

CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS DA TERMODINÂMICA DA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA SOBRE RONDÔNIA E SUAS RELAÇÕES COM A SUBSTITUIÇÃO DE ÁREAS DE FLORESTAS NATURAIS POR PASTAGENS: PROJETO RBLE

SOLANGE SILVA DE SOUZA, ROBERTO FERNANDO DA FONSECA LYRA
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE, Rod. Presidente Dutra, km 40, ,
12630-000 Cachoeira Paulista/SP.

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). Nesse estudo, foram comparados diversos parâmetros importantes no desenvolvimento da CLA, com base nos dados coletados nas campanhas do projeto RBLE "Rondonia Boundary Layer Experiment", realizadas durante a estação seca de 1994. Foram feitas medidas de superfície e de altitude através de radiossonda e balão cativo nas áreas de floresta (F) e pastagem (P). Os resultados evidenciaram importantes diferenças/mudanças entre as CLAs sobre os dois tipos de vegetação. A área desmatada (pastagem) é sempre mais quente e mais seca ao longo do ciclo diurno. Durante o dia, a taxa de crescimento é praticamente o dobro: a CLA é 2,7K mais quente e 3,0 gkg⁻¹ mais seca, sendo que a sua espessura chega a ser 1000m superior. Durante a noite, a diferença de umidade passa a ser o dobro daquela registrada durante o dia. Por outro lado, a CLA, na pastagem durante a noite, é mais estável, menos espessa cerca de 30% e 2,2K mais fria.

Palavras-chave: Amazônia, Radiossonda, Balão Cativo, Desmatamento, Processos Termodinâmicos.

ABSTRACT: OBSERVED FEATURES OF THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER THERMODYNAMICS IN RONDONIA AND ITS RELATIONSHIPS WITH THE SUBSTITUTION OF NATURAL FOREST AREAS FOR PASTURES: RBLE PROJECT

A study of the possible implications of the substitution of the Amazonian forest for pasture in the State of Rondônia, with relation to the thermodynamic processes that govern the Atmospheric Boundary Layer (ABL) was carried out. In this study, diverse important parameters in the development of the CLA have been compared, on the basis of collected data campaigns of RBLE (Rondonia Boundary Layer Experiment) Project, conducted during the dry station of 1994. Measures of altitude with the aid of radiosondes and tethered balloons and of surface in areas of Forest (F) and Pasture (P) have been performed. The results showed evidence of important differences between the ABL on the two types of vegetation. In the area deforested (pasture), during the day, the growth rate is practically the double, the CLA is 2,7K hotter and 3.0gkg⁻¹ drier and its thickness can be 1000m lager. During the night the humidity difference starts to be the double of that registered during the day. On the other hand, the CLA in the Pasture during the night is more stable, about 30% less thick and 2,2K colder.

Key-words: Amazonian, radiosondes, tethered baloon, deforestation, thermodynamics processes.

1. INTRODUÇÃO

A região Amazônica (5.032.925km²) 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 nos ciclos biogeoquímicos.

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 trocas de energia, massa e momentum, entre a superfície e a baixa atmosfera. Com a substituição da vegetação natural por outro tipo de cobertura vegetal, ocorrem modificações neste processo de interação superfície-atmosfera. Garrat (1993) 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 (Nobre et al., 1991). O clima é sensível às variações da evapotranspiração e do balanço

de energia à superfície. No caso da Amazônia, grande parte de sua área já sofreu um processo de troca permanente com a substituição de floresta tropical úmida por vegetação de baixo porte, tal como pastagens e culturas agrícolas.

Os SVATs (*Soil-Vegetation-Atmosphere model*) são modelos que possuem parametrizações dos processos de troca de energia à superfície em escala de resolução horizontal bem menor do que os MCGAs. Sellers et al. (1986) fazem uma descrição detalhada acerca deste tipo de modelo. Na interface dos SVATs e MCGAs, estão os modelos de mesoescala, cuja eficiência depende muito da parametrização dos processos à superfície antes e depois de processos como o 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 que está vinculado a este estudo 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 (Nobre et al., 1996). Este projeto é a componente da Camada Limite Planetária do ABRACOS e utiliza os sítios experimentais de floresta e pastagem.

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

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização dos sítios experimentais

Os sítios experimentais situam-se em dois planos distintos: floresta e pastagem, localizados na parte Central do Estado de Rondônia, Brasil. A região de floresta compreende a Reserva Biológica de Jaru, com uma área de 268.150ha de floresta tropical virgem, a qual é um local de preservação permanente pertencente ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Ela está situada entre os paralelos 10°05' e 10°19'S e os meridianos 61°35' e 61°57'W, com altitude variando de 100 a 150m. O local do experimento foi uma pequena clareira (LAT.: 10°05'S;

LONG.:61°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.

O sítio de pastagem (LAT.: 10°46'S; LONG.:62°20'W; ALT.:293m) está localizado na Fazenda Nossa Senhora Aparecida, em 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 de 89km. 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*, mas 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 descoberto cobria 12% da área total da pastagem.

2.2. Dados Utilizados

Os dados utilizados foram perfis verticais de pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade específica, velocidade e direção do vento observados durante a terceira campanha do projeto RBLE (RBLE 3). As sondagens com Balão Cativo (BC) e Radiossonda (RS) foram realizadas concomitantemente às 2; 5; 8; 11; 14; 17; 20 e 23HL. 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).

Nas radiossondagens, foi utilizado o sistema de radiossondagem Väisälä, com sonda RS80-15N. As sondas emitem sinais 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. Os dados do BC foram coletados pelo sistema de aquisição ADAS-"Atmospheric Data Acquisition System" da Air Company (USA); a resolução dos sensores da RS e do BC são as mesmas para os sensores de temperatura (0,1°C), umidade relativa (1%) e pressão atmosférica (0,1hPa). A resolução dos sensores de velocidade (V) é de 0,5ms⁻¹ na RS e de 0,1 ms⁻¹ no BC. A velocidade de ascensão do RS é da ordem de 5ms⁻¹ e do BC é de 1ms⁻¹, sendo que, no BC, a velocidade era controlada por um guincho mecânico. Paralelamente, eram realizadas medidas à superfície de temperatura do ar, bulbo seco e bulbo úmido, pressão atmosférica e intensidade e direção do vento para calibração das sondas

do BC e da RS antes de cada lançamento. Uma descrição detalhada destes instrumentos pode ser encontrada em Fisch (1996).

3. METODOLOGIA ADOTADA

O estudo da CLA compreendeu as análises da Camada Limite Convectiva (CLC) e da Camada Limite Noturna (CLN), correspondendo, respectivamente, aos períodos diurno e noturno para a terceira campanha experimental. A CLC é governada principalmente pela turbulência térmica – ascensão das 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 predominantemente pela turbulência mecânica. As características estáveis desta camada tendem a inibir naturalmente seu crescimento vertical, e como resultado é bem menos profunda que a CLC. A profundidade da camada limite foi determinada pelos perfis da RS nos horários das 11; 14 e 17H; e pelos perfis do BC nos demais horários.

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 quando o gradiente vertical da temperatura

potencial ($\frac{\partial \theta_v}{\partial z}$) é $< -2\text{Kkm}^{-1}$; Neutro quando -2Kkm^{-1}

$\leq \frac{\partial \theta_v}{\partial z} \leq +2\text{Kkm}^{-1}$; e Estável quando $\frac{\partial \theta_v}{\partial z} > +2\text{Kkm}^{-1}$.

Este limite do $\frac{\partial \theta_v}{\partial z}$ foi estabelecido arbitrariamente, baseado nos valores estabelecidos por Lyra (1995) e Fisch (1996).

A altura da CLC foi definida como a base da camada estável, ou camada de inversão, onde a atmosfera muda do regime neutro para estável. A altura da CLN foi definida como o topo da camada estável, e, neste caso, a estabilidade atmosférica muda de estável para neutra. 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 $\frac{\partial \theta_v}{\partial z}$, umidade específica q , direção D e velocidade V do vento.

Em seguida, foram calculados os parâmetros médios de θ , q e V , ou seja, θ , q , e V dentro da camada, através da média aritmética. Sendo que θ é a temperatura

potencial considerando o ar seco. Com relação ao vento, o cálculo de V foi feito utilizando a metodologia proposta por Texeira & Girardi (1978), em que o vetor vento é inicialmente decomposto em componentes zonal ($u = -V\sin D$) e meridional ($v = -V\cos D$). Sendo que V representa o raio da circunferência e D , o azimute, o ângulo formado entre a componente zonal, u , e o raio da circunferência, V . Foram calculadas as duas componentes médias, u e v , através da média aritmética, e em seguida V .

4. RESULTADOS

4.1 - Condições sinóticas sobre a região durante o RBLE 3

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 5ms^{-1} . A média climatológica mensal, obtida para o período de 1979 a 1988, apresenta anomalia negativa de vento muito fraca de Oeste-Noroeste.

Nos altos níveis (200hPa), 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 negativa e de Leste com 5ms^{-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 260Wm^{-2} . O centro desta convergência em 200hPa 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 - Evolução da Camada Limite Atmosférica durante o RBLE 3

A evolução temporal diária de θ no interior da CLA, bem como sua tendência ao longo do experimento, é mostrada na Figura 1. Na pastagem, observam-se, a

partir do dia 19 até o final do experimento, valores relativamente superiores com relação aos dos outros dias. É interessante observar o avanço da estação seca, apesar do pequeno período, de 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 é melhor observado na umidade específica (Figura 2). 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 $17,9\text{gkg}^{-1}$ (dia 15 às 18HL) e um mínimo de $9,2\text{gkg}^{-1}$ (dia 23 às 14HL) na floresta, contra um máximo de $13,6\text{gkg}^{-1}$ (dia 14 às 08HL) e um mínimo de $5,8\text{gkg}^{-1}$ (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 32,6% de umidade a mais do que na pastagem. A diferença acentua-se quando se comparam os dias mais secos, nos quais a floresta teve 58,6% a mais de umidade.

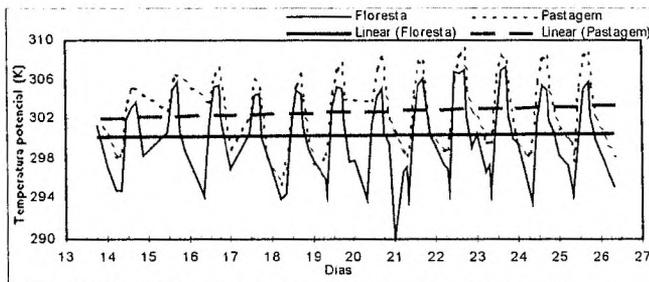


Figura 1 – Evolução Temporal Diária da Temperatura Potencial média na CLA durante o **RBLE3**, para os dois sítios experimentais. As linhas retas indicam a tendência linear das curvas.

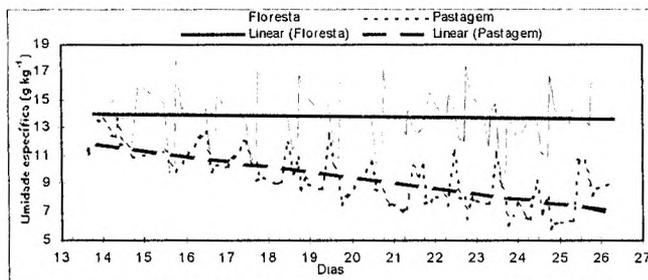


Figura 2 – Evolução Temporal Diária da Umidade Específica média na CLA durante o **RBLE3**, para os dois sítios experimentais. As linhas retas indicam a tendência linear das curvas.

O crescimento diurno da CLC, a partir dos valores médios das 08HL (lançamento simultâneo do BC): 11: 14 e

17HL (lançamentos simultâneos do RS) é mostrado na Figura 3. Pela manhã (08HL), a CLC foi mais alta na floresta, o valor médio foi 88m contra 74m 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 5), a turbulência dinâmica foi maior na floresta, devido à maior rugosidade da superfície. Conseqüentemente, a CLC na floresta, às 08HL, já se apresenta mais desenvolvida do que na pastagem.

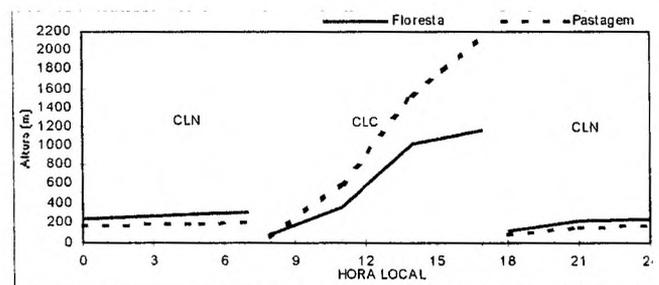


Figura 3 – Evolução Temporal Média da Altura da CLA durante o **RBLE3**, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

Nos horários subsequentes, a z_i na pastagem foi sempre superior devido à maior eficiência térmica na pastagem, o que implica uma CLC mais turbulenta e com mais convecção. Os valores na floresta foram 359m às 11HL, 1014m às 14HL e 1168m às 17HL e, na pastagem, 607m às 11HL, 1511m às 14HL e 2172m às 17HL (Figura 3). 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 1004m no final da tarde (17HL). Este comportamento também foi verificado no RBLE2 (Souza, 1997) e em outros trabalhos (Lyra et al., 1994; Rocha et al., 1994; Fisch, 1996; Lyra et al., 1996). Oliveira et al. (2000) analisaram a estrutura e evolução dinâmica da CLA através do estudo da turbulência atmosférica, durante o mesmo experimento, e verificaram que, na pastagem, o regime torna-se instável mais cedo, às 6HL, do que na floresta, às 8HL, com os respectivos valores de Monin-Obukhov de 75m e 160m. Com relação aos efeitos turbulentos, os autores verificaram, através do número de Richardson, que eles surgem às 10HL na pastagem e 13:30HL na floresta, propagando-se na vertical até no máximo 1400m na pastagem e 900m na floresta.

É interessante notar que, durante todo o experimento na floresta e pastagem, os perfis de

temperatura potencial e umidade específica mostravam, abaixo de 3km, uma camada bem misturada ao longo do ciclo diurno. Esta camada é formada pela mistura turbulenta da CLC e mantém-se mesmo com o fim, por volta das 17HL. Após este horário, a camada continua bem misturada na umidade e temperatura potencial, mas sem a turbulência. A esta camada, denominamos de camada residual (CR) e também foi observada durante a estação seca na floresta, em Manaus, durante o ABLE-2A, quando o sítio se encontrava também sob a influência de subsidência em larga-escala.

As maiores taxas de crescimento observadas ocorreram entre o período das 11 às 14HL, sendo iguais a $6,1\text{cms}^{-1}$ na floresta e $8,4\text{cms}^{-1}$ na pastagem. Porém, há um crescimento bastante significativo ($6,1\text{cms}^{-1}$) 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. Este rápido crescimento da CLP da pastagem talvez seja favorecido pelo estado de persistência da camada residual durante todo o período diurno verificado no experimento, pois essa área, em particular, tem uma eficiência térmica maior em relação à floresta (Tóta da Silva, 1998). Isto causa uma diferença muito pequena, em termos dos parâmetros médios na camada, entre a CLC e a camada residual às 17HL. Diferentemente do resultado no RBLE2 (Souza, 1997), a escolha do método do gradiente vertical da temperatura potencial virtual de $\pm 2\text{Kkm}^{-1}$ não foi muito conveniente para este horário, uma vez que tenha superestimado o valor da altura da CLC e provocado esta aparente taxa alta de crescimento na pastagem no RBLE3. Fisch (1996) e Tóta da Silva (1998) encontraram, para este período, uma taxa de crescimento mais baixa, de aproximadamente $1,6\text{cms}^{-1}$. É importante frisar a importância da escolha do critério para a determinação da altura, pois, para um mesmo perfil de temperatura, a altura pode ser diferente, dependendo da escolha do método (Garrat, 1993). Martin et al. (1988), avaliando a CLC na Reserva Ducke, em Manaus, durante a estação seca do experimento, ABLE 2A, verificaram que a taxa máxima de crescimento acima de 10cms^{-1} pode ser atingida dentro de 2 horas após o nascer do sol. A CLC atingiu tipicamente 1000m às 11HL, permanecendo acima desta altitude até às 16HL, o que representou uma taxa média de crescimento da ordem de 5cms^{-1} .

A CLN apresenta uma evolução acentuada no início da noite, passando a taxas discretas a partir das 21HL (Figura 3). Na floresta, a sua altura média às 18HL foi de 125m. Com a continuação do resfriamento radiativo,

a camada tornou-se mais profunda, passando a 228m às 21HL, 251m às 00HL, 286m às 05HL e 302m às 07HL. Martin et al. (1988) e Garstang et al. (1990) encontraram valores ligeiramente mais baixos para a Reserva Ducke (115-215m). Na pastagem, a altura média às 18HL foi 96m, aumentando para 160m às 21HL, 173m à 00HL, 194m às 05HL e 222m às 07HL. Na floresta, a CLN foi sempre mais espessa, sendo que o valor médio de z_i foi 239m contra 169m na pastagem. Este fato, também observado no RBLE2 (Souza, 1997), 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). Foi constatada a formação de nevoeiros noturnos em 12 dos 14 dias do experimento (Silva & Lyra, 1996).

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

A forma de evolução temporal de θ , nos dois sítios, segue a mesma tendência (Figura 4). O aquecimento da CLC verifica-se 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 floresta, existe uma diferença de 2,5K entre as CLAs das 07 e 08HL. 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. 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 RBLE3. Devido a isto, o fluxo de calor sensível foi 247% mais alto às 08HL ($7,8\text{Wm}^{-2}$ na floresta contra $26,7\text{Wm}^{-2}$ 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 $6,24\text{Kh}^{-1}$ e $2,11\text{Kh}^{-1}$.

No início da manhã, entre 05 e 07HL, observou-se um ligeiro acréscimo de θ (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 dele.

Características observadas da termodinâmica da camada limite atmosférica sobre Rondônia e suas relações com a substituição de áreas de florestas naturais por pastagens: Projeto RBLE

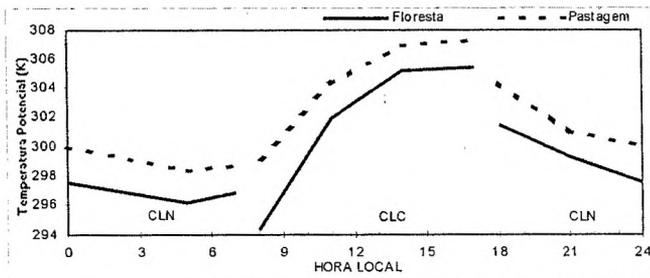


Figura 4 – Evolução Temporal Média da Temperatura Potencial média na CLA durante o **RBLE3**, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

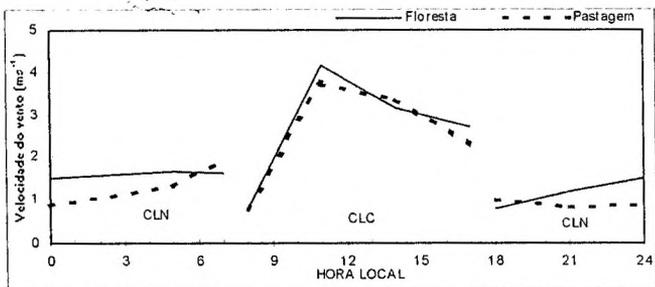


Figura 5 – Evolução Temporal Média da Velocidade do Vento média na CLA durante o **RBLE3**, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

Como no caso da temperatura potencial, o comportamento médio da velocidade do vento na CLA (V) mostrou-se bastante semelhante nos dois sítios (Figura 5). 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.

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

A variação diurna da umidade específica média na CLA (q) é apresentada na Figura 6. 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. 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 e decresce até o final da tarde (17HL). A partir das 08HL, a diferença de umidade, na CLC da floresta e pastagem, tende a diminuir.

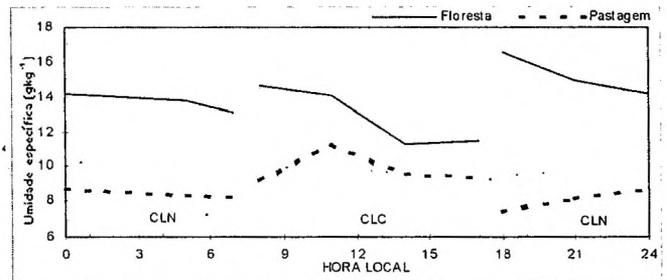


Figura 6 – Evolução Temporal Média da Umidade Específica média na CLA durante o **RBLE3**, para os dois sítios experimentais. As barras verticais tracejadas indicam a separação da CLC e CLN.

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 ($5,1\text{gkg}^{-1}$), devido à 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 $2,0\text{gkg}^{-1}$. A floresta é mais úmida durante todo o ciclo diurno e noturno, como decorrência da maior eficiência do processo de evapotranspiração do ecossistema natural.

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 $1,6\text{gkg}^{-1}$. Na pastagem, houve um aumento de $0,5\text{K}$, como também um ganho de umidade igual a $1,0\text{gkg}^{-1}$.

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).

5 . CONCLUSÕES

O processo da substituição da floresta por pastagem é bastante complexo e responde como uma reação em cadeia. Inicialmente, o ambiente natural de floresta é invadido pelas atividades antropogênicas, causando o desmatamento que, na região, normalmente ocorre via queimadas. Como conseqüência, surgem os efeitos ecológicos, os efeitos hidrológicos, as modificações das características da vegetação, etc. As modificações das características da superfície vegetada implicam alterações nos balanços locais, a começar pelo aumento do coeficiente de reflexão da radiação. Como conseqüência 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 à pequena 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.

Os resultados mostraram que, na CLA do ambiente modificado, pastagem, observou-se que, 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; e 3,0gkg⁻¹ mais seca. Durante a noite, existem 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 permite 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 e 6,3gkg⁻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, pode-se supor que ocorre um transporte horizontal de energia e de massa. Como a distância entre os dois sítios é relativamente grande, cerca de 90km, não se pode chegar a uma conclusão definitiva a este respeito.

6 . AGRADECIMENTOS

O presente estudo só foi possível devido ao grande número de pesquisadores e assistentes envolvidos nesse tipo de coleta e análise de dados obtidos no campo com muito esforço e dedicação.

7 . REFERÊNCIAS

- CLIMATE DIAGNOSTICS BULLETIN (CDB). Washington: CPC/NWS/NOAA. Department of Commerce, n.8, 1994, p.1-27.
- FISCH, G. **Camada Limite Amazônica**: Aspectos observacionais e de modelagem. São José dos Campos, 1996. 171p. (Tese de Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (INPE 6123-TPT/584).
- GARRAT, J.R. Sensitivity of climate simulations to land-surface and atmospheric boundary layer treatments - a review. **J. Clim.**, v.6, n.3, p.419-49, 1993.
- GARSTANG, et al. The Amazon Boundary-Layer Experiment (ABLE 2B): a meteorological perspective. **Bull. Am. Soc.**, v.71, n.1, p.19-32, 1990.
- HENDERSON-SELLERS, A. Effects of land use on climate in the humid tropics. Dickinson, R. E. (Ed.). **The geophysiology of Amazonia**. New York: John Wiley and Sons, 1987, p.463-96.
- LYRA, R. **Desmatamento da Amazônia e sua repercussão ao nível da camada limite**: projeto RBLE "Rondonia Boundary Layer Experiment": Relatório técnico, Maceió: Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Exatas e Naturais - Departamento de Meteorologia, 1995, 28p.
- LYRA, R., et al. Efeitos do desmatamento sobre a termodinâmica da baixa atmosfera. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8, 1994, **Anais...** v.1, p.81-4.
- LYRA, R. et al. Desmatamento da Amazônia e sua repercussão ao nível da camada limite atmosférica: projeto RBLE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, 1996, Campos de Jordão, São Paulo, **Anais...** v.2, p.1266-70.
- MARTIN L.L. et al. Structure and growth of the mixing layer over the amazonian rain forest. **J. Geophys. Res.**, v.93, n.D2, p.1361-75, 1988.
- NOBRE, C.A., SELLERS, P.J., SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **J. Clim.**, v.4, n.10, p.957-88, 1991.

Características observadas da termodinâmica da camada limite atmosférica sobre Rondônia e suas relações com a substituição de áreas de florestas naturais por pastagens: Projeto RBLE

- NOBRE, C.A. et al. Observations of the atmospheric boundary layer in Rondonian. In: GASH, J.H. et al. (Ed.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester, UK: John Wiley & Sons. 1996, p. 413-24.
- OLIVEIRA, P.J., FISCH, G. Efeito da turbulência na camada limite atmosférica em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Rev. Bras. Meteorol.**, v.15, n.2, p.0-0, 2000.
- ROCHA, E.J.P., RIBEIRO, J.B.M., MOTA, M.A.S. Análise da estrutura atmosférica durante o RBLE-2. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8, 1994, **Anais...** v.1, p.46-7.
- SELLERS, P.J. et al. A Simple Biosphere model (SiB) for use within general circulation models. **J. Atmos. Sci.**, v.43, n.6, p.505-31, 1986.
- SILVA, M.R.G., LYRA, R. Efeitos do desmatamento na termodinâmica da camada limite noturna: projeto RBLE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, 1996, Campos de Jordão. **Anais...** v.2, p.1229-32.
- SOUZA, S. S. **Substituição da floresta amazônica por pastagem e sua repercussão ao nível da termodinâmica da camada limite atmosférica: projeto RBLE**. Campina Grande, 1997. 110p. Dissertação (Mestrado): Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia – Departamento de Ciências Atmosféricas. (CMM TD 03).
- STULL, R.B. **Introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. 666p.
- TEXEIRA, M.L, GIRARDI, L.C. Oscilações do vento na estratosfera equatorial: Relatório Técnico, São José dos Campos, 1978. 28p. (ECA 04).
- TÓTA DA SILVA, J.T. Estimativa regional de fluxos de calor sensível e latente em áreas de floresta pastagem na Amazônia. São José dos Campos, 1998. 113p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (INP 6822-TDI/643).