

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/236323933>

Jatos de Baixos Níveis acima da Floresta Amazônica em Caxiuanã (PA)

Article in *Revista Brasileira de Meteorologia* · December 2006

CITATIONS

5

READS

229

4 authors:



[Julia C P Cohen](#)

Federal University of Pará

64 PUBLICATIONS 853 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

[Leonardo Deane de Abreu Sá](#)

National Institute for Space Research, Brazil

209 PUBLICATIONS 2,205 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Daniele Santos Nogueira](#)

Amazon Protection System (SIPAM), Brazil

24 PUBLICATIONS 250 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Adilson Wagner Gandu](#)

University of São Paulo

59 PUBLICATIONS 584 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Analysis of High Resolution Radiosonde Profiles - RSSM [View project](#)



Interaction surface-atmosphere in tropical regions with emphasis on nocturnal atmospheric boundary-layer phenomena which occur above Amazon forest sites. [View project](#)

JATOS DE BAIXOS NÍVEIS ACIMA DA FLORESTA AMAZÔNICA EM CAXIUANÃ

JULIA CLARINDA PAIVA COHEN¹, LEONARDO DEANE DE ABREU SÁ^{3,4},
DANIELE SANTOS NOGUEIRA² e ADILSON WAGNER GANDU⁵,

^{1,2} Universidade Federal do Pará, Centro de Geociência, Departamento de Meteorologia.
Av. Augusto Correa, s/n, CEP: 66075-100, Belém - PA.

E-mail:¹ jpc Cohen@ufpa.br; ² danielesn84@yahoo.com.br

³ Museu Paraense Emilio Goeldi, Campus Pesquisa-CCTE/Escritório INPE.

Av. Perimetral, 1901, Terra Firme, CEP: 66077-530, Belém - PA. E-mail: ldsa@museu-goeldi.br

⁴ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos,
Divisão de Clima e Meio Ambiente.

Av. dos Astronautas, 1758, CEP: 12227-010, São José dos Campos - SP.

⁵ Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas,
Departamento de Ciências Atmosféricas.

Rua do Matão, 1226, São Paulo, Brasil. E-mail: adwgandu@model.iag.usp.br

Recebido Setembro 2005 - Aceito Agosto 2006

RESUMO

Foram estudados fenômenos de Jatos de Baixos Níveis (JBN) observados acima da Floresta Nacional de Caxiuanã, durante o experimento de campo denominado “Circulações de Mesoescala no Leste da Amazônia” (CiMeLA), quando radiossondagens foram lançadas entre os dias 27 de outubro e 15 de novembro de 2003. Para isto, foram comparados resultados experimentais provenientes de radiossondagens noturnas lançadas em Caxiuanã com aqueles resultantes da simulação numérica feita com o modelo atmosférico BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*). Os resultados experimentais e numéricos concordaram no que se refere à ocorrência dos JBNs, sendo que a magnitude destes JBNs simulados foi entre 2 e 3 m/s menor do que aquela observada, e além disso, a altura onde ocorre o JBNs foi mais alta do que aquela observada. Mostra-se que os JBNs a leste do Pará resultam de um fenômeno de “canalização” do escoamento a nordeste do Estado do Pará, havendo intensificação do vento quando a direção deste segue aquela dos grandes cursos d’água, ocorrendo então redução do atrito e criando-se condições para a aceleração do escoamento.

Palavras-chave: Jatos de Baixos Níveis, Circulação de Brisas, BRAMS.

ABSTRACT: LOW LEVEL JET ABOVE AMAZONIAN FOREST IN CAXIUNÃ (PA).

Low Level Jet (LLJ) occurrences above the Caxiuanã Forest Reserve have studied during the CiMeLA (Mesoscale Circulations in Eastern Amazonia) field experiment using radiosonde data obtained from 27th October to 15th November 2003. Radiosonde nocturnal data have been compared with BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*) numerical simulations data results. There is rather good agreement between observed and simulated data concerning the occurrence of LLJ. However, the wind intensity of the simulated LLJs was weaker than the observed ones. Moreover, the simulated LLJ heights were higher than observed ones. It is shown that LLJs in Eastern Pará State result from channeling-like phenomena where the atmospheric flow intensifies, following the direction of great river basin and accelerates due to the roughness attenuation above the smooth river surface.

Keywords: Low level Jets, Breeze Circulation, BRAMS.

1. INTRODUÇÃO

O estudo das características da estrutura vertical da atmosfera próximo da superfície é extremamente relevante, pois é esta a região em que se dá a vida humana e em que as principais atividades econômicas têm lugar. Assim, questões ambientais como emissão e dispersão de gases, que contribuem para o efeito estufa e problemas de proteção ambiental como aqueles referentes à poluição atmosférica, requerem a compreensão dos processos de troca que ocorrem na interface superfície-atmosfera, principalmente na Camada Limite Atmosférica (CLA). Um domínio de pesquisa particularmente importante é aquele referente à interação floresta-atmosfera (Shuttleworth, 1989), visto que o escoamento na região imediatamente acima da vegetação se reveste de complexidade e tem características ainda mal compreendidas, como é o caso dos fenômenos da Camada Limite Noturna (CLN). Uma dessas características é constituída pela existência, em algumas situações, de máximos relativos nos perfis verticais de velocidade do vento, os chamados “Jatos de Baixos Níveis” (JBNs) em regiões distantes menos de 1 km da superfície (Poulos et al., 2002), os quais podem contribuir para intensificar a mistura na região em que ocorrem e a superfície (Mahrt, 1999). É possível que a presença de tais jatos introduza dificuldades adicionais na parametrização dos processos de troca superfície-atmosfera. Por esta razão é plenamente justificável o estudo de JBN objetivando a determinação das condições de sua ocorrência e a investigação das consequências que sua existência introduz na caracterização da estrutura da CLN próximo à superfície.

Os experimentos pioneiros já realizados na floresta Amazônica contribuíram decisivamente para a compreensão de muitos processos importantes que ocorrem na CLA da região (Shuttleworth, 1989; Gash e Nobre, 1997; Silva Dias et al., 2002). Todavia, há aspectos referentes à compreensão de processos na CLN que ainda precisam de muita investigação, desde a correta estimativa dos fluxos (Howell e Sun, 1999; Von Randow et al., 2002) até a pesquisa da influência de ondas de gravidade e jatos de baixos níveis nas trocas entre a superfície e a atmosfera, bem como da estrutura da turbulência dentro da copa florestal (no sentido proposto por Fitzjarrald e Moore, 1990). Esses aspectos são de muita importância na determinação mais exata do balanço de CO₂ na floresta Amazônica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados foram coletados durante o experimento de campo denominado “Circulações de Mesoescala no Leste da Amazônia – CiMeLA” realizado entre os dias 27

de outubro a 17 de novembro de 2003 na Estação Científica Ferreira Penna, localizada na Reserva Florestal de Caxiuanã, PA. À Nordeste da estação há a Baía de Caxiuanã, cuja largura média é da ordem de 2 km, e que parece desempenhar um papel importante nos fenômenos aí observados.

Durante o Experimento CiMeLA, foram efetuadas sondagens verticais da atmosfera com radiossondas VAISALA RS 80, lançadas, no mínimo em quatro horários (6, 12, 18, 00 UTC), exceto nos três últimos dias do Experimento, quando foram realizadas sondagens de 3 em 3 horas (mantendo-se os horários acima).

Os dados das radiossondagens foram usados para a obtenção de perfis verticais de velocidade do vento a fim de detectar os JBNs e perfis verticais de razão de mistura, temperatura potencial virtual (θ_v) e temperatura potencial equivalente (θ_e) para determinar algumas características de mistura induzidas por eles. Análises similares para o estudo da estrutura termodinâmica da atmosfera tropical foram efetuadas por Betts et al. (2002) e as séries temporais de θ_e têm sido utilizadas para detectar movimentos descendentes de ar (outflows) a partir de nuvens convectivas (Garstang e Fitzjarrald, 1999). Nas investigações dos dados de anemômetro de copo em torre micrometeorológica de 56 m de altura, rajadas intensas surgiram como máximos durante curtos intervalos do período noturno (inferiores a 15 minutos), com velocidades, muitas vezes, acima de 10 m/s, desempenhando papel importante na troca de escalares entre a copa e a atmosfera (Nogueira et al., 2006) e determina mudanças drásticas nos perfis de escalares dentro da copa (Bispo et al., 2005). Outros máximos também foram verificados durante a tarde, porém ainda não foram objeto de estudos sistemáticos.

2.1 Elementos Teóricos

No que se refere aos estudos da CLN acima da floresta na Amazônia Oriental, em Caxiuanã, e na Amazônia Central, em Manaus, duas classes de fenômenos consideravelmente interessantes foram observados recentemente: a ocorrência de jatos noturnos de baixos níveis (Oliveira e Fitzjarrald, 1993, 1990; Greco et al., 1992; Nogueira et al., 2006) e a ocorrência de eventos com súbito aumento da velocidade do vento próximo da superfície, que se convencionou chamar de eventos de rajadas intensas (Nogueira et al., 2006).

Um JBN é a região do campo vertical de velocidade do vento na qual se observa a existência de um máximo local no primeiro quilômetro acima da superfície e estende-se na vertical por algumas dezenas ou centenas de metros. Segundo Andreas et al. (2000) são muitos os fatores físicos que podem determinar a sua geração e evolução. Apesar das muitas conceituações existentes para JBNs será usada

aqui a definição proposta por Stull (1988), modificada em função do que foi apresentado por Mahrt (1999) e Andrade (2003): - “O JBN é uma estreita corrente de ar situada a uma altura inferior a 600 m, que representa máximo relativo local no perfil vertical de velocidade de tal forma a apresentar, no mínimo, velocidade de 2 m/s maior do que o escoamento situado acima e abaixo dele”. JBNs podem ter uma extensão horizontal de várias centenas de quilômetros e velocidades de vento que podem exceder 10 m/s (Oliveira e Fitzjarrald, 1993, 1990).

Segundo os estudos de Sládkovic e Kanter (1977) há pelo menos quatro tipos diferentes de JBNs. Todavia, sua análise é voltada para situações verificadas longe dos trópicos. É interessante mencionar que na maior parte das situações estudadas, os fenômenos de ocorrência de JBNs em Caxiuanã foram antecidos (em algumas horas) pela manifestação de rajadas, as quais provocaram uma queda de temperatura local e estabilizaram a atmosfera inferior, possivelmente como consequência da ação de movimentos descendentes de ar (outflows) provenientes de nuvens convectivas próximas (Nogueira et al., 2006), o que sugere que as rajadas tenham uma função importante na criação das condições propícias para o surgimento dos JBNs. Mas não se pode excluir a possibilidade de que fatores tais como efeitos de “canalização” quando a direção do vento coincide com aquela em que se estende um largo braço da enseada, também criem condições favoráveis para a sua ocorrência. No presente estudo, procurar-se-á investigar, através da simulação do escoamento atmosférico a leste da Amazônia, a origem física dos supramencionados jatos.

Mencione-se que recentemente Souza (2005) descreveu as características dos JBN, na costa paraense, utilizando dados de radiossondagens e estudou a estrutura espacial e temporal desse fenômeno através do modelo atmosférico BRAMS. Seus resultados observacionais indicaram que os JBN ocorrem com mais frequência durante a noite, com intensidade variando entre 8 e 10 m/s localizados em torno de 600 metros acima da superfície, durante o período chuvoso. Dos casos ocorridos, 70% localizaram-se acima de 500 metros e estavam direcionados de NE-E no ponto de máxima velocidade. Para o período seco a velocidade dos JBN variou de 12 e 15 m/s e os mesmos estavam localizados em torno de 800 m, sendo que 55% dos casos ocorreram durante a noite e 91,7% dos casos ocorreram acima de 500 m. Os resultados numéricos indicaram que possivelmente os JBN localizados no litoral Paraense são resultados da ação combinada de dois fatores: (1) oscilação inercial e (2) baroclinidade superficial. Estes dois fatores combinados sustentaram os JBN com intensidades entre 10 e 13 m/s durante o dia e entre 14 e 16 m/s durante a noite, localizados a uma altitude em média de 800 m acima da superfície.

Na Amazônia Central Oliveira e Fitzjarrald (1993) estudaram os JBN na presença ou ausência de cisalhamento direcional. Em camada rasa, o escoamento é perturbado pela circulação dos sistemas locais (brisa fluvial), onde a máxima velocidade do JBN é observada pela manhã na estação seca. Entretanto, em camada profunda, o escoamento é pouco perturbado pelos sistemas locais e influenciado principalmente pelas Linhas de Instabilidade (LIs) formadas ao longo da costa atlântica da Amazônia. Para os JBNs observados no leste dos Andes, Marengo et al. (2004) fizeram um estudo climatológico usando as reanálises do NCEP-NCAR. Esses JBNs interagem com sistemas de mesoescala e de escala sinótica.

As LIs formam-se ao longo da costa N-NE da América do Sul, como resultado de convecção induzida pela circulação de brisa marítima, sendo que eventualmente esses sistemas propagam-se continente adentro, alcançando Manaus no dia seguinte as 12 UTC (Kouky, 1980). Cohen et al., (1995) classificaram esses sistemas atmosféricos de acordo com sua propagação continente adentro: (1) Linha Instabilidade Costeira – não se afastam mais do que 170 km da costa; (2) Linha de Instabilidade do tipo 1 – movem-se entre 170 e 400 km da costa; Linha de Instabilidade do tipo 2 – movem-se mais do que 400 km da costa. A frequência de ocorrência destes sistemas é maior entre Abril e Agosto. As velocidades de propagação desses sistemas atmosféricos é entre 12 e 16 m/s.

2.2. Descrição do Experimento Numérico

Recentemente o modelo atmosférico RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System*) (Cotton et al., 2003) foi adaptado às características brasileiras, recebendo a denominação de BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*). O BRAMS inclui equações prognósticas para a temperatura, vapor d'água, água líquida (nuvem e chuva), as três componentes da velocidade do vento e 5 espécies de gelo (Cotton et al., 2003). Assim, o modelo BRAMS foi utilizado para avaliar a origem do JBN.

As simulações numéricas apresentadas usaram 3 grades aninhadas com espaçamento horizontal de 45, 15 e 5 km, cujas matrizes horizontais incluem 35x35x32 pontos para a grade 1, 38x38x32 pontos para a grade 2 e 44x44x45 para a grade 3 (Figura 1). A resolução vertical foi variável com espaçamento inicial de 100 metros na camada mais baixa do modelo, aumentando para cima pelo fator de 1,2 até o espaçamento vertical atingir 1000 metros, que é então mantido até o topo do modelo (aproximadamente 22 km). No modelo foram definidas 12 camadas de solo nas seguintes profundidades: 0,01; 0,03; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,30; 0,50; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 metros. A distribuição da cobertura vegetal usada foi produzida pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

(CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Sestini et al., 2002). A inicialização do modelo foi variável, a cada 6 horas, com as análises do modelo global do CPTEC, as radiossondagens e os dados de superfície disponíveis. O período de integração do modelo foi de 48 horas, iniciando-se no dia 12 de novembro de 2003 às 12 UTC. Foram utilizados os modelos de superfície e vegetação, radiação, microfísica de nuvens e parametrização convectiva profunda de Grell (Grell e Dévény, 2002), parametrização de convecção rasa (Souza e Silva, 2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Aspectos Observacionais dos Jatos de Baixos Níveis

Durante o período do Experimento CiMeLA, os JBNs noturnos foram detectados em 11 diferentes perfis dos 28 investigados, ou seja, 39% das radiossondagens noturnas. Sua altura média foi de cerca de 580 m e sua velocidade média, em geral, foi maior que 10 m/s. Histogramas mostrando as ocorrências dos jatos de acordo com sua intensidade, altura e horário podem ser vistos na Figura 2.

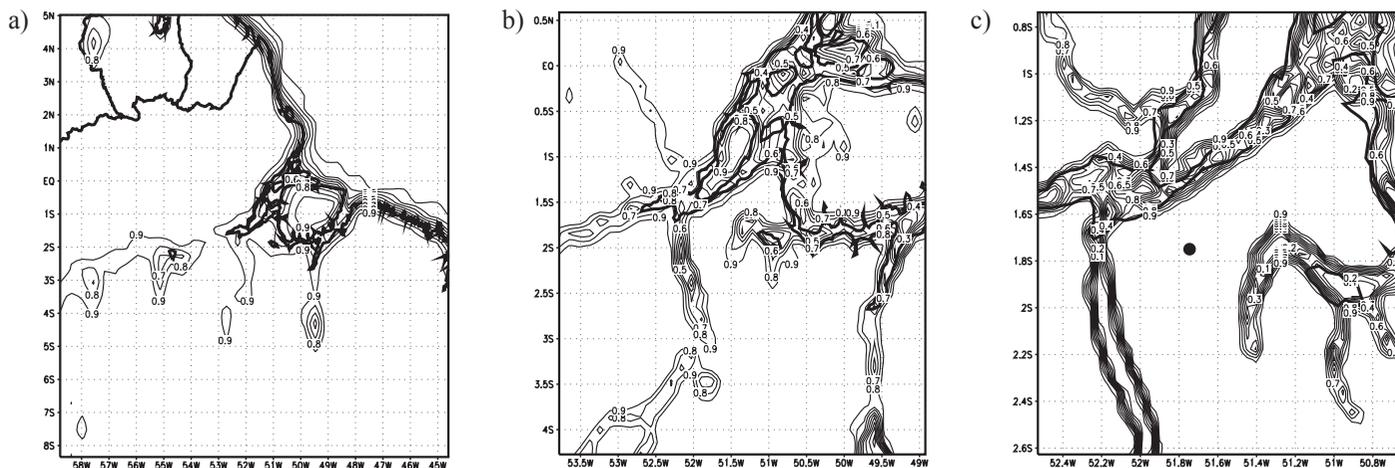


Figura 1 – Mapa das grades 1, 2 e 3, mostrando região modelada com seus principais rios. A estrela indica a posição de Caxiuana.

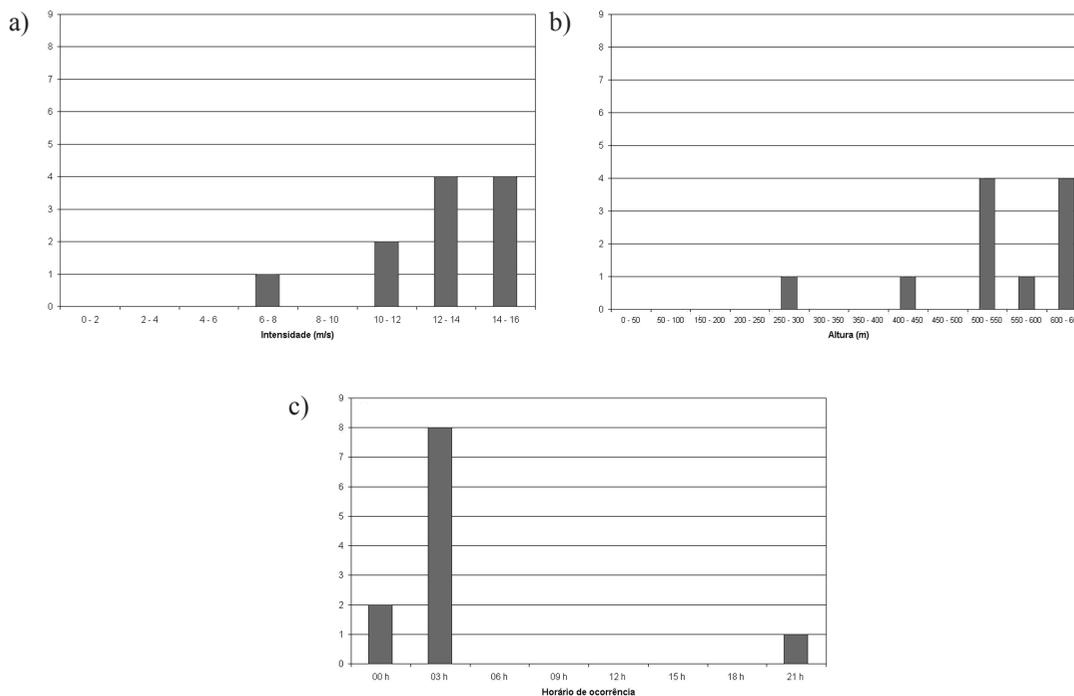


Figura 2 – Histogramas dos Jatos de Baixos Níveis (JBNs) observados durante o período de 27 de outubro e 15 de novembro de 2003 em Caxiuana: (a) intensidade (m/s) (b) altura (m) e (c) horário de ocorrência.

Os perfis verticais de velocidade do vento, razão de mistura e temperatura potencial virtual, para alguns dos eventos mais intensos de JBNs são observados nas Figuras 3.

Os JBNs mostram sua influência no perfil de razão de mistura, na região abaixo do nível de máxima velocidade, mas o perfil de temperatura potencial virtual se mostra pouco sensível a sua presença. Além disso, é interessante ressaltar que a direção dos jatos é sempre de Nordeste. Isto sugere que a origem da elevada concentração de umidade observada abaixo do jato esteja associada a um processo de advecção de umidade da enseada (localizada à Nordeste da ECFP, Caxiuanã) para a Reserva Florestal, contando com a ação do jato na mistura de umidade da superfície até sua altura de ocorrência. Uma consequência imediata de tal processo (somado à evapotranspiração da própria floresta) seria a redução da perda radiativa próximo à superfície, de tal forma a evitar que a parte inferior da CLA aumente seus índices de estabilidade noturna.

O fato de o perfil de temperatura potencial virtual se manter pouco sensível à ação do jato pode estar associado às características térmicas da estrutura vertical da atmosfera tropical úmida, com muita mistura de calor durante o dia e com saldo pequeno de perda radiativa durante a noite. Mencione-se o fato de que a temperatura da água da enseada próxima do sítio experimental de Caxiuanã durante a época seca, chega a ultrapassar algumas vezes 32°C, conforme medidas efetuadas durante o Experimento CiMeLA.

Vale ainda considerar o comportamento do perfil de temperatura potencial equivalente, o qual indica a chegada de ar com características termodinamicamente diferentes (no caso, possivelmente associadas ao jato de baixos níveis), pois o nível da queda de θ_e coincide com o máximo da velocidade de vento. No que se refere à variabilidade vertical, o perfil de θ_e mostra semelhança com o da razão de mistura, indicando a queda de temperatura potencial equivalente associada à queda da razão de mistura, isto é, a chegada de ar mais seco.

Finalmente, deve ser mencionado que há ocorrência de fortes episódios de rajadas de vento próximo da superfície no fim da tarde ou no início da noite (Nogueira et al., 2005) e que os JBNs parecem atingir alturas mais baixas após a ocorrência das rajadas. Isto sugere que estas atuam como agentes estabilizadores da Camada Limite Atmosférica (CLA) de tal forma a criarem condições para a manifestação dos jatos em níveis mais baixos da troposfera.

3.2. Descrição do Ambiente de Mesoescala e Grande Escala

Nesta sessão faz-se uma descrição do ambiente na escala regional onde são apresentados os principais sistemas atmosféricos presentes durante o desenvolvimento do JBNs. As análises

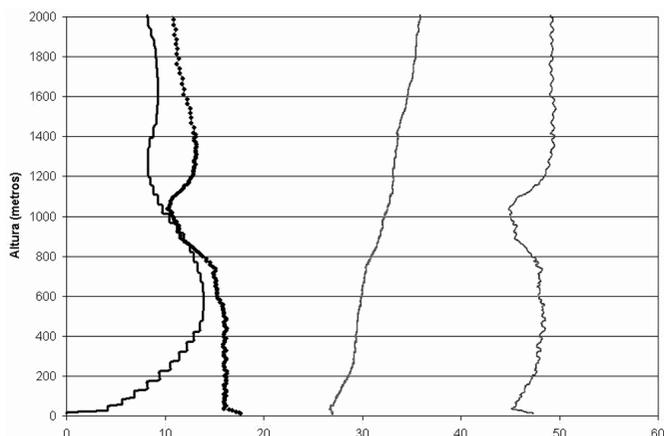


Figura 3 – Perfil vertical da esquerda para a direita das seguintes variáveis: velocidade do vento (m/s); razão de mistura (g/kg); temperatura potencial virtual (K); temperatura potencial equivalente (K) em Caxiuanã no dia 29 de 2003.

extraídas do modelo global do CPTEC, permitem avaliar o comportamento do vento horizontal no nível de 925 hPa, ou seja, próximo ao nível do JBNs, nos dias 12 e 13 de novembro de 2003 nos horários das 12 e 00 UTC (Figura 4). Salienta-se a intensificação do vento horizontal ao longo do litoral no período noturno às 00 UTC, possivelmente associada à circulação de brisa marítima formada durante o período vespertino.

Através de imagens de satélite no canal infravermelho, foi possível observar o desenvolvimento de linhas de convecção ao longo da costa atlântica nos dias 12 e 13 de novembro no horário de circulação de brisa marítima (Figura 5). A LI formada no primeiro dia propagou-se continente adentro e de acordo com a classificação de Cohen et al. (1995) é uma LI do tipo 1, enquanto a LI formada no dia 13 dissipou-se ao longo da costa, sendo portanto uma LIC. A convecção associada à LI foi iniciada às 18 UTC do dia 12 de novembro, ao longo da costa (não mostrado). Esse sistema de LI se intensificou e propagou para o interior do continente, atingindo a região próxima a Caxiuanã às 18 UTC. Porém às 06 UTC do dia posterior, o sistema perdeu sua definição de LI, restando apenas células convectivas dispersas. A LIC foi formada ao longo da costa, desde as Guianas até a região de Belém, no dia 13 de novembro às 18 UTC (não mostrado), tendo se dissipado no mesmo dia às 22:15 UTC próximo à Costa Atlântica, ou seja, sem propagação para o interior do continente. Tanto a LI do tipo 1 como a LIC tem sua origem associada à circulação de brisa marítima, devido ao gradiente de temperatura existente entre o continente e o Oceano Atlântico. Esses sistemas convectivos de mesoescala têm sido estudados por diversos autores (Cohen et al., 1989; Scala et al., 1990; Greco et al., 1992; Cohen, et al., 1995). Recentemente, Souza (2005) utilizando o modelo BRAMS, simulou o escoamento na Camada Limite Atmosférica (CLA) na costa leste do

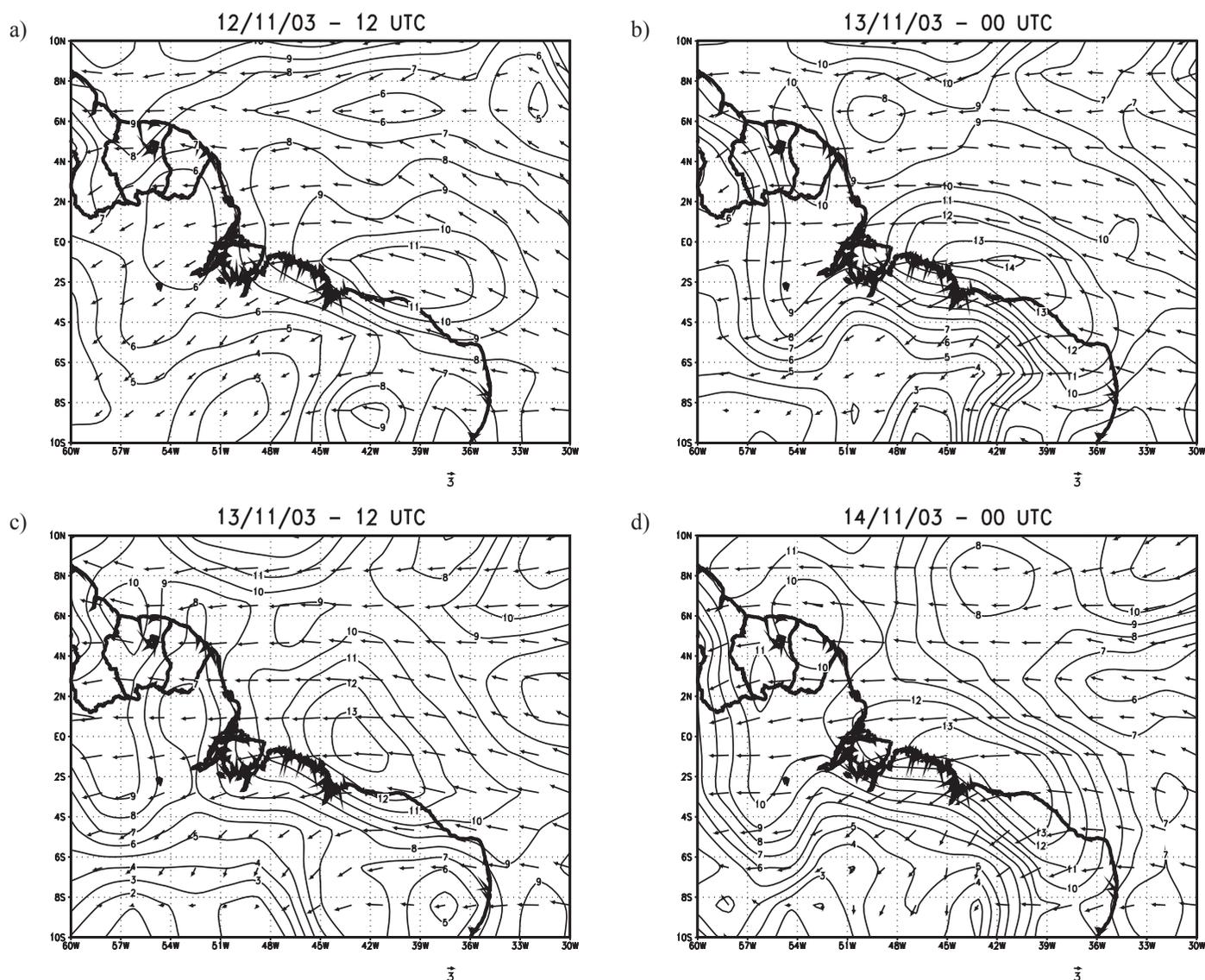


Figura 4 – Análises do modelo de grande escala do CPTEC para o nível de 925 próximo ao nível de ocorrência do JBNS.

Estado do Pará e obteve Jatos de Baixos Níveis, onde se notou que concordaram bem com os dados experimentais obtidos em Bragança no litoral do Pará.

Além dos sistemas atmosféricos apresentados acima, observa-se a presença de sistemas convectivos no sul do Estado do Pará associados a um sistema frontal no sudeste do Brasil, assim como a Zona de Convergência Intertropical ausente da área de estudo.

3.3. Discussão dos Resultados o Modelo BRAMS

Nesta sessão apresentam-se os resultados da simulação numérica feita com o modelo BRAMS. O modelo RAMS tem sido usado com sucesso para estudos de caso e de climatologia

na região tropical (Gandu et al., 2004; Silva Dias et al., 2002, Cohen et al., 2004 entre outros).

A comparação da chuva gerada pelo modelo BRAMS na grade 1 com a nebulosidade convectiva observada na satélite mostra que essa simulação numérica capturou a LI ao longo da costa (Figura 5).

As distribuições verticais temporais da velocidade do vento horizontal obtidas através das radiossondas lançadas a cada 3 horas em Caxiuana e daquelas produzidas pelo modelo BRAMS estão representadas na Figura 6. Observa-se que a simulação numérica conseguiu reproduzir os dois JBNS observados nos dias 13 e 14 de novembro às 06 UTC, sendo que a magnitude destes JBNS simulados foi entre 2 e 3 m/s menor do que aquela observada, e além disso, a altura onde ocorre o JBNS

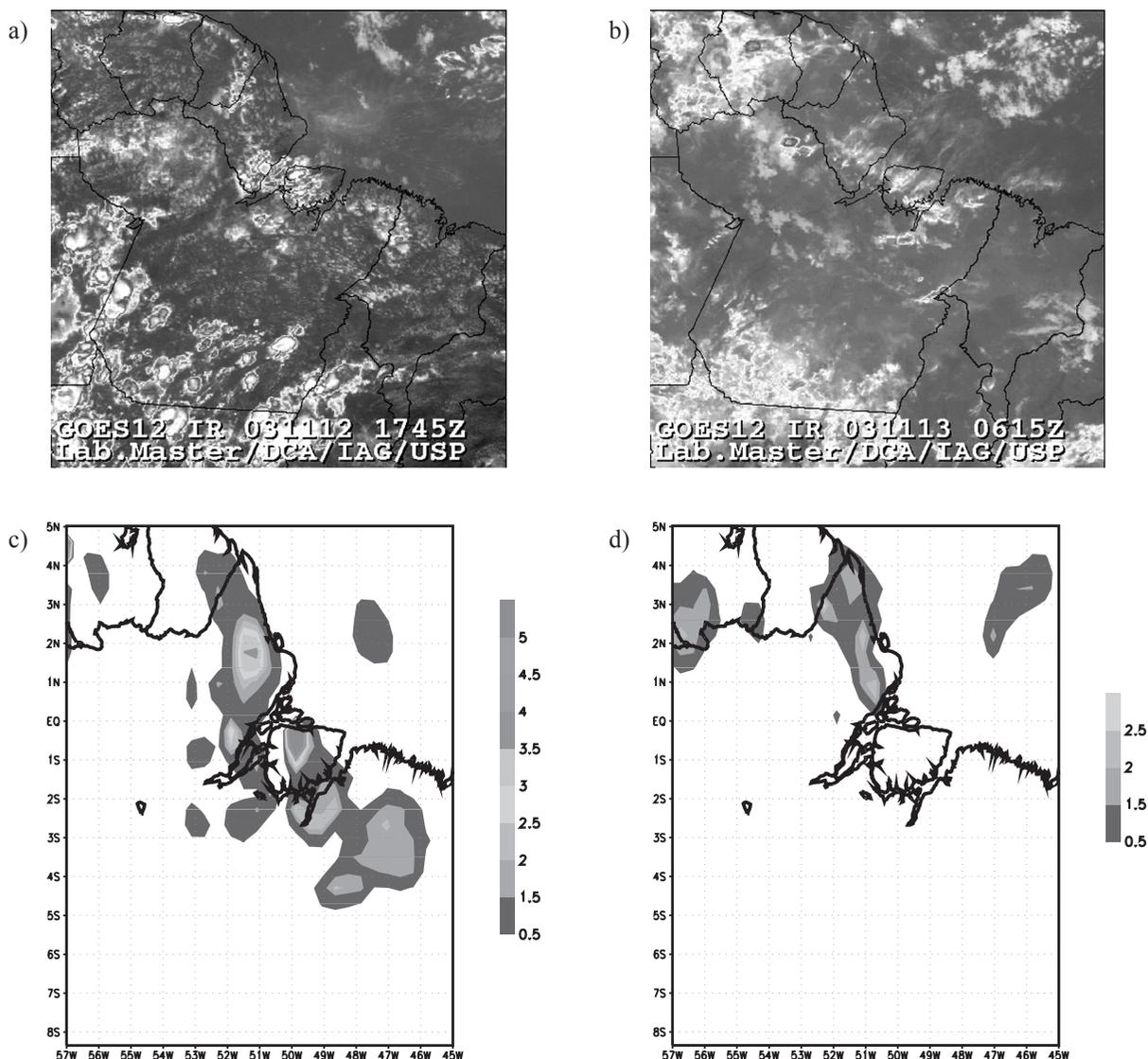


Figura 5 – Imagens de satélite no infra-vermelho e precipitação (mm/h) gerada pelo modelo BRAMS para a LI formada no dia 12 de novembro de 2003. Imagens de Satélite cedidas pelo laboratório Master da Universidade de São Paulo.

foi mais alta do que aquela observada. Para o litoral Paraense, Souza (2005), observou que o modelo BRAMS superestimou a velocidade do JBN selecionado para estudo de caso em 3%, possivelmente isso foi causado por instabilidade superficial e problemas de rugosidade no modelo. Reuter et al. (2004), avaliaram a camada limite planetária no litoral e oceano norte do Maranhão, onde se observa nos perfis verticais do vento a existências desses JBNs, durante o período noturno, na costa e no oceano, estando o da costa localizado próximo a altura de 200 metros, enquanto no oceano atinge 600 metros. O fato de as simulações não reproduzirem com exatidão os dados observados pode ser atribuído a diversos fatores, tais como: a) imperfeição nas parametrizações dos processos de superfície; b) imperfeição nas parametrizações de nuvens, dentre outros fatores. Isto é

particularmente pertinente na camada limite noturna (CLN), acima de terrenos complexos ou em regiões que apresentem importantes heterogeneidades horizontais. Monti et al. (2002) discutiram os problemas ainda não resolvidos concernentes às parametrizações das difusividades turbulentas acima de terrenos complexos e relataram que o problema se torna ainda mais difícil em condições noturnas.

A Figura 7 apresenta o perfil vertical da temperatura potencial equivalente (θ_e) observada e simulada pelo modelo BRAMS para os JBNs observados nos dias 13 e 14 de novembro às 06 UTC. Como colocado anteriormente, em ambos os JBNs os resultados do modelo BRAMS subestimou sua magnitude, assim como elevou a altura onde ocorre esses fenômenos. Analisando a temperatura potencial equivalente, que fornece

importantes informações sobre a estrutura termodinâmica da atmosfera tropical em geral, e efeitos de correntes descendentes (Betts et al., 2002), observa-se resfriamento próximo a altura do JBNs.

Com o objetivo de verificar a origem dos JBN analisou-se o comportamento do vento no nível do jato, durante a simulação numérica na grade 1, cuja resolução horizontal é de 45 km. Nos horários da tarde observa-se a intensificação do vento ao longo da costa atlântica associada à circulação de brisa marítima. Entretanto, às 00 UTC observa-se esse centro

de máxima velocidade do vento penetrando para o interior do continente alcançando a região de Caxiuana. Salienta-se que essa circulação sofreu efeito de canalização devido distribuição dos rios. No dia 13 de novembro novamente formou-se brisa marítima, porém nesse dia essa circulação foi relativamente fraca. Desnecessário torna-se ressaltar a importância desde resultado, inclusive para a navegação fluvial na embocadura do Rio Amazonas, particularmente ventos e ondas intensas na Baía do Marajó, a nordeste do Pará, conhecida pelos acidentes de navegação fatais provocadas pelo mau tempo.

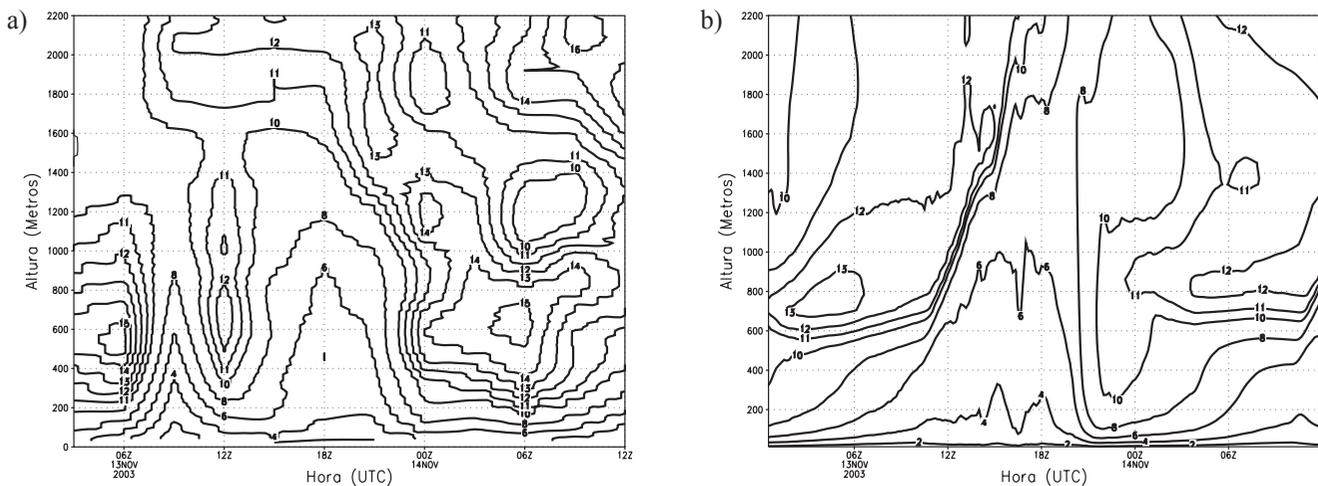


Figura 6 – Magnitude do vento (m/s) observado (a) e simulado pelo modelo BRAMS (b) mostrando a presença dos JBNs nos dias 13 e 14 de novembro de 2003 às 06 UTC.

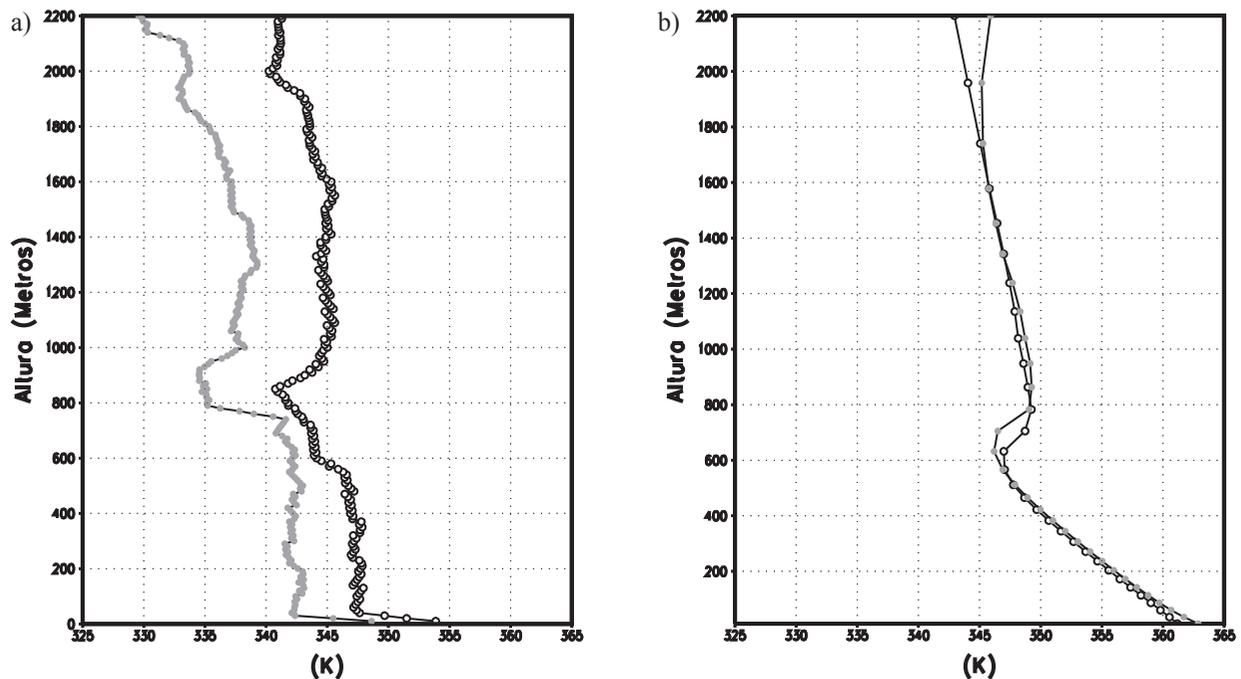


Figura 7 – Perfil vertical da temperatura potencial equivalente (K) nos dias 13 de novembro de 2003 as 06 UTC (linha cinza) e 14 de novembro às 06 UTC (linha preta) obtidos pelas radiossondagens lançadas em Caxiuana e através da simulação numérica do modelo BRAMS.

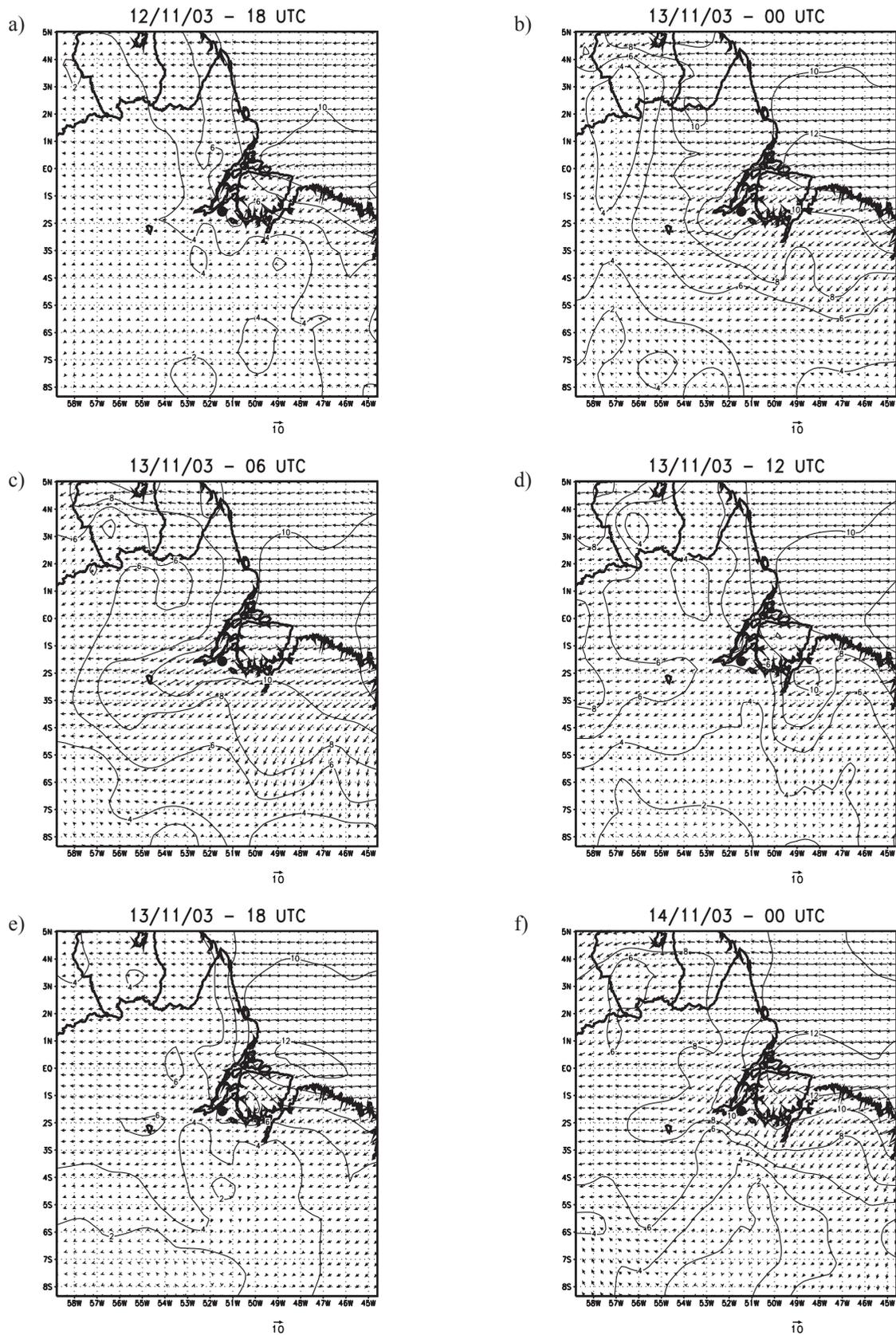


Figura 8 – Evolução temporal da magnitude do vento horizontal (m/s) gerado pelo modelo BRAMS na altura de 632 m, próximo a nível dos jatos de Baixos Níveis.

4. CONCLUSÕES

Foi comprovada observacionalmente a ocorrência de jatos de baixos níveis na Região da Floresta de Caxiuanã, na Amazônia Oriental. Geralmente, tais fenômenos se manifestam após a ocorrência de rajadas noturnas intensas, e possivelmente têm sua existência local determinada pela estabilização da atmosfera inferior, produzida pela ação de correntes descendentes de ar (outflows) provenientes de nuvens convectivas próximas, conforme sugerido por perfis verticais de temperatura potencial equivalente, observados nas noites em que os jatos ocorrem. Simulações de mesoescala do escoamento na região de Caxiuanã também apontam a ocorrência de jatos de baixos níveis, embora não tenham reproduzido em detalhe algumas das características observadas do escoamento. Um aspecto importante revelado pelas simulações numéricas do modelo BRAMS refere-se à origem dos jatos, a qual está associada a fenômenos de “canalização” do escoamento acima de zonas em que se encontram alguns dos grandes rios existentes a Nordeste do Estado do Pará.

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 FADESP/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 306769/2004-2 e pelo auxílio proporcionado pelo Edital Universal, processo 481340/2004-1); 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. Os autores agradecem a Dr. Regina Alvalá que permitiu o acesso aos arquivos de vegetação usados nesse estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E. S. **Estudo sobre a influencia de jatos de baixos níveis na estrutura da camada limite estável acima do Pantanal Matogrossense**. 2003, 110f, Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - INPE, 2003, São Jose dos Campos, 2003.

- ANDREAS, E. L., CLAFFEY, K. J., MAKSHITAS, A. P., **Low-Level Atmospheric Jets and Inversions over Western Weddell Sea**, *Boundary-Layer Meteorology*, v. 97, n. 3, p. 459-486, Dec., 2000.
- BETTS, A. K., FUENTES, J.D., GARSTANG M. e BALL, J. H. **Surface diurnal cycle and Boundary Layer structure over Rondonia during the rainy season**, *Journal of Geophysical Research*, v. 107, n. D20, 8065, doi:10.1029/2001JD000356, Sept., 2002.
- BISPO, C. J. C., SÁ, L.D.A., COHEN, J.C.P. Aspectos da Estrutura Termodinâmica da Floresta de Caxiuanã Durante a Estação Úmida. **In: CONGRESSO DE ESTUDANTES E BOLSISTAS DO EXPERIMENTO LBA, 2.**, Manaus, 2005.
- COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS M. A.; NOBRE C. A. **Aspecto climatológico das linhas de instabilidade na Amazônia**. *Climanálise, Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. São José dos Campos, São Paulo, Brasil, INPE/CPTEC, v. 4, n. 12, p.34-40, Dez. 1989.
- COHEN, J. C. P.; DIAS, Maria Assunção Faus da Silva; NOBRE, Carlos Afonso. **Environmental Conditions Associated with Amazonian Squall Lines: a case study**. *Monthly Weather Review*, Washington D C, v. 123, n. 11, p. 3163-3174, Nov. 1995.
- COTTON, W. R.; PIELKE, R. A. ; WALKO, R.L. ; LISTON, G. E. , TREMBACK, C. J. , JIANG, H. ; MCANELLY, R. L.; HARRINGTON, J. Y.; NICHOLLS, M. E.; CARRIO, G.G.; MCFADDEN J. P. **RAMS2001 : Current status and future directions**. *Meteorology and Atmospheric Physics*, Austria, v. 82, n. 1-4, p. 5-29, Jan. 2003.
- FITZJARRALD, D. R. e MOORE, K. E. : **Mechanisms of Nocturnal Exchange Between the Rain Forest and the Atmosphere**, *Journal of Geophysical Research*, Washington D C, v. 95, n. D10, p. 16839-16850, Sept., 1990.
- GANDU, A. W. ; COHEN, JCP ; SOUZA, J. R. S. **Simulation of deforestation in eastern Amazonia using a high-resolution model**. *Theoretical And Applied Climatology*, Austria, v. 78, n. 1-3, p. 123-135, June 2004.
- GASH, J.H.C. e NOBRE, C. A. **Climatic Effects of Amazonian Deforestation: Some Results from ABRACOS**. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.78, n. 5, p. 823-830, May, 1997.

- GARSTANG, M e FITZJARRALD, D. R. **Observations of Surface to Atmosphere Interactions in the Tropics**, Oxford University Press, New York, 1999.
- GRECO, S., ULANSKI, S., GARSTANG, M. e HOUSTON, S. **Low-Level Nocturnal Wind Maximum over the Central Amazon Basin**, *Boundary-Layer Meteorology*, Reading, v. 58, n. 1-2, p. 91-115, Nov. 1992.
- GRELL, G.A. E DEVENY. **A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques**. *Geophysical Research Letters*, Washington D C, v. 29, n. 14, p. 38.1-38.4, July 2002.
- HOWELL, J. F., SUN, J. **Surface-Layer Fluxes in Stable Conditions**. *Boundary-Layer Meteorology*, Reading, v. 90, n. 3 p. 495-520, Mar. 1999.
- KOUSKY, V. E. **Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil**. *Monthly Weather Review*, Washington D. C, v. 108, n. 4, p. 488-498, Apr. 1980.
- MAHRT, L: **Stratified Atmospheric Boundary-Layers, Boundary-Layer Meteorology**, v. 90, n. 3, p. 375-396, Mar. 1999.
- MARENGO, J. A., SOARES, W.R, SAULO, S., NICOLINI, M. **Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristic and Temporal Variability**. *Journal of Climate*, Washington DC, v. 17, n.12, 2261-2280, Dec. 2004.
- MONTI, P., FERNANDO, H. J. S., PRINCEVAC M., CHAN W. C., KOWALEWSKI T. A. e PARDYJAK, E. R. **Observations of Flow and Turbulence in the Nocturnal Boundary Layer over a Slope**. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Washington D C, v 59, n. 17, p. 2513-2534, Sept. 2002.
- NOGUEIRA, D. S., SÁ, L.D.A., COHEN, J. C. P. **Rajadas Noturnas e Trocas de CO₂ Acima da Floresta de Caxiuanã, PA, Durante a Estação Seca**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, Aceito para publicação em agosto de 2006.
- OLIVEIRA, A. P., FITZJARRALD, D. R.: **The Amazon River Breeze and Local Boundary Layer: I. Observations**. *Boundary-Layer Meteorology*, Reading, v. 63, n. 1-2, p. 141-162, Feb. 1993.
- POULOS, G.S., BLUMEN, W., FRITTS, D.C., LUNDQUIST, J.K, SUN, J., BURNS, S.P, NAPPO, C., BANTA, R., NEWSOM, R., CUXART, J., TERRADELLAS, E., BALSLEY, B. e JENSEN, M. **CASES-99: A comprehensive investigation of the stable nocturnal boundary layer**. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Washington D C, v. 83, n. 4, p. 555-581, Apr. 2002.
- REUTER, E. D. J, FISCH, G.F., MOTA, G.V. e COHEN, J. C. **P. Estudo observacional da Camada Limite Planetária Marinha na Região do Centro de Lançamento de Foguetes de Alcântara-MA**, *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 19, n.3, 251-264, abr. 2004.
- SCALA, J. R. ; GARSTANG M. , TAO W. K. ; PICKERING K. E. ; THOMPSON A. M. ; SIMPSON J. ; KIRCHHOF V. W. J. H.; BROWELL, E. V ; SACHSE G. W.; TORRES A. L. , GREGORY G. L.; RASMUSSEN R. A. ; KHALIL M. A. K.: **Cloud draft structure and trace gas transport**. *Journal of Geophysical Research*, Washington D C, v. 95, p. 17,015-17,030. 1990.
- SLÁDKOVIC, R.; KANTER, H.J. **Low-level jet in the Bavarian pre-alpine region**. *Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser.A*, v.25, p. 343-355, 1977.
- SESTINI M. F., ALVALA R C. S., MELLO E. M. K., VALERIANO D. M., CHAN C. S., NOBRE C. A., PAIVA J. A. C, REIMWE E. S. **Vegetation maps development for use in meteorological and hydrological models**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Publicação INPE-8972-PQ/730, São Jose dos Campos, 74f, 2002
- SHUTTLEWORTH, W., J. **Micrometeorology of temperate and tropical forest?**, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, series B, 324, 1223: 299-334, 1989.
- SILVA DIAS, M. A. F. S., RUTLEDGE S., KABAT, P., SILVA DIAS, P., NOBRE, C. A., FISCH, G., DOLMAN, H., ZIPSER, E., GARSTANG, M., MANZI, A., FUENTES, J., ROCHA, H. , MARENGO, J., PLANA-FATTORI, A., SÁ, L. D. A., ALVALÁ R. C. S., ANDREAE, M., ARTAXO, P., GIELOW, R. E GATTI, L. **Clouds and rain processes in a biosphere atmosphere interaction context in the Amazon Region**, *Journal of Geophysical Research*, Washington D C, v. 107, n. D20, p. 46.1-46.23, Sept., 2002.

SOUSA, A. M. L. **Estudo Observacional de Jatos de Baixos Níveis no Litoral Norte e Nordeste do Pará Durante o Período Chuvoso e Seco.** 2005. 140 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), UFPel, 2005, Pelotas, 2005.

SOUSA, P. E., SILVA, E.M.: **Impacto da Implementação de uma parametrização de convecção rasa em um modelo de mesoescala. Descrição e teste de sensibilidade do esquema.** Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo. v.18, n.1, p. 33-42, jun.2003.

STULL, R. B.: **An Introduction to Boundary Layer Meteorology,** Kluwer, 1988.

VON RANDOW, C., SÁ, L. D. A., PRASAD, G. S. S. D., MANZI, A. O., ARLINO, P. R. A. e KRUIJT, B. **Scale Variability of Atmospheric Surface Layer Fluxes of Energy and Carbon over a Tropical Rain Forest in Southwest Amazonia. I. Diurnal Conditions.** *Journal of Geophysical Research*, Washington DC, v 107, n. D20, p. 29.1-29.12, Apr. 2002.