

- Silva-Dias, M.A.F. "Smoking rain clouds over the Amazon". *Science*, Vol 303, 1342-1345, 2004.
5. Silva Dias, M.A.F.; Artaxo, P. Andreae, M.O. "Aerosols impact clouds in the Amazon Basin". *GEWEX. Newsletter*, Vol. 14, No. 4, pág. 4-6, 2004.
 6. Nobre, C.A.; Sellers, P.J.; Shukla, J. "Amazonian deforestation and regional climate change". *Journal of Climate* 1991 4: 957-988, 1991.
 7. Lean, J.; Bunton, C.B.; Nobre, C.A.; Rowntree, R.L. "The simulation of Amazonian deforestation on climate using measured Abracos vegetation characteristics". In GASH, J.H.C. et al. *Amazonian deforestation and climate*. Chichester (England): John Wiley & Sons Ltd., 611 pp., 1996.
 8. Manzi, A.O.; Planton, S. "A simulation of Amazonian deforestation using a GCM calibrated with Abracos and Arme data". In Gash, J.H.C. et al. *Amazonian deforestation and climate*. Chichester (England): John Wiley & Sons Ltd., 611 pp., 1996.
 9. Costa, M.R.; Foley, J.A. "Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentrations on the climate of Amazonia". *J Climate*, 13:18-34, 2000.
 10. Werth D.; Avissar, R. "The local and global effects of Amazon deforestation". *J. Geophys Res.* 107(D20):artigo nº. 8087, 2002.
 11. Correia, F. W. Alvalá, R. C. S, Manzi, A. "O impacto das modificações da cobertura vegetal no balanço de água na Amazônia: um estudo com modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA)". *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3, -15, 2006.
 12. Correia, F. W. Alvalá, R. C. S, Manzi, A. "Modeling the impacts of land cover change in Amazonia: a regional climate model (RCM) simulation study". Aceito para publicação na *Theoretical and Applied Climatology*.
 13. Gandu, A.W.; Cohen, J.C.P.; Souza, J.R.S. "Simulation of deforestation in eastern Amazonia using a high-resolution model". *Theoretical and Applied Climatology*, v. 78, 2004.
 14. Durieux, L.; Machado, L.A.T.; Laurent, H. "The impact of deforestation on cloud cover over the Amazon arc of deforestation". *Remote Sensing of Environment* 86:132-140, 2003.
 15. Negri, A.J.; Adler, R.F.; Xu, L.; Surratt, J. "The impact of Amazonian deforestation on dry season rainfall". *Journal of Climate* 17: 1306-1319, 2004.
 16. Cotton, W.R.; Pielke, R.A.; Walko, R.L.; Liston, G.E.; Tremback, C.J.; Jiang, H.; Mcanally, R.L.; Harrington, J.Y.; Nicholls, M.E.; Carrio, G.G.; Mcfadden, J.P. "RAMS 2001: Current status and future directions". *Meteorol Atmos Phys* 49:69-91,2003.
 17. Chen, D.; Coughenour, M. B. "GEMTM: a general model for energy and mass transfer of land surfaces and its application at the FIFE sites". *Agricultural and forest meteorology*. vol. 68, no3-4, pp.145-171 (2 p.1/2), 1994.
 18. Sellers, P.J.; Hall, F.G.; Strebel, D.E.; Asrar, G.; Murphy, R.E. "Satellite remote sensing and field experiments". In: Hobbs, R.J.; Mooney, H.A. *Remote sensing of biosphere functioning*. *Ecological studies* 79. Springer, New York, pp. 169-219, 1990.
 19. Henderson-Sellers, A. Pitman, A. J. "Land-surface schemes for future climate models: specification, aggregation, and heterogeneity". *J. Geophys. Res.* 97: 2687-2696, 1992.
 20. Soares-Filho, B.S.; Nepstad, D.C.; Curran, L. et al. "Cenários de desmatamento para a Amazônia". *Estudos Avançados*, vol. 19, no. 54 , pp. 137-152, 2005.
 21. Ramos-da-Silva, R.; Werth, D.; Avissar, R. "Regional impacts of future land-cover changes on the Amazon basin wet-season climate". *Journal of Climate*, aceito, 2007.

BALANÇO DE UMIDADE NA AMAZÔNIA E SUA SENSIBILIDADE ÀS MUDANÇAS NA COBERTURA VEGETAL

Francis Wagner Silva Correia
 Antonio Ocimar Manzi
 Luiz Antonio Cândido
 Rosa Maria Nascimento dos Santos
 Theotônio Pauliquevis

A Amazônia é a maior floresta tropical úmida do mundo com uma área total de aproximadamente 7 milhões de km², o que representa cerca de 56% das florestas tropicais da Terra. A floresta é cortada pelo rio Amazonas e seus afluentes representando a maior rede fluvial do globo e respondendo por aproximadamente 20% do total de água doce despejado nos oceanos do planeta. Ela está posicionada nos trópicos, onde as trocas de energia entre a superfície continental e a atmosfera são bastante intensas. Mudanças nos ecossistemas amazônicos podem provocar impactos na circulação atmosférica, no transporte de umidade para e da região e, consequentemente, no ciclo hidrológico, não somente sobre a América do Sul, mas em outras partes do mundo (1 - 4). A precipitação média anual na bacia amazônica é de aproximadamente 2300 mm, apresentando regiões com precipitação superior a 3000 mm no oeste, noroeste e litoral norte da Amazônia (5). O regime de precipitação na Amazônia é modulado por sistemas dinâmicos de microescala, mesoescala e escala sinótica. Dentre os sistemas de escala sinótica atuantes nessa modulação, destacam-se as zonas de convergência associadas às circulações térmicas diretas (circulações de Hadley e Walker) e os aglomerados convectivos que constituem a Zona de Convergência do Atlântico Sul (6). Como sistemas de mesoescala (e escala sub-sinótica) de maior influência, podem-se citar os conglomerados de nuvens *Cumulonimbus* associados às linhas de instabilidades originadas pela circulação de brisa marítima na costa do Atlântico (7). A convecção local, devida ao aquecimento diurno da superfície, também contribui com a formação de nuvens de verão e uma parcela significativa das chuvas anuais. Esses sistemas convectivos conduzem a uma intensa variabilidade espacial e temporal no ciclo hidrológico na Amazônia. A realização de vários experimentos nos últimos anos tem conduzido a um melhor entendimento da interação biosfera-atmosfera e de sua influência na formação de nuvens e chuvas no decorrer do ano e em diferentes regiões na bacia amazônica (8, 9).

BALANÇO DE UMIDADE NA AMAZÔNIA Os componentes do ciclo hidrológico de uma região continental são: a precipitação; a evaporação ou evapotranspiração; a drenagem para os rios, pelo escoamento superficial e profundo; a convergência de umidade pela atmosfera, devido ao transporte de vapor de água de (ou para) outras regiões; e as variações na quantidade de água armazenada na atmosfera, nos solos e em reservatórios subterrâneos. Para um período longo, de dezenas de anos, pode-se considerar, em geral, que as

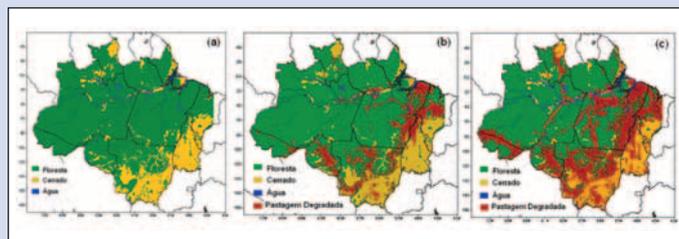


Figura 1 - Cenários de desflorestamento usados nas simulações numéricas com o modelo climático do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC-Inpe): (a) Cenário para a simulação de controle; (c) Cenário atual de desflorestamento; (c) Cenário referente ao ano de 2033.

variações na quantidade de água armazenada na atmosfera e no solo são muito menores que nos outros componentes. Portanto, é possível pensar que a descarga dos rios nos oceanos é igual ao excedente de precipitação em relação à evapotranspiração, e que esse excedente é devido ao transporte de umidade de outras regiões pela atmosfera, ou seja, igual à convergência de umidade. Porém, o cálculo preciso dos componentes do balanço de água na bacia amazônica é dificultado pela falta de uma rede de observações adequada. A rede existente apresenta descontinuidade espacial e temporal de medidas hidrometeorológicas. Os primeiros estudos do balanço de umidade na Amazônia utilizaram dados de precipitação, poucas informações de ar superior (radiossondagens) e de descarga de rios de estações na Amazônia; já, nas últimas décadas, foram sendo gerados dados com melhor resolução espacial e temporal a partir de observações feitas por satélites, estações de superfície e modelos meteorológicos (análises ou reanálises elaboradas por centros meteorológicos operacionais). Esses novos conjuntos de dados têm permitido estudos mais detalhados dos componentes do ciclo hidrológico na escala da bacia. Exemplos de dados de modelos são as reanálises dos centros norte-americanos de previsão ambiental e de pesquisa atmosférica (National Center for Environmental Prediction – NCEP / National Center for Atmospheric Research – NCAR) e as do Centro Europeu de Previsão de Tempo de Médio Prazo (European Centre for Medium Range Weather Forecast – ECMWF). Uma revisão dos resultados de vários estudos de balanço de água na bacia amazônica realizados nas últimas décadas é apresentada por J.A.Marengo (10). As diferenças nos resultados são decorrentes das variadas fontes de dados hidrometeorológicos. Na maioria desses estudos, as medidas de descarga do rio Amazonas foram realizadas em Óbidos – AM (01°55' S, 55° 28' W), com valores médios anuais da ordem de 175000 m³s⁻¹ (equivalente a uma lâmina de água de 2,5 mm dia⁻¹, distribuída uniformemente por toda a superfície da bacia, que drena para os rios). Contudo esse valor não representa o total da descarga na foz do rio Amazonas, uma vez que não considera as águas provenientes dos rios Xingú e Tocantins. A descarga observada na foz do rio Amazonas é estimada em 210000 m³ s⁻¹ ou 2,9 mm dia⁻¹ (11). Valores de evapotranspiração (EP) também variam de estudo para estudo. Medidas diretas e contínuas de fluxo de evapotranspiração acima da floresta, utilizando a técnica de covariâncias de vórtices turbulentos, foram feitas durante o Anglo Brazilian Climate Observational Study (Abraços) e estão sendo realizadas no Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) em diferentes pontos na Amazônia. Por exemplo, alguns especialistas (12) observam valores médios de evapotrans-

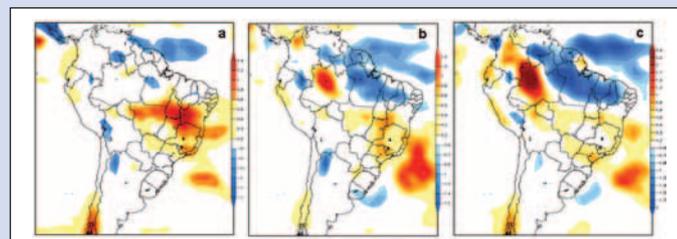


Figura 2 - Média anual da diferença na precipitação (mm dia⁻¹) nos experimentos com: (a) cenário de alterações atuais; (b) previstas para o ano de 2033 e (c) desflorestamento de grande escala na bacia amazônica. As cores vermelhas significam aumento e as azuis redução na precipitação.

piração de 3,9 mm dia⁻¹ no leste da Amazônia e de 3,7 mm dia⁻¹ na porção central e sul e (13) obtiveram valores de 3,6 mm dia⁻¹ e 3,8 mm dia⁻¹ para as estações úmida e seca, respectivamente, em uma floresta no sudoeste da Amazônia. Outros relatos (14) mostram um valor médio anual de 3,5 mm dia⁻¹ na região de Santarém (PA), uma das mais secas da Amazônia, enquanto (15) e (16) se encontraram valores de 3,8 mm dia⁻¹ e 3,9 mm dia⁻¹, respectivamente, para a região de Manaus. Esses valores de evapotranspiração são ligeiramente maiores que a média espacial de toda a bacia. Portanto, pode-se considerar que a evapotranspiração média da bacia amazônica não deve ser inferior a 3,5 mm dia⁻¹ nem superior a 4,0 mm dia⁻¹. Para amenizar a deficiência da rede observacional de superfície são utilizados dados de precipitação gerados a partir de satélites meteorológicos e, também, de modelos numéricos (análise ou reanálise), que também têm limitações e resultam em valores discrepantes de precipitação média para a bacia. No artigo de revisão de estudos do ciclo hidrológico da bacia amazônica (10), valores médios anuais de precipitação de diferentes climatologias variaram de 5,5 a 7,9 mm dia⁻¹. Outro componente importante do balanço de umidade é a convergência de umidade integrada verticalmente na atmosfera sobre a área. Para o cálculo dessa variável foram necessários dados de umidade específica do ar e velocidade do vento, em vários níveis na atmosfera. Por exemplo, (17) obtiveram para um período de 5 anos de dados de re-análises do ECMWF o valor de 1,3 mm dia⁻¹ para a convergência de umidade na bacia amazônica e (11), utilizando reanálises do NCEP/NCAR, obteve o valor de 1,4 mm dia⁻¹, bem próximo do obtido por (17), mas bem menor que a descarga do rio Amazonas no oceano Atlântico, de 2,9 mm dia⁻¹. Para a avaliação dos componentes do balanço de umidade na bacia amazônica para um longo período, admitindo-se que não haja modificação nos estoques de água subterrânea, a precipitação média deve ser balanceada pela soma da evapotranspiração com a descarga do rio Amazonas no oceano Atlântico e a convergência de umidade na atmosfera deve se igualar à descarga do rio. Contudo, a maioria dos estudos de balanço de água na Amazônia apresenta diferenças entre a convergência de umidade e descarga do rio (11, 18, 19). Esse “desbalanço” é devido às incertezas na determinação dos valores médios anuais de cada componente. Todavia, as incertezas no valor da descarga média anual do rio Amazonas são bem menores que as incertezas no valor da convergência de umidade obtidas das reanálises. Para uma descarga anual de 2,9 mm dia⁻¹ e uma taxa anual mínima de evapotranspiração de 3,5 mm dia⁻¹ a precipitação anual média deveria ser de pelo menos 6,4 mm dia⁻¹ ou aproximadamente 2300 mm (concordando com os valores observados).

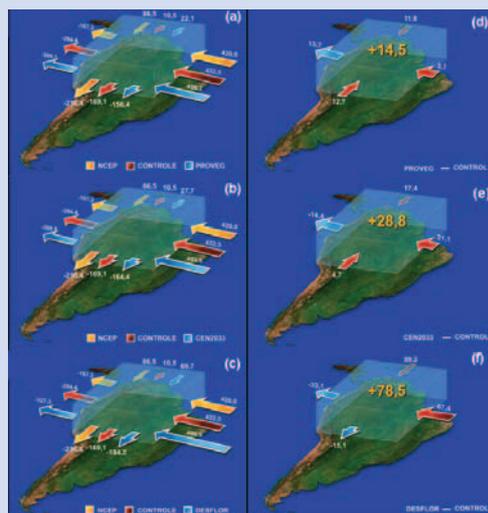


Figura 3 - Mudanças no balanço de umidade sobre a área selecionada (13,1oS - 4,0oN; 74,3oW - 51,6oW) (106 x kg s⁻¹) na média anual. O lado esquerdo apresenta o fluxo de umidade integrado verticalmente nas fronteiras leste, oeste, norte e sul. As cores amarela, vermelha e azul correspondem aos dados de reanálises do NCEP, da simulação de controle e das simulações com os cenários de alterações atuais, previstas para o ano de 2033 e desflorestamento de grande escala na bacia amazônica utilizando o modelo climático do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC-Inpe), respectivamente. No lado direito apresenta o balanço de umidade em cada fronteira representada pela diferença entre a simulação de controle e as simulações correspondentes a cada cenário de desflorestamento. As setas em vermelho (azul) significam aumento para dentro (fora) do domínio.

RECICLAGEM DE ÁGUA NA AMAZÔNIA Uma parcela importante das chuvas da Amazônia é alimentada pela evapotranspiração dos seus ecossistemas, pois a evapotranspiração média anual corresponde a 55 - 60% da precipitação. Porém, isso não significa que toda a evapotranspiração gerada na Amazônia é convertida em precipitação na própria região. No período da estação chuvosa, a taxa de precipitação é geralmente maior que o dobro da taxa de evapotranspiração, o que implica que a maior parte da umidade necessária para gerar as chuvas é transportada de fora da região, no caso do oceano Atlântico, pelos ventos alísios (que sopram predominantemente de leste). O conceito de reciclagem de água refere-se à contribuição local da evapotranspiração para a precipitação total sobre uma região, e pode ser definida como a quantidade de água evaporada da superfície terrestre, em uma certa região, que retornará na forma de precipitação sobre essa mesma região. Vários estudos têm sido realizados com objetivo de estimar a reciclagem de água na Amazônia utilizando tanto dados observados e de reanálises (20, 21, 22), como também dados obtidos através de modelos numéricos (23). Os estudos pioneiros realizados na Amazônia encontraram que aproximadamente metade da precipitação na bacia amazônica é proveniente da evapotranspiração local (24, 25, 26), entretanto essas avaliações consideravam que toda evapotranspiração era transformada em precipitação na própria re-

gião. Estudos que consideram os transportes horizontais de umidade associados à evapotranspiração regional, como por exemplo, os de (20) e (18), têm estimado uma reciclagem média anual em torno de 20% a 35%, bem menores que as estimativas propostas por trabalhos anteriores (24 e 26). A quantificação da reciclagem de água é um forte indicador da importância dos processos de superfície no ciclo hidrológico, e também um indicador da sensibilidade climática relacionada às alterações nesses processos. Mesmo que a contribuição da reciclagem regional de água não seja tão significativa quanto se avaliou inicialmente, ela ainda representa uma considerável porção do balanço de água regional; assim sendo, mudanças na cobertura vegetal decorrentes de desflorestamentos, que levem à diminuição da evapotranspiração, modificarão o balanço de água, com conseqüências na Amazônia e nas regiões vizinhas.

IMPACTOS CLIMÁTICOS DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA Os efeitos do desmatamento da Amazônia sobre o clima regional têm sido avaliados através de estudos observacionais e de modelagem. Os primeiros estudos observacionais buscaram quantificar os impactos da substituição de florestas por pastagens no microclima (modificações na temperatura e umidade do ar e na evapotranspiração, por exemplo) e compreender os processos de interação biosfera-atmosfera nos trópicos. Os experimentos observacionais mostram redução da absorção de radiação solar à superfície (pastagem reflete mais radiação que a floresta) e redução da evapotranspiração e da umidade do ar na pastagem em comparação com a floresta, mas não são conclusivos com respeito a modificações na precipitação. Uma diminuição média de 20% na evapotranspiração da pastagem na estação chuvosa e de até 40% na estação seca, em um período de 4 anos de medidas, foi observada em dois sítios experimentais do LBA na região sudoeste da Amazônia (13). A maior redução da evapotranspiração da pastagem na estação seca é conseqüência da menor profundidade da zona de raízes das gramíneas em comparação com a floresta. Assim, o estoque de água disponível para transpiração das plantas é muito inferior na pastagem do que na floresta. Ainda, por conta da menor densidade de folhas da pastagem, diminui a perda de água por interceptação (água da chuva que fica na folhagem da vegetação e é evaporada logo após o evento). Apesar do maior percentual de refletividade da radiação solar pela pastagem, a temperatura do ar sobre ela tende a aumentar em resposta à diminuição da evapotranspiração. A parcela de energia que deixa de ser utilizada para a mudança de fase de água líquida para vapor é utilizada para aquecer a vegetação e o solo da superfície e o ar que está logo acima (pastagem mais quente e seca). Nas últimas décadas, modelos climáticos têm sido utilizados para avaliar os possíveis impactos do desmatamento total da floresta amazônica no clima. A maioria desses estudos apresenta como resultado reduções anuais na precipitação de 5 a 20% e na evapotranspiração de 20 a 30% e aumento na temperatura do ar próximo à superfície de 1 a 4 oC (3, 27, 28, 29, 30). Mudanças na convergência de umidade ainda são uma questão contraditória nos diferentes experimentos de desmatamento com modelos. Enquanto a maioria apresenta redução na convergência de umidade, outros estudos mostram um aumento (4). Utilizando modelos de maior resolução e cenários de desmatamento apropriados (3) avaliaram os impactos climáticos decorrentes, comparando três diferentes cenários de desflorestamento (alterações atuais, previstas para o ano de 2033 e desflorestamento de toda a bacia) com um em que a Amazônia está intacta (Figura 1). Em todos os cenários observou-se um mecanismo de retroalimenta-

ção (*feedback*) negativo, uma vez que o aumento na convergência de umidade agiu no sentido de minimizar os efeitos da redução na evapotranspiração. No cenário de desmatamento atual (referente ao ano de 2003), o aumento da convergência de umidade anulou o efeito de redução na evapotranspiração, conduzindo a um aumento na precipitação na região desmatada. O aumento da cobertura de nuvens e precipitação sobre áreas desflorestadas em meio a grandes áreas de floresta na Amazônia tem sido observado por análises de dados de satélites (31, 32) e estudos com modelos numéricos regionais (33), sugerindo um mecanismo típico de circulação local. Em áreas desflorestadas, o ar próximo à superfície torna-se mais aquecido que a floresta circundante, levando o ar mais frio e úmido da floresta para a área desmatada. O ar úmido sobe sobre a área desflorestada formando nuvens e, havendo umidade suficiente, pode haver um aumento da precipitação. Nos demais cenários, embora haja um aumento na convergência de umidade, a redução na evapotranspiração é mais significativa, conduzindo a um déficit de precipitação na região, principalmente na estação seca. A ausência de um período seco mais longo aparentemente sustenta a atual floresta tropical e o aumento na duração da estação seca pode ter conseqüências ecológicas importantes; entre outros efeitos, o de aumentar a suscetibilidade à ocorrência de fogo em áreas de bordas das florestas (3). Na escala da bacia, houve redução na precipitação total quando toda a floresta amazônica foi substituída por pastagem, mas a distribuição espacial não foi homogênea, apresentando diminuição na parte leste da bacia e aumento na porção oeste (Figura 2). Essas mudanças na precipitação estão relacionadas às alterações na evapotranspiração, convergência horizontal de umidade e nos movimentos ascendentes da atmosfera, necessários à formação de nuvens e ocorrência de precipitação. No caso de desmatamento existem dois mecanismos que competem entre si: 1. uma circulação convergente direta na camada limite planetária governada por um aumento na temperatura da superfície; e, 2. uma circulação divergente na camada limite devido à redução na precipitação e no calor latente (resfriamento da camada). Para todos os cenários observou-se um balanço de umidade positivo (mais umidade sendo transportada para a bacia), com mudanças mais significativas no cenário de desflorestamento de grande escala, sendo os transportes de umidade de leste e norte os principais responsáveis por esse aumento (Figura 3). As mudanças no transporte de umidade para as regiões central e sul da América do Sul apresentaram diferentes resultados para cada cenário de desmatamento. Nos cenários de alterações atuais e previstas para o ano de 2033, observou-se uma redução no transporte de umidade na fronteira sul da bacia, enquanto no cenário de desflorestamento de grande escala foi verificado um aumento. Diante de todos esses resultados, verificou-se que mudanças nos ecossistemas amazônicos devem provocar impactos no balanço de umidade da atmosfera e, conseqüentemente, no ciclo hidrológico, não somente sobre a Amazônia, mas em outras partes da América do Sul. Além disso, inicialmente o efeito do desmatamento pode ser de intensificação dos gradientes horizontais de temperatura e umidade, induzindo a um aumento da precipitação associado a circulações locais. Esse aumento pode existir enquanto o suprimento de umidade for suficiente para manter a precipitação a o desmatamento não atingindo grandes áreas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS No balanço anual, a região amazônica é um grande importador de vapor de água, especialmente do oceano Atlântico. O transporte de vapor do oceano contribui com aproximadamente três quar-

tos da umidade que circula anualmente na região. O outro quarto é produzido pelo processo de evapotranspiração. As chuvas anuais são de aproximadamente duas vezes a evapotranspiração total, ou seja, metade de toda a umidade que circula na bacia. Isso significa que a Amazônia exporta, e re-exporta, uma quantidade anual de umidade que é de aproximadamente duas vezes o total da precipitação regional ou, ainda, quatro vezes a sua evapotranspiração. Aproximadamente metade é transportada em direção ao sul da América do Sul e a outra metade em direção ao oceano Pacífico e Caribe. Entre 20 e 35% das chuvas regionais são alimentadas pela evapotranspiração gerada na própria bacia. Embora nem toda a evapotranspiração se transforme em chuva na bacia, sua contribuição para as chuvas anuais é muito significativa e alterações nos usos da terra têm impactos importantes. A substituição de florestas por pastagens na Amazônia reduz a taxa anual de evapotranspiração e modifica a circulação atmosférica, com efeitos locais e remoto. Um desflorestamento de pequenas proporções pode levar até a um aumento da precipitação sobre a área desmatada, isso por conta de circulações locais induzidas por diferenças de temperatura entre a floresta e a área desmatada. Porém, um desflorestamento em grande escala traz grandes modificações à circulação atmosférica da região e grandes impactos hidrológicos, com reduções e aumentos de precipitação, em grandes áreas da bacia e até em regiões vizinhas e remotas. A simulação de desflorestamento total da Amazônia acima descrita e realizada com o modelo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (Inpa), indicou uma diminuição de evapotranspiração, que foi compensada por um aumento do transporte de umidade proveniente do oceano e resultou em um pequeno aumento no transporte de umidade para a região central da América do Sul. Entretanto, esses resultados parecem ser dependentes dos próprios modelos climáticos. As incertezas atuais na quantificação dos componentes do balanço hidrológico da Amazônia, especialmente por conta de uma rede de observações deficitária, deverão perdurar, pois as mudanças climáticas globais, além de provocar aumento de temperatura, certamente afetarão a circulação atmosférica e o regime de chuvas da bacia amazônica.

Francis Wagner Silva Correia é físico, coordenador e professor do curso de meteorologia tropical da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e pesquisador no Núcleo de Modelagem Climática e Ambiental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa).

Antonio Ocima Manzi é físico, gerente executivo do projeto LBA e coordenador do Núcleo de Modelagem Climática e Ambiental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa).

Luiz Antonio Cândido é meteorologista, pesquisador da coordenação de pesquisa em clima e recursos hídricos do Inpa.

Rosa Maria Nascimento dos Santos é meteorologista, pesquisadora no Núcleo de Modelagem Climática e Ambiental do Inpa.

Theotônio Pauliquevis é físico pela Universidade de São Paulo, bolsista do CNPq, desenvolvendo projetos de pesquisa sobre interação entre aerossóis e nuvens na Amazônia junto ao Núcleo de Modelagem Climática e Ambiental do Inpa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Voldoire, A. "Tropical deforestation and climate variability". *Climate Dynamics*, 22, 857-874, 2004.
2. Costa, H. M. "Effects of Amazon deforestation on the regional climate historical perspective, current and future research". *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2006.
3. Correia, F. W. "Impacto das modificações da cobertura vegetal no balanço de

- água na Amazônia: um estudo com modelo de circulação geral da atmosfera" (MCGA). *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2006.
4. D'Almeida, C. "The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution". *International Journal of Climatology*, 2007.
 5. Figueroa, S. "Precipitation distribution over central and western tropical South America", *Climanálise*, 1990.
 6. Satyamurty, P. "Tropics - South America". In: D. J. Karoly; D. G. Vincent. (- Org.). *Meteorology of the Southern Hemisphere*. Boston: Meteorology Monograph, 1998.
 7. Coehn, J.C.P. "Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study". *Monthly Weather Review*, 1995.
 8. Garstang, M. "Amazon coastal squall lines. Part I: Structure and kinematics". *Monthly Weather Review*, 1994.
 9. Silva-Dias, M.A.F. "A case study of convective organization into precipitating lines in the southwest Amazon during the WETAMC and TRMM-LBA". *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2002.
 10. Marengo, J. A. "On the hydrological cycle of the amazon basin: a historical review and current state-of-the-art." *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2006.
 11. Marengo, J. A. "The characteristics and variability of the atmospheric water balance in the amazon basin: spatial and temporal variability". *Climate Dynamics*, 2005.
 12. Rocha, H. R. "A vegetation-atmosphere interaction study for Amazonian deforestation using field data and single column model". *Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society*, 1996.
 13. von Randow, C. "Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in southwest Amazonia". *Theoretical Applied Climatology*, 2004.
 14. Rocha, H. R. "Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia". *Ecological Applications*, 2004.
 15. Shuttleworth, W. J. "Evaporation from Amazonian rain forest". *Proc. Roy. Soc. B.*, 1988.
 16. Tomasella J.; "Water balance of an Amazonian micro-catchment". *Hydrological Processes*. No prelo
 17. Rao, V. B. "Annual variations of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America". *Journal of Geophysical Research*, United States, 1996.
 18. Costa, M. H. "Trends in the hydrologic cycle of the Amazon Basin". *Journal of Geophysical Research*, Estados Unidos, 1999.
 19. Roads, J. "CSE water and energy budgets in the NCEP-DOE Reanalyses". *Journal of Hydrometeorological*. 2002.
 20. Brubaker, L. "Estimation of continental precipitation recycling". *Journal of Climate*, 1993.
 21. Eltahir, E. A. "The role of vegetation in sustaining large-scale atmospheric circulations in the tropics", *Journal of Geophysical Research*, 1996.
 22. Trenberth, K. "Atmospheric moisture recycling: role of advection and local evaporation". *Journal of Climate*, 1999.
 23. Bosilovich, M. "Water vapor tracers as diagnostics of the regional hydrologic cycle". *Journal of Hydrometeorological*, 2002.
 24. Molion, L. C. "A climatonic study of the energy and moisture fluxes of the Amazon basin with considerations of deforestation effects". Ph. D. thesis. University of Wisconsin, Madison, 1975.
 25. Lettau, H. "Amazonia's hydrological cycle and role of atmospheric recycling in assessing deforestation effects". *Monthly Weather Review*, 1979.
 26. Salati, E. "Estimativa de evapotranspiração na bacia amazônica". *Acta Amazônica*, 1976.
 27. Nobre, C. A. "Amazonian deforestation and regional climate change". *Journal of Climate*, 1991.
 28. Manzi, A. "A simulation of Amazonian deforestation using a GCM calibrated with Abracos and Arme data". In: Gash, J. H. C.; Nobre, C. A.; Roberts, J. M.; Victoria, R. L. eds. *Amazonian deforestation and climate*. Chichester: John Wiley, 1996.
 29. Hahmann, A. N. "RCCM2-BATS model over tropical South America: applications to tropical deforestation". *Journal of Climate*, 1997.
 30. Negri, A. "The impact of Amazonian deforestation on dry season rainfall". *Journal of Climate*, 2004.
 31. Durieux, L. "The impact of deforestation on cloud cover over the Amazon arc of deforestation". *Remote Sensing of Environment*, 2003.
 32. Chagnon, F.J.F. "Contemporary climate change in the Amazon". *Geophysical Research Letters*, 2005.
 33. Avissar, R. "The large-scale biosphere-atmosphere experiment in Amazonia (LBA): Insights and future research needs". *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2002.