

Características dos sistemas convectivos observados por satélite durante o experimento WET AMC/LBA

Henri Laurent^(1,2), Luiz Augusto T. Machado⁽¹⁾, Dirceu Herdies⁽³⁾ e Carlos Morales⁽⁴⁾

¹ CTA/IAE/ACA, São José dos Campos, Brasil

² IRD, LTHE, Grenoble, France

³ CPTEC/INPE, Cachoeira-Paulista, Brasil

⁴ NASA/Goddard, Maryland - EUA

Abstract

Tropical convective systems are important because they account for most of the total rainfall. Moreover they are responsible for the main vertical exchanges of energy in the tropical troposphere. An automatic method, based in GOES high resolution channel 4 images, has been used for tracking cloud clusters during their life cycle. The method allows for the tracking of every mesoscale convective cloud cluster, defined as adjacent pixels colder than a brightness temperature threshold (< 235 K). The tracking algorithm is based on the cluster overlap between two successive images. The methodology allows for an objective determination of parameters such as: size, mean temperature, temperature variance, duration, coordinates of the center of gravity, speed, trajectory, eccentricity and many others radiative and morphological properties of cloud clusters. Using full space and time resolution satellite data, the study is here limited to the Amazonian region during the wet season Atmospheric Mesoscale campaign (WET AMC) of the Large scale Biosphere Atmosphere experiment in Amazonia (LBA), in January-February 1999. First statistical results on distribution, propagation and diurnal cycle of mesoscale convective cloud clusters during WET AMC/LBA are presented. They will be further analyzed with complementary in-situ observations and TRMM radar images.

1. Introdução

Os sistemas convectivos são importantes nas regiões tropicais pois são responsáveis pela maior parte da precipitação. Além disso, eles são os principais responsáveis pelas transferências verticais de energia na troposfera tropical. Um método de identificação e acompanhamento dos sistemas convectivos foi utilizada para estudar suas características e seu ciclo de vida durante a campanha de medidas intensivas WET AMC (Wet season Amazon Mesoscale Campaign) do projeto LBA (Large scale Biosphere Atmosphere experiment), no meses de janeiro a fevereiro 1999 (Silva Dias et al., 2000). O objetivo desse trabalho é de descrever a metodologia e de apresentar os primeiros resultados.

2. Metodologia

Os sistemas convectivos são detectados nas imagens do canal infravermelho (em torno de $12 \mu\text{m}$) do satélite geoestacionário GOES. Admite-se que nuvens com baixas temperaturas de brilho estão associadas a convecção profunda na região Amazônica. Essa hipótese é válida no acompanhamento dos sistemas convectivos tropicais durante todo o ciclo de vida, pois nas regiões tropicais mesmo os Cirrus, ao mesmo tempo altos e com uma grande emissividade (por isso com uma temperatura de brilho fria), são geralmente formados pela convecção profunda. Um limiar de temperatura de brilho identifica as bigornas de Cirrus que podem ter uma persistência maior do que a convecção profunda, isso significa que o acompanhamento dos sistemas convectivos inclui, também, a fase de dissipação, quando a convecção não é mais ativa. Nesse estudo dois limiares de temperatura de brilho foram usados : 235 K para identificar os sistemas convectivos e 210 K para identificar as áreas de convecção mais intensa que podem existir dentro do sistema convectivo (células convectivas).

Os dados utilizados neste estudo são basicamente imagens do satélite GOES em alta resolução temporal, intervalo de tempo de 30 minutos, e espacial com resolução em torno de 4 km por 4 km . Usando os limiares

de temperatura de brilho já mencionados, detectou-se os sistemas convectivos em cada imagem e calculou-se as características morfológicas e radiativas, usando a metodologia apresentada por Machado et al. (1998). A fase seguinte foi o acompanhamento objetivo dos sistemas convectivos durante todo o ciclo de vida. Dois métodos de acompanhamento inteiramente automáticos foram testados. O primeiro método de acompanhamento dos sistemas convectivos (Machado et al., 1998) utiliza uma correspondência baseada sobre a minimização de uma função de peso calculada a partir das características morfológicas e radiativas dos sistemas. O segundo método (Mathon and Laurent, 2000), limitado aos sistemas maiores que 5000 km², é baseado na superposição das áreas dos sistemas entre duas imagens consecutivas. Esse método permite conhecer se o sistema nasceu espontaneamente ou a partir da divisão de um sistema anterior, e também se o desaparecimento do sistema ocorreu devido a sua dissipação ou se ocorreu uma fusão com um outro sistema. O método de Machado et al. reconstrói uma imagem virtual utilizando as informações sobre a posição, tamanho e excentricidade, e o método de Mathon and Laurent utilizam a própria imagem para realizar a superposição, além de informar sobre a fusão e separação através de uma técnica que permite retroceder no tempo de forma a seguir todas as possibilidades existentes. Exceto o princípio da forma de se realizar a superposição, os dois métodos são bastante parecidos e as diferenças existentes não serão discutidas neste estudo. Os resultados apresentados serão aqueles obtidos com o método de Mathon and Laurent que incorporam um número maior de informações.

A detecção e o acompanhamento de sistemas convectivos com duração muito pequena (1 h) só é possível com dados de alta resolução. Foi usado o conjunto de imagens GOES recebidas e gravadas no CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos). Nesse conjunto de dados existiam alguns casos de pixels com valores errados, falta de linhas ou falta de imagens. Logo, foi necessário um trabalho preliminar de pré-processamento destas imagens de forma a realizar um controle de qualidade dos dados, algumas vezes eliminando a imagem outras a corrigindo. No caso de falta de poucos pixels ou poucas linhas na imagem, estes valores foram substituídos pelo valor do pixel mais próximo. Na existência de faltas de um grande número de linhas a imagem era eliminada. No final faltaram 422 imagens de um total de 1440 imagens entre o dia 14 de janeiro e o dia 12 de fevereiro, uma média de 13 das 48 imagens diárias. Quando ocorrem poucas faltas de imagens, a metodologia de acompanhamento tem a possibilidade de fazer uma interpolação das imagens ausentes, visando continuar o acompanhamento dos maiores sistemas. No entanto essa solução não faz sentido quando o intervalo sem imagens é relativamente grande. Assim, o acompanhamento é interrompido se o número de imagens ausentes consecutivas é maior que 10 (seja 5 horas). Isso aconteceu 7 vezes entre o dia 14 de janeiro e o dia 12 de fevereiro: o dia 14 entre 9:00 e 16:00, o dia 17 entre 1:30 e 7:00, do dia 21 as 21h ao dia 22 as 3:00, do dia 23 as 14:00 ao dia 24 as 4:00, do dia 38 das 16:30 ao dia 39 as 0:30, do dia 39 as 23:00 ao dia 40 as 5:00 e o dia 40 das 7:00 as 13:00. Depois do dia 12 de fevereiro o número de imagens com problemas foi ainda maior e o acompanhamento dos sistemas convectivos não foi efetuado.

3. Resultados

Apresentamos neste trabalho os resultados obtidos para o período de 14/01/1999 até 12/02/1999 sobre a região do experimento WET AMC/LBA, definida aqui por um área de 4 x 4 graus: latitude 8 S- 12 S, longitude 60 W-64 W. A Figura 1 mostra as trajetórias das células convectivas observadas no limiar de 210 K. Um total de 180 sistemas foram observados nesse limiar, e de 1100 no limiar de 235 K. Pode-se notar que a maioria dos sistemas se deslocam para Oeste, não havendo um padrão bem definido dos sistemas que se deslocam para Leste. Nesta figura podemos observar a grande complexidade do ciclo de vida destes sistemas onde é comum observamos casos de fusão e divisão dos sistemas.

3.1 Distribuições

A Figura 2 mostra as distribuições dos sistemas convectivos em função da duração do ciclo de vida. O número de sistemas (Fig. 2a) apresenta uma diminuição aproximadamente logarítmica com a duração do ciclo de vida. Na área do experimento, no período de análise, o método detectou cerca de 100 sistemas com poucas horas de duração, cerca de 50 sistemas com 10 horas de duração e cerca de uma dezena com ciclo de vida maior que 20 horas. Já para as células convectivas (210 K) a maior duração do ciclo de vida foi de 10 horas.

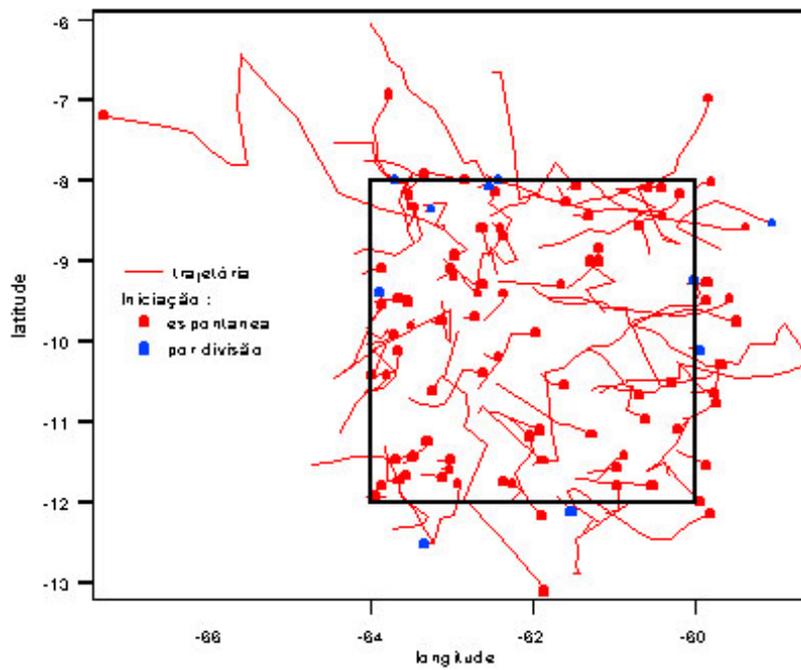


Figura 1. Trajetórias e tipos de nascimento das células convectivas de meso-escala (limiar 210 K, área > 5000 km²) com duração de vida maior que 2 h durante o período 14/01/1999-12/02/1999. A área AMC/LBA esta indicada por um quadrado.

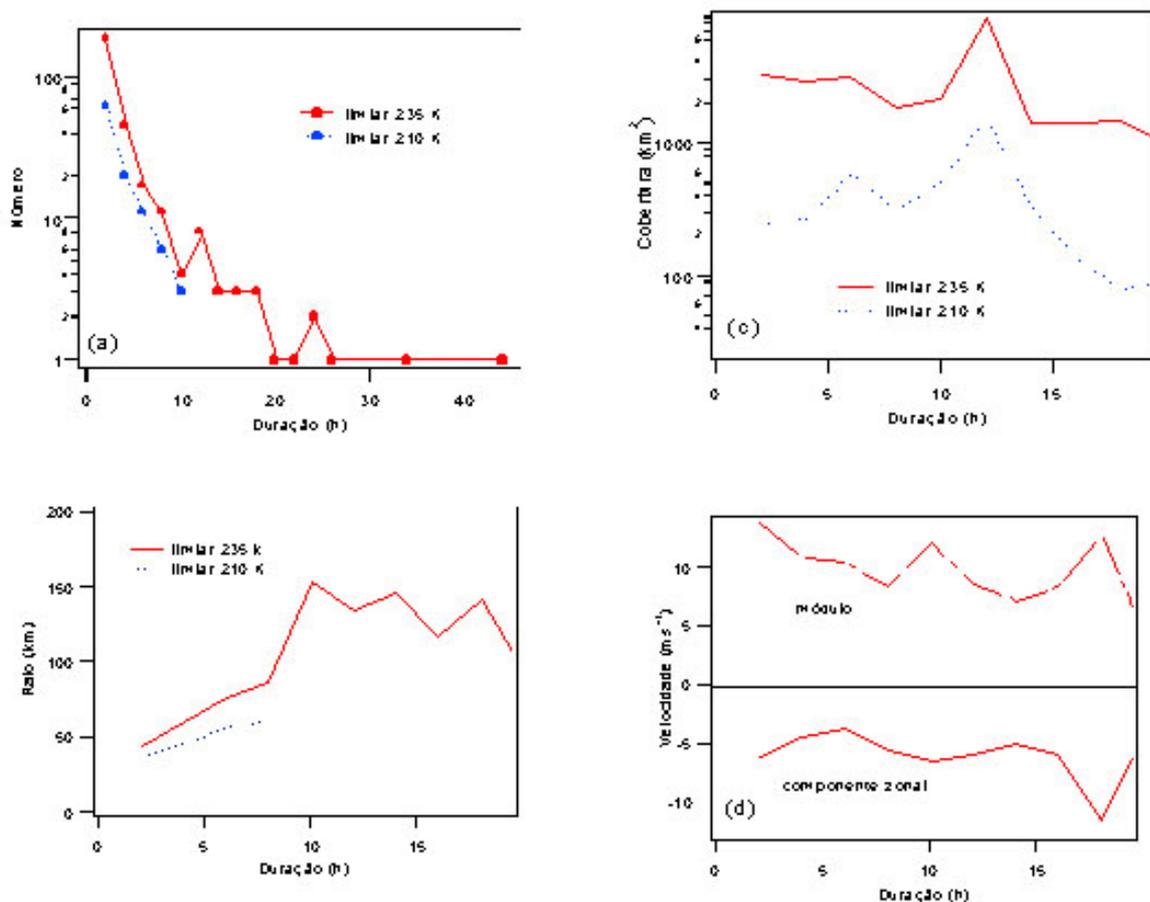


Figura 2. Número, tamanho, cobertura e velocidade dos sistemas convectivos que passaram sobre a região do estudo no limiares 235 K e 210 K em função da duração de vida.

A figura 2b mostra a relação entre a duração e o tamanho médio dos sistemas convectivos, observa-se uma relação quase linear até 10 horas de duração (para ambos limiares), sistemas com duração de 10 horas apresentam um tamanho médio de 100 km (raio efetivo: $R_f = (\text{área}/\pi)^{1/2}$). Após 10 horas de duração o tamanho médio dos sistemas não variam de tamanho com a duração, apresentando um tamanho médio da ordem de 150 km. Não se sabe se esta é uma característica intrínseca da convecção ou devido o pequeno número de ocorrências na população acima de 10 horas. Machado et al. (1998) obtiveram a mesma relação linear para sistemas convectivos observados nas Américas.

A figura 2c mostra a contribuição à fração total de cobertura dos limiares 235 K e 210 K em função da duração dos sistemas convectivos (235 K). Nota-se a existência de uma contribuição igual a cobertura total para os sistemas com duração de vida de até 10 horas, contudo, apesar do número reduzido de sistemas com duração em torno de 12 horas, estes contribuem significativamente na cobertura total (1900 km² contra 1300 km² para sistemas com duração menor que 10 horas). Os sistemas convectivos com duração entre 8 e 14 horas, apesar de representarem somente 20 % do total de ocorrências de sistemas convectivos na área do LBA, contribuíram na cobertura total em mais que 50%. Observa-se uma redução significativa na contribuição a área total de cobertura para sistemas com duração maior que 12 horas. Deste fato conclui-se que sistemas com duração em torno de 12 horas são aqueles que tem o maior impacto na cobertura de nuvens e provavelmente na precipitação. Na figura 2d observa-se que a velocidade média dos sistemas é da ordem de 10 ms⁻¹ com uma propagação média para oeste (componente zonal negativa).

3.2 Ciclo diurno

A figura 3a mostra o número de iniciações dos sistemas convectivos em função da hora local e a figura 3b mostra a cobertura média das frações de 235 K e 215 K dos sistemas convectivos em função da hora local. Nota-se que a maior ocorrência de nascimentos é por volta de 13:00-15:00 hora local para o limiar 235 K e um pouco mais tarde, em torno de 15:00-17:00 hora local, para o aparecimento das células convectivas (limiar de 210 K). Este resultado mostra que o fortalecimento da cobertura de nuvens com topos mais frios ocorre, na média, 2 horas após o aparecimento do sistema convectivo. Depois do nascimento, os sistemas crescem e atingem a fase de maturação (máxima expansão da área), quando ocorre a máxima contribuição a cobertura total para após se dissiparem. Observa-se nesta figura, que a precipitação não está em fase com a máxima cobertura de nuvens ou com a iniciação das células convectivas como era de se esperar, mas sim, nota-se a precipitação em fase com a iniciação dos sistemas convectivos. Este fato será analisado caso por caso verificando se este comportamento se reproduz como descrito pela média.

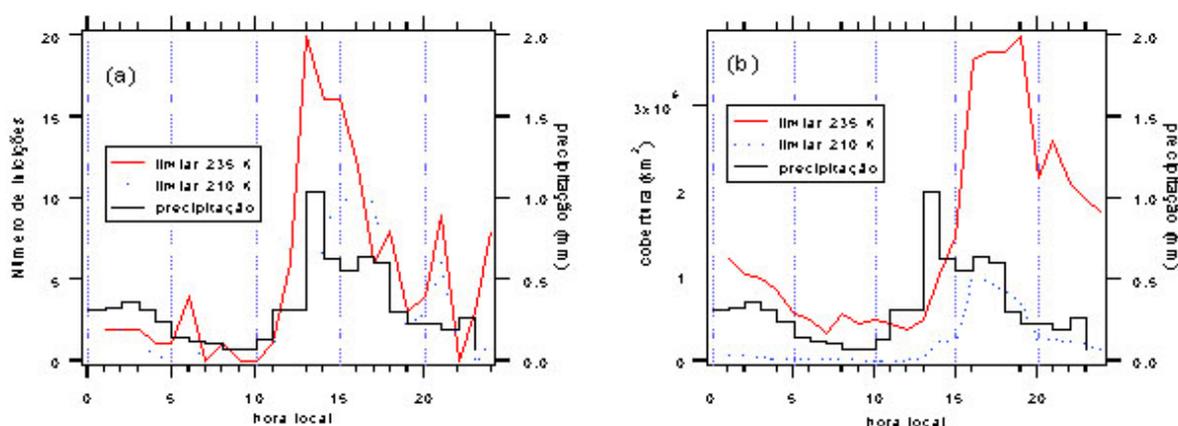


Figura 3. Precipitação e número de iniciações (a) e cobertura de nuvens (b) dos sistemas convectivos que passaram sobre a região do estudo nos limiares 235 K e 210 K em função da hora local.

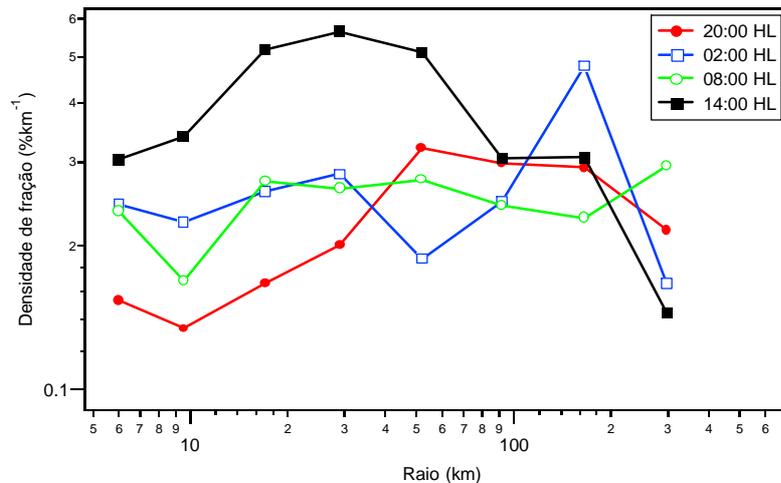


Figure 4. Densidade de fração de sistemas convectivos (limiar 235 K) em função do raio dos sistemas, para diferentes horas locais.

Combinando as figuras 3a e 3b pode-se concluir que, na média, os sistemas levam de 3 a 4 horas para alcançarem a maior área de cobertura (em 235 K), i.e. às 16:00-19:00 hora local. Observando-se a curva para as células convectivas (210 K) o máximo da área ocorre apenas 1 a 2 horas após o fortalecimento dos sistemas convectivos, este limiar, muito bem correlacionado com a precipitação, mostra que a maior atividade convectiva ocorre rapidamente após o nascimento do sistema convectivo (da ordem de 3 horas).

A figura 4 mostra a distribuição do tamanho dos sistemas convectivos para diferentes horas do dia. A densidade de fração de sistemas convectivos é calculada como a porcentagem da área total coberta no intervalo de classes de tamanho normalizada pelo mesmo intervalo. Nota-se nesta figura um forte efeito do ciclo diurno na organização da convecção. No período da manhã não se observa um tamanho preferencial de sistema convectivo, já as 14:00 horas verifica-se que a maioria da cobertura de nuvens é devido aos sistemas com tamanhos da ordem de 20 a 100 km de raio, as 20:00 horas o tamanho preferencial na qual os sistemas estão organizados é em torno de 50 a 200 km de raio, nota-se que este é o horário com a menor cobertura de pequenos sistemas convectivos. No período noturno encontramos a convecção organizada em grandes sistemas convectivos da ordem de 200 km.

3.3 Trajetória

A Figura 5 mostra o diagrama tempo/longitude das trajetórias dos sistemas convectivos que passaram sobre a área AMC/LBA. Os sistemas vão geralmente de Leste para o Oeste mas a propagação para Leste também ocorreu (por exemplo no dia 15). A chuva observada na área AMC/LBA também é indicada no lado esquerdo da figura. Infelizmente alguns eventos de chuva não foram relacionados com sistemas convectivos por falta de imagens, já mencionado no parágrafo da metodologia. O principal exemplo é o caso do dia 24 as 00 horas.

Exceto os casos de falta de dados, um evento de chuva forte é geralmente relacionado com a passagem de um sistema convectivo bem organizado, por exemplo os dias 14, 20, 22 e 31-32. Contudo, observa-se a ocorrência de uns poucos casos de passagem de sistemas convectivos não estando associado a um evento de chuva significativa, como por exemplo no dia 26. Esses casos serão analisados com maiores detalhes, mas é possível que a passagem dos sistemas convectivos não foram capturados pela rede pluviométrica disposta em uma área menor que a área analisada pelos sistemas convectivos.

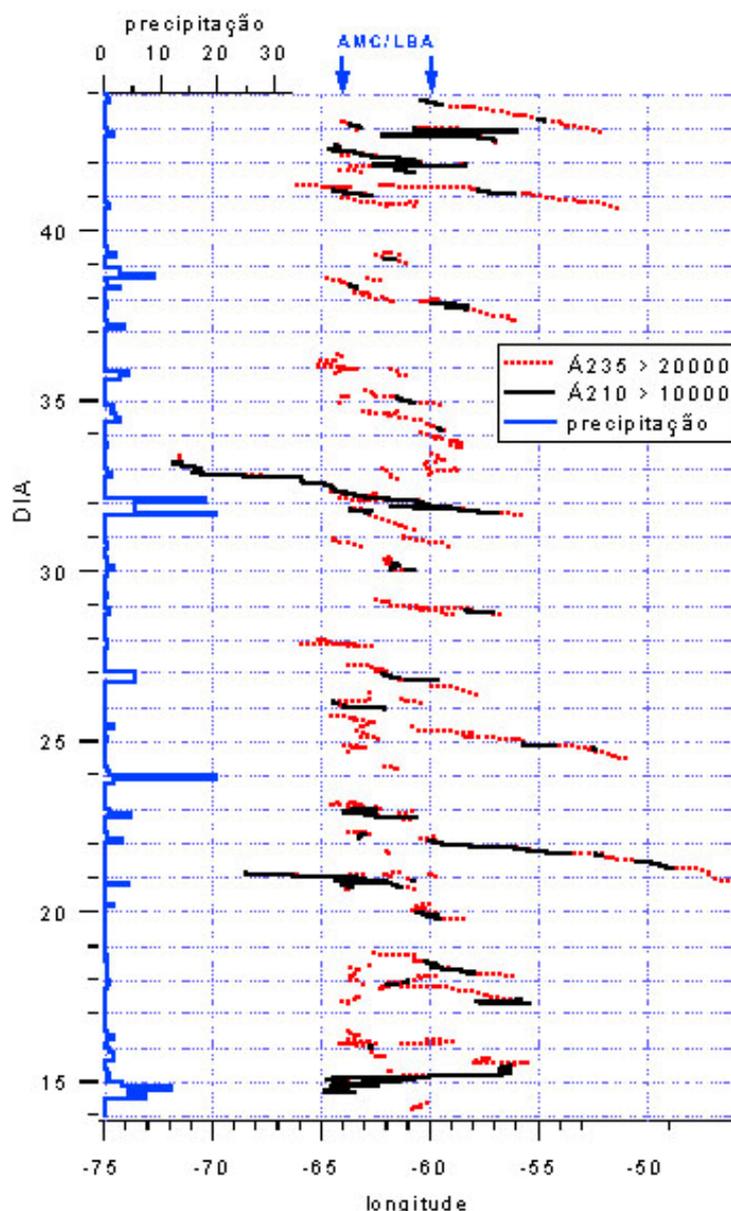


Figura 5. Diagrama Hovmoller dos principais sistemas convectivos que passaram na área AMC/LBA entre o 14/01/1999 e o 12/02/1999. São apresentados somente os sistemas cuja área no limiar 235 K é maior que 20000 km² (linha descontinua vermelha). Se a área da parte do sistema acima do limiar 210 K é maior que 10000 km² é apresentada uma linha continua preta. A precipitação média (mm) do rede do AMC/LBA é mostrada em azul.

4. Discussão

A análise das imagens do canal infravermelho do satélite GOES durante o experimento WET AMC/LBA permite descrever como a cobertura de nuvens se organiza espacialmente. Uma metodologia de acompanhamento dos sistemas convectivos permitiu estudar o ciclo de vida, as trajetórias, as velocidades de propagação entre outras variáveis. Os resultados mostram o efeito do ciclo diurno na organização da convecção, as defasagens entre precipitação, o momento de máxima expansão da área, o de iniciação dos sistemas convectivos e das células convectivas imersas no sistema convectivo. Observou-se que a iniciação está em fase com o momento de máxima precipitação.

As trajetórias dos sistemas convectivos de meso-escala mostram preferencialmente uma propagação para oeste. O vento nas camadas baixas foram geralmente de leste, contudo, foram de oeste durante alguns períodos (figura não apresentada). Esses episódios não foram associados com uma mudança significativa de propagação dos sistemas convectivos. Também o vento na alta troposfera foi geralmente de leste, mas ocorreram episódios de vento de oeste do dia 22 até o dia 25 (figura não apresentada). Isso não resultou em uma mudança de propagação dos sistema. Esse resultado mostra que os sistemas detectados não são apenas Cirrus advectados pelo vento, mas sim entidades com uma propagação própria. O estudo do relacionamento entre os sistemas convectivos e a circulação atmosférica de grande escala será um dos objetivos da continuação desse trabalhos.

Um outro objetivo é o estudo da estrutura tridimensional dos sistemas convectivos, usando os dados do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) que permite uma medida 3D da precipitação com um radar, além da temperatura de brilho no canal infravermelho (Simpson et al., 1988). A Figura 6 apresenta o exemplo do dia 10 de fevereiro 1999 : os dados TRMM mostram a organização vertical de um sistema convectivo passando sobre a área WET AMC/LBA. Esses dados serão processados durante o período WET AMC/LBA, visando uma comparação estatística entre a informação em 3D e as características dos sistemas convectivos acompanhados a partir dos dados GOES.

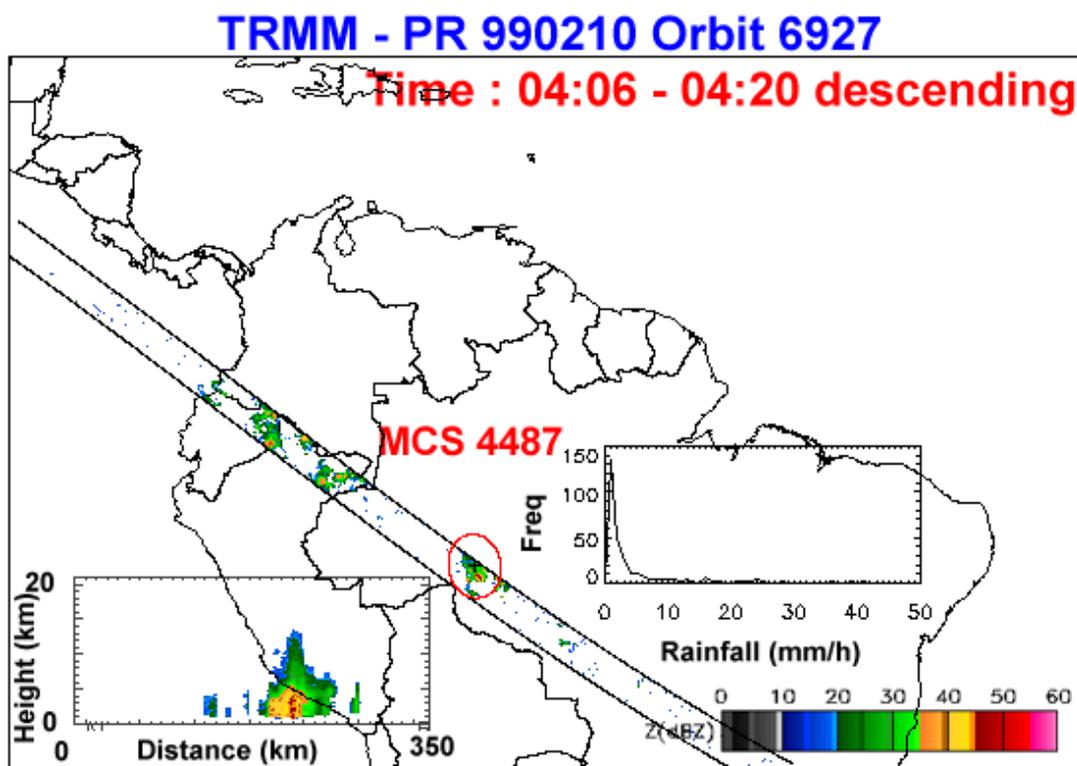


Figura 6. Exemplo de medida efetuada com o radar do satellite TRMM durante o WET AMC/LBA.

Agradecimentos

Esse trabalho faz parte de uma cooperação entre o IRD (Institut de Recherche pour le Développement, France) e o CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) suporte número 910153/98-1. Esse trabalho também foi financiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) suporte número 99/06045-7.

Referências

Machado, L. A. T., W. B. Rossow, R. L. Guedes, and A. W. Walker, 1998: Life cycle variations of mesoscale convective systems over the Americas. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 1630-1654.

Mathon, V. and H. Laurent, 2000: Life cycle of the Sahelian mesoscale convective cloud systems. Submitted to *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*

Silva Dias, M. A. F., A. J. Dolman, P. L. Silva Dias, S. Rutledge, E. Zipser, G. Fisch, P. Artaxo, A. Manzi, J. Marengo, C. Nobre and P. Kabat, 2000. An overview of the WET AMC/LBA – January and February 1999. *Proc. 15th Conf. on Hydrology*, 9-14 January 2000, Long Beach, California. AMS Publ., 305-306

Simpson, J., R. F. Adler, and G. R. North, 1988: A proposed Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 69, 278-295.