velocidade do vento	47
4.3.2.5 – Direção do vento	48
4.3.2.6 – Precipitação	49
4.3.3 – Evolução espaço-temporal	49
4.4 – Particularidades da Camada Limite Atmosférica (CLA)	52
4.2.1 – Relação entre as particularidades e outros parâmetros	55
4.4.2 – Estudo de casos	60
4.4.1.1 – Dia 19 de agosto de 1994 na pastagem	60
4.4.1.2 – Dia 8 de fevereiro de 1999 na floresta	69
4.4.1.3 – Dia 25 de outubro de 2002 na pastagem	78
4.4.1.4 – Dia 27 de outubro de 2002 na floresta	86
<b>5 – Conclusões</b>	95
<b>6 – Referências bibliográficas</b>	97
<b>Apêndice A – Série temporal para a estação seca</b>	105
<b>Apêndice B – Série temporal para a estação chuvosa</b>	109
<b>Apêndice C – Série temporal para a estação de transição</b>	113
<b>Apêndice D - Valores diários da série temporal</b>	117
<b>Apêndice E – Jato de Baixos Níveis (JBNS)</b>	123

## 1 – INTRODUÇÃO

A importância da Floresta Amazônica para a humanidade não reside apenas no papel que desempenha para o equilíbrio ecológico mundial, além de ser um ecossistema extremamente complexo e delicado, tendo grande importância na estabilidade ambiental da Terra. Também se constitui numa riquíssima fonte de matéria-prima alimentar, florestal, medicinal, energética e mineral. A Amazônia é uma grande fonte global de calor e vapor d'água para a atmosfera, pois ela cobre uma vasta área da região tropical, onde a troca de energia entre a superfície e a atmosfera é a maior do planeta (GASH et al., 2004).

Na década de 70, com a abertura das primeiras rodovias iniciou um processo intenso de ocupação na Amazônia, com a chegada de imigrantes vindos principalmente do Nordeste e Sul do Brasil. As conseqüências foram às intensas atividades de desflorestamento e conseqüente conversão em pastagens e áreas agrícolas. O processo de desmatamento na Amazônia Brasileira ocorre com maior concentração na região da fronteira da Amazônia Legal.

O crescimento econômico e populacional da região é reconhecido como uma das principais forças do processo de perda de florestas. Varias questões preocupam ambientalistas, devido principalmente à perda da biodiversidade na Amazônia e também especialistas em mudanças climáticas, visando as emissões de gases que intensificam o efeito estufa. Atualmente há uma grande preocupação com o desmatamento desordenado da Floresta Amazônica e sua influencia sobre o clima mundial (IPCC, 2007).

Ao longo dos anos estão sendo realizados diversos experimentos na Amazônia, em áreas de floresta nativa e áreas desmatadas, com intuito de quantificar e compreender os efeitos e impactos sobre a atmosfera e clima local. Dentre vários experimentos podemos destacar: ARME (Amazon Region Micrometeorological Experiment), ABLE (Amazon Boundary Layer Experiment), ABRACOS (Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observations Study), RBLE (Rondônia Boundary Layer Experiment). Atualmente se encontra em andamento o experimento internacional LBA (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia), onde um de seus objetivos é entender como a Amazônia funciona como uma entidade regional, como também, as mudanças nos usos da terra e no clima que irão afetar os

funcionamentos biológicos, químicos e físicos da Amazônia, incluindo a sustentabilidade do desenvolvimento regional.

A substituição da vegetação natural por outro tipo de cobertura vegetal põe em risco o equilíbrio do ecossistema, pois altera as interações água-solo-vegetação-atmosfera. A Floresta Amazônica vem sofrendo agressões constantes devido ao desmatamento, ou seja, a troca permanente da cobertura vegetal (floresta tropical úmida) por vegetação de baixo porte. Com isso, o albedo aumenta, a umidade do solo e a energia em forma de calor latente diminuem e o calor sensível aumenta, conseqüentemente, a turbulência térmica também aumenta. A combinação de todos estes fatores afeta a termodinâmica da Camada Limite Atmosférica (CLA).

A CLA é a camada que faz parte da troposfera e que está diretamente influenciada pela presença da superfície terrestre, sendo que responde às forçantes da superfície com uma escala de tempo de horas ou menos (STULL, 1988).

Visando melhor entendimento e contribuição para a caracterização da Camada Limite Atmosférica Amazônica, este trabalho tem como objetivo estudar a CLA na região Oeste da Amazônia (Rondônia) em área de floresta nativa e de pastagem, dando destaque à investigação da influência dos efeitos locais e sinóticos no funcionamento da CLA e a compreensão do papel dos fenômenos de mesoescala na termodinâmica da CLA, em três estações: seca, chuvosa e de transição (seca para chuvosa).

## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – Camada Limite Atmosférica (CLA)

A atmosfera terrestre é um conjunto de gases, partículas e vapor d'água que envolve a superfície terrestre. A estrutura vertical da atmosfera é extremamente variável sendo dividida em camadas, sendo cada uma com características próprias. A troposfera é a camada mais baixa da atmosfera e está em contato diretamente com a superfície terrestre, onde a maioria dos fenômenos meteorológicos ocorre. Caracterizada por decréscimo da temperatura com a altitude, numa razão média de 6,5°C por quilometro, sua espessura é variável, dependendo de sua localização (trópicos, latitudes médias ou pólos) como também sofre variações devido às estações do ano (VIANELLO, 2000).

A troposfera pode ser dividida em duas camadas, a parte mais baixa em contato com a Terra é conhecida como Camada Limite Atmosférica (CLA), sendo a CLA a parte que está diretamente influenciada pela presença da superfície e responde as forçantes da superfície numa escala de tempo de horas ou menos. A parte superior, acima da CLA, é chamada de Atmosfera Livre (AL) e o fluxo nesta camada não é turbulento.

Na Camada Limite Atmosférica Continental (CLA<sub>c</sub>), observam-se dois padrões diários de evolução:

- ✓ Diurno – Camada Limite Convectiva (CLC).
- ✓ Noturno – Camada Limite Noturna ou Estável (CLN ou CLE).

A Camada Limite Convectiva é composta por:

- a) Sub-Camada Laminar (SCL) ou Sub-Camada Viscosa (SCV) – Esta camada está em contato direto com a superfície terrestre, possui poucos milímetros de espessura, o escoamento é laminar e a difusão molecular é um importante processo de transferência de calor e massa entre a superfície e o ar.

- b) Camada Limite Superficial (CLS) – Surge a partir da SCL e se estende até cerca de 10% da CLA. Nela o fluxo de ar é principalmente dependente das características da superfície.
- c) Camada de Mistura (CM) – Se estende pelos 90% restantes da CLA, o escoamento do ar nesta camada depende da força de gradiente de pressão, dos efeitos da força de atrito e da rotação da Terra, apresentando uma estrutura turbulenta intensa. O topo da camada é estável e age como uma tampa impedindo o domínio da turbulência, sendo esta região chamada de Zona de Entranhamento (ZE).
- d) Camada de Transição (CT) – Se localiza entre a CLC e a AL, apresenta uma pequena extensão vertical, é conhecida também como Camada de Inversão Térmica e se caracteriza por intensos gradientes verticais de temperatura e umidade específica.

Pouco antes do pôr-do-sol, a turbulência térmica responsável pela mistura da CLC, deixa de atuar, este processo resulta em uma camada localizada acima da Camada Limite Noturna (CLN) chamada de Camada Residual (CR).

Camada Residual (CR) – Esta camada apresenta as mesmas variáveis e médias de estado da CLA diurna. Possui estratificação neutra e a turbulência existente apresenta intensidade aproximadamente igual em todas as direções. A CR não tem contato direto com a superfície.

A base da CR é transformada por contato com a superfície em uma Camada Limite Estável, também conhecida como:

Camada Limite Noturna (CLN) ou Camada Limite Estável (CLE) – Esta camada surge no pôr-do-sol em função do resfriamento da superfície via emissão de ondas longas e permanece durante toda à noite até o início de uma nova Camada Limite diurna, que ocorre com o nascer do sol. Esta camada apresenta forte estabilidade e nela a CLS existe, mas não pode ser visualizada analiticamente devido ao fato de ser uma camada estável.

A evolução temporal da Camada Limite Atmosférica (CLA) é controlada pelos transportes turbulentos induzidos pela diferença de temperatura entre a atmosfera e a superfície terrestre como também pelo cisalhamento dos ventos próximo a superfície. Pela manhã, com o nascer do sol, o solo irá se aquecer mais rapidamente que o ar acima dele. Durante o decorrer do dia, a radiação solar aumenta e a energia será maior, originando um maior fluxo. Com isso, a energia que está disponível na superfície é distribuída na forma de calor conduzido ao solo e fluxo de calor latente e sensível, originando movimentos verticais ascendentes. Estes movimentos verticais ocorrem sucessivamente, proporcionando o crescimento rápido da CLC. Com a intensificação dos movimentos convectivos ocorrerá uma distribuição uniforme dos diferentes contribuintes, como por exemplo, a temperatura potencial ao longo da camada. Após o meio dia local até o pôr do sol, a energia disponível para convecção começa a diminuir, em consequência do decréscimo do ciclo de radiação solar e, como consequência a CLC tem um crescimento inercial da ordem de 15%. Pouco antes do pôr-do-sol, a quantidade de energia disponível não é mais suficiente para manter os processos de convecção que geram a turbulência, ocorrendo a formação da CR. Durante a noite a CLN se estabelece em função do resfriamento radiativo do solo e se comporta em termos de espessura de uma maneira semelhante à CLA diurna, ou seja, apresenta um maior crescimento até por volta da meia noite local sendo menos efetiva a partir deste momento até o nascer do sol quando se dá início a uma nova CLA.

O modelo conceitual de desenvolvimento da CLA<sub>c</sub> mais difundido é o desenvolvido por Stull (1988). Este modelo adaptado é mostrado na Figura 1.

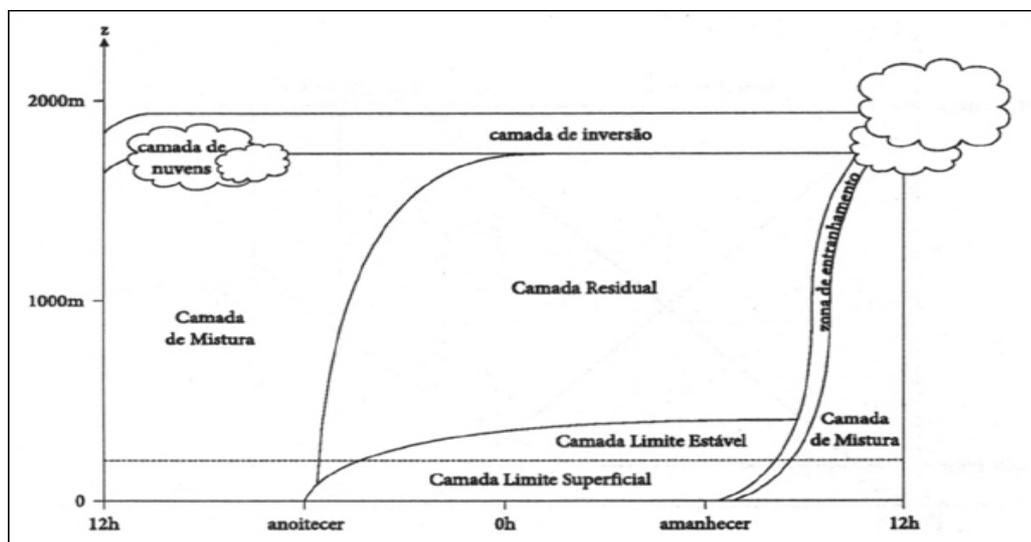


Figura 1 – Evolução temporal da Camada Limite Atmosférica (CAMPOS, 2004).

## 2.2 – A Amazônia brasileira, experimentos e resultados

A extensão aproximada da Floresta Amazônica é de 7,5 milhões de km<sup>2</sup>, a floresta distribui-se aproximadamente com 60% em território nacional e o restante 40% são divididos entre Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname e Venezuela. A Amazônia ainda engloba 38% de florestas densas; 36% de florestas não densas; 14% de vegetação aberta, como cerrados e campos naturais e 12% da área é ocupada por vegetação secundária e atividades agrícolas. Segundo o IBGE (2007) a Amazônia Legal é uma área que engloba nove estados brasileiros (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do estado do Maranhão), pertencentes à bacia Amazônica e que conseqüentemente possuem em seu território trechos da floresta Amazônica.

O clima da região Amazônica é um clima quente e úmido. A Amazônia sofre grande influência da radiação solar que chega com altos valores durante todo o ano, devido ao fato da região estar posicionada na faixa tropical do globo. A temperatura média na região se apresenta em torno de 24°C a 26°C durante o ano (FISCH et al., 2007). Os estados do Acre, Mato Grosso e Rondônia podem apresentar diferenças nas temperaturas devido a episódios de friagens – fenômeno em que massas de ar polar mais forte conseguem chegar até a parte Oeste da região Amazônica, cujas temperaturas diminuem em até 10°C, podendo chegar a menos.

Molion (1987, 1993) estudou as circulações de macro e mesoescala que atuam na Amazônia e os processos dinâmicos que organizam e promovem a precipitação naquela área. Segundo este autor, os mecanismos que provocam chuva na Amazônia podem ser agrupados em três tipos: a) a convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de larga-escala favoráveis; b) as linhas de instabilidade originadas na costa Norte – Nordeste do litoral do Atlântico e; c) os aglomerados convectivos de meso e larga escala, associados com a penetração de sistemas frontais na região Sul – Sudeste do Brasil interagindo com a região Amazônica.

No Brasil, um dos primeiros experimentos sobre a CLA da floresta Amazônia Brasileira foi o ABLE “Atmosféric Boundary Layer Experiment” em Manaus, o qual compreendeu duas fases experimentais: estação seca de julho a agosto de 1985, e estação chuvosa de abril a maio de

1987. Seus objetivos eram o estudo da CLA tropical e, obter uma caracterização química quantitativa da variabilidade temporal e espacial de vestígios de gases e aerossóis ao longo do Amazonas. Martin et al., (1988), examinaram a estrutura e desenvolvimento da CLA no ABLE, na estação seca, e constataram que após o nascer do sol, a CLC se desenvolveu rapidamente com uma taxa de 0,05 a 0,08m.s<sup>-1</sup> até uma altura máxima de 1200m às 13 HL. Também observaram freqüentemente alturas da CLC superior a 1000m entre o período das 10 as 16 HL durante condições não perturbadas.

Oliveira (1990), usando dados do ABLE (estação seca e chuvosa), mostrou que a evolução da CLA não apresentou diferenças significativas com relação a sua estrutura. Observou ainda a existência de uma circulação em baixos níveis sobre a região, nas duas estações, cuja circulação apresentou um padrão consistente de uma brisa fluvial, devido ao contraste térmico entre a floresta e o rio durante o período diurno.

De 1991 a 1995 realizou-se o ABRACOS “Anglo-Brasilian Amazonian Climate Observation Study” que tinha o objetivo de monitorar o clima da Amazônia, melhorar a compreensão do desmatamento e fornecer dados para modelos CGM (Modelos de Circulação Geral), em áreas de floresta tropical e pastagem. As medições foram feitas em três locais (Manaus, Marabá e Ji-Paraná). Moura et al., (2001) fizeram uma análise comparativa da radiação solar global em áreas desmatadas e de floresta tropical com intuito de compreender os efeitos do desmatamento sobre o fluxo de energia a superfície, utilizando dados deste projeto, observaram que a radiação solar global teve uma variação média anual de 2% entre os sítios experimentais, possivelmente ocasionada pela nebulosidade e aumento dos aerossóis, pois as médias anuais da radiação solar global foram de 17,3MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> na floresta e de 16,8MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> na pastagem.

Entre 1992 e 1994 foram realizadas as três fases do experimento RBLE “Rondônia Boundary Layer Experiment”, que teve o objetivo de estudar a Camada de Mistura e a estrutura termodinâmica da atmosfera em áreas de floresta e pastagem. O RBLE 1 foi realizado de 10 de setembro a 3 de outubro de 1992, o RBLE 2 foi realizado de 3 a 11 de julho de 1993 na pastagem e de 17 a 25 de julho de 1993 na floresta e o RBLE 3 a última campanha do experimento, realizou-se de 13 a 26 de agosto de 1994, nos sítios de floresta e pastagem simultaneamente.

Os resultados de Fisch (1996) mostraram que a CLC é mais desenvolvida na área de pastagem (2000m a 2200m) do que na área de floresta (1000m a 1200m). Isto ocorre devido à maior transformação da radiação solar em fluxo de calor sensível, que aquece e desenvolve a CLA. Já na CLN, devido à maior turbulência mecânica e a perda radiativa durante o período noturno na área de floresta, ocorre o contrário, ou seja, a CLN é maior na floresta (350m a 380m) do que na pastagem (230m a 240m).

Souza e Lyra (2001) com o objetivo de avaliar as implicações do desmatamento na Amazônia sobre os processos termodinâmicos no nível da CLA e suas possíveis implicações na meso e larga-escala, utilizando dados do ABRACOS e RBLE-3 (estação seca), mostraram que durante o dia a CLA do ambiente modificado (pastagem) foi 66% mais espessa, chegando a 86% as 17 HL, mais turbulenta e, por conseqüente, mais convectiva, sendo 2,7K mais quente e 3,0g.Kg<sup>-1</sup> mais seca. No período noturno, em média, a CLN na pastagem foi 29% menos espessa, mais estável, 2,2K mais quente e 6,3g.Kg<sup>-1</sup> menos úmida.

Lyra et al., (2003) discutiram os padrões de evolução de temperatura, umidade e vento na CLA no Oeste da Amazônia durante a estação seca no RBLE-3 em áreas de floresta e pastagem, obtiveram como resultados de que na pastagem durante o dia a CLC foi cerca de 80% mais espessa, com 2K mais quente 6g.Kg<sup>-1</sup> mais seca em média. A CLN sobre a pastagem também foi mais quente e mais seca e a quebra de sua estabilidade noturna ocorreu mais cedo e com menor frequência no período matinal quando comparada com a floresta. Estes resultados sugeriram que os fenômenos de média e grande escala desempenharam papel importante no comportamento da CLA da região.

Neves (2007) teve como objetivo implementar um modelo para obter a evolução temporal da CLA diurna a partir de dados medidos em superfície, como também estudar os mecanismos termodinâmicos da CLC, utilizando dados do RBLE e ABRACOS nos sítios de floresta e pastagem. Os resultados obtidos da implementação do modelo mostraram que na área desmatada o fluxo que melhor representa a evolução da CLA é o de calor sensível. Já na área de floresta o melhor ajuste foi com o fluxo de calor latente. Em ambos os locais o melhor tipo de ajuste foi o polinomial com coeficientes de determinação superiores a 0,98. O modelo desenvolvido foi bastante eficaz na região de floresta e um pouco menos na área desmatada (pastagem). Já no estudo termodinâmico, os resultados mostraram que a CLA tropical possui

características particulares e que o desmatamento implica em um padrão de evolução diferenciado.

A partir de 1999 iniciou-se o LBA (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia) – que tem como objetivos, gerar novos conhecimentos essenciais para a compreensão dos processos climatológicos, ecológicos, hidrológicos e de bioquímica da Amazônia, dos impactos dos diferentes usos da terra nesses processos e das interações da floresta com o sistema biogeofísico do Planeta. Durante o LBA estão sendo realizadas diversas campanhas de coletas de dados. Um dos primeiros experimentos realizados foi a campanha WET AMC/LBA, de janeiro a fevereiro de 1999, durante a estação chuvosa em Rondônia. Para caracterizar a estação de transição de seca para chuvosa foi realizado o experimento DRY TO WET AMC/LBA, em Rondônia e Mato Grosso, entre setembro e dezembro de 2002, ambos em áreas de floresta e pastagem.

Marengo et al., (2002) analisando a variação diária da convecção e precipitação durante a campanha LBA/1999, notaram uma forte variação diurna da precipitação com máximo no período da tarde, mínimo no período da manhã e um máximo secundário no período da madrugada. Já Tota et al., (2000) analisando a variabilidade de precipitação em área de pastagem também durante o LBA-1999, observou que os eventos de precipitação com valores acima de  $10\text{mm.h}^{-1}$  concentram-se entre 02 e 04 HL e 15 e 17 HL com maior predominância de volume no período da tarde as 15 HL.

Longo et al., (2002) analisaram a intensidade convectiva através das curvas de precipitação e pela ocorrência de topos mais frios em imagens de satélite, com dados referentes à campanha WET AMC/LBA de 1999. Foi observado que a passagem de um SCM (Sistema Convectivo de Mesoescala) provoca mudanças profundas nas variáveis termodinâmicas, verificadas pelas mudanças de temperatura, umidade e temperatura potencial equivalente. A atmosfera leva em torno de seis horas para recuperar os valores típicos de atmosfera tropical, apesar de inferiores aos valores inicialmente encontrados.

Rocha (2003) estudando o funcionamento da CLA durante a estação chuvosa em Rondônia obteve que a altura da CLC na pastagem foi praticamente idêntica à da floresta (750m verso 747m). A pastagem foi ligeiramente mais quente (304,4K verso 303,7K) e praticamente não houve diferença com relação à umidade ( $15,0\text{g.Kg}^{-1}$  verso  $15,7\text{g.Kg}^{-1}$ ). Na CLN foi verificado

que a espessura média foi menor na pastagem (334m verso 489m) e também foi mais quente (303,3K verso 303,1K) e mais seca (16,3 g.Kg<sup>-1</sup>verso 16,8g.Kg<sup>-1</sup>).

Silva (2004) estudando os aspectos da termodinâmica da CLA na estação chuvosa (1999) em áreas de floresta e pastagem utilizando análises de diferentes condições de nebulosidade, observou que o tempo chuvoso fez desaparecer o contraste entre a floresta e pastagem em termos de temperatura potencial virtual, principalmente nos dias de céu parcialmente nublado. Na comparação de condições de nebulosidade (céu claro, parcialmente nublado e nublado) não foram constatadas diferenças importantes nos padrões de evolução da CLA, principalmente no sitio de floresta.

Leite (2004) analisando a CLA na Amazônia durante a estação de transição seca para a chuvosa (LBA 2002) observou que o comportamento termodinâmico da CLA na estação de transição foi bastante parecido com a estação chuvosa (LBA 1999). A altura média da CLA na floresta foi de 858m versus 888m na pastagem. Comparando valores médios à pastagem apresentou temperatura ligeiramente superior à floresta (306,15K contra 305,30K), o gradiente de temperatura foi um pouco menor (-0,0035K.m<sup>-1</sup> contra -0,0015K.m<sup>-1</sup>), a umidade específica também foi menor (14,51g.Kg<sup>-1</sup> contra 14,63g.Kg<sup>-1</sup>) e o gradiente de umidade maior (-0,006g.Kg<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup> contra -0,008g.Kg<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>).

Albrecht e Silva Dias (2005) utilizando dados de um disdrômetro e de radar de apontamento vertical instalados no aeroporto de Ji-Paraná (RO) durante o experimento WET e TRMM/LBA, em janeiro e fevereiro de 1999, analisaram os regimes de vento associados a IOS (Oscilação Intrasazonal). Os dados mostraram uma grande diferença no tipo, tamanho e processo microfísico de crescimento de hidrometeoros em cada regime de vento estabelecido: regimes de Leste possuem mais turbulência e, conseqüentemente, formação de precipitação convectiva, enquanto regimes de Oeste possuem formação de precipitação mais estratiforme.

Silva (2005), analisando situações em que a CLA em áreas de floresta e pastagem tem comportamento diferente dos padrões conhecidos durante a estação de transição seca para chuvosa (LBA/2002), concluiu que o surgimento da CLN ocorreu por volta das 17:30 HL e a sua erosão em torno das 9:30 HL, além de observar que os jatos noturnos desempenharam um papel importante na termodinâmica da CLN, verificando um caso onde a turbulência mecânica gerada pelo jato possibilitou a formação de uma camada misturada semelhante à

camada convectiva. Constatou ,também, que quando a precipitação ocorre próximo do final da tarde e o sol retorna a brilhar, há o surgimento de uma nova CLC.

Mota e Nobre (2006) analisando radiossondagens do WET AMC/LBA mostraram que valores de energia potencial disponível para convecção (CAPE) estiveram na maioria das vezes acima de  $1000\text{J.Kg}^{-1}$ , inclusive no período (noturno), caracterizando forte potencial de atividade convectiva na região. Porém estes fatores termodinâmicos não indicam necessariamente precipitação. Já os valores de CINE (Energia de Inibição da Convecção) médios de  $300\text{J.kg}^{-1}$  significaram um limite a ser superado para a liberação da instabilidade condicional da região. Logo, a circulação de meso e grande escala têm um papel importante na formação de nuvens precipitantes na região.

Santos e Fisch (2007) compararam quatro diferentes métodos de estimativa de altura da CLC, usando dados de Sodar e radiossondagens obtidos na campanha DRY TO WET – RACCI LBA (2002). Utilizaram quatro metodologias diferentes: método das parcelas, método do número de Richardson, método dos perfis e um método de medição direta através do Sodar. Nos resultados observaram que pela simplicidade e efetividade, o método dos perfis continua sendo o mais utilizado, além de ter a vantagem de poder calcular  $Z_i$  (altura), tanto no perfil de temperatura potencial quanto pelo perfil de umidade específica, caso haja algum problema com algum dos sensores durante a realização da sondagem.

Através de simulações numéricas utilizando-se de um modelo de mesoescala RAMS (Regional Modeling Meteorological System), Silva Dias e Regnier (1996) mostraram que a justaposição de áreas de floresta (mais frias e úmidas) em relação a áreas de pastagem (mais quentes e secas) pode induzir circulações térmicas causadas pelo gradiente horizontal de temperatura. Este gradiente surge como resposta ao balanço de energia à superfície e a conseqüente partição de energia. Analisando este mesmo problema sob uma ótica diferente: a existência de faixas de florestas remanescentes inseridas em grandes áreas desmatadas para pastagem, Fisch (1996), usando de modelagem matemática, sugere que também possa se desenvolver uma circulação térmica neste novo cenário. Na realidade, como existe esta heterogeneidade nas escalas micro (1 – 10km) e meso (10 – 100km), o que ocorre é a superposição destas circulações. Estes fatos somente são observados durante a época seca, uma vez que no período chuvoso há uma forte homogeneização da atmosfera e esta se torna

desacoplada do tipo de superfície, ou seja, não importa muito o tipo de bioma na superfície (FISCH et al., 2004).

Correia et al., (2006) avaliaram as conseqüências climáticas decorrentes de mudanças no uso da terra usando o modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MGCA-CPTEC) acoplado ao esquema de Superfície SSiB em três cenários de desflorestamento: cenário atual, cenário previsto para o ano de 2033 e cenário de desflorestamento em grande escala na Amazônia. Os resultados foram que em todos os cenários se observou um aumento da convergência de umidade na Amazônia. Outrossim, no cenário de desflorestamento de grande escala observaram mudanças mais significativas sendo o aumento no escoamento de Leste e Norte. As indicações foram de que com a completa e rápida destruição da floresta pode-se tornar um processo irreversível não sendo capaz de se reestabeecer por si só.

Oliveira (2008) realizou um estudo de modelagem para avaliar as conseqüências climáticas de alterações da vegetação na Amazônia. Utilizou como ferramenta básica de trabalho o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) e o Modelo de Vegetação Potencial (PVM) do CPTEC – INPE. O estudo indicou que as mudanças na cobertura vegetal da Amazônia afetam significativamente os balanços de radiação, de energia, de água, a estrutura dinâmica da atmosfera e, conseqüentemente, a convergência de umidade e de massa em baixos níveis da atmosfera, principalmente na estação seca, quando os impactos foram mais significativos.

### 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 – Localização da área em estudo.

Os sítios experimentais de floresta e pastagem utilizados para a coleta de dados estão localizados no Estado de Rondônia – RO, região Norte do Brasil e Sudoeste da Amazônia Brasileira, conforme mostrado na Figura 2.

- FLORESTA – Reserva Biológica do Jarú (latitude: 10° 05'S; longitude: 61° 55'W; altitude: 120m). A reserva era uma área de 268,15ha de floresta tropical intacta, protegida e conservada pelo IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente). Situando-se a 80 km a Nordeste da cidade de Ji-Paraná – RO. Apresentava vegetação de floresta de *terra-firme* com altura média das copas das árvores de 33m e árvores emergentes de até 45m.
- PASTAGEM – Fazenda Nossa Senhora Aparecida (latitude: 10° 45'S; longitude: 62° 22'W; altitude: 293m). Situando-se a 15 km da cidade de Ouro Preto do Oeste – RO. A fazenda é uma área destinada à pastagem para criação de gado, coberta por vegetação rasteira gramínea (*Brachiaria brizantha*).

É importante ressaltar que a distância entre os sítios experimentais de floresta e pastagem é cerca de 80 km.

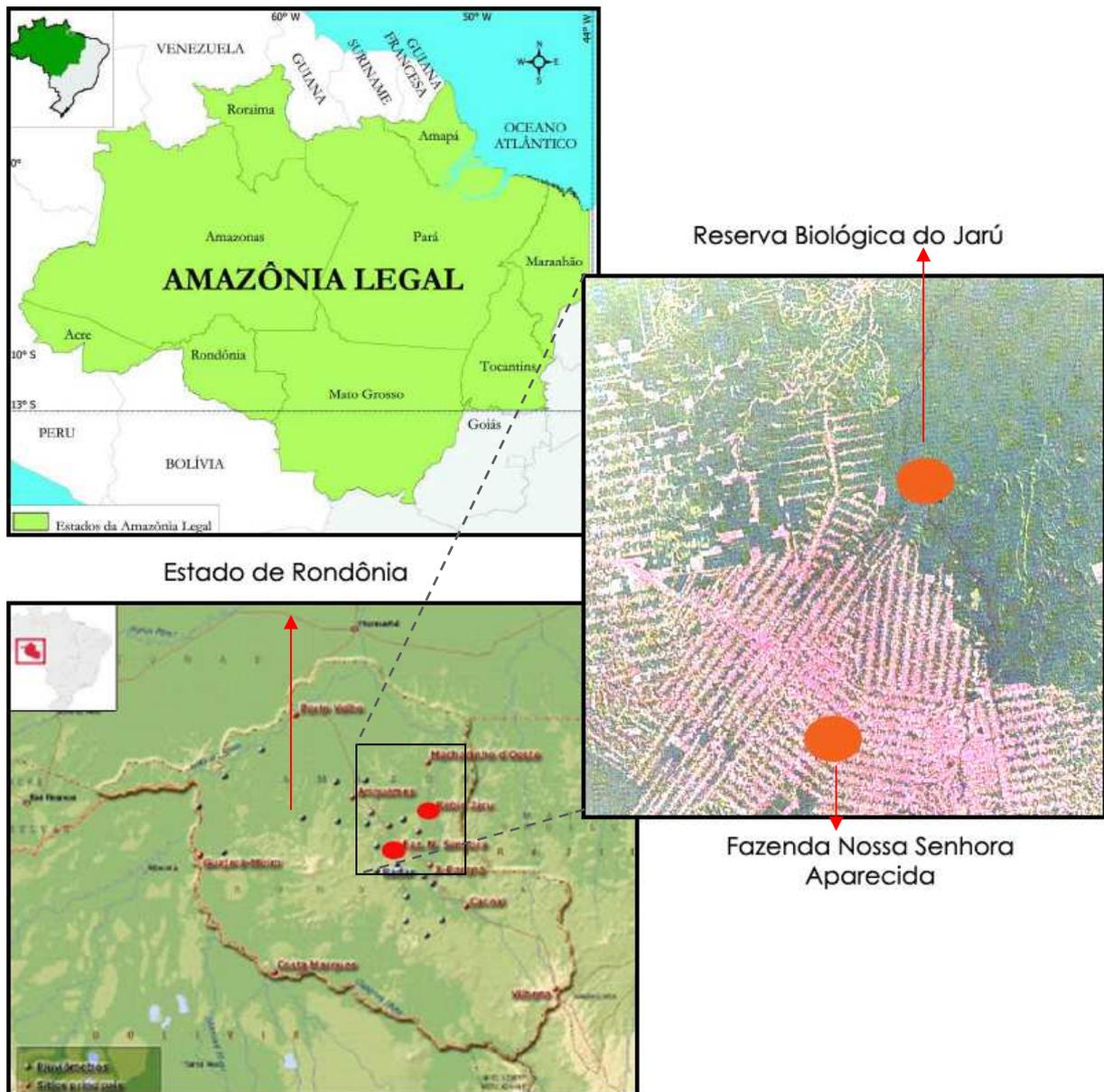


Figura 2 – Localização dos sítios dos experimentais.

### 3.2 – Climatologia da região

A climatologia da região de Ji-Paraná/RO foi elaborada por Fisch (1996), utilizando dados no período de 10 anos (1982 – 1992), da Estação Climatológica de superfície da CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira). A estação fica localizada na cidade de Ouro Preto do Oeste/RO, a cerca de 15 Km do sítio pastagem e 50 km do sítio floresta.

A precipitação da região varia bastante durante o ano sendo no período chuvoso superior a  $260\text{mm.mês}^{-1}$ , enquanto no período seco é inferior a  $30\text{mm.mês}^{-1}$  e durante os meses de transição varia entre 60 a  $150\text{mm.mês}^{-1}$ . As temperaturas do ar na região comportam-se de maneira sazonal, uma vez que na estação seca apresentam-se menores, o que coincide com os meses mais frios quando a mesma pode alcançar  $22,6^{\circ}\text{C}$  em julho, em decorrência da penetração de massas de ar mais frias associadas a sistemas frontais que adentram o continente Sul Americano. Já durante o período de transição da estação seca para chuvosa, o mês de outubro apresenta as temperaturas mais elevadas ( $25,5^{\circ}\text{C}$ ), enquanto na estação chuvosa as temperaturas oscilam em torno dos  $24^{\circ}\text{C}$ .

### 3.3 – Dados utilizados

Para a realização do estudo foram utilizados dados de experimentos realizados em três estações:

- Estação seca – compreende o período de 14 a 23 de agosto de 1994. Foram utilizados dados de superfície do projeto ABRACOS e dados de sondagens do projeto RBLE-3.
- Estação chuvosa – compreende o período de 7 a 21 de fevereiro de 1999. Foram utilizados dados da Campanha WET AMC/LBA.
- Estação de transição (seca para chuvosa) – compreende o período de 15 a 29 de outubro de 2002. Foram utilizados dados da campanha DRY TO WET AMC/LBA.

Em cada estação/experimento os dias utilizados para o estudo foram escolhidos baseados em dois critérios:

- ✓ Ausência de falhas e interrupções na série de dados.
- ✓ Existência de dados tanto no sitio de floresta como no sitio de pastagem.

### **3.3.1 – Dados de superfície**

Os dados de superfície utilizados no estudo são provenientes de EMAS (Estações Meteorológicas Automáticas de Superfície) instaladas nos sítios experimentais de floresta e pastagem. As variáveis estudadas são saldo de radiação ( $W.m^{-2}$ ), temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ), precipitação (mm), umidade específica ( $g.Kg^{-1}$ ), velocidade do vento ( $m.s^{-1}$ ) e direção do vento (graus).

### **3.3.2 – Dados de radiossondagens**

As variáveis meteorológicas obtidas através de sondagens da atmosfera foram, pressão (hPa), temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ), umidade relativa (%), velocidade do vento ( $m.s^{-1}$ ) e direção do vento (graus). As sondagens foram realizadas nos horários de 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 e 21 TMG (Hora do Meridiano de Greenwich), o que corresponde a 20, 23, 02, 05, 08, 11, 14, 17, horas locais (HL). A Tabela 1 mostra as sondagens realizadas durante as três estações. No RBLE-3 foram realizadas 59 sondagens na floresta e 60 na pastagem, no experimento WET AMC/LBA, tanto na floresta quanto na pastagem foram realizadas 86 sondagens, enquanto durante a campanha DRY TO WET AMC/LBA foram realizadas na floresta 55 sondagens e 86 na pastagem. A referida tabela apresenta apenas as sondagens realizadas para os dias em estudo.

### **3.3.3 – Dados de satélites**

As imagens de satélite utilizadas para visualização de nebulosidade e situação sinótica são do Satélite Meteosat – 3 para o ano de 1994, Satélite GOES-8 para os anos de 1999 e 2002, nos canais infravermelho (IR), visível (VIS) e vapor d'água (WV). As imagens estão disponíveis no site do GIBBS/NOAA (<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/rsad/gibbs/gibbs.html>).

Tabela 1 – Radiossondagens utilizadas no estudo: (a) floresta estação seca, (b) pastagem estação seca, (c) floresta estação chuvosa, (d) pastagem estação chuvosa, (e) floresta estação de transição e (f) pastagem estação de transição.

a) FLORESTA SECA									c) FLORESTA CHUVOSA									e) FLORESTA TRANSIÇÃO								
DATA	2	5	8	11	14	17	20	23	DATA	2	5	8	11	14	17	20	23	DATA	2	5	8	11	14	17	20	23
14		x	x	x	x	x		x	7	x	x	x	x	x	x	x	x	15			x	x	x	x		
15		x	x	x	x	x		x	8	x	x	x	x	x	x	x	x	16			x	x	x	x		
16		x	x	x	x	x		x	9	x	x	x	x	x	x	x	x	17			x	x	x	x		
17		x	x	x	x	x		x	10			x	x	x	x	x		18		x		x	x	x		
18		x	x	x	x	x		x	11						x			19		x			x	x		
19		x	x	x	x	x		x	12		x	x	x	x	x	x		20			x	x	x	x		
20		x	x	x	x	x		x	13		x	x	x	x	x	x		21		x		x	x			
21		x	x	x	x	x		x	14		x	x	x	x	x	x		22		x		x	x	x		
22		x		x	x	x		x	15		x	x	x	x	x	x		23				x	x	x		
23		x	x	x	x	x		x	16		x	x	x	x	x	x		24		x		x	x	x		
b) PASTAGEM SECA									17		x		x	x	x		25		x		x	x	x			
DATA	2	5	8	11	14	17	20	23	18	2	5	8	11	14	17	20	23	26	2	5	8	11	14	17	20	23
14		x	x	x	x	x		x	19		x	x	x	x	x	x		27		x		x	x	x		
15		x	x	x	x	x		x	20		x	x	x		x			28		x		x	x	x		
16		x	x	x	x	x		x	21		x	x		x	x	x		29		x				x		
17		x	x	x	x	x		x	d) PASTAGEM CHUVOSA									f) PASTAGEM TRANSIÇÃO								
18		x	x	x	x	x		x	DATA	2	5	8	11	14	17	20	23	DATA	2	5	8	11	14	17	20	23
19		x	x	x	x	x		x	7	x	x	x	x	x	x	x	x	15			x	x	x	x	x	x
20		x	x	x	x	x		x	8	x	x		x	x	x	x	x	16	x		x	x	x	x	x	x
21		x	x	x	x	x		x	9	x	x	x		x		x	x	17	x		x	x	x	x		
22		x	x	x	x	x		x	10	x	x	x	x	x	x	x		18	x		x	x	x	x	x	x
23		x	x	x	x	x		x	11	x	x		x	x	x		x	19	x		x	x	x	x	x	x
									12	x	x	x	x	x	x	x	x	20	x				x	x	x	
									13		x		x	x			x	21	x		x	x	x	x	x	x
									14					x				22	x		x	x	x	x	x	x
									15		x			x	x		x	23	x		x	x	x	x	x	x
									16		x	x	x	x	x		x	24	x		x	x	x	x	x	x
									17		x	x		x	x			25	x		x	x	x	x	x	x
									18			x	x	x	x	x	x	26	x		x	x	x	x	x	x
									19	x		x	x	x	x	x		27	x		x	x	x	x	x	x
									20	x	x	x	x	x	x	x	x	28	x		x	x	x	x	x	x
									21		x	x		x	x		x	29	x		x	x	x	x	x	x

### 3.4 – Variáveis calculadas

#### a) Temperatura Potencial Virtual ( $\theta_v$ )

$$\theta_v = \theta(1 + 0,61r) \quad (1)$$

$\theta$  = temperatura potencial [K]

$r$  = razão de mistura [ $\text{g.Kg}^{-1}$ ];

onde a temperatura potencial ( $\theta$ ) é calculada por:

$$\theta = T \left( \frac{P_s}{P} \right)^{\frac{Ra}{C_{pa}}} \quad (2)$$

$T$  = temperatura do ar [K]

$P$  = pressão atmosférica [hPa]

$P_s$  = pressão atmosférica em superfície [hPa]

$Ra$  = constante específica do ar seco [ $287,05 \text{J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ]

$C_{pa}$  = calor específico do ar seco a pressão constante [ $1005 \text{J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ]

enquanto a razão de mistura ( $r$ ) é calculada por:

$$r = 0,622 \frac{e}{P - e} \quad (3)$$

$e$  = pressão de vapor [hPa]

$P$  = pressão atmosférica [hPa]

e a pressão de vapor ( $e$ ) é calculada por:

$$e = \frac{6,1078 \times 10^{\left(\frac{a \times T}{b+T}\right)}}{100} UR \quad (4)$$

T = temperatura do ar [K]

a = 7,5 para água líquida e 9,5 para gelo

b = 237,3 para água líquida e 265,5 para gelo

UR = umidade relativa [%]

#### b) Umidade específica ( $q$ )

$$q = 0,622 \frac{e}{P - 0,378e} \quad (5)$$

e = pressão de vapor [hPa]

P = pressão atmosférica [hPa]

#### c) Componente Zonal ( $u$ ) e Meridional ( $v$ ) do vento

$$\begin{aligned} u &= -V \sin(\varphi) \\ v &= -V \cos(\varphi) \end{aligned} \quad (6)$$

v = velocidade do vento [ $\text{m.s}^{-1}$ ]

$\varphi$  = direção do vento [graus]

#### d) Médias da velocidade e direção do vento

O cálculo da velocidade e direção média do vento tem que ser realizado através da decomposição vetorial de suas componentes zonal e meridional. Para isso é necessário o cálculo das componentes zonal e meridional médias (TEIXEIRA e GIRARDI 1978).

A média da componente zonal é calculada por:

$$\bar{u} = \sum_{i=1}^n \frac{u_i}{n} \quad (7)$$

$u_i$  = componente zonal

n = número de dias,

A média da componente meridional é calculada por:

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{n} \quad (8)$$

$v_i$  = componente meridional

n = número de dias

A velocidade média do vento resultante é:

$$\overline{ff} = \sqrt{(\bar{u})^2 + (\bar{v})^2} \quad (9)$$

$\bar{u}$  = média da componente zonal

$\bar{v}$  = média da componente meridional

Considerando  $\overline{ff}$  diferente de zero, pode-se obter a direção média do vento resultante através das equações:

$$\overline{dd} = \arccos \left( \frac{-\overline{v}}{\overline{ff}} \right), \quad \text{se } \overline{u} < 0 \quad (10)$$

$$\overline{dd} = 360^\circ - \arccos \left( \frac{-\overline{v}}{\overline{ff}} \right), \quad \text{se } \overline{u} > 0 \quad (11)$$

$\overline{dd}$  = direção média do vento resultante [graus]

$\overline{ff}$  = velocidade média do vento resultante [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

$\overline{u}$  = média da componente zonal

$\overline{v}$  = média da componente meridional

#### e) Número de Richardson totalizador “Bulk” (Rb)

$$R_b = \frac{g \Delta \overline{\theta}_v \Delta Z}{\overline{\theta}_v \left( (\overline{\Delta u})^2 + (\overline{\Delta v})^2 \right)} \quad (12)$$

O gradiente de temperatura potencial virtual médio da camada é calculado por:

$$\Delta \overline{\theta}_v = \theta_{v(2)} - \theta_{v(1)} \quad (13)$$

$g$  = aceleração da gravidade [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

$\Delta Z$  = variação da altura [m]

### 3.5 – Evolução espaço-temporal

Para melhor visualização da evolução temporal e vertical das variáveis obtidas através de sondagens da atmosfera, foram confeccionadas figuras para os primeiros 4000m da atmosfera. As sondagens foram agrupadas em ordem crescente de data e hora para os dias do período estudado. A malha foi construída por um sistema de gradeamento geostatístico através de um método de interpolação chamado de Krigagem. Este método foi escolhido por ser um método de interpolação que procura minimizar o erro de estimativa (LANDIM, 2000).

### 3.6 – Determinação da altura da Camada Limite Atmosférica

Para a visualização e determinação da altura da Camada Limite Atmosférica ( $Z_i$ ) a análise foi realizada utilizando o método clássico, o qual consiste na análise visual dos perfis de temperatura potencial, umidade específica e vento (STULL, 1988). A altura da Camada Limite Convectiva se localiza onde a atmosfera passa de um regime estaticamente neutro ( $d\theta_v/dz=0$ ) para um regime estaticamente estável ( $d\theta_v/dz>0$ ). Na Camada Limite Noturna o gradiente passa de estaticamente estável para estaticamente neutro (Figura 3).

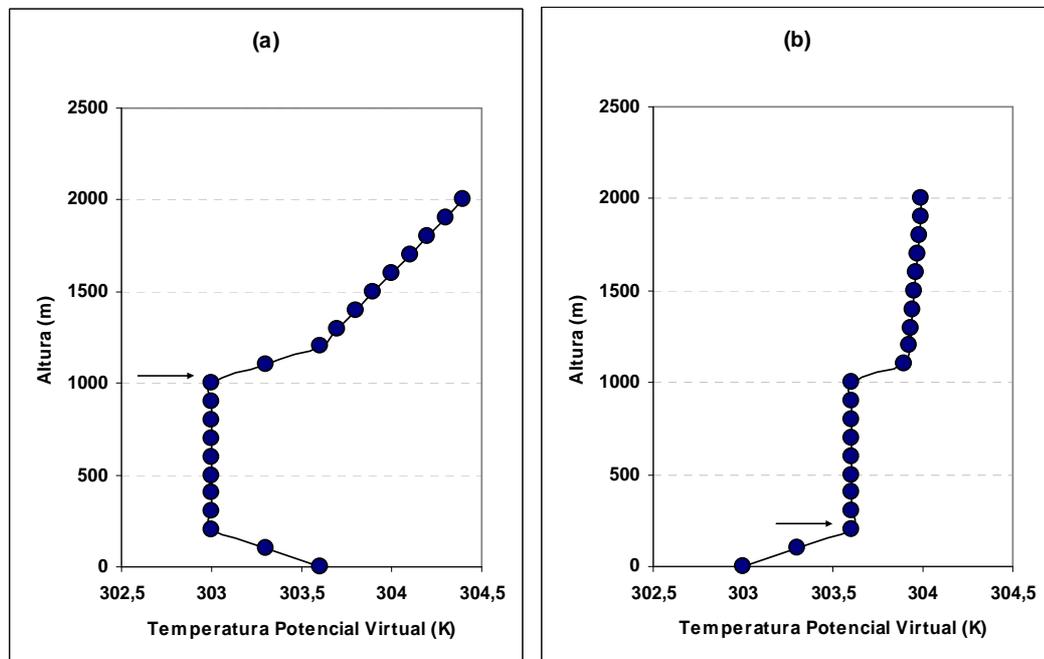


Figura 3 – Exemplo de estimativa da altura da Camada Limite Atmosférica diurna (a) e Camada Limite Atmosférica noturna (b), cujas setas indicam a altura da Camada Limite Atmosférica ( $Z_i$ ).

### 3.7 – Estrutura Termodinâmica da CLC

Para analisar a estrutura termodinâmica do ar na CLC, utilizou-se o Diagrama Termodinâmico Skew T – Log P. Através dele pode-se verificar com mais rapidez a estrutura vertical da atmosfera e também as possíveis transformações termodinâmicas do ar. Ele tem como coordenadas a temperatura e o logaritmo natural da pressão. Os índices de instabilidade calculados foram: CAPE e CINE (MOTA e NOBRE, 2006).

**CAPE (Energia Potencial Convectiva Disponível)** – energia potencial disponível para os processos convectivos e formação de nuvens, sendo que esta energia é resultante do aquecimento ou ascensão forçada através da convergência de vento. Representa a área positiva de uma sondagem no Diagrama Termodinâmico. O valor de CAPE foi obtido a partir da equação:

$$CAPE = g \int_{z=NCL}^{z=NE} \frac{\theta_{ep} - \theta_{esa}}{\theta_{esa}} dZ \quad (14)$$

NE = nível de equilíbrio [m]

NCL = nível de condensação por levantamento [m]

$\theta_{ep}$  = temperatura potencial equivalente da parcela [K]

$\theta_{esa}$  = temperatura potencial equivalente saturada do ambiente [K]

**CINE (Energia de Inibição da Convecção)** – energia para a inibição de convecção quando o ar não está saturado, é necessário que a parcela de ar receba energia para que se desloque para baixo ou para cima para começar a saturar. Representa a área negativa de uma sondagem no Diagrama Termodinâmico. Obteve-se CINE pela equação:

$$CINE = g \int_{z=sup}^{z=NCL} \frac{\theta_{ep} - \theta_{esa}}{\theta_{esa}} dZ \quad (15)$$

NCL = nível de condensação por levantamento [m]

$\theta_{ep}$  = temperatura potencial equivalente da parcela [K]

$\theta_{esa}$  = temperatura potencial equivalente saturada do ambiente [K]

### 3.8 – Jatos de Baixos Níveis (JBNs)

Para verificar os JBNs ocorridos durante o período do estudo, nas três estações (seca, chuvosa e de transição), foram analisados os perfis de vento e classificados através dos critérios de Bonner (Tabela 2) e Whiteman et al., (Tabela 3).

Tabela 2 – Critérios propostos por de Bonner (1968).

Critérios (JBN)	V Máxima (m.s <sup>-1</sup> )	V Máxima - V (3Km) (m.s <sup>-1</sup> )
1	12	6
2	16	8
3	20	10

Tabela 3 – Critérios propostos por de Whiteman et al., (1997).

Critérios (JBN)	V Máxima (m.s <sup>-1</sup> )	V Máxima - V (3Km) (m.s <sup>-1</sup> )
0	10	5

Foram utilizadas sondagens nos horários de 02, 05, 20 e 23 HL (CLN), quando existentes, e analisados o perfil de vento máximo até a altura de 2000m. As figuras foram estendidas até 3000m de altura para melhor visualização e conferência dos critérios de classificação utilizados.

## **4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados foram discutidos em quatro partes. Nas três primeiras são caracterizados os aspectos sinóticos, os ciclos médios horários das variáveis meteorológicas em superfície e a evolução espaço-temporal da Camada Limite Atmosférica em cada sítio experimental, para as estações seca, chuvosa e de transição. Na quarta parte foram discutidas as particularidades da Camada Limite Atmosférica através de estudos de casos.

### **4.1 – Estação seca (14 a 23.08.1994)**

#### **4.1.1 – Aspectos sinóticos**

Durante a realização do RBLE-3 e ABRACOS em agosto de 1994, as condições sinóticas da atmosfera foram típicas de estação seca, com pouca nebulosidade e nenhuma precipitação.

Na grande escala pode-se constatar a presença do fenômeno El Niño que se configurou de março de 94 até abril de 95. Analisando os campos de pressão atmosférica em superfície, observa-se que a região de Rondônia está sob domínio de alta pressão durante todos os dias do estudo. Em altos níveis (200hPa) o sistema de alta pressão ainda persiste, porém, mais fraco. O escoamento do ar na média troposfera estava zonal, com pouca precipitação no Sudeste da Amazônia. A atividade convectiva sobre a região permaneceu restrita à parte Norte.

As temperaturas sobre a região estavam elevadas e compatíveis com temperaturas médias de regiões tropicais. A umidade relativa em baixos níveis (1000hPa) apresentava-se menor que 40%, em níveis médios (700hPa) apresentava valores em torno de 70%. A ZCIT estava com padrão normal e intensidade moderada. A alta troposférica estava em sua fase intermediária. Foi observado um alto índice de queimadas, totalizando 117 focos em Ji-Paraná durante o RBLE-3 (BOLETIM CLIMANÁLISE, 1994).

Verificando as imagens de satélite, nota-se que de 17 a 21 de agosto são observados períodos de nebulosidade mais acentuados sobre a região de Rondônia. Na imagem do dia 17 pode-se

notar um sistema frontal atuando no Sul do país, mas o mesmo causa apenas nebulosidade sobre a região em estudo.

Analisando a série temporal dos dados de superfície observa-se que o saldo de radiação na floresta é maior que na pastagem. Constata-se uma redução mais intensa do saldo de radiação sobre a pastagem nos dias com presença de nebulosidade. As temperaturas são maiores sobre a pastagem, assim como sua amplitude também é maior. No decorrer do experimento as temperaturas tenderam a uma elevação, em ambos os sítios. O dia de maior aquecimento foi dia 22, tanto na floresta (33,5°C) como na pastagem (34,18°C). A umidade específica na floresta é superior à da pastagem durante todo o experimento. O vento foi de fraco a moderado nos dois sítios sendo um pouco maior sobre a pastagem no período diurno. O vento predominante na floresta foi de Sul, enquanto na pastagem oscila de Norte durante a noite e Sul - Leste durante o dia. A descrição de resultados das séries temporais se encontra no Apêndice A.

#### **4.1.2 – Ciclo médio diário**

##### **4.1.2.1 – Saldo de radiação**

Os ciclos do saldo de radiação sobre a floresta e pastagem são parecidos, seguindo o mesmo padrão de evolução diária (Figura 4). O saldo médio é maior no sítio de floresta ( $134,21 \pm 214,83 \text{ W.m}^{-2}$  versus  $109,23 \pm 185,98 \text{ W.m}^{-2}$ ). Não existe defasagem entre os picos de máximos e mínimos. O máximo na floresta foi de  $559,16 \text{ W.m}^{-2}$  e de  $486,67 \text{ W.m}^{-2}$  na pastagem, ambos ocorrendo às 13 HL. Os mínimos foram de  $-46,35 \text{ W.m}^{-2}$  na floresta versus  $-33,80 \text{ W.m}^{-2}$  na pastagem, às 19 HL. O saldo de radiação é maior sobre a floresta, tanto no período diurno (saldo positivo) quanto no início da noite (saldo negativo) se estendendo até por volta das 24 HL. Já, durante a madrugada (saldo negativo) até o nascer do sol, ele é maior na pastagem. A floresta tem saldo maior que a pastagem, devido à diferença de albedo entre as áreas estudadas, ou seja, a pastagem possui albedo mais elevado, principalmente em época seca quando o solo está com pouquíssima disponibilidade hídrica e apresenta coloração muito clara. As florestas aprisionam mais radiação, portanto tem albedos menores que as regiões com vegetação de menor porte (GASH et al., 1991).

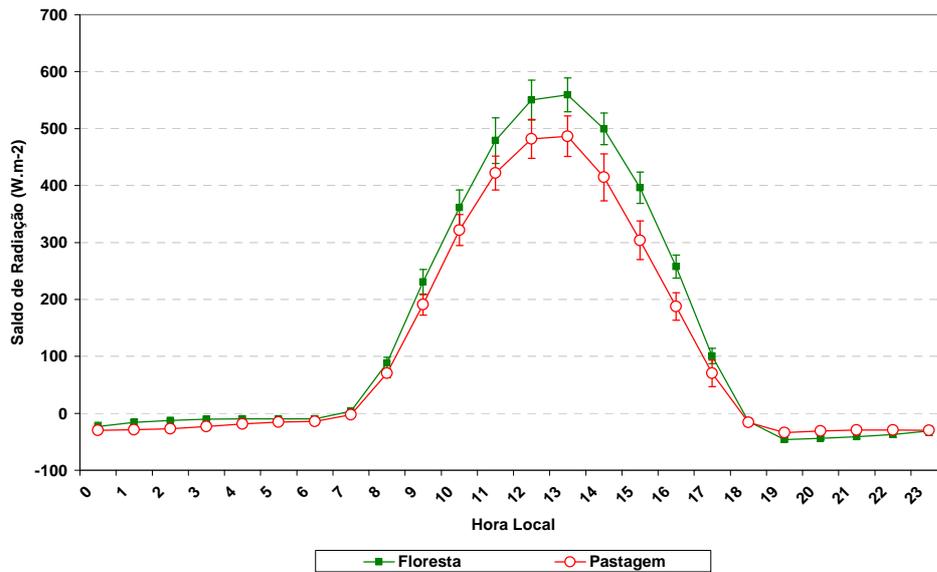


Figura 4 – Saldo de radiação médio horário para a floresta e pastagem no período de 14 a 23 de agosto de 1994.

#### 4.1.2.2 – Temperatura do ar

Os ciclos médios de temperatura do ar na floresta e pastagem são semelhantes (Figura 5), nota-se que sobre a pastagem é maior do que a floresta durante todo o período diurno e menor no período noturno. Isso se deve ao fato de que ao mesmo tempo em que o ar sobre a pastagem se aquece mais rápido durante o dia ele se resfria na mesma proporção durante a noite. A floresta perde menos radiação no período noturno, por conta do efeito da vegetação. As temperaturas médias foram praticamente iguais, sendo maior na floresta  $24,94 \pm 4,53^\circ\text{C}$  versus  $24,88 \pm 5,52^\circ\text{C}$  na pastagem. Os máximos de temperatura ocorreram as 15 HL, tanto na floresta quanto na pastagem, sendo superior na pastagem  $32,81^\circ\text{C}$  versus  $31,86^\circ\text{C}$ . Os mínimos também ocorreram simultaneamente em ambos os sítios, foi menor sobre a pastagem  $17,86^\circ\text{C}$  versus  $19,41^\circ\text{C}$ . A maior amplitude térmica ocorre na pastagem e possivelmente na estação seca, possivelmente em consequência de elevados valores de radiação solar e menor disponibilidade hídrica do solo. A temperatura a noite é maior na floresta devido à interação mais lenta dos fluxos entre a floresta e a atmosfera, já que esta possui uma estrutura extremamente complexa.

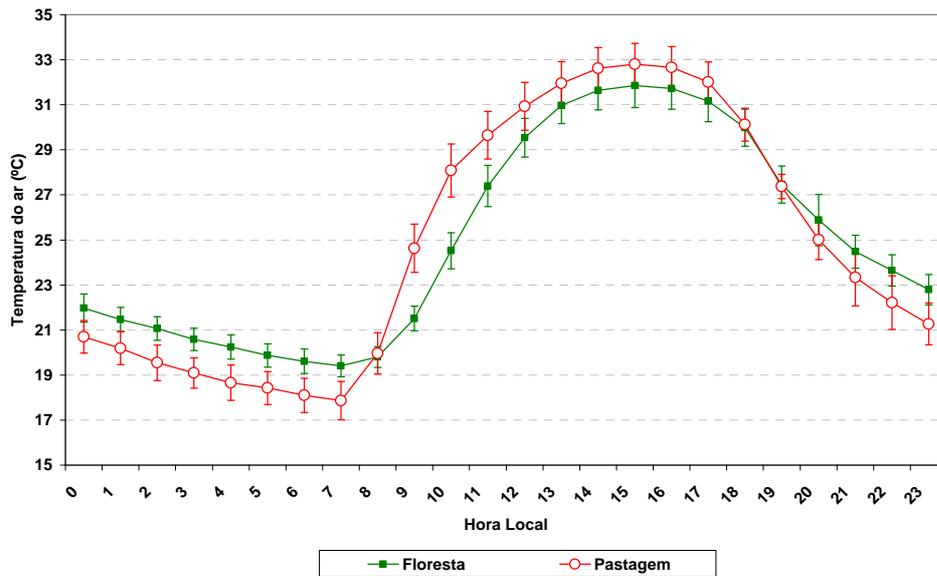


Figura 5 – Temperatura do ar média horária para floresta e pastagem no período de 14 a 23 de agosto de 1994.

#### 4.1.2.3 – Umidade específica

Nota-se semelhança entre os ciclos de umidade específica (Figura 6). Sendo os valores médios na floresta superiores aos da pastagem ( $14,73 \pm 1,38 \text{g.Kg}^{-1}$  versus  $12,44 \pm 5,52 \text{g.Kg}^{-1}$ ). O máximo observado na floresta foi de  $16,23 \text{g.Kg}^{-1}$  e ocorreu às 22 HL. Já na pastagem o máximo foi de  $13,72 \text{g.Kg}^{-1}$  e ocorreu no período da manhã às 09 HL. Os mínimos ocorreram no período da tarde, tanto na floresta,  $12,69 \text{g.Kg}^{-1}$  as 16 HL, quanto na pastagem,  $10,82 \text{g.Kg}^{-1}$  as 15 HL. A umidade aumenta no período matinal, devido a um maior acréscimo de vapor d'água no processo de evaporação ao nascer do sol. Verifica-se que às 8 HL as valores da floresta e pastagem se aproximam, coincidindo com o momento em que as médias de temperatura do ar são muito próximos. Foi feita uma verificação nos dados e constatou-se que não houve erro na defasagem entre o valor de 23 HL e 0 HL na floresta.

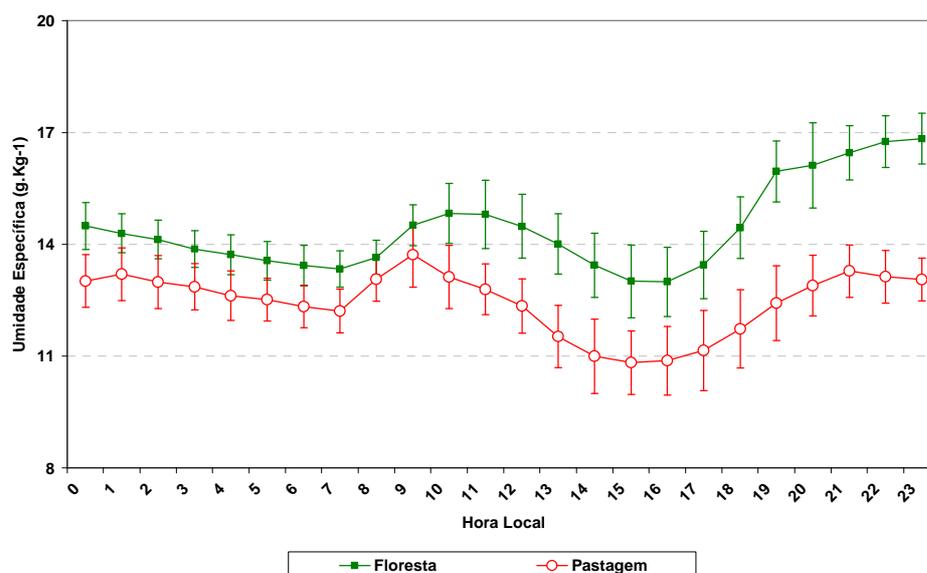


Figura 6 – Umidade específica média horária para floresta e pastagem no período de 14 a 23 de agosto de 1994.

#### 4.1.2.4 – Velocidade do vento

Os ciclos da velocidade do vento são nitidamente diferentes sobre a floresta e pastagem (Figura 7). Durante a maior parte do dia o vento sobre a floresta não sofre variações tão bruscas quanto na pastagem. O vento médio encontrado foi de  $1,38 \pm 0,6 \text{ m.s}^{-1}$  na floresta e de  $1,33 \pm 1,2 \text{ m.s}^{-1}$  na pastagem. A floresta tem seu máximo de  $2,14 \text{ m.s}^{-1}$ , às 14 HL, tendo uma queda mais acentuada no final da tarde, até às 19 HL ( $0,64 \text{ m.s}^{-1}$ ), onde após esta queda, torna-se superior a pastagem até as 9 HL. A pastagem tem ventos fracos ou quase nulos durante o período noturno até o início da manhã ( $0,33 \text{ m.s}^{-1}$ ), após este horário mantém um crescimento até às 11 HL, apresentando um pico máximo de  $3,32 \text{ m.s}^{-1}$ . O aumento na velocidade do vento na pastagem pode estar associado à mudança da direção do vento que ocorre praticamente no mesmo intervalo. Vale salientar que a região a Oeste do sítio pastagem é, na sua maior parte, composta de fazendas.

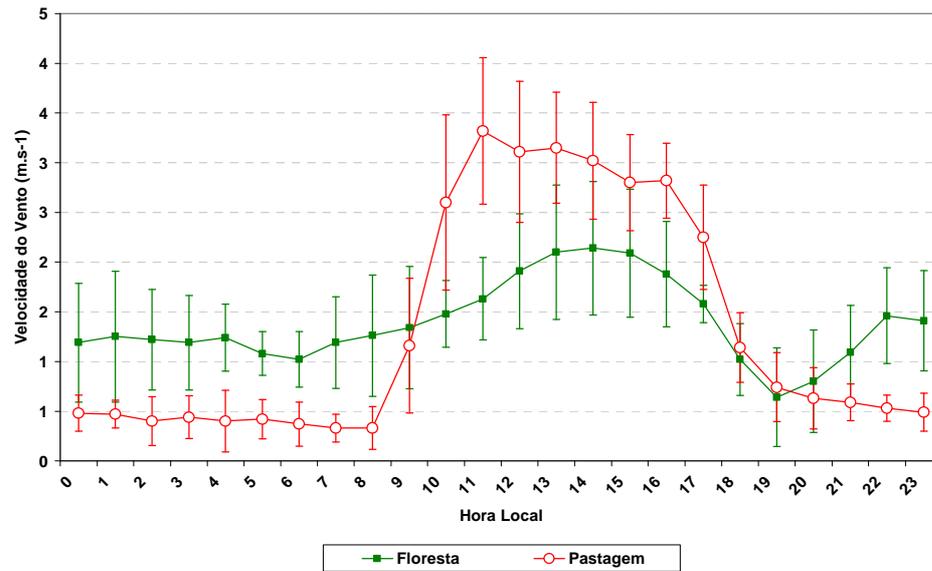


Figura 7 – Média horária da velocidade do vento na floresta e pastagem no período de 14 a 23 de agosto de 1994.

#### 4.1.2.5 – Direção do vento

Os ciclos diários da direção média do vento sobre a floresta e pastagem são bem diferentes e podem ser visualizados na Figura 8. A floresta apresenta um ciclo mais regular, com ventos predominantes de Sul a Sudeste e Sudoeste. A pastagem apresenta ventos de Nordeste até as 7 HL, a partir das 8 HL o vento médio oscila entre Oeste a Sul até as 20 HL quando retorna a ventos de Nordeste durante todo o período noturno.

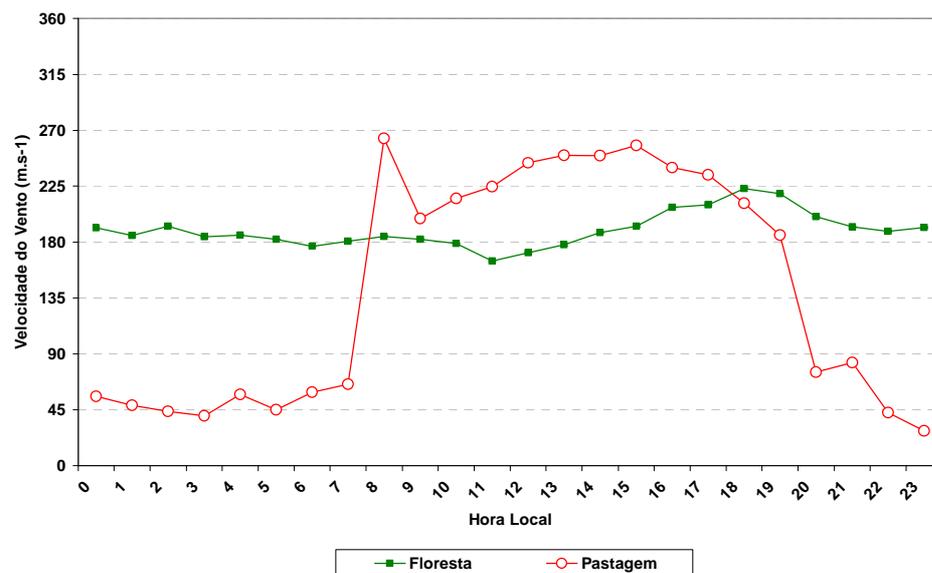


Figura 8 – Direção do vento média horária na floresta e pastagem no período de 14 a 23 de agosto de 1994.

### 4.1.3 – Evolução espaço-temporal

#### a) Temperatura potencial virtual

Tanto na floresta (Figura 9a) quanto na pastagem (Figura 9b), os menores valores de  $\theta_v$  ocorrem próximos da superfície e no período noturno. Pode-se notar com facilidade a separação entre o período diurno (CLC) e noturno (CLN) em ambos os sítios. Na floresta as maiores variações térmicas ocorrem dentro do limite de 1000m de altura, mas acima desse valor as variações são moderadas. Nota-se que os valores de  $\theta_v$  próximo à superfície no período da tarde e noite dos dias 22 e 23, se apresentam mais elevados. Na pastagem verifica-se a existência de valores bem diferentes de um dia para outro, sendo que as variações mais bruscas ocorrem até o nível de 2000m. Pode-se observar também que nos dias 15, 16, 18, 19, 20, 21 e 22 houve penetração de ar mais quente proveniente de níveis mais altos da atmosfera.

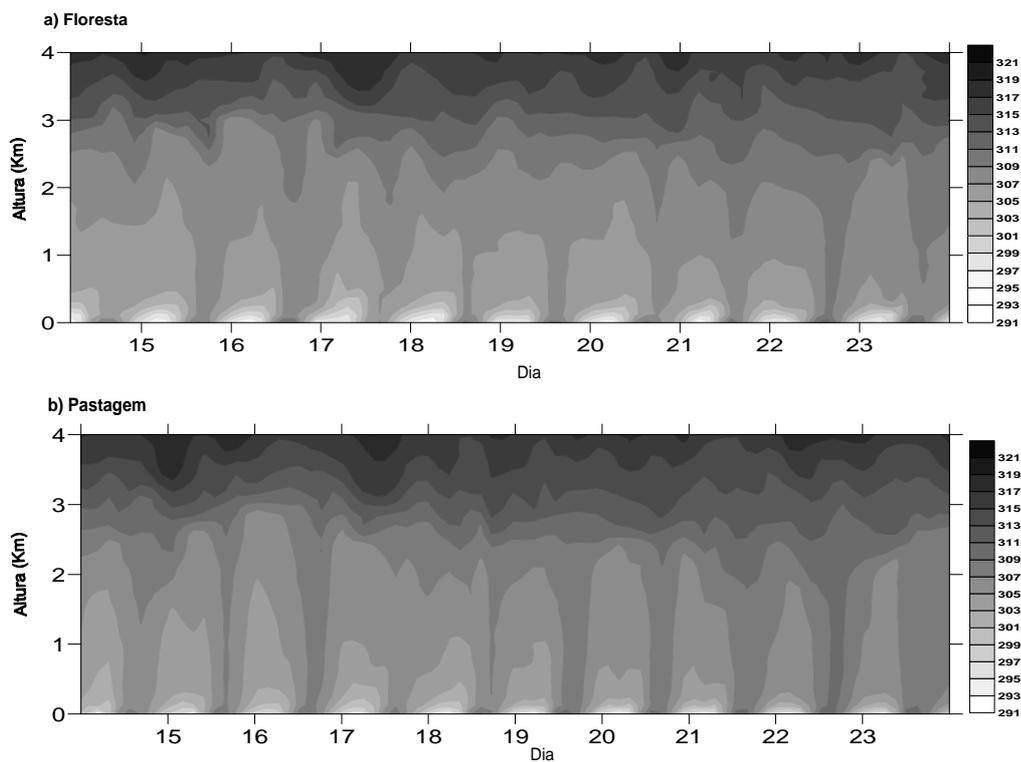


Figura 9 - Evolução espaço-temporal da temperatura potencial virtual na floresta (a) e pastagem (b) na estação seca.

## b) Umidade específica

Os padrões de evolução de umidade são diferentes nos dois locais (Figura 10a e 10b). Na floresta observa-se os mais elevados valores de umidade, principalmente próximos à superfície, como também não se consegue distinguir perfeitamente um ciclo da CLA de um dia para outro. Nos dias 15 e 23 observa-se penetração de ar mais seco no interior da CLC. Já na pastagem os valores de umidade são mais constantes, principalmente nos primeiros 1000m. Não foi possível notar perfeitamente a separação do período diurno e noturno devido à falta de um ciclo bem definido. Nos dias 18, 19, 20, 21, 22 e 23 pode-se notar uma maior penetração de ar mais seco nos níveis inferiores da CLA. Estes dias foram coincidentes com os valores mais elevados de temperatura potencial virtual no interior da CLC.

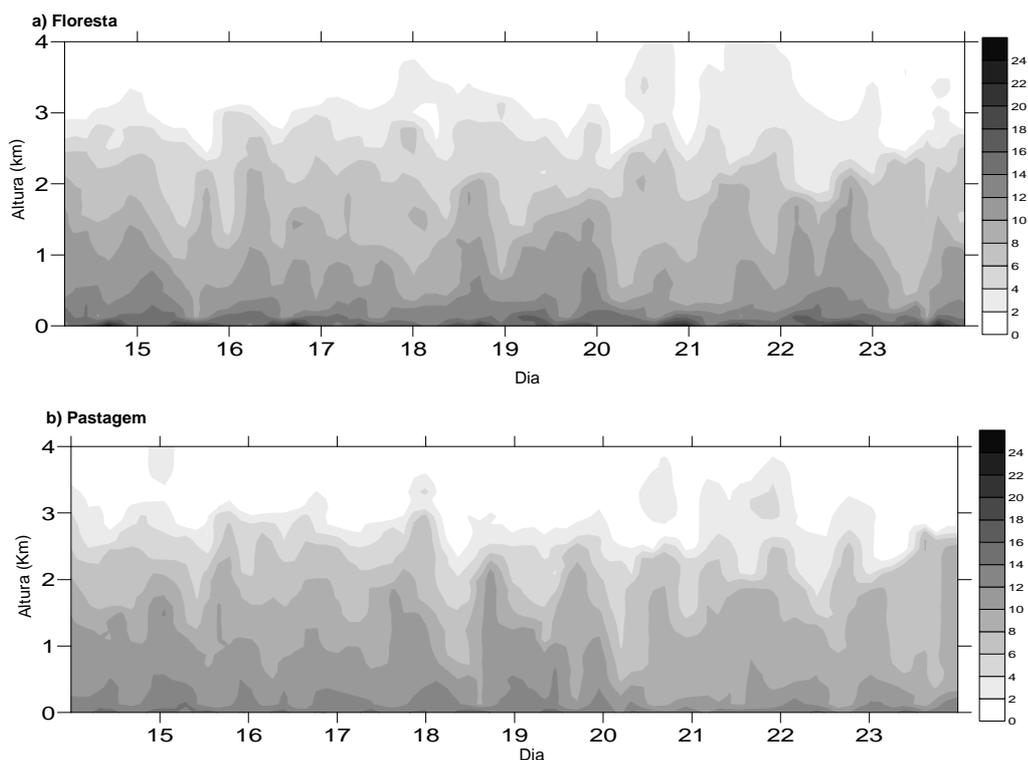


Figura 10 - Evolução espaço-temporal da umidade específica na floresta (a) e pastagem (b) na estação seca.

### c) Velocidade do vento

Tanto na floresta quanto na pastagem a velocidade do vento é fraca principalmente nos primeiros metros (Figuras 11a e 11b). Embora os ventos em superfície na pastagem sejam maiores que na floresta (período diurno), já no interior da CLA eles são mais calmos. Constata-se que os núcleos de alta velocidade de vento ocorrem na sua maioria simultaneamente sobre a floresta e pastagem. Sobre a floresta observa-se alguns núcleos de vento máximo dentro da CLC. O principal núcleo encontrado foi dia 14, com velocidade aproximada de  $14\text{m.s}^{-1}$ . Os dias 18, 20 e 23 também apresentam núcleos de vento mais elevados na CLC. A pastagem também apresenta alguns núcleos mais intensos na CLC, como pode ser observado nos dias 16, 17, 20 e 23. O núcleo encontrado no dia 16 é classificado como um Jato de Baixo Nível (JBN) e tem sua caracterização explicada no Apêndice E.

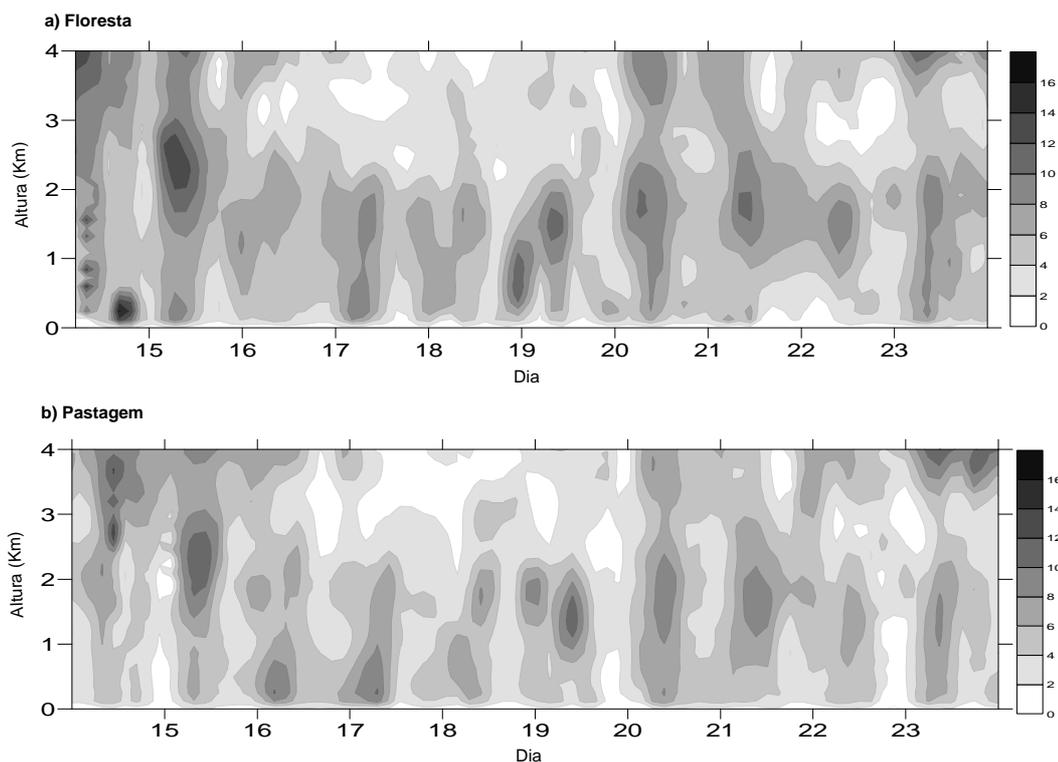


Figura 11 - Evolução espaço-temporal da velocidade do vento na floresta (a) e pastagem (b) na estação seca.

## 4.2 – Estação chuvosa (7 a 21.02.1999)

### 4.2.1 – Aspectos sinóticos

Em termos de grande escala observa-se anomalias de temperatura da superfície do mar registradas no Pacífico Equatorial, Central e Leste, indicando situação de La Niña. O fenômeno iniciou seu desenvolvimento em julho de 1998 e teve seu término em março de 2001, sendo caracterizado como um dos eventos mais fortes já registrados. Os campos de Pressão ao Nível do Mar (PNM) e vento estavam concordantes, mostrando uma circulação anticiclônica anômala da Alta Subtropical no Pacífico Sul, fazendo com que os alísios se mantivessem mais intensos que a média. No campo de anomalia de ventos em baixos níveis (800hPa) os alísios estiveram mais fortes do que o normal sobre o Pacífico Equatorial Oeste. Em altos níveis (200hPa) o campo mostrou anomalias ciclônicas ao longo da faixa equatorial do Pacífico Norte e Sul, o que concorda com o padrão de TSM analisado. Em fevereiro, a alta troposférica esteve presente e bem configurada na maior parte do mês, localizada a Oeste da normal climatológica.

Na região Norte do Brasil foram observadas chuvas entre 100 e 500mm, em toda a região, sendo os maiores valores encontrados no Centro e Sul do Amazonas. No estado de Rondônia a precipitação acumulada registrada foi de 350mm.

Durante a realização do estudo três sistemas frontais atingiram o Brasil. Na primeira quinzena do mês, as frentes frias ao atingirem o Sul do país, tiveram um rápido deslocamento para a região Sudeste, acarretando forte convecção nas regiões Centro-Oeste e Norte.

O primeiro sistema frontal penetrou no Sul do Brasil no dia 7 de fevereiro, teve um deslocamento para o interior do Rio Grande do Sul e no litoral se deslocou até Campos/RJ, causando chuvas intensas no Rio Grande do Sul e nebulosidade no restante das regiões. No dia 14 o segundo sistema frontal atingiu o Sul do Brasil e teve deslocamento pelo litoral de Santa Catarina até o Rio de Janeiro, causando áreas de instabilidades, chuvas e ventos intensos no Norte do Rio Grande do Sul. Nas demais áreas, causou nebulosidade e chuvas fracas. O terceiro sistema frontal atingiu o litoral do Rio Grande do Sul, no dia 17, deslocou-se para a região Sudeste, alcançando a cidade de Santos/SP no dia 19. Este sistema permaneceu estacionário até o dia 23, acarretando uma faixa de nebulosidade e convecção tropical desde a região Norte e Centro-Oeste, estendendo-se para Sudeste formando a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul). A nebulosidade causada pela ZCAS pode ter sido influenciada pela persistência de áreas no Oceano Atlântico próximas ao continente com TSM acima da média climatológica. A umidade relativa do ar em 1000hPa estava em torno de 90%,

já em médios níveis (700hPa) estava em torno de 60%. A ZCIT estava mais atuante e com sua banda mais ao sul de sua posição climatológica (BOLETIM CLIMANÁLISE, 1999).

Através da série temporal dos elementos em superfície verifica-se que o saldo de radiação médio na floresta é maior que na área pastagem, para os dias estudados. As temperaturas são mais elevadas sobre o sítio pastagem, assim como sua amplitude térmica diária. A umidade específica é superior na floresta e o vento é fraco ou nulo no período noturno, sofrendo aumento no período diurno. Na pastagem, o vento foi mais elevado e apresentou um núcleo de vento máximo de  $12\text{m.s}^{-1}$  no dia 11. A direção do vento na floresta não apresenta um comportamento padrão, já que, oscila em várias direções durante o dia. Mas a direção predominante foi de direção Oeste. Na pastagem o vento também apresenta direção aleatória, sendo predominantes às direções de Norte e Sudoeste. As precipitações sobre os sítios foram semelhantes e praticamente ocorreram durante o mesmo período em que atuavam os sistemas frontais, resultando em bandas de nebulosidades mais intensas sobre a região de Rondônia. A floresta apresentou maior índice pluviométrico, 126,9mm versus 111,26mm na pastagem. O dia 18 apresentou maior índice pluviométrico diário para o período estudado, em ambos os sítios. A análise dos dados de superfície se encontra no Apêndice B.

#### **4.2.2 – Ciclo médio diário**

##### **4.2.2.1 – Saldo de radiação**

As curvas do saldo de radiação da floresta e pastagem na estação chuvosa (Figura 12) apresentam-se semelhantes. O saldo médio é menor na pastagem ( $136,51 \pm 233,92\text{W.m}^{-2}$  versus  $140,32 \pm 233,04\text{W.m}^{-2}$ ). Na floresta, o saldo de radiação é superior à pastagem do início da manhã até por volta de 12 HL, quando tem seu máximo de  $557,03\text{W.m}^{-2}$ . Após este período, o saldo entra em declínio até por volta do pôr-do-sol quando se torna negativo e, neste momento, apresenta um mínimo de  $-31,51\text{W.m}^{-2}$ , às 19 HL. Na pastagem, o saldo de radiação é superior à floresta durante a madrugada e no intervalo de 13 HL a 18 HL, onde têm um máximo de  $560,04\text{W.m}^{-2}$ , às 13 HL, ou seja, com defasagem de 1 hora com relação à floresta, e assim como na floresta seu mínimo de  $-30,51\text{W.m}^{-2}$  ocorre também às 19 HL. A grande variabilidade (desvios) durante o período diurno demonstra a existência de muita nebulosidade em ambos os sítios. Silva Dias et al., (2002) utilizando dados de redes

pluviométricas na região, mostraram que a intensidade máxima da chuva ocorre entre 12 e 16 HL.

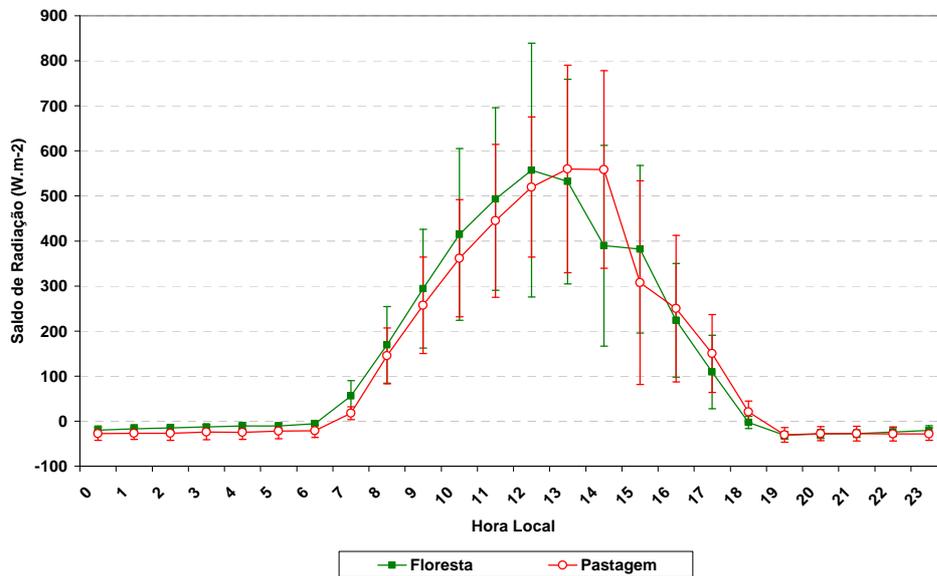


Figura 12 – Saldo de radiação médio horário para floresta e pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999.

#### 4.2.2.2 – Temperatura do ar

As curvas de temperatura média horária da floresta e pastagem são semelhantes e estão apresentadas na Figura 13. A média foi superior na floresta,  $25,27 \pm 2,47^\circ\text{C}$  versus  $24,80 \pm 2,44^\circ\text{C}$  na pastagem. A temperatura na pastagem é superior à floresta apenas das 12 HL até por volta de 15:30 HL. A curva média na pastagem apresenta seu máximo de  $28,88^\circ\text{C}$ , às 14 HL, enquanto que o máximo observado na floresta ocorre com defasagem de 1 hora ( $28,35^\circ\text{C}$  as 15 HL). Os mínimos ocorreram simultaneamente às 6 HL, cujo valores encontrados sobre a pastagem foram de  $21,21^\circ\text{C}$  versus  $22,84^\circ\text{C}$  na floresta. Observa-se que mesmo existindo defasagem entre os picos de máximo no saldo de radiação, a temperatura do ar na floresta necessita de maior tempo do que na pastagem para alcançar seu máximo, ou seja, a atmosfera leva um tempo maior para se aquecer. Provavelmente isso ocorra devido a diferenças entre o tipo de bioma existente em cada sítio.

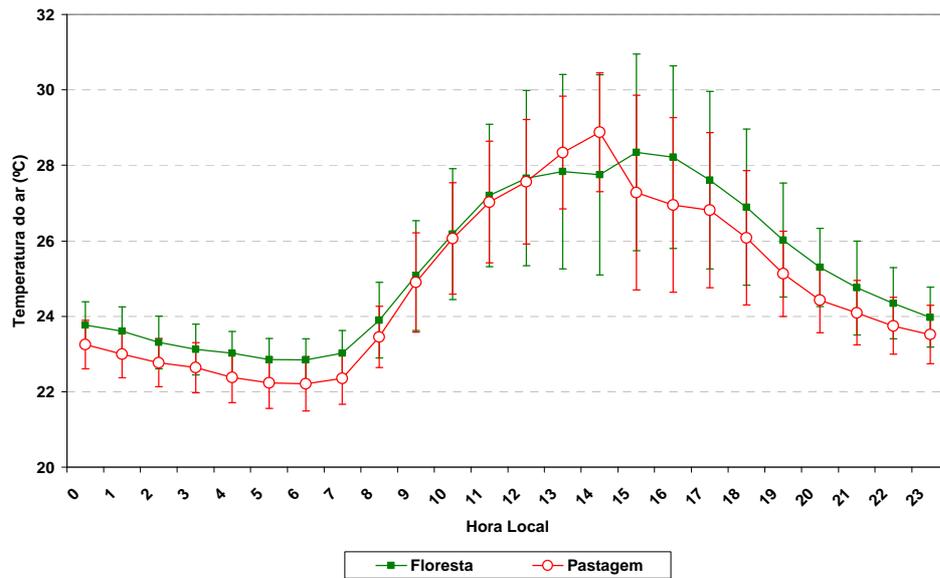


Figura 13 – Temperatura do ar média horária para floresta e pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999.

#### 4.2.2.3 – Umidade específica

A Figura 14 mostra que o comportamento da umidade específica na floresta e pastagem durante o decorrer do período, é oposto na maior parte do tempo e marcado por grande variabilidade. Verifica-se que do início da manhã até por volta de 11 HL, a umidade específica na floresta aumenta e sobre a pastagem ela decresce, apresentando mínimo de  $16,92\text{g.Kg}^{-1}$  às 11 HL. O contrário ocorre no período da tarde, quando a umidade específica na pastagem aumenta, tendo seu máximo de  $18,37\text{g.Kg}^{-1}$  e na floresta diminui, com um mínimo de  $17,26\text{g.Kg}^{-1}$ , ambos às 14 HL. Após este mínimo, a umidade específica na floresta volta a crescer, sendo que seu máximo de  $18,16\text{g.Kg}^{-1}$  que ocorre às 21 HL. A umidade média é maior na floresta ( $17,75\pm 0,73\text{g.Kg}^{-1}$  versus  $17,70\pm 0,82\text{g.Kg}^{-1}$ ). A umidade apresenta um ciclo diário duplo de valores extremos, certamente devido a influência da precipitação. Isto fica evidente quando verificamos a grande variabilidade da umidade (desvios altos), tanto na floresta como na pastagem. Durante a estação chuvosa as variáveis meteorológicas apresentam grandes desvios devido intensidade de precipitação e nebulosidade.

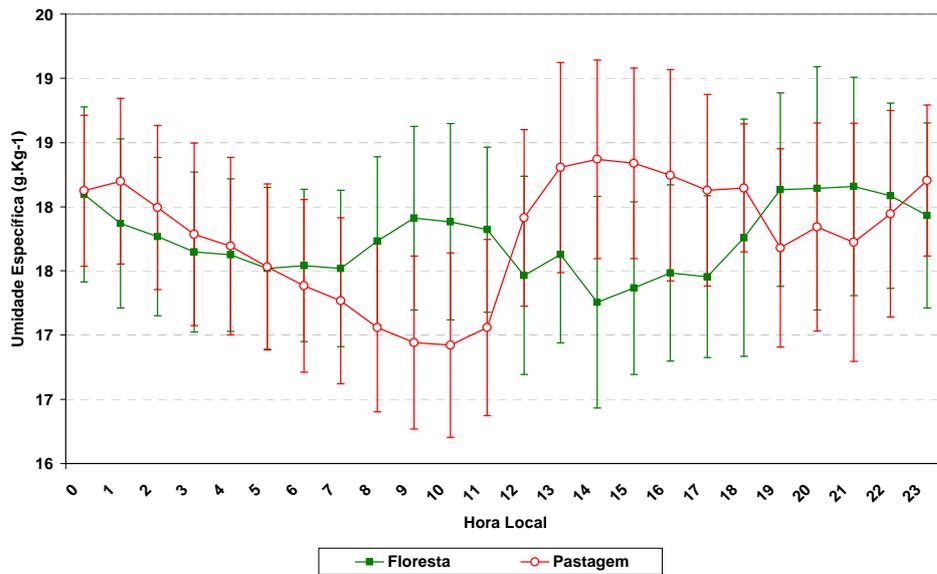


Figura 14 – Umidade específica média horária para floresta e pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999.

#### 4.2.2.4 – Velocidade do vento

A velocidade média do vento é superior na pastagem  $2,49 \pm 1,94 \text{ m.s}^{-1}$  versus  $1,54 \pm 0,88 \text{ m.s}^{-1}$  na floresta (Figura 15). Observa-se que o vento é mais forte sobre a pastagem durante a maior parte do dia. Na floresta o vento, apresenta um máximo de  $2,21 \text{ m.s}^{-1}$  por volta das 13 HL e um mínimo de  $0,86 \text{ m.s}^{-1}$ , às 0 HL. A floresta o ciclo diário é bem definido, sendo maior no diurno e menor no noturno. Na pastagem o máximo foi de  $4,48 \text{ m.s}^{-1}$  às 15 HL e o mínimo de  $1,09 \text{ m.s}^{-1}$ , às 21 HL. É interessante notar que a variabilidade na pastagem é bem maior, assim como o seu ciclo diário melhor definido.

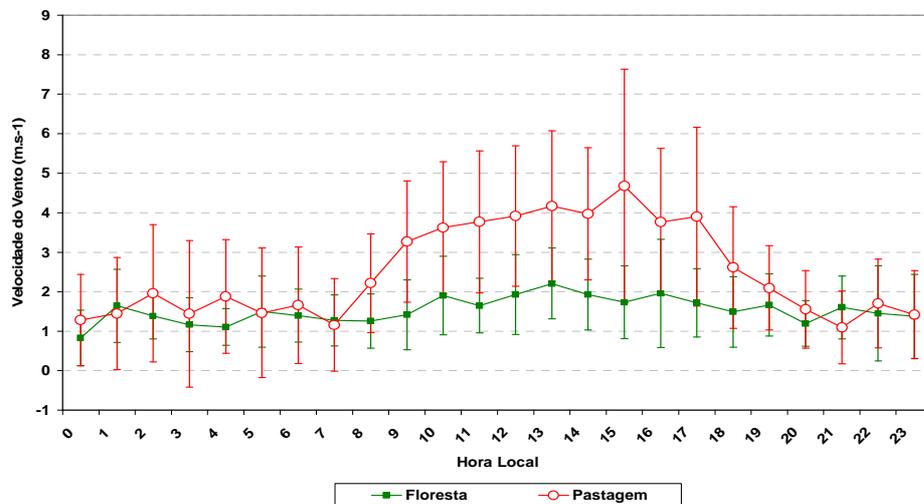


Figura 15 – Velocidade do vento média horária para floresta e pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999.

#### 4.2.2.5 – Direção do vento

Na floresta a direção do vento oscila de Nordeste nos períodos noturnos e madrugada e Sul no período diurno (Figura 16). Já a pastagem tem um ciclo bem diferenciado da floresta, apresentando ventos de direção Norte a Nordeste e Noroeste na maior parte do período diurno, sendo que de 19 às 23 HL o vento sopra de Leste. Ou seja, na maior parte do dia o escoamento em superfície é diferente nos dois locais. Isto implica em afirmar que as características do ar que atinge cada local são distintas, podendo resultar em diferenças significativas em termos termodinâmicos.

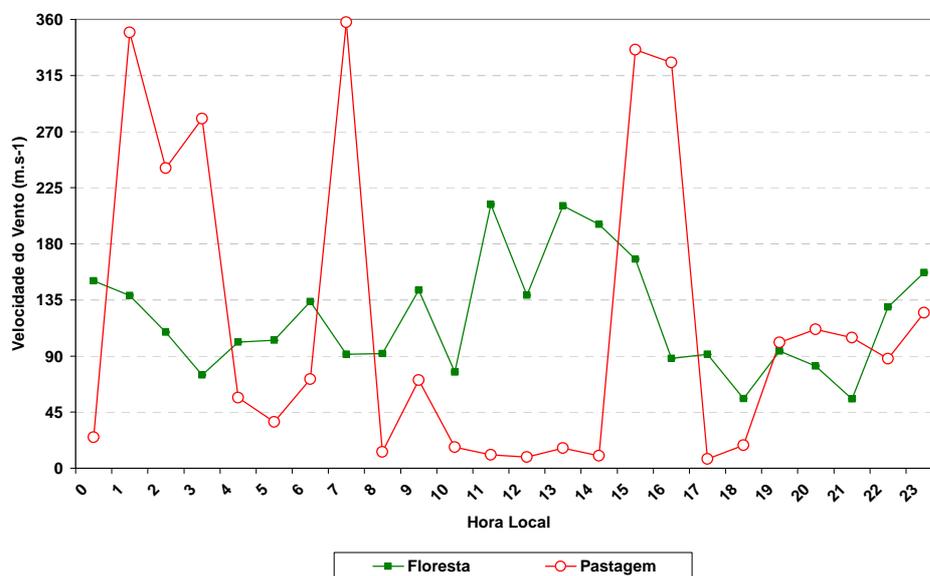


Figura 16 – Direção do vento média horária para floresta e pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999.

#### 4.2.2.6 – Precipitação

O ciclo horário de precipitação (Figura 17) é constituído dos totais acumulados em cada hora do dia durante o período do estudo. A precipitação total foi superior na floresta (126,9mm versus 111,26mm). A floresta apresenta precipitações bem distribuídas praticamente ao longo de todo o dia. Seu máximo foi de 22,8mm a 1 HL. Na pastagem as precipitações ocorrem principalmente no período da madrugada, até início da manhã, e durante à tarde, onde têm um máximo de 37,02mm as 15 HL. Este valor mais elevado foi influenciado pela precipitação ocorrida no dia 7 (20,7mm). O horário máximo de precipitação foi verificado também por Machado et al., (2002), que usando imagens de satélite e dados de radar na estação chuvosa, observaram um aumento na fração de nuvens altas e chuva convectiva no horário de 15 HL

aproximadamente. Já Tota et al., (1999) observaram que neste mesmo horário ocorreram eventos de chuvas oriundas de convecção local.

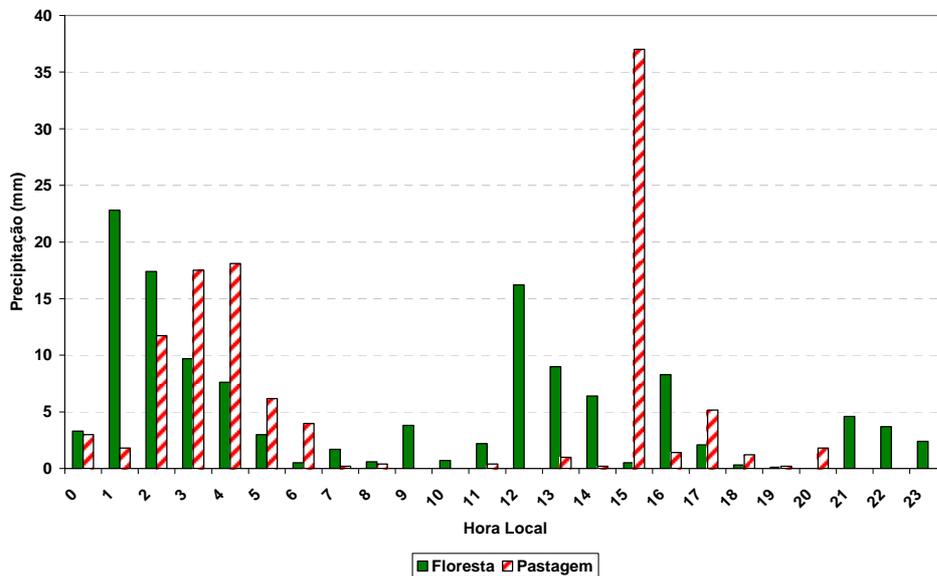


Figura 17 – Ciclo horário da precipitação para floresta e pastagem no período de 07 a 21 de fevereiro de 1999.

### 4.2.3 – Evolução espaço-temporal

#### a) Temperatura potencial virtual

Os ciclos diários da temperatura potencial virtual na CLA podem ser visualizados devido ao aquecimento diurno e resfriamento noturno (Figura 18). É possível verificar os ciclos na maior parte dos dias em estudo. Os menores valores de  $\Theta_v$  ocorrem no período noturno próximos à superfície. Na floresta na maior parte dos dias os ciclos de  $\Theta_v$  são bem pronunciados sendo possível observar a estrutura da CLA. Nos dias 9, 11, 12, 13 e 14, nota-se entrada de ar mais quente na CLC. Na pastagem os ciclos de  $\Theta_v$  são mais difíceis de serem identificados, mas mesmo assim pode-se observar a evolução da CLA. Entre os dias 7 e 8 não se consegue diferenciar a separação entre a CLC e CLN. É observado com mais facilidade a entrada de ar mais quente proveniente de altos níveis nos dias 13 e 14.

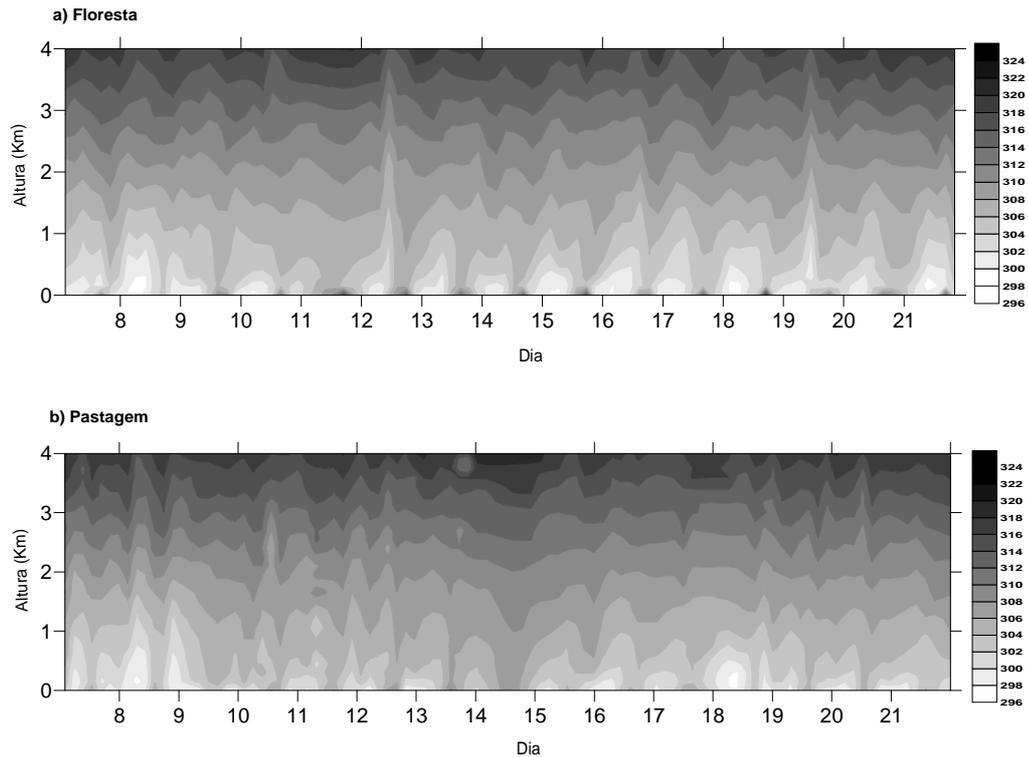


Figura 18 – Evolução espaço-temporal da temperatura potencial virtual na floresta (a) e pastagem (b) na estação chuvosa.

### b) Umidade específica

A umidade específica é maior sobre o sítio de floresta (Figura 19). Os principais contrastes ocorrem junto à superfície e nas primeiras camadas dentro da CLC. Com o aumento da altitude, as diferenças tendem a uma diminuição. Na floresta os ciclos são mais definidos que na pastagem. Devido à grande ocorrência de precipitações nos dias do experimento a umidade apresenta valores mais elevados e os maiores valores ocorrem sobre o sítio de floresta. Na pastagem, observa-se que no dia 11 há entrada de ar mais seco na CLC, sendo que neste dia não ocorreu precipitação.

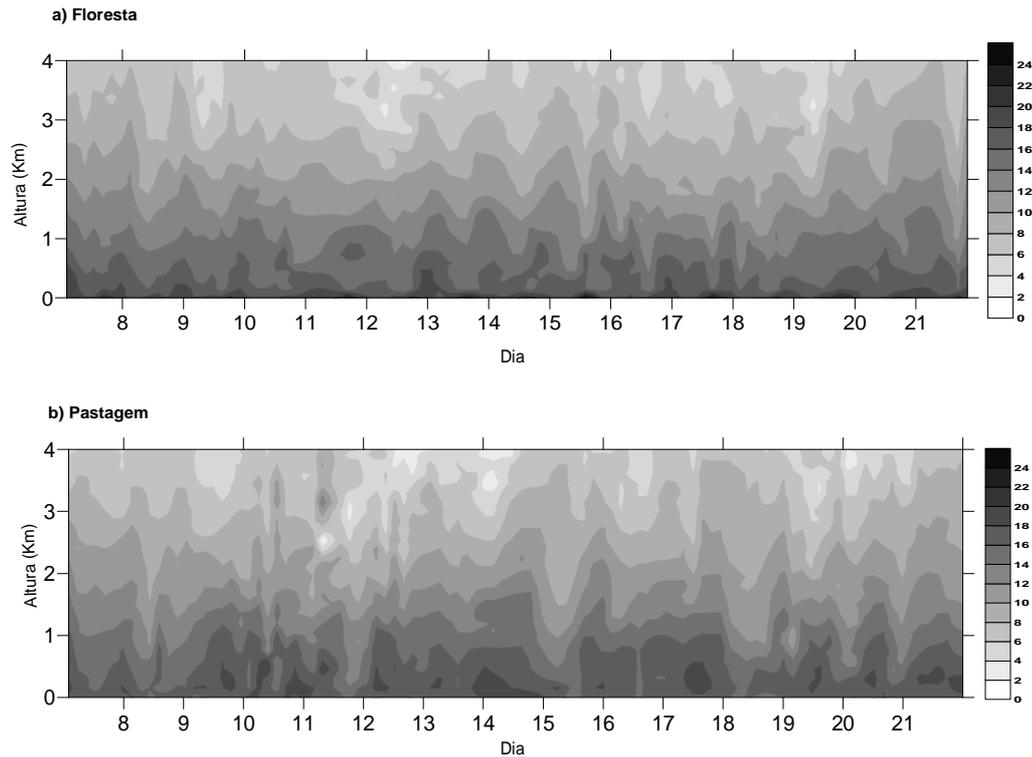


Figura 19 – Evolução espaço-temporal da umidade específica na floresta (a) e pastagem (b) na estação chuvosa.

### c) Velocidade do vento

Os ventos da CLC são mais fortes no sítio de pastagem que sobre o sítio de floresta, como observa-se na Figura 20. Eles variam de calmos a moderados em ambos os sítios. Os ciclos diários ou padrões diários são difíceis de serem observados na estação chuvosa. O vento tende a ter um aumento na velocidade com a altura. Na floresta nota-se que o vento nos primeiros metros da atmosfera é fraco ou próximo de nulo. Nos primeiros 2000m é possível verificar poucos núcleos de vento fortes, como por exemplo, os dias 8 e 18. Na pastagem os ventos em superfície são mais fortes, sendo possível também verificar a ocorrência de núcleos de vento máximo, nos dias 7, 8, 18 e 21. As 20 HL do dia 18 observa-se um núcleo classificado como um JBN, com velocidade de  $11,3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (ver Apêndice E).

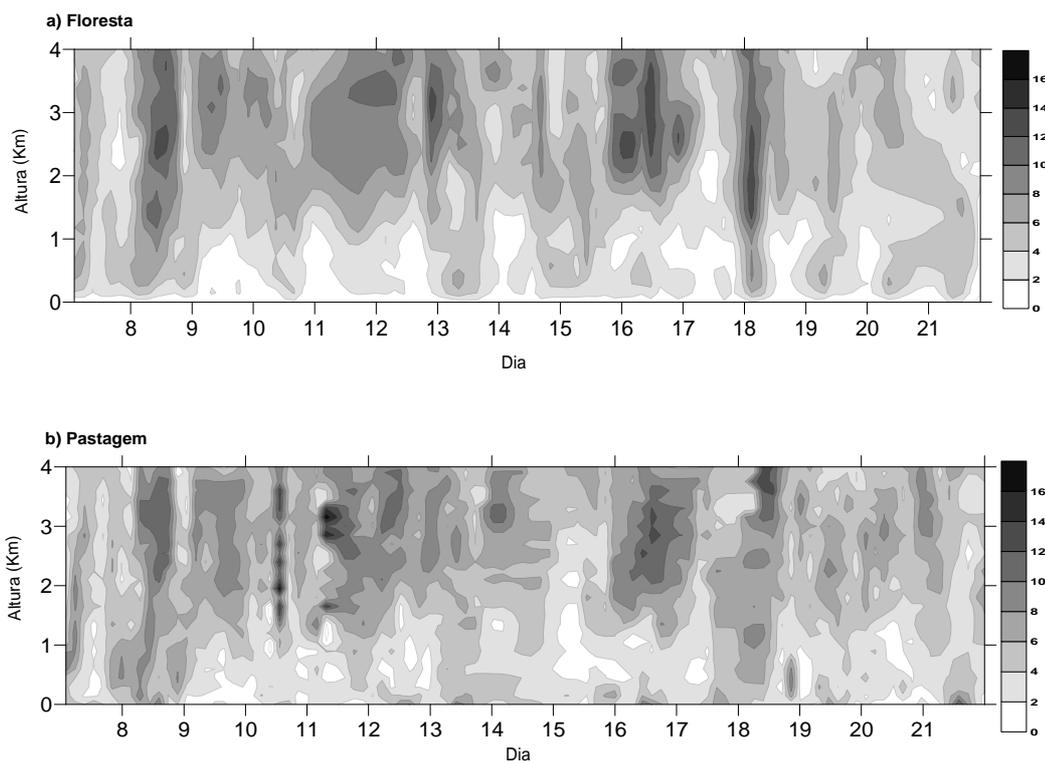


Figura 20 – Evolução espaço-temporal da velocidade do vento na floresta (a) e pastagem (b) na estação chuvosa.

### 4.3 – Estação de transição (15 a 29.10.2002)

#### 4.3.1 – Aspectos sinóticos

A estação apresentou condições de atmosfera tropical em transição do período seco para o chuvoso, estando de acordo com as normais climatológicas.

Segundo o Boletim Climanálise de outubro de 2002, a TSM apresentou valores mais altos, entre 30°C e 32°C em áreas do setor Central e Oeste do Oceano Pacífico Equatorial. As configurações de anomalias de TSM indicam que houve aumento na área de atuação do El Niño. O fenômeno se configurou em junho de 2002 e permaneceu atuando até março de 2003. O campo de Pressão Nível do Mar mostrou predominância de anomalias negativas no hemisfério Sul e anomalias positivas sobre o hemisfério Norte. No campo de anomalias de vento em 850 hPa, destacou-se o enfraquecimento dos ventos Alísios no Pacífico Equatorial Oeste. Em 200hPa nota-se um padrão de dipolo sobre a América do Sul, com anomalia ciclônica sobre o Sul do Brasil e anticiclônica sobre o Norte do Brasil.

No Norte do Brasil as chuvas estavam acentuadas no oeste da Região, sendo o Oeste da Amazônia e o Norte de Rondônia, com valores de 200 a 250mm. Durante o período do estudo atuaram no Brasil 5 sistemas frontais.

O primeiro sistema frontal atingiu o Brasil dia 14 de outubro, e se restringiu sua atuação ao Rio Grande do Sul e Sul de São Paulo. O segundo sistema frontal que ingressou no país, no dia 20, teve seu deslocamento pelo litoral chegando a Caravelas/BA, no dia 24, onde favoreceu a ocorrência de chuvas fracas a moderadas. No dia 25 o terceiro sistema frontal atingiu Rio Grande/RS e deslocou-se rápido atingindo o Rio de Janeiro no dia 27, deslocando-se para o oceano. O quarto sistema frontal que atingiu o extremo Sul do País, no dia 27, apresentou fraca intensidade e rápido deslocamento pela região Sul do Brasil. O quinto e último sistema frontal do mês causou chuvas generalizadas nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Esta frente fria iniciou sua trajetória em Torres/RS, no dia 29, atingindo o Rio de Janeiro no dia 31.

A ZCIT estava com sua posição mais ao Norte, influenciando formação de Linhas de *Cumulonimbus* no extremo Norte da América do Sul. A alta troposférica esteve posicionada sobre o Norte da Bolívia no início de outubro, desconfigurando-se entre 8 a 13 quando um vórtice ciclônico manteve-se estacionário no Centro-Leste do Brasil. Na segunda quinzena do mês a alta troposférica estava a Nordeste de sua posição média. No início de outubro ocorreu o segundo maior pico de números de queimadas num só dia em todo o ano de 2002, no início do experimento Rondônia esteve coberta por espessa fumaça. Foram observados 3000 focos em Mato Grosso e Rondônia. Os dias com nebulosidades intensas foram dia 21 e 22.

Analisando a série temporal dos dados de superfície da estação de transição de seca para chuvosa verifica-se que o saldo de radiação sobre os sítios de floresta e pastagem são semelhantes, sendo superior na floresta. A temperatura do ar sobre a pastagem tende a ser um pouco mais elevada que no sítio de floresta, a amplitude térmica na pastagem é superior a floresta. A umidade específica é mais elevada sobre o sítio de floresta. A velocidade do vento na estação de transição é semelhante em ambos os sítios, sendo que a pastagem apresenta alguns núcleos de velocidades mais elevadas. A direção do vento na floresta e pastagem é aleatória, sem um ciclo bem definido, sendo que em ambos os sítios a direção predominante de Norte. A precipitação sobre o sítio de floresta foi menor que no sítio de pastagem, 63,41mm versus 211mm, e ocorreu concentrada em dias de passagens de sistemas frontais

sobre o Brasil. Na pastagem a precipitação ocorreu principalmente concentrada entre os dias 18 e 22. Mais detalhes no Apêndice C.

### 4.3.2 – Ciclo médio diário

#### 4.3.2.1 – Saldo de radiação

As curvas do saldo de radiação sobre a floresta e pastagem são semelhantes (Figura 21), mas existe uma defasagem, uma vez que na floresta ele torna-se positivo com atraso de meia hora em relação à pastagem. Durante o período matutino o saldo de radiação é maior sobre a pastagem, enquanto no período vespertino dá-se o contrário. Em ambos os sítios o máximo ocorre as 11 HL:  $597,05\text{W.m}^{-2}$  na floresta e  $606,96\text{W.m}^{-2}$  na pastagem. Durante o período da tarde o saldo de radiação sobre a floresta é maior que na pastagem. No período noturno e na madrugada o saldo é negativo e as curvas se apresentam muito próximas, onde foi detectado os menores valores sobre a pastagem,  $-30,53\text{W.m}^{-2}$  às 21 HL versus  $-28,07\text{W.m}^{-2}$  na floresta às 19 HL. O saldo médio é maior na floresta  $151,1\pm 243,1\text{W.m}^{-2}$  versus  $145,15\pm 242,36\text{W.m}^{-2}$ . Há maior irradiação solar no período de transição (menos chuvoso) comparado com o chuvoso, devido à menor nebulosidade neste período (SOUZA FILHO et al., 2006).

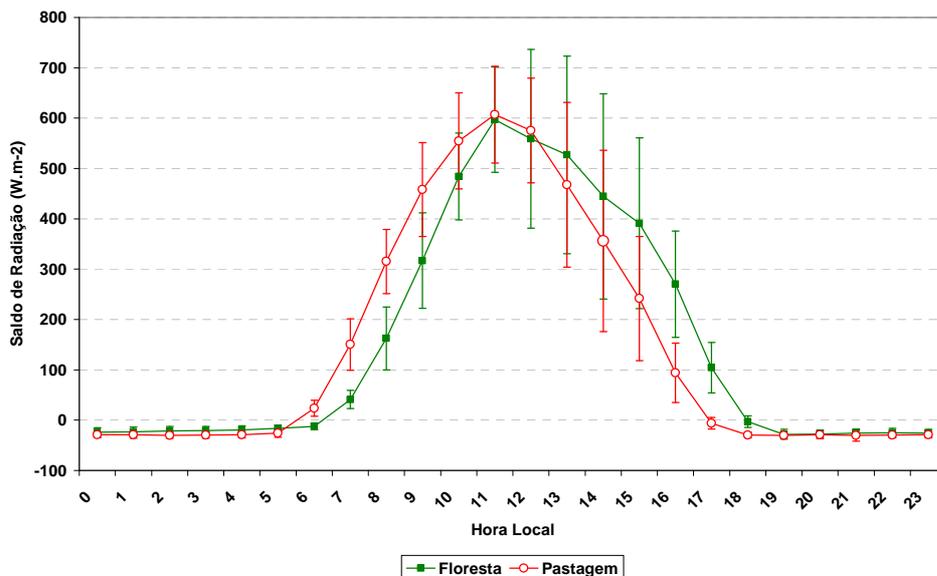


Figura 21 – Saldo de radiação médio horário para floresta e pastagem no período de 15 a 29 de outubro de 2002.

#### 4.3.2.2 – Temperatura do ar

As curvas de temperatura para floresta e pastagem apresentam o mesmo padrão de evolução, porém com defasagem entre os ciclos (Figura 22). A média foi bem superior na floresta ( $29,27 \pm 3,19^\circ\text{C}$  versus  $26,89 \pm 4,49^\circ\text{C}$ ). Na maior parte do dia a temperatura na floresta é superior à da pastagem: ela supera a da floresta no período das 7 HL até as 13 HL, em que apresenta seu máximo de  $33,67^\circ\text{C}$  as 12 HL. A temperatura máxima na floresta foi de  $33,33^\circ\text{C}$  e ocorreu às 15 HL. Os mínimos de temperatura ocorrem com 1 hora de defasagem: na floresta a mínima foi de  $25,72^\circ\text{C}$ , às 6 HL, enquanto na pastagem foi de  $22,25^\circ\text{C}$ , às 5 HL. O fato da temperatura na floresta ser inferior na parte da manhã e superior à tarde, se deve a influência do saldo de radiação, que apresenta o mesmo padrão (Figura 21). Caso não houvesse o resfriamento mais forte na pastagem no período noturno o efeito do desmatamento sobre a temperatura do ar seria ainda maior.

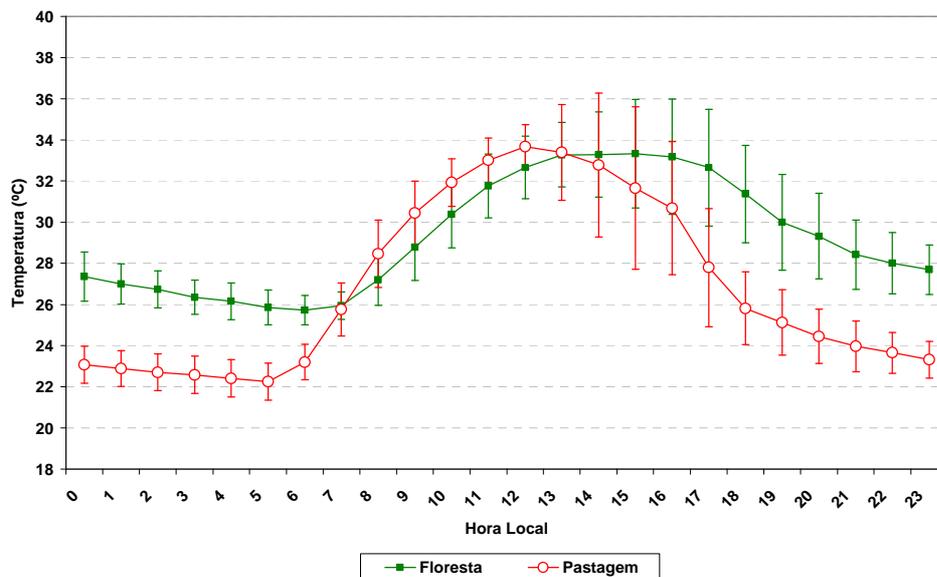


Figura 22 – Temperatura do ar média horária para floresta e pastagem no período de 15 a 29 de outubro de 2002.

#### 4.3.2.3 – Umidade específica

As curvas de umidade específica na floresta e pastagem (Figura 23) são semelhantes, sendo que a umidade específica sobre a floresta é bem maior durante todo o dia. A umidade média na floresta foi de  $20,90 \pm 1,17 \text{g.Kg}^{-1}$  e na pastagem foi de  $17,48 \pm 1,02 \text{g.Kg}^{-1}$ . O máximo na floresta foi de  $21,63 \text{g.Kg}^{-1}$ , às 9 HL e de  $18,43 \text{g.Kg}^{-1}$ , às 11 HL na pastagem. Os mínimos foram de  $20,20 \text{g.Kg}^{-1}$ , às 16 HL na floresta versus  $16,43 \text{g.Kg}^{-1}$ , às 5 HL na pastagem. A

umidade na floresta é bem mais elevada, mesmo observando que a pastagem durante o período estudado tenha apresentado precipitações 30% superiores as da floresta. A umidade do ar na pastagem mostrou um decréscimo no período noturno, que pode ser atribuído a formação de orvalho (GALVÃO e FISCH, 2000).

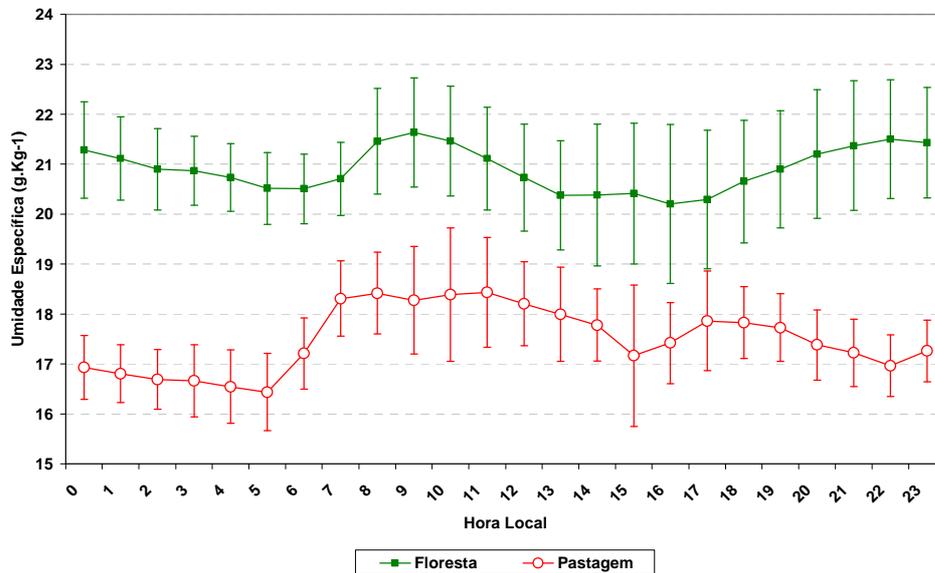


Figura 23 – Umidade específica média horária para floresta e pastagem no período de 15 a 29 de outubro de 2002.

#### 4.3.2.4 – Velocidade do vento

As curvas de velocidade do vento sobre a floresta e pastagem estão representadas na Figura 24. O vento médio foi superior na floresta,  $1,60 \pm 1,05 \text{m.s}^{-1}$  versus  $1,16 \pm 1,06 \text{m.s}^{-1}$ . Em ambos os sítios as velocidades são pequenas e a variabilidade é grande. Durante a maior parte do dia a média da velocidade do vento é maior sobre a floresta. Na pastagem ele é superior somente no período da manhã que vai (das 7 HL às 11 HL), acompanhando o ciclo de temperatura do ar. Na floresta o vento máximo foi de  $2,41 \text{m.s}^{-1}$ , às 18 HL, e o mínimo, de  $0,57 \text{m.s}^{-1}$ , às 7 HL. Na pastagem o vento máximo foi de  $2,18 \text{m.s}^{-1}$ , às 14 HL, e mínimo de,  $0,24 \text{m.s}^{-1}$ , às 5 HL.

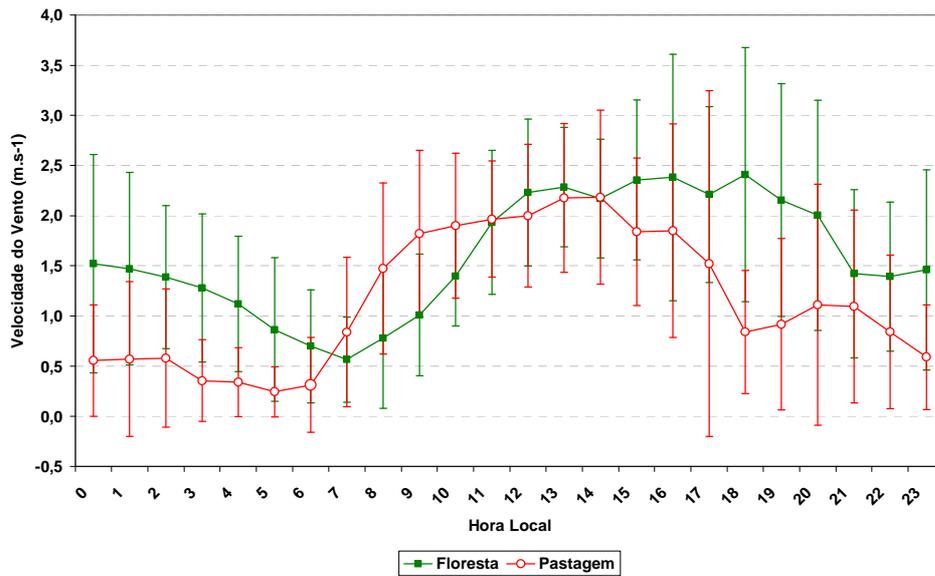


Figura 24 – Média horária da velocidade do vento para floresta e pastagem no período de 15 a 29 de outubro de 2002.

#### 4.3.2.5 – Direção do vento

A direção do vento média horária nos sítios de floresta e pastagem na estação de transição pode ser visualizada na Figura 25. Verifica-se que ela é diferente sobre cada bioma. Na floresta o vento passa de Noroeste na madrugada a Sudeste no meio da manhã, quando a direção passa a ser de Norte até o final do dia. Na pastagem a direção oscila muito, principalmente nos períodos da madrugada e noite. Durante o período diurno o vento tende a ser de Sudoeste a Sudeste.

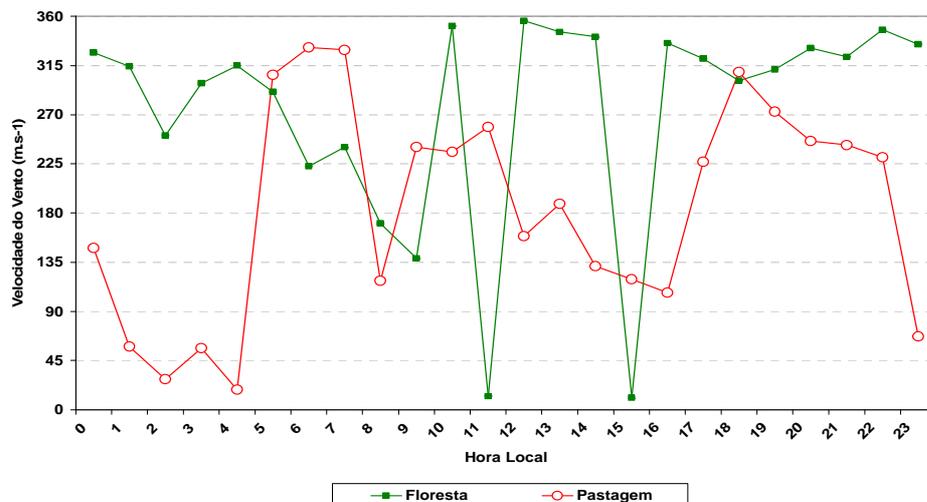


Figura 25 – Direção do vento média horária para floresta e pastagem no período de 15 a 29 de outubro de 2002.

#### 4.3.2.6 – Precipitação

A Figura 26 apresenta o ciclo horário de precipitação na forma de totais acumulados. A precipitação sobre a pastagem é maior que na floresta, ou seja, 211mm versus 63,41mm. Os ciclos de precipitação em ambos os sítios são bem definidos. A precipitação sobre a floresta ocorre principalmente no horário de 14 a 19 HL, o máximo de precipitação foi de 26,60mm, às 17 HL. Na pastagem a precipitação ocorreu principalmente no período noturno quando atingiu seu máximo de 105,50mm às 4 HL. O alto volume de precipitação acumulado neste horário correu dividido entre os dias 18 a 21. O fato de a precipitação ocorrer preferencialmente à tarde e à noite deve está ligado à combinação de muita umidade com mais disponibilidade de radiação contribuindo para formação de convecção local.

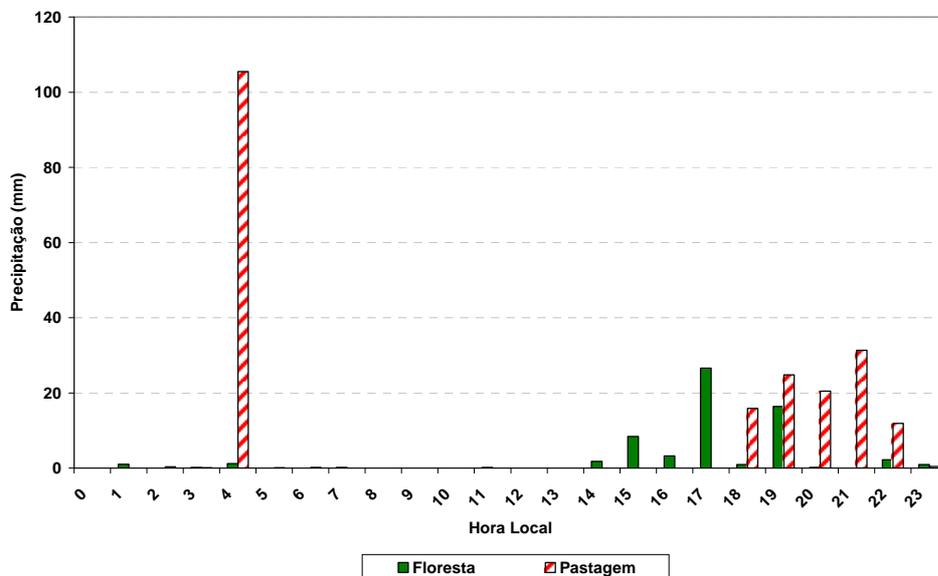


Figura 26 – Ciclo horário da precipitação para floresta e pastagem no período de 15 a 29 de outubro de 2002.

#### 4.3.3 – Evolução espaço-temporal

##### a) Temperatura potencial virtual

Tanto na floresta (a) como na pastagem (b) é possível verificar os ciclos diários da CLA, ciclos estes que são governados pelo resfriamento e aquecimento diário da superfície terrestre (Figura 27). Nota-se que existe uma grande variabilidade diária em ambos os sítios. Na floresta observa-se mais nitidamente a separação da CLC e CLN, como também pode-se visualizar a entrada de ar mais quente na superfície em alguns dias, como por exemplo, nos dias 17, 21, 22, 23 e 26. Na pastagem gradientes de  $\Theta_v$  são maiores, como também é possível

observar a separação entre as camadas facilmente, além de dias com penetração de ar quente (dias 15, 21, 24, 26, 27 e 28). A entrada de ar mais quente no interior da CLC no dia 15 pode estar associada a núcleos intensos de velocidade do vento nesta camada, como também a ventos fracos acima dela na AL, conforme verificado na figura 29.

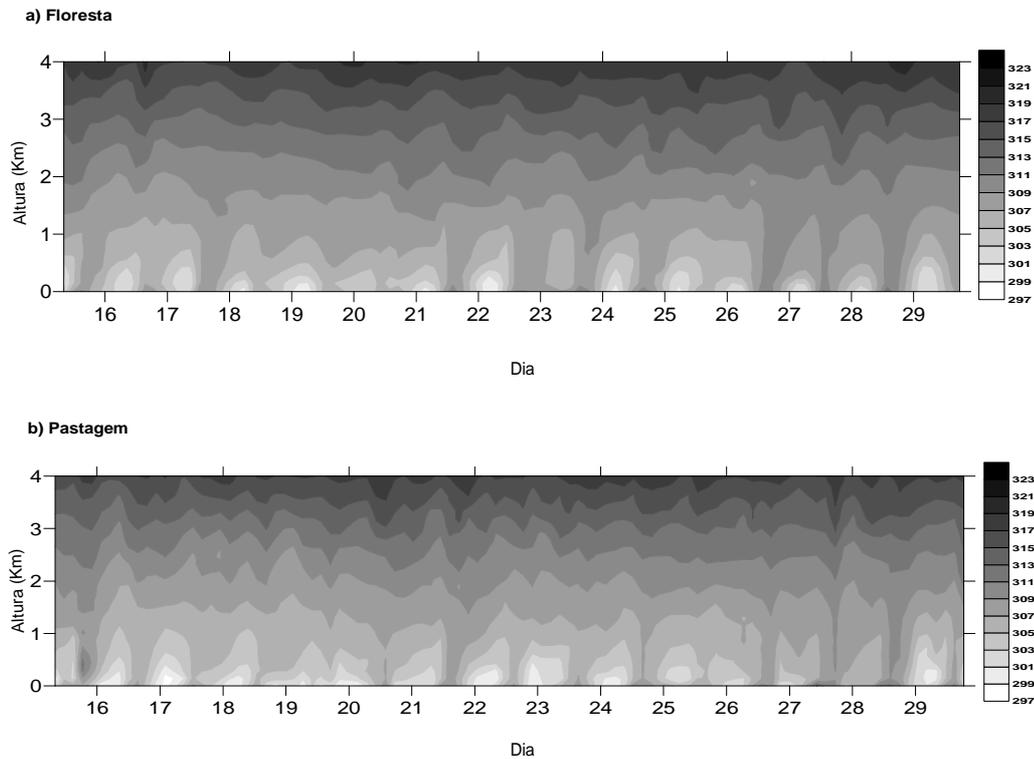


Figura 27 - Evolução espaço-temporal da temperatura potencial virtual na floresta (a) e pastagem (b) na estação de transição.

### b) Umidade específica

A evolução espaço-temporal da umidade específica (Figura 28) é diferente sobre a floresta (a) e pastagem (b). Não é possível visualizar com clareza os ciclos diários da CLA. A atmosfera no período do estudo estava bem úmida devido à precipitação elevada, principalmente na área de pastagem. Mesmo assim, a umidade é superior na floresta. Na floresta observa-se dias em que houve penetração de ar mais seco no interior da CLC, exemplo (dias 17, 21, 26, 27 e 29). Embora a atmosfera sobre o sítio de pastagem esteja menos úmida, há uma grande quantidade de umidade em baixos níveis na escala da CLC. No dia 15 nota-se uma região de ar mais seco em 1500m, provavelmente ligada ao aumento de temperatura e a diminuição do vento. Foi constatada mais três regiões de ar seco na AL entre os dias 18 e 19, e nos dias 24 e 28 que podem estar associados as oscilações de escala regional.

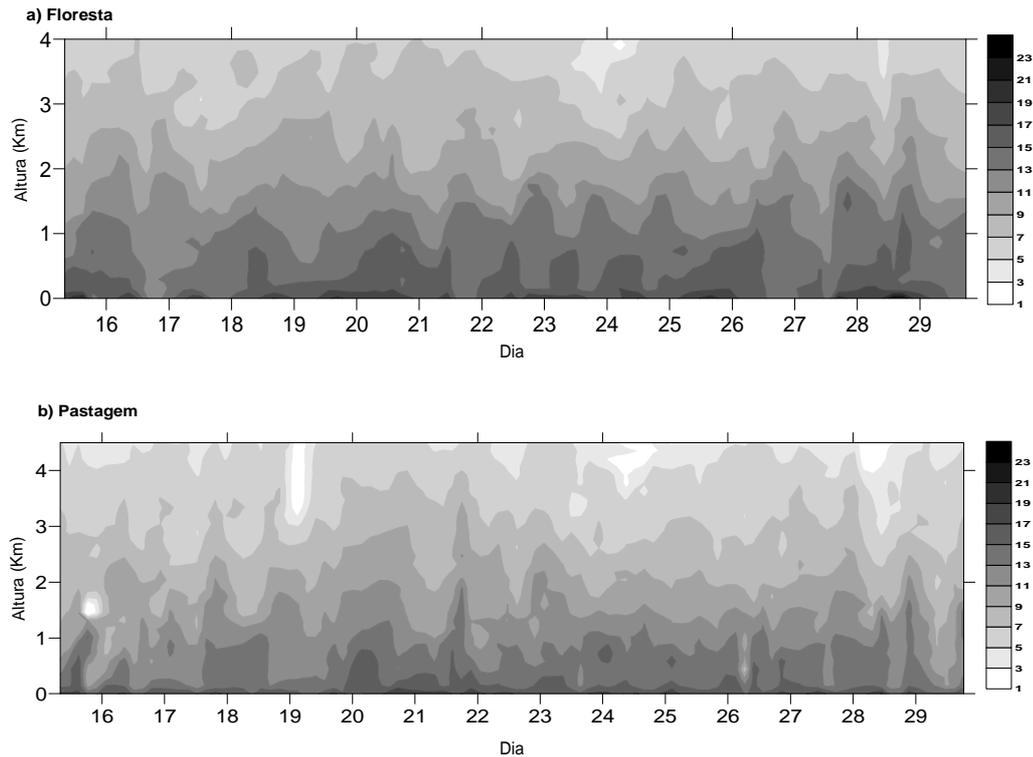


Figura 28 – Evolução espaço-temporal da umidade específica na floresta (a) e pastagem (b) na estação de transição.

### c) Velocidade do vento

A evolução espaço-temporal da velocidade do vento é mostrada na Figura 29. Observa-se que os ventos variam de calmos a moderados. A velocidade do vento tende a aumentar com a altura. O vento em ambos os sítios está interligado, já que tanto os núcleos de máximas, quanto os de mínimos ocorrem simultaneamente. Tanto na floresta (a) como na pastagem (b) é possível verificar núcleos de velocidades intensas na CLA. No sítio de floresta observamos um núcleo de velocidade mais elevada dia 16. A pastagem apresenta ventos levemente mais intensos do que a floresta, como também é possível visualizar núcleos de velocidades elevadas nos dias 15, 16, 21, 24, 25 e 29. O núcleo de vento observado no dia 29 foi caracterizado como um JBN e a sua descrição encontra-se no Apêndice E.

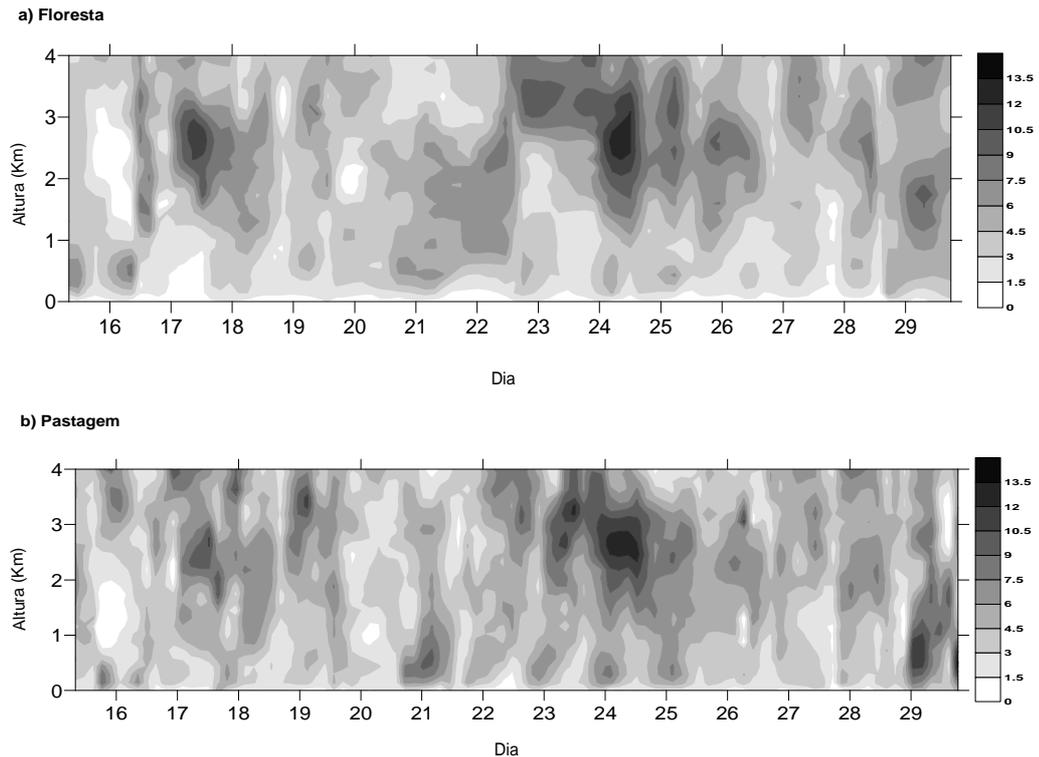


Figura 29 - Evolução espaço-temporal da velocidade do vento na floresta (a) e pastagem (b) na estação de transição.

#### 4.4 – Particularidades da Camada Limite Atmosférica (CLA)

O modelo de crescimento da Camada Limite Atmosférica diurna (CLA) ou Camada Limite Convectiva (CLC) é definido idealizando a CLC como sendo uma camada bem misturada, separada do restante da atmosfera por uma descontinuidade seguida de uma inversão térmica (STULL, 1988).

Com o objetivo de acompanhar a evolução da Camada Limite Convectiva (CLC) e conhecer as particularidades da CLA na região Amazônica, fez-se a observação dos perfis verticais de temperatura potencial virtual ( $\theta_v$ ) nos horários de 11, 14 e 17 HL. Através da análise destes perfis verificou-se que o comportamento da CLC, em algumas ocasiões, apresentou padrões incompatíveis com o atual modelo. Estes comportamentos atípicos serão mostrados através de análises de casos isolados onde se pode observar e analisar melhor as variáveis que influenciam as modificações da termodinâmica da CLA na região.

Para melhor entendimento foram classificadas algumas particularidades observadas na análise das radiossondagens em cada estação. Foram classificadas três particularidades e receberam a nomenclatura que vai de PI até PIII.

PI – Uma das particularidades mais observada foi a de que em alguns dias a CLS se apresenta com espessura maior de 15% da espessura da CLC (deveria ser 10%).

PII – A CLC entra em colapso ao final da tarde, ou seja, à medida que o tempo vai passando a diferença de temperatura entre a CLC e AL tende a zero e a inversão entre a CLC e a AL desaparece. O resultado é uma camada que vai da superfície até o nível de subsidência, mas com características típicas de uma CM.

PIII – A CLC às 17 HL é menos espessa e mais fria em toda sua extensão que a CLC às 14 HL (o normal seria o inverso).

Além destas, a CLA apresenta outras particularidades, que foram observadas em menor número e não serão objeto de uma análise mais detalhada. Quando a CLS das 17 HL foi menos espessa e mais fria que a CLS das 14 HL. E quando a CLC das 11 HL se mostrou mais quente que a CLC das sondagens de 14 e 17 HL.

No total foram observados 22 casos atípicos na floresta e 23 na pastagem. Na estação seca (Figura 30) verificou-se o maior número de casos atípicos (19), sendo 10 na floresta e 9 na pastagem. Na floresta os casos do tipo PI foram mais freqüentes (5 versus 3), obtive-se 3 casos do tipo PIII na floresta e 2 na pastagem. Os casos do tipo PII foram 6 (2 na floresta e 4 na pastagem). Este tipo de particularidade só foi verificado na estação seca. Durante a estação chuvosa (Figura 31) foram encontrados 11 casos (5 do tipo PI e 6 do tipo PIII). Como no caso da estação seca, os do tipo PI foram mais freqüentes na floresta (3 versus 2), e os do tipo PIII mais freqüentes na pastagem (4 versus 2). Foram encontrados 15 casos na estação de transição (9 PI e 6 PIII), apresentados na Figura 32. Os casos do tipo PI foram mais freqüentes na pastagem (5 versus 4), diferente das outras estações. Os casos do tipo PIII foram iguais na floresta e pastagem, ambos com 3 casos.

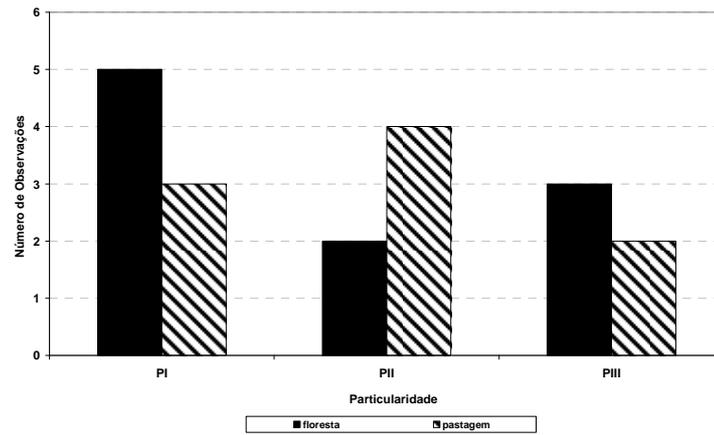


Figura 30 – Número de observações dos casos atípicos encontrados durante a estação seca em área de floresta e pastagem.

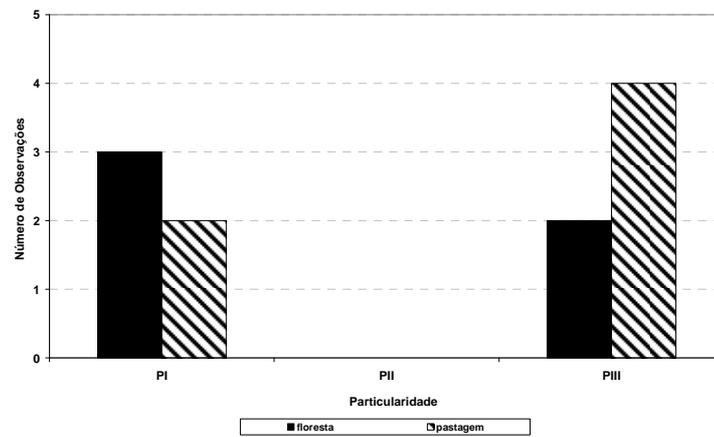


Figura 31 – Número de observações dos casos atípicos encontrados durante a estação chuvosa em área de floresta e pastagem.

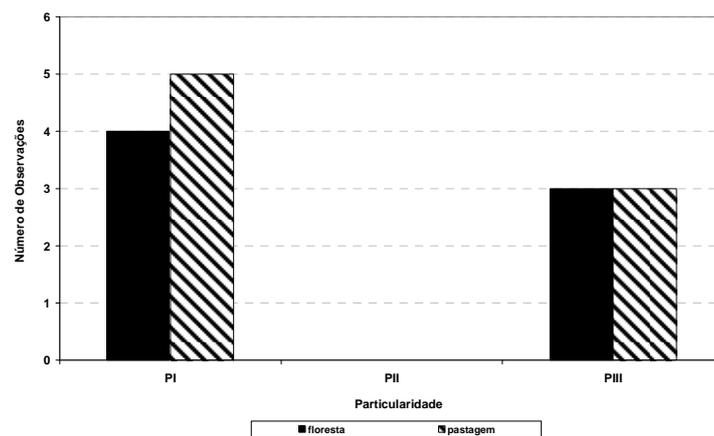


Figura 32 – Número de observações dos casos atípicos encontrados durante a estação de transição em área de floresta e pastagem.

#### 4.4.1 – Relação entre as particularidades e outros parâmetros

Visando ter uma visão geral dos casos de particularidade, os dias em que elas ocorreram foram agrupados em tabelas (uma para cada estação), junto com parâmetros da CLA e outros.

Na estação seca (Tabela 4), nota-se que dos 19 casos de particularidade, 6 ocorreram em condições de vento forte à superfície. No entanto, nos dias em que isto ocorre o vento médio no interior da CLA se manteve próximo da média. A única exceção foi dia 14 na floresta onde o vento as 17 HL foi de  $3,2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  superior a média (máximo de todos os desvios).

Em muitas ocasiões ocorreram mais de uma particularidade durante o mesmo dia e até um caso de três no médio dia (23/08 na pastagem). Neste dia, verificou-se a existência de ventos fortes e 3 máximos em termos de anomalias:  $\theta_v'$  (2,1K);  $Z_c'$  (270m) e  $Z_i'$  (855m). Este dia foi sem dúvida o dia mais atípico de todos, pois também foram observadas particularidades na floresta. Neste local verificaram-se PI e PII associado a vento forte em superfície e os extremos em termos de umidade na CLC,  $2,0\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ , às 11 HL, e  $-2,3\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ , às 14 HL.

Somente em 4 ocasiões foram encontradas particularidades sem a existência de outros fenômenos: PI na floresta nos dias 15 e 16 e PII na pastagem nos dias 19 e 22. Apesar disso, estes foram dias em que a CLA cresceu acima da média. Na floresta (dias 15 e 16) a CLC foi mais alta às 14 HL e 17 HL. Na pastagem (19 e 22) tanto a CLS quanto a CLC foram mais altas as 11 HL.

Em três ocasiões foram verificados PI e PII: Dia 20 na pastagem e dia 23 na floresta e pastagem. Os dois casos de JBN (Jato de Baixos Níveis) ocorreram na floresta. No dia 18 junto com vento forte em superfície e PII, e dia 20 com PI e o máximo de anomalia negativa de  $Z_i'$ . O caso de PIII no dia 19 na floresta está associado aos extremos de vento ( $-2,0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e de  $Z_c'$  (-27m).

Na estação chuvosa verificaram-se 11 casos atípicos (Tabela 5). Destes, 5 foram do tipo PI e 6 do tipo PIII. O diferencial observado na estação chuvosa é que não ocorre mais de uma particularidade no mesmo dia.

Em todos os casos do tipo PI foram observados precipitação, sendo que dia 8 na floresta notou-se a existência de ventos fortes em superfície além da presença de JBN as 5 HL. Este dia pode ser considerado como o mais atípico apresentando também 2 anomalias: o maior valor de vento as 14 HL ( $1,3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e  $Z_c'$  de 88m as 11 HL.

No dia 17 na floresta verificou-se um PIII, porém neste dia não foi observado nenhum tipo de fenômeno associado a particularidades.

No dia 11, na pastagem, observa-se um PI associado à precipitação e 3 anomalias:  $\theta_v'$  (1,4K) as 11 HL;  $q'$  ( $-2,5\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ) e  $Z_c'$  (-71m) as 17 HL.

Na estação de transição (Tabela 6) dos 15 casos atípicos, 4 ocorreram sob condições de vento forte em superfície. Tanto os casos de PI como os de PIII são acompanhados de outros fenômenos. Dos 9 casos de PI, em 5 ocorreram precipitações, sendo que nos dias 17, na pastagem, e 27 na floresta, houve também a ocorrência de PIII.

Dos 6 casos de PIII, em 5 ocorreram junto com PI. O único dia com PIII sem PI foi dia 29 na pastagem. Este dia foi associado a ventos fortes em superfície e JBN. Não foram verificados casos de ocorrência de PII, assim como na estação chuvosa.

O dia 27 na floresta verificou-se o maior numero de ocorrências: PI; PIII;  $\theta_v'$  (2,3K) às 14 HL, e  $Z_i'$  (804m) às 14 HL. Estes dois últimos estão diretamente ligados: CLC mais quente cresce mais alto.

No dia 25 ambos os sítios apresentaram PI, sendo que a pastagem teve o menor  $Z_i'$  (-512m) as 17 HL, já a floresta teve PII, um menor  $\theta_v'$  (-2,1K) as 11 HL e um menor  $Z_c'$  (-86m) as 14 HL.

Finalmente ficou evidente que a maioria das particularidades aqui discutidas ocorreram em dias com outra(s) particularidade(s) ou outro(s) fenômeno(s), na sua maioria de escala local.

Tabela 4 – Parâmetros para dias com particularidades na estação seca. (F) Floresta, (P) pastagem, ( $\theta_v$ ) temperatura potencial virtual na camada menos a média (K), ( $q'$ ) umidade específica na camada menos a média ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ), ( $V'$ ) velocidade do vento na camada menos a média ( $\text{m.s}^{-1}$ ), ( $Z_c'$ ) altura da CLS menos a média (m), ( $Z_i'$ ) altura da CLC menos a média (m), (Prc) precipitação, (JBN) Jato de Baixos Níveis e ( $V_{\text{forte}}$ ) vento forte em superfície.

Data	Local		Hora (HL)	Desvios na CLA					Particularidade			Fenômenos		
	F	P		$\theta_v'$	$q'$	$V'$	$Z_c'$	$Z_i'$	PI	PII	PIII	Prc	JBN	$V_{\text{forte}}$
14	X		11,0	0,3	0,4	-0,1	3	162						
			14,0	-1,8	1,2	0,6	25	-213						
			17,0	*	*	*	-8	-						
15	X		11,0	-0,9	0,5	0,5	41	-66						
			14,0	-0,5	-0,9	-0,2	-10	125						
			17,0	-0,2	-0,2	-1,3	-8	402						
16	X		11,0	-0,3	0,4	-0,4	5	-21						
			14,0	0,2	-0,4	0,3	-12	359						
			17,0	-0,1	0,6	0,3	-3	12						
17	X		11,0	-1,4	0,0	-0,5	0	118						
			14,0	-0,7	-0,3	-0,9	-3	-133						
			17,0	-0,4	-0,8	-0,7	-15	-91						
17		X	11,0	-1,9	0,4	0,3	40	56						
			14,0	-0,6	0,3	-1,4	-6	305						
			17,0	-1,8	0,9	0,4	16	48						
18	X		11,0	-1,1	0,0	-0,4	5	18						
			14,0	-0,1	0,6	-0,3	3	89						
			17,0	-0,9	1,1	-1,9	6	-162						
19	X		11,0	1,3	0,6	0,3	1	561						
			14,0	0,3	1,0	-2,0	3	73						
			17,0	-0,8	-0,5	0,7	-27	-162						
19		X	11,0	0,9	1,2	-1,2	4	303						
			14,0	0,3	0,4	0,5	-1	-204						
			17,0	*	*	*	-	-						
20	X		11,0	-0,4	-0,9	1,3	61	40						
			14,0	-0,9	-0,8	0,5	4	-321						
			17,0	0,1	-0,8	0,3	3	-309						
20		X	11,0	0,9	1,2	-1,2	4	303						
			14,0	0,3	0,4	0,5	-1	-204						
			17,0	*	*	*	-	-						
22		X	11,0	2,0	-0,2	-0,8	41	589						
			14,0	1,3	-1,7	1,0	8	466						
			17,0	*	*	*	-3	-						
23		X	11,0	2,1	-1,8	1,2	28	-126						
			14,0	0,0	-1,0	-0,5	29	855						
			17,0	*	*	*	270	-						
23	X		11,0	0,2	2,0	0,2	5	-56						
			14,0	1,4	-2,3	2,3	85	-284						
			17,0	*	*	*	4	-						

[-] Problema para obtenção da altura ( $Z_i$ ). [\*] Não é possível calcular valores médios.

Tabela 5 – Parâmetros para dias com particularidades na estação chuvosa. (F) Floresta, (P) pastagem, ( $\theta v'$ ) temperatura potencial virtual na camada menos a média (K), ( $q'$ ) umidade específica na camada menos a média ( $g.Kg^{-1}$ ), ( $V'$ ) velocidade do vento na camada menos a média ( $m.s^{-1}$ ), ( $Zc'$ ) altura da CLS menos a média (m), ( $Zi'$ ) altura da CLC menos a média (m), (Prc) precipitação, (JBN) Jato de Baixos Níveis e (Vforte) vento forte em superfície.

Data	Local		Hora (HL)	Desvios na CLA					Particularidade			Fenômenos		
	F	P		$\theta v'$	$q'$	$V'$	$Zc'$	$Zi'$	PI	PII	PIII	Prc	JBN	Vforte
7		X	11	1,3	-1,3	-1,0	-27	489						
			14	-1,2	-0,7	-1,6	8	308						
			17	-2,8	-1,1	-0,2	4	-841						
8	X		11	-2,6	-0,2	0,5	88	54						
			14	-1,3	0,4	1,3	20	201						
			17	-0,2	0,1	-	-21	-35						
11		X	11	1,4	0,2	-0,1	6	-7						
			14	0,3	0,2	-0,2	-13	243						
			17	0,6	-2,5	1,3	-71	-8						
15	X		11	-0,4	0,5	0,4	40	56						
			14	0,7	1,0	-0,2	32	78						
			17	0,9	-0,7	0,6	8	364						
16	X		11	-1,6	-0,3	1,1	22	125						
			14	-1,9	0,5	-0,6	-12	84						
			17	0,5	-0,1	-1,1	3	273						
17	X		11	0,0	-1,4	-1,3	-10	238						
			14	0,7	0,8	-0,7	34	246						
			17	-0,2	-1,4	-0,8	-32	-303						
18		X	11	-3,9	-1,4	1,1	-8	-9						
			14	-2,0	-1,0	0,1	-37	-315						
			17	-0,5	-2,4	-1,9	-24	-276						
19	X		11	0,5	0,2	0,3	14	479						
			14	-0,1	0,3	-0,1	-23	398						
			17	-0,3	0,8	0,5	-28	-31						
19		X	11	0,1	0,9	1,0	21	431						
			14	0,4	0,8	0,2	16	536						
			17	0,1	0,6	1,3	-30	-192						
20		X	11	1,3	1,6	-2,0	-10	406						
			14	0,8	1,3	-2,0	-16	534						
			17	0,4	0,7	-0,3	-10	-990						
21		X	14	-0,4	1,0	0,6	32	355						
			17	-0,1	-0,1	0,3	9	-371						

[-] Problema para obtenção da altura ( $Zi$ )

Tabela 6 – Parâmetros para dias com particularidades na estação de transição. (F) Floresta, (P) pastagem, ( $\theta v'$ ) temperatura potencial virtual na camada menos a média (K), ( $q'$ ) umidade específica na camada menos a média ( $g.Kg^{-1}$ ), ( $V'$ ) velocidade do vento na camada menos a média ( $m.s^{-1}$ ), ( $Zc'$ ) altura da CLS menos a média (m), ( $Zi'$ ) altura da CLC menos a média (m), (Prc) precipitação, (JBN) Jato de Baixos Níveis e (Vforte) vento forte em superfície.

Data	Local		Hora (HL)	Desvios na CLA					Particularidade			Fenômenos		
	F	P		$\theta v'$	$q'$	$V'$	$Zc$	$Zi$	PI	PII	PIII	Prc	JBN	Vforte
15	X		11	-1,4	0,4	2,8	39	181						
			14	-0,6	0,9	-1,6	22	485						
			17	-0,3	0,3	-0,7	-14	-272						
15		X	11	-0,2	0,6	0,2	28	43						
			14	-1,6	1,7	0,3	-54	-34						
			17	0,1	-1,2	-0,3	34	-227						
16		X	11	-1,2	-2,4	2,0	6	-147						
			14	-0,3	-1,3	-1,3	-55	535						
			17	-1,9	1,8	1,0	48	291						
17	X		11	-0,6	-1,3	-1,5	68	453						
			14	1,2	-1,4	-1,1	16	618						
			17	0,2	-1,2	0,2	-21	-383						
17		X	11	-0,4	-1,0	-0,8	15	-147						
			14	0,3	-1,7	-0,5	-24	535						
			17	-1,6	-0,4	1,7	14	291						
24		X	11	-0,5	0,7	0,6	-5	-126						
			14	0,0	1,2	-0,7	-47	472						
			17	-1,6	0,0	1,6	49	-48						
25	X		11	-2,1	0,6	-0,5	42	99						
			14	*	*	*	-86	-						
			17	*	*	*	-46	-						
25		X	11	-1,2	0,8	-0,7	0	-133						
			14	-1,0	0,8	0,0	-51	31						
			17	1,5	-0,4	0,2	9	-512						
27	X		11	2,0	-0,5	-0,5	43	208						
			14	2,3	-1,8	-0,5	-22	804						
			17	0,3	1,1	-1,9	-18	-28						
29		X	11	2,0	-2,8	2,1	-1	320						
			14	0,3	-2,1	1,2	-38	641						
			17	1,5	-0,9	1,8	20	-342						

[ - ] Problema para obtenção da altura ( $Zi$ ). [ \* ] Não é possível calcular valores médios.

#### **4.4.2 – Estudo de Casos**

Serão analisados a seguir quatro casos, sendo um na estação seca (19 de agosto de 1994 no sítio de pastagem (caso 1)), um durante a estação chuvosa (dia 8 de fevereiro de 1999 no sítio de floresta (caso 2)), e dois na estação de transição (dia 25 de outubro de 2002 no sítio de pastagem (caso 3) e dia 27 de outubro de 2002 na floresta (caso 4)). Será feita uma análise minuciosa de todas as variáveis disponíveis, inclusive dados de grande escala.

##### **4.4.1.1 – Dia 19 de agosto de 1994 na pastagem**

A particularidade encontrada é classificada como PII, ou seja, quando a CLC entra em colapso ao final da tarde.

##### **a) Dados de superfície**

O saldo de radiação é superior à média somente no período que vai do início da manhã até as 12 HL, quando se torna inferior até o final do dia (Figura 33a). Portanto, não se atribui a causa da anomalia ao  $R_n$ .

O dia apresentou uma amplitude diária de 15,01°C e mesmo com o elevado valor da amplitude, o ciclo de temperatura diário permaneceu bem próximo da média observada durante todo o período (Figura 33b). Pode-se então considerar que se trata de um dia normal em termos de temperatura.

O ciclo de umidade específica mostra que durante o dia ela foi superior à média das 7 às 14 HL (Figura 33c).

A velocidade do vento foi um pouco acima da média à tarde, de 13 as 17 HL (Figura 33d).

Na direção do vento aparece o primeiro sinal de uma situação atípica (Figura 33e). Durante o período noturno oscilou entre o Oeste e Norte, enquanto no período diurno a direção predominante foi de Leste a Nordeste e Sudeste. Ou seja, durante todo o dia ele soprou de maneira distinta à média do período.

## **b) Perfis na CLC**

As análises sobre a Camada Limite Atmosférica são feitas baseadas nas Figuras 34, 35 e 36. Pelo perfil de temperatura potencial virtual das 11 HL (Figura 34b) a camada estava 0,9K mais quente que a média. A altura da CLC é de 815m sendo superior a média (512m). A umidade específica (Figura 35b) é superior à média do período em estudo, em toda a CLA, com valores da ordem de  $1,2\text{g.Kg}^{-1}$  mais elevados. A velocidade do vento (Figura 36b) estava  $1,2\text{m.s}^{-1}$  menor que a média na CLC, porém, tem um núcleo de vento máximo de  $11\text{m.s}^{-1}$  acima da CLC.

O comportamento da temperatura potencial virtual às 14 HL é observado na Figura 34c. A camada apresenta-se bem desenvolvida com, altura de 1402m, ficando abaixo da altura média observada que é de 1606m. A CLC estava 0,3K mais quente do que a média do período. A umidade específica (Figura 35c) também é mais elevada que a média de  $0,4\text{g.Kg}^{-1}$ . O vento neste horário é  $0,5\text{m.s}^{-1}$  superior à média. Acima da CLA o vento diminui e passa a ter valores bem abaixo da média encontrada.

As 17 HL a temperatura potencial virtual não apresenta um padrão bem definido para caracterização da altura da CLA (Figura 34d). Pelo perfil não é possível verificar a altura da camada. A atmosfera neste horário se apresenta mais quente do que a média de 0,4K. A umidade específica (Figura 35d) é de  $0,2\text{g.Kg}^{-1}$  mais baixa que a média até o nível de 1684m, após esta altura a atmosfera é  $0,8\text{g.Kg}^{-1}$  mais úmida. A velocidade do vento é  $1,2\text{m.s}^{-1}$  menor que a média. Os valores encontrados são mais baixos que todas as sondagens realizadas anteriormente durante o decorrer do dia, possibilitando observar que de 125 a 1000m o vento diminui, ocorrendo o contrário com a média (Figura 36d). Entre 1000 e 2000m o vento é próximo da média.

## **c) Imagens de satélite**

Através das imagens de satélite (Figura 37), pode-se observar que o dia foi típico de estação seca, ou seja, sem a presença de grandes aglomerados de nuvens sobre a região. Notamos apenas pouca nebulosidade sobre o estado de Rondônia, somente na imagem das 17HL (Figura 37c). Não são observadas nuvens sobre os sítios experimentais.

#### **d) Diagramas**

Para melhor compreender a estabilidade atmosférica pode-se utilizar o diagrama termodinâmico SKEW T LOG P, elaborado com base em dados de radiossondagens da atmosfera. Não foi observado áreas de instabilidades durante o período diurno. As 11 HL (Figura 38a) a área de CAPE (Energia Potencial Convectiva Disponível) não existe. Em contrapartida os valores de CINE (Energia de Inibição da Convecção) são altos. As 14 HL os valores de CAPE e CINE são baixos (Figura 38b) e as 17 HL continua não existindo áreas de CAPE (Figura 39c). CAPE pode ser usado para verificação das condições de instabilidade da atmosfera ou como critério de equilíbrio da convecção. Os resultados estão concordantes com as imagens de satélite.

A atmosfera às 17 HL pode ter apresentado este comportamento devido a fatores como: O jato localizado acima da CLC às 11 HL faz penetrar o ar quente e seco da AL na CLC. Com isso o colapso se dá a partir deste momento, tanto que às 14 HL a inversão no topo da CLC já é insignificante. O processo de mistura no decorrer da tarde fez com que houvesse homogeneização das quantidades da superfície até o Nível de Subsidência.

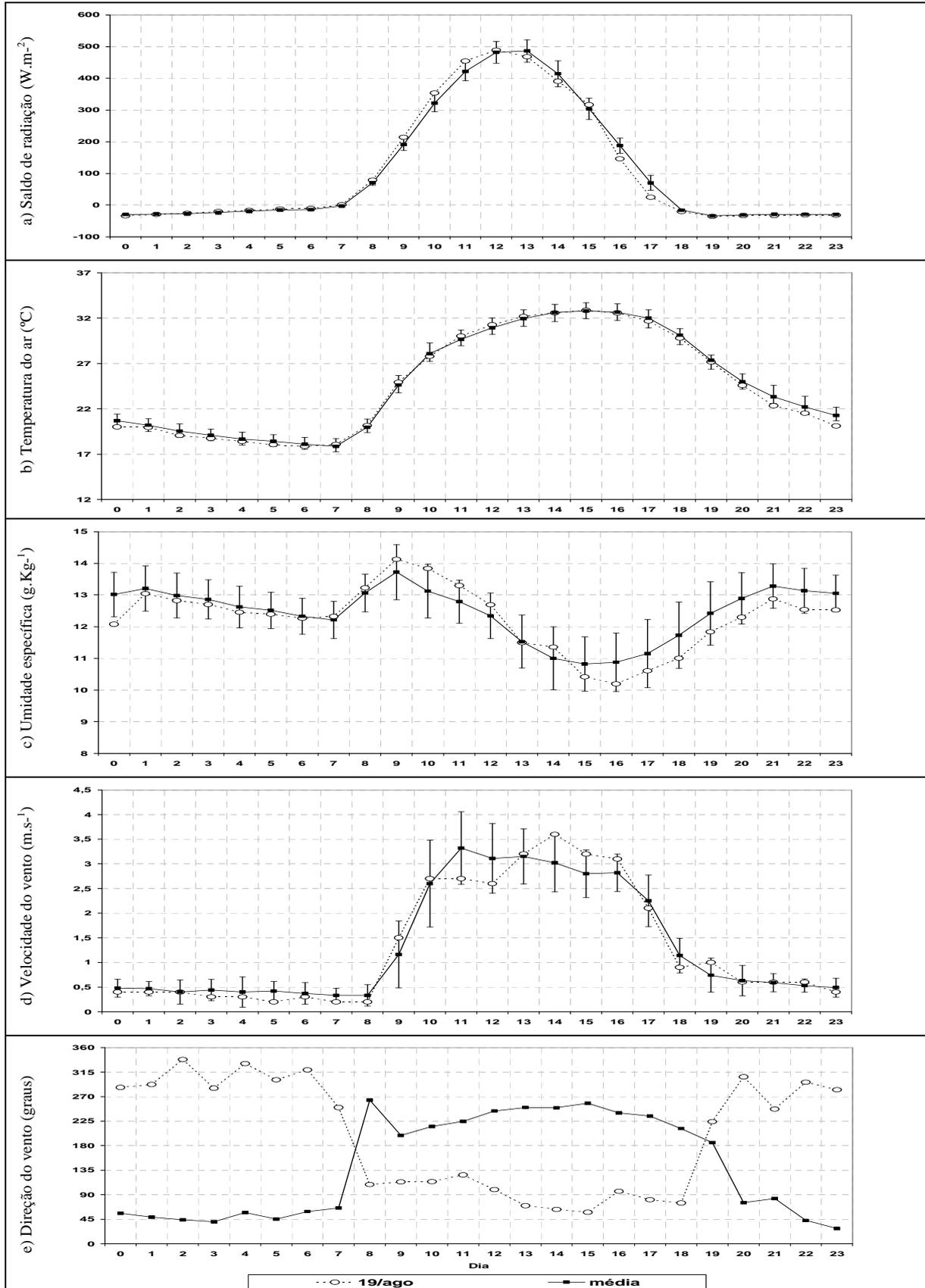


Figura 33 – Evolução horária das variáveis em superfície para pastagem no dia 19 de agosto de 1994 e média.

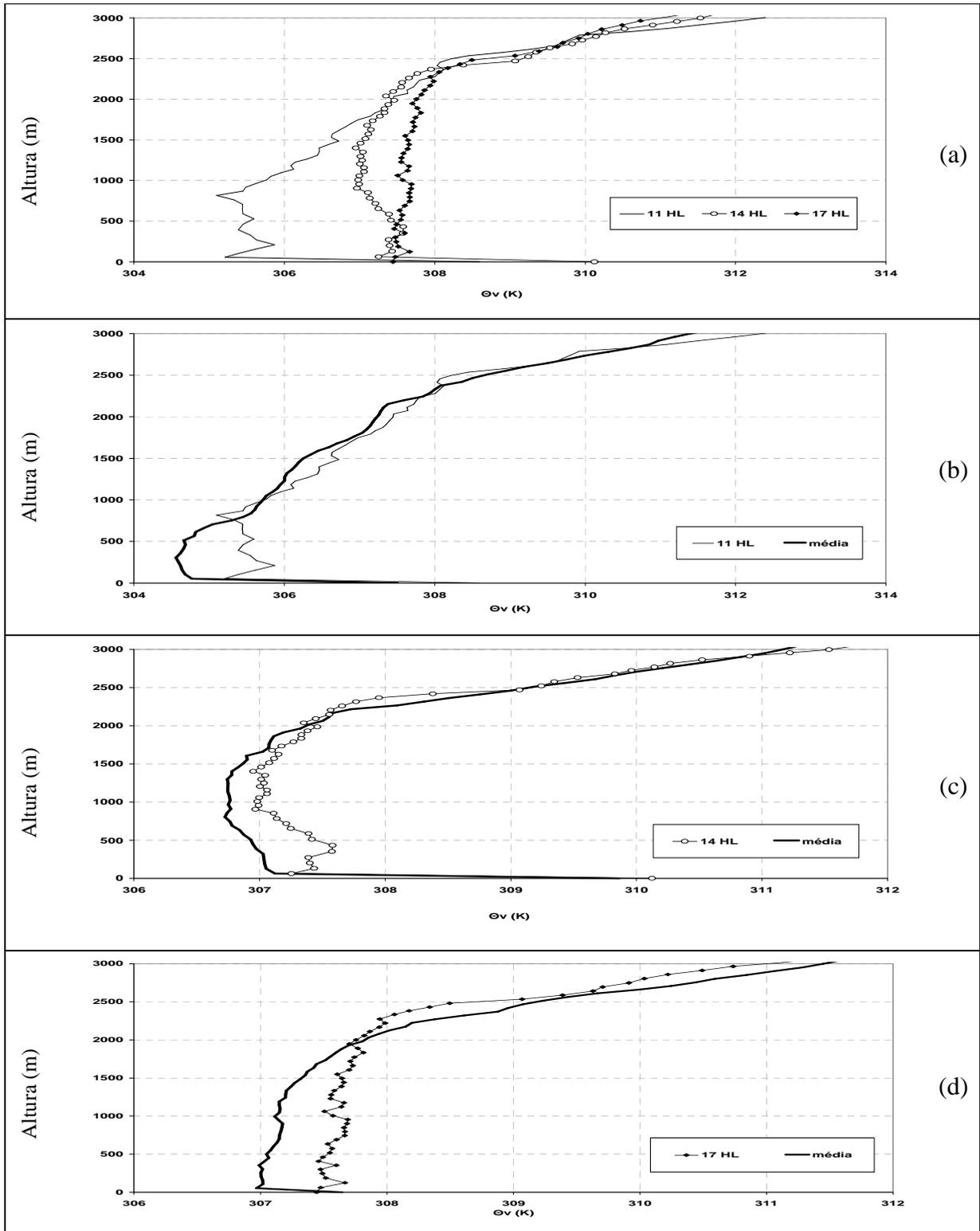


Figura 34 – Perfil de temperatura potencial virtual para dia 19/08 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d).

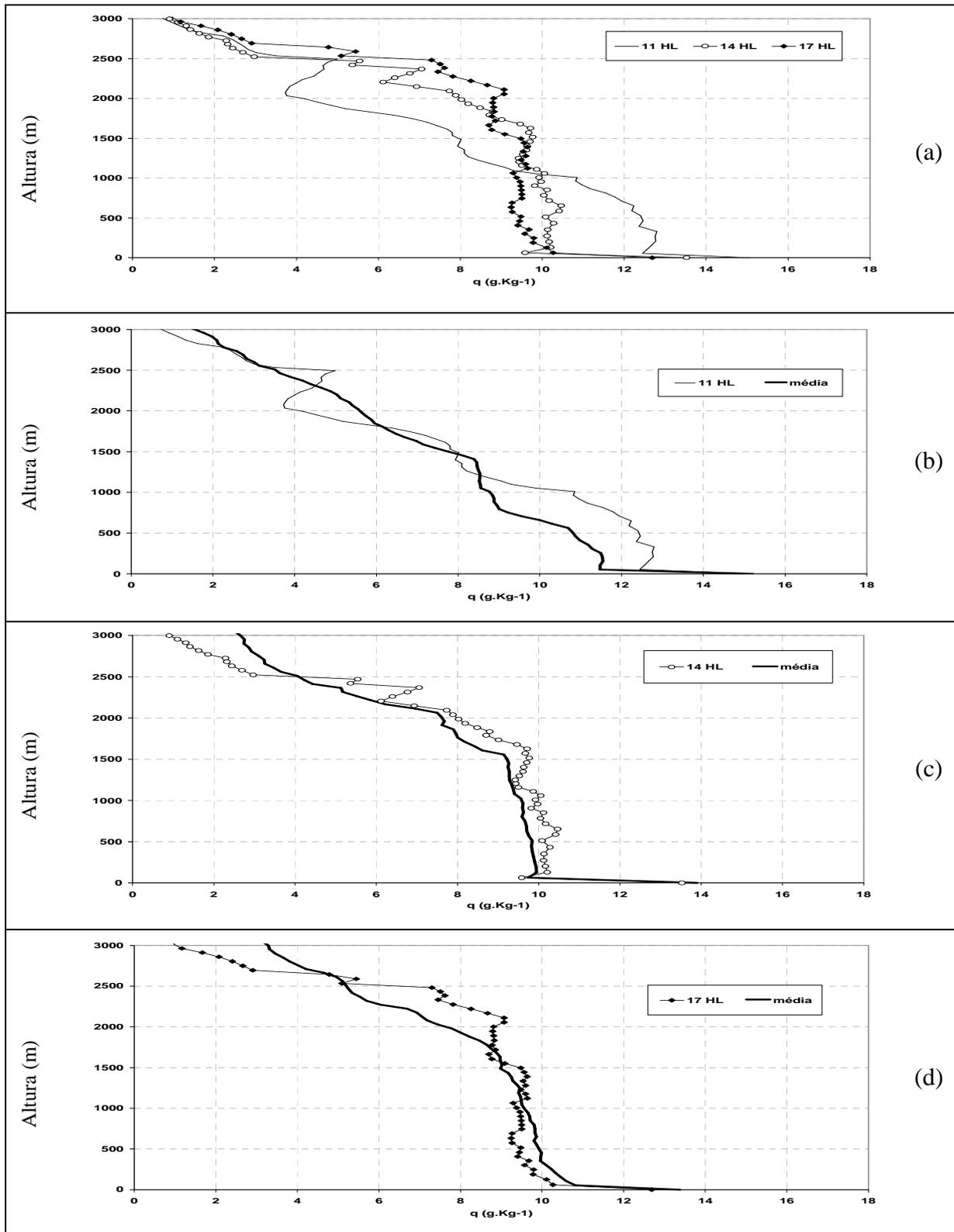


Figura 35 – Perfil de umidade específica para dia 19/08 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d).

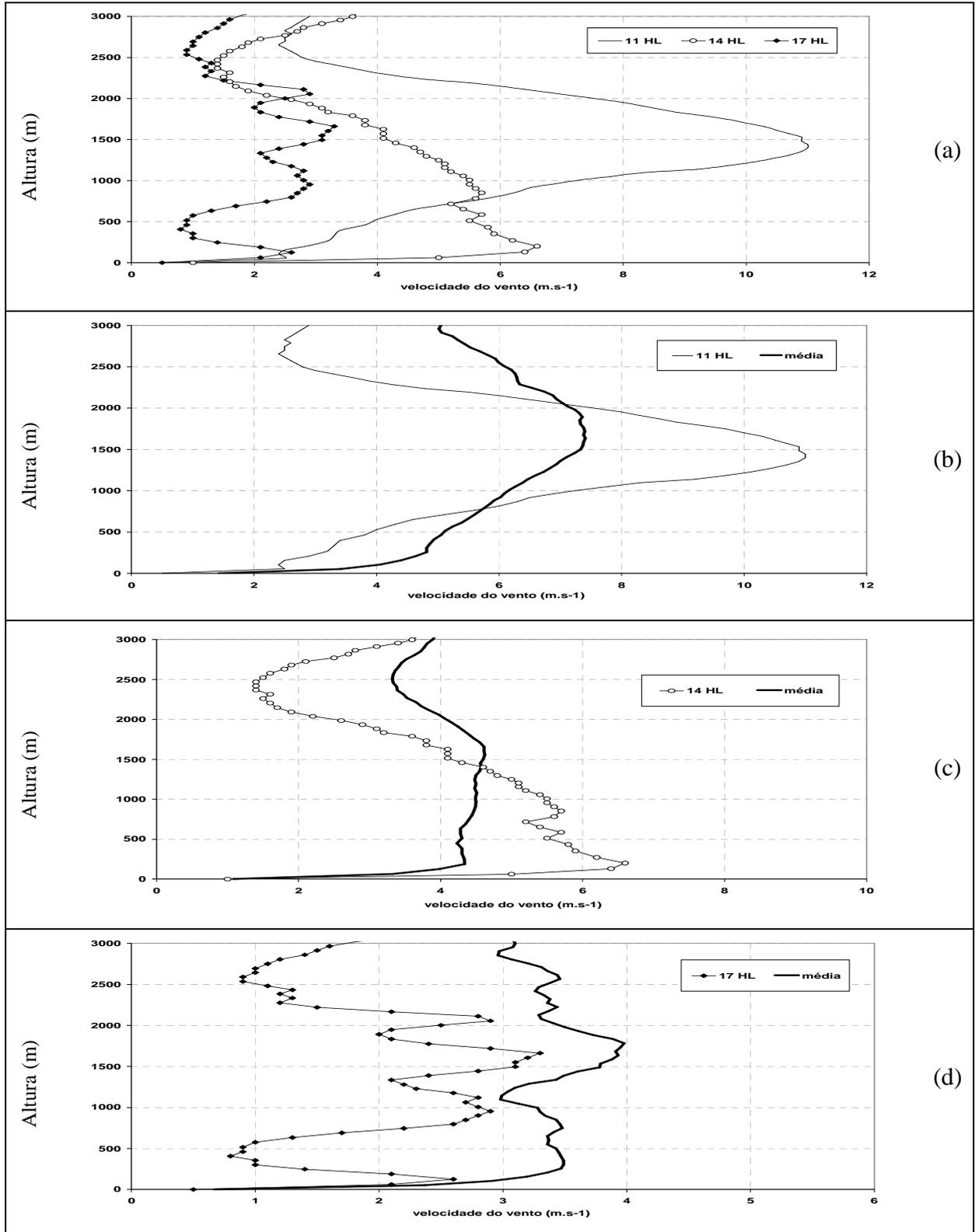
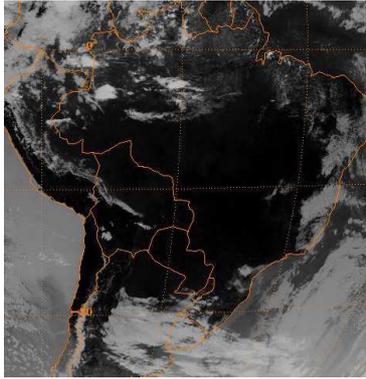
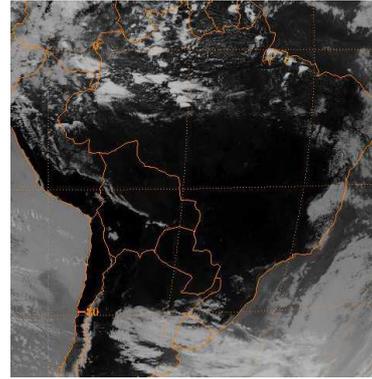


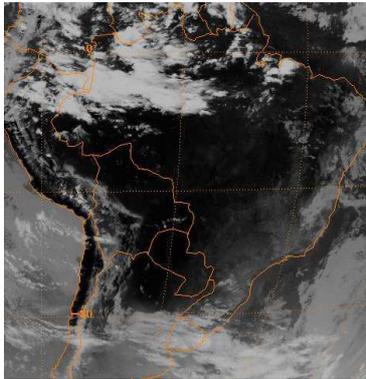
Figura 36 – Perfil de velocidade do vento para dia 19/08 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d).



a)

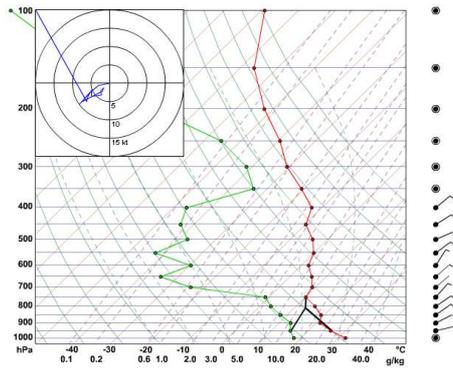


b)

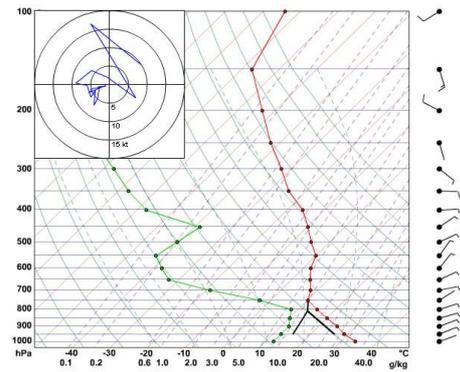


c)

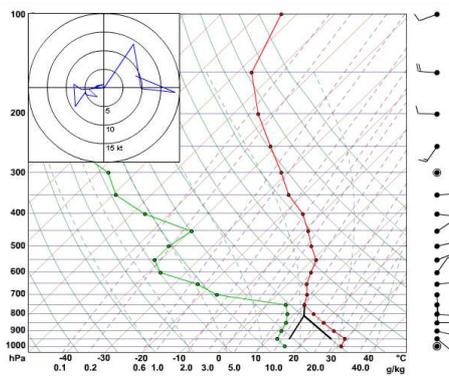
Figura 37 – Imagem de satélite no canal infravermelho para o dia 19/08. Sendo (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL. Fonte: NOAA



(a)



(b)



(c)

Figura 38 – Diagrama Skew-T para o dia 19/08, 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL. Sendo: temperatura (linha vermelha) e temperatura do ponto de orvalho (linha verde).

#### 4.4.1.2 – Dia 8 de fevereiro de 1999 na floresta

A particularidade encontrada neste dia foi a PI, quando a CLS foge do padrão às 11 HL (CLS muito espessa).

##### a) Dados de superfície

O saldo de radiação da floresta é menor que o saldo médio na maior parte do dia (Figura 39a). Das 07 as 14 HL (saldo positivo)  $R_n$  é menor que a média. Após este horário o saldo passa a ser igual à média. Há uma queda mais acentuada entre as 10 e 13 HL, quando os valores apresentam uma redução média de  $200\text{W}\cdot\text{m}^{-1}$ . Esta redução mais acentuada pode ter sido causada por grandes áreas de nebulosidade sobre a região, o que pode ser comprovada na Figura 43a.

As temperaturas foram menores que a média em torno de  $2^\circ\text{C}$ , principalmente durante o período diurno (Figura 39b). Após as 17 HL os valores são superiores às médias.

A umidade específica é menor que a média nos períodos da madrugada e manhã, até por volta de 12 HL quando é muito próxima da média. Durante a tarde oscila em torno da média (Figura 39c).

A velocidade do vento foi baixa na maior parte do dia (Figura 39d). O vento é superior à média durante a madrugada até por volta de 10 HL. Esta inversão coincide com o horário de queda no saldo de radiação em superfície. Após este horário os valores de velocidade do vento são menores que a média e quase nulos durante alguns períodos entre o fim de tarde e noite.

A direção do vento foi diferente da média para o período do estudo, como pode-se ver na Figura 39e. O vento sofre variações na direção durante o decorrer do dia. No período diurno oscila entre Sudoeste a Oeste e Sul. Já durante a noite o vento teve direções predominantes de Norte.

A precipitação ocorreu centrada em período da madrugada de (02 às 05 HL) com um total de 6,6mm, seguindo um padrão que coincide com a média, ou seja, picos de precipitação durante

a madrugada. Esta precipitação estava associada à nebulosidade causada pelo deslocamento de um sistema frontal no Oceano Atlântico.

### **b) Perfis na CLC**

Nas Figuras 40a, 41a e 42a pode-se observar a evolução diária da CLA que apresenta um padrão de evolução praticamente normal.

As 11 HL a CLS têm altura de 135m, superior à média de 47m. A CLA tem altura de 334m que é também superior também à média de 280m. Portanto, a CLS neste caso representa 40% da CLC (Figura 40b). A camada está mais fria do que a média aproximadamente 2,6K. A umidade específica é  $0,2\text{g.Kg}^{-1}$  inferior à média (Figura 41b). Os ventos no interior da CLC são  $0,5\text{m.s}^{-1}$  mais elevados que a média, sendo bem mais forte acima da mesma (Figura 42b).

As 14 HL (Figura 40c) a CLS tem altura de 71m mais alta que a média de 51m, e a CLA também tem altura maior que a média (921m versus 720m). A camada é mais fria que a média encontrada aproximadamente 1,3K. Em altos níveis (acima de 2000m) a atmosfera é mais quente do que a média. A umidade específica é superior ou praticamente igual à média na maior parte do tempo. A CLC se apresenta  $0,4\text{g.Kg}^{-1}$  mais úmida que a média (Figura 41c). A umidade levemente mais elevada que a média, persiste assim em níveis mais altos na atmosfera. A velocidade do vento é de  $1,3\text{m.s}^{-1}$  mais elevada que a média no interior da CLC. Em níveis mais altos o vento ainda apresenta valores bem elevados (Figura 42c).

As 17 HL a CLS estava mais baixa que a média (48m versus 69m), como também a CLC estava mais baixa do que a média (1188m versus 1223m) (Figura 40d). A camada estava em torno de 0,2K mais fria do que a média do período. A umidade específica é  $0,1\text{g.Kg}^{-1}$  maior do que a média (Figura 41d). Na AL a entrada de umidade apresenta uma diminuição. Não é possível analisar a velocidade do vento devido a problemas no sensor na sondagem das 17HL.

### **c) Imagens de satélite**

Nas imagens de satélite (Figura 43) pode-se observar que existem grandes faixas de nebulosidade sobre o Brasil e especificamente sobre a região de Rondônia. Esta nebulosidade sobre o estado é decorrente de um sistema frontal que se desloca no Oceano Atlântico e causa

precipitações sobre o país. Sobre os sítios experimentais ocorreram períodos de nebulosidade variados durante todo o dia.

#### **d) Diagramas**

Durante o decorrer do período diurno as áreas de instabilidades não apresentaram grandes valores de CAPE. As 11 HL (Figura 44a) o valor de CAPE era baixo. Em contrapartida existiam valores altos de CINE, que não levaram ao desenvolvimento de nuvens convectivas. As 14 HL o valor de CAPE sofre um aumento leve, enquanto o de CINE permanece elevado, assim não resultando em áreas de CAPE profunda. As 17 HL a área de CAPE é praticamente nula e os valores de CINE são baixos.

A ocorrência de PI está provavelmente associada à maior instabilidade/turbulência ocorrida no período da manhã, já que foi verificado um JBN as 5 HL. Nota-se que os ventos são fortes da AL, fazendo com que a camada esteja mais fria e mais seca que a média as 11 HL.

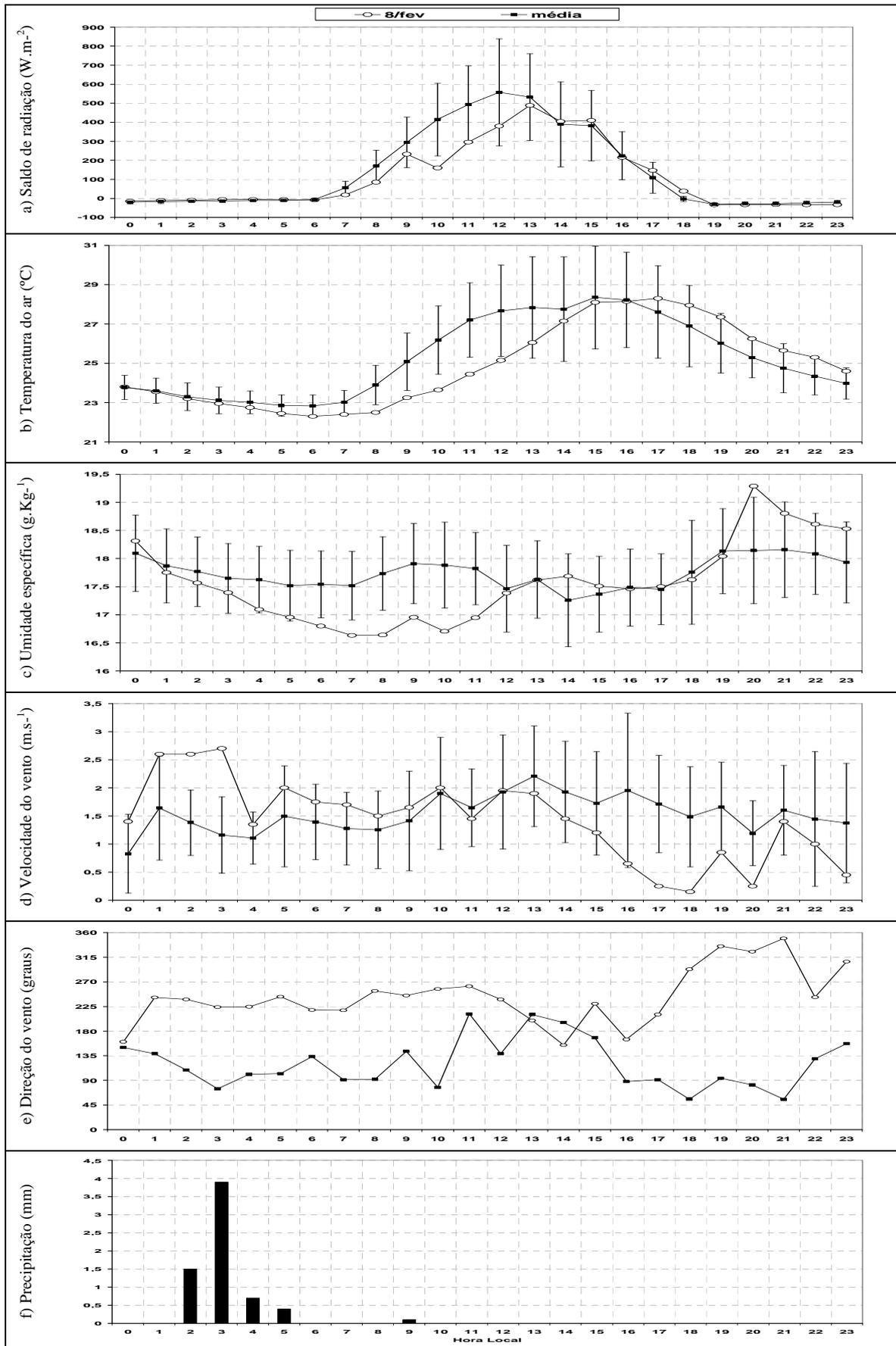


Figura 39 – Evolução horária das variáveis em superfície para floresta no dia 8 de fevereiro de 1999 e média.

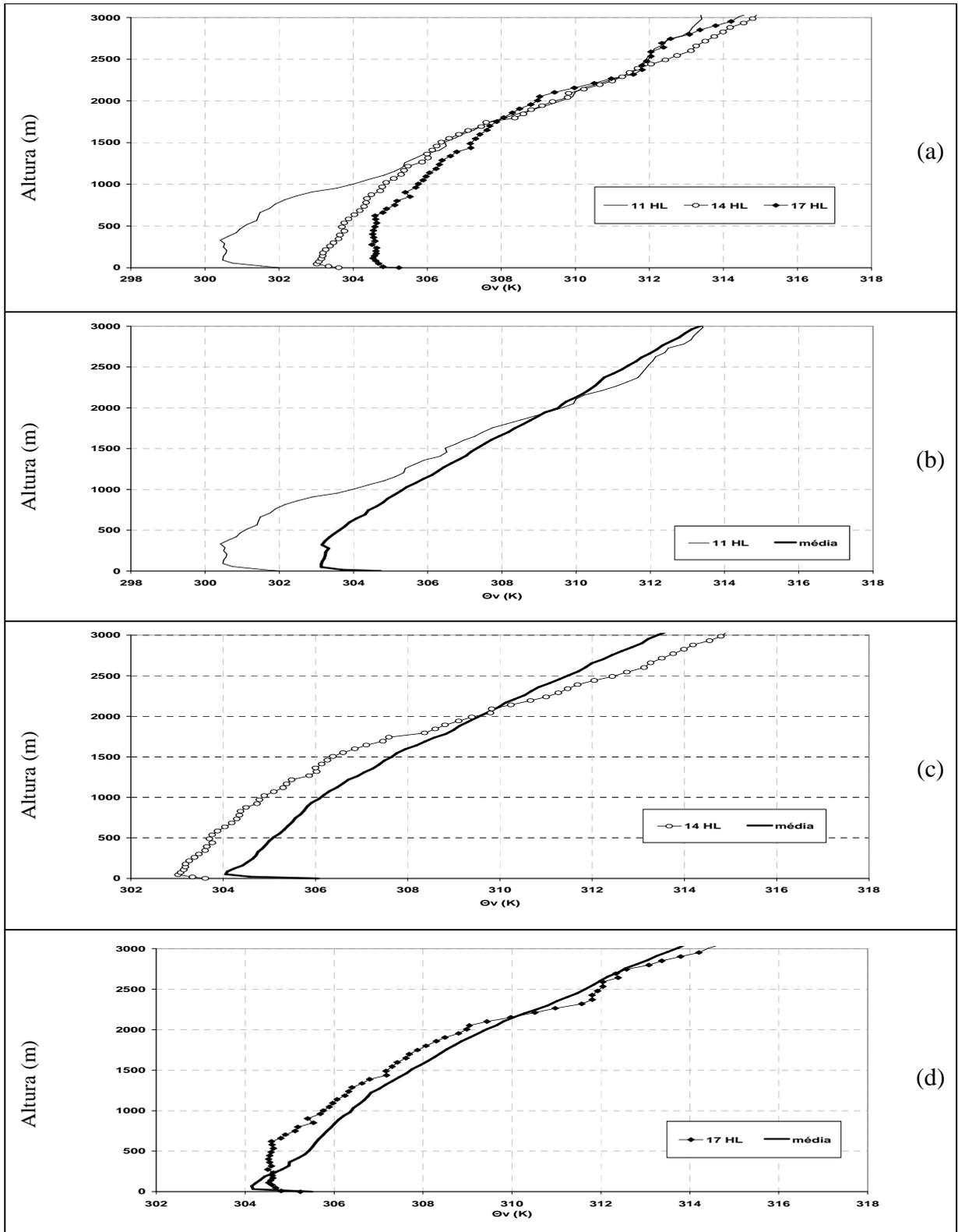


Figura 40 – Perfil de temperatura potencial virtual para dia 08/02 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d).

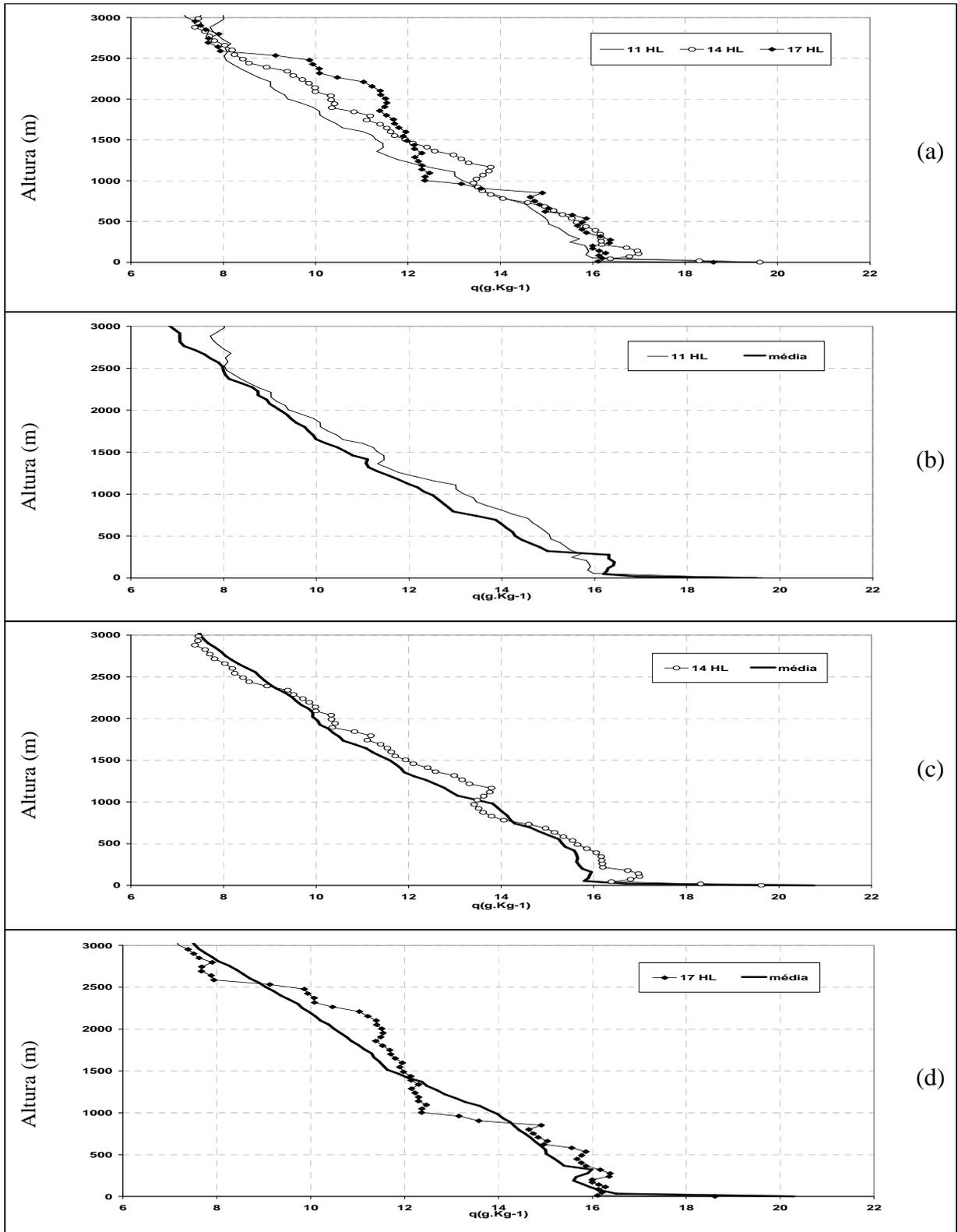


Figura 41 – Perfil de umidade específica para dia 08/02 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d).

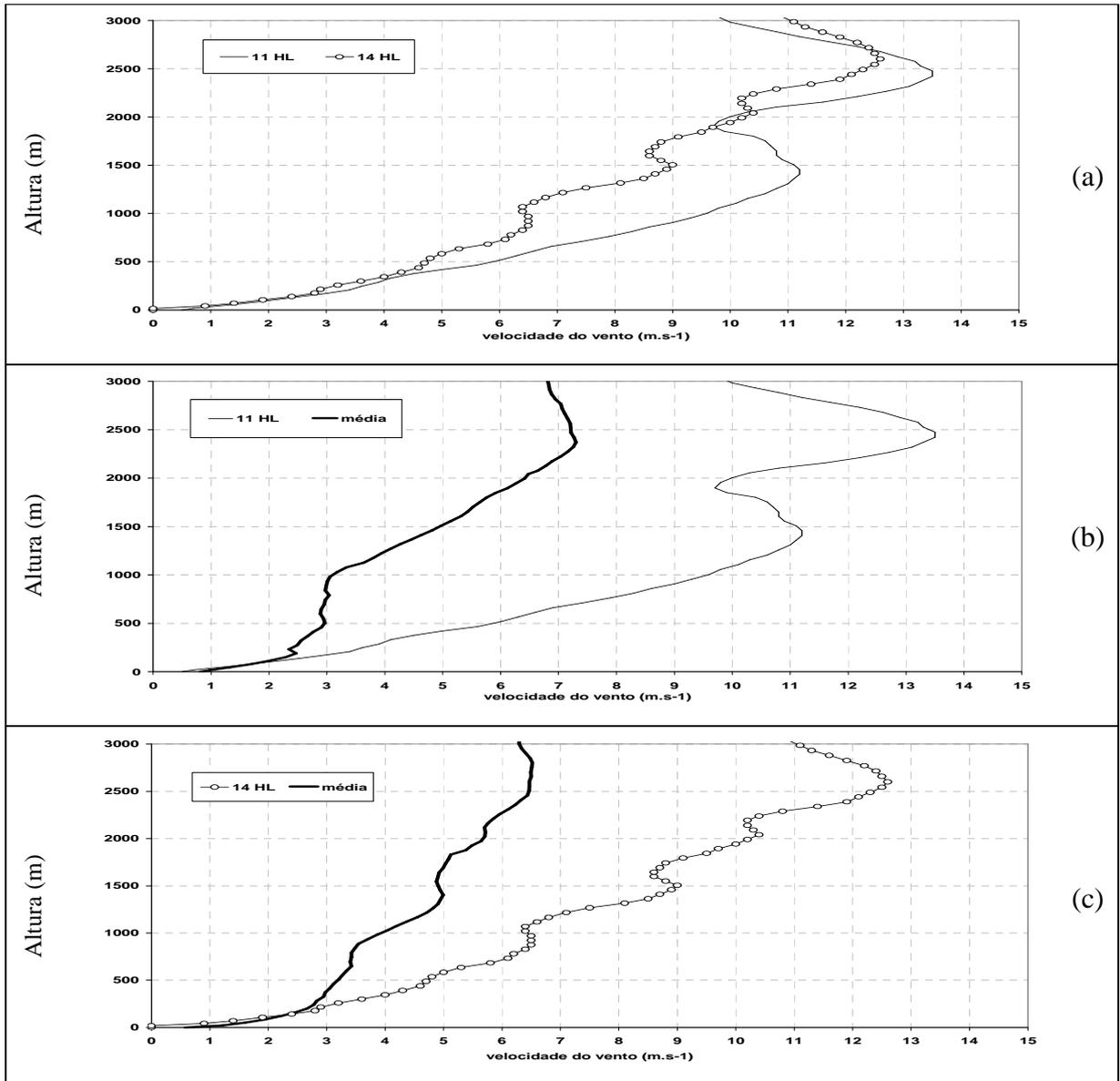
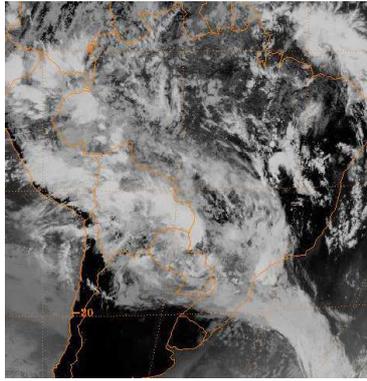
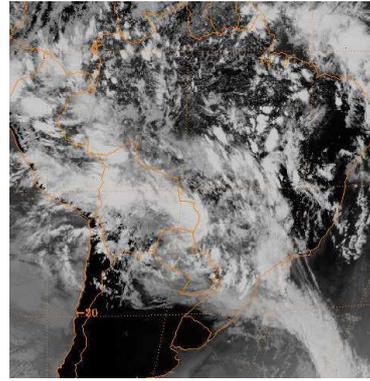


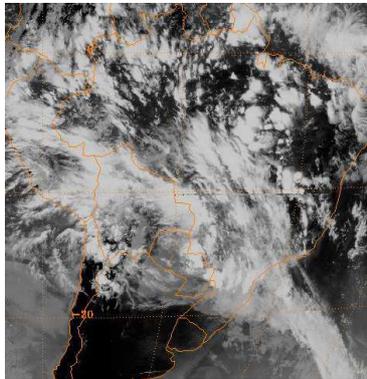
Figura 42 – Perfil de velocidade do vento para dia 08/02 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c).



a)

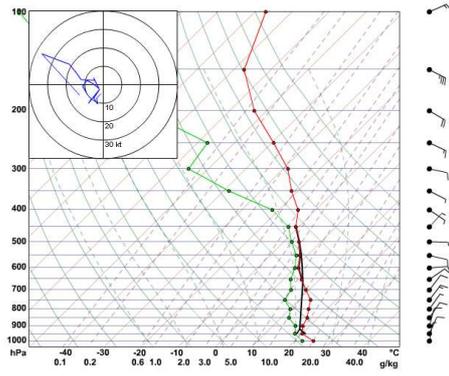


b)

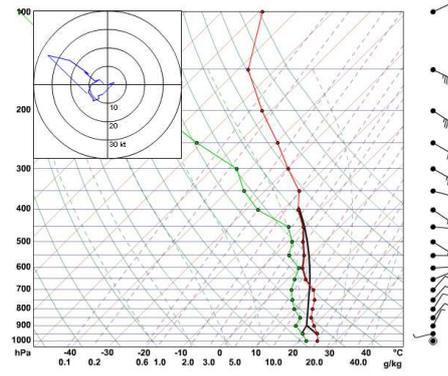


c)

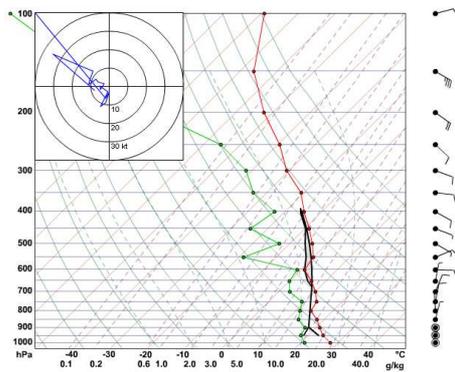
Figura 43 – Imagem de satélite no canal infravermelho para o dia 08/02. Sendo (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL. Fonte: NOAA



(a)



(b)



(c)

Figura 44 – Diagrama Skew-T para o dia 08/02, (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL. Sendo: temperatura (linha vermelha) e temperatura do ponto de orvalho (linha verde).

#### 4.4.1.3 – Dia 25 de outubro de 2002 na pastagem

A particularidade PIII é mostrada no estudo de caso 3, em que o dia 25 de outubro foi selecionado por apresentar a CLC das 14 HL mais quente do que a CLC das 17 HL.

##### a) Dados de superfície

O saldo de radiação é menor que a média do período em estudo durante praticamente todo o dia (Figura 45a). Há uma queda média em torno de  $120\text{W.m}^{-2}$  no período da manhã até as 14HL. A média no período diurno foi de 28% inferior à média global.

As temperaturas estão mais elevadas que a média na madrugada e noite. Já durante o dia elas são  $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  mais baixas que a média (Figura 45b). As 17 HL é maior do que a média. O ciclo de temperatura acompanha o ciclo diário de radiação solar. Em média, durante o dia, a temperatura foi 8% menor que a média global.

A umidade específica na pastagem não apresenta grandes amplitudes diárias (Figura 45c). Oscilou em torno da média na maior parte do período diurno, sendo inferior no período da manhã e superior após as 12 HL.

A velocidade do vento na pastagem oscila em torno da média durante o dia. Os maiores valores de velocidade do vento são observados no período da tarde, sendo o vento máximo de  $2,73\text{m.s}^{-1}$ , às 14 HL (Figura 45d).

A direção do vento na maior parte do tempo foi diferente da média encontrada no período (Figura 45e). Na madrugada o vento sopra de Nordeste, durante o dia oscila em direções de Norte a Sul. A hipótese da mudança na direção do vento ter trazido ar mais frio é descartada, pois a temperatura em superfície aumenta (Figura 45b).

##### b) Perfis na CLC

A Figura 46a mostra a evolução diária da temperatura potencial virtual, às 11, 14 e 17 HL.

As 11 HL a altura da CLS é igual à média, com 92m. A CLC tem altura de 534m sendo inferior à média que é de 667m, e está 1,2K mais fria que a média (Figura 46b). Na Figura 47b observa-se que a camada está  $0,8\text{g.Kg}^{-1}$  mais úmida que a média e o vento aumenta com a altura. Porém na CLA, é  $0,7\text{m.s}^{-1}$  mais fraco que a média (Figura 48b).

As 14 HL a CLS é mais baixa que a média (81m versus 132m). Já na CLA ocorre o contrário (984m versus 953m): além de mais alta, a CLA continua mais fria em torno de 1K (Figura 46c) e também  $0,8\text{g.Kg}^{-1}$  mais úmida que a média (Figura 47c). O vento é igual à média, porém é mais forte que a média na AL (Figura 48c).

As 17 HL a altura da CLS inverte sua tendência é passar a ser mais elevada que a média (58m versus 49m). A CLC está mais baixa que a média (1058m versus 1570m), e está 1,5K mais fria que a média (Figura 46d). A Figura 47d mostra que a atmosfera está  $0,4\text{g.Kg}^{-1}$  menos úmida que a média. A velocidade do vento é  $0,2\text{m.s}^{-1}$  maior que a média na CLA (Figura 48d). Na AL o vento é superior à média.

### **c) Imagens de satélite**

Através das imagens de satélite nota-se áreas de nebulosidade sobre a região de Rondônia. As 11 HL são observadas nebulosidades mais concentradas (Figura 49a). Já às 14 HL a nebulosidade é mais esparsa e apresenta núcleos de nuvens convectivas (Figuras 49b). As 17 HL a área em estudo se encontra em condição de céu claro.

### **d) Diagramas**

Pelos diagramas termodinâmicos na Figura 50, às 11 HL (a), 14 HL (b) e 17 (c) HL, observa-se que não existem áreas de CAPE.

Finalmente, o resfriamento da CLC aparentemente está ligado a um fenômeno de escala local. O fato é que a atmosfera às 17 HL se encontra mais fria que às 14 HL dentro e acima da CLC. A hipótese mais provável seria a de que a atmosfera (0 – 2000) tenha se resfriado em função da perda radiativa.

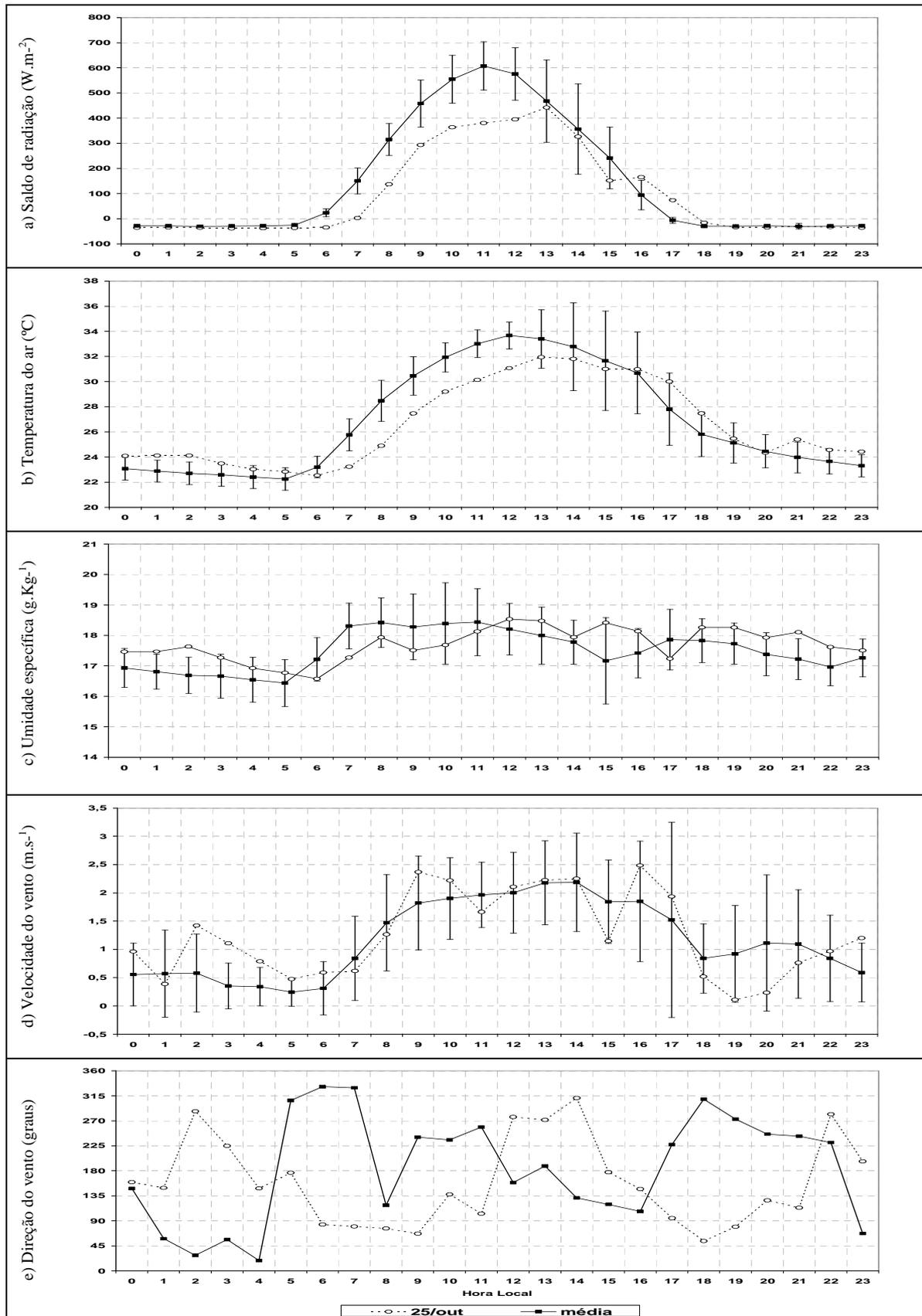


Figura 45 – Evolução horária das variáveis em superfície para pastagem e média, para o dia 25 de outubro de 2002.

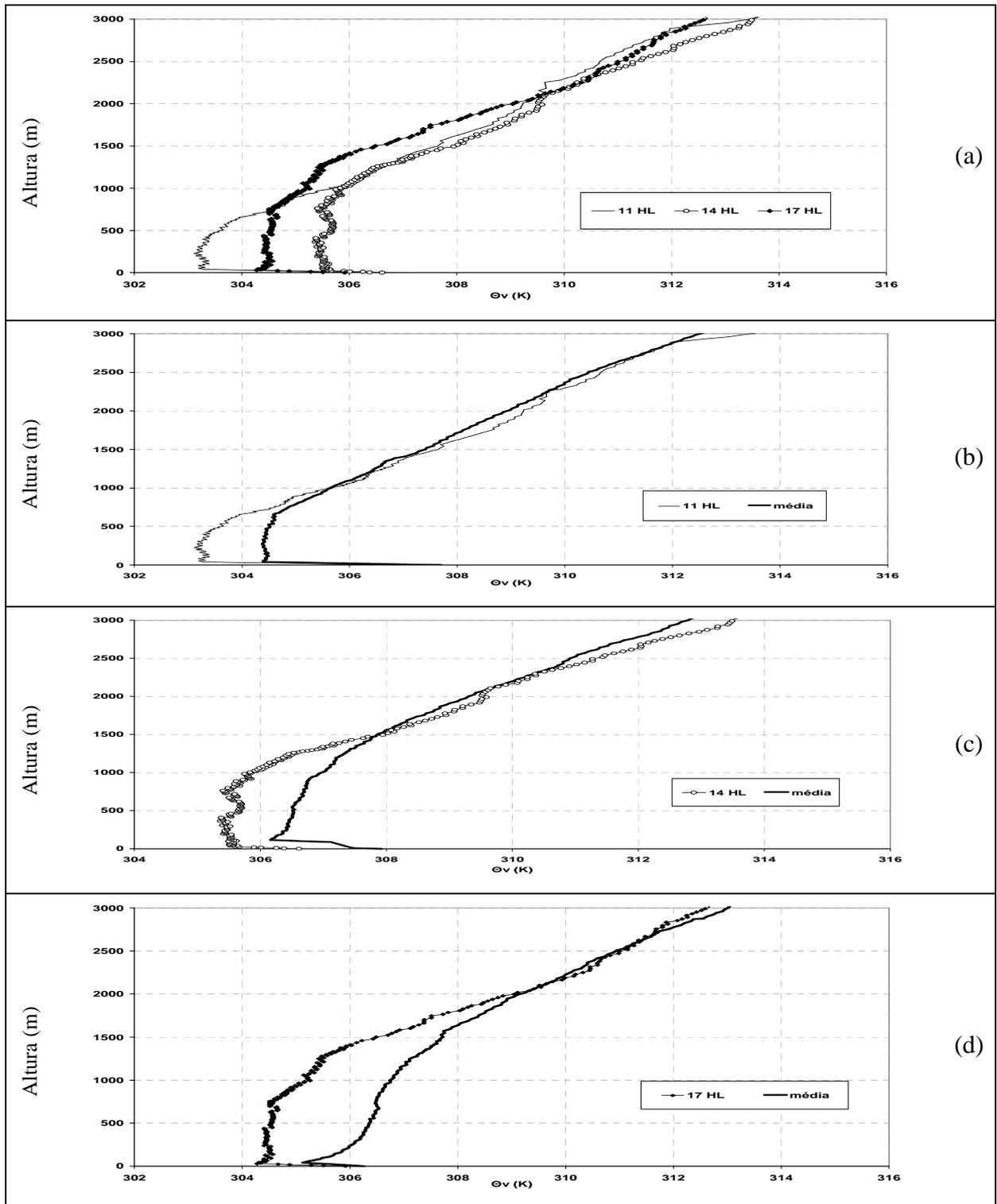


Figura 46 – Perfil de temperatura potencial virtual para dia 25/10 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d).

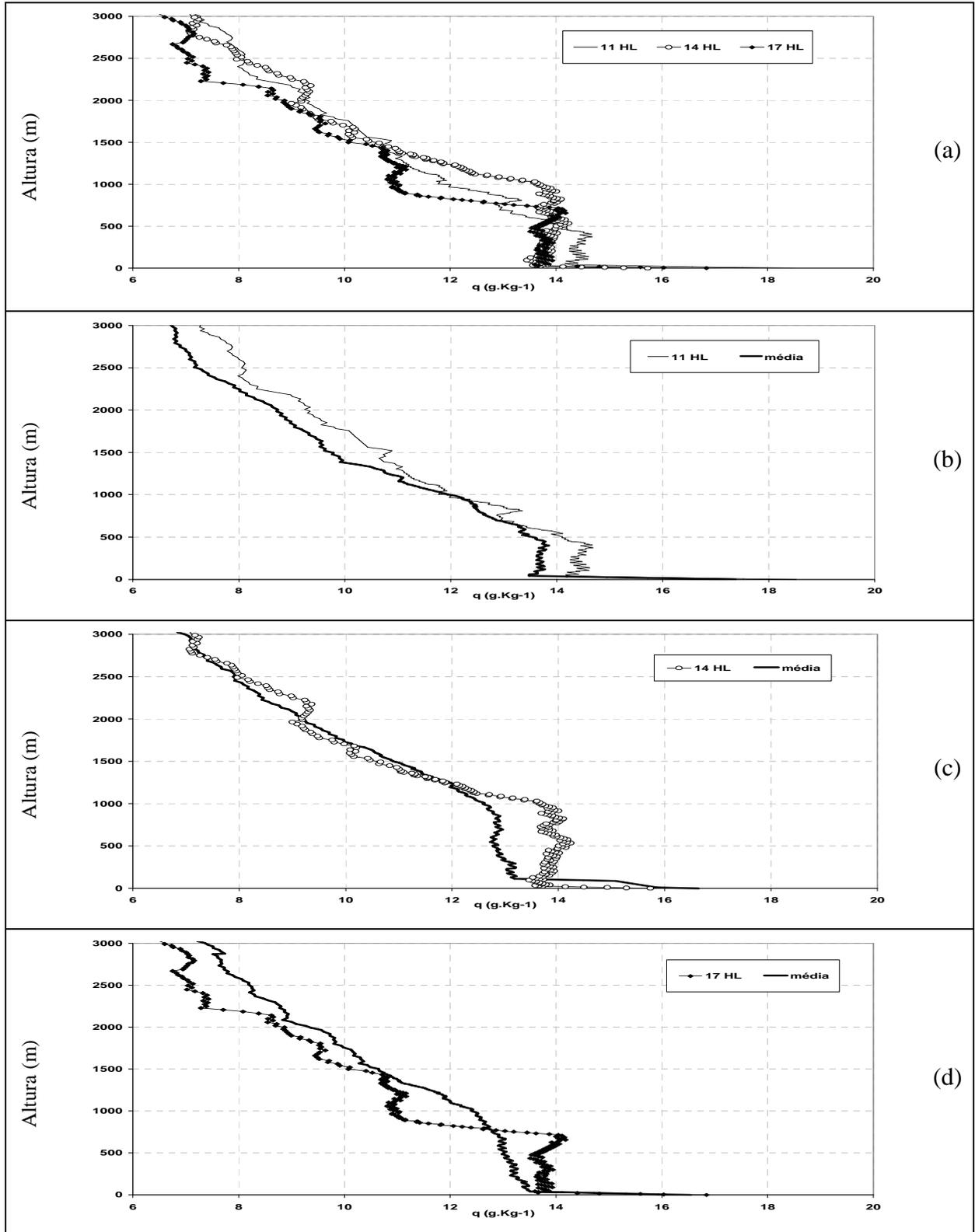


Figura 47 – Perfil de umidade específica para dia 25/10 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d).

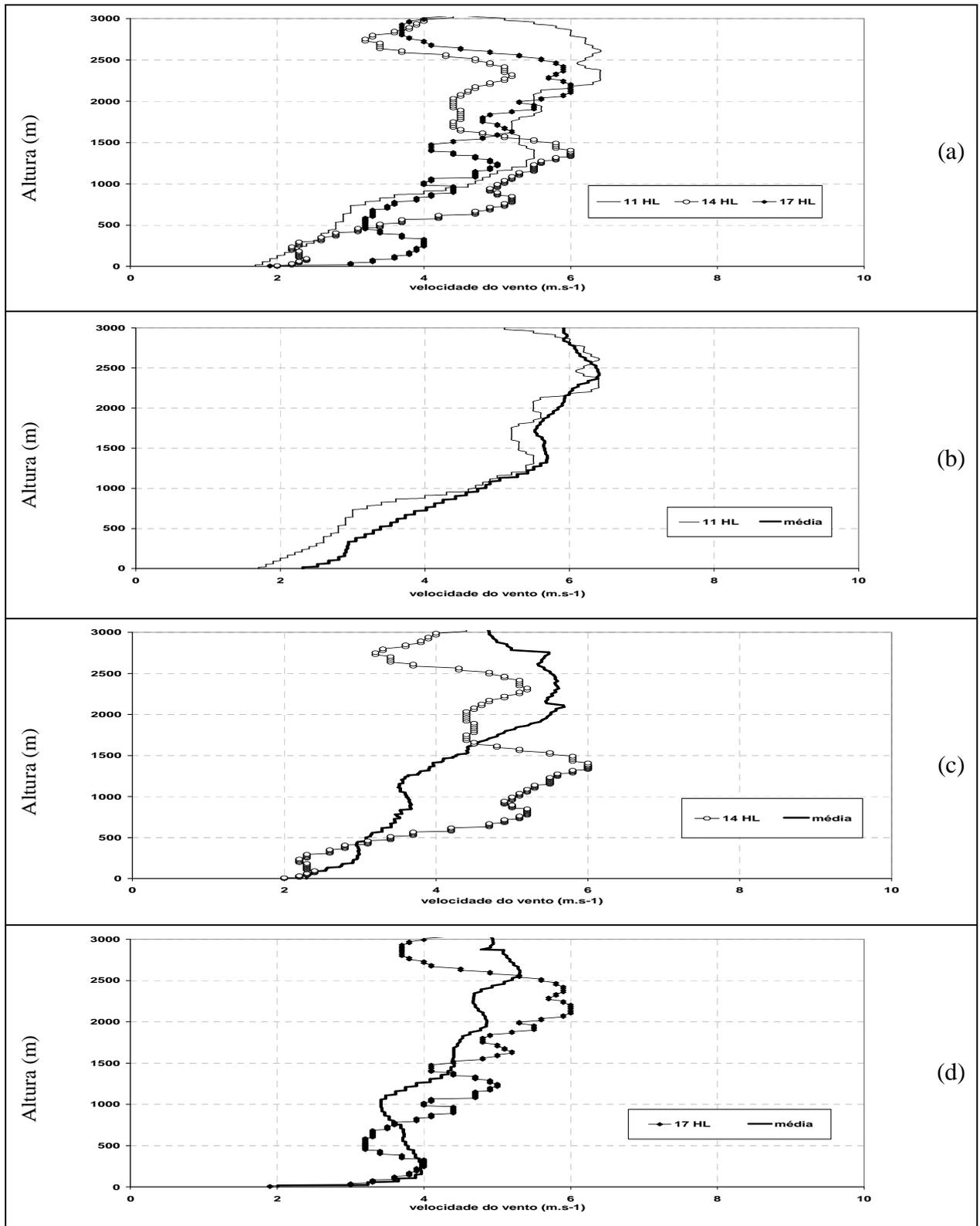
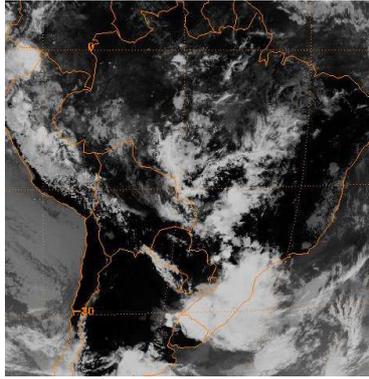
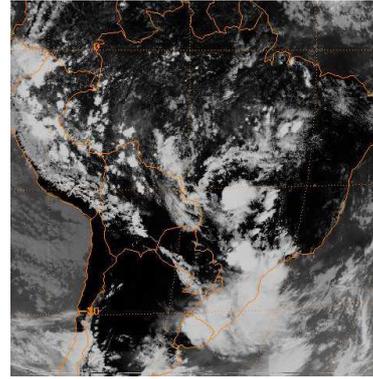


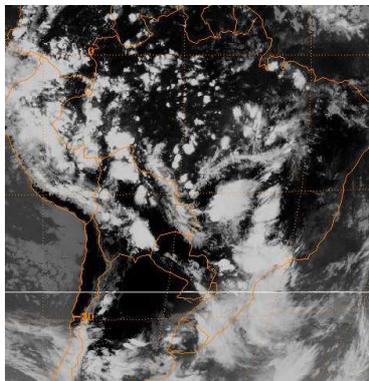
Figura 48 – Perfil de velocidade do vento para dia 25/10 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d).



a)

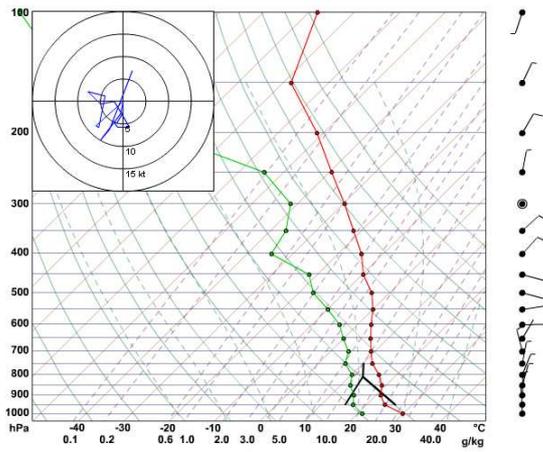


b)

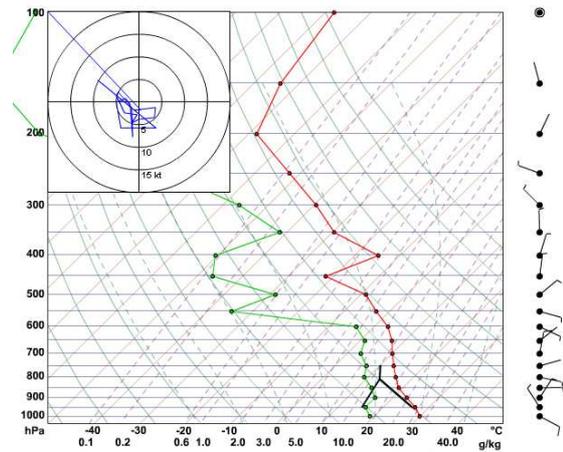


c)

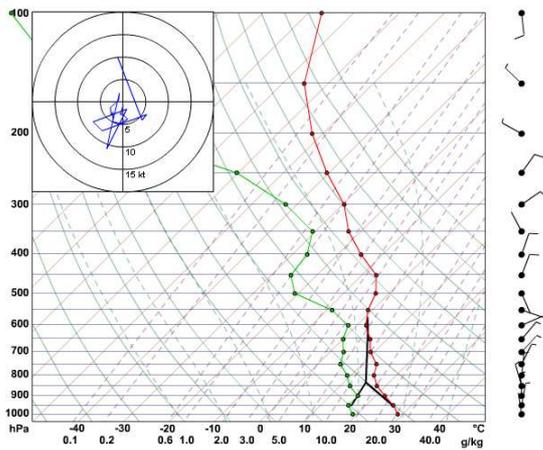
Figura 49 – Imagem de satélite no canal infravermelho para o dia 25/10. Sendo (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL. Fonte: NOAA.



(a)



(b)



(c)

Figura 50 – Diagrama Skew-T para o dia 25/10, (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL. Sendo: temperatura (linha vermelha) e temperatura do ponto de orvalho (linha verde).

#### 4.4.1.4 – Dia 27 de outubro de 2002 na floresta

O dia 27 de outubro foi selecionado por apresentar a estrutura da CLC das 17 HL mais fria que a CLC das 14 HL (Particularidade PIII).

##### a) Dados de superfície

O saldo de radiação foi 23% superior à média encontrada para os dias do estudo. (Figura 51a). Nota-se uma queda brusca de  $144\text{W.m}^{-2}$  entre as 13 e 14 HL, possivelmente devido a nebulosidades esparsas sobre a região, como veremos mais adiante na imagem de satélite das 14 HL (Figura 55b).

As temperaturas apresentam-se muito elevadas no decorrer do ciclo diurno (Figura 51b). Verifica-se que o dia 27 apresentou uma amplitude diária elevada, com valor de  $11,2^{\circ}\text{C}$ . Durante o período noturno a temperatura foi igual ou menor que a média, enquanto no período diurno foi superior à média, principalmente próximo ao meio dia.

O ciclo diário de umidade específica apresenta dois picos (Figura 51c): o primeiro máximo de  $23,28\text{g.Kg}^{-1}$  ocorre às 09 HL, enquanto o segundo é observado às 22 HL ( $22,45\text{g.Kg}^{-1}$ ). A umidade específica foi diferente da média encontrada. Na madrugada a umidade oscila perto dos limites médios, contudo das 07 as 11 HL a umidade é maior do que a média, enquanto das 12 as 17 HL a umidade é inferior à média, e após este horário, ela volta a superar a média observada.

O ciclo da velocidade do vento apresenta padrão parecido com a média, oscilando em torno da mesma (Figura 51d). As velocidades mais baixas são encontradas no mesmo momento em que a umidade específica aumenta.

O vento apresenta diversas direções durante o dia, sendo sua direção predominante de Norte, principalmente no período do final da manhã e tarde. O perfil observado está de acordo com a média (Figura 51e).

Embora tenha ocorrido precipitação neste dia (Figura 51f), ela ocorreu , às 22 HL (0,2mm), não influenciando a CLA diurna do dia 27.

## **b) Perfis na CLC**

Pelos perfis de temperatura potencial virtual (Figura 52a), umidade específica (Figura 53a) e velocidade do vento (Figura 54a), das radiossondagens do dia para os horários de 11, 14 e 17 HL, é possível analisar a estrutura termodinâmica da CLA.

A CLS das 11 HL tem 109m de espessura, sendo mais elevada que a média em 66m. A CLC estava bem desenvolvida e supera o valor médio (598m versus 390m) como se pode ver na Figura 52b. Observa-se que este dia também apresentou PI, sendo que a CLS representava 18,2% da CLC. A camada está 2K mais quente que a média,  $0,5\text{g.Kg}^{-1}$  menos úmida (Figura 53b), e o vento é  $0,48\text{m.s}^{-1}$  mais fraco (Figura 54b).

Durante o período da tarde as 14 HL, ocorre um crescimento elevado na camada de mistura, proporcionando uma CLA com altura de 1516m versus 712 da média (Figura 52c). A CLS diminui em relação à média (64m versus 86m). Também observa-se que ocorre um aumento nos valores médios da camada, pois ela estava 2,3K mais quente,  $1,8\text{g.Kg}^{-1}$  mais seca (Figura 53c), e o vento estava  $0,5\text{m.s}^{-1}$  mais fraco (Figura 54c).

As 17 HL a CLS é menor que a média (28m versus 46m). A CLC tem 1418m sendo menor do que a média 1446m (Figura 52d) e há um resfriamento da camada em relação à 14HL. A camada está 0,3K mais quente, encontra-se  $1,1\text{g.Kg}^{-1}$  mais úmida e mais misturada (Figura 53d). Já os ventos são muito fracos, cerca de  $1,9\text{m.s}^{-1}$  mais fracos que a média (Figura 54d).

## **c) Imagens de satélite**

Nas imagens de satélite do referido dia vê-se que há nebulosidades esparsas sobre a região de Rondônia (Figura 55 (a, b, c)). A nebulosidade no decorrer do dia tende a um aumento. As 11 HL a nebulosidade sobre a área em estudo é menor. As 14 HL as nuvens são mais esparsas. Já às 17 HL, a convecção aumenta. Pelo ciclo do saldo de radiação é possível notar que a nebulosidade afetou o sítio de floresta após as 12 HL.

#### **d) Diagrama**

Durante o dia os valores de CAPE são contrabalanceados por valores altos de CINE, fazendo com que as nuvens não se desenvolvam tanto. As 17 HL a nebulosidade sofre um aumento e através do diagrama termodinâmico observa-se a área mais elevada de CAPE em torno de  $674\text{J.Kg}^{-1}$  (Figura 56c).

Em resumo, a CLC das 14 HL é mais quente e menos úmida do que a CLC das 17 HL. O aumento de umidade, que ocorre as 17 HL, faz com que a camada esteja mais fria que as 14 HL, cujo fato pode estar relacionado ao aumento de nebulosidade sobre a região no período da tarde. Isso pode ter sido acarretado devido à velocidade do vento às 17 HL esta abaixo da média e praticamente constante em toda a camada, o que pode ter ocasionado menores trocas dos fluxos na CLC as 17 HL, fazendo com que esta não se desenvolvesse tanto. Ocorrendo intensificação na troca entre os fluxos da AL e da CLC no intervalo entre 14 e 17 HL. Além de ser mais fria do que às 14 HL, o perfil de 17 HL apresenta valores de temperatura inferiores aos das 11 HL até cerca de 300m. Conforme verificado no caso anterior o resfriamento se deu em toda camada abaixo de 2000m. Em contrapartida, a atmosfera se encontra mais úmida na mesma camada.

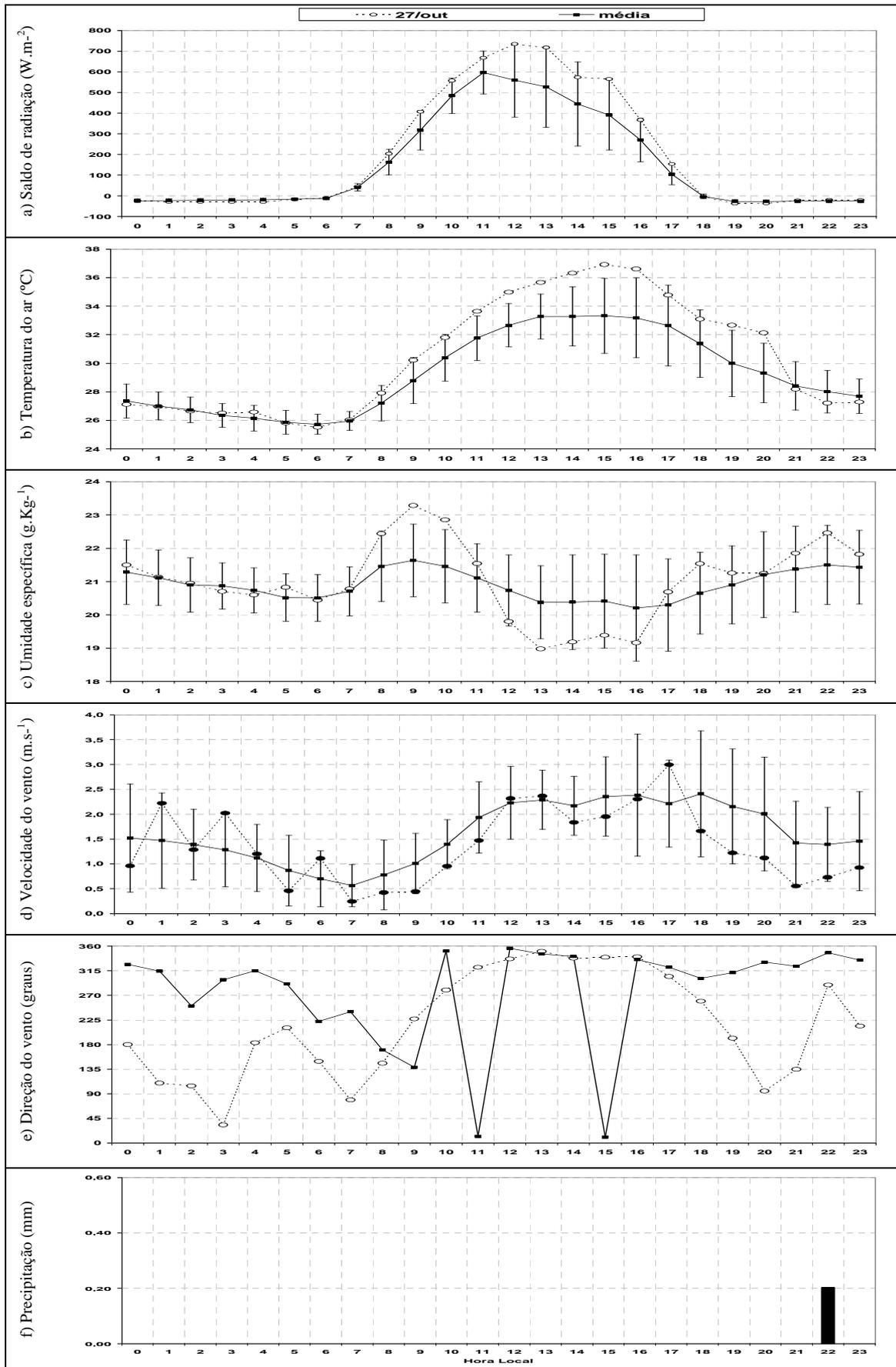


Figura 51 – Evolução horária das variáveis em superfície para floresta no dia 27 de outubro de 2002 e média.

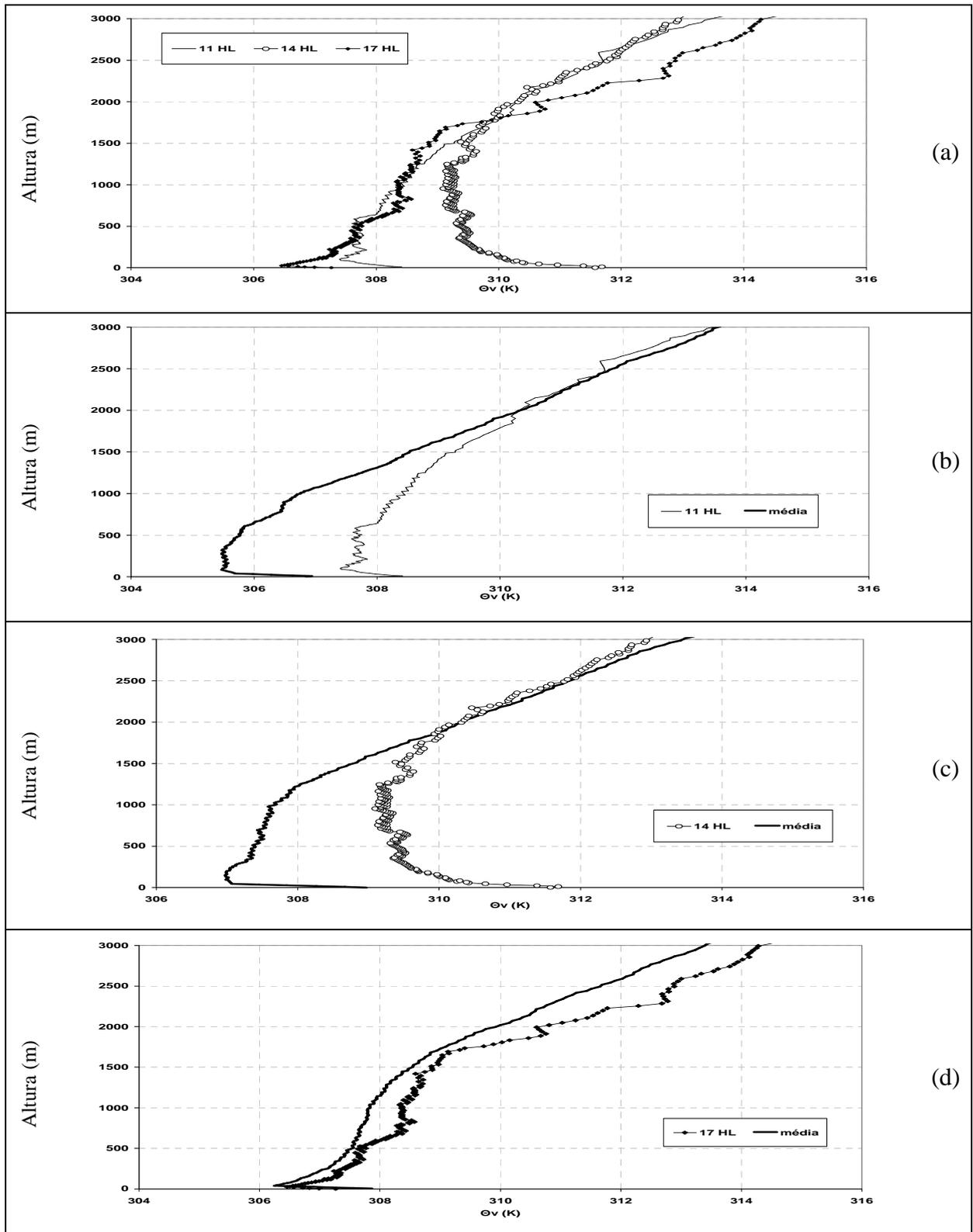


Figura 52 – Perfil de temperatura potencial virtual para dia 27/10 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL(b), 14 HL e média de 14 HL(c), 17 HL e média de 17 HL(d).

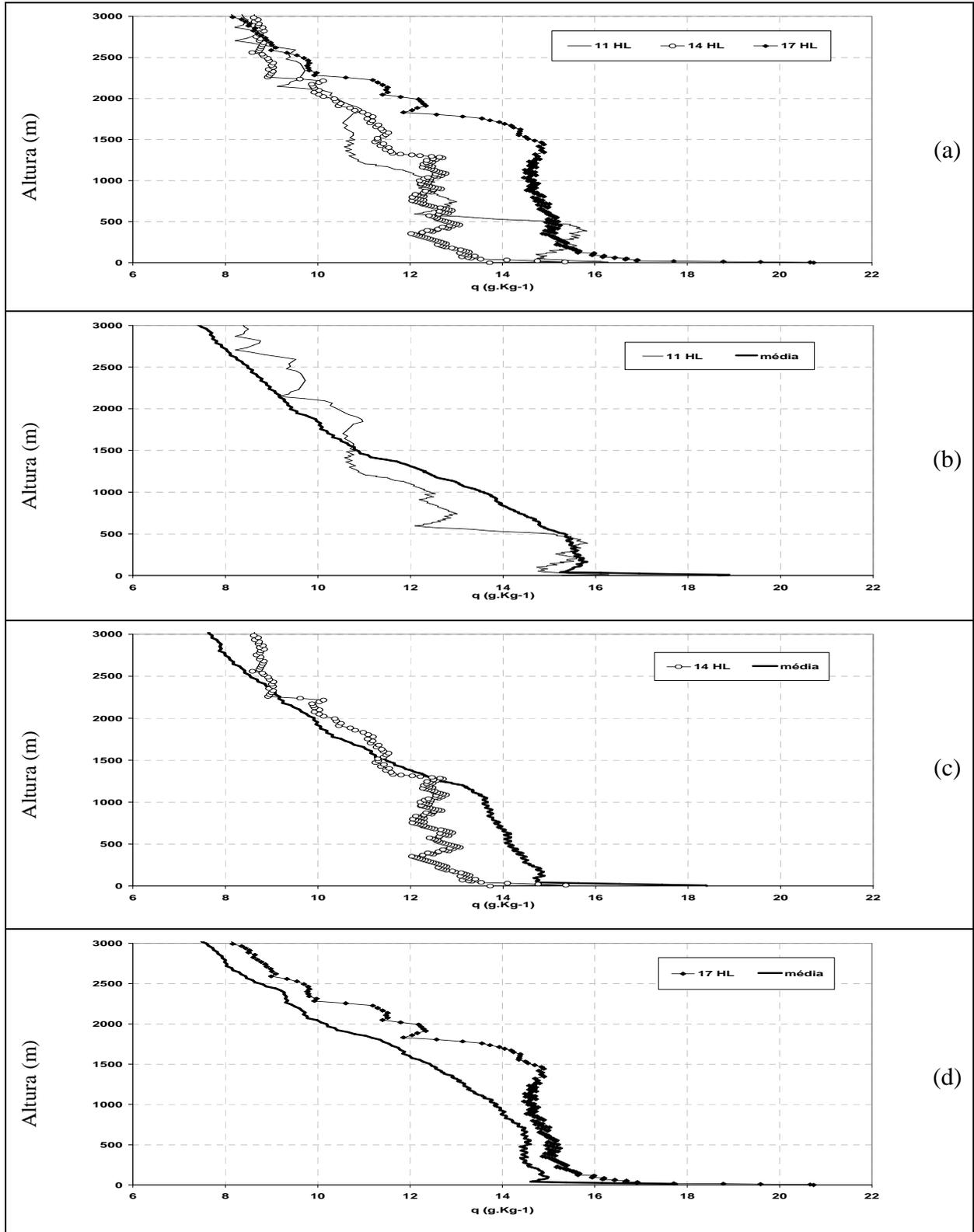


Figura 53 – Perfil de umidade específica para dia 27/10 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL(b), 14 HL e média de 14 HL(c), 17 HL e média de 17 HL(d).

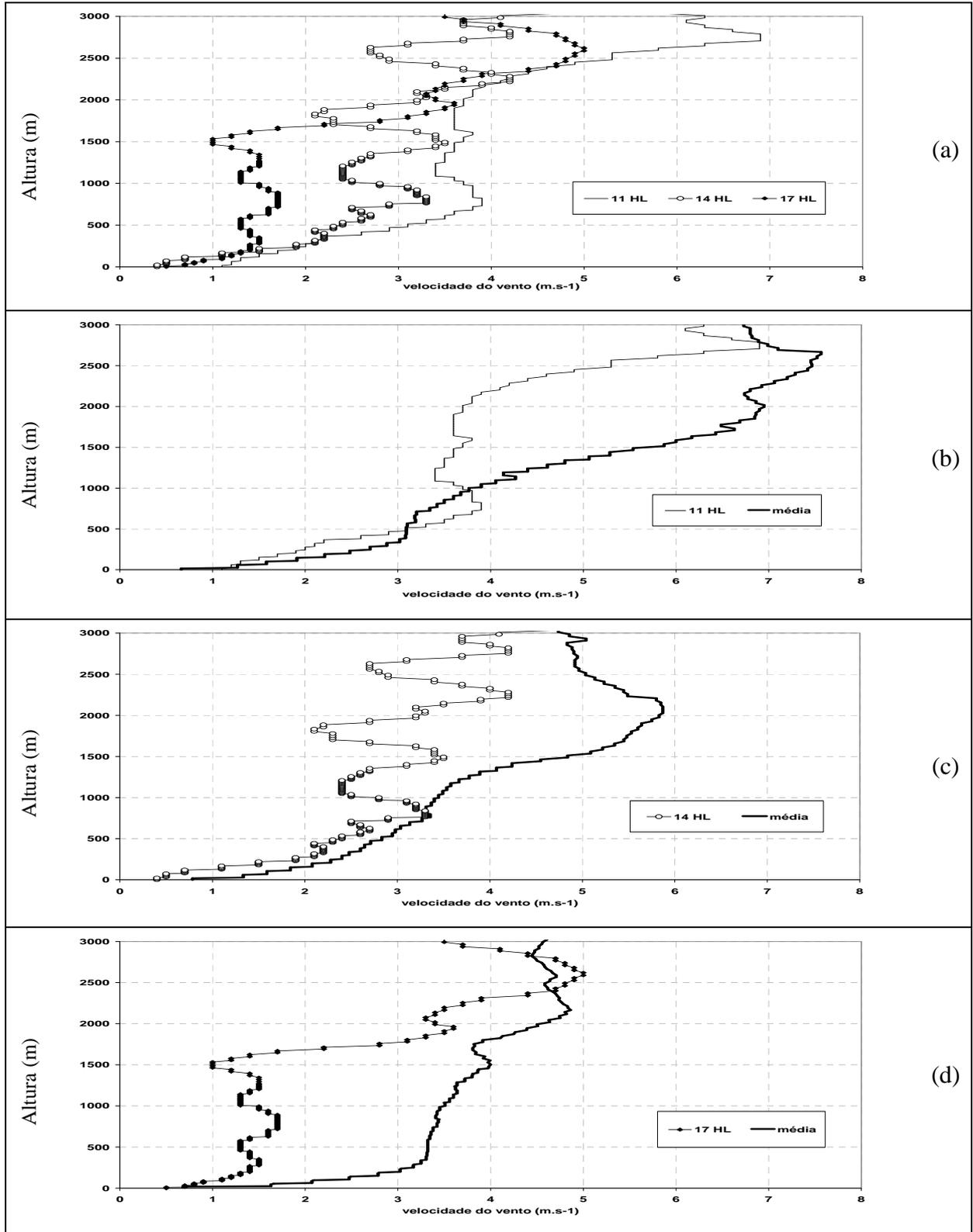
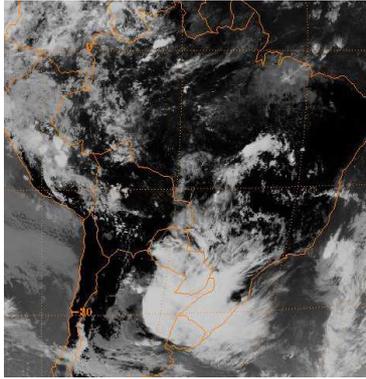
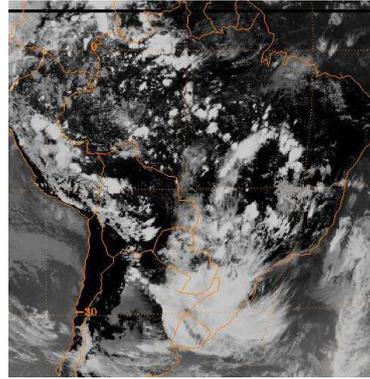


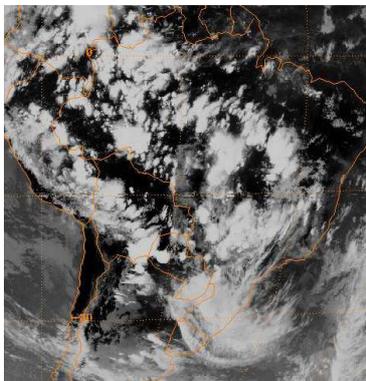
Figura 54 – Perfil de velocidade do vento para dia 27/10 as 11, 14 e 17 HL (a), 11 HL e média de 11 HL (b), 14 HL e média de 14 HL (c), 17 HL e média de 17 HL (d).



a)

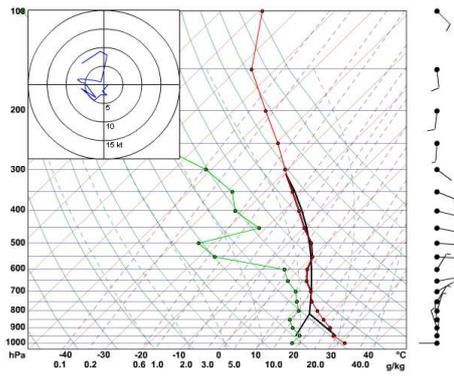


b)

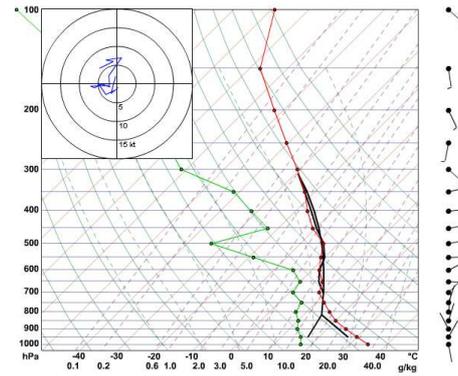


c)

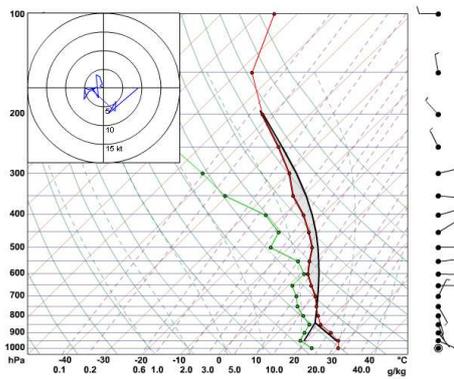
Figura 55 – Imagem de satélite no canal infravermelho, para o dia 27/10. Sendo (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL. Fonte: NOAA.



(a)



(b)



(c)

Figura 56 – Diagrama Skew-T para o dia 27/10, (a) 11 HL, (b) 14 HL e (c) 17 HL. Sendo: temperatura (linha vermelha) e temperatura do ponto de orvalho (linha verde).

## 5 – CONCLUSÕES

Realizou-se um estudo para compreender melhor a termodinâmica da Camada Limite Atmosférica Amazônica, e as possíveis influências dos efeitos locais e/ou de mesoescala.

Foram utilizados dados de três campanhas experimentais realizadas em Rondônia em três períodos distintos: estação seca (1994), estação chuvosa (1999) e transição da seca para a chuvosa (2002). As condições meteorológicas durante os três experimentos foram típicas do período do ano em que os mesmos se desenvolveram.

Em termos de efeitos locais o único fenômeno que comprovadamente influenciou a CLA foi o vento, principalmente os jatos (JBN).

Na estação seca, a série temporal dos dados de superfície revelou altas temperaturas e pouca nebulosidade. As temperaturas médias foram praticamente iguais, sendo apenas 0,06 °C maior na floresta, a umidade específica também foi maior na floresta (2,29g.kg<sup>-1</sup>). O vento foi fraco a moderado nos dois sítios sendo um pouco maior sobre a pastagem no período diurno. A direção do vento predominante na floresta foi de Sul, já na pastagem oscila entre Norte e Sul.

Na estação chuvosa a temperatura média foi 0,47 °C superior na floresta, assim como a umidade média (0,05g.kg<sup>-1</sup>). Os ventos são mais fortes na pastagem do que na floresta, principalmente no período diurno. O vento predominante na floresta foi de Oeste e na pastagem foi de Norte e Sudoeste. A floresta apresentou maior índice pluviométrico, 126,9mm versus 111,26mm na pastagem.

Durante a estação de transição a temperatura média foi 2,38°C superior floresta. A umidade média também foi maior na floresta (3,42g.kg<sup>-1</sup>). A velocidade do vento foi parecida em ambos os sítios, sendo que a pastagem apresentou alguns núcleos de velocidades mais elevadas. A direção do vento em ambos os sítios oscilou bastante e teve predominância de Norte. A precipitação na floresta foi menor do que na pastagem (63,41mm versus 211mm) e ocorreram, na maioria, em dias de atuação de sistemas frontais no Sudeste ou Sul do Brasil (formação de ZCAS).

Da investigação sobre comportamento atípico da CLA (*particularidades*) foram observados 45 casos (22 na floresta e 23 na pastagem).

Nas três estações, as particularidades da CLA estiveram sempre ligadas a fenômenos de pequena escala na sua maioria ventos fortes.

A abordagem adotada não permitiu encontrar relação direta entre as particularidades da CLA com fenômeno de meso ou grande escala.

As particularidades na estação seca ocorrem preferencialmente em dias de com vento forte (6). Foram também verificados 5 dias com mais de uma particularidade e 2 JBNs.

Durante a estação chuvosa todos os casos de particularidade ocorreram em dias chuvosos. Três casos de vento forte e dois de JBN também foram constatados.

Na estação de transição a maioria dos casos de particularidade (5/9) também ocorreu em dias com chuva sendo ainda verificados 3 casos de vento forte e 1 JBN. Em 5 ocasiões foram a ocorrência de duas particularidades (PI e PII) no mesmo dia.

## 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, R.I.; SILVA DIAS, M.A.F. **Microphysical evidence of the transition between predominant convective/stratiform rainfall associated with the intraseasonal oscillation in the Southwest Amazon.** Acta Amazônica, v. 35, n. 2, p. 175 – 184, 2005.

BLACKADAR, A. K. **Boundary layer Wind máxima and their significance for the growth of nocturnal inversions.** Bull. American Meteorological Society, v. 38, p. 283 – 290, 1957.

BOLETIM CLIMANÁLISE 1994. **Agosto.** Disponível em:  
<<http://www.cptec.inpe.br/revclima/boletim>>. Acesso em abril de 2007.

BOLETIM CLIMANÁLISE 1999. **Fevereiro.** Disponível em:  
<<http://www.cptec.inpe.br/revclima/boletim>>. Acesso em abril de 2007.

BOLETIM CLIMANÁLISE 2002. **Outubro.** Disponível em:  
<<http://www.cptec.inpe.br/revclima/boletim>>. Acesso em abril de 2007.

BONNER, W. D. **Case study of thunderstorm activity in relation to the low-level jet.** Monthly Weather Review, v. 94, p. 167 – 178, 1966.

BONNER, W. D. **Climatology of the Low Level Jet.** Monthly Weather Review, v. 96, n. 12, p. 833-850, 1968.

CAMPOS, C.R.J. **Micrometeorologia: Tópicos gerais**. Pelotas, Editora Universitária UFPEL, 107p, 2004.

CORREIA, F.W.S.; ALVALÁ, R.C.S.; MANZI, A.O. **Impacto das modificações da cobertura vegetal no balanço de água na Amazônia: um estudo com modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA)**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 21, n. 34, p. 153 – 167, 2006.

FISCH, G. **Camada limite amazônica: aspectos observacionais e de modelagem**. São José dos Campos. Tese Doutorado em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 171p, 1996.

FISCH, G.; TOTA, J.; MACHADO, L.A.T.; SILVA DIAS, M.A.; LYRA, R.F.F; NOBRE, C.A.; DOLMAN, A J.; GASH, J.H.C. **The convective boundary layer over pasture and forest in Amazon region**. Theory & Application Climatology, p. 47 – 59, 2004.

FISCH, G.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. **Clima da Amazônia**. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE. Disponível em:  
<<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/fish.html>>. Acesso em abril de 2007.

GALVÃO, J. A. C.; FISCH, G. **Balanço de Energia em áreas de floresta e pastagem na Amazônia (Ji-Paraná/RO)**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 15, n. 2, p. 25 – 37, 2000.

GASH, J.H.C; SHUTTLWORTH, W.J.; **Tropical deforestation: albedo and the surface energy balance**. Climatic Change, v. 19, n. 1-2, p. 123 – 133, 1991.

GASH, J.H.C.; HUNTINGFORD, C.; MARENGO, J.A.; BETTS, R.A.; COX, P.M.; FISCH, G.; FU, R.; GANDU, A.W.; HARRIS, P.P.; MACHADO, L.A.T.; VAN RANDOW, C.; SILVA DIAS, M.A.F.; **Amazonian climate: results and future research**. Theoretical and Applied Climatology, v. 78, p. 187-193, 2004.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em março de 2007.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. **Climate Change 2007**. Disponível em:

<<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em dezembro de 2007.

LANDIM, P.M.B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Laboratório de Geomatemática, Texto Didático n 2, 20 p. 2000. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>.

LEITE, C.C. **Características da Camada Limite Convectiva durante a transição da estação seca para chuvosa na Amazônia – Comparação floresta/pastagem (DRY TO WET AMC/LBA – 2002)**. Dissertação de mestrado, Maceió, 79 p, 2004.

LONGO, M.; SILVA DIAS, M.A.F.; MOREIRA, D.S. **Análise das características termodinâmicas de frentes de rajada associadas a sistemas convectivos de mesoescala em**

**Rondônia durante a campanha WET AMC/LBA.** Revista Brasileira de Meteorologia, v17, n.1, p. 103-112, 2002.

LYRA, R.F.F.; MOLION, L.C.B.; DA SILVA, M.R.G.; FISCH, G.; NOBRE, C.A.; **Some Aspects of the Atmospheric Boundary Layer Over Western Amazonian: Dry Season 1994.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 18, n. 1, p. 79 – 85, 2003.

MACHADO, L.A.T.; LAURENT, H.; LIMA, A.A. **The diurnal march of the convection observed during TRMM-WETAMC/LBA.** Journal of Geophysical Research, v.107, n. D20 p. 31.1 – 31.15, 2002.

MARENGO, J.; DOUGLAS, M.P.; SILVA DIAS, M.A.F. **The South American Low-Level Jet East of the American Andes during the LBA-TRMM and WET AMC/LBA Campaign of January – April 1999.** Journal of Geophysical Research Atmospheres. v. 107, n. D20, p.47.1 – 47.11, 2002.

MARTIN, C. M.; FITZJARRALD, D. R.; GARSTANG, M.; OLIVEIRA, A. P.; GRECO, S.; BROWELL, E. **Structure and growth of the mixing layer over the Amazonian rain forest.** Journal of Geophysical Research. v.93, n. D2, p.1361 – 1375, 1988.

MOLION, L.C.B. **Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação.** Revista Brasileira de Meteorologia. v.2, n.1, p.107 – 117, 1987.

MOLION, L.C.B. **Amazonia rainfall and its variability. In: Hydrology and water management in the humid tropics.** International Hydrology Series, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 99 - 111, 1993.

MOURA, M.A.L.; BENNICASA, M.; TENÓRIO, R.S.; NASCIMENTO FILHO, M.F.  
**Comparação da radiação solar global em áreas de floresta e pastagem na Amazônia.**  
Revista Brasileira de Meteorologia, v16, n.1, p.91 – 99, 2001.

MOTA, M.A.S.; NOBRE, C.A. **Relação da variabilidade da energia potencial convectiva disponível (CAPE) com a precipitação e a Alta da Bolívia durante a campanha “WET-AMC/LBA”.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 21, n. 3b, p. 344 – 355, 2006.

NEVES, T.T.A.T. **Aspectos observacionais e de modelagem da Camada Limite Convectiva Amazônica.** Trabalho de conclusão de curso, UFAL – AL, 49p, 2007.

OLIVEIRA, A. P. **Planetary boundary layer dynamics over the Amazon rain Forest.**  
PHD. Thesis – State University of New York at Albany – NY. 296p, 1990.

OLIVEIRA, A.P.; FITZJARRALD, D. R. **The Amazon river breeze and the local boundary layer: Observations.** Boundary Layer Meteorology. v. 63, n. 1, p.141-162, 1993.

OLIVEIRA, G. S. **Conseqüências climáticas da substituição gradual da floresta tropical amazônica por pastagem degradada ou por plantação de soja: um estudo de modelagem.**  
Tese de doutorado, INPE, São José dos Campos – SP, 403p, 2008.

ROCHA, C.H.E.D. **Termodinâmica da Camada Limite Atmosférica durante a Estação Chuvosa no Oeste da Amazônia – LBA/TRMM, 1999.** Dissertação de Mestrado, UFAL, Maceió – AL, 100p, 2003.

SANTOS, L.A.R.; FISCH, G. **Intercomparação entre quatro métodos de estimativa da altura da Camada Limite Convectiva durante o experimento RACCI-LBA (2002) em Rondônia – Amazônia.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 22, n. 3, p. 322-328, 2007.

SILVA DIAS, M.A.F.; REGNIER, P. **Simulation of Mesoscale Circulations in a deforested area of Rondonia in the dry season.** In: J. Gash, C. Nobre. (Org.). Amazonian deforestation and climate. 1 ed. Inglaterra: John Wiley and Sons, v. 1, p. 531 – 549, 1996.

SILVA DIAS, M.A.F.; RUTLEDGE, S.; KABAT, P.; SILVA DIAS, P.L.; NOBRE, C.; FISCH, G.; DOLMAN, H.; ZIPSER, E.; GARSTANG, M.; MANZI, A.O.; FUENTES, J.; ROCHA, H.; MARENGO, J.; PLANA-FATTORI, A.; SÁ, L.A.; ALAVALÁ, R.C.; ANDREAE, M.; ARTAXO, P. **Clouds and rain processes in a biosphere atmosphere interaction context in the Amazon region.** Journal of Geophysical Research, v.107, n. D20 (8064), p. 39.1 – 39.18, 2002

SILVA, C.M.S.; **Comportamento da CLA sobre pastagem em Rondônia durante a transição da estação seca para chuvosa em 2002.** Dissertação de mestrado, UFAL, Maceió, 82 p, 2005.

SILVA, M. R. G.; **Aspectos da termodinâmica da Camada Limite Atmosférica no Oeste da Amazônia durante a Estação Chuvosa – Experimento WET AMC/LBA.** Dissertação de Mestrado, UFAL, Maceió – AL, 80p, 2004.

SOUZA, S.S.; LYRA, R.F.F. **Características observadas da termodinâmica da CLA sobre Rondônia e suas relações com a substituição de áreas de florestas naturais por pastagens: PROJETO RBLE.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 16, n. 2, p. 157 – 164, 2001.

SOUZA FILHO, J. D. da C.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; COHEN, J. C. P.; ROCHA, E. J. **P. Variação sazonal do balanço de radiação em uma floresta tropical no nordeste da Amazônia** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 21, n. 3b, p. 318 – 330, 2006.

STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology.** Dordrecht: Kluwer Academic, 666p, 1988.

TEIXEIRA, L.; GIRARDI, C. Oscilações do vento na estratosfera equatorial. São José dos Campos: IAE, (Relatório Técnico ECA-04/78), 28p, 1978.

TÓTA, J.; FISCH, G.; GARSTANG, M.; FUENTES, J.; OLIVEIRA, P.J.; HEITZ, R.; SIGLER, J. **Análise da variabilidade diária da precipitação em área de pastagem para a época chuvosa de 1999 - Projeto TRMM/LBA.** Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XI. Florianópolis, 1999.

TOTA, J.; FISCH, G.; OLIVEIRA, P.J.; GARSTANG, M.; FUENTES, J.; HEITZ, R.;

SIGLER, J. **Variabilidade da precipitação em área de pastagem durante o experimento**

**LBA/TRMM**. Acta Amazônica, v. 30, n.4, p. 305 – 308, 2000.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R.; **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa – UFV, 449p,

2000.

WITHEMAN, C. D.; XINDI, B.; ZHONG, S. **Low level jet climatology from enhanced**

**rawinsonde observations atmosfera a site in the southern great plains**. Journal of Applied

Meteorology, Boston, v.36, n. 10, p. 1363 – 1376, 1997.

## APÊNDICE A

### SÉRIE TEMPORAL PARA A ESTAÇÃO SECA

#### a) Floresta

O saldo de radiação da floresta (Figura A1a) varia pouco de um dia para outro, apresenta comportamento típico de estação seca. O saldo máximo foi de  $600\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  às 13 HL do dia 19, enquanto o mínimo de  $-51,1\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  às 19 HL do mesmo dia. O saldo de radiação médio diário foi de  $134,21\pm 214,83\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

A temperatura do ar apresenta ciclos diários regulares (Figura A1b), onde se observa um aumento gradual da variável no decorrer do período estudado. As máximas para cada dia apresentaram-se sempre acima de  $30^{\circ}\text{C}$ . A temperatura máxima de  $33,5^{\circ}\text{C}$  foi observada às 15 HL do dia 22 e a mínima de  $18,5^{\circ}\text{C}$  observada às 07 HL do dia 20. A média do período foi de  $24,94\pm 4,53^{\circ}\text{C}$ .

A umidade específica (Figura A1c) apresenta um ciclo diferenciado para cada dia. Os pontos mais baixos de umidade foram observados no período da tarde entre às 15 HL e 16 HL. A média foi de  $14,73\pm 1,32\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a máxima foi de  $17,8\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  às 21 HL no dia 22, a mínima de  $10,3\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  foi observada às 16 HL do dia 23.

A velocidade do vento apresentou-se baixa sobre a floresta com média de  $1,38\pm 0,6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , com vento máximo de  $3,3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  às 15 HL do dia 23. O vento tende a diminuir nos períodos da madrugada e início da manhã, aumentando gradativamente durante o decorrer do dia, tendo seus máximos no período da tarde (Figura A1d).

A direção do vento (Figura A1e) manteve-se praticamente constante durante o período do estudo, tendo direção predominante de Sul com variações a Sudeste e Sudoeste. Os dias 21 e 23 apresentaram ventos de Noroeste.

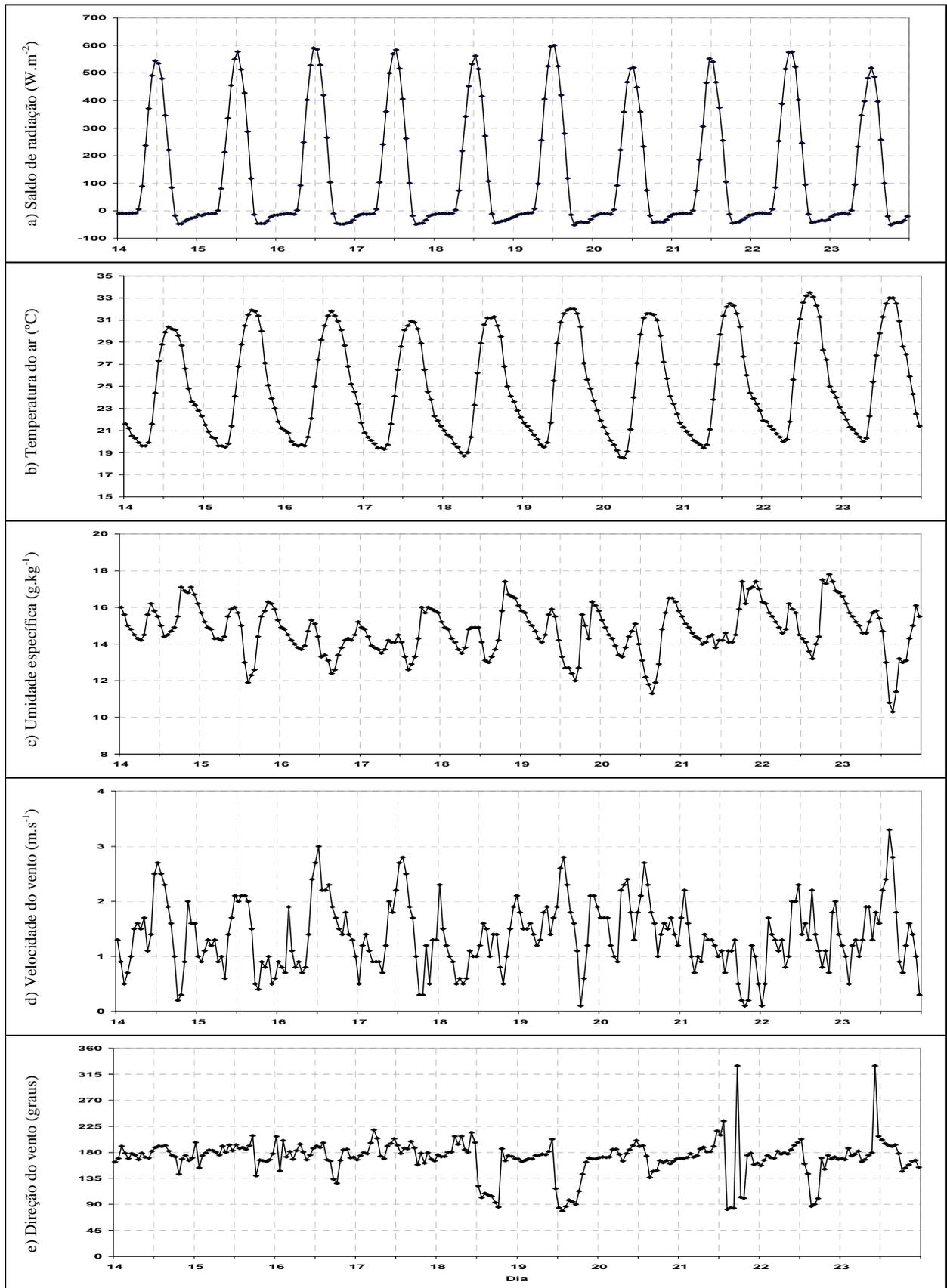


Figura A1 – Série temporal floresta (estação seca).

## **b) Pastagem**

O saldo de radiação na pastagem durante a estação seca apresenta ciclos estáveis e regulares (Figura A2a), tendo pouca variação de um dia para outro, cujo valor médio foi de  $109,23 \pm 185,98 \text{ W.m}^{-2}$ . O saldo máximo na pastagem foi de  $556,7 \text{ W.m}^{-2}$  às 13 HL no dia 16 e o mínimo de  $-37,4 \text{ W.m}^{-2}$  às 19 HL no dia 14.

As temperaturas na pastagem (Figura A2b) apresentam ciclos regulares, variando pouco de um dia para outro. Houve uma leve tendência de aumento da temperatura máxima no decorrer do período do estudo, conforme foi também observado na floresta. A média foi de  $24,88 \pm 5,52^\circ\text{C}$ , a máxima foi de  $34,18^\circ\text{C}$ , às 15 HL no dia 22 e a mínima de  $16,68^\circ\text{C}$ , às 07 HL no dia 20.

A umidade específica apresenta ciclos diversificados, com tendência de diminuição dos valores no decorrer do período do estudo (Figura A2c). O máximo de umidade específica foi de  $15,32 \text{ g.kg}^{-1}$ , às 09 HL do dia 15 e o mínimo de  $9,10 \text{ g.kg}^{-1}$ , às 17 HL do dia 22. A média foi de  $12,44 \pm 1,10 \text{ g.kg}^{-1}$ .

No período diurno a velocidade do vento na pastagem é superior a da floresta, apresentando ciclos bem definidos (Figura A2d). O vento sofre aumento durante o período diurno, já no período noturno e madrugada a velocidade do vento é baixa ou praticamente nula. O vento médio na pastagem foi de  $1,33 \pm 1,2 \text{ m.s}^{-1}$ , enquanto o máximo foi de  $4,8 \text{ m.s}^{-1}$  às 11 HL no dia 16.

A direção do vento na pastagem (Figura A2e) é variável e oscila sistematicamente entre Norte, durante a noite, e Sul – Leste, durante o dia.

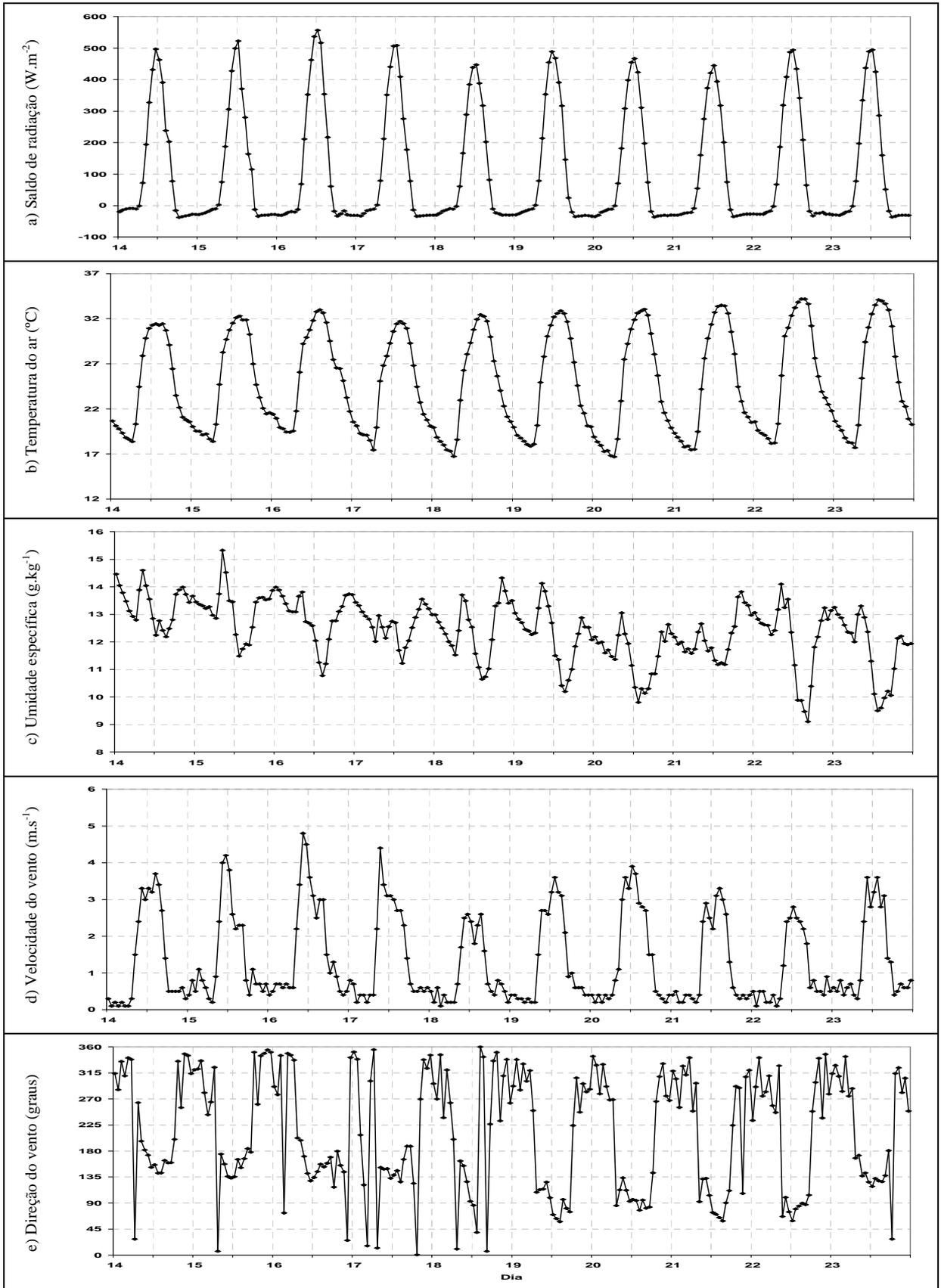


Figura A2 – Série temporal pastagem (estação seca).

## APÊNDICE B

### SÉRIE TEMPORAL PARA A ESTAÇÃO CHUVOSA

#### a) Floresta

Os ciclos diários do saldo de radiação na estação chuvosa (Figura B1a) são diferenciados. A média do saldo de radiação foi de  $140,32 \pm 233,04 \text{W.m}^{-2}$ , o máximo de radiação foi de  $888,10 \text{W.m}^{-2}$  às 13 HL do dia 11, o mínimo foi de  $-40,4 \text{W.m}^{-2}$  às 19 HL do dia 17. O dia observado com saldo de radiação positivo mais baixo foi de  $335,3 \text{W.m}^{-2}$ , foi dia 21, às 14 HL.

Os ciclos diários de temperatura do ar são variáveis (Figura B1b). A temperatura média observada na floresta foi de  $25,27 \pm 2,47^\circ\text{C}$ , a máxima foi de  $32,3^\circ\text{C}$ , às 15 HL do dia 12 e a mínima de  $21,7^\circ\text{C}$ , às 05 HL do dia 18. As menores amplitudes diárias de temperaturas foram encontradas nos dias 7 e 21. Dia 7 a temperatura máxima foi de  $27,6^\circ\text{C}$ , às 11 HL e dia 21 a máxima foi de  $25,7^\circ\text{C}$  às 17 HL, influenciadas por valores baixos de radiação solar.

A umidade específica apresenta-se bem diferente de um dia para outro (Figura B1c). A umidade específica máxima foi de  $19,98 \text{g.kg}^{-1}$  às 21 HL do dia 11, e a mínima de  $15,49 \text{g.kg}^{-1}$  às 18 HL do dia 12. A média foi de  $17,75 \pm 0,73 \text{g.kg}^{-1}$ .

A velocidade do vento na floresta durante a estação chuvosa (Figura B1d) foi baixa, apresentando uma média de  $1,54 \text{m.s}^{-1}$  ( $\pm 0,88$ ), com vento máximo de  $6,2 \text{m.s}^{-1}$  às 13 HL do dia 19. A velocidade do vento apresenta o mesmo padrão da estação seca, ou seja, ventos fracos na madrugada e manhã e mais fortes durante o período diurno.

Não é possível distinguir um padrão nos ciclos de direção do vento (Figura B1e), mostrando-se bastante variável no decorrer do período do estudo. Apresenta vento em todas as direções, sendo a direção predominante do vento, de Oeste, com variações a Noroeste e Sudeste.

As precipitações sobre a floresta não foram distribuídas de maneira uniforme (Figura B1f). O total de precipitação para o período do estudo foi de 126,9mm, o máximo de precipitação foi de 21,3mm, às 11 HL do dia 18, quando o total diário foi de 48,4mm.

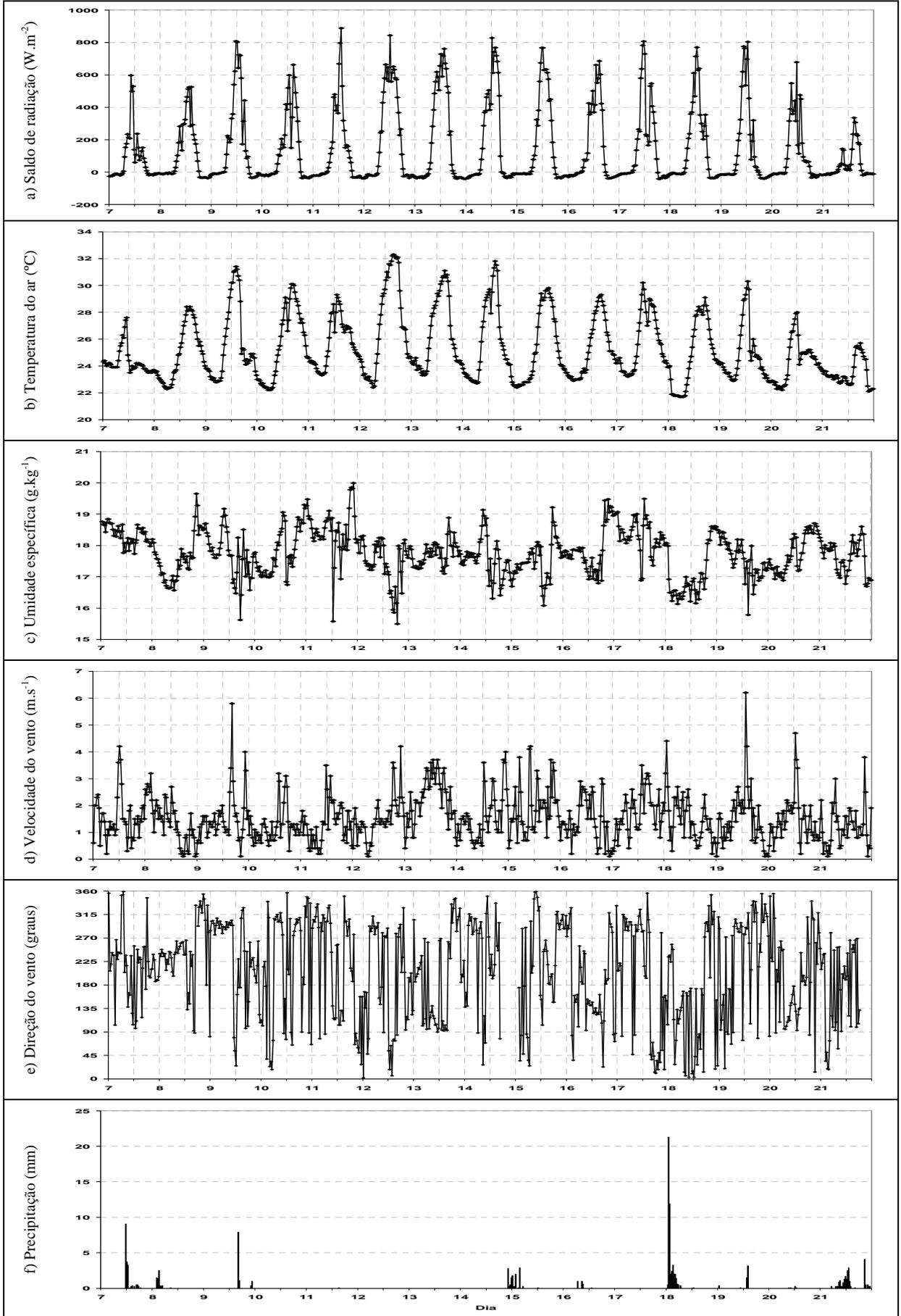


Figura B1 – Série temporal floresta (estação chuvosa).

## **b) Pastagem**

Os ciclos do saldo de radiação na pastagem (Figura B2a) são bem diferenciados de dia para dia. O valor médio do saldo de radiação foi de  $136,51 \pm 233,92 \text{W.m}^{-2}$ , o máximo de radiação foi de  $906,43 \text{W.m}^{-2}$  às 13 HL do dia 20 e o mínimo de  $-49,12 \text{W.m}^{-2}$  às 19 HL do dia 19. O saldo de radiação positivo mais baixo observado foi de  $383,23 \text{W.m}^{-2}$  às 16 HL do dia 18.

Os ciclos de temperatura do ar são diferenciados de um dia para outro (Figura B2b). As temperaturas são menores durante a madrugada e manhã e maiores durante o dia, acompanhando o ciclo de radiação. A média do período do estudo foi de  $24,80 \pm 2,44^\circ\text{C}$ , a máxima observada foi de  $31,19^\circ\text{C}$  às 16 HL do dia 14 e a mínima foi de  $20,97^\circ\text{C}$  às 06 HL do dia 20. As mínimas em todo o período se encontraram superiores aos  $20^\circ\text{C}$ .

A umidade específica na pastagem para a estação chuvosa apresenta ciclos bem diferenciados e baixas amplitudes (Figura B2c). A média de umidade específica foi de  $17,70 \pm 0,82 \text{g.kg}^{-1}$ , a máxima de  $19,66 \text{g.kg}^{-1}$  ocorreu no dia 12 às 09 HL, a mínima de  $15,40 \text{g.kg}^{-1}$  ocorreu no dia 11, às 19 HL.

Os ciclos de velocidade do vento na pastagem (Figura B2d) apresentam ventos mais fortes que na floresta. A velocidade do vento média na pastagem foi de  $2,49 \pm 1,94 \text{m.s}^{-1}$ , e o vento máximo observado foi de  $12,05 \text{m.s}^{-1}$ , às 15 HL do dia 11.

A direção do vento na pastagem apresenta ciclos irregulares de um dia para outro (Figura B2e). O vento oscila em todas as direções. As direções predominantes foram de Norte e Sudoeste.

A precipitação sobre a pastagem é observada na Figura B2f. A precipitação total no período foi de 111,26mm; o máximo de precipitação foi de 16,72mm, às 19 HL do dia 7. O dia com maior índice pluviométrico foi dia 18, com um total de 30,84mm.

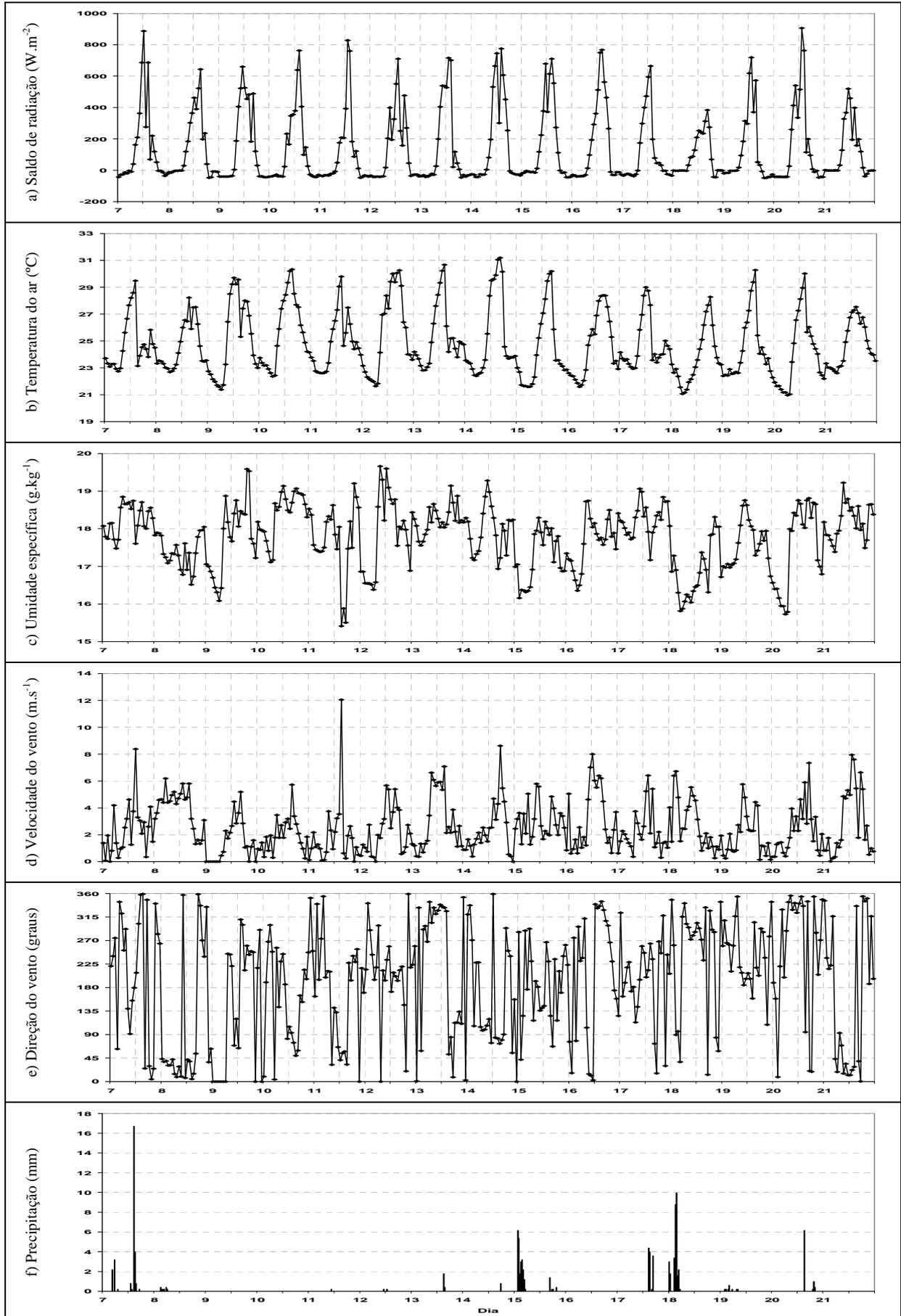


Figura B2 – Série temporal pastagem (estação chuvosa).

## APÊNDICE C

### SÉRIE TEMPORAL PARA A ESTAÇÃO DE TRANSIÇÃO

#### a) Floresta

O saldo de radiação na floresta (Figura C1a) tem um ciclo bem diferenciado de um dia para outro. A média do saldo de radiação solar foi de  $151,0 \pm 243,0 \text{ W.m}^{-2}$ . O máximo foi de  $846,0 \text{ W.m}^{-2}$  às 12 HL do dia 20 e o mínimo de  $-43,45 \text{ W.m}^{-2}$  às 19 HL do dia 17. O saldo de radiação positivo mínimo foi de  $357,20 \text{ W.m}^{-2}$  às 12 HL no dia 25.

Os ciclos de temperatura do ar são bem diferentes de um dia para outro no período do estudo (Figura C1b). As temperaturas mínimas estão acima de  $24^\circ\text{C}$ . A média foi de  $29,27 \pm 3,19^\circ\text{C}$ , a máxima foi de  $36,99^\circ\text{C}$ , às 15 HL do dia 27, e a mínima de  $24,26^\circ\text{C}$ , às 06 HL do dia 17.

Os ciclos de umidade específica (Figura C1c) não são bem definidos de um dia para outro. A umidade específica média na floresta foi de  $20,90 \pm 1,17 \text{ g.kg}^{-1}$ , a máxima foi de  $24,24 \text{ g.kg}^{-1}$ , às 15 HL no dia 28 e a mínima de  $17,09 \text{ g.kg}^{-1}$  às 16 HL no dia 16.

Os ciclos de velocidade do vento são diferentes de um dia para outro (Figura C1d). Embora, não seja em todos os dias, nota-se que o vento é fraco durante a noite, com aumento no decorrer do período diurno. A velocidade do vento média na floresta foi de  $1,60 \pm 1,05 \text{ m.s}^{-1}$ , o vento máximo observado foi de  $6,79 \text{ m.s}^{-1}$ , às 16 HL do dia 21.

Não foi possível constatar um padrão definido para a direção do vento na floresta, uma vez que varia em todas as direções (Figura C1e), oscilando mais durante o período diurno, quando há aumento na velocidade do vento. Ha predominância do vento é de Norte, com variações a Nordeste e Noroeste.

A precipitação observada no período foi pequena (Figura C1f), tendo um total de  $63,41 \text{ mm}$  no período do estudo. O máximo de precipitação foi de  $23,84 \text{ mm}$  às 16 HL do dia 21. Neste mesmo dia foi observado o maior índice pluviométrico diário, de  $30,59 \text{ mm}$ . As precipitações ocorreram com maior frequência no período noturno.

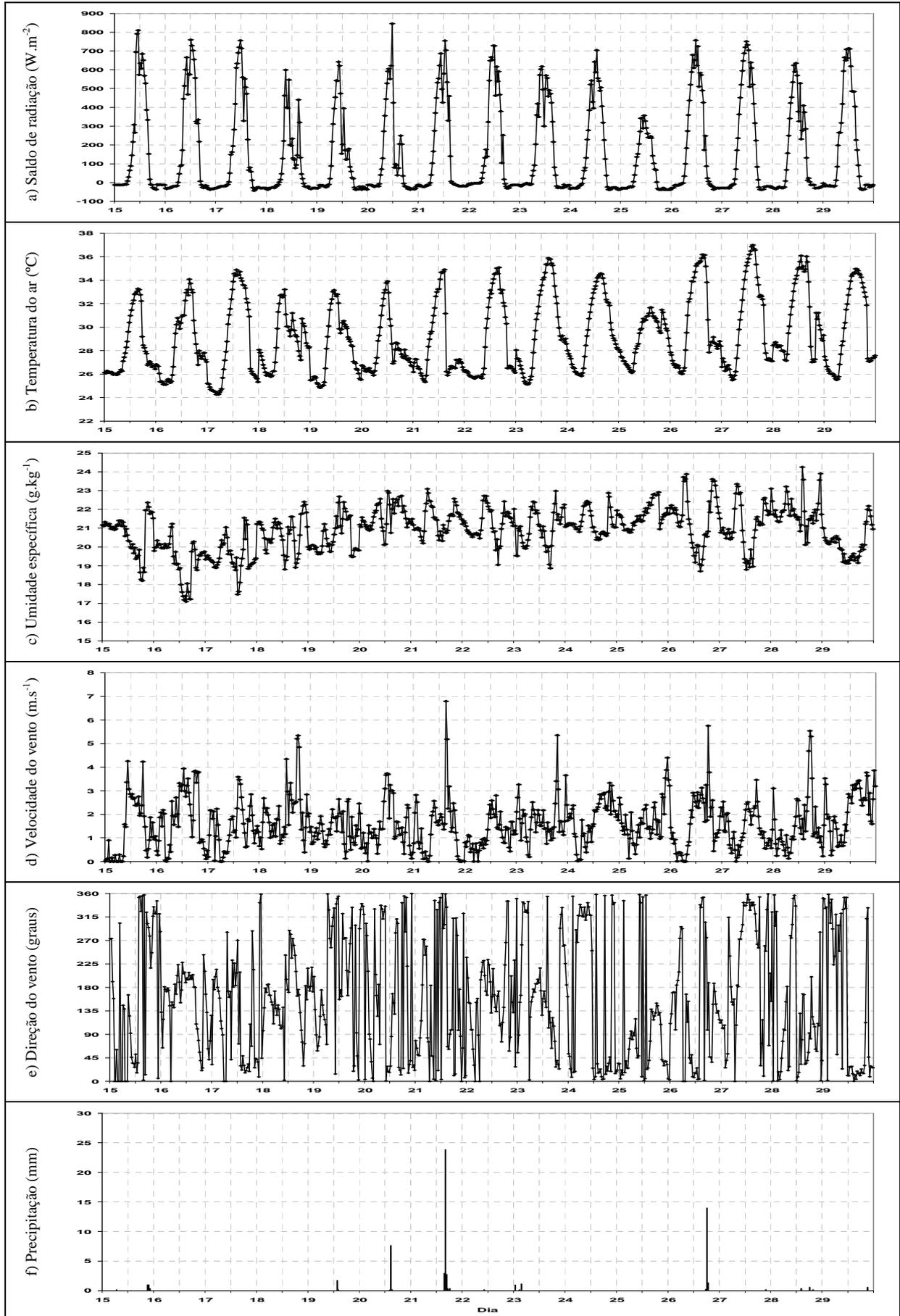


Figura C1 – Série temporal floresta (estação de transição).

## **b) Pastagem**

O saldo de radiação varia de um dia para outro (Figura C2a). O saldo de radiação máximo observado foi de  $793,65\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ , às 12 HL do dia 16, o mínimo observado de  $-62,59\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ , às 21 HL do dia 29. A média do saldo de radiação foi de  $145,15\pm 242,36\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ . O saldo de radiação positivo menor foi de  $506,01\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ , às 12 HL do dia 25.

A temperatura do ar apresenta ciclos diferenciados de um dia para outro (Figura C2b). A temperatura média do período foi de  $26,89\pm 4,49^\circ\text{C}$ , a máxima de  $36,68^\circ\text{C}$  ocorreu às 14 HL do dia 28 e a mínima de  $20,42^\circ\text{C}$ , às 06 do dia 16. Nota-se que a temperatura é afetada pela precipitação.

Os ciclos de umidade específica são bem diferentes (Figura C2c). Seus maiores valores ocorrem durante o período da tarde e noite. A média de umidade específica foi de  $17,48\pm 1,02\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , a máxima foi de  $20,21\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  às 09 HL do dia 21 e a mínima de  $14,84\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  às 05 HL do dia 17.

Os ciclos de velocidade do vento na pastagem apresentam valores baixos (Figura C2d), a velocidade do vento média foi de  $1,16\pm 1,06\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , com máximo de vento observado de  $8,73\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  às 18 HL do dia 21. A velocidade do vento é menor ou nula durante a noite e aumenta no decorrer do período diurno.

A direção do vento na pastagem é aleatória (Figura C2e), apresentando vento em todas as direções, sendo que a direção predominante é de Norte com variações a Nordeste e Noroeste.

A precipitação observada na pastagem foi de 211mm no período do estudo (Figura C2f). O máximo de precipitação foi de 31,40mm às 16 HL do dia 18. As precipitações ocorreram no decorrer dos dias 17 a 22 e isto se deu principalmente nos períodos do início da noite e madrugada.

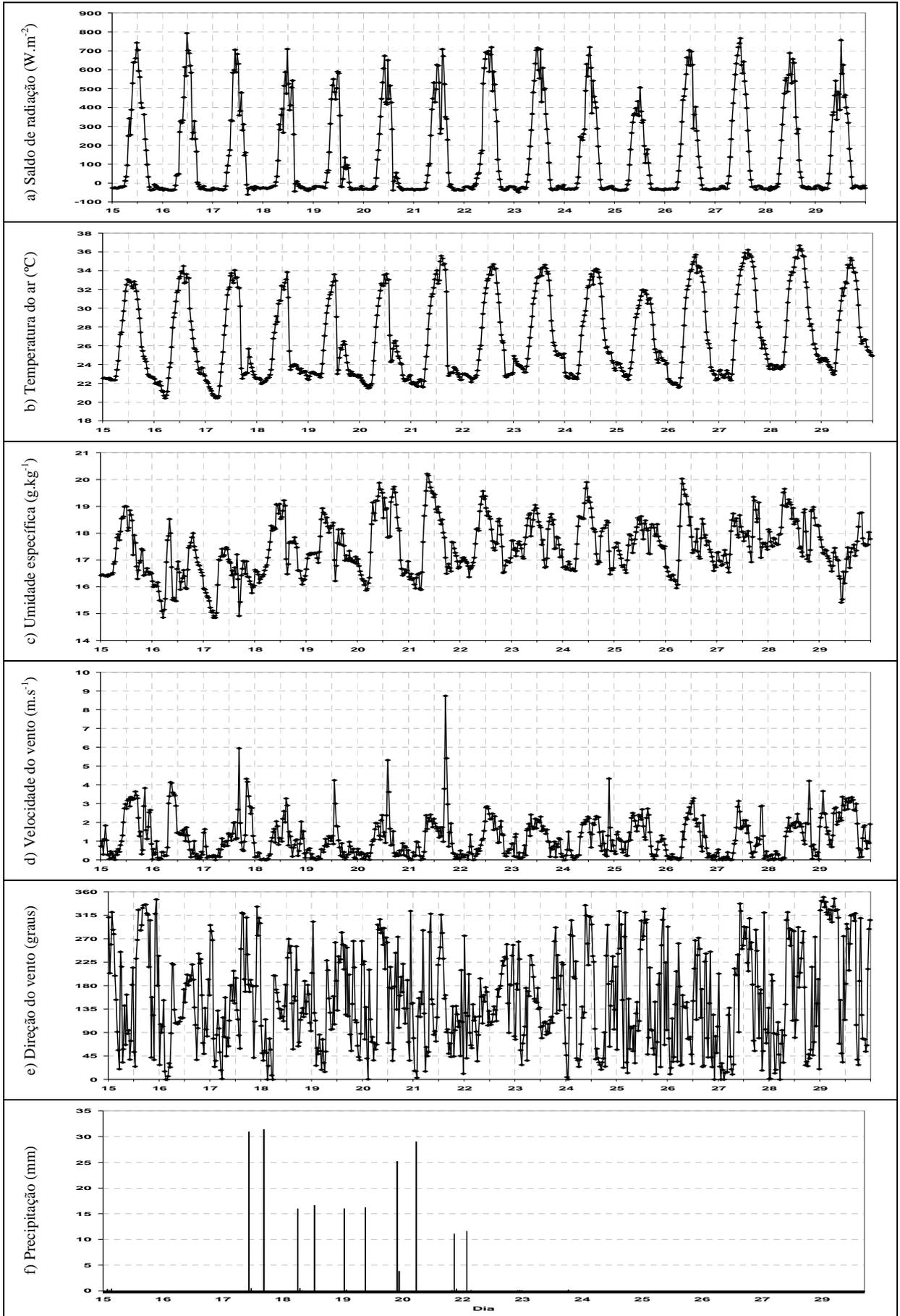


Figura C2 – Série temporal pastagem (estação de transição).

## APÊNDICE D

### VALORES DIÁRIOS DA SÉRIE TEMPORAL

#### D.1 – Estação seca

Tabela D1 – Valores diários para o sitio de Floresta na estação seca.

Variável		Dia									
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Saldo de radiação (W.m <sup>-2</sup> )	média	129,93	135,62	142,52	139,32	133,45	145,61	124,29	127,02	140,22	124,16
	DP	211,74	220,09	234,14	224,90	216,08	235,39	204,83	208,39	227,20	203,13
	máximo	543,52	576,80	589,80	583,10	561,50	600,00	518,20	551,40	575,80	516,70
	mínimo	-47,41	-46,30	-48,40	-49,20	-44,30	-51,10	-42,50	-44,40	-42,50	-50,40
Temperatura do ar (°C)	média	24,45	24,66	25,03	24,22	24,40	25,26	24,59	25,07	25,96	25,72
	DP	3,977	4,58	4,54	4,30	4,54	4,69	4,77	4,76	4,90	4,72
	máximo	30,40	31,90	31,80	30,90	31,30	32,00	31,60	32,50	33,50	33,00
	mínimo	19,61	19,50	19,60	19,30	18,70	19,50	18,50	19,40	20,00	20,00
Umidade específica (g.kg <sup>-1</sup> )	média	15,49	14,79	14,07	14,38	14,76	14,55	14,18	15,13	15,53	14,41
	DP	0,95	1,25	0,77	1,01	1,22	1,30	1,49	1,21	1,30	1,71
	máximo	17,13	16,30	15,30	16,0	17,40	16,30	16,50	17,40	17,80	16,60
	mínimo	14,24	11,90	12,40	12,60	13,00	12,00	11,30	13,80	13,20	10,30
Velocidade do vento (m.s <sup>-1</sup> )	média	1,42	1,20	1,53	1,34	1,17	1,63	1,67	1,01	1,34	1,48
	DP	0,68	0,55	0,67	0,72	0,49	0,58	0,47	0,49	0,54	0,70
	máximo	2,70	2,10	3,00	2,80	2,30	2,80	2,70	2,20	2,30	3,30
	mínimo	0,20	0,40	0,70	0,30	0,50	0,10	0,90	0,10	0,10	0,30
Direção do vento (graus)	média	181,97	177,88	184,13	174,83	202,27	215,01	187,27	189,35	194,18	178,44
	u médio	-0,048	0,043	-0,105	0,1178	-0,354	-0,718	-0,205	-0,125	-0,281	0,035
	DP	0,244	0,224	0,466	0,338	0,617	0,900	0,427	0,482	0,614	0,452
	v médio	1,408	1,179	1,454	1,3048	0,866	1,026	1,610	0,763	1,113	1,293
	DP	0,678	0,560	0,688	0,71	0,616	0,820	0,484	0,675	0,661	0,915

DP - desvio padrão

Tabela D2 – Valores diários para o sitio de Pastagem na estação seca.

Variável		Dia									
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Saldo de radiação (W.m <sup>-2</sup> )	média	108,96	109,92	124,54	112,77	103,72	108,44	106,15	98,14	112,03	107,66
	DP	183,79	188,15	215,31	194,41	174,92	191,57	183,77	174,46	192,21	192,82
	máximo	496,60	522,80	556,70	508,40	447,30	488,90	467,10	444,90	494,00	494,50
	mínimo	-37,40	-34,10	-33,20	-34,10	-30,60	-35,40	-36,70	-35,10	-32,60	-36,40
Temperatura do ar (°C)	média	24,53	24,91	25,83	24,36	24,24	24,65	24,34	24,76	25,74	25,42
	DP	5,04	5,24	4,94	4,96	5,55	5,71	6,13	6,08	6,00	6,10
	máximo	31,43	32,30	32,99	31,7	32,44	32,87	33,05	33,48	34,18	34,09
	mínimo	18,36	18,38	19,41	17,43	16,72	17,86	16,68	17,46	18,17	17,69
Umidade específica (g.kg <sup>-1</sup> )	média	13,36	13,18	12,92	12,67	12,48	12,26	11,51	12,16	12,11	11,74
	DP	0,69	0,87	0,89	0,60	1,03	1,00	0,87	0,78	1,38	1,21
	máximo	14,60	15,32	13,98	13,55	14,32	14,12	13,05	13,81	14,09	13,30
	mínimo	12,18	11,48	10,77	11,22	10,64	10,19	9,80	11,17	9,10	9,50
Velocidade do vento (m.s <sup>-1</sup> )	média	1,34	1,42	1,70	1,46	1,01	1,31	1,45	1,19	1,03	1,37
	DP	1,35	1,23	1,41	1,28	0,89	1,20	1,35	1,16	0,92	1,16
	máximo	3,70	4,20	4,80	4,40	2,60	3,60	3,90	3,30	2,80	3,60
	mínimo	0,10	0,20	0,40	0,20	0,10	0,20	0,20	0,20	0,10	0,30
Direção do vento (graus)	média	197,01	201,0	209,82	213,1	320,932	275,65	262,24	274,6	288,79	221,44
	u médio	-0,297	-0,271	-0,622	-0,528	-0,199	-0,798	-1,06	-0,754	-0,54	-0,499
	DP	0,774	1,119	1,123	0,960	0,919	1,433	1,573	1,287	1,201	1,259
	v médio	0,972	0,706	1,085	0,809	-0,245	-0,079	0,144	-0,061	-0,187	0,566
	DP	1,424	1,341	1,464	1,413	0,964	0,730	0,608	0,764	0,411	1,065

DP - desvio padrão

## D.2 – Estação chuvosa

Tabela D3 – Valores diários para o sítio de Floresta na estação chuvosa.

Variável		Dia														
		07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Saldo de radiação (W.m <sup>-2</sup> )	média	77,15	110,29	166,87	128,81	131,68	208,08	192,47	177,50	172,69	141,65	152,01	152,68	136,48	108,72	47,62
	DP	145,39	173,82	261,81	206,32	233,93	280,96	289,45	280,96	266,94	231,84	245,07	233,34	253,29	183,83	92,2
	máximo	596,8	525,6	808,3	663,3	888,1	843,3	760,3	827,9	767,1	686	806,5	769	803,2	678,3	335,3
	mínimo	-24,9	-35,4	-34,9	-35,6	-38,6	-37,2	-39,9	-38	-36,6	-38,5	-40,4	-37,3	-39,2	-34,4	-18,4
Temperatura do ar (°C)	média	24,35	24,88	25,65	25,63	25,78	27,00	26,33	25,73	25,41	25,25	25,72	24,77	24,7	24,35	23,46
	DP	0,99	2,07	2,85	2,74	1,80	3,49	2,64	2,94	2,7	2,14	2,16	2,52	2,11	1,57	0,99
	máximo	27,6	28,4	31,4	30,1	29,3	32,3	31,1	31,8	29,8	29,3	30,2	29,1	30,3	28	25,7
	mínimo	23,5	22,3	22,8	22,2	23,3	22,4	23,3	22,6	22,4	22,9	23,2	21,7	22,8	22,2	22,1
Umidade específica (g.kg <sup>-1</sup> )	média	18,34	17,57	17,70	17,83	18,46	17,42	17,73	17,55	17,52	17,87	18,32	17,04	17,55	17,78	17,63
	DP	0,29	0,73	0,73	0,77	0,74	0,70	0,37	0,63	0,60	0,73	0,52	0,82	0,56	0,60	0,50
	máximo	18,84	19,65	19,17	19,29	19,98	18,30	18,88	19,13	19,22	19,47	19,4	18,62	18,47	18,70	18,60
	mínimo	17,73	16,56	15,61	16,73	15,57	15,49	17,09	16,30	16,08	16,79	16,88	16,13	15,78	16,88	16,68
Velocidade do vento (m.s <sup>-1</sup> )	média	1,52	1,42	1,56	1,23	1,31	1,5	2,25	1,58	1,90	1,41	1,74	1,51	1,51	1,42	1,20
	DP	0,82	0,82	0,96	0,66	0,74	0,80	0,87	0,91	0,	0,82	0,78	0,84	1,08	0,85	0,75
	máximo	4,2	3,2	5,8	3,2	3,5	4,2	3,7	4	4,2	3	3,5	4,4	6,2	4,7	3,8
	mínimo	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,4	0,4	0,4	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
Direção do vento (graus)	média	149,04	119,11	89,905	41,39	71,28	136,82	219,2	92,59	69,52	204,08	29,58	145,08	63,09	207,91	179,30
	u médio	0,461	0,959	0,681	0,312	0,130	0,174	-0,25	0,54	0,544	-0,305	0,259	0,069	0,627	-0,28	0,004
	DP	1,327	0,961	1,354	1,094	1,228	1,23	2,106	1,06	1,52	1,071	1,36	1,166	1,36	1,27	1,164
	v médio	0,769	0,534	-0,001	-0,354	-0,044	0,185	0,310	0,024	-0,203	0,684	-0,45	0,099	-0,318	0,53	0,406
Precipitação (mm)	DP	0,678	0,812	1,05	0,765	0,897	1,161	1,16	0,94	1,488	1,007	1,256	1,296	1,07	0,907	0,565
	média	0,77	0,27	0,4	0	0,004	0	0	0,212	0,325	0,112	0	2,01	0,21	0,025	0,89
	DP	1,46	0,46	1,15	0	0,01	0	0	0,45	0,55	0,21	0	3,50	0,50	0,048	0,84
	máximo	9,1	2,5	7,9	0	0,1	0	0	2,8	2,9	1	0	21,3	3,2	0,3	4,1
	total	18,6	6,6	10,4	0	0,1	0	0	5,1	7,8	2,7	0	48,4	5,2	0,6	21,4

DP - desvio padrão

Tabela D4 – Valores diários para o sítio de Pastagem na estação chuvosa.

Variável		Dia														
		07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Saldo de radiação (W.m <sup>-2</sup> )	média	147,50	138,37	148,87	130,85	108,36	131,53	142,58	177,30	157,94	162,73	112,28	91,35	124,40	155,43	118,12
	DP	260,65	204,92	246,40	234,37	239,77	222,78	264,17	287,73	254,50	268,11	214,07	128,65	231,8	280,54	172,03
	máximo	887,19	643,29	659,7	762,11	827,54	710,1	715,51	773,85	710,21	767,44	664,77	383,23	718,49	906,43	518,89
	mínimo	-43,34	-47,76	-44,3	-43,25	-47,56	-42,29	-46,05	-44,08	-45,64	-40,26	-37,4	-45,4	-49,12	-46,31	-38,89
Temperatura do ar (°C)	média	24,80	24,57	25,12	25,69	24,86	25,57	25,32	25,35	24,30	24,58	24,76	23,72	24,42	24,06	24,73
	DP	1,96	1,74	2,99	2,58	2,04	3,10	2,30	3,13	2,80	2,42	1,91	2,07	2,38	2,70	1,72
	máximo	29,48	28,22	29,71	30,31	29,79	30,25	30,66	31,19	30,18	28,4	29	28,27	30,27	30,01	27,53
	mínimo	22,73	22,68	21,38	22,35	22,59	21,64	22,8	22,39	21,58	21,58	22,92	21,07	22,27	20,97	22,59
Umidade específica (g.kg <sup>-1</sup> )	média	18,23	17,40	17,72	18,39	17,70	17,82	18,23	17,98	17,24	17,61	18,25	16,90	17,57	17,47	18,17
	DP	0,41	0,43	0,98	0,60	0,96	1,08	0,38	0,61	0,69	0,66	0,44	0,78	0,61	1,12	0,47
	máximo	18,84	18,04	19,58	19,13	19,20	19,66	19,13	19,27	18,29	18,74	19,05	18,30	18,75	18,81	19,21
	mínimo	17,47	16,51	16,08	17,10	15,40	16,37	17,55	16,93	16,15	16,35	17,16	15,81	16,71	15,72	17,38
Velocidade do vento (m.s <sup>-1</sup> )	média	2,31	3,96	1,408	1,95	1,84	2,25	2,99	2,37	3,01	3,20	2,15	2,84	1,94	2,32	2,88
	DP	1,88	1,44	1,54	1,25	2,44	1,72	2,206	1,97	1,29	2,36	1,57	1,89	1,57	1,80	2,53
	máximo	8,37	6,18	5,18	5,72	12,05	5,67	7,07	8,61	5,79	8	6,41	6,72	5,76	7,33	7,95
	mínimo	0,001	1,3	0	0,24	0	0	0,36	0	1,27	0,6	0,29	0,26	0,14	0,35	0,01
Direção do vento (graus)	média	32,21	336,12	102,33	210,12	300,65	149,47	9,05	275,64	173,61	20,40	145,72	37,54	143,3	8,66	349,34
	u médio	0,51	-1,42	0,682	-0,22	-0,413	0,90	0,303	-0,8	0,167	0,683	0,641	0,81	0,88	0,23	-0,437
	DP	1,28	1,713	1,646	1,897	1,83	1,24	2,23	2,8	2,43	1,740	2,015	2,94	0,81	1,68	1,33
	v médio	-0,810	-3,229	0,149	0,38	-0,244	1,52	-1,90	-0,08	1,493	-1,83	0,940	-1,06	1,18	-1,525	-2,32
Precipitação (mm)	DP	2,556	1,603	1,116	1,32	2,428	1,86	2,31	0,96	1,70	3,037	1,39	1,198	1,8	1,88	2,73
	média	1,18	0,07	0	0	0	0,02	0,09	0,03	1,05	0	0,51	1,29	0,08	0,32	0
	DP	5,28	0,10	0	0	0	0,00	0,98	0,00	2,01	0	1,92	3,54	0,15	2,84	0
	máximo	16,72	0,40	0	0	0	0,20	1,79	0,80	6,17	0	4,38	9,95	0,60	6,17	0
	total	28,27	1,60	0	0	0	0,40	2,19	0,80	25,26	0	12,14	30,84	1,80	7,76	0

DP - desvio padrão

### D.3 – Estação de transição

Tabela D5 – Valores diários para o sítio de Floresta na estação de transição.

Variável		Dia														
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Saldo de radiação (W.m <sup>-2</sup> )	média	170	170	158	90	112	125	162	167	163	156	76	191	195	146	183
	DP	272,99	274,08	263,88	172,44	200,69	227,98	256,62	259,16	231,34	241,55	137,7	273,27	287,50	225,69	268,56
	máximo	810	759	755	599	642	846	754	728	617	704	357	757	751	635	714
	mínimo	-37	-37	-43	-37	-37	-37	-23	-31	-29	-37	-37	-37	-37	-34	-37
Temperatura do ar (°C)	média	28,24	28,50	28,81	28,87	28,23	28,33	28,48	28,93	30,12	29,86	29,14	30,41	30,44	30,81	29,80
	DP	2,54	2,78	4,02	2,16	2,73	2,29	3,02	3,50	3,60	3,02	1,77	3,58	3,99	3,03	3,52
	máximo	33,27	34,08	34,88	33,21	33,14	33,90	34,90	35,08	35,89	34,57	31,67	36,17	36,99	36,08	34,95
	mínimo	25,94	25,11	24,26	25,77	24,84	25,90	25,33	25,61	25,13	25,84	26,11	26,01	25,48	27,02	25,51
Umidade específica (g.kg <sup>-1</sup> )	média	20,68	19,31	19,48	20,74	20,51	21,66	21,41	21,19	20,99	21,26	21,67	21,45	21,03	21,90	20,17
	DP	1,02	1,08	0,83	0,88	0,88	0,71	0,70	0,79	0,98	0,63	0,61	1,41	1,18	0,82	0,80
	máximo	22,36	21,22	21,55	22,39	22,67	22,97	23,08	22,71	22,97	22,87	22,90	23,87	23,34	24,24	22,17
	mínimo	18,20	17,09	17,47	18,80	19,47	20,11	20,18	19,04	18,86	20,36	20,76	18,70	18,79	20,10	19,12
Velocidade do vento (m.s <sup>-1</sup> )	média	1,35	1,86	1,40	2,0	1,37	1,48	1,40	1,15	1,79	1,76	1,76	1,60	1,36	1,52	2,21
	DP	1,24	1,25	0,92	1,13	0,62	0,99	1,33	0,65	0,89	0,88	0,91	1,20	0,77	0,12	1,01
	máximo	4,25	3,94	3,59	5,34	2,64	3,73	6,79	2,8	5,35	3,3	4,40	5,75	3,46	5,53	3,86
	mínimo	0	0	0	0,39	0,12	0,003	0	0	0,19	0,02	0,12	0	0	1,23	0,26
Direção do vento (graus)	média	357,18	186,69	303,59	195,39	31,16	345,29	332,85	205,7	227,53	352,19	318,17	320,94	12,40	316,65	354,37
	u médio	-0,04	-0,11	-0,28	-0,27	0,16	-0,172	-0,38	-0,25	-0,29	-0,21	-0,83	-0,40	0,12	-0,59	-0,17
	DP	1,064	1,102	0,912	1,723	1,01	0,93	1,47	0,782	1,06	0,78	0,73	1,18	0,99	1,317	1,038
	v médio	-0,88	1,02	-0,18	1,002	-0,27	-0,65	-0,75	0,53	0,26	-1,55	-0,93	-0,49	-0,55	-0,63	-1,78
Precipitação (mm)	DP	1,16	1,68	1,38	1,14	1,09	1,37	0,95	0,90	1,68	0,90	1,36	1,50	1,08	1,18	1,29
	média	0,10	0	0	0	0,083	0,33	1,27	0,008	0,1	0	0	0,65	0,0083	0,05	0,025
	DP	0,208	0	0	0	0,25	1,10	3,46	0,029	0,22	0	0	2,02	0,029	0,104	0,085
	máximo	1,0	0	0	0	1,77	7,67	23,8	0,20	1,18	0	0	13,99	0,20	0,590	0,59
	total	2,60	0	0	0	2,00	8,00	30,59	0,20	2,40	0	0	15,61	0,20	1,20	0,60

DP - desvio padrão

Tabela D6 – Valores diários para o sítio de Pastagem na estação de transição.

Variável		Dia														
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Saldo de radiação (W.m <sup>-2</sup> )	média	160,16	141,06	129,10	124,50	101,57	117,42	148,70	173,53	172,24	149,82	95,50	159,72	185,46	162,27	156,53
	DP	256,65	253,23	237,00	224,71	204,42	226,89	246,25	277,43	264,35	239,65	173,04	255,96	281,88	251,7	235,52
	máximo	742,78	793,65	705,28	709,63	589,29	673,48	708,91	718,93	715,27	719,2	506,01	702,64	766,58	688,53	756,31
	mínimo	-37,20	-39,03	-61,86	-43,85	-34,91	-38,24	-38,41	-37,49	-48,40	-34,79	-39,38	-36,11	-35,08	-39,59	-62,59
Temperatura do ar (°C)	média	26,44	26,40	25,60	25,47	25,42	25,73	26,52	26,79	27,95	27,38	26,56	27,51	28,52	28,8	28,11
	DP	4,13	4,68	4,71	3,77	3,47	4,11	5,11	4,57	4,12	4,30	3,27	5,25	5,07	4,84	4,07
	máximo	33,06	34,48	34,03	33,84	33,62	33,65	35,57	34,69	34,6	34,20	31,95	35,70	36,20	36,68	35,34
	mínimo	22,32	20,42	20,42	21,93	22,37	21,46	21,58	22,14	23,17	22,45	22,37	21,55	20	23,47	22,92
Umidade específica (g.kg <sup>-1</sup> )	média	17,24	16,50	16,26	17,37	17,51	17,87	17,68	17,67	17,85	17,74	17,70	17,57	17,77	18,23	17,26
	DP	0,90	0,87	0,79	0,97	0,65	1,33	1,33	0,90	0,62	0,99	0,54	1,08	0,69	0,70	0,68
	máximo	19,01	18,52	17,46	19,2	18,92	19,87	20,21	19,56	19,05	19,90	18,62	20,03	19,35	19,64	18,76
	mínimo	16,29	14,85	14,84	16,08	16,21	15,85	15,88	16,36	16,71	16,46	16,51	15,94	16,52	16,93	15,41
Velocidade do vento (m.s <sup>-1</sup> )	média	1,64	1,1	1,29	0,91	0,67	0,95	1,32	1,02	1,09	1,12	1,24	1,01	0,92	1,05	2,04
	DP	1,2	1,20	1,24	0,83	0,77	1,007	1,56	0,86	0,70	0,92	0,76	1,04	0,92	0,97	0,95
	máximo	3,8	4,14	5,94	3,26	4,24	5,31	8,73	2,84	2,41	4,33	2,73	3,28	3,13	4,2	3,66
	mínimo	0,003	0,0075	0,002	0	0	0,003	0	0	0,05	0	0,02	0	0	0	0,13
Direção do vento (graus)	média	42,62	225,44	183,99	209,56	154,35	99,088	270,37	211,50	216,82	14,534	327,32	220,60	77,71	40,92	29,88
	u médio	0,33	-0,58	-0,023	-0,25	0,13	0,129	-0,551	-0,36	-0,377	0,04	-0,075	-0,16	0,245	0,08	0,507
	DP	1,26	1,26	1,052	0,907	0,801	1,039	1,658	0,97	0,978	0,93	1,206	1,145	0,94	1,11	1,485
	v médio	-0,36	0,57	0,33	0,45	0,27	0,020	-0,003	0,602	0,504	-0,15	-0,118	0,197	-0,05	-0,09	-0,883
Precipitação (mm)	média	0,033	0	1,308	2	1,36	1,88	1,69	0,5	0,012	0,0083	0	0	0	0	0
	DP	0,01	0	0,168	0,83	0,44	0,44	0,76	0,21	0,004	0,0052	0	0	0	0	0
	máximo	0,4	0	2,4	31,4	16,6	16,2	29	11,6	0,1	0,2	0	0	0	0	0
	total	0,8	0	31,4	48	32,8	45,2	40,6	12	0,3	0,2	0	0	0	0	0

DP - desvio padrão

## APÊNDICE E

### JATOS DE BAIXOS NÍVEIS (JBNS)

Os Jatos de Baixos Níveis (JBNS) foram definidos por Bonner (1966) como sendo uma corrente de movimento de ar rápido com velocidades médias de 10 a 20m.s<sup>-1</sup> localizada geralmente na altura entre 100 e 2000 metros, mas pode ser observado também em alturas maiores dentro da Camada Limite Atmosférica (CLA).

Os JBNS podem ser gerados por diversos mecanismos físicos:

- ✓ Oscilação inercial pela qual passa a componente ageostrófica do vento, no final da tarde, levando o vento a supergeostrófico (BLACKADAR, 1957).
- ✓ Baroclinidade superficial que ocorre devido a contrastes térmicos entre superfícies diferenciadas, solo seco e úmido, brisa vale-montanha, diferenças na cobertura vegetal como floresta e pastagem, etc.
- ✓ Ventos associados com resfriamento radiativo da superfície sobre terreno inclinado, e também, a geração de gradientes de pressão em mesoescala em resposta ao aquecimento horizontal sobre um terreno inclinado ou não uniforme (STULL, 1988).
- ✓ Variações na escala sinótica do vento geostrófico.

Bonner (1968) realizou uma climatologia de JBNS, baseado em dados de vento e umidade específica, utilizando-se de dois conjuntos de dados dos anos de 1959 e 1960. Obteve como resultado que a maior frequência de JBN foi encontrada na altura de 1500m acima da superfície. Para verificar a ocorrência de JBN foram utilizados os critérios propostos por Bonner (1968) e por Whiteman et al., (1997).

Foram encontrados sete JBNS para o período estudado. Eles ocorreram tanto na floresta (3 casos) quanto na pastagem (4 casos) e suas características estão apresentadas na Tabela E1. Embora as sondagens estudadas apresentem altas velocidades de vento, alguns dias que apresentaram ventos fortes, foram descartados pela falta de um dos critérios para classificá-los como ocorrência de um JBN.

Tabela E1 – Jatos de Baixos Níveis - JBNs

Estação seca							
Sítio	Tipo	Data	Hora	Intensidade (m.s <sup>-1</sup> )	Altura (m)	Direção (graus)	VT (m.s <sup>-1</sup> )
Floresta	1	18	23	12,1	568	E	9,5
Floresta	0	20	05	10,4	1691	NE	5,8
Pastagem	0	16	05	10,5	293	SE	7,4
Estação chuvosa							
Sítio	Tipo	Data	Hora	Intensidade (m.s <sup>-1</sup> )	Altura (m)	Direção (graus)	VT (m.s <sup>-1</sup> )
Floresta	0	8	05	10,6	1497	NE	5,3
Pastagem	0	7	02	10	646,9	N	7,5
Pastagem	0	18	20	11,3	358,5	E	6,6
Estação de transição							
Sítio	Tipo	Data	Hora	Intensidade (m.s <sup>-1</sup> )	Altura (m)	Direção (graus)	VT (m.s <sup>-1</sup> )
Pastagem	1	29	02	14,3	710	N	8,0

VT = (velocidade máxima - velocidade em 3000m)

Para exemplificar um JBN e compreender melhor a estrutura da CLA e fenômenos que a modificam, analisaram-se dois perfis de CLA noturna para casos de ocorrência de JBNs. Os dias escolhidos foram os dias que apresentaram JBNs do tipo 1: 18 de agosto de 1994 no sítio floresta (estação seca) e dia 29 de outubro de 2002 no sítio pastagem (estação de transição).

Na figura E1a pode-se verificar a existência do JBN1 na floresta através do perfil de vento as 23 HL. O JBN apresenta-se bem configurado entre a superfície e a altura de 1507m, com um núcleo máximo principal de 12,1m.s<sup>-1</sup> na altura de 586m. É verificado também um segundo núcleo de vento forte de 11,6m.s<sup>-1</sup> na altura de 834m. Acima do JBN o perfil de vento apresenta-se menor que a média observada das 23 HL. O número de Richardson Bulk é mostrado na Figura E1b e observa-se que  $R_b$  varia entre (-0,7 e 0,92), cujo perfil mostra turbulência fraca em baixos níveis (núcleo do jato). Através do perfil de temperatura potencial virtual (Figura E1c) nota-se que a atmosfera em toda a sua extensão apresentava-se levemente mais fria que a média das 23 HL. Na Figura E1d visualiza-se o perfil de umidade específica e observa-se que em baixos níveis a umidade oscila em torno da média, estando a atmosfera mais seca acima do núcleo de vento máximo. Oliveira e Fitzjarrald (1993) encontraram

próximo a cidade de Manaus a formação de Jatos Noturnos de Baixos Níveis e associaram a ocorrência deste a sistemas de brisa fluvial.

A estrutura vertical da CLN na presença de um JBN sobre a pastagem pode ser verificada na Figura E2a, onde o perfil de vento apresenta um núcleo de vento máximo de  $14,3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  na altura de 710m. O JBN é bem configurado e pode ser visualizado desde a superfície até 1800m. Obtiveram-se valores do número de Richardson Bulk variando entre -0,9 e 0,72 no núcleo do jato (Figura E2b), o que demonstra a presença de turbulência fraca. O perfil de temperatura potencial virtual (Figura E2c) mostra-se claramente inferior à média das 02 HL em toda a extensão do JBN. Na figura E2d observa-se o perfil de umidade específica e nota-se que ela é menor ou oscila muito próximo da média da estação de transição.

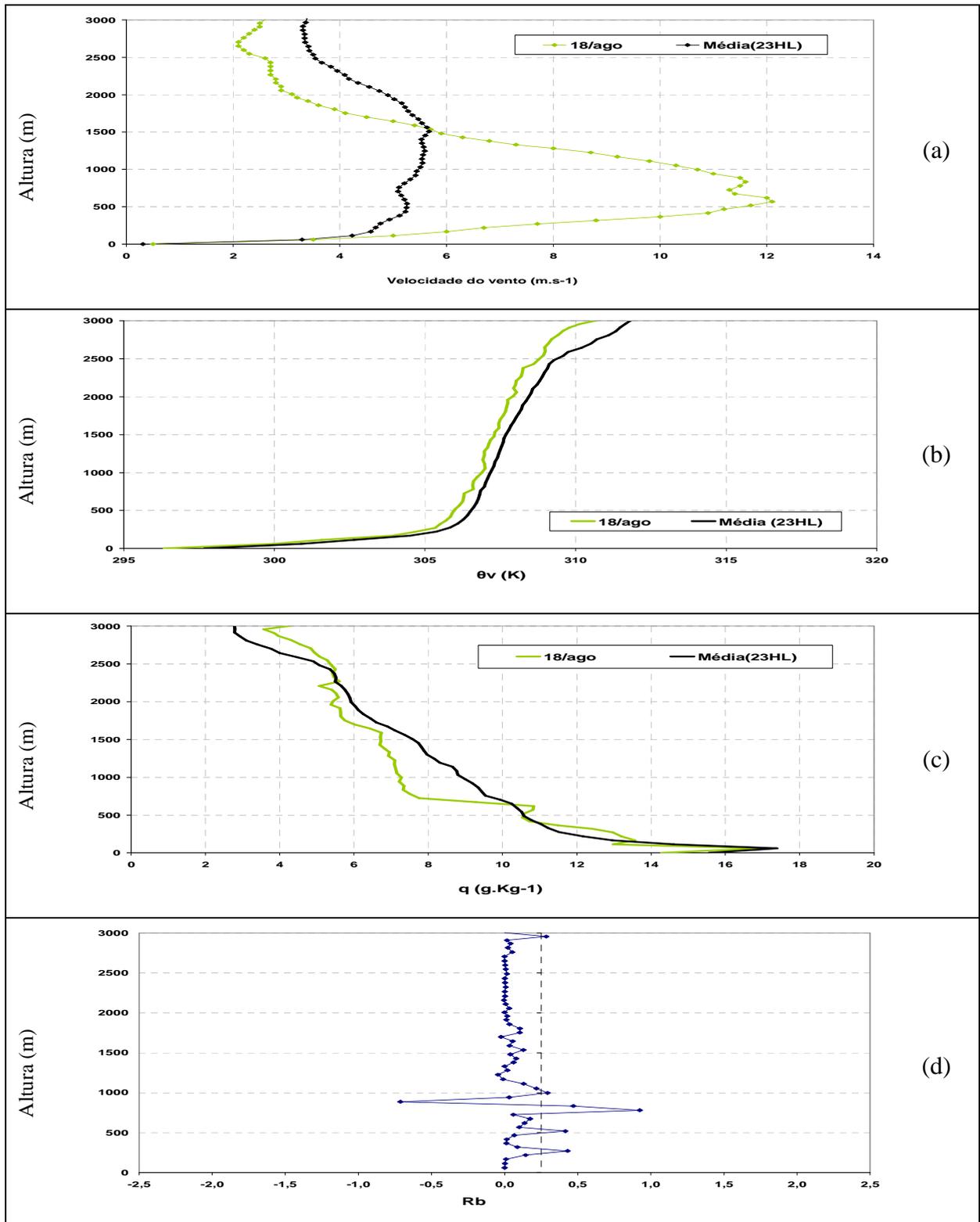


Figura E1 – Velocidade do vento (a), temperatura potencial virtual (b), umidade específica (c) e número de Richardson Bulk (d), para o dia 18 de agosto de 1994 na floresta. A linha pontilhada na vertical em (d) representa o valor de  $R_i$  crítico ( $R_c$ ).

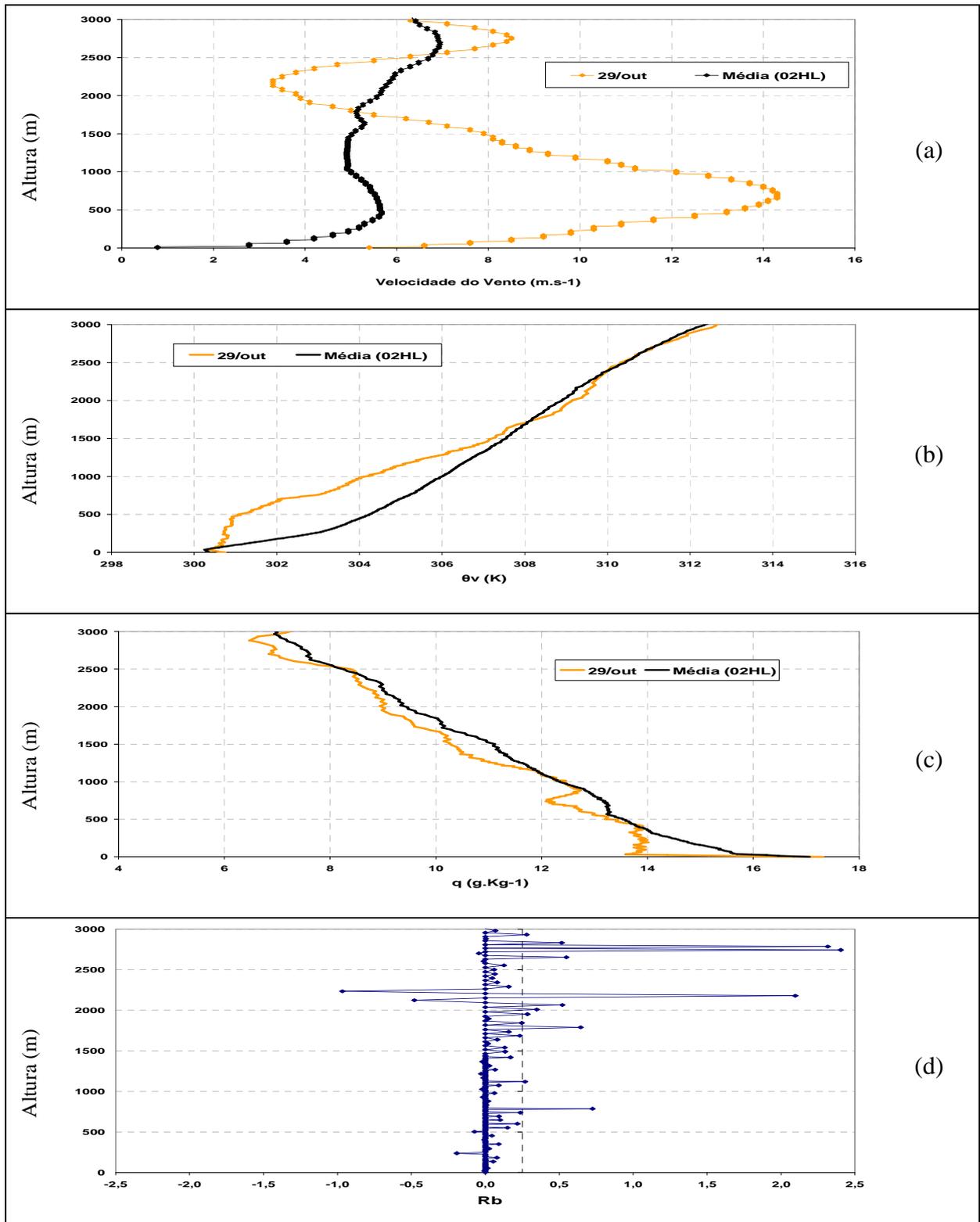


Figura E2 – Velocidade do vento (a), temperatura potencial virtual (b), umidade específica (c) e número de Richardson Bulk (d), para o dia 29 de outubro de 2002 na pastagem. A linha pontilhada na vertical em (d) representa o valor de  $Ri$  crítico ( $R_c$ ).