

# RAJADAS NOTURNAS ACIMA DA FLORESTA DE CAXIUANÃ, PA, DURANTE A ESTAÇÃO SECA.

Daniele Santos Nogueira <sup>1</sup>, Leonardo Deane de Abreu Sá <sup>2</sup>, Júlia Clarinda Paiva Cohen <sup>1</sup>

(1) *Universidade Federal do Pará, Centro de Geociência, Departamento de Meteorologia*

(2) *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - Museu Paraense Emilio Goeldi*

## 1. Introdução

O escoamento acima de florestas é um domínio importante dos estudos da Camada Limite Noturna (CLN) (Cava et al., 2004). O estudo da interação floresta-atmosfera, particularmente na Amazônia, tem-se tornado cada vez mais importante na determinação do balanço do carbono.

No que se refere especificamente aos estudos realizados a leste da Amazônia, na Floresta Nacional de Caxiuanã, notou-se a ocorrência de máximos relativos ao longo do tempo de velocidade do vento, próximo à superfície, aqui denominados de “rajadas”.

Pode-se observar a importância dos eventos de rajada através de uma considerável intensificação dos transportes vertical e horizontal de CO<sub>2</sub>, umidade e calor sensível, que ocorrem, muitas vezes, em intervalos de tempo da ordem da dezena de minutos, em quantidades comparáveis às trocas verificadas no restante da noite.

## 2. Material e Métodos

Os dados utilizados foram coletados durante o Experimento CiMeLA (Circulações de Mesoescala do Leste da Amazônia), na floresta de terra-firme de Caxiuanã (1°42'30''S, 51°31'45''W), no município de Melgaço, Pará, do dia 28/10/2003 a 14/11/2003 (estação seca). Foram usadas as seguintes medições: sondagens verticais da atmosfera com radiossondas VAISALA em, no mínimo, quatro horários diários; medições do vento horizontal por quatro anemômetros de copo “Vektor”, de 30 em 30 segundos, instalados a alturas diferentes (20,6 m, 40,8 m, 48,1 m e 52,8 m) ao longo de uma torre meteorológica de 56 m, localizada no interior da floresta (altura média da copa de 32 m); e medidas de resposta rápida (16 Hz), a 54 m de altura na torre, das três componentes da velocidade do vento, temperatura, umidade específica e concentração de dióxido de carbono.

Fez-se neste estudo uma caracterização estatística das rajadas noturnas e uma investigação dos padrões de variabilidade das covariâncias entre componentes da velocidade do vento e demais grandezas disponíveis. Também foram identificados padrões de oscilações amortecidas que geralmente sucederam aos eventos em questão e que parecem apresentar complexidade (Fritts et al., 2003).

Neste trabalho, definem-se as rajadas como máximos relativos da velocidade do vento, observáveis em dados de anemômetros de copo e sônico, com velocidade mínima de 4 m/s, durando de 2 a 14 minutos, ocorrendo geralmente a partir das 20:00h (HL), e que apresentam padrões característicos de evolução de parâmetros estatísticos associados às grandezas micrometeorológicas turbulentas.

### 3. Resultados e Discussão

Dos 15 dias de dados disponíveis, todos apresentaram o fenômeno no nível mais alto e, na maioria das vezes, em todos os outros anemômetros também.

Para os dias e horários em que as rajadas foram verificadas, foram elaborados gráficos dos dados de resposta rápida disponíveis, que mostram claramente características de turbulência desenvolvida. O comportamento das variáveis de velocidade do vento apresentou mudança brusca no instante de ocorrência das rajadas, sendo que  $u$  e  $v$  aumentaram em magnitude e  $w$  ganhou maior amplitude em suas oscilações. Enquanto isso, escalares como vapor d'água e concentração de  $\text{CO}_2$  tiveram comportamentos similares entre si, mostrando aumento brusco, enquanto que a temperatura apresentou comportamento inverso, tendo uma queda com o evento da rajada, conforme mostrado na Figura 1, para dados de  $\text{CO}_2$  e  $T$ .

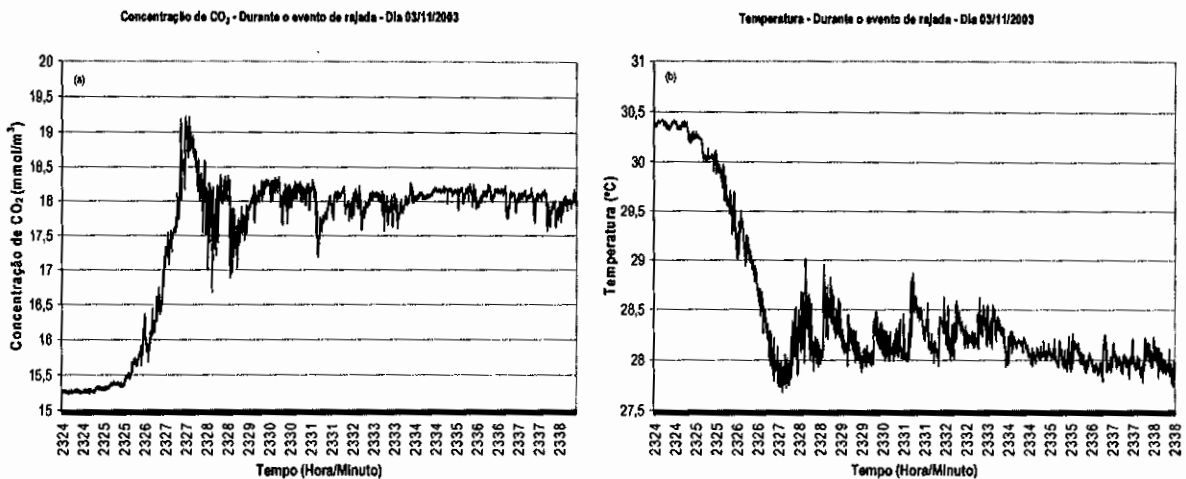


Figura 1 – Sinais turbulentos das variáveis medidas pelo anemômetro sônico durante o período da rajada do dia 03/11/2003: (a) concentração de  $\text{CO}_2$  e (b) temperatura.

É possível notar a ocorrência de estruturas coerentes em forma de rampa nos sinais turbulentos dos escalares. Estão associadas com o ciclo clássico de ejeção-intrusão, o qual é mais ativo durante suas ocorrências, promovendo trocas bastante eficientes entre a floresta e a atmosfera. Estas estruturas ocorrem de forma síncrona nos sinais de  $\text{CO}_2$ , vapor d'água e temperatura, sendo as rampas de temperatura “invertidas”. Isso se deve ao fato de, no período noturno, a copa ser um sumidouro de calor e uma fonte de gás carbônico e umidade (Cava et al., 2004). O padrão da variabilidade das estruturas coerentes dos escalares da Figura 1 mostra um decaimento das amplitudes de oscilação acompanhado de um aumento da frequência das mesmas, diferentemente do que se deve esperar de oscilações amortecidas “clássicas” que não apresentam variação temporal de frequência. Isto sugere que tais oscilações são regidas por dinâmica não-linear (Fritts et al., 2003), fenômenos associados a processos de realimentação (feedback), de natureza complexa.

Calculou-se a direção das rajadas observadas com os dados do anemômetro sônico. Encontrou-se que estas eram sempre de Nordeste, bem como a direção das covariâncias de  $u'w'$ ,  $v'w'$ ,  $u'c'$ ,  $v'c'$ ,  $u'q'$ ,  $v'q'$ ,  $u'T'$  e  $v'T'$  durante o evento. A direção encontrada coincide com a direção em que foram observadas trovoadas instantes antes dos lançamentos das radiossondagens noturnas, para os mesmos dias em que as rajadas foram registradas.

Baseado nisto, investigou-se as variações dos perfis verticais da temperatura potencial equivalente,  $\theta_e$ , antes e depois do período de ocorrência das rajadas. Os resultados mostraram quedas consideráveis nos valores de  $\theta_e$  na Camada Limite Superficial (CLS), conforme mostra o caso típico da Figura 2. Todavia, no que se refere à extensão vertical da região da queda, foram observadas duas situações diferentes: (i) queda considerável e aproximadamente uniforme de  $\theta_e$  ao longo de toda a região atingida pela radiossonda; (ii) queda considerável de  $\theta_e$  apenas até uma altura de algumas centenas de metros, caracterizada pela existência de um pronunciado máximo local em  $\theta_e$ .

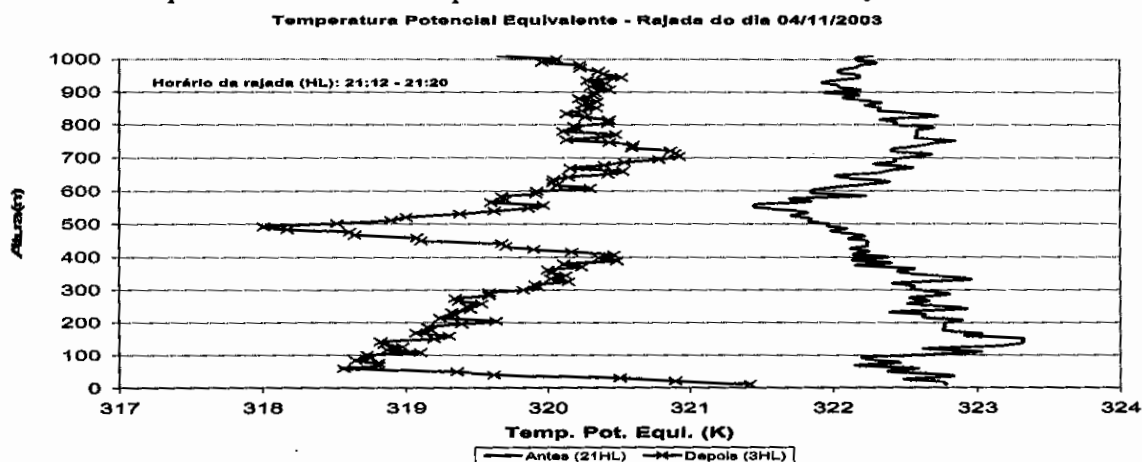


Figura 2 – Perfis verticais de temperatura potencial equivalente antes e depois do evento de rajada do dia 04/11/2003, representando a típica queda de  $\theta_e$  após o episódio.

Isto sugere a importância de correntes de ar descendente (outflows) associadas à atividade convectiva (na classe 1) e de brisas fluviais (na classe 2) na ocorrência das rajadas. Em ambos os casos, atuam correntes de densidade na CLN, que muitas vezes apresentam origens distintas, como mencionado por Sun et al. (2002; 2004) em seu estudo referente à região central dos EUA. Indo em direção à torre meteorológica, a chegada destas correntes descendentes é percebida como uma corrente de ar mais frio, registrada com um súbito aumento na velocidade do vento e com uma queda de temperatura de  $\theta_e$ . A diferença de temperatura criaria um movimento de convecção livre, o qual transporta calor sensível,  $\text{CO}_2$  e umidade em quantidades maiores que as existentes no nível acima.

Para comprovar a importância das rajadas em relação à noite inteira, foi elaborado um cálculo simples de integração temporal dos transportes verticais e horizontais de cada um dos escalares disponíveis, baseado em Cava et al. (2004). O cálculo considerou dois períodos distintos: o primeiro, correspondendo ao período associado ao evento (meia-hora antes, durante e meia-hora depois da rajada); o outro, correspondendo ao restante da noite.

Ressalte-se que, embora os episódios de rajada correspondam a cerca de 10% do período da noite toda, eles contribuem com trocas de massa e de calor em percentagens muito superiores a 10% em relação ao restante da noite. Algumas vezes, correspondem a quase 50% das trocas noturnas. Tal resultado é de considerável importância para uma melhor compreensão da variabilidade noturna dos fluxos e também oferece ponto de partida para uma investigação futura que possibilite uma melhor parametrização dos processos de troca floresta-atmosfera em modelos numéricos de simulação de evolução da CLN.

#### 4. Conclusão

Foram caracterizadas ocorrências noturnas de rajadas intensas acima da Floresta Amazônica em Caxiuana, que ocorrem sempre uma vez por dia entre 20 e 24 horas, podem atingir mais de 10 m/s no alto da torre de 56 m, duram cerca de 1 dezena de minutos, e têm direção predominante de Nordeste. Associam-se à forte turbulência nos sinais dos escalares, que apresentam assinatura típica de estruturas coerentes em forma de rampas amortecidas durante as suas ocorrências. Durante as rajadas, os fluxos de momentum, calor sensível, vapor d'água e CO<sub>2</sub> apresentam aumento pronunciado e respondem por fração ponderável das trocas floresta-atmosfera relativamente a todo o período noturno. Uma característica notável da estrutura vertical da camada limite noturna em sua parte inferior é a queda nos valores das temperaturas de estado e potencial equivalente após os eventos de rajada. Isto sugere a participação de correntes descendentes de ar (outflows) no processo de geração das rajadas, o que explicaria o esfriamento e a intensificação da estabilização observados nas camadas acima da copa após as mesmas.

#### 5. Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pelo Programa-PPG7/FINEP/MCT, processo nº 64.99.0425.00, pelo MCT e CNPq/PADCT, através do Instituto do Milênio, com os Projetos nº 62.0056/01-0, e nº 620065/01-0 e pela FAPESP/SECTAM/PRONEX, contrato nº 1082. Daniele Nogueira agradece ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida, processo nº 103934/03-0; Leonardo Sá agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa, processo 300 329/1996 – 2 NV; os autores agradecem a todos os participantes do Experimento CIMELA pela dedicação, ao Museu Paraense Emílio Goeldi que proporcionou todas as facilidades para o bom andamento deste Experimento e à School of Earth, Environmental and Geographical Sciences (SEEGS) – University of Edinburgh pelo apoio ao projeto.

#### 6. Referências Bibliográficas

- CAVA, D., GIOSTRA, U., SIQUEIRA, M., KATUL, G., **Organized and radiative perturbations in the nocturnal canopy sublayer above an even-aged pine forest**, *Boundary-Layer Meteorology*, 112, 129-157, 2004.
- FRITTS, D. C., NAPPO, C., RIGGIN, D. M., BASLEY, B. B., EICHINGER, W. E., NEWSOM, R. K. **Analysis of Ducted Motions in the Stable Nocturnal Boundary Layer during CASES-99**, *Journal of the Atmospheric Sciences*, v., 60, 2450 – 2472, 2003.
- SUN, J., BURNS, S. P., LENSCHOW, D. H., BANTA, R., NEWSOM, R., COULTER, R., FRASIER, S., INCE, T., NAPPO, C., CUXART, J., BLUMEN, W., LEE, X., HU, X., **Intermittent turbulence associated with a density current passage in the stable boundary layer**, *Boundary-Layer Meteorology*, 105, 199-219, 2002.
- SUN, J., LENSCHOW, D. H., BURNS, S. P., BANTA, R. M., NEWSOM, R. K., COULTER, R., FRASIER, S., INCE, T., NAPPO, C., BASLEY, B. B., JENSEN, M., MAHRT, L., MILLER, D., SKELLY, B., **Atmospheric disturbances that generate intermittent turbulence in nocturnal boundary layers**, *Boundary-Layer Meteorology*, 110, 255-279, 2004.