

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

***A SUBSTITUIÇÃO DA FLORESTA AMAZÔNICA POR PASTAGEM E
SUA REPERCUSSÃO AO NÍVEL DA TERMODINÂMICA DA CAMADA
LIMITE ATMOSFÉRICA: PROJETO RBLE***

Solange Silva de Souza

Campina Grande - PB
Janeiro de 1997

Solange Silva de Souza

***A SUBSTITUIÇÃO DA FLORESTA AMAZÔNICA POR PASTAGEM E
SUA REPERCUSSÃO AO NÍVEL DA TERMODINÂMICA DA CAMADA
LIMITE ATMOSFÉRICA: PROJETO RBLE***

Dissertação apresentada ao Curso de
MESTRADO EM METEOROLOGIA da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para a obtenção
do grau de Mestre.

Área de concentração: Micrometeorologia

Orientador: Pedro Vieira de Azevedo
Universidade Federal da Paraíba

Co-Orientador: Roberto Fernando da Fonseca Lyra
Universidade Federal de Alagoas

Campina Grande - PB
Janeiro de 1997



S729s

Souza, Solange Silva de.

A substituição da floresta amazônica por pastagem e sua repercussão ao nível da termodinâmica da camada limite atmosférica : projeto RBLE / Solange Silva de Souza. - Campina Grande, 1997.

110 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

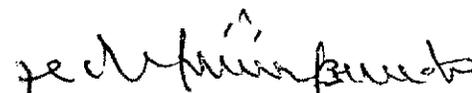
1. Camada Limite Atmosférica. 2. Meteorologia Dinâmica. 3. Florestas. 4. Dissertação - Meteorologia. I. Azevedo, Pedro Vieira de. II. Lyra, Roberto Fernando da Fonseca. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 551.51(043)

A SUBSTITUIÇÃO DA FLORESTA AMAZÔNICA POR PASTAGEM E SUA
REPERCUSSÃO AO NÍVEL DA TERMODINÂMICA DA CAMADA LIMITE
ATMOSFÉRICA:
PROJETO RBLE

SOLANGE SILVA DE SOUZA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 31/01/97


PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Orientador


ROBERTO FERNANDO DA FONSECA LYRA
Co-Orientador


MÁRIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO
Membro


MALAQUIAS DA SILVA AMORIM NETO
Membro

CAMPINA GRANDE
JANEIRO - 1997

...

ainda estou confuso,
só que agora é diferente

...

(Renato Russo)

A José de Lima Filho,

Ofereço

Aos meus pais, Jarmelino Jorge e Selma,

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Coordenação do Curso de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal da Paraíba, pelo apoio e incentivo dados aos alunos do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de estudo distribuída à coordenação.

Ao Prof. Pedro Vieira de Azevedo, que no decorrer de sua função de coordenador, muito se empenhou para o bom desenvolvimento do curso e pela sua especial participação neste trabalho.

Ao Prof. Roberto Fernando da Fonseca Lyra, pelo seu empenho, dedicação, competência, e acima de tudo pela paciência no encaminhamento deste trabalho, no qual foi sem dúvida imprescindível para a sua realização.

Ao corpo docente do Curso de Mestrado da Universidade Federal da Paraíba, pela sua fundamental contribuição ao andamento do curso, em particular aos Profs. Bernardo Barbosa da Silva, José Oribe Rocha de Aragão e Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão nas sugestões e atenção dispensadas.

A todo o corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas, em particular ao Prof. Manoel Ferreira do Nascimento Filho que forneceu uma excelente infra-estrutura para o desenvolvimento deste trabalho.

A equipe do Projeto RBLE e ABRACOS, em especial aos coordenadores Dr. Carlos Nobre e Dr. Gilberto Fisch, na concessão dos dados experimentais e disponibilidade para o andamento do trabalho.

À Divanete Cruz Rocha, pelo eficiente trabalho desenvolvido a frente da secretaria do curso.

Aos meus irmãos e amigos, manifesto toda a minha gratidão, respeito e consideração, que nos muitos momentos difíceis me deram forças para concluí-lo.

LISTA DE FIGURAS

p.

- 3.1 - Localização das regiões de Floresta e Pastagem, a Leste de Rondônia (a). No detalhe (b) fotografia do LANDSAT.22
- 4.1 - Variação média diurna dos principais componentes do Balanço de Radiação na Floresta durante o RBLE2 (3-6 e 9-10/07/93). ...40
- 4.2 - Variação média diurna dos principais componentes do Balanço de Radiação na Pastagem durante o RBLE2 (18 a 25/07/93).42
- 4.3 - Balanço de Energia na Floresta durante o RBLE2 (3-6 e 9-10/07/93).....43
- 4.4 - Variação média diurna da Razão de Bowen (β) para a Floresta durante o RBLE2 (3-6 e 9-10/07/93).44
- 4.5 - Balanço de Energia na Pastagem durante o RBLE2 (18 a 25/07/93).....46
- 4.6 - Variação média diurna da Razão de Bowen (β) para a Pastagem durante o RBLE2 (18 a 25/07/93).47
- 4.7 - Comparação do albedo (α) na Floresta e Pastagem durante o RBLE2.....48
- 4.8 - Comparação da Razão de Bowen (β) na Floresta e Pastagem durante o RBLE249

4.9 -	Evolução Temporal da Altura Média da CLA durante o RBLE2, para os dois sítios experimentais.	50
4.10 -	Evolução Temporal da Temperatura Potencial Média na CLA durante o RBLE2, para os dois sítios experimentais.	52
4.11 -	Evolução Temporal da Velocidade Média do Vento na CLA durante o RBLE2, para os dois sítios experimentais.	54
4.12-	Evolução Temporal do Gradiente Vertical Médio de Temperatura Potencial Virtual na CLA durante o RBLE2, para os dois sítios experimentais.	55
4.13-	Evolução Temporal da Umidade Específica Média na CLA durante o RBLE2, para os dois sítios experimentais.	57
4.14-	Varição média diurna dos principais componentes do Balanço de Radiação na Floresta durante o RBLE3 (14 - 25/08/94).	60
4.15 -	Varição média diurna dos principais componentes do Balanço de Radiação na Pastagem durante o RBLE3 (14 - 25/08/94).	62
4.16 -	Varição média diurna da Radiação Solar Incidente para a Floresta e a Pastagem, durante o RBLE3 (14-25/08/94).	63
4.17 -	Balanço de Energia na Floresta durante o RBLE3 (14 - 25/08/94).	64
4.18 -	Varição média diurna da Razão de Bowen (β) para a Floresta durante o RBLE3 (14 - 25/08/94).	65

4.19 -	Balanço de Energia na Pastagem durante o RBLE3 (14 - 25/08/94).....	67
4.20 -	Variação média diurna da Razão de Bowen (β) para a Pastagem durante o RBLE3 (14 - 25/08/94).....	68
4.21 -	Comparação do albedo (α) na Floresta e Pastagem durante o RBLE3 (14 - 25/08/94).	69
4.22 -	Comparação da Razão de Bowen (β) na Floresta e Pastagem durante o RBLE3 (14 - 25/08/94).....	70
4.23 -	Evolução Temporal da Altura Média da CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.	71
4.24 -	Evolução Temporal Diária da Temperatura Potencial Média na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.....	73
4.25 -	Evolução Temporal da Temperatura Potencial Média na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.	74
4.26 -	Evolução Temporal Diária da Velocidade do Vento na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.	75
4.27 -	Evolução Temporal da Velocidade Média do Vento na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.	77
4.28 -	Evolução Temporal Diária do Gradiente Vertical Médio de Temperatura Potencial Virtual na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.	78

4.29 -	Evolução Temporal do Gradiente Vertical Médio de Temperatura Potencial Virtual na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.	79
4.30 -	Evolução Temporal Diária do Número de Richardson Médio na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.....	81
4.31 -	Evolução Temporal do Número de Richardson Médio na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.	82
4.32 -	Evolução Temporal Diária da Umidade Específica Média na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.....	84
4.33 -	Evolução Temporal da Umidade Específica Média na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.	85

LISTA DE TABELAS

P.

- 4.1 Razão entre os principais parâmetros médios à superfície na Pastagem e na Floresta durante o dia: Comparação RBLE2/RBLE3. Os subscritos P e F indicam Pastagem e Floresta, respectivamente.87
- 4.2 Diferença (CLA/Pastagem - CLA/Floresta): altura média da CLA (Z_i), altura máxima ($Z_{iMÁX}$), altura mínima ($Z_{iMÍN}$), temperatura potencial ($\bar{\theta}$), umidade específica (\bar{q}), velocidade do vento (\bar{V}), gradiente vertical de temperatura potencial virtual ($\bar{V}, \bar{\theta}_v$) - comparação RBLE2 e RBLE3.87
- A.1a Altura da CLA (Z_i), em metros, durante o RBLE2 na Floresta. (--) indica insuficiência de dados99
- A.1b Altura da CLA (Z_i), em metros, durante o RBLE2 na Pastagem. (--) indica insuficiência de dados99
- A.2a Temperatura Potencial Média na CLA ($\bar{\theta}$), em Kelvin, durante o RBLE2 na Floresta. (--) indica insuficiência de dados 100
- A.2b Temperatura Potencial Média na CLA ($\bar{\theta}$), em Kelvin, durante o RBLE2 na Pastagem. (--) indica insuficiência de dados 100

A.3a	Velocidade Média do Vento na CLA (\bar{V}), em metros por segundo, durante o RBLE2 na Floresta. (--) indica insuficiência de dados	101
A.3b	Velocidade Média do Vento na CLA (\bar{V}), em metros por segundo, durante o RBLE2 na Pastagem. (--) indica insuficiência de dados	101
A.4a	Gradiente Vertical Médio de Temperatura Potencial Média na CLA ($\overline{\nabla_v \theta_v}$), em Kelvin por quilômetro, durante o RBLE2 na Floresta. (--) indica insuficiência de dados	102
A.4b	Gradiente Vertical Médio de Temperatura Potencial Média na CLA ($\overline{\nabla_v \theta_v}$), em Kelvin por quilômetro, durante o RBLE2 na Pastagem. (--) indica insuficiência de dados	102
A.5a	Umidade Específica Média na CLA (\bar{q}), em gramas por quilograma, durante o RBLE2 na Floresta. (--) indica insuficiência de dados	103
A.5b	Umidade Específica Média na CLA (\bar{q}), em grama por quilograma, durante o RBLE2 na Pastagem. (--) indica insuficiência de dados	103
B.1a	Altura da CLA (Z_i), em metros, durante o RBLE3 na Floresta. (--) indica insuficiência de dados.....	105

B.1b	Altura da CLA (Z_i), em metros, durante o RBLE3 na Pastagem. (--) indica insuficiência de dados.....	105
B.2a	Temperatura Potencial Média na CLA ($\bar{\theta}$), em Kelvin, durante o RBLE3 na Floresta. (--) indica insuficiência de dados	106
B.2b	Temperatura Potencial Média na CLA ($\bar{\theta}$), em Kelvin, , durante o RBLE3 na Pastagem. (--) indica insuficiência de dados	106
B.3a	Velocidade Média do Vento na CLA (\bar{V}), em metros por segundo, durante o RBLE3 na Floresta. (--) indica insuficiência de dados	107
B.3b	Velocidade Média do Vento na CLA (\bar{V}), em metros por segundo, durante o RBLE3 na Pastagem. (--) indica insuficiência de dados	107
B.4a	Gradiente Vertical Médio de Temperatura Potencial Média na CLA ($\overline{\nabla_v \theta_v}$), em Kelvin por quilômetro, durante o RBLE3 na Floresta. (--) indica insuficiência de dados	108
B.4b	Gradiente Vertical Médio de Temperatura Potencial Média na CLA ($\overline{\nabla_v \theta_v}$), em Kelvin por quilômetro, durante o RBLE3 na Pastagem. (--) indica insuficiência de dados	108
B.5a	Número de Richardson Médio na CLA (\overline{Ri}) durante o RBLE3 na Floresta. (--) indica insuficiência de dados	109

B.5b	Número de Richardson Médio na CLA (\overline{Rb}) durante o RBLE3 na Pastagem. (--) indica insuficiência de dados 109
B.6a	Umidade Específica Média na CLA (\overline{q}), em gramas por quilograma, durante o RBLE3 na Floresta. (--) indica insuficiência de dados. 110
B.6b	Umidade Específica Média na CLA (\overline{q}), em gramas por quilograma, durante o RBLE3 na Pastagem. (--) indica insuficiência de dados. 110

LISTA DE SÍMBOLOS

LATINOS

a	Direção do vento	Graus
A, B e C	Constantes de parametrização estabelecidas a partir do ajustamento da curva média de He e LEe.	$W.m^{-2}$
ALT.	Altitude	°
b	Constante adimensional para a determinação de h_N (10,0)	
C	Constante empírica (0,25)	
D	Altura do plano zero	m
f	Parâmetro de Coriolis	s^{-1}
g	Aceleração da gravidade	$m.s^{-2}$
G	Fluxo de calor conduzido ao solo	$W.m^{-2}$
H	Fluxo turbulento de calor sensível	$W.m^{-2}$
He	Fluxo turbulento de calor sensível estimado a partir de regressão polinomial	$W.m^{-2}$
Hi	Fluxo turbulento de calor sensível obtido através de interpolação linear	$W.m^{-2}$
h_E	Profundidade da camada de Ekman	m
h_N	Altura da CLN a partir da Frequência Brunt-Väisälä	m
k	Constante adimensional de Von Karman (0,4)	
K_m	Coefficiente de troca para o momentum	$m^2.s^{-1}$
L	Comprimento de Monin-Obukhov	m
LAT.	Latitude	°
Ld	Radiação difusa de ondas longas emitida para baixo	$W.m^{-2}$
LE	Fluxo turbulento de calor latente	$W.m^{-2}$

LEe	Fluxo turbulento de calor latente estimado a partir de regressão polinomial	$W.m^{-2}$
LEi	Fluxo turbulento de calor latente obtido através de interpolação linear	$W.m^{-2}$
Lo	Radiação de ondas longas - infravermelho - emitida para cima	$W.m^{-2}$
LONG.	Longitude	°
N	Frequência Brunt-Väisälä	s^{-1}
Q	Fluxo de calor no nível z	$K.m.s^{-1}$
\bar{q}	Umidade específica média na CLA	$g.kg^{-1}$
q	Umidade específica	$g.kg^{-1}$
Q _o	Fluxo de calor à superfície	$K.m.s^{-1}$
R	Coefficiente de correlação	$W.m^{-2}$
\bar{R}_b	Número de Richardson médio na CLA (adimensional)	
R _b	Número de Richardson (adimensional)	
R _c	Constante do número crítico de Richardson (0,25)	
R _g	Radiação solar global incidente	$W.m^{-2}$
R _n	Saldo de radiação	$W.m^{-2}$
R _r	Radiação solar refletida	$W.m^{-2}$
R _r	Constante do número crítico de Richardson (1,0)	
S	Fluxo de calor na biomassa	$W.m^{-2}$
T	Temperatura do ar	°C
T _•	Escala da temperatura na CS	K
T _f	Escala de temperatura na CCL	K
u	Componente zonal do vento	$m.s^{-1}$
\bar{u}	Média da componente zonal do vento na CLA	$m.s^{-1}$
u _•	Velocidade de fricção e escala de velocidade na CS	$m.s^{-1}$

u_f	Escala da velocidade na CCL	$m.s^{-1}$
v	Componente meridional do vento	$m.s^{-1}$
V	Velocidade do vento	$m.s^{-1}$
\bar{v}	Média da componente meridional do vento na CLA	$m.s^{-1}$
\bar{V}	Velocidade média do vento na CLA	$m.s^{-1}$
w_s	Escala de velocidade na CM	$m.s^{-1}$
\bar{X}	Parâmetro médio na CLA	
X	Parâmetro na CLA, e Hora Local na determinação de He e LEE.	
Y	Representa o fluxo estimado He ou LEE	$W.m^{-2}$
z	Nível acima da superfície	m
z_h	Altura da CLA considerando o balanço geostrófico	m
Z_i	Altura da CLA	m
Z_o	Comprimento de rugosidade	m

GREGOS

α	Albedo da superfície (adimensional)	
β	Razão de Bowen (adimensional)	
β_e	Razão de Bowen (adimensional) obtida por He e LEE	
β_i	Razão de Bowen (adimensional) obtida por Hi e LEI	
ΔF	Termo do balanço de energia, representando fonte menos sumidouro	$W.m^{-2}$
$\Delta\theta_v/\Delta z$	Gradiente vertical da temperatura potencial virtual entre dois níveis consecutivos	$K.m^{-1}$
$\Delta U/\Delta z$	Gradiente vertical da componente zonal da velocidade do vento médio entre dois níveis consecutivos	$m.s^{-1}$

$\Delta V/\Delta z$	Gradiente vertical da componente meridional da velocidade do vento médio entre dois níveis consecutivos	$m.s^{-1}$
ϕ	Latitude correspondente ao parâmetro f	radianos
Λ	Escala de comprimento local de Monin-Obukhov	m
$\nabla_v \theta_v$	Gradiente vertical da temperatura potencial virtual entre dois níveis consecutivos	$K.km^{-1}$
$\overline{\nabla_v \theta_v}$	Gradiente vertical médio da temperatura potencial virtual na CLA	$K.km^{-1}$
θ	Temperatura potencial	K
$\bar{\theta}$	Temperatura potencial média na CLA	K
θ_v	Temperatura potencial virtual	K
$\bar{\theta}_v$	Temperatura potencial virtual média na CLA	K
$\bar{\theta}_{vm}$	Valor médio da temperatura potencial virtual entre dois níveis consecutivos	K
θ_*	Escala de temperatura na CM	K
σ	Desvio padrão	$W.m^{-2}$
$\sigma_{A,B \text{ e } C}$	Desvio padrão das constantes de parametrização A, B e C, respectivamente	$W.m^{-2}$
τ	Fluxos de momentum no nível z	$kg.m^{-1}.s^{-2}$
τ_0	Tensão de cisalhamento à superfície	$kg.m^{-1}.s^{-2}$
Ω	Taxa de rotação da terra	$radianos.s^{-1}$

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABLE	Atmospheric Boundary Layer Experiment
ABRACOS	Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study
ADAS	Atmospheric Data Acquisition System
ATILA	Action des Terpènes et des Isoprènes dans L'Atmosphère
BC	Balão Cativo
BLX83	Boundary Layer Experiment 1983
CCL	Camada de Convecção Livre
CDB	Climate Diagnostics Bulletin
CEPLAC	Comissão Executiva do Plano da Lavoura e do Cacau
CLA	Camada Limite Atmosférica
CLC	Camada Limite Convectiva
CLN	Camada Limite Noturna
CLS, CS	Camada Limite Superficial
CM	Camada de Mistura
CR	Camada Residual
CS _N	Camada Superficial da CLN
DECAFE	Dynamic et Chimie de l'Atmosphère en Forêt Equatoriale
EMA	Estação Meteorológica Automática
HAPEX	Hydrologic Atmospheric Pilot Experiment
HL	Hora Local
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT	Land Satellite
LBA	Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia
LIDAR	Light Detection and Ranging
LTER	Long Term Ecological Research

MCGA	Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
MOBILHY	Modelizatio du Bilan Hydrique
RADAR	Radio Detection and Ranging
RASS	Radar Acoustic Sounding System
RBLE	Rondonia Boundary Layer Experiment
REBIO	Reserva Biológica
ROL	Radiação de Ondas Longas
ROSEII	Rural Oxidants in the Southern Enverionment II
RS	Radiossonda
SiBs	Simple Biosphere
SNR	Sinal-barulho
SODAR	Sound Detection and Ranging
SORP-ONA	Southern Oxidants Research Program on Ozone Non-Attainment
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZE	Zona de Entranhamento

RESUMO

Foi realizado um estudo das possíveis implicações da substituição da floresta amazônica por pastagem no Estado de Rondônia, com relação aos processos termodinâmicos que governam a Camada Limite Atmosférica (CLA). Para tal, foram comparados diversos parâmetros importantes no desenvolvimento da CLA. A comparação foi feita com base nos resultados de duas campanhas de coleta de dados, ambas na estação seca, do projeto RBLE "Rondonia Boundary Layer Experiment": RBLE2 (julho de 1993) e RBLE3 (agosto de 1994). Nestas duas campanhas foram realizadas medidas (perfis verticais) de Temperatura, Pressão, Umidade, e Vento (**a** e **V**) com o auxílio de Radiossondas e Balões Cativos, bem como medidas em superfície. Os dois sítios experimentais são: FLORESTA (10°05'S, 61°55'W, 120m) e PASTAGEM (10°45'S, 62°22'W, 220m), separados por uma distância entre eles de aproximadamente 100km. Nestes mesmos sítios estavam instaladas as estações automáticas do projeto ABRACOS "Anglo-Brasilian Amazonian Climate Observation Study" cujos dados foram de vital importância para estabelecer as condições de contorno: balanço radiativo e de energia à superfície. Os resultados evidenciaram importantes diferenças/mudanças entre as CLAs sobre os dois tipos de vegetação. Na área desmatada (pastagem), durante o dia, a CLA é 2,7K mais quente e $3,0\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ mais seca, a sua espessura chega a ser 1000m superior e a turbulência mais intensa. Durante a noite a diferença de temperatura se mantém praticamente a mesma (2,2K) e a diferença de umidade passa a ser o dobro daquela registrada durante o dia. Por outro lado, a CLA na Pastagem durante à noite é menos espessa cerca de 30% e mais estável.

ABSTRACT

In this work, the possible implications of the substitution of the Amazonia Forest cover by pasture in Rondonia State were analysed with emphasis on the thermodynamics processes that command the Atmospheric Boundary Layer (ABL). A few important parameters in the development of the ABL were considered. The comparison was based on the results of two experimental campaigns, both in the dry season, of the RBLE project ("Rondonia Boundary Layer Experiment"): RBLE2 (July 1993) and RBLE3 (August 1994). During these campaigns, vertical profiles of temperature, pressure, moisture and wind (α and V), using radiosonde, tethered balloon and surface monitoring equipments were taken. The two experimental sites are: Forest (LAT. $10^{\circ}05'S$; LONG. $61^{\circ}55'W$; ALT. 120m) and Grassland (LAT. $10^{\circ}45'S$; LONG. $62^{\circ}22'W$; ALT. 220m), with a distance of 100km from each other. Existing automatic stations of the ABRACOS project ("Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study") provided important data for establishing the lower boundary conditions: surface radiation and energy balances. The results showed important difference/exchange between ABLs over the two types of vegetation covers. In the deforested area (grassland), at daytime, the ABL was 2.7K warmer and $3.0\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ drier, and its height was 1000m higher and turbulence stronger. At night-time, the temperature difference remained practically constant (2.2K) and the moisture difference was double compared to the daytime. On the other hand, the Forest ABL was 30% thicker and more unstable, at night-time.

SUMÁRIO

p.

<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	4
2.1 - Características Gerais da Camada Limite Atmosférica	4
2.2 - Camada Limite Atmosférica sobre superfícies com vegetação de pequeno porte	9
2.3 - Camada Limite Atmosférica sobre florestas	13
2.4 - Determinação da espessura da Camada Limite Atmosférica	16
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS</u>	20
3.1 - Características da área experimental	20
3.1.1 - Climatologia da região	20
3.1.2 - Localização dos sítios experimentais	21
3.2 - Dados utilizados e descrição dos instrumentos	23
3.3- Metodologia Adotada	27
3.3.1 - Parâmetros à superfície	27
3.3.1.1 - Consistência dos termos radiativos	28
3.3.1.2 - Consistência balanço de energia à superfície	29
3.3.2 - Determinação da Camada Limite Atmosférica	33
3.3.3 - Cálculo das quantidades médias no interior da Camada Limite Atmosférica	34
3.3.4 - Número de Richardson	35
<u>CAPÍTULO 4- RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	37
4.1 - Experimento RBLE2	37
4.1.1 - Condições sinóticas sobre a região durante o experimento	37
4.1.2 - Variação dos parâmetros à superfície	38
4.1.2.1 - Componentes do balanço de radiação durante o experimento	39
4.1.2.2 - Balanço de energia à superfície durante o experimento	42
4.1.3 - Evolução da Camada Limite Atmosférica durante o experimento	49
4.1.4 - Variação dos parâmetros médios no interior da CLA	51
4.1.4.1 - Temperatura potencial	51
4.1.4.2 - Velocidade do vento	53
4.1.4.3 - Gradiente da temperatura potencial virtual	54
4.1.4.4 - Umidade específica	56

4.2 - Experimento RBLE3	57
4.2.1 - Condições sinóticas sobre a região durante o experimento	57
4.2.2 - Variação dos parâmetros à superfície	58
4.2.2.1 - Componentes do balanço de radiação durante o experimento	59
4.2.2.2 - Balanço de energia à superfície durante o experimento	63
4.2.3 - Evolução da Camada Limite Atmosférica durante o experimento	70
4.2.4 - Variação dos parâmetros médios no interior da Camada Limite Atmosférica	72
4.2.4.1 - Temperatura potencial	72
4.2.4.2 - Velocidade do vento	75
4.2.4.3 - Gradiente de temperatura potencial virtual	77
4.2.4.4 - Número de Richardson	80
4.2.4.4 - Umidade específica	83
4.3 - Comparação RBLE2/RBLE3	86
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES</u>	88
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	90
APÊNDICE A - Parâmetros médios no interior da CLA durante o RBLE2.....	98
APÊNDICE B - Parâmetros médios no interior da CLA durante o RBLE3.....	104

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A região Amazônica ($5.032.925\text{km}^2$) é um dos maiores sistemas ecológicos do planeta. Sua extensão e característica (floresta tropical úmida) contribuem fortemente como fonte de calor e vapor d'água para os processos que determinam a Circulação Geral da Atmosfera. Neste sentido, a bacia Amazônica desempenha um papel relevante nos processos hidrometeorológicos e no ciclo biogeoquímico. A partir de duas décadas atrás, o governo brasileiro estabeleceu um programa de ocupação e colonização da região amazônica. Com a chegada do homem, começaram os desmatamentos, as queimadas, a construção de casas e os manejos agrícolas. Como esse processo se fez bastante rápido, conforme indica a extensão do desmatamento, cujos dados mais recentes indicam que a área desmatada até 1991 era de 280.000km^2 , ou seja, uma taxa de desmatamento anual de $21.000\text{km}^2.\text{ano}^{-1}$ durante o período de 1978 à 1989, que decresceu para $11.130\text{km}^2.\text{ano}^{-1}$, durante os anos de 1990-1991 (INPE, 1992). Se este crescimento continua em ritmo acelerado e sem o devido controle da delimitação do espaço territorial, o sistema natural (vegetação) tende a desaparecer.

A modificação na cobertura vegetal provoca alterações no balanço de energia e conseqüentemente, modifica a Camada Limite Atmosférica (CLA). Uma das principais funções da CLA é efetuar as ligações entre os fluxos em superfície da quantidade de movimento, calor sensível e vapor d'água e a baixa troposfera. Com a substituição da vegetação natural por outro tipo de cobertura vegetal, ocorrem desvios neste processo de interação sistema-atmosfera. Garrat (1993) discorreu frisou bem a importância da compreensão da CLA para a representação do clima nos Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs). Além disso, as modificações em larga escala na vegetação podem ter

efeitos no clima regional (André et al., 1988; Monteny & Casenave, 1989; Nobre et al., 1991). O clima é sensível às variações da evapotranspiração e do balanço de energia à superfície. No caso da Amazônia a tendência é a troca permanente da cobertura vegetal (floresta tropical úmida) por vegetação de baixo porte, tal como pastagens e culturas agrícolas.

Os efeitos do desmatamento da floresta amazônica sobre os sistemas atmosféricos, e por conseguinte sobre o clima, podem ser previstos através da utilização dos MCGAs. Os resultados dessas simulações indicam um aumento de temperatura de 2°C, e uma diminuição na evaporação e precipitação de 20%, causando um prolongamento da estação seca (Lean & Warrilow, 1989; Nobre et al., 1991; Shuttleworth et al., 1991; Rowntree, 1991; Henderson-Sellers et al., 1993). Como a resolução espacial-temporal dos MCGAs é grande, as simulações numéricas pressupõem um desmatamento total e imediato da floresta.

Os SiBs (Simple Biosphere) são modelos que trabalham com uma escala de resolução bem menor. Estes ajudam nas parametrizações dos processos de troca de energia na superfície. Shuttleworth et al. (1991) fazem uma descrição detalhada acerca deste tipo de modelo. Na interface dos SiBs e MCGAs estão os modelos de mesoescala, cuja eficiência depende muito da parametrização dos processos à superfície antes e depois do desmatamento (Henderson-Sellers, 1987).

A região amazônica tem sido palco de importantes estudos experimentais cujos dados têm contribuído para a parametrização dos modelos de pequena, meso e grande escalas. Dentre eles, o mais recente e mais importante é o projeto ABRACOS (1990-1995) “Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study” (Shuttleworth et al., 1991), onde as medições foram feitas apenas à superfície. Com o objetivo de se compreender a termodinâmica da baixa

atmosfera criou-se o projeto RBLE "Rondonia Boundary Layer Experiment", onde foram realizadas três campanhas: 1992, 1993 e 1994. Este projeto mantém estreita ligação com o ABRACOS, utilizando inclusive os mesmos sítios experimentais: Floresta e Pastagem. Desta forma, funciona como um prolongamento da escala espacial do ABRACOS.

O presente estudo objetiva avaliar as implicações do desmatamento na Amazônia, Leste de Rondônia, sobre os processos termodinâmicos ao nível da CLA e suas possíveis implicações a meso e larga escalas, tomando como base os dados coletados nos projetos RBLE e ABRACOS.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA

A) Definição da Camada Limite Atmosférica

Do ponto de vista da aerodinâmica, a Camada Limite é simplesmente aquela onde é extraído quantidade de movimento para baixo, a fim de compensar o déficit gerado pela fricção do ar na superfície. Do ponto de vista meteorológico, o escoamento na camada de mistura turbulenta é caracterizado pelas influências das forças de Coriolis, de fricção aerodinâmica e pela estratificação da densidade do ar, que afeta a turbulência pelas forças convectivas. Esses fatores fazem com que haja grande produção de cisalhamento vertical e horizontal nas correntes de ar (Nicolli, 1979). Finalmente, podemos definir a Camada Limite como a porção mais baixa da troposfera, a qual é diretamente influenciada pela presença da superfície, e responde às forçantes da superfície com uma escala de tempo de cerca de uma hora ou menos. Essas forçantes incluem arrasto friccional, evapotranspiração, transferência de calor sensível, emissão de poluentes e modificação do escoamento induzido pela Terra (Stull, 1988).

Durante o dia, como o fluxo de calor à superfície é positivo, a Camada Limite Atmosférica é formada principalmente pelas parcelas de ar quentes, com flutuabilidade "buoyancy" positiva, as quais sobem até atingir seu nível de equilíbrio no topo da Camada Limite. Como a turbulência térmica é o mecanismo dominante, esta camada é freqüentemente chamada de Camada Limite Convectiva (CLC).

A estratificação neutra próximo à superfície geralmente ocorre quando o céu está densamente coberto por nuvens, o vento é moderado ou forte e a diferença de temperatura entre a superfície e o ar imediatamente acima não é muito grande. Nestas circunstâncias a turbulência na CLA é gerada principalmente pelo cisalhamento do vento e não é intensificada ou suprimida pelos efeitos de estabilidade (Sutton, 1953; Van Pul et al., 1994).

Acima da CLC se forma uma camada estável, a qual age como uma "tampa" aos movimentos ascendentes das parcelas de ar, os quais ao elevarem-se adquirem quantidade de movimento e penetram numa pequena parte desta camada superior, denominada camada de inversão ou Zona de Entranhamento (ZE). Esta camada possui características relativamente quente e seca, e portanto tende a aquecer e retirar a umidade da CLC. O surgimento da Camada de Inversão acima da Camada Limite, pode ser decorrente do movimento subsidiente dos anticiclones, que gera camada de inversão de subsidência (Nicolli, 1979).

Na Camada Limite Estável a turbulência é produzida principalmente pelo cisalhamento do vento e é dissipada pela estratificação estável. Como consequência, a temperatura, os poluentes do ar, etc., no interior desta, apresentam gradientes ligeiramente positivos. Esta camada ocorre durante o período noturno, e é mais conhecida como Camada Limite Noturna (CLN). Todavia, semelhantes camadas estáveis podem se formar durante o dia, devido aos fluxos pequenos à superfície e quando há advecção de ar quente. Em latitudes médias, como na Holanda por exemplo, isto ocorre tipicamente em dias nublados com advecção de ar transportado do mar relativamente quente (Van Pul et al., 1994). Se a noite houver nevoeiro, no dia seguinte a inversão de radiação somente será dissipada mais tarde, porque o topo da camada de neblina reflete grande parte da radiação incidente (Nicolli, 1979).

Acima da CLN normalmente se encontra uma camada neutra, causada pela turbulência durante o dia, a qual denomina-se de Camada Residual (CR). Esta camada residual, assim como acima da CLC, é coberta pela Camada de Inversão.

B) Estrutura e parâmetros da Camada Limite Convectiva

A CLC pode ser idealizada como uma estrutura de três camadas, as quais podem ser expressas em termos dos parâmetros que regem a turbulência em cada camada (Kaimal et al., 1976; Holtslag & Nieuwstadt, 1986). Dessa forma, temos:

i) *Camada Superficial da CLC (CS)* - É a camada mais próxima à superfície, onde o cisalhamento do vento desempenha um papel dominante. Na CS pode-se aplicar a teoria da similaridade de Monin-Obukhov e os parâmetros controladores são a altura z , a tensão de cisalhamento à superfície τ_0 , o fluxo de calor à superfície Q_0 e, finalmente, a flutuabilidade "buoyancy" g/T . Esses parâmetros permitem calcular os escalares de velocidade $[u_* = (\tau_0 / \rho)^{1/2}]$ e de temperatura $[T_* = Q_0 / u_*]$.

Os grupos adimensionais formados com u_* e T_* se tornam funções universais de z/L , onde L é o comprimento de Monin-Obukhov $[L = -\tau_0^{3/2} / (k(g/T)Q_0)]$, sendo k é a constante de Von Karman ($k = 0,4$). A camada de cisalhamento é confinada a uma faixa de altura de $z < |L|$. Holtslag & Nieuwstadt (1986) definem a altura da CS como o nível onde $-z/L = 0,5$.

ii) *Camada de Convecção Livre (CCL)* - Acima da CS, τ_0 não é mais importante e a turbulência é dirigida principalmente pela componente térmica. Os

parâmetros governantes se reduzem a três: z , Q_0 e g/T , os quais permitem o escalar de velocidade $\left[u_f = (Q_0 z (g/T))^{1/3} \right]$ e a escalar de temperatura $[T_f = Q_0/u_f]$.

Os grupos adimensionais formados com u_f e T_f devem ser constantes. Os dados de MINESOTA sugerem que a altura desta camada representa aproximadamente 10% da altura Z_i (Kaimal et al., 1976). Onde Z_i é o topo da CLC, definido pela altura da base da inversão mais baixa, próximo à superfície.

iii) *Camada de Mistura (CM)* - É caracterizada por uma estrutura a qual a turbulência é independente de z e τ_0 . A espessura da CLC Z_i , aparece como controle da escala de comprimento. Desta forma, surgem os escalares de velocidade $\left[w_* = (Q_0 z_i (g/T))^{1/3} \right]$ e de temperatura $[\theta_* = Q_0/w_*]$.

Dentro desta região os grupos adimensionais formados com w_* e θ_* devem ser funções apenas de z/Z_i . A camada superior aproximadamente neutra é indicada para a faixa de $0,1 < z/Z_i < 1$ (Holtslag & Nieuwstadt, 1986).

C) Estrutura e parâmetros da Camada Limite Noturna

Na Camada Limite Estável o fluxo de calor para baixo ($Q < 0$) supre a turbulência de origem mecânica. Como resultado, a camada mantida pela componente dinâmica da turbulência, cisalhamento do vento, possui uma profundidade de uma ordem de magnitude inferior a da CLC. A estratificação estável conduz a pequenos turbilhões.

i) *Camada Superficial da CLN (CS_N)* - A turbulência na CS_N pode ser tratada em termos da teoria de similaridade de Monin-Obukhov, com z , τ_0 e Q_0 como parâmetros de escala. A CS_N está compreendida entre os limites de $0 \leq z/Z_i \leq 0,1$, sendo equivalente a CS da CLC.

ii) *Acima da CS_N* - Dentro da CLN acima da CS_N, o parâmetro de escala z permanece, e são considerados os fluxos locais de quantidade de movimento (τ) e calor (Q), e neste caso, passamos a tratar com a escala de comprimento local de Monin-Obukhov $\left[\Lambda = -\tau^{3/2} / (k(g/\Gamma)) \right]$ e, conseqüentemente, o parâmetro adimensional é z/Λ (Holtslag & Nieuwstadt, 1986). A diferença básica entre as escalas de comprimento Λ e L é que a primeira se refere a medições do cisalhamento e do fluxo de calor em cada altura z , ao passo que, na segunda escala, a tensão de cisalhamento e o fluxo de calor são medidos somente à superfície.

iii) *Acima da CLN* - A camada é considerada próxima a neutralidade quando $Z_i/L < 1$ ($0,1 \leq z/Z_i \leq 1$), e a região de escala local está na faixa de $0 \leq z/\Lambda \leq 1$. Para $z/\Lambda > 1$, definiu-se a escala “**menos z**”.

iv) *Região “menos z”* - Quando os turbilhões não são afetados pela presença da superfície, chamamos a este estado da atmosfera de estratificação “menos z”. Para z/Λ grande, o movimento vertical é inibido devido a estratificação estável, então, a escala “**menos z**” significa que as quantidades adimensionais se aproximam de um valor constante de z/Λ grande, o qual no caso acima, foi utilizado $z/\Lambda = 1$.

Nesta região o comprimento de escala é apenas Λ , que em geral é uma função que decresce com a altura. Na região “intermitente”, a turbulência é

muito fraca e esporádica e, portanto não é contínua no espaço e no tempo, além de que, a turbulência é confinada a camadas finas, a qual se desenvolve e desaparece.

Até o presente, não tem sido desenvolvido nenhuma teoria satisfatória para a "Camada Limite Atmosférica Estável Intermitente". Na parte superior da Camada Limite também pode-se esperar turbulência intermitente. Esta intermitência está associada às flutuações na altura da camada turbulenta em torno de sua altura média.

2.2 - CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA SOBRE SUPERFÍCIES COM VEGETAÇÃO DE PEQUENO PORTE

Várias pesquisas foram realizadas sobre superfícies vegetadas, as quais envolveram experimentos com coleta de dados no interior da camada limite em várias partes do mundo. Pode-se citar alguns exemplos os quais foram resultados de projetos importantes.

O primeiro programa que obteve dados acerca da camada limite ocorreu no início da década de 50, em Great Plains, O'NEIL, Nebraska, EUA, no qual foram coletadas informações desde o interior do solo até alturas consideráveis na atmosfera, envolvendo medidas de turbulência, perfis verticais da termodinâmica e química da atmosfera. O experimento ocorreu de agosto a setembro de 1953, sob condições diurnas fortemente convectivas. Um estudo detalhado dos perfis de O'NEIL sugere no mínimo dois estágios distintos da CLC (Carson, 1973). Nos estágios iniciais do desenvolvimento da CLC, ocorre um entranhamento do ar da camada de inversão à superfície estabelecida durante a noite anterior (CLN), a qual tem um gradiente típico de $0,018\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$. Essas inversões estão tipicamente acerca de 400m de profundidade e levaria entre 2 a 4

horas para ser erodida por baixo. No segundo estágio, a CLC já está bem desenvolvida e passa a ser tampada pela ZE, com gradiente típico da ordem de $0,006\text{K.m}^{-1}$. Adicionalmente o autor verificou que em condições convectivas o parâmetro de subsidência foi tipicamente cerca de $0,6 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}$, implicando numa velocidade de subsidência de aproximadamente $0,006\text{m.s}^{-1}$, numa altura de 1000m.

Os dados experimentais também serviram para fazer a parametrização da CLA. Carson (1973) parametrizou a CLA, e na aplicação do modelo, verificou que a modificação do modelo simples para os dados de O'NEIL, conduziu a um modelo de várias fases no qual indicou que o entranhamento é mais importante para um período no início da tarde, acompanhando os horários de máximo aquecimento à superfície, onde os fluxos de calor sensível são maiores. O fluxo de calor penetrando no topo da CLA foi estimado em 50% de seu valor correspondente à superfície. Foi sugerido que para uma grande parte do desenvolvimento a contribuição da mistura interfacial é efetivamente zero, particularmente nos estágios iniciais quando a camada de inversão está fortemente estabelecida numa CLN, estável.

O segundo experimento na camada limite ocorreu após 14 anos, denominado WANGARA, em Hay, Sudeste da Austrália, durante o período de agosto a setembro de 1967. A maioria dos trabalhos se restringiram ao 33^o dia do experimento. Este dia foi escolhido porque apresentou regime convectivo de céu claro, com pouca ou nenhuma advecção horizontal de calor e umidade e sem a presença de qualquer atividade convectiva na faixa de 1000km. Deardorff (1974) verificou que a evolução da CLC entre 09 e 16 Hora Local (HL) foi de 1380m (de 120m para 1500m). A Camada Residual CR durante à tarde estava numa

altura de 1700m, e, após continuada subsidência, afundou atingindo uma faixa de 300 a 700m às 09HL.

Deardorff (1974) também parametrizou a CLA. Na aplicação do modelo tridimensional para o 33^o dia do experimento WANGARA, a altura calculada da camada excedeu a altura observada por mais de 20%, primariamente por causa da negligência do movimento vertical médio no modelo numérico. Além disso, foi verificado que quando a CLC se desenvolveu do início da manhã até o final tarde, a profundidade da camada limite através fluxos verticais de calor, umidade e quantidade de movimento foram encontradas ser essencialmente as mesmas. Entretanto, uma extremidade superior da camada limite através do fluxo de quantidade de movimento se estendeu até a ZE, mais significativamente do que o limite superior do perfil do fluxo de calor.

O experimento de MINESOTA ocorreu sobre uma superfície plana vegetada, localizada no Noroeste de MINESOTA, EUA, no mês de setembro de 1973. O "fetch" neste experimento era cerca de 1000km. Defini-se "fetch" como sendo a distância medida na direção do vento, entre a borda da área experimental e o ponto onde se realizam as medidas. A coleta dos dados na camada limite foi restrita a períodos sob condições convectivas com vento de Norte, céu claro e ocasionais filamentos de nuvens cirrus visíveis no horizonte. A CLC apresentou uma camada bem misturada, com gradientes de velocidade do vento e temperatura aproximadamente neutros (Kaimal et al., 1976). O forte entranhamento de fluxo de calor e quantidade de movimento na camada de inversão, também foi verificado sobre este sítio, concordando com as observações de Deardorff (1974) sobre WANGARA. Adicionalmente, os autores observaram que o ar quente entranhado desce na forma de plumas invertidas, afetando fortemente as estatísticas dos fluxos de calor e temperatura na metade

superior da camada limite. A tensão de cisalhamento apresentou valores grandes na camada limite, no qual, segundo o autor, foi provavelmente devido ao entranhamento do fluxo de quantidade de movimento sobre o gradiente da velocidade do vento na camada de inversão.

Outro experimento sobre superfície vegetada foi o BLX83 "Boundary Layer Experiment 1983", o qual ocorreu durante a estação da primavera, maio a junho, de Chichasha, Oklahoma, EUA, e realizou medidas da físico-química da atmosfera. A vegetação de Oklahoma possui características misturadas de campos de trigo, alfafa, algumas irrigadas, e pastagens, com um comprimento de rugosidade Z_0 igual a 0,05m. A região é relativamente plana com relação a profundidade da camada limite de 1 a 2km, apresentando variações local da altura da CLA da ordem de 15m. Uma aplicação destes dados foi feita por Stull (1994), quando desenvolveu uma teoria sobre o transporte convectivo dos fluxos à superfície para a camada limite sob convecção livre.

A teoria de Stull (1994) é baseada na suposição de que os fluxos de calor, umidade e quantidade de movimento à superfície podem ser parametrizados. As constantes de parametrização para o fluxo de calor e umidade foram definidas como sendo iguais, sendo denominada de coeficiente de transporte convectivo para o calor ou umidade. A constante para o fluxo de quantidade de movimento, foi denominada de coeficiente de transporte convectivo para o quantidade de movimento. Para os dados experimentais de Oklahoma, o coeficiente de transporte para o calor e umidade foi igual a $5,0 \times 10^{-4}$; e para o quantidade de movimento $1,83 \times 10^{-3}$.

2.3 - CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA SOBRE FLORESTAS

Um experimento chamado KOORIN, foi conduzido próximo a Daly Waters, Austrália, durante o inverno, julho a agosto, de 1974. A vegetação na região semi-árida consiste de uma floresta de eucaliptos, árvores de acácia bem espalhadas e uniformemente bem distribuídas com altura de 5 a 10m, e também possui grama *tussocky*. O comprimento de rugosidade Z_0 variou entre 0,4 a 0,9m sobre diferentes partes do sítio (Stull, 1994). As constantes de parametrização do fluxo de calor sensível, umidade e quantidade de movimento à superfície baseada na teoria convectiva de Stull (1994) foram as mesmas obtidas para o experimento Oklahoma.

Sobre a floresta de Landes no Sudoeste da França, foram realizados dois experimentos na década de 80: ATILA/1984 "Action des Terpènes et des Isoprènes dans L'atmosphère" (03 a 20 de setembro) e HAPEX-MOBILHY/1986 "Hydrologic Atmospheric Pilot Experiment - Modelization du Bilan Hydrique", no período de maio a junho de 1986. A região experimental é caracterizada por floresta de pinhos, 100% de área coberta no caso do experimento ATILA e 65% no experimento HAPEX-MOBILHY, com vilarejos espalhados e clareiras cobertas de arbustos. No experimento ATILA, foram realizadas medidas físico-químicas dentro da floresta e no interior da CLA (Lyra, 1990). Parlange & Brutsaert (1989) verificaram a rugosidade e a tensão de cisalhamento à superfície sob condições de neutralidade. A floresta Landes apresentou Z_0 igual a 1,2m e altura do plano zero (D) igual a 6m. Os perfis neutros indicaram a existência de uma camada logarítmica na faixa de $67 \leq (z-D)/Z_0 \leq 128$. Lembrando que z é a altura acima da superfície. Os desvios foram de 18m e 32m, respectivamente nos limites inferior e superior da camada. Em termos da altura da camada limite, o limite superior foi encontrado em $z-D = 0,33Z_i$, com o desvio de 0,18. Foi

verificado também, que a tensão de cisalhamento derivada desses perfis mostraram boa concordância com aquela obtida através do método da correlação turbulenta no dossel da floresta. Lyra (1990), aplicou o método iterativo e determinou a altura do plano zero D igual a 5m.

No Brasil, o primeiro experimento onde se estudou a termodinâmica da CLA da floresta tropical da Amazônia, foi o ABLE "Atmospheric Boundary Layer Experiment" em Manaus, o qual compreendeu duas fases experimentais: estação seca, julho a agosto de 1985, e estação chuvosa, abril a maio de 1987. Este experimento foi descrito detalhadamente por Harris et al. (1988). Martin et al. (1988), utilizando os dados do ABLE, examinaram a estrutura e o desenvolvimento da CLA no período da 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⁻¹ até uma altura máxima de 1200m às 13HL. Eles observaram frequentemente alturas da CLC superior a 1000m entre o período das 10 às 16HL, durante condições não perturbadas. A CR permaneceu em torno de 2000m durante todo o ciclo diário, ao longo do experimento. Sob tais condições atmosféricas, a profundidade da CLA obtida através do "Light Detection and Ranging" (LIDAR), técnica de sensoriamento remoto, apresentou, sobre grande extensão, uma homogeneidade horizontal em toda sua estrutura, sugerindo que o local de observação é representativo de uma vasta área.

Foram feitos também, cálculo do balanço da energia na CLA utilizando a altura média da camada e os fluxos à superfície, os quais forneceram o fluxo de entranhamento de umidade através do topo da CLA da ordem de 600Wm⁻². Um modelo do tipo "jump" foi iniciado com uma sondagem no início da manhã e forçado com os fluxos flutuabilidade observados. Os resultados deste modelo foram comparados com o cálculo do balanço e os valores observados.

Todos os métodos convergem e mostram que a divergência de fluxo na CLA leva a significativa redução na umidade, a qual é observada no dossel da floresta.

No ano seguinte, um outro experimento importante em região de floresta tropical foi realizado: DECAFE "Dynamic et Chimie de l'Atmosphère en Forêt Equatoriale". Nele foram realizadas medidas no interior e sobre a floresta tropical densa no Norte do Congo durante a estação seca, fevereiro de 1988. A floresta é sempre-viva *ombrophilous*, com árvores de até 40m, a qual cobre grande parte da África Equatorial. O valor de Z_0 é 4,5m e o D é 28m. A análise da evolução da CLA, mostrou que a altura da mesma é da ordem de 1000m no final da tarde (Lyra et al., 1992). A taxa de crescimento da CLC de cerca de 0,02 à $0,07\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, concorda com Martin et al. (1988) sobre a floresta Amazônica. Adicionalmente, utilizaram um modelo unidimensional de camada misturada, o qual foi forçado a representar corretamente o desenvolvimento da altura da CLC observada. Neste modelo, o fechamento do balanço de energia na CLC leva em conta o fluxo de entranhamento no topo da CLC. Os autores sugeriram uma velocidade de entranhamento de $0,03\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Esta velocidade de entranhamento se mostrou comparável com transferências físico-químicas tais como as de metano e de ozônio.

Em 1992, foi realizada a primeira campanha de campo do projeto RBLE "Rondonia Boundary Layer Experiment" tendo sido realizadas mais duas campanhas em 1993 e 1994. Foram feitas medições na floresta natural e pastagem. As análises feitas até então, mostraram que a evolução da CLA sobre floresta é semelhante as que foram verificadas durante o ABLE e o DECAFE. Sobre a pastagem, a CLA é bem mais espessa, sua altura no final da tarde, chega a ser 1km maior do que a da floresta (Lyra et al., 1994; Rocha et al., 1994; Fisch, 1996; Gash et al., 1996).

2.4 - DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA

A espessura da Camada Limite é bastante variável no tempo e no espaço, dependendo da intensidade da turbulência. A altura da Camada Limite diurna ou noturna, Z_i , é definida a partir dos perfis verticais da temperatura potencial virtual (θ_v). A altura da CLC, Z_i , é a altura da base da inversão, onde os perfis de θ_v são aproximadamente adiabáticos na porção média da Camada de Mistura, e freqüentemente, pode ser observado um perfil superadiabático na Camada Superficial. Ao contrário da CLC, a altura Z_i da CLN é a altura do topo da camada de inversão à superfície, na altura onde a intensidade da turbulência é uma fração pequena do seu valor à superfície (Stull, 1988). O topo da CLN é mais difícil de ser determinado.

A altura da Camada Limite também pode ser obtida através da distribuição dos fluxos verticais de calor e da quantidade de movimento, os quais definem Z_i como sendo a altura onde os fluxos atingem seu valor mínimo. Deardorff (1974), determinou Z_i em função da altura da base da inversão, pelo fluxo de calor e pelo fluxo da quantidade de movimento. Os resultados obtidos foram essencialmente os mesmos.

Visto como a primeira altura na qual o vento atinge o balanço geostrófico, a profundidade da camada limite z_h pode ser expressa como $z_h = \pi(2K_m/f)^{1/2}$ (Sutton, 1953), onde K_m é o coeficiente de troca para o fluxo da quantidade de movimento ($K_m = 2\pi^2 u_*^2 / f$), f é o parâmetro de Coriolis representando o efeito de rotação da terra ($f = 2\Omega \sin\phi$, sendo Ω a taxa de rotação da terra e ϕ a latitude). Esta definição é baseada na suposição que K_m é constante com a altura, e devido a irrealidade a mesma vem sendo abandonada. Como

exemplo, pode ser citado o modelo da distribuição vertical de K_m na CLA proposto por O'Brien (1970), a qual nem de longe é invariável com a altura. Neste modelo, K_m é expresso como um polinômio cúbico. Na CLS, K_m aumenta linearmente com a altura. Na CM, K_m cresce e atinge seu valor máximo em $z = 0,33Z_i$, após este nível passa a decrescer, diminuindo até o topo da CLA, onde seu valor é muito pequeno, acima deste nível permanece constante.

A profundidade da camada limite também pode ser proporcional a u_* / f , onde u_* é a velocidade de fricção. Assim a altura $h_E = C u_* / f$, onde C é uma constante empírica. O valor $C = 0,25$ produz alturas de camada limite próximas a alturas diurnas observadas. Na realidade, freqüentemente os fatores externos, tais como subsidência e a evolução do decréscimo de temperatura com a altura, suprem os efeitos friccional e de Coriolis (Kaimal & Finnigan, 1994). Este método foi aplicado aos dados de WANGARA, 33^o dia, porém não se obteve bons resultados (Deardorff, 1974).

A estimativa da profundidade da Camada Limite Estável (CLN), também é obtida baseada na velocidade de fricção e na Frequência Brunt-Väisälä ($h_N = b u_* / N$), onde b é uma constante entre 7-14, com um valor típico de 10, e N é a frequência Brunt-Väisälä igual a $(g/T)d\theta/dz$, com $d\theta/dz$ o gradiente de Temperatura Potencial (Van Pul et al., 1994).

Outros sistemas de medições para a determinação da altura da Camada Limite Atmosférica são LIDAR, SODAR "Sound Detection and Ranging" e RADAR "Radio Detection and Ranging". As técnicas de sensoriamento remoto, tais como LIDAR e SODAR, facilitam a inferir informações espacial e temporal a cerca da dinâmica da camada limite. O LIDAR utiliza os aerossóis para traçar o movimento atmosférico, e recebe energia

reespalhada das partículas através de toda a CM, enquanto que o SODAR é sensível a flutuações de pequena escala de temperatura dentro CM ou próximo da ZE. Lyra (1990) apresentou excelente resultado deste tipo de medida feitas durante o experimento ATILA. A desvantagem destes métodos é o alto custo dos equipamentos, bem como a dificuldade de operá-los em regiões como a Floresta amazônica. O RADAR transmite microondas, e por exemplo, operando num comprimento de onda igual a 10cm, pode detectar ecos de céu claro através do gradiente do índice refrativo, umidade e numa extensão menor, temperatura (Kaimal et al., 1982).

Van Pul et al. (1994) fazem uma comparação das alturas da CLC na Holanda, definidas através do LIDAR e Radiossonda (RS) às 12HL. De um modo geral, as duas espessuras concordam muito bem, com o coeficiente de correlação, R , igual a 0,93 e o erro padrão, σ , igual a 121m. Entretanto, em 10% dos casos, a estimativa do LIDAR foi significativamente mais baixa do que a RS (diferença > 400m).

Angevine et al. (1994) discutiram uma técnica para a determinação da altura da CLC com um plotador da camada "wind profiler". O plotador forneceu medições contínuas da altura da CLC com resolução temporal de 30 minutos ou menos e vertical de 60-100m. O topo CS é estabelecido em 10% da altura da Camada Limite Convectiva Z_i ; a CM está na faixa de 10% a 80% de Z_i ; e a Zona de Entranhamento ZE está na faixa de 80% a 120% de Z_i . As medições ocorreram durante o experimento ROSEII "Rural Oxidants in the Southern Environment II", no Alabama em junho de 1992. As condições de tempo durante a maior parte do período do experimento foram de céu claro a parcialmente nublado, ventos suaves e nenhuma precipitação significativa. O "profiler" não pode medir a altura da CLN, porque o topo desta camada está

geralmente igual ou abaixo da altura mínima do instrumento. A altura da CLC é obtida através da razão do SNR (Sinal-barulho) registrada pelo "profiler".

Marisk et al. (1995) compararam métodos das alturas de mistura estimadas por RS, RADAR "wind profiler"- RASS "RADAR Acoustic Sounding System" e LIDAR. As medições foram conduzidas em 5 localidades ao redor da cidade de Atlanta, Geórgia, como parte do experimento intensivo de campo do SORP-ONA "Southern Oxidants Research Program on Ozone Non-Attainment". Em geral, o sistema de RS pareceu fornecer estimativas da altura de mistura mais precisas. As alturas através do LIDAR foram comparáveis com a RS, exceto nos horários do início da manhã, quando algumas estimativas foram exageradamente altas. Essa superestimação ocorreu quando o sinal de retorno dos aerossóis na camada acima da CLC, Camada Residual, formados durante a mistura dos dias anteriores, excedeu aquele dos aerossóis na CLC em desenvolvimento. As estimativas do RADAR "wind profiler" também foram erroneamente altas durante o início da manhã, devido principalmente ao uso de uma configuração que impediu a detecção da camada misturada se desenvolvendo novamente abaixo de 400-600m.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL

3.1.1 - Climatologia da região

A região Amazônica possui uma distribuição de precipitação e temperatura um pouco variável, devida a sua ampla extensão. De um modo geral, o período mais úmido é de dezembro a abril, nas regiões de Manaus, Marabá e Ji-Paraná, e a estação seca é usualmente considerada a partir do final de junho até agosto (Culf et al., 1995). Manaus, Norte da Amazônia, tem condições mais úmidas. Embora o período de junho até agosto seja mais seco que o restante do ano, existe ainda uma quantidade significativa de precipitação, enquanto que a estação seca em Ji-Paraná e Marabá, respectivamente Sul e Leste da Amazônia, é mais pronunciada que em Manaus, e marcada por vários períodos de semanas sem precipitação.

A descrição climatológica da região em estudo, Leste de Rondônia, foi realizada por Fisch (1996), o qual utilizou dados da Estação Climatológica de Superfície pertencente à Comissão Executiva do Plano da Lavoura e do Cacau (CEPLAC). A estação está localizada em Ouro Preto do Oeste, a 10km da área experimental de Pastagem e 50km da área de Floresta, sendo a única fonte de informações meteorológicas disponível. A série climatológica compreendeu um acervo de 10 anos de observações (1982 à 1992). As discussões também foram baseadas nos valores médios mensais de precipitação e temperatura do ar.

Com relação a distribuição de precipitação, verificou-se que a região de Ji-Paraná apresenta uma forte sazonalidade durante os meses de novembro a abril, o qual compreende o período chuvoso, com uma precipitação superior a 200mm.mês^{-1} . Os meses de junho a agosto compreendem a estação seca, com índice de precipitação inferior a 20mm.mês^{-1} . Nos três meses restantes, maio, setembro e outubro, a precipitação varia entre 60 e 150mm.mês^{-1} . Confirmando um estudo anterior, o autor observou que a convecção amazônica migra no sentido Sudeste para Noroeste. Adicionalmente, foi constatado que o comportamento da temperatura do ar é induzido pela distribuição de precipitação.

Paralelamente, a distribuição de temperatura também apresentou uma variação significativa entre os períodos chuvoso e seco, com uma diferença máxima de aproximadamente 3°C , entre o mês mais quente, outubro, e o mais frio, julho. O mês mais quente antecede a estação chuvosa, ao passo que o mês mais frio ocorre no auge da estação seca e é decorrente da penetração de frentes frias. Os valores médios climatológicos foram $25,5^{\circ}\text{C}$ e $22,6^{\circ}\text{C}$ para estes dois meses. A distribuição de temperaturas mínimas ao longo do ano, acompanha a temperatura média, sendo muito semelhante à distribuição de precipitação. O valor mínimo é de $17,7^{\circ}\text{C}$ no mês de julho. Com relação as temperaturas máximas, a maior variação anual ocorre entre o início da estação seca e o início da estação chuvosa, atingindo um valor máximo de $31,9^{\circ}\text{C}$ em agosto. O valor médio da temperatura máxima é $30,0^{\circ}\text{C}$.

3.1.2 - Localização dos sítios experimentais

Os sítios experimentais se situam em dois planos distintos: Floresta e Pastagem, localizados na parte Leste do Estado de Rondônia, Brasil (Fig. 3.1).

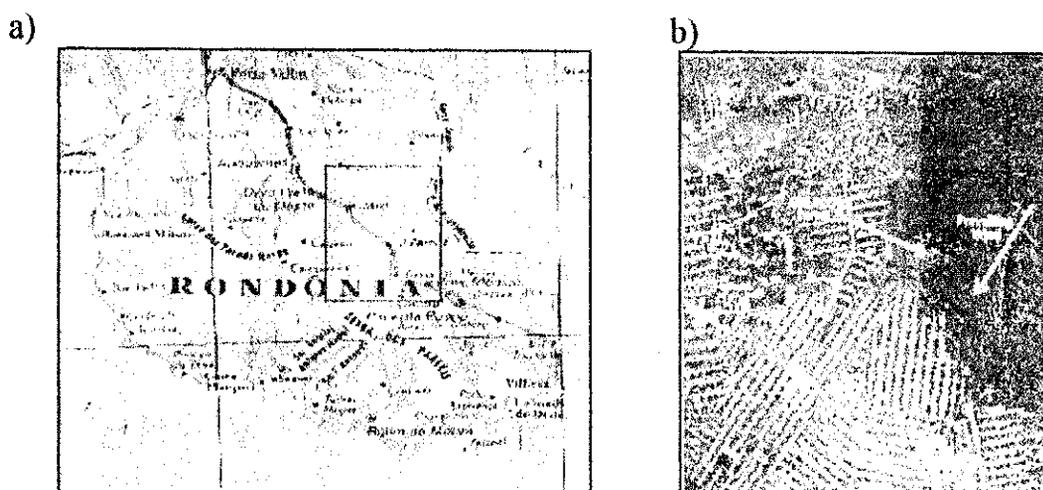


Figura 3.1 - Localização das regiões de Floresta e Pastagem, a Leste de Rondônia (a). No detalhe (b) fotografia LANDSAT.

A região de Floresta compreende a Reserva Biológica de Jaru (REBIO JARU), com uma área de 268.150ha de floresta tropical virgem, a qual é um local de preservação permanente (lei 477/65 e 5197/67) pertencente ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA). Ela está situada entre os paralelos $10^{\circ}05'$ e $10^{\circ}19'S$ e os meridianos $61^{\circ}35'$ e $61^{\circ}57'W$, com altitude variando de 100 a 150m. O local do experimento foi uma pequena clareira (LAT.: $10^{\circ}05'S$; LONG.: $61^{\circ}55'W$; ALT.:120m), às margens do Rio Machado, localizada a 80km ao Norte da cidade de Ji-Paraná.

A vegetação possui características de terra-firme, com altura média da copa de 33m e árvores emergentes de até 45m. As espécies mais altas na área circunvizinha a torre micrometeorológica são *Cedrellá odorata*, *Inga sp*, *Diocle cf bicolor Bth.*, *Strychnos amazonicus Krukoff*, *Glycicarpa Ruiz* (Culf et al., 1995).

O sítio de Pastagem (LAT.: $10^{\circ}45'S$; LONG.: $62^{\circ}22'W$; ALT.:220m) está localizado na Fazenda Nossa Senhora Aparecida, no município

de Ouro Preto do Oeste (RO), a 50km a Leste-Nordeste de Ji-Paraná. A distância em linha reta entre os sítios Floresta e Pastagem é cerca de 100km. O sítio está centrado numa área com cerca de 50km de raio, quase totalmente desmatada. A vegetação é composta de gramíneas do tipo *Brachiaria Brizantha*, que durante a segunda fase do experimento RBLE2 estava com uma altura de cerca de 0,40m. Neste sítio, ainda podemos observar palmeiras dispersas. A área possui aos seus arredores pequenas elevações da ordem de 150m. Em abril de 1993, a área de superfície com solo nu, descoberto, cobria 12% da área total da Pastagem.

Os locais de estudo foram escolhidos de tal maneira que o “fetch” fosse suficiente para as medidas serem representativas de uma região homogênea.

3.2 - DADOS UTILIZADOS E DESCRIÇÃO DOS INSTRUMENTOS

Os dados utilizados foram, na sua maioria, perfis verticais de pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade específica, velocidade e direção do vento observados durante as 2 campanhas do projeto RBLE, juntamente com as medidas de superfície do projeto ABRACOS.

No RBLE 2 foram feitas medidas inicialmente na Floresta de 3 a 11/7/93, e em seguida na Pastagem de 17 a 25/7/93. As sondagens com Balão Cativo (BC) e Radiossonda (RS) foram realizadas simultaneamente às 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20 e 23HL. Não houve içamento do BC nos dias 7 a 9 de julho, por causa da presença de uma frente fria (Rocha et al., 1994; Fisch, 1996). No total as sondagens foram: 125 com RS (60 Floresta ; 65 Pastagem) e 117 com BC (58 Floresta ; 59 Pastagem).

No RBLE 3 as medições foram realizadas simultaneamente nos dois sítios durante o período de 13 a 26/08/94, totalizando 150 sondagens com RS (74 Floresta; 76 Pastagem) e 298 sondagens com BC (156 Floresta ; 142 Pastagem).

O dados experimentais do ABRACOS compreenderam uma série bastante longa, desde 1990, entretanto, os dados utilizados no presente trabalho estão restritos a época das 2 campanhas experimentais do RBLE.

A) Perfis na baixa troposfera:

Os perfis foram obtidos através dos lançamentos de RS e dos içamentos do BC, em cada um dos sítios experimentais.

Foi utilizado o sistema de radiossondagem Väisälä, com sonda RS80-15N. No RBLE2 foi utilizado o sistema portátil MARWIN e no RBLE3 a PC-CORA. Tais sondas contêm sensores de temperatura do ar, do tipo termistor - "THERMOCAP" (resolução de 0,1°C), de umidade relativa, a base de capacitor eletrônico - "HUMICAP" (resolução de 1%); e de pressão atmosférica, cápsula barométrica - "BAROCAP" (resolução de 0,1hPa). As sondas emitem sinais a cada 2 segundos (s), que são processados à superfície fornecendo médias a cada 10s. O vento foi obtido através do sistema OMEGA de localização/telemetria, também a cada 10s. A resolução do sensor de velocidade (V) é de $0,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ e de direção (α) é de 1° . Paralelamente, eram realizadas medidas à superfície de temperatura do ar, bulbo seco e bulbo úmido, pressão atmosférica e vento (V e α) para calibração das sondas antes de cada lançamento. A velocidade de ascensão do RS é da ordem de $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Os sinais eram enviados para a base de aquisição numa frequência de 403MHz.

Os dados do BC foram coletados pelo sistema de aquisição ADAS "Atmospheric Data Acquisition System" da Air Company (USA). As sondas colocadas no BC possuem sensores de temperatura seca e úmida (tipo termopar), com ventilação forçada; de pressão atmosférica (barômetro aneróide); de velocidade do vento (anemômetro de conchas); e de direção do vento (bússola magnética). A sonda coletava dados a cada 10s e os emitia através de sinais de ondas de rádio numa frequência de 403,5MHz. Também eram calibrados os sensores do BC, antes da subida e após a descida. A resolução dos sensores de temperatura, pressão e direção do vento são as mesmas do RS. O sensor da velocidade do vento tem resolução de $0,1 \text{ m.s}^{-1}$. Vale lembrar que o RS utiliza o sistema de telemetria e o BC faz medidas diretas do vento. A taxa de ascensão do balão era controlada por guincho mecânico, com uma velocidade média de 1 m.s^{-1} .

B) Dados Micrometeorológicos:

Os dados micrometeorológicos são provenientes do projeto ABRACOS e foram obtidos por Estações Meteorológicas Automática (EMAs).

As medidas de fluxos foram realizadas utilizando-se um equipamento denominado HYDRA (Shuttleworth et al., 1984), o qual faz medições de fluxos turbulentos de quantidade de movimento, calor sensível e calor latente, assim como seus parâmetros derivados, baseado no método de correlação de vórtices turbulentos "eddy correlation". Os dados foram coletados a cada 0,1s e armazenados em médias horárias. Esse equipamento nos forneceu as seguintes informações:

- Temperatura do ar e respectiva variância;
- Umidade específica e respectiva variância;

- Velocidade vertical do vento e respectiva variância;
- Velocidade horizontal do vento e respectiva variância;
- Velocidade de fricção;
- Fluxos de calor sensível e calor latente;
- Saldo de radiação;
- Estabilidade atmosférica;
- Razão entre as variâncias da velocidade vertical e de fricção;
- Condutância atmosférica.

A EMA (Instrumentos Didcot, Abingdon, UK) coletou medidas de radiação, fluxo de calor no solo, temperatura do ar (bulbo seco e úmido) com ventilação forçada, direção e velocidade do vento e precipitação. O fluxo de radiação solar incidente foi medido por um solarímetro (Kipp e Zonen, Delft, Holanda), o fluxo de radiação solar refletida foi medido por um instrumento similar ao utilizado para a incidente, porém invertido, e o saldo de radiação medido com um saldo radiômetro do tipo FUNK. Os dados foram coletados a cada 2s e armazenados em médias horárias.

No sítio Floresta a EMA e o HYDRA foram instalados na torre micrometeorológica (52m de altura) dentro da Floresta, localizados a aproximadamente 5km do local de lançamento dos balões. A EMA foi montada no topo da torre, e as medições da radiação solar refletida foram feitas em dois níveis: i) A 52m de altura, através de um sensor colocado na extremidade de um mastro com 3m, ortogonal a face Sul da torre; ii) A 37,3m de altura, na extremidade de um mastro com 2m, ortogonal a face Norte da torre.

No sítio Pastagem todos os equipamentos (medições de superfície e altitude) foram distribuídos numa área de 200m de raio. A altura da torre na Pastagem foi de 6m. A radiação solar refletida foi medida somente em um nível

(altura de 3,9m), e a radiação solar incidente foi medida em dois níveis (3,9m e 6m de altura). O HYDRA foi instalado próximo, numa estrutura independente da torre.

3.3 - METODOLOGIA ADOTADA

O enfoque do trabalho é dado a compreensão da termodinâmica da CLA, neste sentido são utilizados os dados de superfície a fim de se obter informações neste nível como condição de contorno da CLA em $z = 0$.

3.3.1 - Parâmetros à superfície

Os valores utilizados neste trabalho são provenientes das observações de superfície do projeto ABRACOS, registrados no HYDRA, termos energéticos, e EMA, termos radiativos, em cada sítio experimental. Os períodos em estudo correspondem, como já mencionado anteriormente, ao da estação seca da região, em que houve as medições de altitude das duas campanhas do projeto RBLE. O primeiro período corresponde as observações na Floresta de 03 a 06 e 09 a 10, e na Pastagem de 18 a 25/07/93, que passará a ser tratado como RBLE2. O segundo, corresponde as observações simultâneas na Floresta e Pastagem durante o período de 18 a 25/08/94, e doravante chamado RBLE3.

Devida as imprecisões/erros dos instrumentos no período noturno e o fato da CLN, desenvolvimento, ser bem menos dependente dos termos energéticos, depende mais da taxa de resfriamento da superfície, o trabalho se restringiu ao período diurno entre 08 e 18HL.

3.3.1.1- Consistência dos termos radiativos

O Balanço de radiação pode se dado pela seguinte equação (Stull, 1988):

$$R_n = (R_g - R_r) + (L_d - L_o) \quad (3.1)$$

Onde,

R_n - Saldo de radiação ($W.m^{-2}$);

R_g - Radiação solar global incidente ($W.m^{-2}$);

R_r - Radiação de ondas curtas refletida ($W.m^{-2}$);

L_o - Radiação de ondas longas emitida pela superfície ($W.m^{-2}$);

L_d - Radiação difusa de ondas longas da atmosfera ($W.m^{-2}$);

Cada um destes termos representa a soma da componente direta e difusa atravessando um plano horizontal à superfície. Neste trabalho, será analisado o balanço de ondas curtas, visto que os instrumentos de radiação na EMA mediram apenas os parâmetros R_n , R_g e R_r .

De posse dos registros horários de R_g e R_r , foi calculado o albedo ao longo do experimento para cada sítio, que é um parâmetro adimensional definido como:

$$\alpha = R_r/R_g \quad (3.2)$$

Os valores registrados pela EMAs, foram então agrupados segundo a hora do dia, e calculadas as médias horárias para o período diurno (08-18HL). No experimento RBLE2 os termos radiativos não apresentaram problemas em

nenhum dos dois sítios, entretanto no RBLE3 se fez necessário a correção de alguns termos.

Na Floresta, os valores de R_g e R_r foram corrigidos, através da substituição dos valores registrados no nível 1 ($z = 52\text{m}$) pelos registrados no nível 2 ($z = 37,3\text{m}$). Na Pastagem, foi necessária somente a correção de R_r , e neste caso, como só houve medida em um nível ($z = 3,9\text{m}$), foram utilizados os valores médios do albedo de três dias (dia anterior e dois dias posteriores àquele que estava com problema). Este albedo médio juntamente com o valor de R_g , forneceram o valor da Radiação Refletida (eq. 3.2).

3.3.1.2 - Consistência do balanço de energia à superfície

Com base na conservação de energia, as componentes do balanço energético à superfície estão relacionadas segundo a equação clássica expressa por (Stull, 1988):

$$R_n = H + LE + G + \Delta F \quad (3.3)$$

Onde,

H - Fluxo turbulento de calor sensível ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$);

LE- Fluxo turbulento de calor latente ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$);

G - Fluxo de molecular de calor no solo ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$);

ΔF - Representa o termo Fonte menos Sumidouro. Supondo não haver advecção e nenhum outro tipo de fonte ou sumidouro, este termo ΔF foi considerado nulo na Pastagem, o mesmo equivale ao fluxo de calor na biomassa (S) na Floresta ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).

Para o fluxo de calor na biomassa S, foram utilizados os valores calculados por Fisch (1996). A partir dos fluxos de calor sensível e calor latente, pode-se obter um parâmetro muito importante que avalia a repartição de energia dos fluxos turbulentos. Este parâmetro é a Razão de Bowen, definida como:

$$\beta = H/LE \quad (3.4)$$

A) Correção das componentes do balanço de energia durante o RBLE2

Apesar dos balanços diários fecharem, provavelmente algum termo foi assumido como resíduo, foi necessário efetuar algumas correções.

O comportamento médio diurno dos termos do balanço foi então obtido nos dois sítios, a partir do cálculo das médias horárias de H, LE, G, β e, particularmente na Floresta, S. Os valores médios de R_n já haviam sido calculados. Entretanto, na Pastagem os valores diários de H, LE, e conseqüentemente β , apresentaram valores errados, exageradamente baixos ou altos, em alguns horários específicos, início da manhã e final da tarde, tendo repercussão na curva média.

A correção de H e LE na Pastagem foi feita com base na curva média de β , juntamente com o acompanhamento das curvas diárias de todos os componentes. Para tanto, foram gerados novos valores de β (β_i), aplicando uma interpolação linear nos horários com valores errados. Finalmente, os valores médios de H_i e LE_i foram obtidos de forma residual, substituindo a equação (3.4) em (3.3), de forma a obter:

$$LE_i = (R_n - G)/(\beta_i + 1) \quad (3.5)$$

$$H_i = \beta_i(R_n - G)/(\beta_i + 1) \quad (3.6)$$

A média global ao longo do experimento na Pastagem, foi representada pelos valores médios de H e LE, obtidos na maioria dos horários pelo cálculo direto dos valores medidos, e pelos valores médios determinados pelas equações 3.5 e 3.6.

B) Correção das componentes do balanço de energia durante o RBLE3

No RBLE3, foram utilizadas os valores médios horários do fluxo na biomassa S da Floresta calculado por Fisch (1996). Todavia as medidas dos fluxos turbulentos registradas pelo HYDRA, apresentaram bastante erros tanto na Floresta como na Pastagem. O erro instrumental dos fluxímetros, calor sensível (H) e calor latente (LE), deste equipamento pode chegar até 30W.m^{-2} (Fisch, 1996).

A fim de efetuar as correções nos dias e horários com problemas, estabeleceu-se um intervalo de confiança para a validade da equação do balanço, em que o ERRO deveria ser no máximo igual a $\pm 25\%$ do Saldo de radiação. Defini-se ERRO como sendo,

$$\text{ERRO} = (R_n - H - LE - S - G) * 100 / R_n \quad (3.7)$$

Onde os termos após a igualdade têm o significado usual, e S é válido somente para a Floresta. Desta forma, foram considerados como dados bons àqueles casos em que o ERRO estivesse dentro do limite proposto, e então selecionados para a parametrização/ajustamento de H e LE em função da hora. A relação entre cada fluxo e a hora do dia, foi estabelecida a partir de uma regressão polinomial de 2º grau, tomando-se a seguinte função:

$$Y = A(\sigma_A) + B(\sigma_B)X + C(\sigma_C)X^2 \quad (3.8)$$

Onde,

Y - O fluxo estimado de calor sensível (H_e) ou calor latente (LE_e), ($W.m^{-2}$);

X - Hora Local

A, B e C - Indicam as constantes de parametrização, estabelecidas a partir do ajustamento da curva média de Y ($W.m^{-2}$).

$\sigma_{A,B,C}$ - Representam os desvios padrões das respectivas constantes de parametrização ($W.m^{-2}$).

A aplicação desta regressão ao longo do RBLE3, resultou nas seguintes funções:

i) Na Floresta,

$$H_e = -474,93(61,88) + 85,12(9,73)X - 3,32(0,37)X^2 \quad (3.9)$$

$$LE_e = -2175,91(158,56) + 383,11(24,93)X - 14,49(0,95)X^2 \quad (3.10)$$

apresentando coeficientes de correlação (**R**) de 0,79 para o calor sensível estimado, com um desvio padrão (σ) de $49,51W.m^{-2}$, e 0,91 para o calor latente estimado, com σ de $19,32W.m^{-2}$.

ii) Na Pastagem,

$$H_e = -958,55(78,03) + 188,97(12,19)X - 7,76(0,46)X^2 \quad (3.11)$$

$$LE_e = -398,12(67,09) + 92,31(10,28)X - 3,95(0,38)X^2 \quad (3.12)$$

o calor sensível estimado apresentou $R = 0,96$, com $\sigma = 22,22\text{W.m}^{-2}$, enquanto que o calor latente estimado, apresentou R de $0,96$, com σ de $13,56\text{W.m}^{-2}$.

As equações 3.9, 3.10, 3.11 e 3.12 são válidas para o intervalo de 08 às 17HL. A partir destes valores de H_e e LE_e , foram calculados β_e , e corrigidos os horários com ERRO superior a 25%. Por fim, foram calculadas as médias horárias global ao longo do experimento sobre a Floresta e Pastagem.

3.3.2 - Determinação da Camada Limite Atmosférica

O estudo da CLA compreendeu a Camada Limite Convectiva (CLC) e a Camada limite Noturna (CLN), correspondendo respectivamente aos períodos diurno e noturno para as duas campanhas experimentais. A CLC é governada principalmente pela turbulência térmica - as parcelas de ar quente. Adicionalmente a turbulência mecânica auxilia o desenvolvimento dessa camada, e dessa forma torna-se relativamente profunda em extensão vertical. A CLN, ou seja, a Camada Limite Estável próxima à superfície, é governada pela turbulência mecânica. As características estáveis desta camada tendem a inibir naturalmente seu crescimento vertical, como resultado é bem menos profunda que a CLC. A profundidade da camada limite foi determinada pelos perfis do BC, exceto às 11, 14 e 17HL, uma vez que o BC atingia alturas da ordem de 500m e a altura da CLC é cerca de 2000m.

As alturas da CLC e CLN foram determinadas a partir dos perfis verticais da temperatura potencial virtual (θ_v), com o critério de estabilidade estática, definido como:

Instável: $< -2\text{K.km}^{-1}$

Neutro : $\geq -2\text{K.km}^{-1}$ e $\leq +2\text{K.km}^{-1}$

Estável : $> +2\text{K.km}^{-1}$

Este limite do gradiente vertical da temperatura potencial virtual ($\nabla_v \theta_v$) foi estabelecido arbitrariamente baseado nos valores estabelecidos por Lyra (1995) e Fisch (1996). Observando que, $\nabla_v \theta_v$ significa na verdade a variação vertical de θ_v entre 2 níveis consecutivos ($\Delta\theta_v/\Delta z$)

A altura da CLC foi definida como a base da camada estável, camada de inversão, onde a partícula muda do regime neutro para estável. A altura da CLN foi definida como o topo da camada estável, e neste caso, a partícula muda de estável para neutro.

Paralelamente, a determinação das camadas foi acompanhada com a análise visual dos perfis verticais da temperatura potencial virtual θ_v , do gradiente vertical da temperatura potencial virtual $\nabla_v \theta_v$, umidade específica q , direção a e velocidade V do vento.

3.3.3 - Cálculo das quantidades médias no interior da Camada Limite Atmosférica

Após o levantamento das alturas das CLAs, seja elas CLCs ou CLNs para todas as sondagens, foram calculados os parâmetros médios dentro da camada. Esta etapa consistiu em quantificar os valores médios de θ , $\nabla_v \theta_v$, q e V dentro da CLA. Onde θ é a temperatura potencial considerando o ar seco.

Os valores médios de θ , $\nabla_v \theta_v$ e q , ou seja, $\bar{\theta}$, $\overline{\nabla_v \theta_v}$, e \bar{q} foram obtidos através da média aritmética na camada.

Com relação ao vento, o cálculo de \bar{V} foi feito utilizando a metodologia proposta por Teixeira & Girardi (1978), em que o vetor vento é inicialmente decomposto em componentes zonal ($u = -V \sin a$) e meridional ($v = -V \cos a$). Onde, V representa o raio da circunferência e a , o azimute, o ângulo formado entre a componente zonal, u , e o raio da circunferência, V . Foram calculadas as duas componentes médias, \bar{u} e \bar{v} , através da média aritmética, e em seguida \bar{V} a partir da relação trigonométrica em que:

$$\bar{V} = (\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{1/2} \quad (3.13)$$

3.3.4 - Número de Richardson

Visando obter a variação espaço-temporal da relação entre a produção dinâmica e a produção térmica, foi calculado o Número de Richardson através da relação clássica (Stull, 1988):

$$R_b = \frac{\frac{g}{\bar{\theta}_{vm}} \frac{\Delta \theta_v}{\Delta z}}{\left[\left(\frac{\Delta U}{\Delta z} \right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{\Delta z} \right)^2 \right]} \quad (3.14)$$

Onde,

g - aceleração da gravidade [$m.s^{-2}$];

$\bar{\theta}_{vm}$ - valor médio da temperatura potencial virtual entre dois níveis consecutivos (K);

$\Delta \theta_v / \Delta z$ - gradiente vertical da temperatura potencial virtual entre dois níveis consecutivos [$K.m^{-1}$];

$\Delta U/\Delta z$ - gradiente vertical da componente zonal da velocidade do vento médio entre dois níveis consecutivos [s^{-1}];

$\Delta V/\Delta z$ - gradiente vertical da componente meridional da velocidade do vento médio entre dois níveis consecutivos [s^{-1}].

Em seguida, foram calculados os valores médios na camada ($\overline{R_b}$), da mesma forma que os outros parâmetros na CLA. Este procedimento só foi adotado para o RBLE3, pois entende-se que a comparação em termos de turbulência só pode ser feita a partir de medidas simultâneas.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - EXPERIMENTO RBLE2

4.1.1 - Condições sinóticas sobre a região durante o experimento

A estrutura da atmosfera na região tropical apresenta um ciclo diurno com variações acentuadas de umidade e formação de nuvens cumulus com grande desenvolvimento vertical. O ciclo normal compreende movimentos ascendentes e subsidentes. O ar quente que ascende se resfria e umedece a atmosfera, enquanto que o ar frio que desce se aquece e seca a atmosfera. Os movimentos ascendentes, portanto, favorecem a formação de nuvens convectivas, ao passo que os subsidentes inibem a formação de nuvens. Na região amazônica esta estrutura apresenta uma variação diurna com formação de células convectivas locais e a ocorrência de precipitação no final da tarde. A penetração de sistemas de grande escala, tais como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e frentes frias, modificam o regime padrão sobre a região (Rocha et al., 1994). A penetração de frentes na região amazônica é conhecida localmente por "FRIAGEM".

Segundo a análise feita pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) para o mês de julho (Climanálise, 1993), a convecção tropical na região amazônica fica confinada mais ao Norte, com as cartas médias do vento apresentando ventos de Leste bastantes fracos nos baixos e altos níveis.

As observações “in situ” durante o RBLE2 (Rocha, 1993), mostram que houve a penetração de um sistema frontal entre os dias 7 e 9 de julho, o qual provocou uma precipitação de 3,7mm e uma queda de temperatura de 6°C. Entre os dias 12 e 16 de julho também observou-se a “FRIAGEM”, porém neste período não foram feitas medições “in situ”, uma vez que os equipamentos estavam sendo transportados da Floresta para a Pastagem. Ainda segundo o autor, esta última frente provocou uma diminuição de 6°C na temperatura média e uma precipitação 2,5mm na Pastagem (dia 12).

Rocha et al. (1994) analisaram a estrutura da atmosfera durante o RBLE2 e verificaram que a frente fria nos dias 7 a 9 provocou uma queda de umidade na baixa troposfera, até 700mb, na área de Floresta. Seus perfis de umidade também mostram que acima deste nível até 500mb, a atmosfera ficou mais úmida em relação ao período normal durante o experimento, indicando a presença de nuvens bastantes desenvolvidas que provavelmente precipitaram mais a Oeste.

4.1.2 - Variação dos parâmetros à superfície

A importância dos balanços de radiação e de energia na Floresta para a manutenção do equilíbrio entre as trocas radiativas e energéticas é evidente. No balanço de energia, de um modo geral, a taxa de energia disponível em forma de calor latente é bem maior do que a de calor sensível na Floresta tropical úmida. Com o desmatamento, o albedo aumenta e a umidade diminui, como consequência a energia em forma de calor latente diminui, enquanto a energia utilizada para aquecer o ar, calor sensível, aumenta e, conseqüentemente a turbulência térmica também aumenta. Desta forma, a CLC é bem mais alta na Pastagem do que na Floresta. Verificou-se que a CLC sobre a Pastagem

apresenta-se 1000m mais alta do que na Floresta, no final da tarde (Lyra et al., 1994; Rocha et al., 1994; Fisch, 1996; Gash et al., 1996; Lyra et al., 1996).

As análises dos termos radiativos e energéticos compõem duas fases: Floresta de 03-06 e 09-10/07 e Pastagem de 18 a 25/07. Em primeiro lugar é feita uma descrição da evolução dos termos radiativos em cada sítio/microclima, e em seguida, uma análise do balanço de energia à superfície. Apesar das fases Floresta e Pastagem terem ocorrido em épocas diferentes, serão comparados os parâmetros adimensionais (Albedo e Razão de Bowen) dos dois microclimas, a fim de se observar a importância das características de superfície. Estas diferenças serão melhor enfocadas na análise dos parâmetros de superfície da fase experimental do RBLE3, onde as análises se referem ao mesmo período.

4.1.2.1 - Componentes do balanço de radiação durante o experimento

Os principais termos do balanço de radiação foram analisados a partir dos valores médios horários da Radiação Solar Global Incidente (R_g), Saldo de Radiação (R_n) e Albedo (α).

A) Floresta

As curvas médias diárias de R_g e R_n apresentam uma ligeira queda entre às 12 e 13HL, devido a presença de nebulosidade (Fig. 4.1). Pela manhã, os valores inicialmente menores, crescem rapidamente até às 11HL, onde atingem um máximo relativo, e decrescem até às 12HL. Após o meio-dia, os valores voltam a crescer até o máximo absoluto às 14HL, e em seguida decrescem até o mínimo no final da tarde. As variações diurnas de R_g e R_n apresentaram valores máximos às 14HL e mínimos às 18HL, com o máximo de R_g igual a $708\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ e

o mínimo 52W.m^{-2} , enquanto que para R_n o máximo foi 527W.m^{-2} e o mínimo -15W.m^{-2} .

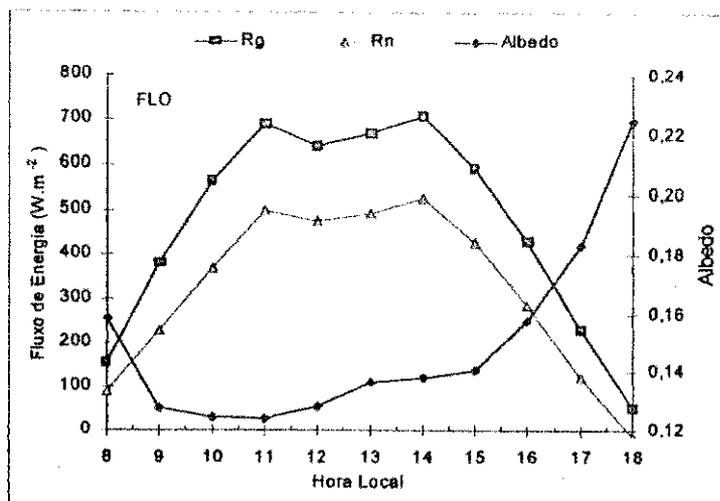


Figura 4.1 - Variação média diurna dos principais componentes do Balanço de Radiação na Floresta durante o RBLE2 (3-6 e 9-10/07/93).

Em se tratando do total de energia na Floresta durante o período diurno, o fluxo médio diário integrado de radiação solar incidente foi de $18,4\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e do saldo de radiação $12,6\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

Com relação ao albedo, a variação média horária é caracterizada por uma seqüência de estágios (Fig. 4.1). Os valores decrescem rapidamente das 08 às 09HL, suavemente das 09HL às 11HL, passando a crescer de forma moderada das 11 às 15HL e crescem bem mais rápido das 15 às 18HL. O valor médio diário foi 0,142, o máximo 0,224 (18HL) e mínimo 0,124 (11HL).

A dependência do albedo com o ângulo zenital é evidente no início e final da tarde, porém não tão óbvia entre 11 e 14HL. O crescimento do albedo neste período está ligado a presença de nuvens as quais causam um aumento na

radiação difusa, diminuindo a radiação direta incidente, aumentando conseqüentemente o albedo (Pinker et al., 1980).

B) Pastagem

No microclima com vegetação de pequeno porte, a evolução temporal das componentes do balanço radiativo é bastante clássica: os valores crescem do início da manhã até atingir o máximo às 13HL, e decrescem até o mínimo no final da tarde (Fig. 4.2). Os valores máximos de R_g , 822W.m^{-2} , e de R_n , 510W.m^{-2} , foram registrados às 13HL, e os mínimos ($R_g = 63\text{W.m}^{-2}$ e $R_n = 6\text{W.m}^{-2}$), às 18HL.

O total de energia ao longo do período diurno na superfície da Pastagem, fluxo médio diário integrado, da radiação solar incidente foi de $19,8\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e do saldo de radiação $11,7\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

Com relação ao albedo, sua dependência com a variação horária do ângulo zenital é bastante nítida, apresentando seu valor mínimo às 13HL (Fig. 4.2). O valor médio diário foi 0,203, o máximo 0,280 (08HL) e o mínimo 0,172 (13HL). Este valor mínimo é cerca de 5% maior do que o valor médio da Floresta.

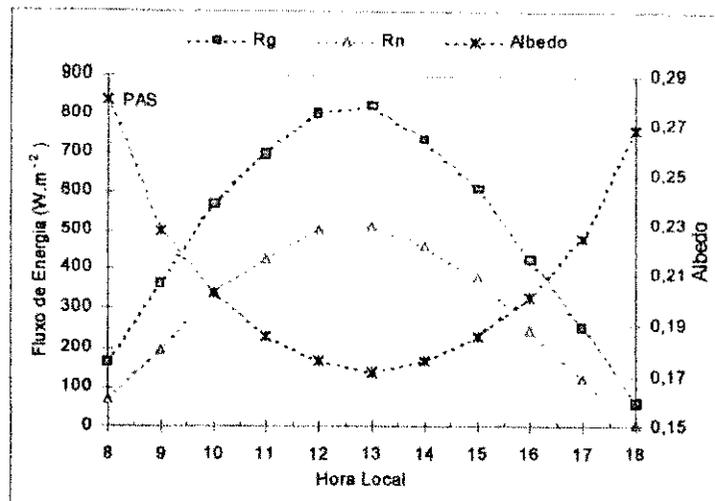


Figura 4.2 - Variação média diária dos principais componentes do Balanço de Radiação na Pastagem durante o RBLE2 (18 a 25/07/93).

4.1.2.2 - Balanço de energia à superfície durante o experimento

A) Floresta

A repartição de energia na Floresta pode ser observada na figura 4.3. Para melhor visualização do gráfico os valores de G foram multiplicados por -10. De um modo geral, os fluxos próximos à superfície crescem proporcionalmente a R_n até atingir o máximo às 14HL e começam a decrescer até o final da tarde. O fluxo estocado na biomassa S , determinado por Fisch (1996), é da mesma ordem de grandeza que o fluxo de calor sensível H . A maior parte da energia disponível à superfície (R_n) é utilizada no processo de evaporação (71%), e o restante para o aquecimento da atmosfera (16%) e a biomassa (12%). O fluxo de calor no solo (G) é muito pequeno, representando um percentual de apenas 0,5%, que o torna praticamente desprezível comparado ao erro instrumental do saldo-radiômetro, que segundo Fisch (1996) é de $\pm 5\%$. A pequena quantidade de energia estocada no solo é função da grande redução de energia que incide

diretamente na superfície em região de floresta tropical. No caso da Amazônia, região de Manaus, Leitão (1994) realizou um estudo bastante complexo.

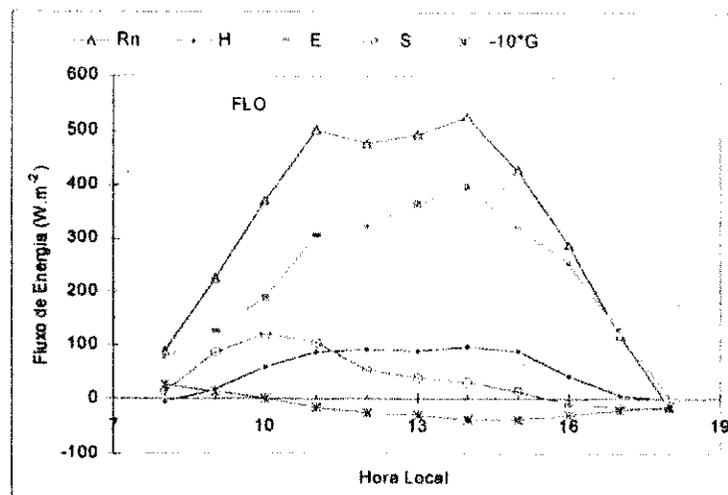


Figura 4.3 - Balanço de Energia na Floresta durante o RBLE2 (3-6 e 9-10/07/93).

A energia estocada na biomassa S desempenhou um papel muito importante na formação da CLN e do nevoeiro. O fato é que a Floresta evaporou durante todo o ciclo diurno, e a presença de nevoeiro na madrugada se deve a utilização da energia liberada pela biomassa juntamente com o resfriamento da atmosfera. A partir das 16HL, os valores de S já se encontravam negativos, contribuindo para antecipar a formação da CLN. Na maioria dos dias, os perfis verticais de temperatura potencial indicavam a camada estável às 17HL, na base da CLC.

Os valores máximos diurno de H, LE e G ocorreram às 14HL, sendo iguais a 96W.m^{-2} , 397W.m^{-2} e 4W.m^{-2} , respectivamente. O fluxo estocado na biomassa atingiu seu máximo 122W.m^{-2} às 10HL. O valor mínimo de H foi -4W.m^{-2} (08HL), de G -2W.m^{-2} (08HL); de LE 4W.m^{-2} (18HL) e de S -14W.m^{-2} (18HL).

Com relação aos fluxos médios diários integrados no período registrou-se $2,05\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ de calor sensível, $8,95\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ de calor latente, $1,54\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ estocado na biomassa e $0,04\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ de calor no solo.

A amplitude da Razão de Bowen (β) caracteriza bem a importância do termo do calor latente na Floresta. A evolução diurna é caracterizada por dois máximos e dois mínimos (Fig. 4.4). Os valores de β crescem do início da manhã até o máximo absoluto às 10HL (0,34), decrescem até o mínimo relativo às 14HL (0,23), logo após atingem o máximo secundário às 15HL (0,29), e continuam a decrescer até o mínimo relativo às 17HL (0,06), sofrendo um ligeiro acréscimo às 18HL (0,10).

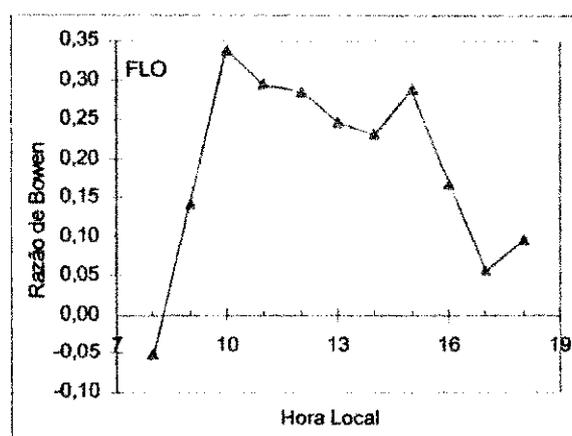


Figura 4.4 - Variação média diurna da Razão de Bowen (β) para a Floresta durante o RBLE2 (3-6 e 9-10/07/93).

Os valores de β no início da manhã e final da tarde, devem ser observados com cuidado. Nestes períodos a precisão das medidas é bem menor, além do que os valores de H e LE são pequenos, implicando em erros grandes, ou seja, a variação de alguns Watts.m^{-2} em um dos termos pode significar muito em relação ao outro. Em todo caso, os valores plotados na figura 4.4 parecem ser

coerentes, já que com o resfriamento radiativo H se torna negativo, podendo ou não LE tornar-se negativo (com a presença de orvalho).

B) Pastagem

A evolução média diurna dos componentes do balanço de energia na Pastagem é apresentada na figura 4.5. Em termos de variações diurnas, H e G apresentam valores máximos às 13HL, 347W.m^{-2} e 47W.m^{-2} respectivamente, enquanto que LE apresenta um máximo às 12HL igual a 128W.m^{-2} . O valor mínimo diurno de H foi $-1,6\text{W.m}^{-2}$ (18HL), de LE 5W.m^{-2} (18HL) e de G -4W.m^{-2} (08HL).

A energia disponível à superfície (R_n) é utilizada principalmente para o aquecimento da atmosfera ($H = 70\%$), uma parte bem menor para transferir umidade da superfície para a atmosfera ($LE = 23\%$) e o restante para transferência molecular de calor no solo ($G = 7\%$). Estes percentuais representam um fluxo médio diário integrado igual a $8,20\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ de calor sensível, $2,71\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ de calor latente e apenas $0,79\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ de calor no solo, utilizando toda a energia disponível à superfície, $11,7\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

Durante o RBLE2 a Pastagem estava muito seca, devido a combinação de quatro fatores: i) avanço da estação seca; ii) Choveu apenas 2,3mm (seis dias antes do início); iii) A vegetação da Pastagem não tem um sistema radicular suficiente para extrair a água em níveis mais profundo do solo. iv) Foi verificado a penetração de uma frente fria com características de massa de ar seca, nos dias 12 e 13, a qual foi responsável por uma queda no valor mínimo da umidade relativa do ar na superfície da Pastagem (55% no dia 13 para 34% no dia 24). Esta frente provocou precipitação na Pastagem no dia 12 (Rocha, 1993).

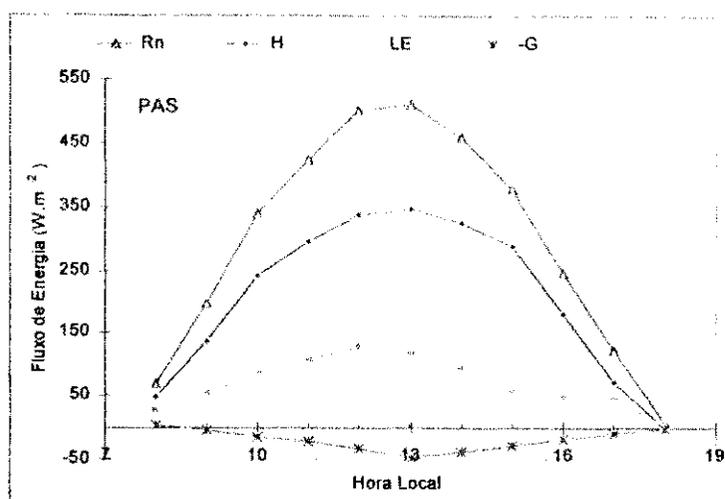


Figura 4.5 - Balanço de Energia na Pastagem durante o RBLE2 (18 a 25/07/93).

Pode ser observado na figura 4.5, que a taxa máxima de evaporação ocorreu às 12HL, uma hora antes dos demais fluxos atingirem seus máximos, devido a não disponibilidade de água para evaporar, sugerindo que foi alcançado o ponto de "stress" hídrico neste horário.

Verificando a razão de Bowen na Pastagem, pode-se notar a predominância do fluxo de calor sensível em todos os horários, com exceção das 18HL (Fig. 4.6). A evolução temporal de β apresenta vários comportamentos. Inicialmente os valores crescem das 08 às 10HL, passam a decrescer suavemente das 10 às 12HL, retornam a crescer das 12 às 14HL, crescem mais acentuadamente das 14 às 15HL, e em seguida passam a decrescer até o final da tarde. As menores variações de β , ocorrem entre 10 e 14HL, cujos valores estão em torno de 3. Todavia, a amplitude total é bastante significativa, com o valor máximo de 6,1 (15HL) e o mínimo -0,4 (18HL). O valor médio foi de 2,9.

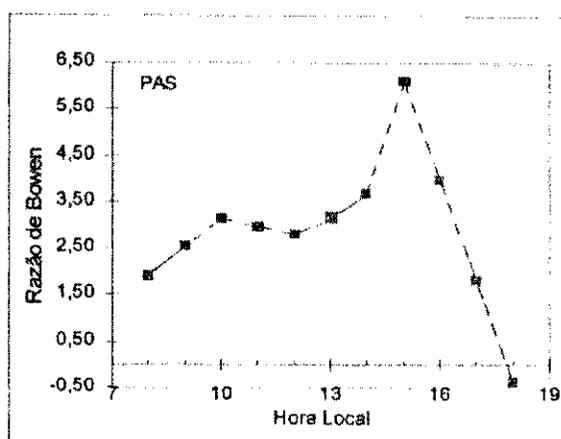


Figura 4.6- Variação média diurna da Razão de Bowen (β) para a Pastagem durante o RBLE2 (18 a 25/07/93).

O comportamento de β no período das 15 às 18HL, é decorrente do rápido decaimento do fluxo de calor sensível, quando o calor latente LE se mantém praticamente constante.

C) Comparação Floresta e Pastagem

Mesmo com as medições em períodos diferentes, é importante ressaltar algumas características dos dois microclimas.

O albedo na Pastagem, como haveria de se esperar, dada principalmente as diferenças de vegetação, é sempre superior ao da Floresta (α médio na Floresta = 0,142; na Pastagem = 0,203), com uma diferença máxima de 0,079 às 08HL (Fig. 4.7). A dependência do albedo com o ângulo zenital é melhor verificada na Pastagem, dada as condições de céu claro. Na Floresta ela foi reduzida substancialmente, por causa da presença de nuvens, porém a partir da tarde esta dependência fica evidenciada e α nos dois sítios tendem a manter um comportamento clássico.

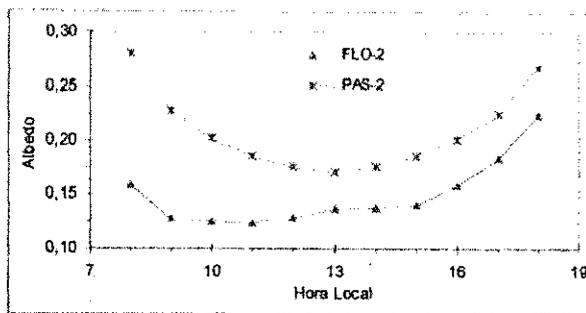


Figura 4.7- Comparação do albedo (α) na Floresta e Pastagem durante o RBLE2.

Na figura 4.8 são comparadas as curvas médias da razão de Bowen dos dois microclimas, com os valores de β na Pastagem reduzidos ($\beta = \beta/10$). A principal observação é que apesar dos valores na Pastagem serem da ordem de 16 vezes os da Floresta, as curvas/variações diurna são relativamente semelhantes. Isto não significa que tenham o mesmo comportamento, devido principalmente a dois aspectos: i) Na Floresta o termo LE domina, assim LE é grande e H é pequeno. O valor de LE é 4 vezes superior ao de H; equivalendo a uma diferença de $6,85 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$; ii) Na Pastagem o termo H é dominante e 3 vezes maior que LE, o que representa uma diferença de $5,51 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. O valor de H na Pastagem é cerca de 4 vezes maior que na Floresta, com uma diferença de $6,15 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ($8,21 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ contra $2,06 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$). O valor de LE na Floresta é 3 vezes maior que na Pastagem, sendo a diferença igual a $6,21 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ($2,70 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ contra $8,91 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$).

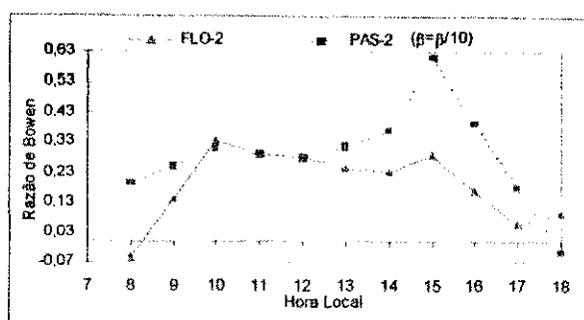


Figura 4.8- Comparação da Razão de Bowen (β) na Floresta e Pastagem durante o RBLE2. Os valores de β na Pastagem estão divididos por 10.

4.1.3 - Evolução da Camada Limite Atmosférica durante o experimento

Será analisado paralelamente a evolução diurna CLA na Floresta e na Pastagem através da sua altura média (Z_i) e dos valores médios horários, no seu interior, da temperatura potencial ($\bar{\theta}$), velocidade do vento (\bar{V}), gradiente vertical de temperatura potencial virtual ($\bar{\nabla}_v \bar{\theta}_v$) e umidade específica (\bar{q}), obedecendo esta ordem. A medida que a análise for se desenvolvendo será estabelecida uma comparação entre os dois microclimas. Os valores diários dos parâmetros na CLA ao longo do experimento na Floresta e Pastagem, bem como as médias horárias com seus respectivos desvios padrões, encontram-se no apêndice A.

Inicialmente, é apresentado o crescimento diurno da CLA (CLC), a partir dos valores médios das 08 (dados BC), 11, 14 e 17HL (dados RS). Lembrando que no RBLE2 as medidas foram realizadas primeiro na Floresta e em seguida na Pastagem. No início da manhã (08HL), a altura da CLC na Floresta foi 28% superior a da Pastagem, o valor médio Z_i na Floresta é 66m contra 52m na Pastagem. Como neste horário a turbulência térmica normalmente ainda não é muito intensa, a altura Z_i é determinada principalmente pela

turbulência dinâmica. Como os ventos foram praticamente iguais nos dois sítios (ver figura 4.11), a turbulência dinâmica foi maior na Floresta, dada a maior rugosidade da superfície, conseqüentemente a CLC às 08HL foi mais alta do que na Pastagem. Nos horários subsequentes Z_i na Pastagem foi sempre superior devido a maior eficiência térmica na Pastagem, o que implica numa CLC mais turbulenta e com mais convecção, conforme será verificado no RBLE3. Os valores na Floresta foram 542m às 11HL, 961m às 14HL e 1260m às 17HL e na Pastagem 841m às 11HL, 1562m às 14HL e 2061m às 17HL (Fig. 4.9). A diferença entre as alturas da CLC da Floresta e Pastagem aumenta ao longo do período diurno, sendo inicialmente de 14m no início da manhã (08HL) e de 801m no final da tarde (17HL).

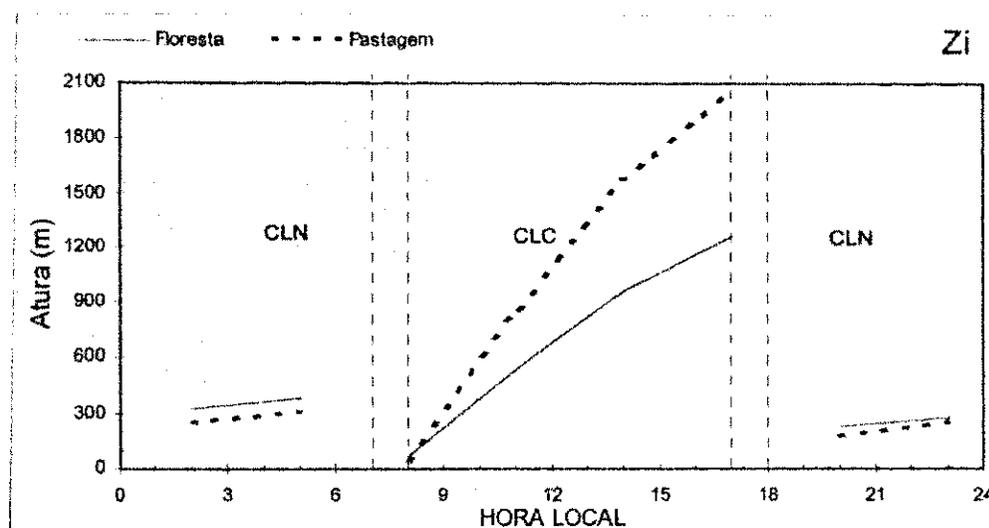


Figura 4.9 - Evolução Temporal da Altura Média da CLA durante o RBLE2, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

Em ambos os sítios, a maior taxa de crescimento ocorre no período das 08HL às 11HL, sendo igual a $158,7\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ na Floresta e $263,0\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ na Pastagem, e a menor taxa de crescimento ocorre no período das 14HL às 17HL, e

equivalente a $99,7\text{m.h}^{-1}$ na Floresta e $166,3\text{m.h}^{-1}$ na Pastagem. Estas taxas de crescimento estão ligadas às taxas de aquecimento, como será visto no decorrer da discussão.

A CLN apresenta uma evolução acentuada no início da noite, passando a taxas discretas a partir das 21HL (Fig. 4.9). A altura média na Floresta às 20HL foi de 227m, como o resfriamento radiativo continua, a camada se tornou mais profunda, atingindo 282m às 23HL, 322m às 02HL, e 384m às 05HL. Martin et al. (1988) encontrou valores ligeiramente mais baixos para a Amazônia Central. Na Pastagem a altura média às 20HL foi 171m, aumentando para 246m às 23HL, 247m às 02HL, e 309m às 05HL. Na Floresta a CLN foi sempre mais espessa, o valor médio de Z_i foi 304m contra 243m na Pastagem. Este fato, é decorrente da presença de nevoeiros de madrugada, da energia estocada na biomassa pela Floresta durante o dia e liberada à noite, e da maior rugosidade da Floresta (mais turbulência dinâmica).

4.1.4 - Variação dos parâmetros médios no interior da Camada Limite Atmosférica

4.1.4.1 - Temperatura potencial ($\bar{\theta}$)

A forma de evolução temporal de $\bar{\theta}$ nos dois sítios segue a mesma tendência (Fig. 4.10). O aquecimento da CLC se verifica ao longo do período diurno, e o resfriamento da CLN ao longo do período noturno até o valor mínimo da temperatura de madrugada. A camada limite é sempre mais quente na Pastagem.

Na CLC da Floresta o valor médio de $\bar{\theta}$ foi 301,2K, o máximo 304,5K e o mínimo 295,0K, enquanto que na Pastagem o valor médio foi

303,1K, o máximo 305,9K e o mínimo 296,3K. A diferença média entre os dois sítios foi 1,9K, a máxima 3,2K (11HL) e a mínima 1,3K (08HL).

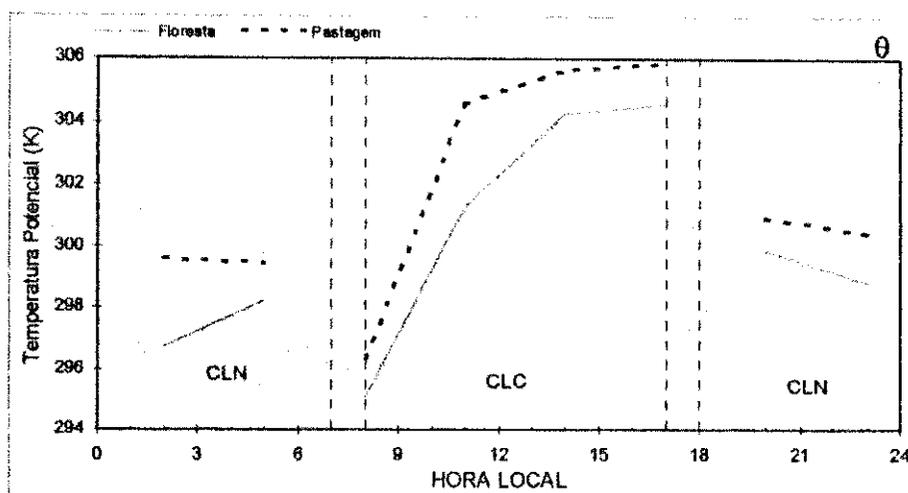


Figura 4.10 - Evolução Temporal da Temperatura Potencial Média na CLA durante o RBLE2, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

Conforme comentado anteriormente, o crescimento da CLC é diretamente proporcional a taxa de aquecimento. As maiores taxas de aquecimento observadas foram $2,1K.h^{-1}$ na Floresta e $2,7K.h^{-1}$ na Pastagem, as quais ocorrem no período das 08HL às 11HL; a menor taxa de aquecimento foi de $0,1K.h^{-1}$ na Floresta e Pastagem, no final da tarde (14HL às 17HL). Este fato, está intimamente ligado aos fluxos de calor sensível à superfície e aos fluxos de entranhamento no topo da Camada de Inversão (CI). Pela manhã, estes dois termos se somam e causam um considerável aquecimento na CLC. À tarde, os fluxos de calor sensível H se estabilizam, e em seguida passam a decrescer até o final da tarde, causando a manutenção (ou ligeiro acréscimo) da temperatura da camada devido primariamente ao fluxo de entranhamento - as parcelas de ar da CLC atingem a CI e retornam mais quentes e secas. As maiores taxas de aquecimento foram relacionadas ao ganho de H , entre às 08 e 11HL, $89,66W.m^{-2}$ na

Floresta e $247,93\text{W.m}^{-2}$ na Pastagem. As menores taxas de aquecimento na CLC, corresponderam a uma diminuição de fluxo de calor igual a $-88,67\text{W.m}^{-2}$ na Floresta e $-254,59\text{W.m}^{-2}$ na Pastagem. Por outro lado, a intensidade da CI aumentou das 08 às 17HL: o gradiente vertical de temperatura potencial virtual na CI passou de $1,8\text{K.km}^{-1}$ para $3,3\text{K.km}^{-1}$ na Floresta e de $3,6\text{K.km}^{-1}$ para $8,0\text{K.km}^{-1}$ na Pastagem (Fisch, 1996).

Na CLN da Floresta, o valor médio de $\bar{\theta}$ foi 298,4K, o máximo 299,8K (20HL) e o mínimo 296,7K (02HL). Na Pastagem o valor médio foi 300,1K, o máximo 300,9K (20HL) e o mínimo 299,4K (05HL). A diferença média entre os dois sítios foi 1,7K, a máxima 2,9K (02HL) e a mínima 1,1K (20HL).

No período das 02HL às 05HL ocorre um acréscimo de $\bar{\theta}$ na Floresta, igual a 1,5K. Este aquecimento provavelmente está relacionado a formação de nevoeiros pela madrugada, conforme observaram Silva & Lyra (1997).

4.1.4.2- Velocidade do vento (\bar{V})

O comportamento médio da Velocidade do Vento na CLA (\bar{V}) nos dois sítios é mostrado na figura 4.11. Ao longo do ciclo diurno os ventos são sempre superiores na Pastagem, exceto às 14HL. Na CLC da Floresta, a velocidade do vento se mantém constante pela manhã, atinge o máximo às 14HL ($4,0\text{m.s}^{-1}$) e diminui no restante da tarde. Na CLC da Pastagem, a velocidade do vento aumenta até o máximo às 11HL ($4,3\text{m.s}^{-1}$) e diminui até às 17HL. Na CLN da Floresta, a velocidade o vento cresce até às 23HL e se mantém praticamente constante até às 05HL, enquanto que na Pastagem os ventos crescem até às 02HL e decrescem até às 05HL.

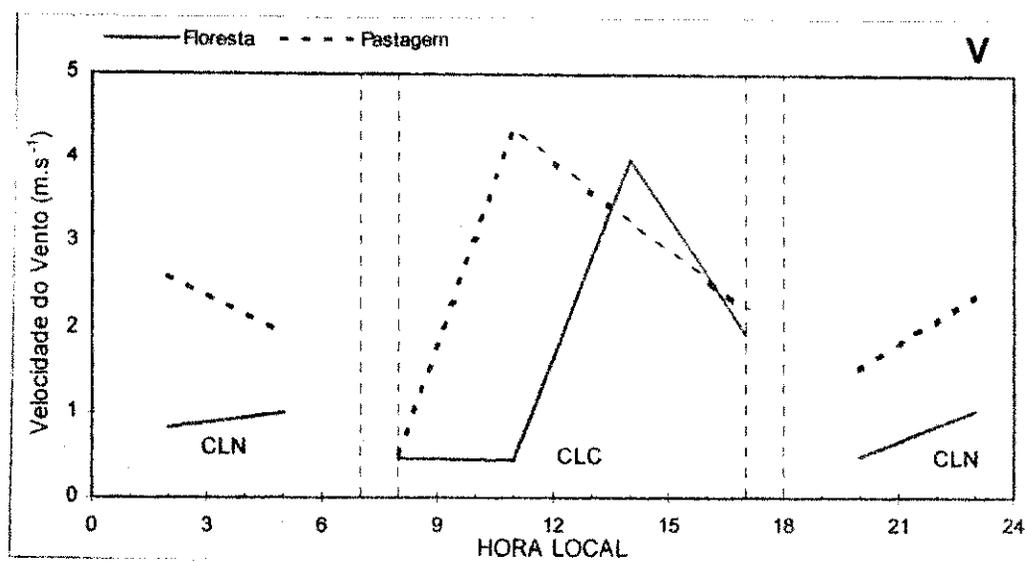


Figura 4.11 - Evolução Temporal da Velocidade Média do Vento na CLA durante o RBLE2, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

Na CLC da Floresta o valor médio de \bar{V} foi $1,7\text{m.s}^{-1}$ e o mínimo $0,4\text{m.s}^{-1}$ (11HL). Na Pastagem, o valor médio foi $2,6\text{m.s}^{-1}$ e o mínimo $0,5\text{m.s}^{-1}$ (08HL). A diferença média entre os dois sítios foi $1,1\text{m.s}^{-1}$, a máxima $3,9\text{m.s}^{-1}$ (11HL) e mínima $0,03\text{m.s}^{-1}$ (08HL).

Na CLN da Floresta, o valor médio de \bar{V} foi $0,8\text{m.s}^{-1}$, o máximo $1,0\text{m.s}^{-1}$, observado às 23HL e 05HL, e o mínimo $0,5\text{m.s}^{-1}$ (20HL). Na Pastagem o valor médio foi $2,1\text{m.s}^{-1}$, o máximo $2,6\text{m.s}^{-1}$ (02HL) e o mínimo $1,5\text{m.s}^{-1}$ (20HL). A diferença média entre os dois sítios foi $1,3\text{m.s}^{-1}$, a máxima $1,8\text{m.s}^{-1}$ (02HL) e a mínima $0,9\text{m.s}^{-1}$ (05HL).

4.1.4.3 - Gradiente da temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \theta_v}$)

Devido ao fato de não ter sido levado em consideração a CLS, por falta de lançamentos do BC no período das 07-16HL, e da CM (neutra) ser da ordem de 3 vezes a CLS, nota-se uma enorme diferença entre os gradientes

médios observados na CLA e na CLN (Fig. 4.12). Na CLC $\overline{\nabla_v \theta_v}$ é ligeiramente instável devido a instabilidade próxima ao solo (CLS), na CLN é estável, como era de se esperar. Durante o dia, a instabilidade diminui a medida que a relação entre as espessuras da CS e da CM diminui, pois trata-se de uma CLC bem mais espessa. Durante a noite o gradiente médio é da ordem de 10 vezes o observado na CLC e sempre mais superior na Pastagem. A forma de evolução não pode ser analisada uma vez que o número de pontos é muito pequeno (apenas 3 casos).

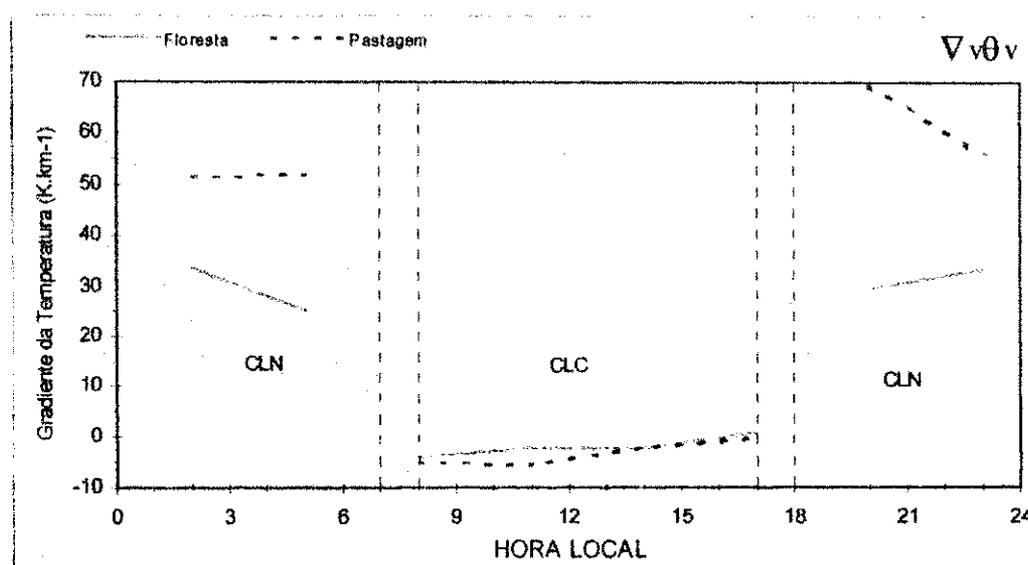


Figura 4.12 - Evolução Temporal do Gradiente Vertical Médio de Temperatura Potencial Virtual na CLA durante o RBLE2, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

Na CLC da Floresta, o valor médio de $\overline{\nabla_v \theta_v}$ foi igual a $-2,0 \text{ K.km}^{-1}$, o máximo $0,7 \text{ K.km}^{-1}$ (17HL) e o mínimo $-4,3 \text{ K.km}^{-1}$ (08HL). Na Pastagem, o valor médio de $\overline{\nabla_v \theta_v}$ foi $-3,5 \text{ K.km}^{-1}$, o máximo $-0,6 \text{ K.km}^{-1}$ (17HL) e o mínimo $-5,5 \text{ K.km}^{-1}$ (11HL). A diferença média de $\overline{\nabla_v \theta_v}$ entre Floresta e Pastagem foi igual a $1,4 \text{ K.km}^{-1}$ e a máxima $3,3 \text{ K.km}^{-1}$ (11HL).

Na CLN da Floresta, o valor médio de $\overline{V_v \theta_v}$ foi igual a $30,2 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1}$, o máximo $33,4 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1}$ (02HL) e o mínimo $25,1 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1}$ (05HL). Na Pastagem o valor médio de $\overline{V_v \theta_v}$ foi igual a $57,2 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1}$, o máximo $69,8 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1}$ (20HL) e o mínimo $51,5 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1}$ (02HL). A diferença média entre o $\overline{V_v \theta_v}$ da Floresta e Pastagem foi $26,9 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1}$, a máxima $40,3 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1}$ (20HL) e a mínima $18,1 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1}$ (02HL).

4.1.4.4 - Umidade específica (\bar{q})

A Umidade Específica média na CLA (\bar{q}) varia de maneira similar nos dois sítios (Fig. 4.13). Durante o dia (CLC), decresce do nascer ao pôr do sol, à noite (CLN) há um significativo aumento de umidade, em relação ao valores do final da tarde, da ordem de $3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ em ambos os sítios. Os ciclos noturnos foram semelhantes, marcados por uma diminuição à noite e um suave aumento durante a madrugada.

Na CLC da Floresta o valor médio de \bar{q} foi igual a $14,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, o máximo $14,8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (08HL) e o mínimo $13,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (17HL). Na Pastagem o valor médio foi $10,0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, o máximo $12,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (08HL) e o mínimo $8,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (17HL). A diferença média entre os dois sítios foi de $4,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, a máxima $5,2$ (17HL) e a mínima $2,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (08HL).

O decréscimo na CLC da Pastagem foi muito maior e representou uma taxa de $-0,47 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, enquanto que na Floresta foi $-0,12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, devido a maior eficiência da convecção e o não suprimento de vapor d'água à superfície, via calor latente, implicando numa CLC bem mais espessa. O fato é que, durante o RBLE2 a Pastagem estava muito seca, conforme foi verificado nas observações

de superfície. O fluxo integrado de calor latente na Pastagem foi menos do que um terço do equivalente na Floresta ($2,70\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ versus $8,92\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$).

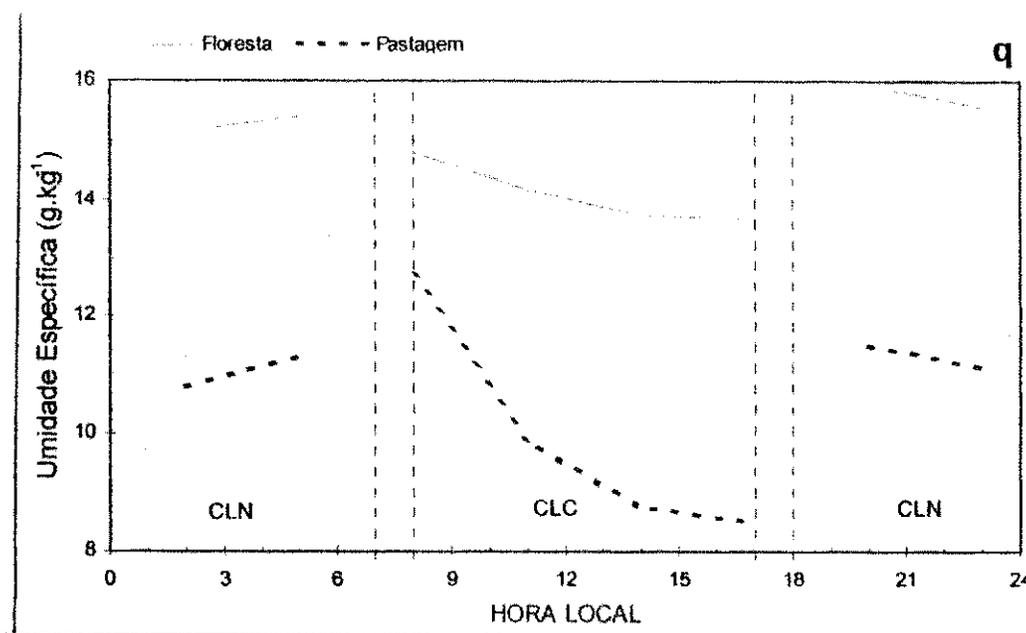


Figura 4.13 - Evolução Temporal da Umidade Específica Média na CLA durante o RBLE2, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

Na CLN da Floresta o valor médio foi de $15,5\text{g.kg}^{-1}$, o máximo $15,9\text{g.kg}^{-1}$ (20HL) e o mínimo $15,2\text{g.kg}^{-1}$ (02HL). Na Pastagem o valor médio foi de $11,2\text{g.kg}^{-1}$, o máximo $11,5\text{g.kg}^{-1}$ (20HL) e o mínimo $10,8\text{g.kg}^{-1}$ (02HL). A diferença média entre os dois sítios foi de $4,3\text{g.kg}^{-1}$, a máxima $4,5\text{g.kg}^{-1}$ (23HL) e a mínima $4,1\text{g.kg}^{-1}$ (05HL).

4.2 - EXPERIMENTO RBLE3

4.2.1 - Condições sinóticas sobre a região durante o experimento

A carta média do mês de agosto do Centro de Análise do Clima/EUA (CDB, 1994), mostra que em baixos níveis a região de Rondônia está

sob o domínio de um sistema de alta pressão, com o centro na parte Central do Brasil. O Estado está localizado na porção Noroeste do sistema. O vento é de Leste com velocidade inferior a 5m.s^{-1} . A média climatológica mensal, obtida para o período de 79 a 1988, apresenta anomalia de vento muito fraca de Oeste-Noroeste.

Nos altos níveis (200mb) o sistema de alta pressão ainda persiste, porém mais fraco e menos extenso. Sobre o Estado, o vetor vento é muito fraco, praticamente nulo. A anomalia desse vetor, baseada na média mensal climatológica dos 10 anos, é de Leste com 5m.s^{-1} .

Os campos médios de Divergência e de Radiação de Ondas Longas (ROL) confirmam a subsidência sobre a região em estudo, os quais apresentam convergência em altos níveis e um valor de ROL de 260W.m^{-2} . O centro desta convergência em 200mb está aproximadamente a 17°S de latitude e 50°W de longitude, com uma intensidade de $-4 \times 10^{-6}\text{s}^{-1}$, e atinge o Estado de Rondônia com valores ligeiramente maiores que $-3 \times 10^{-6}\text{s}^{-1}$.

Sobre a América Central atua uma divergência em altos níveis, atingindo um máximo de $4 \times 10^{-6}\text{s}^{-1}$, e a ROL valores de até 180Wm^{-2} , indicando convergência em baixos níveis, conseqüentemente bastante chuva sobre este continente.

4.2.2 - Variação dos parâmetros à superfície

Como no RBLE2, os parâmetros de superfície serão analisados ao longo do período diurno. Da mesma forma, procurar-se-á descrever os balanços radiativo e energético de cada microclima, e principalmente compará-los, visto que, neste caso, as medidas são simultâneas (14 a 25/08/94). Os resultados serão

apresentados pela análise inicial na Floresta, seguida na Pastagem e depois uma comparação entre os dois sítios.

4.2.2.1 - Componentes do balanço de radiação durante o experimento

A) Floresta

A variação média diurna da radiação global, do saldo de radiação e do albedo é mostrada na figura 4.14. A evolução de R_n e R_g é bastante clássica, bem como a curva do albedo. Este tipo de comportamento também foi observado na região Norte da Amazônia, Reserva Ducke, durante a estação chuvosa (Viswanadham et al., 1987).

Com relação aos valores diários, as flutuações de R_g e R_n foram muito pequenas sobre os dois sítios, quase que imperceptíveis, dadas as condições de céu claro ao longo do período. Os desvio máximos de R_g e R_n ocorrem no início da manhã e final da tarde em ambos os sítios, devido a sensibilidade dos sensores nestes horários. Em alguns dias os valores de R_g e R_n apresentaram três picos diurnos com uma taxa de crescimento bastante rápida. Viswanadham et al. (1987) encontraram semelhante comportamento para a Reserva Ducke, sendo indicativo da presença de uma forte instabilidade na atmosfera.

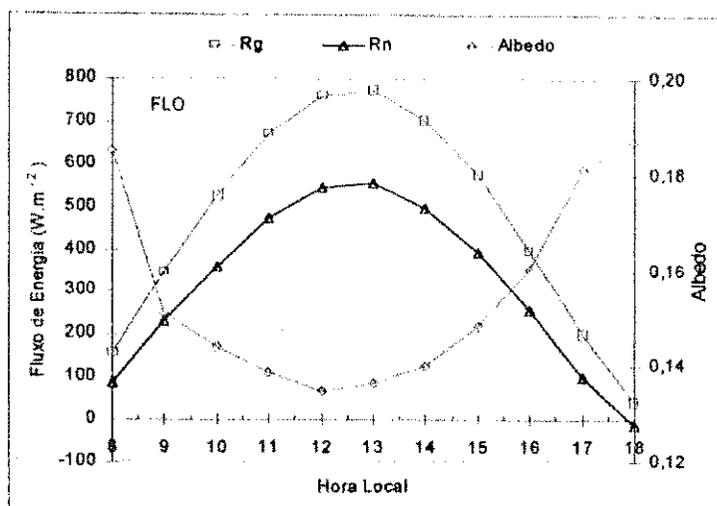


Figura 4.14 - Variação média diurna dos principais componentes do balanço de radiação na Floresta durante o RBLE3 (14-25/08/94).

Os valores extremos da energia solar incidente apresentaram um valor máximo de 776 W.m^{-2} e um mínimo de 45 W.m^{-2} . Enquanto que para o saldo de radiação o valor máximo foi de 556 W.m^{-2} e o mínimo de -15 W.m^{-2} . Os valores máximos foram observados às 13HL e os mínimos às 18HL.

O comportamento do albedo (Fig. 4.14) é semelhante ao verificado em outros trabalhos (Pinker et al., 1980; Viswanadham et al., 1987; Allen et al., 1994), onde os valores mais elevados do albedo são encontrados no início da manhã e final da tarde, quando o ângulo zenital está próximo ao seu valor máximo. A variação diurna do albedo praticamente não apresenta flutuações significativas.

Os valores diários do albedo, mostram uma maior densidade em torno de 0,140 e um valor médio diurno de 0,155, máximo de 0,187 (18HL) e mínimo de 0,135 (12HL).

Este valor médio diurno (0,155) é ligeiramente superior, cerca de 2%, aos encontrados em outros trabalhos (Salati et al., 1984; Viswanadham et al., 1987; André et al., 1988; Fischl et al., 1994). Isto se deve a escolha do período, 08-18HL, onde os valores mais elevados no início da manhã e final da tarde aumentaram a média. A maioria dessas pesquisas se referem a porção Norte e Leste da região amazônica. Culf et al. (1995) também analisaram o comportamento do albedo da região Sul da Amazônia (Rondônia) porém o enfoque foi dado a variação sazonal do albedo em cada uma das três regiões de áreas de floresta nativa e desmatada.

Os valores do albedo no período de 17-18HL, estão sujeitos a grandes erros. Nestes períodos os fluxos de radiação são pequenos, e da mesma ordem do erro dos instrumentos. Esse erro é propagado quando se calcula a razão entre eles ($\alpha=R_r/R_g$).

B) Pastagem

A figura 4.15 apresenta a variação média diurna dos componentes do balanço de radiação ao longo do experimento. O comportamento é semelhante ao observado na Floresta diferindo apenas em seus valores absolutos. As variações diárias também foram insignificantes. O máximo de R_g ($754W.m^{-2}$) ocorreu uma hora antes do máximo de R_n ($478W.m^{-2}$ às 13HL), enquanto os mínimos ocorreram às 18HL, R_g $37W.m^{-2}$ e R_n $-17W.m^{-2}$.

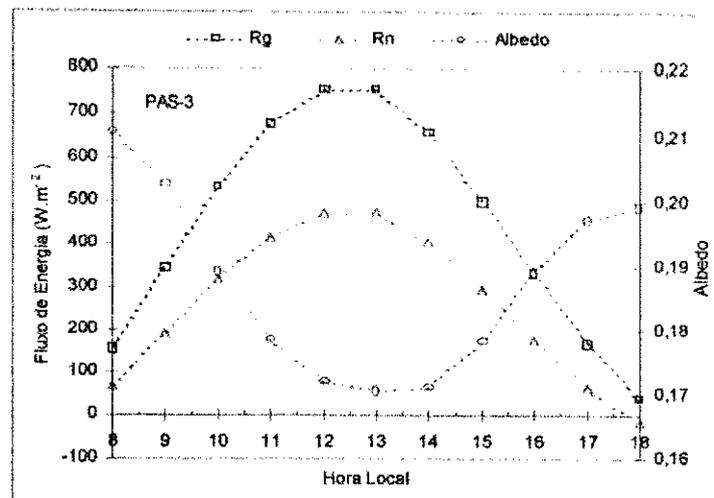


Figura 4.15 - Variação média diurna dos principais componentes do balanço de radiação na Pastagem durante o RBLE3 (14-25/08/94).

Quanto ao albedo (Fig. 4.15), a maior densidade dos valores está a cerca de 0,180, com um valor um máximo de 0,211 (08HL) e um mínimo de 0,170 (13HL). O valor médio foi de 0,187, sendo praticamente igual ao encontrado por Bastable et al. (1993) e Culf et al. (1995) que foi de 0,180.

C) Comparação Floresta e Pastagem

Na maioria dos horários durante o dia, Rg foi superior na Floresta (Fig. 4.16). A diferença entre Rg sobre a Floresta e a Pastagem é mais significativa a partir das 12HL, com 7W.m^{-2} , atingindo uma diferença máxima às 15HL, 74W.m^{-2} , e diminuindo gradativamente até às 17HL, 32W.m^{-2} . Supondo que os instrumentos sobre a Floresta e a Pastagem tenham sido intercalibrados, esta diferença entre os Rg nos dois sítios pode ter sido causada por uma menor transmissividade (profundidade óptica) sobre a Pastagem, que no presente caso foi igual a 95,3% a da Floresta. Esta redução de 4,7% na transmissividade sobre a Pastagem, provavelmente tenha sido causada pelo grande número de queimadas

observadas sobre este sítio, durante o período em estudo. Este fato, também foi observado por Fisch (1996).

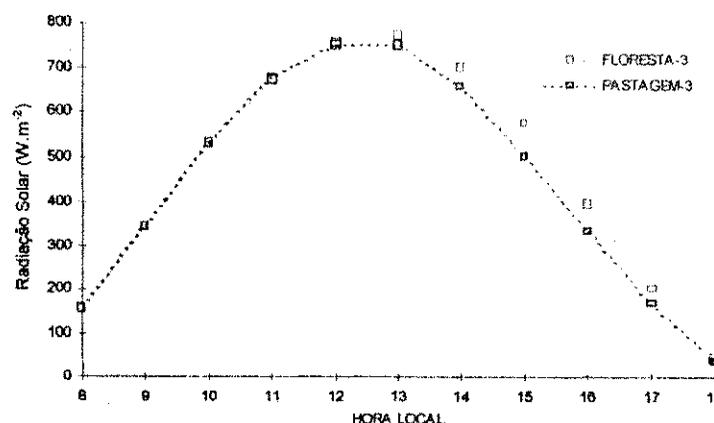


Figura 4.16 - Variação média diurna da radiação solar incidente sobre a Floresta e a Pastagem, durante o RBLE3 (14-25/08/94).

Comparando o fluxo médio diário integrado na Floresta e Pastagem, a radiação solar incidente na Floresta foi de $18,4\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e na Pastagem de $17,6\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, o que representou uma diferença de $0,8\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. A razão entre a radiação incidente na Pastagem e na Floresta foi de 0,95, que é ligeiramente inferior a razão encontrada no RBLE2, 1,08. O saldo de radiação apresentou um total na Floresta igual a $12,6\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e na Pastagem $10,4\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, implicando numa diferença de $2,2\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, sendo que $0,8\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ foi devido à fumaça das queimadas e o restante, $1,4\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, principalmente por causa da capacidade de reflexão da superfície, o albedo.

4.2.2.2 - Balanço de energia à superfície durante o experimento

A) Floresta

Os valores médios dos termos do balanço de energia na Floresta são mostrados abaixo (Fig. 4.17). A evolução diurna dos componentes são

semelhantes àquelas normalmente encontradas sobre superfície de floresta (Shuttleworth et al., 1984; Monteny & Casenave, 1989; Lyra 1990; Lyra et al., 1994; Feitosa, 1996). Os fluxos crescem pela manhã até um máximo próximo ao meio-dia e decrescem até o final da tarde.

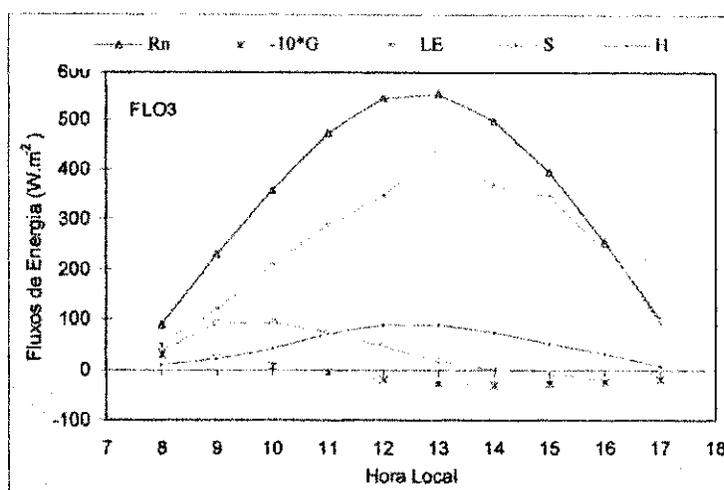


Figura 4.17 - Balanço de energia na Floresta durante o RBLE3 (14-25/08/94).

Uma distinção se faz ao fluxo de calor na biomassa S, determinado por Fisch (1996), que atinge seu máximo no início da manhã às 09HL, torna-se nulo às 14HL e passa a liberar o calor estocado a partir 15HL até retornar o ciclo no dia seguinte, conforme foi observado no RBLE2 (Fig. 4.3) e por outros autores (Moore & Fisch, 1986; Lyra, 1990). O valor médio diurno encontrado por Fisch (1996) foi de 28W.m^{-2} , o máximo de 92W.m^{-2} (10HL) e o mínimo de -22W.m^{-2} (16HL).

A energia disponível à superfície (R_n) ao longo do período diurno é utilizada principalmente para evaporar (71% de R_n). O valor máximo de LE é 444W.m^{-2} (13HL) e mínimo -22W.m^{-2} (18HL). A curva de LE está em fase com R_n , apresentando valores máximos e mínimos no mesmo horários. O restante da

energia é particionada com os fluxos de calor sensível (14%) e estocado na biomassa (9%). O percentual de R_n utilizado para transferências moleculares de calor no solo é muito pequeno ($G=0,3\% R_n$), da mesma forma como observado no RBLE2. O valor máximo de H foi de $88W.m^{-2}$ (12HL) e o mínimo de $7W.m^{-2}$ (17HL). O fluxo de calor no solo G teve um máximo de $3W.m^{-2}$ (14HL) e um mínimo de $-3W.m^{-2}$ às 08HL.

Os fluxos integrados dos componentes do balanço de energia foram $8,97MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ de calor latente, $1,73MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ de calor sensível, $1,16MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ de fluxo estocado na biomassa e $0,04MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ de fluxo no solo.

O variação diurna da razão de Bowen ao longo do experimento pode ser vista na figura 4.18. Observa-se que β cresce durante a manhã até às 12HL e em seguida começa a decrescer até o final da tarde. O valor médio de β na Floresta foi 0,18, o máximo 0,26 (12HL) e o mínimo 0,07 (17HL).

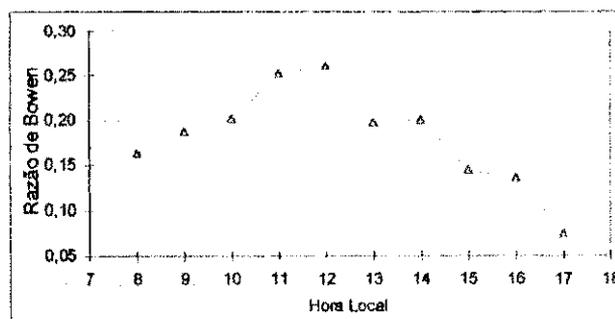


Figura 4.18- Variação média diurna da razão de Bowen (β) para a Floresta durante o RBLE3 (14-25/08/94)..

B) Pastagem

Ao longo do período diurno os valores de H, LE e G acompanham a forma de evolução de Rn (Fig. 4.19). O fluxo de calor sensível foi maior que o fluxo de calor latente no período das 10 às 15HL, conforme é indicado na razão de Bowen (Fig. 4.20). O valor médio de H foi $137,4\text{W.m}^{-2}$, o máximo $238,6\text{W.m}^{-2}$ (13HL) e o mínimo $11,48\text{W.m}^{-2}$ (17HL), contra um valor médio de LE de $120,8\text{W.m}^{-2}$, um máximo de $184,9\text{W.m}^{-2}$ (13HL) e um mínimo de $39,1$ (17HL).

O fluxo de calor no solo representou um percentual bastante significativo de Rn (5,5%). O valor médio de G foi $15,7\text{W.m}^{-2}$, o máximo $25,7\text{W.m}^{-2}$ (13HL) e o mínimo $-2,41\text{W.m}^{-2}$ (08HL).

Em termos de distribuição de energia, do total diário de energia disponível na Pastagem ($10,42\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), o fluxo de calor sensível utiliza $4,95\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, o fluxo de calor latente $4,25\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e o fluxo de calor no solo $0,56\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

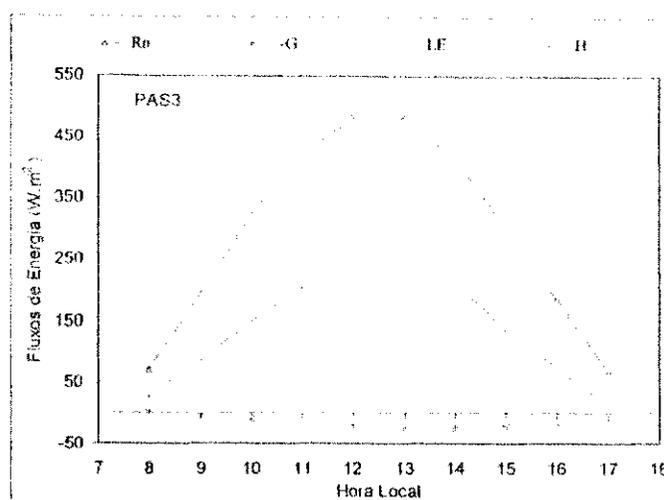


Figura 4.19 - Balanço de energia na Pastagem durante o RBLE3 (14-25/08/94).

A curva média diária da razão de Bowen β apresenta um aumento no período matinal (08-11HL) e uma diminuição até às 15HL, se acentuando em seguida (Fig. 4.20). Pela manhã, os valores às 08HL são inicialmente pequenos (0,59) e crescem rapidamente até às 11HL (1,31). Este aumento ocorre devido ao fluxo de calor sensível aumentar mais que o fluxo de calor latente. No período de transição manhã-tarde (11 às 14HL), observa-se um crescimento suave até atingir um máximo às 12HL (1,33), passando a decrescer até às 14HL (1,27). E por fim, no último estágio, os valores decrescem a partir das 14HL, até alcançar o mínimo diurno às 17HL (0,29). O valor médio de β foi de aproximadamente 1, indicando uma igualdade dos fluxos sensível e latente.

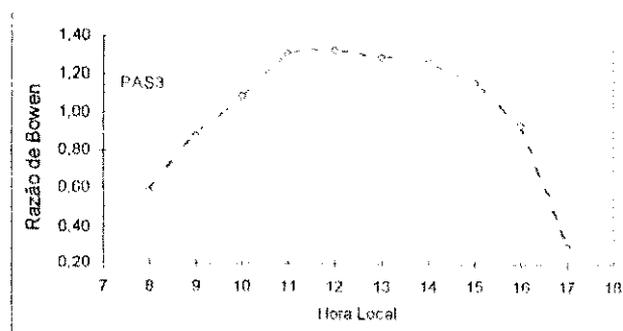


Figura 4.20- Variação média diurna da razão de Bowen (β) para a Pastagem durante o RBLE3 (14-25/08/94).

C) Comparação Floresta/Pastagem dos parâmetros adimensionais

O albedo da Pastagem foi sempre superior ao da Floresta, com uma diferença máxima de 0,05 às 9HL. Os valores do albedo, tanto sobre a superfície da Floresta como da Pastagem, coberta por capim, são máximos para maiores ângulos zenitais, próximos ao nascer e pôr do sol, e geralmente mínimos ao meio-dia (Figura 4.21). Pela própria definição do albedo, o fator determinante em seus valores é a grande quantidade de energia solar ao meio-dia, em relação aos valores no período de transição. Além disso, a cobertura vegetal intercepta mais energia no horário de máxima incidência solar, e no caso da Floresta esta energia é em grande parte estocada na biomassa. No presente caso, a maior influência do ângulo zenital sobre o albedo foi verificada na Floresta.

O maior albedo sobre a Pastagem, causa uma redução no saldo de radiação (R_n). A diferença média de 3% entre os albedos sobre a Pastagem e a Floresta, implicaram numa redução de 613 W.m^{-2} , para o período de 08 às 17HL. A diferença anual é de 4,6%, sendo que na estação seca é de 4,3% (Pinker et al., 1980; Culf et al., 1995).

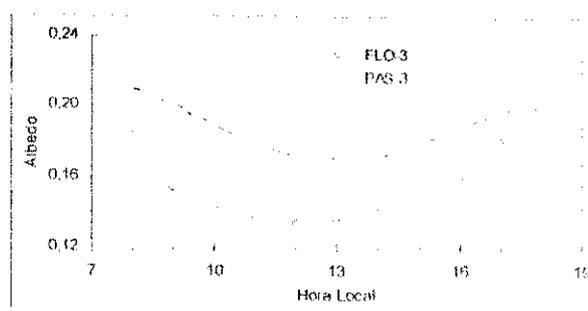


Figura 4.21- Comparação do albedo (α) na Floresta e Pastagem durante o RBLE3 (14 - 25/08/94).

A razão de Bowen na Pastagem foi maior que a da Floresta cerca de 5,6 vezes (Fig. 4.22). Visando uma melhor apresentação, os valores na Pastagem foram reduzidos por um fator de 10 ($\beta = \beta/10$). Como foi verificado na repartição dos fluxos, a Floresta utiliza uma maior quantidade de energia para evaporar, enquanto que a Pastagem utiliza mais energia para a aquecer o ar.

Os máximos e mínimos observados ocorrem no mesmo horário, respectivamente às 12HL e 17HL. As diferenças entre Floresta e Pastagem são maiores no período entre 11 e 15HL, devido aos valores de H terem sido mais elevados na Pastagem do que na Floresta. A diferença máxima foi 1,07 (12HL) e a mínima 0,22 (17HL).

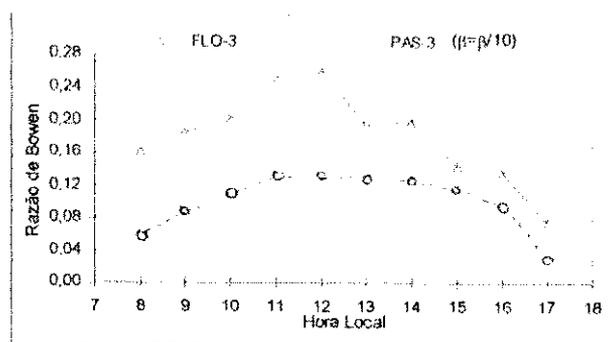


Figura 4.22- Comparação da razão de Bowen (β) na Floresta e Pastagem durante o RBLE3 (14 - 25/08/94). Os valores de β na Pastagem estão divididos por 10.

4.2.3 - Evolução da Camada Limite Atmosférica durante o experimento

Como no caso do RBLE2, será feita uma análise paralela da evolução diurna da CLA na Floresta e na Pastagem através da altura média (Z_i) e dos valores médios horários de alguns parâmetros, como temperatura potencial ($\bar{\theta}$), umidade específica (\bar{q}), velocidade do vento (\bar{V}) e gradiente vertical de temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \theta_v}$). Será também analisado número de Richardson (\overline{Rb}). Antecipando a análise dos parâmetros médios horários, é inserida uma descrição do comportamento geral dos mesmos ao longo do experimento. A medida que a análise for se desenvolvendo procurar-se-á sempre estabelecer uma comparação entre os dois microclimas. No apêndice B são apresentadas as tabelas com os valores diários, as médias horárias e os desvios padrões dos parâmetros médios na CLA ao longo do experimento na Floresta e Pastagem.

O crescimento diurno da CLC, a partir dos valores médios das 08HL (içamento simultâneo do BC), 11, 14 e 17HL (lançamentos simultâneos do RS) é mostrado na Figura 4.23. Pela manhã (08HL), igualmente como no

RBLE2, a CLC foi mais alta na Floresta, o valor médio foi 88m contra 74m na Pastagem. Nos horários subsequentes Z_i na Pastagem foi sempre superior: 69% às 11HL, 49% às 14HL e 86% às 17HL. Conforme foi verificado no RBLE2 e em outros trabalhos (Lyra et al., 1994; Rocha et al., 1994; Fisch, 1996; Gash et al., 1996; Lyra et al., 1996) a diferença entre Z_i na Pastagem e Floresta no final da tarde foi cerca de 1000m.

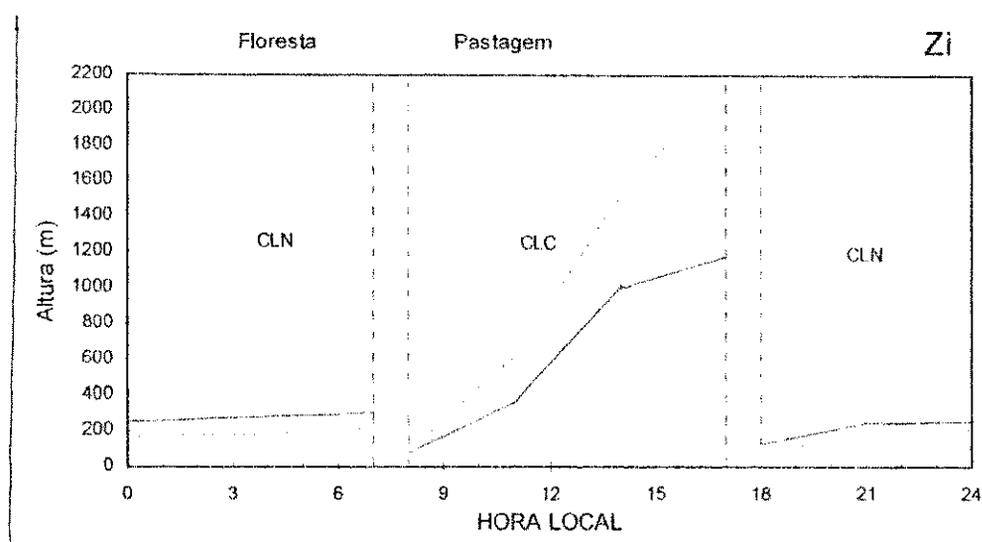


Figura 4.23 - Evolução Temporal da Altura Média da CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

As maiores taxas de crescimento observadas, como no RBLE2, ocorreram entre o período das 11 às 14HL, sendo iguais a $218,5\text{m.h}^{-1}$ na Floresta e $301,3\text{m.h}^{-1}$ na Pastagem. Porém, há um crescimento bastante significativo ($220,4\text{m.h}^{-1}$) da CLC da Pastagem, no período das 14 às 17HL. Trata-se de uma taxa bastante elevada uma vez que neste período ela deve ser baixa. Provavelmente isto se deve ao entranhamento e a maior eficiência da turbulência térmica.

A CLN também cresce, nos dois sítios, ao longo do período noturno (Fig. 4.23). Na Floresta a sua altura média às 18HL foi de 125m, passando a 228m às 21HL, 251m às 00HL, 286m às 05HL e 302m às 07HL. Na Pastagem a altura média às 18HL foi 96m, aumentando para 160m às 21HL, 173m às 00HL, 194m às 05HL e 222m às 07HL. Na Floresta a CLN foi sempre mais espessa, o valor médio de Z_i foi 239m contra 169m na Pastagem. Conforme observado no RBLE2 (Fig. 4.9), isto se deve a maior rugosidade (turbulência dinâmica), liberação da energia estocada na biomassa e aos nevoeiros na Floresta. Foi constatado a formação de nevoeiros noturno em 12 dos 14 dias do experimento (Silva & Lyra, 1996).

4.2.4 - Variação dos parâmetros médios no interior da Camada Limite Atmosférica

4.2.4.1 - Temperatura potencial ($\bar{\theta}$)

A evolução temporal diária de $\bar{\theta}$ no interior da CLA, bem como sua tendência ao longo do experimento é mostrada na Figura 4.24. Ao longo do experimento, os valores mais elevados são verificados entre 11 e 17HL e os mais baixos no período das 24HL até às 08HL. Na Floresta, os valores mais altos foram encontrados na CLC nos dias 22 (306,9K às 17HL) e 23 (307,3 às 17HL), e os mais baixos na maioria dos casos também foram encontrados na CLC, às 08HL. Sendo que o valor mínimo absoluto foi de 289,9K (dia 21 às 00HL). Na Pastagem, observa-se a partir do dia 19 até o final do experimento valores relativamente superiores com relação aos dos outros dias. O máximo absoluto foi de 309,2K, no dia 22 às 17HL e o mínimo absoluto de 295,4K às 05HL do dia 18.

Como no caso do RBLE2, pode-se observar o avanço da estação seca apesar do pequeno período, 13 dias, sendo que este comportamento foi bem mais acentuado na Pastagem, visto que a Floresta exerce um controle nas trocas de energia e de massa entre a superfície e a CLA. Este fato, será melhor observado na umidade específica.

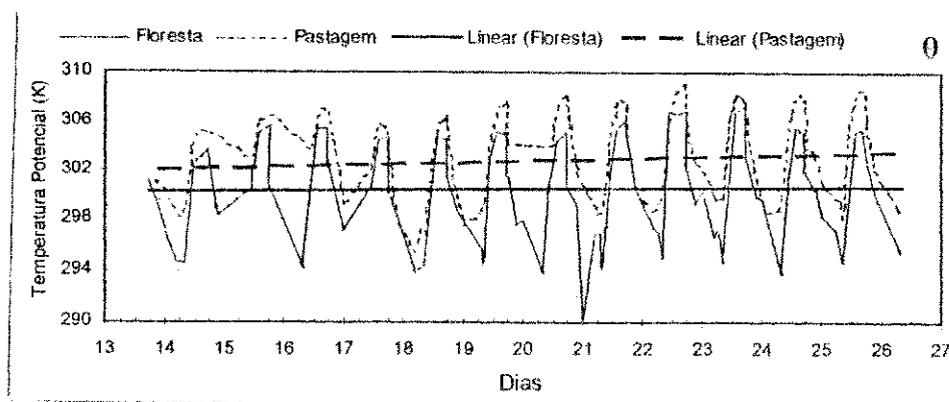


Figura 4.24 - Evolução Temporal Diária da Temperatura Potencial Média na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais. As linhas retas indicam a tendência linear das curvas.

O comportamento da temperatura potencial média ($\bar{\theta}$) na CLA nos dois sítios é bastante semelhante, sendo $\bar{\theta}$ sempre superior na Pastagem tanto de dia como à noite (Figura 4.25). Existe uma diferença de 2,5K entre 07 e 08HL na Floresta, fato que durante o RBLE2 foi observado também na Pastagem. Esta diferença normalmente deve existir, dada a extensão da CLN neste horário. O fato é que no estágio inicial da CLC, a camada é coberta pela Camada de Inversão CI, que na verdade é a CLN da noite anterior (Carson, 1973). Isto leva a temperatura média da CLN (07HL) a ser maior do que a da CLC (08HL). Na Pastagem, esta diferença não foi observada, pelo contrário, a CLC às 08HL estava ligeiramente mais quente (0,5K) que a CLN. A razão disto é a menor quantidade de umidade no solo da Pastagem durante o RBLE. Devido a isto, o fluxo de calor sensível foi 247% mais alto às 08HL ($7,77\text{W.m}^{-2}$ na Floresta

contra $26,99\text{W.m}^{-2}$ na Pastagem). Para comprovar que a taxa de aquecimento foi de fato maior na Pastagem, foram calculadas as médias das temperaturas na CLA nos três primeiros pontos da sondagem, próximos à superfície. Como resultado, a taxa de aquecimento na Pastagem é aproximadamente 3 vezes mais alta do que na Floresta, sendo respectivamente iguais a $6,24\text{K.h}^{-1}$ e $2,11\text{K.h}^{-1}$.

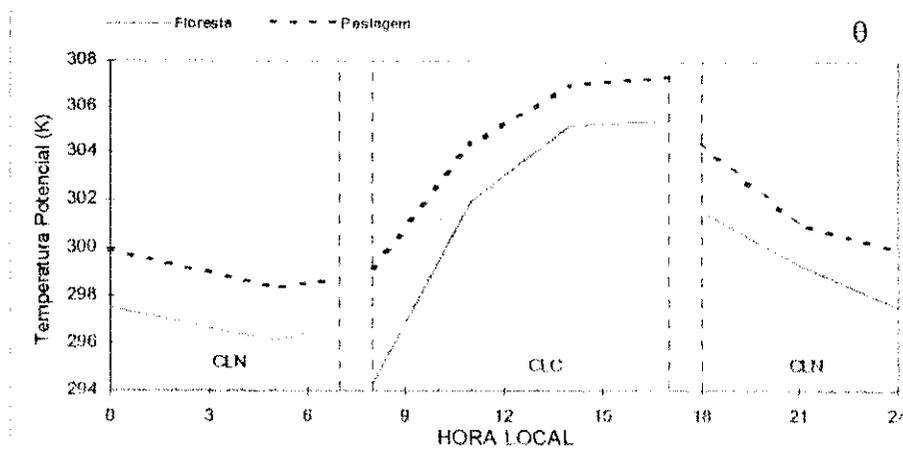


Figura 4.25 - Evolução Temporal da Temperatura Potencial Média na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

Com relação aos valores médios na CLC, observou-se que na Floresta a média de $\bar{\theta}$ foi $301,7\text{K}$, o máximo $305,4\text{K}$ e o mínimo $294,3\text{K}$, enquanto que na Pastagem o valor médio foi $304,4\text{K}$, o máximo $307,3\text{K}$ e o mínimo $299,1\text{K}$. A diferença média entre os dois sítios foi $2,7\text{K}$, a máxima $4,8\text{K}$ (08HL) e a mínima $1,9\text{K}$ observada às 14 e às 17HL.

Na CLN da Floresta, o valor médio de $\bar{\theta}$ foi $299,2\text{K}$, o máximo $301,5\text{K}$ e o mínimo $296,1\text{K}$. Na Pastagem o valor médio foi $300,5\text{K}$, o máximo $304,4\text{K}$ e o mínimo $298,3\text{K}$. A diferença média entre os dois sítios foi $2,2\text{K}$, a máxima $2,9\text{K}$ (18HL) e a mínima $1,7\text{K}$ (21HL).

No início da manhã (05 às 07HL) observou-se um ligeiro acréscimo de $\bar{\theta}$ (0,7K na Floresta e 0,3K na Pastagem). Isto se deve ao fato de não ter sido feita uma separação entre a CLC, em evolução próximo ao solo, e a CLN acima dela. Isto também afetou o gradiente vertical de temperatura potencial virtual na camada e o número de Richardson.

4.2.4.2 - Velocidade do vento (\bar{V})

Ao longo do experimento o vento se manteve de fraco a moderado, nos dois sítios (Fig. 4.26). Na maioria dos dias, os ventos mais intensos ocorreram na CLC, e os mais fracos na CLN. Na Floresta, o vento na CLC atingiu um máximo de $7,4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (dia 14 às 17HL) e um mínimo de $0,33\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (dia 25 às 08HL), enquanto que na CLN o máximo foi de $3,4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (dia 21 às 00HL) e o mínimo de $0,29\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (dia 15 às 18HL). Na CLC da Pastagem, verifica-se valores mais elevados do vento nos horários das 11 às 14HL, com um aumento de intensidade a partir do dia 19 até o final do experimento. O valor máximo observado foi $5,9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (dia 20 às 11HL) e o mínimo $0,2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (dia 25 às 08HL).

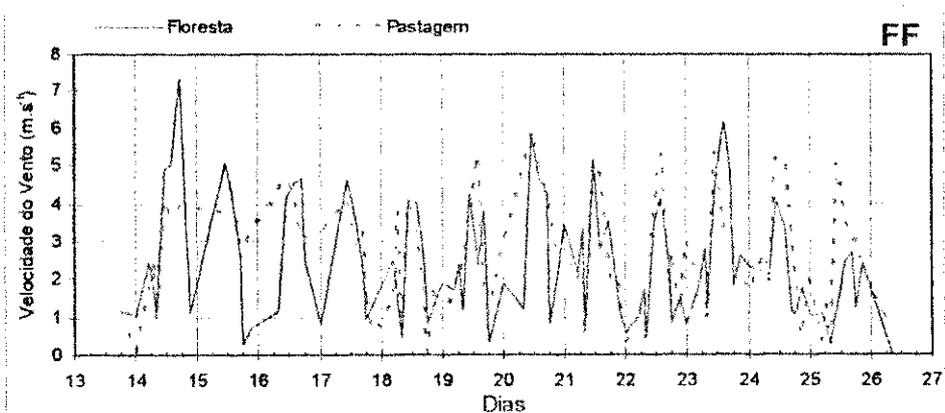


Figura 4.26 - Evolução Temporal Diária da Velocidade do Vento na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.

Como no caso da temperatura potencial, o comportamento médio da velocidade do vento na CLA (\bar{V}) mostrou-se bastante semelhante nos dois sítios (Fig. 4.27). Na CLC, os ventos são fracos às 08HL, crescem até atingir o máximo às 11HL e diminuem até o final da tarde, em ambos os sítios. Na CLN da Floresta, o vento aumenta no início da noite até às 05HL, sofrendo uma ligeira queda entre 05HL e 07HL. Na CLN da Pastagem, os ventos inicialmente diminuem de intensidade das 18 às 21HL, passam a crescer até às 05HL numa taxa mais ou menos constante e com taxa mais elevada entre 05 e 07HL. No início da noite (18-21HL), o vento aumenta na Floresta e diminui na Pastagem, enquanto no início da manhã (05-07HL) ocorre o inverso. Em termos de média diurna, os ventos na Floresta foram ligeiramente mais intensos do que na Pastagem.

Na CLC da Floresta o valor médio de \bar{V} foi $2,7\text{m.s}^{-1}$, o máximo $4,1\text{m.s}^{-1}$ e o mínimo $0,7\text{m.s}^{-1}$. Na Pastagem, o valor médio foi $2,6\text{m.s}^{-1}$, o máximo $3,7\text{m.s}^{-1}$ e o mínimo $0,8\text{m.s}^{-1}$. A diferença média entre os dois sítios foi $0,1\text{m.s}^{-1}$, a máxima $0,4\text{m.s}^{-1}$ (11HL e 17HL) e a mínima $0,1\text{m.s}^{-1}$ (08HL).

Na CLN da Floresta, o valor médio de \bar{V} foi $1,4\text{m.s}^{-1}$, o máximo $1,7\text{m.s}^{-1}$ (05HL) e o mínimo $0,8\text{m.s}^{-1}$ (18HL). Na Pastagem o valor médio foi $1,2\text{m.s}^{-1}$, o máximo $1,9\text{m.s}^{-1}$ (07HL) e o mínimo $0,8\text{m.s}^{-1}$ (00HL e 21HL). A diferença média entre os dois sítios foi $0,2\text{m.s}^{-1}$ e a máxima $0,7\text{m.s}^{-1}$ (00HL).

Nos horários de transição, noite-dia-noite, os ventos na CLN da Pastagem apresentaram-se relativamente mais fortes do que na Floresta.

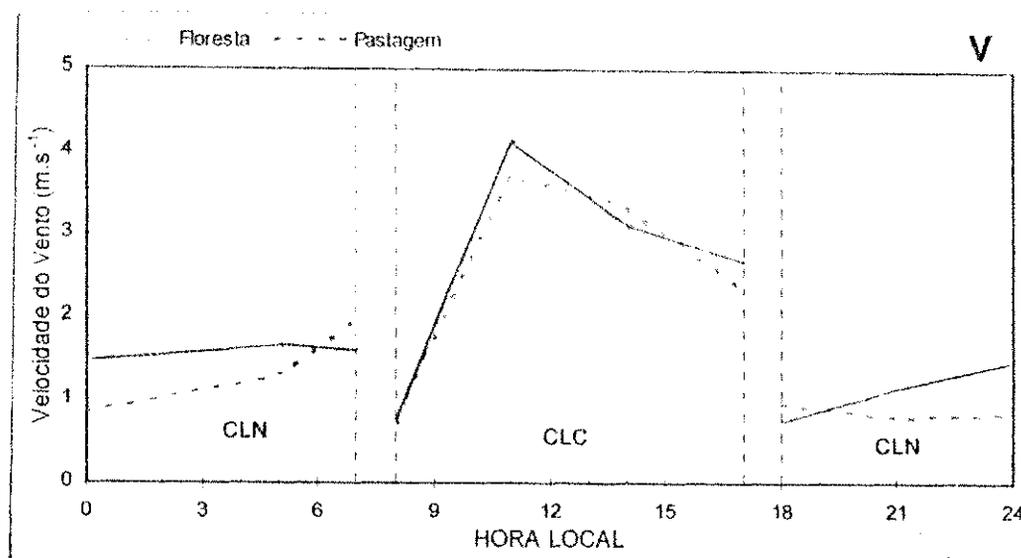


Figura 4.27 - Evolução Temporal da Velocidade Média do Vento na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

4.2.4.3 - Gradiente de temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \theta_v}$)

O gradiente vertical de temperatura potencial virtual na CLA variou significativamente ao longo do experimento, devido a natureza da camada, conforme pode ser verificado na Figura 4.28. Durante o dia, o aquecimento à superfície gerou pequenos gradientes, os quais tenderam a diminuir à tarde. À noite o resfriamento radiativo gerou maiores gradientes os quais foram aumentando durante a madrugada e atingiram máxima intensidade próximo ao início do dia seguinte, onde recomeça o ciclo com a formação da CLC. Na Floresta, o gradiente variou entre $66,1\text{K.km}^{-1}$ (CLN no dia 17 às 00HL) e $-22,6\text{K.km}^{-1}$ (CLC no dia 23 às 08HL). Já na Pastagem, o valor máximo foi $100,5\text{K.km}^{-1}$ (CLN do dia 17 às 21HL) e o mínimo $-8,2\text{K.km}^{-1}$ (CLC do dia 22 às 08HL).

Os dias 17 (21HL) e 19 (00HL) apresentaram valores bastantes elevados de $\overline{\nabla_v \theta_v}$ na CLN Pastagem, indicando-os como possíveis dias anômalos. Nos dias 21 e 24 também ocorreram valores consideravelmente grandes. Estes desvios também foram apresentados no numero de Richardson.

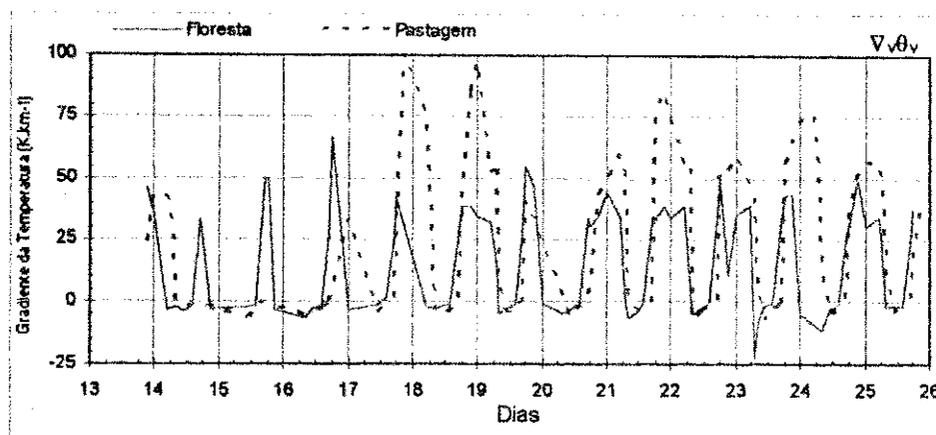


Figura 4.28 - Evolução Temporal Diária do Gradiente Vertical Médio de Temperatura Potencial Virtual na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.

A evolução temporal do gradiente vertical médio de temperatura potencial virtual na CLA ($\overline{\nabla_v \theta_v}$) indica um comportamento semelhante em ambos os sítios (Fig. 4.29). No interior da CLC, $\overline{\nabla_v \theta_v}$ foi ligeiramente estável no início da manhã passando a instável em torno das 09HL. A instabilidade aumenta até às 11HL quando o gradiente volta a crescer, chegando a quase neutralidade no final da tarde. A CLN apresentou-se sempre estável, com o gradiente crescendo até às 21HL, em seguida diminuindo até o início da manhã, voltando a apresentar os valores observados às 18HL. Em resumo, a CLC apresentou-se ligeiramente instável, com maior intensidade na Floresta, e a CLN esteve nitidamente estável principalmente na Pastagem.

Na CLC da Floresta, o valor médio de $\overline{\nabla_v \theta_v}$ foi $-1,8\text{K.km}^{-1}$, o máximo foi $1,5\text{K.km}^{-1}$ (08HL) e o mínimo $5,3\text{K.km}^{-1}$ (11HL). Na Pastagem o valor médio foi $-0,7\text{K.km}^{-1}$, o máximo $3,9\text{K.km}^{-1}$ (08HL) e o mínimo $-5,0\text{K.km}^{-1}$ (11HL). A diferença média, em valor absoluto, entre os dois sítios foi de $1,1\text{K.km}^{-1}$, a máxima $2,4\text{K.km}^{-1}$ e a mínima $0,3\text{K.km}^{-1}$.

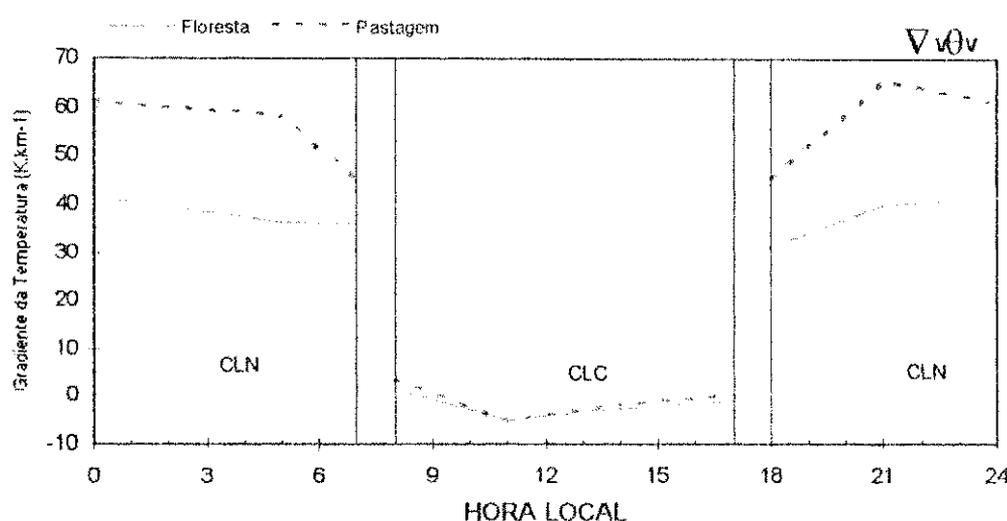


Figura 4.29 - Evolução Temporal do Gradiente Vertical Médio de Temperatura Potencial Virtual na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

Na CLN da Floresta, o valor médio de $\overline{\nabla_v \theta_v}$ foi 37K.km^{-1} , o máximo $41,6\text{K.km}^{-1}$ (00HL) e o mínimo $31,1\text{K.km}^{-1}$ (18HL). Na Pastagem, o valor médio foi 55K.km^{-1} , o máximo $65,4\text{K.km}^{-1}$ (21HL) e o mínimo $44,9\text{K.km}^{-1}$ (18HL). A diferença média entre os dois sítios foi de 20K.km^{-1} , o que equivale a 54% do gradiente médio na Floresta. A diferença máxima foi $25,6\text{K.km}^{-1}$ (18HL) e a mínima $13,8\text{K.km}^{-1}$ (07HL).

4.2.4.4 - Número de Richardson (\overline{Rb})

Os valores diários de \overline{Rb} na CLA (Fig. 4.30) foram, numa aproximação grosseira, proporcionais aos do gradiente (Fig. 4.28), ou seja: os maiores valores ocorreram na CLN e os menores na CLC. Com relação a variação de \overline{Rb} ao longo do experimento nos dois sítios, verifica-se que as maiores variações ocorrem na Pastagem. Na Floresta, o maior valor de \overline{Rb} foi de 4,4 no dia 17 às 00HL, enquanto que o menor -3,6 no dia 22 às 14HL, correspondendo a uma amplitude máxima de 8. Na Pastagem, o valor máximo (9,1) ocorreu no dia 17 na CLN às 21HL e o mínimo (-14,2) no dia 18 às 14HL. A amplitude máxima ao longo do experimento na Pastagem (23,3) equivale a quase 3 vezes a máxima na Floresta.

Os altos valores do gradiente vertical de temperatura potencial virtual na CLN da Pastagem, observados nos dias 17 (21HL) e 19 (00HL), se refletem em \overline{Rb} . Os valores de $\overline{\nabla_v \theta_v}$ foram $100,5K.km^{-1}$ e $97,0K.km^{-1}$ e \overline{Rb} apresentou valores de 9,1 e 7,7. De qualquer forma, fica evidente que o escoamento no interior da CLN, em ambos os sítios, é sempre laminar.

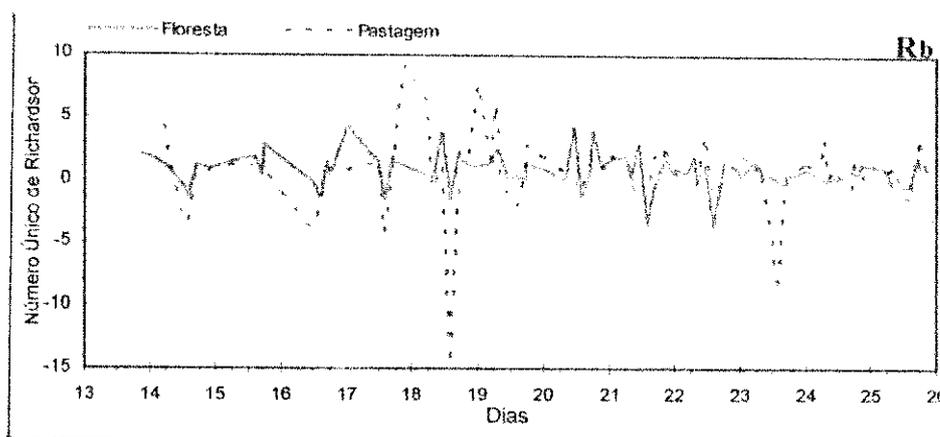


Figura 4.30 - Evolução Temporal Diária do Número de Richardson Médio na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais.

A Figura 4.31 mostra a evolução do ciclo diurno do número de Richardson médio (\overline{Rb}) na CLA onde se observa uma grande semelhança de comportamento entre as curvas de \overline{Rb} na Floresta e na Pastagem. Considerando os valores críticos do número de Richardson Ri ($R_c = 0,25$ e $R_T = 1,00$) como sendo válidos na CLC, percebe-se regimes de escoamento diferentes em cada sítio. Ao longo do período diurno a CLC da Pastagem é turbulenta, como consequência do forte aquecimento diurno à superfície. Na CLC da Floresta, a camada apresenta-se aproximadamente turbulenta às 08HL ($\overline{Rb} = 0,3$), passando para um regime laminar às 11HL, volta a ser turbulento às 14HL, onde atinge sua máxima intensidade, chegando próximo do valor crítico às 17HL ($\overline{Rb} = 0,8$). Na CLC da Pastagem, a turbulência apresentou-se relativamente fraca no início da manhã ($\overline{Rb} = 0,1$), aumentou lentamente até às 11HL, atingindo sua máxima intensidade às 14HL, a partir daí diminuiu de intensidade até alcançar um valor próximo ao da Floresta às 17HL ($\overline{Rb}=0,7$).

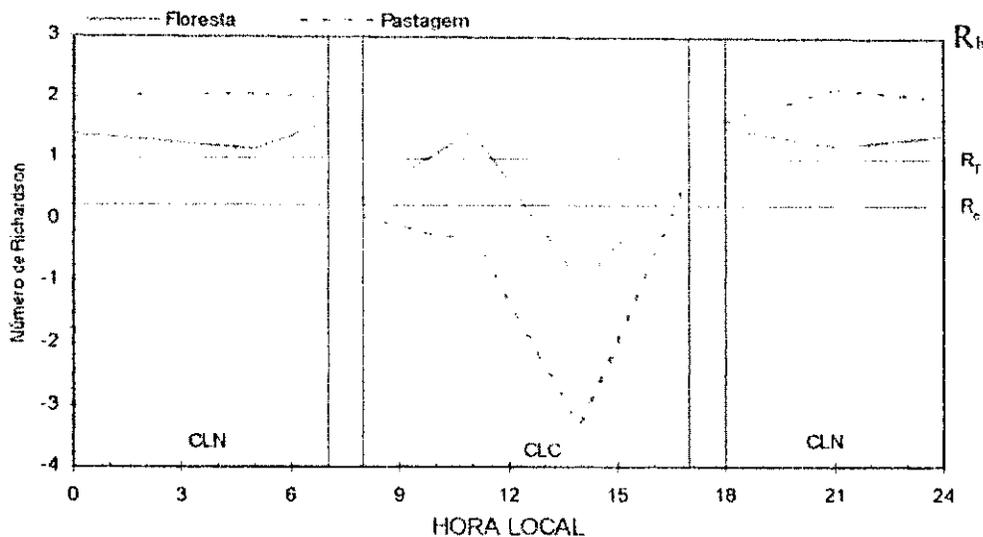


Figura 4.31 - Evolução Temporal do Número de Richardson Médio na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

Às 07HL, o gradiente de temperatura potencial virtual, como já comentado anteriormente, mostrou que a CLA é menos estável do que às 05HL, principalmente na Pastagem, devido a maior eficiência térmica. Neste horário, os valores de \overline{Rb} , apresentaram uma ligeira diminuição, praticamente nula, na Pastagem e um aumento na Floresta. Observando os dois termos, simultaneamente, verifica-se que houve uma diminuição no cisalhamento do vento nos dois sítios, indicando que a turbulência dinâmica na CLA às 07HL foi menor do que na das 05HL.

Na CLC da Floresta, o valor médio de \overline{Rb} foi 0,4, o máximo 1,4 (11HL) e o mínimo -1,1 (14HL). Na Pastagem o valor médio foi -0,7, o máximo 0,7 (17HL) e o mínimo -1,6 (14HL). A diferença média entre os dois sítios foi de 1,1, a máxima de 2,2 (14HL) e a mínima de 0,1 (17HL).

Comparando \overline{Rb} com $\overline{\nabla_v \theta_v}$, apesar de $\overline{\nabla_v \theta_v}$ apresentar um valor negativo às 11HL na CLC da Floresta ($-5,3K.km^{-1}$), o número de Richardson mostra que a predominância da turbulência na camada não é de origem térmica, como ocorre na Pastagem neste horário, onde \overline{Rb} e $\overline{\nabla_v \theta_v}$ são negativos. A aceleração do vento às 11HL na CLC da Floresta, foi o principal responsável pela turbulência dinâmica. No final da tarde (17HL), a enorme diferença de Z_i entre Pastagem e Floresta pode ser justificada pelo entranhamento, conforme dito anteriormente, e pela maior intensidade da turbulência três horas antes (14HL). A intensidade da Camada de Inversão (CI) na Pastagem foi da ordem de três vezes maior que a da Floresta (Fisch, 1996), sendo iguais a $5,2K.km^{-1}$ e $1,2K.km^{-1}$, respectivamente.

Na CLN \overline{Rb} foi sempre superior a R_c e os valores na Pastagem foram sempre superiores aos da Floresta. O valor médio de \overline{Rb} na Floresta foi 1,4, o máximo 1,6 e o mínimo 1,1 (05HL). Na Pastagem o valor médio foi 2,0, o máximo 2,2 (21HL) e o mínimo 1,6 (18HL). A diferença média entre os dois sítios foi 0,6, a máxima 1,0 (05HL e 21HL) e a mínima 0,1 (18HL).

4.2.4.5 - Umidade específica (\overline{q})

Observando a variação da umidade específica ao longo do experimento percebe-se um fato interessante; apesar do curto tempo de duração do experimento, é possível observar, na camada limite, o avanço da estação seca (Fig. 4.32), fato que também foi verificado na temperatura (Fig. 4.24). Na Pastagem, a queda de umidade e o aumento de temperatura são significativos, já que a Floresta se auto-regula e não há déficit de umidade. Os valores extremos apresentam um máximo de $17,9g.kg^{-1}$ (dia 15 às 18HL) e um mínimo de $9,2g.kg^{-1}$ (dia 23 às 14HL) na Floresta, contra um máximo de $13,6g.kg^{-1}$ (dia 14 às

08HL) e um mínimo de 5,8g.kg⁻¹ (dia 24 às 18HL) na Pastagem. As amplitudes de umidade específica indicam CLAs sempre mais úmidas sobre a Floresta. Comparando os dias mais úmidos, a CLA na Floresta apresentou 32,59% de umidade a mais do que na Pastagem. A diferença se acentua quando se compara os dias mais secos, nos quais a Floresta teve 58,62% a mais de umidade.

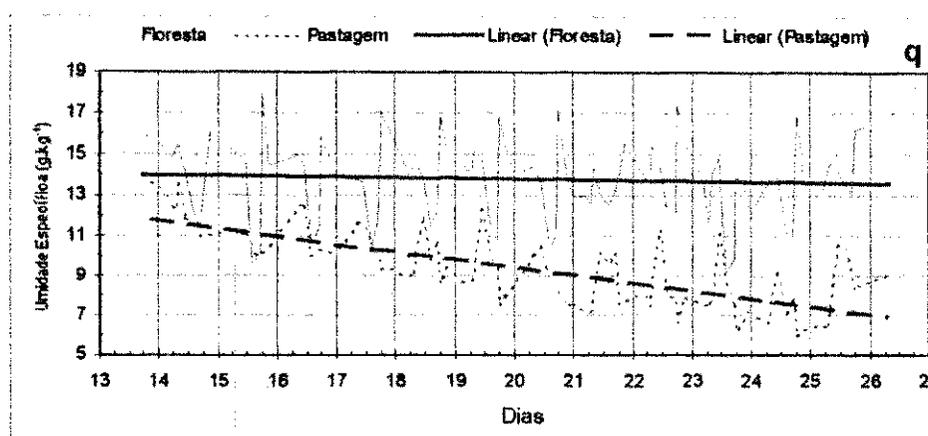


Figura 4.32 - Evolução Temporal Diária da Umidade Específica Média na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais. As linhas retas indicam a tendência linear das curvas.

A variação diurna da umidade específica média na CLA (\bar{q}) é apresentada na Figura 4.33. De um modo geral, a umidade diminui na CLA, sendo que na Pastagem, há um aumento significativo de umidade pela manhã, com o máximo às 11HL, o que vem a reforçar a hipótese de uma circulação no sentido Floresta-Pastagem. Na CLC da Floresta a umidade diminui a partir das 08HL até às 14HL, e sofre um ligeiro aumento às 17HL. Na Pastagem, ela aumenta das 08 às 11HL, decresce até o final da tarde (17HL). A partir das 08HL, a diferença de umidade na CLC da Floresta e Pastagem, tende a diminuir.

Na CLN da Floresta, a umidade diminui ao longo do período noturno até às 07HL. Na CLN da Pastagem, a umidade é mínima no início da

noite (18HL), aumenta até a meia-noite e, em seguida, começa a diminuir suavemente até às 07HL. No período de transição dia-noite, a umidade na CLN da Floresta apresenta um aumento significativo ($5,1\text{g.kg}^{-1}$), devido a quebra da inversão ao nível da copa das árvores e por conseguinte da liberação de vapor d'água retido durante o dia. O contrário ocorre na Pastagem, ou seja, há uma perda de $2,0\text{g.kg}^{-1}$. A Floresta é mais úmida durante todo o ciclo diurno e noturno, como decorrência da maior eficiência do processo de evapotranspiração do ecossistema natural.

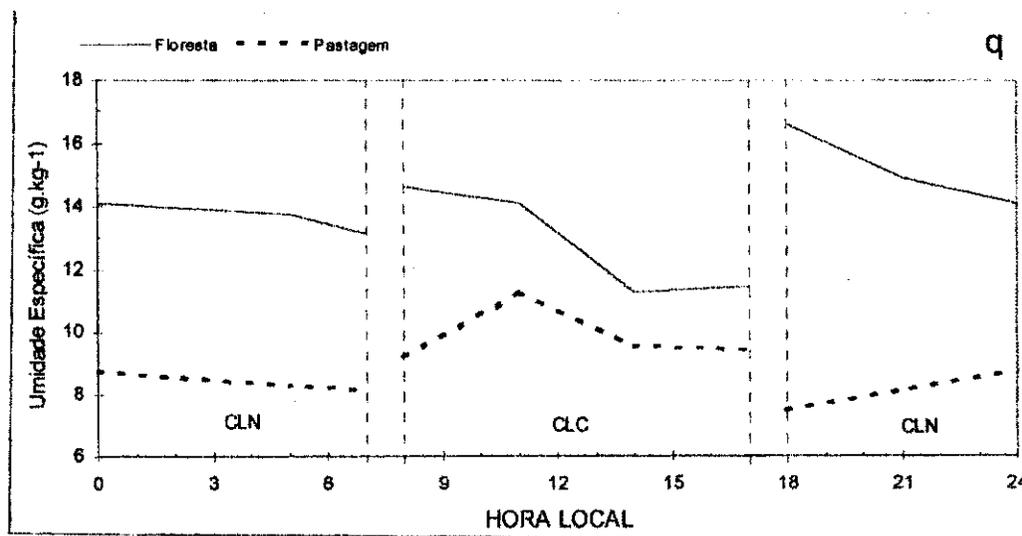


Figura 4.33 - Evolução Temporal da Umidade Específica Média na CLA durante o RBLE3, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

No período de transição noite-dia, no final da CLN às 07HL e no início da CLC às 08HL, a queda de temperatura de $-2,5\text{K}$ na Floresta correspondeu a um aumento de $1,6\text{g.kg}^{-1}$. Na Pastagem, houve um aumento de $0,5\text{K}$, como também um ganho de umidade igual a $1,0\text{g.kg}^{-1}$.

Na CLC da Floresta o valor médio de \bar{q} foi $12,9\text{g.kg}^{-1}$, o máximo $14,7\text{g.kg}^{-1}$ (08HL) e o mínimo $11,3\text{g.kg}^{-1}$ (14HL). Na Pastagem o valor médio foi $9,9\text{g.kg}^{-1}$, o máximo $11,3\text{g.kg}^{-1}$ (11HL) e o mínimo $9,2\text{g.kg}^{-1}$ (08HL). A diferença média entre os dois sítios foi de $2,4\text{g.kg}^{-1}$, a máxima $5,5$ (08HL) e a mínima $1,4\text{g.kg}^{-1}$ (14HL).

Na CLN da Floresta o valor médio foi $14,5\text{g.kg}^{-1}$, o máximo $16,6\text{g.kg}^{-1}$ (18HL) e o mínimo $13,1\text{g.kg}^{-1}$ (07HL). Na Pastagem o valor médio foi $8,1\text{g.kg}^{-1}$, o máximo $8,7\text{g.kg}^{-1}$ (00HL) e o mínimo $7,4\text{g.kg}^{-1}$ (18HL). A diferença média entre os dois sítios foi de $6,3\text{g.kg}^{-1}$, a máxima $9,2\text{g.kg}^{-1}$ (HL) e a mínima $4,9\text{g.kg}^{-1}$ (HL).

Em ambos os sítios evidenciou-se uma diminuição de umidade na CLA ao longo do dia, devido ao aumento da espessura da camada e ao entranhamento de ar com características quente e seca no topo da CLC, conforme mencionado anteriormente.

O mínimo de umidade na CLC da Pastagem às 08HL, indica que o transporte natural de umidade no sentido Floresta-Pastagem, devido aos alísios, ocorre somente após este horário, conforme verificado por Lyra (1995).

4.3 - COMPARAÇÃO RBLE2/RBLE3

Na tabela 4.1 é apresentado a relação Pastagem/Floresta dos parâmetros mais importantes para a termodinâmica da CLA. Apesar dos dois experimentos terem sido realizados em circunstâncias diferentes, nota-se que as relações são, quando não iguais, da mesma ordem de grandeza.

TABELA 4.1 - RAZÃO ENTRE OS PRINCIPAIS PARÂMETROS MÉDIOS À SUPERFÍCIE NA PASTAGEM E NA FLORESTA DURANTE O DIA: COMPARAÇÃO RBLE2/RBLE3. OS SUBSCRITOS P E F INDICAM PASTAGEM E FLORESTA, RESPECTIVAMENTE.

	α_P/α_F	Rg_P/Rg_F	G_P/G_F	β_P/β_F	LE_P/LE_F	H_P/H_F
RBLE2	1,43	1,08	14,4	16,0	0,30	3,98
RBLE3	1,22	0,95	14,8	5,6	0,48	2,87

A mesma constatação é feita quando são comparados a diferença entre os principais parâmetros (médios) no interior da CLA (Ver Tabela 4.2).

TABELA 4.2 - DIFERENÇA (CLA/PASTAGEM - CLA/FLORESTA): ALTURA MÉDIA DA CLA (Z_i), ALTURA MÁXIMA ($Z_{iMÁX}$), ALTURA MÍNIMA ($Z_{iMÍN}$), TEMPERATURA POTENCIAL ($\bar{\theta}$), UMIDADE ESPECÍFICA (\bar{q}), VELOCIDADE DO VENTO (\bar{V}), GRADIENTE VERTICAL DE TEMPERATURA POTENCIAL VIRTUAL ($\bar{V}, \bar{\theta}_v$) - COMPARAÇÃO RBLE2 E RBLE3.

PAS-FLO		Z_i (m)	$Z_{iMÁX}$ (m)	$Z_{iMÍN}$ (m)	$\bar{\theta}$ (K)	\bar{q} (g.kg ⁻¹)	\bar{V} (m.s ⁻¹)	$\bar{V}, \bar{\theta}_v$ (K.km ⁻¹)
D I A	RBLE2	422	801	-14	1,8	-4,2	0,8	-1,4
	RBLE3	434	1004	-14	2,7	-3,0	-0,1	0,95
N O I T E	RBLE2	-61	-75	-56	1,7	-4,4	1,3	26,88
	RBLE3	-70	-80	-29	2,2	-6,3	0,0	18,00

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

O processo da substituição da Floresta por Pastagem é bastante complexo, e responde como uma reação em cadeia. Inicialmente, o ambiente natural da Floresta é invadido pelas atividades antropogênicas causando o desmatamento, que na região normalmente ocorre via queimadas. Como consequência surgem os efeitos ecológicos, os efeitos hidrológicos, as modificações das características da vegetação, etc. As modificações das características da superfície vegetada, implicam em alterações nos balanços locais, a começar pelo aumento da capacidade de reflexão. Como consequência imediata, há uma diminuição no saldo de radiação e por conseguinte uma interferência no balanço de energia.

Na área desmatada, a maior parte da energia disponível à superfície é utilizada para aquecer o ar, devido a não disponibilidade de água para evaporar. Assim, os fluxos de calor sensível e de calor no solo aumentam e o fluxo de calor latente diminui. Estas modificações têm repercussões imediatas na CLA.

As conclusões no que se refere aos valores numéricos, terão como base a comparação feita durante o RBLE3, agosto de 1994, uma vez que nesta campanha as medidas foram realizadas simultaneamente nos dois sítios.

Os resultados mostraram que na Pastagem o albedo foi 3,2% maior (18,7% versus 15,5%) e por conseguinte, o saldo de radiação foi 17,3% mais baixo ($10,5\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ versus $12,6\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$). Do total de energia disponível, 47,3% foi utilizado para aquecer o ar e 40,6% pelo processo de evapotranspiração. Na Floresta, o fluxo de calor sensível representou apenas 14%, devido ao grande percentual (71%) utilizado para evapotranspirar. Por este

motivo, a razão de Bowen da Pastagem representou 5,6 vezes a da Floresta. O fluxo de calor no solo foi equivalente a 14,2 vezes o da Floresta ($0,57\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ versus $0,04\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$).

Com relação às características da CLA do ambiente modificado, Pastagem, observou-se:

Durante o dia, a CLC foi:

- 66% mais espessa, chegando a 86% às 17HL;
- Mais turbulenta e por conseguinte mais convectiva;
- 2,7K mais quente;
- $3,0\text{g.kg}^{-1}$ mais seca.

Durante à noite, existe vários fatores que devem ser considerados, tais como a rugosidade, a restituição para a atmosfera da energia armazenada no solo durante o dia e a inexistência da quebra da inversão térmica ao nível do dossel, que permitiu que haja a liberação de vapor d'água para a atmosfera. A soma destes fatores faz com que a CLN da Pastagem tenha sido:

- 29% menos espessa;
- Mais estável;
- 2,2K mais quente;
- $6,3\text{g.kg}^{-1}$ menos úmida.

Por último, observou-se que tanto na CLC como na CLN, praticamente não houve diferença no vento principalmente à noite. Como o vento dominante sopra sempre no sentido Floresta-Pastagem, não é difícil imaginar que ocorre um transporte horizontal de energia e de massa, contudo como a distância entre os dois sítios é relativamente grande, cerca de 100km, não se pode chegar a uma conclusão definitiva a este respeito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, S.J. WALLACE, J.S., GASH, J.H.C.; SIVAKUMAR, M.V.K.; 1994. Measurements of albedo variation over natural vegetation in Sahel. *Int. Journal Climatology*, 14, 625-636.
- ANDRÉ, R.G.B.; SILVA FILHO, V.P.; MOLLION, L.C.B.; NOBRE, C.A.; 1988. Balanço de radiação sobre a floresta amazônica (estação seca e chuvosa). *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, 3 (2), 269-274.
- ANGEVINE, W.M., WHITE, .B.; AVERY, S.K.; 1994. Boundary layer depth and entrainment zone characterisation. *Boundary Layer Meteorology*, 68 (4), 375-385.
- BASTABLE, H.G.; SHUTTLEWORTH, W.J.; DALLAROSA, R.L.G.; FISCH, G.; NOBRE, C.A.; 1993. Observations of climate, albedo and surface radiation over cleared and undisturbed amazonia forest. *Int. Journal Climatology*, 13, 783-796.
- CARSON, D.J.; 1973. The Development of the a Dry Inversion-Capped Convectively Unstable Boundary Layer. *Quarterly Journal Royal Meteorology*, 99, 450-467.
- CLIMANÁLISE; 1993. Boletim de Monitoramento e Análise Climática. MCT/INPE/CPTEC, São José dos Campos. 8 (7), 40p.
- CLIMATE DIAGNOSTICS BULLETIN (CDB); 1994. CPC/NWS/NOAA. Department of Commerce, Washington DC. Nº 94/8.

- CULF, A.D.; FISCH, G.; HODNETT, M.G.; 1995. The albedo of amazonia forest and ranchland. *Journal of Climate*, 8 (6), 1544-1554.
- DEARDORFF; 1974. Three-Dimensional Numerical Study of the Height and Mean Structure of a Heated Planetary Boundary Layer. *Boundary Layer Meteorology*, 7, 81-106.
- FEITOSA, J.R.P.; 1996. Um estudo sobre balanço de energia e evapotranspiração em área de pastagem e de floresta densa na Amazônia Central. Maio. Tese de Mestrado - UFPB, Campina Grande, maio, 93p.
- FISCH, G.; 1996. Camada Limite Amazônica: Aspectos Observacionais e de Modelagem. Tese de Doutorado. INPE, XXXX - TDI/MET - XX, 171p.
- FISCH, G.; WRIGHT, I.R.; BASTABLE, H.G.; 1994. Albedo of tropical grass: a case study of pre-and pos-burning. *Int. Journal Climatology*, 14: 102-107.
- GARRAT, J.R.; 1993. Sensitivity of climate simulations to land-surface and atmospheric boundary layer treatments - a review. *Journal of Climate*, 6 (3), 419-449.
- GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R.L.; 1996. Amazonian Deforestation and Climate. John Wiley Editorial Offices. 611p.
- HARRIS, R.C.; WOFSY, S.C; GARSTANG, M.; BROWELL, E.V.; MOLION, L.C.B.; MCNEAL, R.J.; HOELL, J.M., JR.; BENDURA, R.J.; BECK, S.M.; NAVARRO, R.L.; RILEY, J.T.; SNELL, R.L.; 1988. The Amazon Boundary Layer Experiment (ABLE 2A): dry season 1985. *Journal Geophysical Research*, 93(D2), 1509-1527, February 20.

- HENDERSON-SELLERS, A.; 1987. Effects of land use on climate in the humid tropics, Pp. 463-496 in *The geophiology of amazonia*. Ed. R. E. Dickinson. John Wiley and Sons, New York.
- HENDERSON-SELLERS, A.; DICKINSON, R.E.; DURBIDGE, T.B.; KENNEDY, P.J.; MCGUFFIE, K.; PITMAN, A.J.; 1993. Tropical deforestation: Modelling Local-to-regional-scale climate change. *Journal Geophysical Research*, 98 (D4): 7289-7315.
- HOLTSLAG, A.A.M.; NIEUWSTADT, F.T.M.; 1986. Scaling the Atmospheric Boundary Layer. *Boundary Layer Meteorology*, 36, 201-209.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS (INPE); 1992. Deforestation in Brazilian Amazonia. São José dos Campos, 4p., maio.
- KAIMAL, J.C.; WYNGAARD, Y.I.; COTÉ, O.R.; 1976. Spectral characteristics of surface layer turbulence. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 98, 563-589.
- KAIMAL, J.C.; ABSHIRE, N.L.; CHADWICK, R.B.; DECKER, M.T.; HOOKE, W.H.; KROPFLI, R.A.; NEEF, W.D.; PASQUALUCCI, F.; HILDEBRAND, P.H.; 1982. Estimating the depth of the Daytime Convective Boundary Layer. *Journal of Applied Meteorology*, 21, 1123-1129.
- KAIMAL, J.C.; FINNIGAN, J.J.; 1994. Atmospheric boundary layer flows. Their structure and measurement. New York, Oxford. Oxford University Press., 289p.
- LEAN, J.; WARRILOW, D.A.; 1989. Simulation of the regional climatic impacts of amazon deforestation. *Nature*, 342, 411-413.

- LEITÃO, M. de M.V.B.R.; 1994. Balanço de radiação em três ecossistemas da floresta Amazônica. Campina, campinarana e mata densa. Tese de Doutorado em Meteorologia - INPE, S. J. dos Campos, outubro. 135p. INPE 5587-TDI.
- LYRA, R.; 1990. Dynamique et transferts dans et au-dessus des couverts forestiers. Tese de Doutorado. Toulouse, Université Paul Sabatier, Laboratoire d'Aérodologie, 175p.
- LYRA, R.; DRUILHET, A.; BENECH, B.; BIONA, C.B.; 1992. Dynamique above a dense equatorial rain forest from the surface boundary layer to the free atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 97 (D12), 12.953-12.965, August 20.
- LYRA, R.; NOBRE, C.; FISCH, G.; ROCHA, E.; ROCHA, H.; SOUZA, S.S.; 1994. Efeitos do desmatamento sobre a termodinâmica da baixa atmosfera. *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 1, 81-84.
- LYRA, R.; 1995. Desmatamento da Amazônia e sua repercussão ao nível da camada limite: projeto RBLE "Rondonia Boundary Layer Experiment". Relatório técnico. Universidade Federal de Alagoas/ Centro de Ciências Exatas e Naturais/ Departamento de Meteorologia (UFAL/CCEN/MET). 28p.
- LYRA, R.; SOUZA, S.S.; NOBRE, C.A.; FISCH, G.; 1996. Desmatamento da Amazônia e sua repercussão ao nível da camada limite atmosférica: projeto RBLE. *IX Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Campos de Jordão, São Paulo, 2, 1266-1270.

- MARISK, F.J., FISCHER, K.W., MCDONALD, T.D.; SAMSON, P.J.; 1995. Comparison of the methods for estimating mixing height used during the 1992 Atlanta field intensive. *Journal of Applied Meteorology*, 34, 1802-1814.
- MARTIN L.L.; FITZJARRALD, D.; GARSTANG, M.; OLIVEIRA, A.P.; GRECO, S.; BROWELL, E.; 1988. Structure and growth of the mixing layer over the amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research*, 93 (D2), 1361-1375, February 20.
- MOORE, C.J.; FISCH, G.; 1986. Estimating heat storage in amazonian tropical forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 38, 147-169.
- MONTENY, B.A.; CASENAVE, A.; 1989. The forest contribution to the hidrological budget in tropical west Africa. *Analyse Geophysical*, 7 (4), 427-436.
- NICOLLI, D.; 1979. Um Método para a Determinação da altura da camada de inversão térmica e a profundidade da camada de mistura efetiva. *Ciência e Cultura*, 31(11), 1283-1294, Novembro.
- NOBRE, C.A.; SELLERS, P.J.; SHUKLA, J.; 1991. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, 4 (10), 957-988.
- O'BRIEN, J.J.; 1970. A note on the vertical structure of the eddy exchange coefficient in the planetary boundary layer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 27, 1213-1215.

- PARLANGE, M.B.; BRUTSAERT, W.; 1989. Regional roughness of the land surface forest and surface shear stress under neutral conditions. *Boundary Layer Meteorology*, 48, 69-81.
- PINKER, R.T.; THOMPSON, O. E.; ECK, T.F.; 1980. The albedo of a tropical evergreen forest. *Quarterly Journal Research Meteorology Society*, 106, 551-558.
- ROCHA, E.J.P.; 1993. Relatório do RBLE "Rondonia Boundary Layer Experiment" - 2ª fase. Universidade Federal do Pará - UFPA. 28p.
- ROCHA, E.J.P.; RIBEIRO, J.B.M.; MOTA, M.A.S.; 1994. Análise da estrutura atmosférica durante o RBLE-2. VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1, 46-47.
- ROWNTREE, P.R.; 1991. Atmospheric parametrization schemes for evaporation over land: basic concepts and climate modelling aspects. In: Schmugge, T.J. and André, J.C., (eds): *land surface evaporation, measurements and parametrization*: 5-29.
- SALATI, E.; VOSE, P.B.; 1984. Amazon basin: a system in equilibrium. *Science*, 255 (4658), 13 July.
- SHUTTLEWORTH, W.J.; GASH, J.H.C.; LLOYD, C.R.; MOORE, C.J.; ROBERTS, J.; MARQUES FILHO, A.O.; FISH, G.; SILVA FILHO, V.P.; RIBEIRO, M.N.G.; MOLION, L.C.B.; ABREU SÁ, L.D.; NOBRE, J.C.A.; CABRAL, O.M.R.; PATEL, S.R.; MORAES, J.C.; 1984. Eddy correlation measurements of energy partition for amazonian forest. *Quarterly Journal Royal Meteorology Society*, 110, 1143-1162.

- SHUTTLEWORTH, W.J.; GASH, J.H.C.; ROBERTS, J.M.; NOBRE, C.A.; MOLION, L.C.B.; RIBEIRO, M.N.G.; 1991. Post deforestation amazonian climate: anglo-brasilian research to improve prediction. *Journal of Hydrology*, 129, 71-85.
- SILVA, M.R.G.; LYRA, R.; 1996. Efeitos do Desmatamento na termodinâmica da camada limite noturna: projeto RBLE. IX Congresso Brasileiro de Meteorologia. Campos de Jordão, SP, 2, 1229-1232.
- SILVA, M.R.G.; LYRA, R.; 1997. Relatório di Iniciação Científica. Departamento de Meteorologia/ CCEN/UFAL. 13p.
- STULL, R.B.; 1988. Introduction to boundary layer meteorology. London. Kluwer Academic Publishers. 666p.
- STULL, R.B.; 1994. A convective transport theory for surface fluxes. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 51 (1), 3-22.
- SUTTON, O.G.; 1953. Micrometeorology. A study of physical processes in the lowest layers of the earth's atmosphere. New York, Toronto, London. McGraw-Hill Book Company. 333p.
- TEXEIRA, M.L.; GIRARDI, L.C.; 1978. Oscilações do vento na estratosfera equatorial. Relatório Técnico. Nº ECA-04/78. CTA/IAE. São José dos Campos, 28p.
- VAN PUL, W.A.J.; HOTLSLAG, A.A.M.; SWART, D.P.J.; 1994. A comparison of ABL inferred routinely from lidar and radiosondes at noontime. *Boundary Layer Meteorology*, 68, 173-191.

VISWANADHAM, Y.; ANDRÉ, R.C.B.; MANZI, A.O.; SILVA FILHO, V.P.;
1987. Componentes do balanço de radiação acima da copa da floresta
amazônica. II Congresso Interamericano de Meteorologia, Buenos Aires,
dezembro.

APÊNDICE A

PARÂMETROS MÉDIOS NA CLA DURANTE O RBLE2

Nas tabelas a seguir são apresentados os dados diários, médias e desvios padrões da altura da Camada Limite Atmosférica (Z_i), temperatura potencial ($\bar{\theta}$), velocidade do vento (\bar{V}), gradiente vertical de temperatura potencial virtual ($\bar{\nabla}_v \theta_v$) e a umidade específica (\bar{q}), ao longo do experimento RBLE2, o qual equivale aos períodos de 3-6 e 9-10/07/93 na Floresta e de 18-25/07/93 na Pastagem.

TABELA A.1a - ALTURA DA CLA (Zi), EM METROS, DURANTE O RBLE2 NA FLORESTA. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

FLO	HORA LOCAL								
	DIA	02	05	8	11	14	17	20	23
3	--	--	--			946	1069	--	--
4	--	--	--	761	948	1317	222	260	
5	383	398	89	557	981	1343	215	297	
6	292	369	58	401	1019	--	--	--	
9	--	--	59	448	806	1204	243	290	
10	292	--	59	--	1065	1368	--	--	
Média	322	384	66	542	961	1260	227	282	
Dv.Pd.	43	15	13	139	81	111	12	16	

TABELA A.1b - ALTURA DA CLA (Zi), EM METROS, DURANTE O RBLE2 NA PASTAGEM. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

PAS	HORA LOCAL								
	DIA	02	05	8	11	14	17	20	23
18	--	--	--	838	1639	1735	212	227	
19	--	353	45	945	1486	1992	174	242	
20	247	288	51	--	--	2066	--	--	
21	--	--	--	711	1554	2195	--	--	
22	--	--	--	774	1692	2360	--	--	
23	--	--	56	1022	1588	2307	142	268	
24	247	287	54	889	1413	1755	154	--	
25	--	--	--	707	--	2076	--	--	
Média	247	309	52	841	1562	2061	171	246	
Dv.Pd.	0	31	4	110	93	216	27	17	

TABELA A.2a - TEMPERATURA POTENCIAL MÉDIA NA CLA ($\bar{\theta}$), EM KELVIN, DURANTE O RBLE2 NA FLORESTA. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

FLO	HORA LOCAL								
	DIA	02	05	8	11	14	17	20	23
3	--	--	--	--	304,1	304,7	--	--	--
4	--	--	--	302,7	304,6	304,9	300,3	299,1	--
5	298,9	298,0	295,6	301,5	304,7	305,3	300,6	299,4	--
6	298,2	298,3	296,9	302,2	304,8	--	--	--	--
9	--	--	292,2	298,4	303,2	302,4	298,4	297,8	--
10	292,8	--	295,3	--	303,7	305,1	--	--	--
Média	296,6	298,2	295,0	301,2	304,2	304,5	299,8	298,8	--
Dv.Pd.	2,71	0,16	1,74	1,68	0,59	1,04	1,00	0,69	--

TABELA A.2b - TEMPERATURA POTENCIAL MÉDIA NA CLA ($\bar{\theta}$), EM KELVIN, DURANTE O RBLE2 NA PASTAGEM. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

PAS	HORA LOCAL								
	DIA	02	05	8	11	14	17	20	23
18	--	--	--	304,6	304,6	305,2	300,3	299,6	--
19	--	299,6	296,0	304,8	306,0	305,1	301,0	300,7	--
20	--	299,2	297,3	--	--	306,0	--	--	--
21	--	--	--	304,5	305,6	305,5	--	--	--
22	--	--	--	304,5	305,2	305,8	--	--	--
23	--	--	296,0	304,1	305,5	306,2	300,5	300,7	--
24	299,6	299,3	295,7	304,3	306,6	305,7	301,7	--	--
25	--	--	--	304,6	--	306,9	--	--	--
Média	299,5	299,4	296,2	304,5	305,6	305,8	300,9	300,4	--
Dv.Pd.	0,08	0,17	0,62	0,20	0,63	0,55	0,54	0,50	--

TABELA A.3a - VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO NA CLA (\bar{V}), EM METROS POR SEGUNDO, DURANTE O RBLE2 NA FLORESTA. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

FLO	HORA LOCAL								
	DIA	02	05	8	11	14	17	20	23
3	--	--	--	--	--	4,61	3,79	--	--
4	--	--	--	--	1,57	3,78	1,30	0,75	0,78
5	0,70	1,52	0,30	0,62	2,93	1,64	1,65	1,61	
6	2,64	0,63	0,40	0,71	0,00	--	--	--	
9	--	--	1,50	1,53	3,44	2,01	1,49	2,77	
10	2,47	--	0,53	--	7,19	3,35	--	--	
Média	0,83	1,01	0,46	0,43	3,97	1,92	0,48	1,04	

TABELA A.3b - VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO NA CLA (\bar{V}), EM METROS POR SEGUNDO, DURANTE O RBLE2 NA PASTAGEM. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

PAS	HORA LOCAL								
	DIA	02	05	8	11	14	17	20	23
18	--	--	--	--	5,04	3,96	2,58	1,60	2,08
19	--	1,94	0,26	4,47	3,00	0,00	1,87	2,52	
20	2,97	2,28	0,32	--	--	0,00	--	--	
21	--	--	--	5,92	4,76	0,00	--	--	
22	--	--	--	6,81	4,02	3,34	--	--	
23	--	--	1,12	4,43	3,36	0,00	1,65	2,71	
24	2,48	2,68	0,52	4,44	2,21	3,01	3,13	--	
25	--	--	--	2,88	--	1,81	--	--	
Média	2,59	1,92	0,49	4,33	3,23	2,21	1,53	2,38	

TABELA A.4a - GRADIENTE VERTICAL MÉDIO DE TEMPERATURA POTENCIAL MÉDIA NA CLA ($\bar{V}, \bar{\theta}_v$), EM KELVIN POR QUILOMETRO, DURANTE O RBLE2 NA FLORESTA. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

FLO DIA	HORA LOCAL							
	02	05	8	11	14	17	20	23
3	--	--	--	--	-1,95	-0,36	--	--
4	--	--	--	-0,27	-2,31	0,35	33,87	33,78
5	30,74	27,83	8,24	-4,84	-4,41	0,94	29,60	37,31
6	29,10	22,44	-2,93	-1,39	-0,59	--	--	--
9	--	--	-14,79	-2,16	-5,26	-0,57	25,13	27,99
10	40,46	--	-7,52	--	0,14	3,03	--	--
Média	33,43	25,13	-4,25	-2,17	-2,40	0,68	29,53	33,03
Dv.Pd.	5,02	2,69	8,36	1,69	1,92	1,29	3,57	3,84

TABELA A.4b - GRADIENTE VERTICAL MÉDIO DE TEMPERATURA POTENCIAL MÉDIA NA CLA ($\bar{V}, \bar{\theta}_v$), EM KELVIN POR QUILOMETRO, DURANTE O RBLE2 NA PASTAGEM. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

PAS DIA	HORA LOCAL							
	02	05	8	11	14	17	20	23
18	--	--	--	-4,90	-2,18	-0,41	46,64	48,97
19	--	42,87	-12,52	-4,27	-2,48	-0,25	71,76	73,81
20	50,50	63,79	-19,52	--	--	-0,70	--	--
21	--	--	--	-10,85	-1,32	-0,22	--	--
22	--	--	--	-5,25	-1,72	-0,50	--	--
23	--	--	7,26	-3,93	-2,36	-0,87	90,24	44,35
24	52,47	48,26	3,33	-4,05	-4,12	-0,94	70,57	--
25	--	--	--	-5,04	--	-0,94	--	--
Média	51,48	51,64	-5,36	-5,47	-2,36	-0,60	69,80	55,71
Dv.Pd.	0,99	8,87	11,03	2,25	0,88	0,28	15,48	12,94

TABELA A.5a - UMIDADE ESPECÍFICA MÉDIA NA CLA (\bar{q}), EM GRAMAS POR QUILOGRAMA, DURANTE O RBLE2 NA FLORESTA. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

FLO	HORA LOCAL								
	DIA	02	05	8	11	14	17	20	23
3	--	--	--	--	12,82	13,70	--	--	
4	--	--	--	14,67	13,25	12,93	16,00	15,06	
5	15,10	15,20	16,00	13,75	14,43	13,89	16,50	16,40	
6	15,70	15,60	16,20	15,89	13,10		--	--	
9	--	--	12,30	12,45	14,67	14,16	15,30	15,20	
10	14,70	--	14,80	--	14,26	13,76	--	--	
Média	15,17	15,40	14,83	14,19	13,76	13,69	15,93	15,55	
Dv.Pd.	0,41	0,20	1,55	1,26	0,72	0,41	0,49	0,60	

TABELA A.5b - UMIDADE ESPECÍFICA MÉDIA NA CLA (\bar{q}), EM GRAMAS POR QUILOGRAMA, DURANTE O RBLE2 NA PASTAGEM. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

PAS	HORA LOCAL								
	DIA	02	05	8	11	14	17	20	23
18	--	--	--	11,83	10,72	10,56	13,10	12,10	
19	--	11,80	13,50	10,54	8,41	8,48	11,20	11,20	
20	11,50	11,30	13,60	--	--	7,79	--	--	
21	--	--	--	10,47	9,61	7,55	--	--	
22	--	--	--	8,28	7,14	6,75	--	--	
23	--	--	11,10	8,18	7,36	8,40	11,00	10,06	
24	10,09	10,70	12,50	9,93	9,27	9,49	10,70	--	
25	--	--	--	9,84	--	8,64	--	--	
Média	10,80	11,27	12,68	9,87	8,75	8,46	11,50	11,12	
Dv.Pd.	0,70	0,45	1,01	1,20	1,26	1,10	0,94	0,83	

APÊNDICE B

PARÂMETROS MÉDIOS NA CLA DURANTE O RBLE3

Os valores diários da altura da Camada Limite Atmosférica (Z_i), e dos parâmetros médios da temperatura potencial ($\bar{\theta}$), velocidade do vento (\bar{V}), gradiente vertical de temperatura potencial virtual ($\overline{\nabla_v \theta_v}$), número único de Richardson e da umidade específica (\bar{q}) no interior da CLA para a Floresta e Pastagem durante o RBLE3 (18-25/08/94), assim como as médias horárias e os respectivos desvios padrões são mostrados nas Tabelas a seguir.

TABELA B.1a. ALTURA DA CLA (Z_i), EM METROS, DURANTE O RBLE3 NA FLORESTA. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

FLO DIA	HORA LOCAL								
	00	05	07	8	11	14	17	18	21
14	220	240	--	126	491	748	1213	--	231
15	--	--	--	--	313	1307	1249	80	204
16	--	--	--	40	380	1015	1453	89	--
17	186	--	--	--	447	1049	888	132	--
18	--	193	--	120	399	1271	1279	136	227
19	222	300	313	103	352	1255	1627	133	140
20	238	--	--	75	369	861	955	109	264
21	347	268	324	94	260	715	1040	--	315
22	272	309	278	43	428	1216	1093	121	159
23	204	301	295	73	273	898	1289	169	242
24	308	--	--	121	236	875	948	166	276
25	258	392	--	87	--	963	985	118	221
Méd.	251	286	302	88	359	1014	1168	125	228
D.P.	49	58	18	30	78	198	215	27	50

TABELA B.1b. ALTURA DA CLA (Z_i), EM METROS, DURANTE O RBLE3 NA PASTAGEM. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

PAS DIA	HORA LOCAL								
	00	05	07	8	11	14	17	18	21
14	254	206	265	94	1001	1381	1048	--	--
15	--	--	--	--	587	1480	2223	--	--
16	--	--	--	--	770	1723	2178	--	--
17	189	--	--	--	568	1437	2027	59	72
18	--	105	118	69	509	1655	2148	109	113
19	145	188	198	108	815	1402	2275	62	--
20	--	--	--	--	528	1961	2582	--	225
21	200	201	218	80	583	1417	1806	92	102
22	115	187	184	75	589	1364	2425	62	189
23	146	268	263	72	386	1628	2526	79	--
24	142	167	234	42	504	1467	2355	93	217
25	196	230	292	50	448	1218	2474	210	204
Méd.	173	194	222	74	607	1511	2172	96	160
D.P.	42	44	52	20	165	190	399	46	58

TABELA B.2a - TEMPERATURA POTENCIAL MÉDIA NA CLA ($\bar{\theta}$), EM KELVIN, DURANTE O RBLE3 NA FLORESTA. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

FLO	HORA LOCAL									
	DIA	00	05	07	8	11	14	17	18	21
	14	297,1	294,7	--	294,7	302,1	303,0	303,7	--	298,4
	15	--	--	--	--	300,6	304,9	305,7	300,8	298,8
	16	--	--	--	294,2	301,4	305,3	305,5	302,1	--
	17	297,0	--	--	--	300,5	304,4	304,6	300,2	--
	18	--	293,9	--	294,5	300,9	305,0	304,6	301,2	298,9
	19	297,9	296,4	295,9	294,4	303,0	305,3	305,0	301,5	297,6
	20	297,9	--	--	293,8	301,3	304,3	305,2	300,6	299,5
	21	289,9	296,7	297,0	294,0	301,4	305,5	306,1	--	300,3
	22	299,4	297,3	297,0	294,8	306,8	306,6	306,9	302,2	299,1
	23	300,5	296,6	297,3	294,6	301,8	306,9	307,3	302,3	300,1
	24	299,6	--	--	293,6	301,9	305,4	305,0	301,8	300,6
	25	298,4	297,2	--	294,4	--	305,1	305,8	302,2	299,8
	Méd.	297,5	296,1	296,8	294,3	302,0	305,1	305,4	301,5	299,3
	D.P.	2,9	1,2	0,5	0,4	1,7	1,0	1,0	0,7	0,9

TABELA B.2b - TEMPERATURA POTENCIAL MÉDIA NA CLA ($\bar{\theta}$), EM KELVIN, DURANTE O RBLE3 NA PASTAGEM. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

PAS	HORA LOCAL									
	DIA	00	05	07	8	11	14	17	18	21
	14	300,3	298,2	298,2	298,8	303,8	305,1	305,3	--	--
	15	--	--	--	--	302,8	306,0	306,5	--	--
	16	--	--	--	--	303,7	306,4	307,1	--	--
	17	299,0	--	--	--	302,0	305,9	305,0	303,2	297,8
	18	--	295,4	297,4	296,9	302,1	305,4	306,4	303,9	299,9
	19	297,5	297,7	298,4	299,5	304,7	306,9	307,6	304,0	--
	20	--	--	--	--	303,9	307,2	308,1	--	301,7
	21	300,7	298,7	298,3	299,2	304,8	307,7	307,8	304,2	300,2
	22	299,7	298,7	299,0	300,9	306,3	308,4	309,2	305,0	302,5
	23	302,0	299,7	299,6	299,6	306,4	308,3	307,8	305,0	--
	24	299,3	298,3	298,7	300,5	305,9	308,2	308,3	304,5	302,9
	25	301,0	299,9	299,4	297,8	305,5	308,4	308,6	305,3	301,8
	Méd.	300,0	298,3	298,6	299,1	304,3	307,0	307,3	304,4	301,0
	D.P.	1,3	1,3	0,7	1,2	1,5	1,2	1,2	0,6	1,7

TABELA B.3a - VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO NA CLA (\bar{V}), EM METROS POR SEGUNDO, DURANTE O RBLE3 NA FLORESTA. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

FLO	HORA LOCAL								
	DIA	00	05	07	8	11	14	17	18
14	1,0	2,4	--	1,2	4,8	5,0	7,4	--	1,1
15	--	--	--	--	5,0	4,2	2,6	0,3	0,7
16	--	--	--	1,1	4,2	4,6	4,6	2,5	--
17	0,8	--	--	--	4,6	3,5	2,3	0,9	--
18	--	2,5	--	0,4	4,0	4,0	2,6	0,9	1,3
19	1,9	1,7	2,4	1,2	4,2	2,4	3,8	0,3	0,9
20	1,9	--	--	1,2	5,8	4,7	4,2	0,8	2,1
21	3,4	2,1	3,3	0,6	5,1	2,8	3,5	--	1,3
22	0,6	1,0	1,7	0,4	3,4	4,1	2,4	0,8	1,5
23	0,8	1,9	2,8	1,3	4,5	6,2	4,8	1,8	2,6
24	2,3	--	--	2,1	4,0	3,4	1,2	1,0	1,7
25	1,0	1,1	--	0,3	--	2,4	2,7	1,3	2,4
Méd.	1,5	1,7	1,6	0,7	4,1	3,2	2,7	0,8	1,2

TABELA B.3b - VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO NA CLA (\bar{V}), EM METROS POR SEGUNDO, DURANTE O RBLE3 NA PASTAGEM. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

PAS	HORA LOCAL								
	DIA	00	05	07	8	11	14	17	18
14	0,1	1,8	2,5	0,9	4,1	3,6	3,9	--	--
15	--	--	--	--	3,8	4,1	2,8	--	--
16	--	--	--	--	4,7	4,1	3,1	--	--
17	3,2	--	--	--	4,1	2,9	3,3	1,5	0,5
18	--	1,4	3,8	0,5	4,0	3,3	1,6	0,1	1,8
19	0,9	1,8	1,4	2,5	3,5	5,3	1,8	1,2	--
20	--	--	--	--	5,9	4,9	4,2	--	2,6
21	2,8	1,9	2,5	0,6	4,3	4,8	2,7	1,9	2,0
22	0,3	1,1	0,9	0,3	3,6	5,3	1,8	2,7	1,1
23	3,0	1,8	2,4	0,9	5,4	3,3	3,9	2,4	--
24	1,6	2,5	2,6	1,9	5,1	5,2	3,5	2,0	0,5
25	2,0	0,3	1,3	0,2	5,1	3,6	2,9	3,0	2,1
Méd.	0,8	1,3	1,9	0,8	3,7	3,4	2,3	1,0	0,8

TABELA B.4a - GRADIENTE VERTICAL MÉDIO DE TEMPERATURA POTENCIAL MÉDIA NA CLA ($\bar{V}, \bar{\theta}_v$), EM KELVIN POR QUILOMETRO, DURANTE O RBLE3 NA FLORESTA. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

FLO	HORA LOCAL									
	DIA	00	05	07	8	11	14	17	18	21
	14	46,1	35,5	--	-3,1	-2,4	-3,9	-1,4	--	33,3
	15	--	--	--	--	-3,5	-1,9	-1,1	49,7	50,0
	16	--	--	--	-3,7	-7,0	-2,8	-1,5	26,6	--
	17	66,1	--	--	--	-3,3	-1,0	1,2	26,1	--
	18	--	41,9	--	-2,3	-2,5	-1,5	-1,3	26,6	38,6
	19	38,6	34,5	31,9	13,7	-4,6	-2,4	-1,0	26,6	54,9
	20	46,4	--	--	-0,7	-4,6	-3,6	-0,5	33,9	30,7
	21	34,5	44,3	33,6	0,4	-6,5	-4,3	-0,5	--	30,9
	22	38,6	33,7	38,8	3,4	-4,7	-2,7	-0,9	36,1	49,7
	23	10,6	34,9	39,3	-22,6	-7,8	-2,2	-0,7	32,2	43,0
	24	43,7	--	--	-4,7	-11,8	-2,7	-1,5	25,2	30,1
	25	50,2	30,5	--	34,0	--	-2,3	-1,6	28,1	37,2
	Méd.	41,6	36,5	35,9	1,5	-5,3	-2,6	-0,9	31,1	39,8
	D.P.	14,0	4,5	3,2	13,7	2,7	0,9	0,7	7,1	8,6

TABELA B.4b - GRADIENTE VERTICAL MÉDIO DE TEMPERATURA POTENCIAL MÉDIA NA CLA ($\bar{V}, \bar{\theta}_v$), EM KELVIN POR QUILOMETRO, DURANTE O RBLE3 NA PASTAGEM. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

PAS	HORA LOCAL									
	DIA	00	05	07	08	11	14	17	18	21
	14	43,1	42,6	30,3	-0,4	-2,4	-1,2	-0,3	--	--
	15	--	--	--	--	-6,7	-1,1	-0,1	--	--
	16	--	--	--	--	-5,9	-2,3	-0,4	--	--
	17	33,1	--	--	--	-4,4	-1,9	-0,2	33,2	100,5
	18	--	6,1	32,6	-3,0	-6,8	-3,1	-0,1	43,5	85,4
	19	97,0	52,8	54,1	9,8	-4,5	-2,3	0,2	43,2	--
	20	--	--	--	--	-6,5	-1,4	0,3	--	43,0
	21	49,6	60,0	52,8	-0,3	-3,6	-1,6	-0,2	77,6	84,8
	22	75,0	55,3	57,0	-8,2	-4,2	-1,5	0,0	53,9	53,7
	23	59,4	47,6	42,9	4,0	-7,3	-1,9	-0,4	55,5	--
	24	73,6	76,1	54,1	12,7	-4,5	-1,8	-0,3	12,7	52,0
	25	57,4	56,8	39,0	12,1	-3,1	-1,2	1,5	18,8	38,4
	Méd.	61,0	58,3	45,3	3,9	-5,0	-1,8	0,0	44,9	65,4
	D.P.	19,0	11,3	9,9	7,9	1,5	0,6	0,5	16,5	22,5

TABELA B.5a - NÚMERO DE RICHARDSON MÉDIO NA CLA (\bar{R}_b) DURANTE O RBLE3 NA FLORESTA. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

FLO	HORA LOCAL								
	DIA	00	05	07	8	11	14	17	18
14	1,8	1,2	--	0,5	-0,1	-1,2	1,2	--	1,0
15	--	--	--	--	1,8	1,9	0,4	2,9	2,3
16	--	--	--	0,3	0,0	-1,4	1,4	0,4	--
17	4,4	--	--	--	1,5	-1,6	1,8	1,3	--
18	--	0,4	--	0,2	3,7	-1,6	2,3	1,6	1,2
19	1,0	1,3	2,4	2,0	0,1	0,3	0,0	1,5	1,0
20	0,9	--	--	0,1	4,1	-1,3	0,4	3,9	0,9
21	1,6	1,8	1,0	0,1	2,9	-3,5	-0,1	--	1,6
22	0,5	0,7	1,8	0,1	1,2	-3,6	-0,1	1,4	1,3
23	0,4	1,5	1,0	0,3	0,3	-0,1	-0,3	0,5	0,5
24	0,9	--	--	0,0	0,4	-0,1	0,9	0,4	1,3
25	1,1	1,0	--	-0,3	--	-0,5	1,9	1,1	0,9
Méd.	1,4	1,1	1,6	0,3	1,4	-1,1	0,8	1,5	1,2
D.P.	1,1	0,4	0,6	0,6	1,5	1,5	0,9	1,1	0,4

TABELA B.5b - NÚMERO DE RICHARDSON MÉDIO NA CLA (\bar{R}_b) DURANTE O RBLE3 NA PASTAGEM. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

PAS	HORA LOCAL								
	DIA	00	05	07	08	11	14	17	18
14	--	4,3	1,6	0,6	-2,0	-3,6	0,5	--	--
15	--	--	--	--	1,2	1,1	0,7	--	--
16	--	--	--	--	-4,0	-2,3	0,8	--	--
17	0,7	--	--	--	1,8	-3,0	0,7	4,2	9,1
18	--	6,1	0,1	-0,9	1,1	-14,2	0,2	--	2,0
19	7,7	1,4	6,0	0,1	-1,4	-2,2	0,3	2,8	--
20	--	--	--	--	0,2	0,4	1,4	--	0,5
21	2,1	1,6	1,5	-0,2	-1,4	-1,4	1,9	0,5	2,4
22	0,9	0,8	1,2	-0,5	3,6	-1,3	0,0	0,3	0,6
23	2,0	0,7	1,2	0,0	-3,9	-8,9	0,0	0,5	--
24	1,3	1,2	3,4	0,1	1,1	0,0	-0,8	1,6	0,0
25	1,4	0,4	0,9	1,3	-0,6	-1,6	2,2	3,1	0,5
Méd.	2,0	2,1	2,0	0,1	-0,4	-3,3	0,7	1,6	2,2
D.P.	2,2	1,9	1,8	0,6	2,2	4,1	0,8	1,5	3,0

TABELA B.6a - UMIDADE ESPECÍFICA MÉDIA NA CLA (\bar{q}), EM GRAMAS POR QUILOGRAMAS, DURANTE O RBLE3 NA FLORESTA. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

FLO	HORA LOCAL								
	DIA	00	05	07	8	11	14	17	18
14	15,6	14,8	--	15,4	14,1	12,2	11,5	--	16,1
15	--	--	--	--	14,7	9,7	10,1	17,9	14,4
16	--	--	--	14,9	14,5	10,6	11,4	15,8	--
17	14,0	--	--	--	13,7	10,5	11,7	17,1	--
18	--	14,0	--	14,6	13,8	11,5	12,2	16,8	15,2
19	15,0	14,2	14,3	15,1	14,7	11,8	10,7	16,8	15,0
20	14,0	--	--	14,4	13,5	10,4	11,0	17,2	13,9
21	12,9	12,9	12,5	14,3	13,1	12,5	13,0	--	15,6
22	14,8	13,8	14,0	15,4	14,4	12,5	12,1	17,4	15,4
23	14,9	13,3	11,7	14,0	14,8	9,2	9,8	13,9	13,3
24	12,2	--	--	13,8	13,8	11,2	10,8	16,8	14,2
25	13,9	13,2	--	14,6	--	13,7	13,1	16,2	16,3
Méd.	14,1	13,7	13,1	14,7	14,1	11,3	11,5	16,6	14,9
D.P.	1,0	0,6	1,1	0,5	0,5	1,2	1,0	1,1	0,9

TABELA B.6b - UMIDADE ESPECÍFICA MÉDIA NA CLA (\bar{q}), EM GRAMAS POR QUILOGRAMAS, DURANTE O RBLE3 NA PASTAGEM. (--) INDICA INSUFICIÊNCIA DE DADOS.

PAS	HORA LOCAL								
	DIA	00	05	07	08	11	14	17	18
14	13,5	12,6	12,4	13,6	11,9	11,7	11,0	--	--
15	--	--	--	--	11,3	10,4	9,9	--	--
16	--	--	--	--	12,7	9,9	10,3	--	--
17	10,2	--	--	--	11,9	10,4	10,5	9,3	9,5
18	--	9,0	9,1	10,1	12,0	9,7	10,8	8,5	9,4
19	9,0	8,7	8,7	9,4	12,5	10,1	9,4	7,4	--
20	--	--	--	--	10,5	8,7	8,4	--	7,4
21	7,6	7,1	7,2	8,2	10,2	9,5	10,2	7,6	7,7
22	8,0	8,0	7,4	8,9	11,3	8,0	7,9	6,6	7,9
23	7,8	7,6	7,5	8,0	11,2	8,6	7,5	6,1	--
24	7,4	6,7	6,6	7,9	9,2	7,0	7,9	5,8	6,2
25	6,3	6,5	6,4	7,5	10,8	10,6	8,9	8,2	8,6
Méd.	8,7	8,3	8,2	9,2	11,3	9,6	9,4	7,4	8,1
D.P.	2,1	1,8	1,8	1,8	1,0	1,2	1,2	1,1	1,1