

Interações entre nuvens, chuvas e a biosfera na Amazônia.

Maria Assunção Faus da SILVA DIAS¹; Julia Clarinda Paiva COHEN²; Adilson Wagner GANDÚ¹

RESUMO

Apresenta-se uma revisão dos resultados já obtidos no Projeto LBA, na componente de Física do Clima, referente ao efeito da interação entre a biosfera e a formação de nuvens e de chuva em diferentes estações do ano e regiões da Bacia Amazônica. O efeito do desmatamento e das queimadas na atmosfera é abordado assim como mecanismos atmosféricos que foram caracterizados a partir das diversas campanhas do projeto LBA. Uma visão da complexidade das interações e do progresso que tem sido feito com base nos dados colhidos é apresentada.

PALAVRAS CHAVES

nuvens, chuvas, biosfera, atmosfera, floresta

Clouds, rain and biosphere interactions in Amazon.

ABSTRACT

A review of results obtained within the Physical Climate component of LBA with respect to the interaction between the biosphere and cloud and rain formation in the Amazon Basin, in different seasons and different regions within the Basin is presented. The deforestation effect and the effect of biomass burning are discussed and the physical processes highlighted based on the data collected in several LBA intensive field campaigns. The complex interactions and the progress in the understanding their evolution based on the new datasets is presented.

KEYWORDS

clouds, rain, biosphere, atmosphere, forest

INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica é conhecida por ser a maior área contínua de floresta tropical do mundo com elevados índices de precipitação e um ecossistema caracterizado por sustentar extensa biodiversidade. À medida que as fronteiras da floresta Amazônica vão sendo alteradas pelo avanço da agricultura, da pecuária, pelo corte indiscriminado de árvores centenárias, e pelo fogo, o equilíbrio do ecossistema Amazônico é ameaçado e surge a inevitável questão de quais as conseqüências dessas ações num futuro próximo. O conhecimento das diversas componentes envolvidas na interação entre a biosfera e a atmosfera é fundamental para a previsão da evolução do clima e da sustentabilidade do ecossistema como um todo, assim como para a tomada de decisão sobre as políticas públicas mais adequadas para minimização de impactos danosos irreversíveis.

Nesse sentido a componente de Física do Clima do Experimento de Grande Escala da Biosfera Atmosfera na Amazônia – Projeto LBA – tem focado as diversas características

do uso da terra na Amazônia que podem levar a uma mudança climática. Desde seu início em 1998, o LBA instalou uma série de sítios experimentais na Amazônia para medidas contínuas da interação biosfera atmosfera. Sucessivas campanhas de medidas intensivas, com duração de dois ou três meses, também foram realizadas para analisar de forma integrada e detalhada o funcionamento dos diversos ecossistemas da Amazônia e sua relação com a atmosfera.

Dessa grande quantidade de dados já surgem aspectos novos e intrigantes que vêm sendo relatados pelas diversas equipes envolvidas. Neste trabalho será apresentada uma revisão dos aspectos da interação biosfera atmosfera que influenciam o clima local e, em particular, a formação de nuvens e das chuvas. O item 2 enfoca os processos atuantes na estação chuvosa; o item 3 enfoca a estação de transição da estação seca para a estação chuvosa; o item 4 aborda alguns aspectos da interação na presença dos grandes rios e o item 5 apresenta as conclusões.

¹Departamento de Ciências Atmosféricas Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas Universidade de São Paulo/AG/USP - Rua do Matão 1226, 05508-900 São Paulo SP mafdsdia@usp.br

²Departamento de Meteorologia Universidade Federal do Pará

ESTAÇÃO CHUVOSA

Durante a estação chuvosa do início de 1999 foi realizada uma campanha de medidas na região sudoeste da Amazônia denominada “Wet Season Atmospheric Mesoscale Campaign” – WETAMC – realizada em conjunto com uma das campanhas de validação do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), denominada TRMM/LBA, ambas descritas em Silva Dias et al (2002a). A campanha centrou-se no estado de Rondônia que apresenta áreas com floresta primária e áreas com intensa atividade agropecuária. Através de medidas comparativas entre dois ecossistemas, a floresta e a pastagem, foram enfocadas as diferenças entre os processos de interação biosfera atmosfera que levariam a diferenças na formação de nuvens e de chuvas.

Em trabalho anterior, Cutrim et al (1995) haviam demonstrado que na estação seca da Amazônia, as nuvens cúmulus de bom tempo, que não necessariamente precipitam, formam-se prioritariamente sobre as regiões desmatadas e sobre elevações topográficas. Segundo Wright et al (1996) a evapotranspiração diminui na estação seca sobre as pastagens e se mantém constante o ano todo sobre a floresta. Dessa forma a partição de calor sensível e calor latente sobre a pastagem privilegia o calor sensível e segundo Fisch et al (1996) e Souza et al (2000) isso favorece um rápido crescimento da camada de mistura e leva as parcelas de ar até o nível de condensação por levantamento (NCL). As florestas mantêm a evapotranspiração mesmo na estação seca devido às raízes profundas. Durante a estação chuvosa, Fisch et al (2000) mostraram que a evolução da camada de mistura é bastante semelhante sobre a pastagem e sobre a floresta, com um crescimento um pouco mais rápido durante as primeiras horas da manhã sobre a floresta.

Carey et al (2001) notaram que as primeiras nuvens convectivas do dia formam-se sobre a floresta e sobre as regiões mais altas e que chove mais sobre a floresta. A Figura 1 mostra uma síntese dos dados do radar S-Pol instalado na Fazenda Jamaica. O radar foi instalado durante a campanha WETAMC nas proximidades da cidade de Presidente Médici em Rondônia e fez um monitoramento contínuo das nuvens e da chuva num raio de 180 km a partir desse local e com uma resolução aproximada de 4 km. A Figura 1 mostra o total de precipitação em diversas categorias de superfície: elevada, não elevada, com um limiar de 230 m, e floresta, não floresta, baseado no arquivo de vegetação do IGBP (International Geosphere Biosphere Program) com 1 km de resolução. Nas diversas combinações entre essas 4 categorias aparece como resultado uma diferença no total mensal de precipitação que favorece as regiões com floresta e as regiões mais elevadas. A região central de Rondônia, onde houve maior desenvolvimento agropecuário desde a década de 70, está situada na categoria não elevada e não floresta onde chove aproximadamente 5 % a menos que em regiões baixas com floresta e 20% menos que nas regiões altas com floresta. Machado et al (2002) mostraram que os sistemas convectivos de mesoescala observados durante o WETAMC formaram-se preferencialmente sobre regiões mais elevadas indicando que a topografia é um fator dominante mesmo na Amazônia, onde as diferenças de elevação não são muito grandes.

Estudos anteriores, como o de Nobre et al (1991), indicaram que uma substituição total da floresta amazônica por pastagens levaria a uma redução na precipitação tendo em vista que o balanço local de vapor d’água é mantido em aproximadamente 50 % pela evapotranspiração local. Silva Dias et al (2002b) utilizaram simulações numéricas com alta resolução espacial e indicam que o efeito do desmatamento regional pode levar a um aumento de precipitação em sistemas convectivos organizados e em algumas regiões nas proximidades de topografia .

O Projeto DESMATA (Cohen, 2001) enfoca a região litorânea da Amazônia, intensamente povoada e constituída de diversos tipos de ecossistemas (manguezais, floresta, campos e pastagens). Nessa região, o desmatamento e as modificações no uso da terra devidos à ação antropogênica podem causar mudanças no clima desde a escala local até a regional. No contexto do Projeto DESMATA foram realizados dois experimentos de campo, sendo um no período chuvoso e outro no período menos chuvoso. Foi mantido também um monitoramento contínuo de variáveis atmosféricas e do solo com o objetivo de avaliar o impacto do desmatamento sobre o clima no leste da Amazônia. A Figura 2 (Braga e Cohen, 2002) mostra as diferenças climáticas desses ecossistemas em termos de variação intra-regional e inter-anual da precipitação e velocidade média do vento. Apesar de situados todos no leste da Amazônia, a floresta de Caxiuanã, o manguezal de Bragança e o campo de Soure têm diferenças marcantes: o vento foi maior nos ecossistemas localizados junto à costa atlântica (campo e manguezal), entretanto observa-se que de janeiro a abril, com a presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), ocorre diminuição da magnitude do vento em todos os ecossistemas considerados (Braga e Cohen, 2002). Durante o período menos chuvoso, a maior quantidade de precipitação foi observada na floresta, enquanto no período chuvoso a maior quantidade de chuva ocorreu no campo e manguezal, dadas suas localizações próximas à região de maior influência da ZCIT.

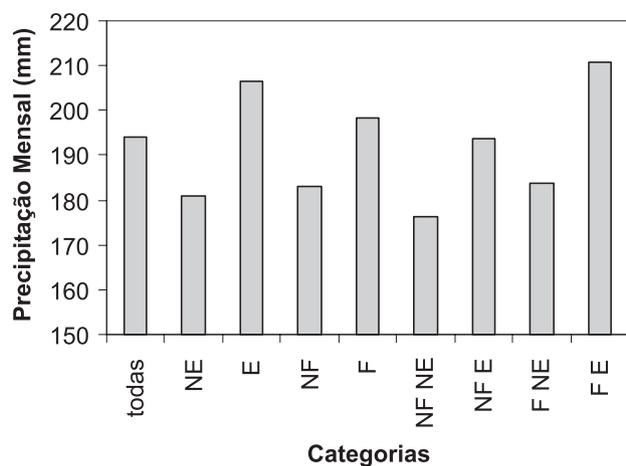


Figura 1 - Total mensal de precipitação derivada do radar S-Pol em Rondônia nas seguintes categorias de cobertura vegetal e ou altura topográfica: todas; NE – não elevada; E - elevada; NF – não floresta; F – floresta. A altura de corte para elevada ou não elevada é de 230 m e a cobertura vegetal utilizada é prove niente de arquivocom 1 km de resolução do IGBP. Adaptada de Carey et al, 2001.

Gandu et al (2004) realizaram simulações para a região leste da Amazônia e sugerem que nas áreas costeiras do Pará e sobre os grandes rios da região, o desmatamento pode ser responsável por um decréscimo de precipitação. No entanto nas proximidades de elevações topográficas pode estar sendo observado um aumento. Avissar et al (2002) sugerem que inicialmente o efeito do desmatamento pode ser de intensificar os gradientes horizontais de temperatura induzindo um aumento de chuva associado a circulações locais. O aumento pode existir enquanto o suprimento de vapor d'água for suficiente para manter a chuva e o desmatamento não atingir grandes áreas. Os resultados da Figura 1 indicam que no caso de Rondônia já se teria passado o ponto de aumento da chuva pelo desmatamento observando-se de fato uma diminuição. Por estarem baseados em apenas um mês de dados de radar (após a campanha esse instrumento foi retirado), esses resultados são preliminares. Com a instalação da rede de radares do SIPAM o mesmo estudo poderá ser estendido para áreas maiores e por períodos mais extensos.

A análise das chuvas durante Janeiro e Fevereiro de 1999 revelou um outro aspecto das chuvas na região sudoeste da Amazônia que não era conhecido. Durante a estação chuvosa notou-se uma sucessão de períodos em que os ventos entre 1000 e 3000 m de altura eram predominantemente de leste ou de oeste. Herdies et al (2002) associaram os períodos de ventos de oeste com a presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os períodos de ventos de leste com a ausência da ZCAS (NZCAS). A Figura 3 de Rickenbach et al (2002) mostra a evolução diurna da taxa de precipitação durante os períodos de ZCAS e NZCAS em três classificações: total, convectiva e estratiforme. Essas categorias estiveram baseadas nos dados do radar TOGA que estava situado no município de Ouro Preto D'Oeste em Rondônia e monitorou continuamente a precipitação num raio de 150 km a partir desse local. O ciclo diurno da taxa de precipitação (utilizando apenas valores não nulos que definem a precipitação condicional) mostra valores mais elevados à tarde, porém com um máximo mais acentuado

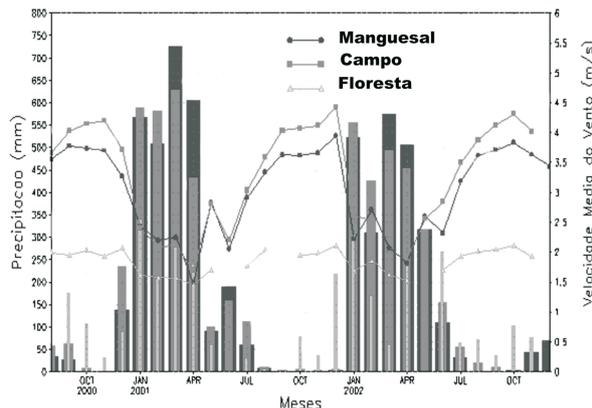


Figura 2 - Distribuição da precipitação e vento nos seguintes ecossistemas: Manguesal em Bragança(preto); Campo de Soure(cinza escuro); Floresta de Caxiuanã (cinza claro).

no caso NZCAS. A relação entre taxa de precipitação convectiva e estratiforme é maior no caso de NZCAS do que no caso de ZCAS.

Carvalho et al (2002) mostram que o regime de ventos de leste tem sistemas convectivos mais profundos porém de tamanho menor do que no caso dos ventos de oeste. Williams et al (2002) por outro lado mostraram que durante os eventos de ventos de leste observa-se um número de descargas elétricas até 4 vezes maior do que durante os ventos de oeste. A Figura 4, adaptada de Williams et al (2002) mostra um histograma da concentração dos núcleos de condensação de nuvens (NCN) para as categorias de ventos de leste e oeste durante a estação chuvosa e para a estação seca. Os NCN fazem parte dos aerossóis atmosféricos sendo aqueles sobre os quais se formam as gotículas de água da nuvem que eventualmente crescem o suficiente para cair como chuva. Quanto mais poluída a atmosfera, maior a concentração de aerossóis como um todo e também maior a concentração de partículas de NCN. Nota-se na Figura 4 que durante os eventos de oeste a atmosfera é mais limpa que durante os eventos de leste e muito mais limpa que durante a estação seca na presença de partículas geradas pelas queimadas. Artaxo et al (2002) mostram a evolução anual de

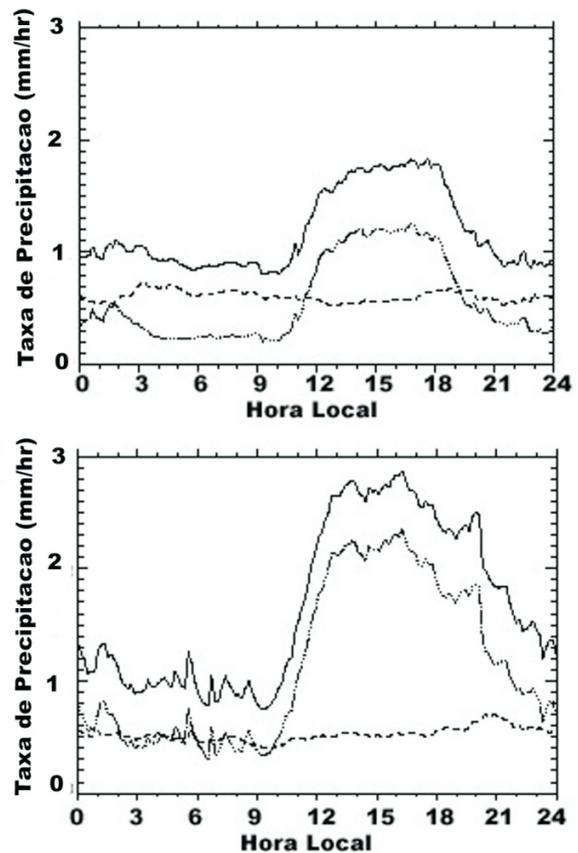


Figura 3 - Variação diurna da taxa de precipitação (mm/hr) para (a) regime de ZCAS e (b) Regime de NZCAS durante Janeiro de Fevereiro de 1999 com base nos dados do radar TOGA em Rondônia. A linha sólida é a chuva total, a pontilhada é chuva convectiva e a tracejada, chuva estratiforme. De Rickenbach et al (2002).

aerossóis em diversos locais da Amazônia indicando também o efeito das queimadas em aumentar sua concentração.

Durante a estação chuvosa, Roberts et al (2002) mostraram que a fração de sulfatos provenientes do decaimento orgânico da biomassa que se depositam sobre pequenas partículas de poeira ou de material orgânico levantado pelos ventos, converte essas partículas em NCN. Dessa forma, quando se têm alguns dias com poucas chuvas cobrindo pequenas áreas, como no caso do regime de ventos de leste, a concentração de NCN vai gradualmente aumentando. Durante os eventos de oeste, as grandes áreas com chuva promovem uma limpeza do ar, removendo material particulado e NCN, explicando assim a diferença de concentrações vista na Figura 3. Por outro lado, quando a atmosfera tem um número pequeno de NCN, o vapor d'água disponível se deposita em poucas gotas que crescem rapidamente até atingir um tamanho que permite sua queda como chuva. Com um número maior de NCN, as gotas geradas são pequenas e tendem a ficar em suspensão no ar. Esse é o mecanismo de geração de chuvas em nuvens quentes, ou seja, aquelas em que não existem partículas de gelo, e é o processo que explica a formação de chuva em nuvens cúmulus marítimas.

Nuvens cúmulus têm uma profundidade de uns poucos quilômetros ficando abaixo da isoterma de 0 °C que está por volta de 5 km de altura na Amazônia. As nuvens quentes sobre os continentes não costumam chover. Assim, a conjectura de que a concentração de NCN estaria alterando a microfísica da região Amazônica é uma das possibilidades que se coloca e que será discutida novamente na próxima seção. De qualquer forma, o número reduzido de NCN nos eventos de oeste mostrado na Figura 4, da mesma ordem daquele observado em regiões marítimas, motivou a referência à região Amazônica como um "oceano verde".

A alternância entre os regimes de leste e de oeste associada à presença ou não da ZCAS está associada a oscilações intrasazonais que tem escala global e foram descritas por Carvalho et al (2002). A diferente característica das chuvas nos dois regimes descrita por Rickenbach et al (2002) e por Anagnostou e Morales (2002) mostra-se como um desafio para a representação da convecção nos modelos de previsão numérica de tempo e clima que ignoram até o momento essa distinção.

ESTAÇÃO DE TRANSIÇÃO

Durante a transição entre a estação seca e a estação chuvosa de 2002 (setembro e outubro) realizou-se a campanha denominada DRYTOWET-AMC também na região de Rondônia (Silva Dias et al, 2003). Um dos grandes objetivos dessa campanha foi de estudar o efeito das queimadas no clima local enfocando processos de transferência de radiação e de formação de

nuvens, assim como a evolução desses processos com o início da estação chuvosa e seu efeito nos processos de interação biosfera-atmosfera. Além disso colocou-se mais ênfase na análise do impacto do clima global na Amazônia e do efeito da convecção Amazônica no clima global.

A transição entre as estações seca e chuvosa no ano de 2002 ocorreu sob o efeito do fenômeno El Niño e esteve associada a anomalias negativas de precipitação na Amazônia,

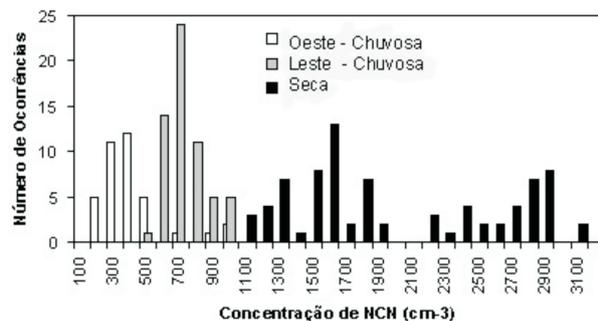


Figura 4 - Histograma de ocorrências de concentrações de Núcleos de Condensação de Nuvens (NCN) em Rondônia, em 1999, durante a estação chuvosa, separado por regimes de ventos de leste e ventos de oeste, e durante a estação seca. Adaptado de Williams et al (2002).

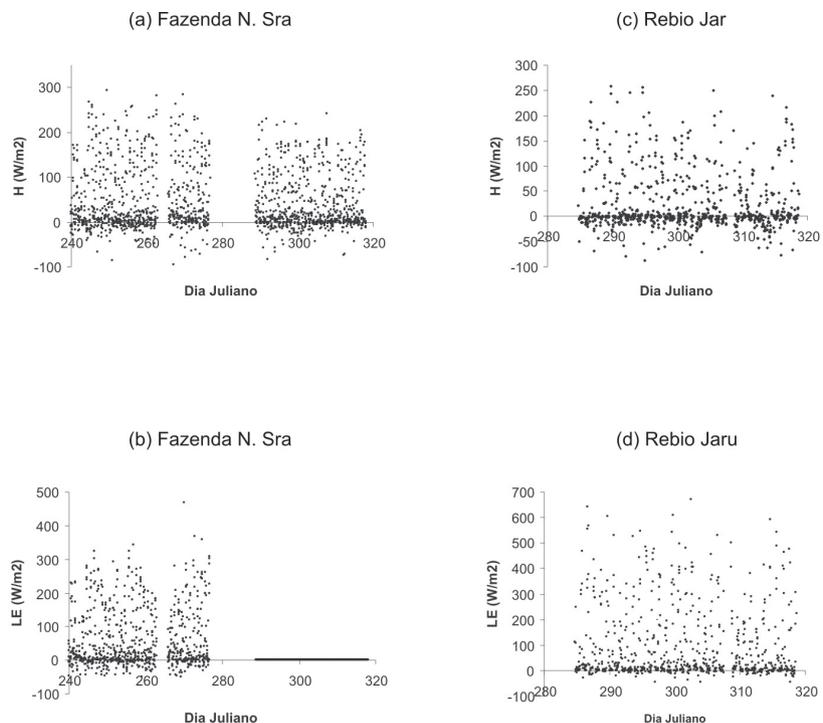


Figura 5 - Fluxos de calor sensível (H) e calor latente (LE) na Fazenda Nossa Senhora e na Reserva Biológica do Jaru, em Rondônia, durante o ano de 2002.

Brasil Central e Região Sudeste (veja por exemplo Climanálise, 2002). Em Ouro Preto D'Oeste a precipitação acumulada em outubro de 2002 foi de 187 mm bastante próxima da média histórica de Porto Velho que é de 190 mm.

A Figura 5 mostra os fluxos turbulentos de calor sensível (H) e de calor latente (LE) na pastagem e na floresta em Rondônia (Reserva Biológica do Jaru – Rebio Jaru) para os meses de setembro e outubro de 2002. Para referência o primeiro dia de setembro, outubro e novembro corresponde ao dia juliano de 243, 274 e 304, respectivamente. Para a Rebio Jaru houve um atraso no início das medidas devido a problemas técnicos. Nota-se que na pastagem os valores máximos de H decaem no fim de setembro e começo de outubro associados às primeiras chuvas; ao mesmo tempo os valores máximos de LE aumentam. Nota-se também que em outubro os valores máximos de H na floresta e na pastagem são da mesma ordem enquanto a floresta tem maior fluxo de LE. Ou seja, a pastagem ainda apresenta algum déficit hídrico pela intermitência das primeiras chuvas enquanto a floresta continua evapotranspirando de forma quase constante tendo em vista a grande profundidade das raízes. Além disso, há mais radiação disponível sobre a floresta devido ao seu menor albedo (Wright et al, 1996).

Durante o mês de outubro as chuvas foram bastante isoladas com exceção do caso do dia 8 de outubro em que um grande sistema convectivo passou pelo estado de Rondônia nas primeiras horas da manhã. A Figura 6 mostra a imagem do radar instalado na Fazenda dos Gringos nas proximidades no município de Ouro Preto D'Oeste. A área da figura corresponde a um círculo com 150 km de raio e os níveis de refletividade estão associados ao conteúdo de água líquida e gelo. Esse sistema pode ser classificado como uma linha de instabilidade e originou-se sobre o estado de Mato Grosso na tarde do dia anterior tendo propagação de leste para oeste. Por ser um sistema intenso e de grande extensão, promove um umedecimento do solo e uma lavagem da atmosfera, esta última com um impacto na

concentração de aerossóis de forma bastante marcante. As queimadas durante os meses de setembro e outubro de 2002 aumentaram a concentração de aerossóis na região levando a uma sensível redução da visibilidade associada ao espalhamento de radiação solar. Parte da radiação incidente é perdida para o espaço podendo diminuir em aproximadamente 40 W/m² a radiação solar média diária incidente na superfície (Procópio et al, 2003). Além disso, parte da radiação pode ser absorvida pelos aerossóis, em especial na presença do carbono grafítico (Menon et al, 2002). A associação do déficit de radiação na superfície e

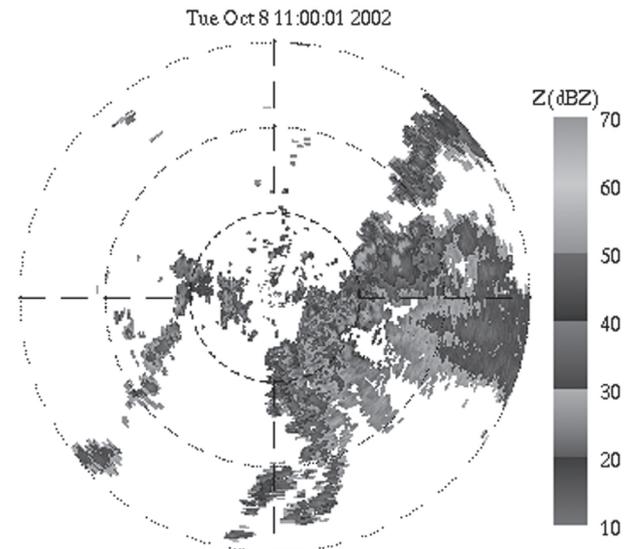


Figura 6 - Refletividades medidas pelo radar banda S, Doppler, instalado na Fazenda dos Gringos em Rondônia, às 1100 UTC do dia 8 de outubro de 2002. Os círculos concêntricos tem raios em incrementos de 50 km.

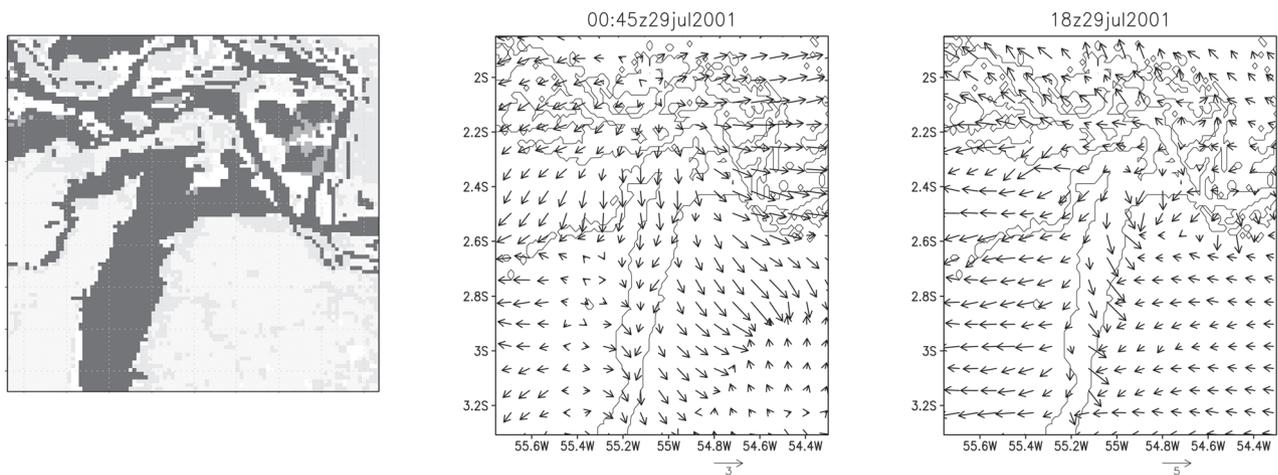


Figura 7 - (a) Região de Santarém, em escuro os rios Tapajós e Amazonas. (b) e (c) Simulações do vetor velocidade do vento a 23 m acima da superfície, com o modelo RAMS, descritas em Silva Dias et al (2003b) para as 1800UTC do dia 29 de julho de 2001 e 0045 UTC do dia 30 de julho de 2001, respectivamente.

absorção pela camada de aerossóis deve, teoricamente, levar a um resfriamento da superfície e aquecimento da camada de mistura, aumentando a estabilidade termodinâmica e desta forma reduzindo a possibilidade de formação de nuvens convectivas. Longo et al (2003) mostram através de modelagem numérica que esse efeito pode ser significativo na época de transição em Rondônia. O déficit de radiação em superfície também reduz a energia disponível que pode ser usada para gerar o fluxo turbulento de calor sensível, além de afetar a fotossíntese (Yamasoe et al 2003).

O efeito dos aerossóis de queimada como NCN e seu possível efeito na microfísica das nuvens foi enfocada nas medidas com avião instrumentado durante a campanha DRYTOWET. Os vôos foram realizados em Rondônia de 21 de setembro até 15 de outubro com penetrações e de nuvens quentes e perfis verticais dentro e fora dessas nuvens. Nos dias 4 a 6 de outubro foi feito um vôo até Cruzeiro do Sul, no Acre, para caracterizar a diferença entre nuvens na região de queimadas e aquelas em regiões limpas. Rosenfeld et al (2003) e Costa et al (2003) mostram os primeiros resultados dessa análise concluindo que as nuvens quentes nas regiões poluídas têm estrutura diferente daquelas em ar limpo. Em particular nas regiões limpas os cumulus apresentam chuva a partir de 3 km de altura o que não é observado em regiões poluídas onde apenas nuvens mais profundas conseguem precipitar. A implicação é que o regime de chuva de nuvens quentes na estação de transição tenha sido alterado pela ação dos aerossóis de queimadas. A reciclagem local promovida pelas chuvas leves (formação de gotas sobre NCN orgânicos que retornam à superfície com a chuva) é substituída por processos de exportação de aerossóis e gases traço conforme mostrado por Freitas et al (2000a, 2000b e 2003) e por Andreae et al (2001) levando a uma distribuição desses elementos numa área muito maior que a da própria região de origem.

EFEITOS DOS GRANDES RIOS

Trabalhos anteriores de Oliveira e Fitzjarrald (1993, 1994) estudaram a formação da brisa dos rios Negro e Solimões nas proximidades de Manaus indicando que a rotação no vetor velocidade do vento e a existência de um máximo noturno do vento eram associados à essa brisa. Na região de Santarém, Fitzjarrald et al (2003) mostram que existem períodos em que os ventos alísios são fracos e os ventos à superfície chegam a soprar de oeste em função da penetração da brisa do rio Tapajós (veja Figura 6a).

Em julho e agosto de 2001 foi realizado o experimento CIRSAN/LBA para caracterizar a estrutura vertical da atmosfera nas proximidades de Santarém. Por ser uma região em que existem várias torres de medidas da interação biosfera atmosfera tanto, de fluxos turbulentos como de concentração de gases traço, há uma necessidade de compreender melhor a evolução da camada limite planetária local e como essa evolução pode interferir nas medidas realizadas. Richey et al (2002) sugerem que a evasão de CO₂ dos rios e regiões alagadas tem um papel fundamental no balanço de carbono na Amazônia. Essas concentrações elevadas podem estar sendo transportadas pela

brisa do rio influenciando as medidas de concentração realizadas às suas margens. A Figura 7 mostra a região do CIRSAN (Figura 7a) assim como o resultado de simulação numérica realizada com alta resolução espacial Figura 7b e 7c) e relatada por Silva Dias et al (2004). A Figura 7b mostra os ventos a 25 m de altura no início da tarde enquanto a Figura 7c mostra o mesmo campo no início da noite mostrando a brisa de rio e brisa terrestre respectivamente. As regiões de convergência provocadas pela propagação da frente de brisa podem eventualmente provocar a formação de nuvens e de chuva. A Figura 7b mostra inclusive que a margem leste do rio Tapajós tem mais convergência do que a margem leste o que está de acordo com a nebulosidade observada segundo mostrado em Moore et al (2001) e em Silva Dias et al (2004). Na margem leste do rio Tapajós estão instaladas as diversas torres de medidas do projeto LBA estando portanto numa situação bastante particular e cujas medidas devem ser utilizadas com certa precaução quando usadas como base para extrapolação para outros locais da região Amazônica.

Outros efeitos dos rios na circulação e na convecção foram identificados em Gandu et al (2004) e Longo (2003). Gandu et al (2004) mostram que a substituição da floresta por pastagem na região leste da Amazônia tem como principal efeito o aumento da velocidade do vento próximo à superfície devido à diminuição do coeficiente de rugosidade. Entretanto, sobre os grandes rios da região esse efeito não é tão significativo como sobre as regiões não alagadas, fazendo com que haja um aumento na convergência de umidade sobre as encostas montanhosas dos vales desses rios, aumentando a precipitação nessas regiões.

Longo (2003) mostra que mesmo num sistema convectivo organizado como uma linha de instabilidade originada na costa norte do Brasil, nas proximidades de Belém, há um efeito da circulação local do rio Amazonas no sentido de alterar os movimentos verticais associados às regiões convectivas. As grandes linhas de instabilidade, como as estudadas por Cohen et al (1989,1995), representam um mecanismo altamente eficiente no transporte vertical de aerossóis e gases traço tanto por sua extensão horizontal como pela frequência de ocorrência.

CONCLUSÕES

Os resultados até agora obtidos dentro do Projeto LBA e em particular na componente de Física do Clima apontam para interações físicas extremamente complexas, que apenas agora começam a ser compreendidas e cuja pesquisa levanta novas questões sobre os mecanismos envolvidos. Para avaliações de efeitos de longo prazo a atribuição de causas de alterações observadas tem importância fundamental. Os resultados aqui descritos apontam para possíveis processos físicos que estão sendo alterados pelo desmatamento e pelas queimadas. A real dimensão dos efeitos dessas atividades antrópicas ainda está por ser determinada, já que depende de uma avaliação mais ampla espacialmente e extensa temporalmente do que a apresentada.

A compreensão do papel da floresta e dos grandes rios no balanço de carbono é um dos objetivos fundamentais do LBA que envolve os transportes verticais e horizontais de

aerossóis e gases traço na atmosfera. Nuvens, por sua vez, são extremamente eficientes na geração de movimentos verticais, ascendentes e descendentes. Os dados colhidos durante as campanhas intensivas do LBA indicam que as circulações locais provocadas pelo desmatamento e os CNV gerados pela queima da biomassa afetam a formação de nuvens e de chuvas, reduzindo a chuva nos vales desmatados e as chuvas locais de nuvens rasas que reciclam os compostos orgânicos voláteis naturalmente emitidos pela floresta. As implicações dessas alterações com relação ao equilíbrio dos ecossistemas são o foco das pesquisas atuais.

AGRADECIMENTOS

Partes deste trabalho foram financiadas pela FAPESP, CNPq, Instituto do Milênio/CNPq/MCT, FINEP, PPG7/FINEP/MCT, NASA e Comunidade Européia. Agradecimentos especiais ao Dr. Carlos Morales pela Figura 5, à Dra. Regina Alvalá pelos arquivos de vegetação e umidade de solo da Amazônia, ao Luiz Marcelo Zeri pelos dados da Figura 4, ao Tiago Correa pelo suporte computacional e ao pessoal do Laboratório MASTER do IAG/USP pelo apoio nas simulações numéricas com o RAMS.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Anagnostou, E.N.; C.A. Morales. 2002. Rainfall estimation from TOGA radar observations during LBA field campaign. *J. Geophys. Res.* 107 (D20): 35.1-35.14
- Andreae, M. O.; Artaxo, P.; Fischer, H.; Freitas, S. R.; Grégoire, J. M.; Hansel, A.; Hoor, P.; Kormann, R.; Krejci, R.; Lange, L.; Lelieveld, J.; Lindinger, W.; Longo, K.; Peters, W.; De Reus, M.; Scheeren, B.; Silva Dias, M. A. F.; Ström, J.; Van Velthoven, P. F. J. 2001; Williams, J. 2001. Transport of biomass burning smoke to the upper troposphere by deep convection in the equatorial region *Geophys. Res. Lett.* 28(6): 951-954.
- Artaxo, P.; Martins, J.V.; Yamasoe, M. A.; Procópio, A. S.; Pauliquevis, T. M.; Andreae, M. O.; Guyon, P.; Gatti, L. V.; CORDOVA LEAL, A.M. 2002. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry season in Rondônia, Amazonia. *J. Geophys. Res.*, 107 (D20): 49.1-49.14.
- Avissar, R.; Silva Dias, P. L.; Silva Dias, M. A. F.; Nobre, C. 2002. The Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA): Insights and future research needs. *J. Geophys. Res.* 107 (D20): 54.1-54.6.
- Braga, R.H.M.; Cohen, J.C.P. 2002. Variação sazonal e intra-regional da precipitação e do vento junto ao litoral Atlântico da Amazônia. In: *Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia - Foz do Iguaçu, Paraná - 4-9 de Agosto de 2002 CD-ROM-Sociedade Brasileira de Meteorologia.*
- Carey, L.D.; Cifelli, R.; Petersen, W.A.; Rutledge, S. A.; Silva Dias, M. A. F. 2001. Characteristics of Amazonian rain measured during TRMM-LBA. *30th Conference on Radar Meteorology*, 12A.9.
- Carvalho, L. M. V.; Jones, C.; Silva Dias, M. A. F. 2002. Intraseasonal large-scale circulations and mesoscale convective activity in tropical South America during the TRMM-LBA campaign. *J. Geophys. Res.* v.107. (D20): 9.1-9.20.
- Cohen, J.C.P. 2001. Projeto Desmata: Impacto Junto ao Litoral Atlântico da Amazônia. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia.* São Jose dos Campos. 25 (3): 27-3.
- Cohen, J.C.; Silva Dias, M.A.F.; Nobre, C. 1989. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. *Climanálise.* 4 (11): 34-40.
- Cohen, J. C. P.; Silva Dias, M. A. F.; Nobre, C. A. 1995. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. *Monthly Weather Review.* 123 (11): 3163-3174.
- Costa A. A.; Oliveira, J. C. P. De; Rosenfeld, D.; Oliveira C. J. De; Leal, J. B. V.; JR.; Silva, E. M. da; Santos, A. C. S. dos; Pinheiro, F. G. M.; Silva Dias, M. A. F.; Andreae, M. O.; Artaxo, P.; Silvério, A. C. 2003. Highlights of the Cloud Microphysics LBA/CLAIRE/SMOCC-2002 Component. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 06-11 April 2003. *Geophysical Research Abstracts.* 5: EAE03-A-13603.
- Cutrim, E.; Martin, D.W.; Rabin, R. 1995. Enhancement of cumulus clouds over deforested lands in Amazonia. *Bulletin of American Meteorological Society.* 76(10):1801-1805.
- Fisch, G.; Culf, A. D.; Nobre, C. A. 1996. Modelling convective boundary layer growth in Rondonia. In: Gash et al Eds *Amazonian Deforestation and Climate.* p. 425-436.
- Fisch, G.; Tota, J.; Machado, L.; Ferrier, B.; Silva Dias, M.; Dolman, A.J.; Halverson, J.; Fuentes, J. 2000. Atmospheric Boundary Layer Growth during the LBA/TRMM experiment. *Proceedings 15th Conference on Hydrology - 80th AMS Annual Meeting, Long Beach (CA), Jan 9-14,* p. 319 - 322.
- Fitzjarrald Dr.; Sakai, R K.; Moraes, O.L.L.; Staebler, R. M.; Acevedo, O.C; Czikowsky, M. J; Silva Dias, M.A.F; Silva, R da. 2003. River breezes, cloudiness, and regional climate near the confluence of the Tapajós and Amazon Rivers, Brazil, (in preparation).
- Freitas, S. R.; Silva Dias, M. A. F.; Silva Dias, P. L. 2000. Modeling the convective transport of trace gases by deep and moist convection. *Hybrid Methods in Engineering.* 2 (3): 317-330.
- Freitas, S. R.; Silva Dias, M. A. F.; Silva Dias, P. L.; Longo, K. M.; Artaxo, P.; Andreae, M. O.; Fischer, H. 2000. A convective kinematic trajectory technique for low resolution atmospheric models. *J. Geophys. Res.* 105 (D19): 24,375-24,386.
- Freitas, S.; Longo, K.; Silva Dias, M. A.; Silva Dias, P. L.; Chatfield, R. 2003. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 06-11 April 2003. *Geophys. Res. Abs.* 5: EAE03-A-11332.
- Gandu, A. W.; Cohen, J. C. P.; Souza, J. R. S de. 2004. Simulations of deforestation in Eastern Amazon using a higher-resolution model. *Theoretical and Applied Climatology,* 78: 123-135
- Herdies, D.L.; Silva, A. da; Silva Dias, M.A.F.; Ferreira, R. N. 2002. The moisture budget of the bi-modal pattern of the summer circulation over South America. *J. Geophys. Res.* 107 (D20): 42.1-42.13,

- INPE. 2002. *Climanálise*, (<http://www.cptec.inpe.br>).
- Longo, K.M.; Freitas, S. R.; Silva Dias, M. A. F.; Silva Dias, P.L.; Chatfield, R. 2003. Atmospheric numerical simulation of the aerosol microphysics and radiative effects in a regional biomass burning smoke plume in South America EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 06-11 April 2003. *Geophysical Research Abstracts*, 5, 12101.
- Longo, M. 2003. *Balanço de vortacidade horizontal associado a um sistema convectivo de mesoescala na Amazônia*. Dissertação de Mestrado. IAG-USP.
- Machado, L. A. T.; Laurent, H.; Lima, A. A. 2002. Diurnal march of the convection observed during TRMM-WETAMC/LBA. *J. Geophys. Res.* 107 (D20): 31.1-31.15.
- Menon, S.; Hansen, J.E.; Nazarenko, L.; Luo, Y. 2002. *Climate effects of black carbon aerosols in China and India. Science*. 297: 2250-2253.
- Moore K.M.; Fitzjarrald, D.R.; Moraes, O.L.L.; Acevedo, O.C.; Silva Dias M.A.F.; Sakai, R.K.; Staebler, R.M.; Czikowsky, M.J. 2001. Spatial variation in surface solar irradiance and cloudiness derived from GOES data near Santarém, PA, Brazil. *LBA-Ecology Open Meeting*, Atlanta, February 12-14.
- Nobre, C.A.; Sellers, P.J.; Shukla, J. 1991. Amazonian deforestation and regional climate change. *J. Climate*. 4: 957-987.
- Oliveira A.P.; Fitzjarrald D.R. 1993. The Amazon River breeze and the local boundary layer. 1. *Observations. Boundary-Layer Meteorology*, 63: 141-162.
- Oliveira A.P.; Fitzjarrald D.R. 1994. The Amazon River breeze and the local boundary layer. 2. Linear analysis and modeling. *Boundary-Layer Meteorology*. 67: 75-96.
- Procopio, A. S.; Artaxo, P.; Kaufman, Y. J.; Remer, L. A.; Schafer, J. S.; Holben, B. N. 2004. Multiyear analysis of amazonian biomass burning smoke radiative forcing of climate. *Geophysical Res. Letters*, 31, L03108, doi:10.1029/2003GL018646,
- Rickenbach, T.M.; Ferreira Nieto, R.; Silva Dias, M. A. F.; Halverson, J. 2002. Modulation of convection in the western Amazon basin by extratropical baroclinical waves. *J. Geophys. Res.* 107 (D20): 7.1-7.13.
- Ritchey, J.E.; Melack J.M.; Aufdenkampe A.K.; Ballester V.M.; Hess L.L. 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO₂. *Nature*, 416: 617-620.
- Roberts, G. J.; Zhou, J.; Artaxo, P.; Swietlicki, E.; Andreae, M. O. 2002. Sensitivity of CCN spectra from the Amazon Basin on chemical and physical properties of the aerosol. *J. Geophys. Res.* 107 (D20): 10.1029.
- Rosenfeld, D.; Costa, A. A.; Oliveira, J.C.P de; Andreae, M.O.; Artaxo, P. 2003. In situ validation of the suppression of rain by smoke from forest fires in the Amazon. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 06-11 April 2003. *Geophys. Res. Abs.* 5: EAE03-A-08331.
- Silva Dias, M.A.F.; Petersen, W.; Silva Dias, P.; Cifelli, R.; Betts, A. K.; Gomes, A. M.; Fisch, G. F.; Lima, M. A.; Longo, M.; Antonio, M. A.; Albrecht, R. I. 2002. A case study of the organization of convection into precipitating convective lines in the Southwest Amazon. *J. Geophys. Res.* 107 (D20): 46.1- 46.23.
- Silva Dias, M. A. F.; Fisch, G.; Plana-Fattori, A.; Silva Dias, P. L.; Machado, L. A.; Morales, C. R.; Manzi, A.; Yamasoe, M.; Marengo, J.; Ambrizzi, T.; Andreae, M. O.; Artaxo, P.; Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Costa, A.; Betts, A.K.; Williams, E. 2003. Radiation, cloud, and climate interactions in SW Amazon during the DRY-TO-WET Transition Season/LBA. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 06-11 April 2003, *Geophys. Res. Abs.* 5: EAE-03-09989.
- Silva Dias, M. A. F.; Silva Dias, P. L.; Longo, M.; Fitzjarrald, D. R.; Denning, A. S. 2004. River breeze circulation in Eastern Amazon: observations and modelling results. *Theoretical and Applied Climatology*, 78: 111-121.
- Silva Dias, M. A. F.; Rutledge, S.; Kabat, P.; Silva Dias, P.L.; Nobre, C.; Fisch, G.; Dolman, A.J.; Zipser, E.; Garstang, M.; Manzi, A.; Fuentes, J. D.; Rocha, H.; Marengo, J.; Plana-Fattori, A.; Sá, L.; Alvalá, R.; Andreae, M. O.; Artaxo, P.; Gielow, R.; Gatti, L. 2002. Clouds and rain processes in a biosphere atmosphere interaction context. *J. Geophys. Res.* 107 (D20): 39.1- 39.20.
- Souza, E. P.; Rennó, N. O.; Silva Dias, M.A.F.. 2000. Convective circulations induced by surface heterogeneities. *Journal of Atmospheric Sciences*. 57: 2915-2922.
- Williams E.; Rosenfeld, D.; Madden, N.; Gerlach, J.; Gears, N.; Atkinson, L.; Dunnemann, N.; Frostrom, G.; Antonio, M.; Biazon, B.; Camargo, R.; Franca, H.; Gomes, A.; Lima, M.; Machado, R.; Manhaes, S.; Nachtigall, L.; Piva, H.; Quintiliano, W.; Machado, L.; Artaxo, P.; Roberts, G.; Renno, N.; Blakeslee, R.; Bailey, J.; Boccippio, D.; Betts, A.; Wolff, D.; Roy, B.; Halverson, J.; Rickenbach, T.; Fuentes, J.; Avelino, E. 2002. Contrasting convective regimes over the Amazon: implications for cloud electrification. *J. Geophys. Res.* 107 (D20): 50.1-50.19.
- Wright, I.R.; Gash, J. H. C.; Rocha, H. R.; Roberts, J. M. 1996. Modelling surface conductance for Amazonian pasture and forest. In: J. H. C. Gash, C. A. Nobre, J. M. Roberts, R. L. Victoria, Eds, *Amazonian Deforestation and Climate*. p. 437-458.
- Yamasoe, M.; Plana-Fattori, A.; Correa, M.; Dubuisson, P.; Holben, B.; Artaxo, P. 2003. Measurement of global and direct photosynthetic active radiation - the effect of smoke EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 06-11 April 2003, *Geophysical Research Abstracts*. 5: EAE03-A-12276.

RECEBIDO EM 08/08/2003
ACEITO EM 05/02/2005