



RECICLAGEM DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA AMAZÔNIA: PERSPECTIVA HISTÓRICA, PESQUISA ATUAL E FUTURA

VINÍCIUS MACHADO ROCHA¹

FRANCIS WAGNER SILVA CORREIA²

Resumo: Reciclagem de precipitação refere-se ao mecanismo de retroalimentação entre o sistema superfície-atmosfera onde a evapotranspiração local contribui na precipitação total sobre uma região. Este artigo traz uma perspectiva histórica da evolução do conhecimento sobre a reciclagem de precipitação e fornece uma visão crítica do estado da arte atual. Uma revisão dos estudos observacionais e de modelagem numérica com o objetivo de quantificar e avaliar a reciclagem na Amazônia e em outras regiões do planeta é apresentada. Baseado nos estudos discutidos, estima-se que a reciclagem de precipitação na Amazônia é de 20-35%. Embora os estudos sobre reciclagem tenham produzido novos conhecimentos acerca da interação entre os processos de superfície e o ciclo hidrológico, os efeitos das mudanças climáticas globais nesse mecanismo ainda não estão completamente compreendidos.

Palavras-chave: Amazônia; reciclagem de precipitação; transporte de umidade; balanço de água; interação biosfera-atmosfera.

Abstract: Precipitation recycling refers to the feedback mechanism between the surface-atmosphere system, in which the local evapotranspiration contributes to the total precipitation over a region. This paper constitutes a historical perspective in the evolution of the knowledge on precipitation recycling and provides a critical view on the current state-of-the-art. A review on observational and numerical modeling studies with the purpose of quantifying and evaluating the recycling in the Amazon basin and in other regions around the planet is shown. Based on the discussed studies, it is likely that the precipitation recycling in Amazon is 20-35%. Although the recycling studies have produced new information concerning the interaction between the surface process and hydrological cycle, the effects of global climate change in this mechanism are not yet fully understood.

Key words: Amazon Basin; precipitation recycling; moisture flux; water budget; biosphere-atmosphere interaction.

1 - Introdução

A Amazônia é a única grande extensão contínua de floresta tropical úmida do mundo. Com uma área de aproximadamente 6,5 milhões de km², que corresponde a 56% das florestas tropicais da Terra, a Amazônia desempenha um importante papel nas trocas

¹ Acadêmico do programa de pós-graduação em Clima e Ambiente do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). E-mail de contato: vinicius@inpa.gov.br

² Docente do curso de graduação em Meteorologia da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e do programa de pós-graduação em Clima e Ambiente do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). E-mail de contato: francis.wagner70@gmail.com



de energia, umidade e massa entre a superfície continental e a atmosfera, fornecendo serviços ambientais fundamentais para a manutenção do clima regional e global, tais como: o armazenamento e absorção do excesso de carbono da atmosfera, o transporte de gases traço, aerossóis e vapor d'água para regiões remotas e, principalmente, a reciclagem de precipitação. A floresta amazônica também atua como uma das fontes indispensáveis de calor para a atmosfera global por meio de sua intensa evapotranspiração e liberação de calor latente de condensação na média e alta troposfera em nuvens convectivas tropicais, contribuindo na geração e manutenção da circulação atmosférica em escalas regional e global (MARENGO, 2006; MALHI *et al.*, 2008; NOBRE *et al.*, 2009a,b; SATYAMURTY *et al.*, 2013).

No que se refere ao balanço de umidade, atualmente a bacia amazônica comporta-se como um sumidouro de umidade da atmosfera, recebendo vapor d'água tanto do transporte de origem oceânica quanto da evapotranspiração realizada pela própria floresta tropical. Com relação à circulação regional, a Amazônia representa uma importante fonte de umidade para o Centro, Sudeste e Sul do Brasil, assim como para o norte da Argentina, incluindo a bacia do Prata, contribuindo para a ocorrência de precipitação nessas regiões (MARENGO, 2006; VERA *et al.*, 2006; SATYAMURTY *et al.*, 2013). Diante desse contexto, Arraut e Satyamurty (2009) mostraram que a atividade convectiva sobre o sul do Brasil e norte da Argentina é influenciada pelo transporte de umidade através da fronteira sul da bacia amazônica, realizado pelo Jato de Baixos Níveis (JBN) a leste dos Andes. Avaliando o transporte de vapor d'água e a reciclagem de precipitação na Amazônia por meio de dados de reanálises do National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research – NCEP/NCAR, Satyamurty *et al.* (2013) mostraram que: as fontes de umidade para a bacia amazônica estão localizadas no Oceano Atlântico tropical norte e sul; o transporte de umidade que alimenta a bacia acontece de leste para oeste durante todas as estações do ano; e que a reciclagem de precipitação, por meio da evapotranspiração, é estimada em cerca de 33% no período chuvoso e apresenta valores menores na estação seca.

O conceito de reciclagem de precipitação refere-se ao mecanismo de retroalimentação “*feedback*” entre o sistema superfície-atmosfera onde a evapotranspiração local contribui, significativamente, na precipitação total sobre uma região (Figura 01). Em outras palavras, a reciclagem de precipitação pode ser definida como a quantidade de água que evapotranspirada da superfície terrestre em uma determinada região retorna na forma de precipitação sobre a mesma região (BRUBAKER *et al.*, 1993; ELTAHIR e BRAS, 1994; TRENBERTH, 1999).



movimentos de massas de ar e (ii) o vapor d'água local por meio da evapotranspiração da superfície da região. A reciclagem de precipitação é definida como a água que evapora da superfície continental dentro de um volume de controle e precipita no mesmo volume (BRUBAKER *et al.*, 1993), ou como o índice da razão da precipitação reciclada em relação à precipitação total.

A reciclagem de precipitação tem por característica uma relação não linear entre a evapotranspiração, o transporte de umidade e a precipitação em uma região. A evapotranspiração, por sua vez, depende da disponibilidade de umidade na área ou abaixo da superfície (zona insaturada), que é evaporada diretamente ou através da transpiração da vegetação. O transporte de umidade para a região depende da dinâmica atmosférica e das fontes de origem da umidade. Conseqüentemente, qualquer alteração no uso e cobertura da terra e no clima que modifiquem esses processos pode afetar a quantidade de precipitação sobre a região e também a reciclagem.

Por meio de estudos observacionais e de experimentos numéricos sabe-se que a evapotranspiração da superfície tem dois efeitos:

1. A evapotranspiração aumenta a umidade atmosférica, o que favorece mais precipitação. Dados observacionais sobre a Amazônia e outras regiões (ELTAHIR e BRAS, 1994; TRENBERTH, 1999) mostram uma contribuição significativa da evapotranspiração local para a umidade atmosférica. A importância relativa depende da quantidade de umidade advectada para a região, isto é, a evapotranspiração terá efeito pronunciado quando a umidade advectada for pequena. Bosilovich e Schubert (2001) calcularam uma taxa de reciclagem de precipitação 20% menor sobre a região central dos Estados Unidos durante a inundação de 1993, quando uma grande quantidade de umidade foi advectada para a região. Esta taxa é maior que 60% durante o mesmo mês no ano seco de 1988, associada com menores quantidades de umidade advectada;
2. A evapotranspiração altera a termodinâmica da coluna vertical de água, favorecendo precipitações futuras. Maior evapotranspiração (associada com solos úmidos) reduz tanto o albedo da superfície quanto a razão de Bowen. Isto resulta em maior saldo de radiação à superfície e aumento na transferência de calor para a atmosfera, o que implica em aumento na energia estática úmida da camada limite. A energia estática úmida desempenha um importante papel na dinâmica das tempestades convectivas locais, o que fortalece a circulação de monção em grande escala (SCHAR *et al.*, 1999; ELTAHIR, 1998).



3 - Resultados

Vários estudos observacionais e de modelagem numérica têm sido realizados com o objetivo de avaliar a reciclagem de precipitação em diferentes regiões do planeta (Tabela 1), como os de Budyko (1974), Molion (1975), Marques *et al.* (1977), Brubaker *et al.* (1993), Eltahir e Bras (1994 e 1996), Savenije (1995), Trenberth (1999), Costa e Foley (1999), Bosilovich e Schubert (2001), Nóbrega *et al.* (2005), Silva (2009), Van der Ent *et al.* (2010) e Satyamurty *et al.* (2013).

Diversos trabalhos realizados anteriormente estimaram diferentes taxas de reciclagem de precipitação sobre uma mesma região. Isto ocorre, dentre outros fatores, devido ao método utilizado para quantificar a reciclagem de precipitação e a fonte de dados utilizados, e também a estação do ano considerada no estudo. Bosilovich e Schubert (2001), utilizando as reanálises do National Aeronautics and Space Administration Goddard Earth Observing System (GEOS-1) e dois métodos distintos baseados no balanço de umidade, calcularam em dois diferentes episódios de verão a taxa de reciclagem de precipitação sobre a região central dos Estados Unidos. Os autores encontraram uma taxa de reciclagem de 25% e 36% a partir dos métodos descritos por Brubaker *et al.* (1993) e Eltahir e Bras (1996), respectivamente.

Budyko (1974) desenvolveu um modelo unidimensional para estimar a contribuição da evapotranspiração local e umidade advectada na precipitação sobre grandes regiões. O autor definiu β como a razão entre a precipitação total e a precipitação que é originada devido à umidade advectada. Calculando β para a Eurásia, o autor estimou que a contribuição local para a precipitação média anual sobre a região foi de apenas 11%.

Os estudos sobre o balanço de umidade na região amazônica foram inicialmente realizados com observações de precipitação, vazões dos rios e dados de algumas poucas estações de radiossondagem. Esses estudos mostraram que, em média, 50% da precipitação é reciclada e volta à atmosfera por meio da evapotranspiração (MOLION, 1975; MARQUES *et al.*, 1977). Outrossim, as pesquisas pioneiras consideraram que toda a evapotranspiração na bacia era transformada em precipitação na própria região.



Bacia	Amazônia	Mississipi	África Ocidental	Eurásia	Método e dados
Budyko (1974)				11%	Modelo unidimensional de Budyko e dados observados de várias fontes.
Molion (1975) e Marques <i>et al.</i> (1977)	56% 50%				Observações de precipitação, vazões dos rios e dados de radiossondagem.
Brubaker <i>et al.</i> (1993)	24%	24%	31%	11%	Modelo de Budyko reformulado em duas dimensões e dados observados.
Eltahir e Bras (1994)	25% 35%				Modelo numérico bi-dimensional e duas fontes de dados: ECMWF ³ (25%) e GFDL ⁴ (35%).
Savenije (1995)			63%		Modelo numérico unidimensional e dados observados de chuva e escoamento superficial, apenas na estação chuvosa.
Trenberth (1999)	34%	21%			Modelo de Brubaker <i>et al.</i> (1993) com base na escala de comprimento <i>L</i> . Na Amazônia <i>L</i> é 2750 km e no Mississipi <i>L</i> é 1800 km. Dados do CMAP ⁵ , NVAP ⁶ e NCEP ⁷ .
Costa e Foley (1999)	20%				Modelo derivado de Eltahir e Bras (1994), cálculo do fluxo de entrada do vapor d'água em cada célula de grade e utilizando as reanálises do NCEP/NCAR (1976-1996).
Nóbrega <i>et al.</i> (2005)	24%				Modelo de Trenberth (1999) e as reanálises NCEP/NCAR (1978-1998)
Silva (2009)	27%				Modelo de Brubaker <i>et al.</i> (1993) e as reanálises do NCEP/NCAR (1979-2007).
Van der Ent <i>et al.</i> (2010)	28%	27%	45%	28%	Reanálises do ECMWF (ERA-Interim, 1999-2008).
Satyamurty <i>et al.</i> (2013)	30%				Reanálises do NCEP/NCAR (1978-2010).

Tabela 01 – Média anual da reciclagem de precipitação sobre diferentes regiões. Organizado por Vinícius Machado Rocha.

³ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.

⁴ Geophysical Fluid Dynamics Laboratory.

⁵ Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation.

⁶ NASA Water Vapor Project.

⁷ National Centers for Environmental Prediction.



No entanto, com base no estudo do balanço dos isótopos de O^{18} do vapor d'água que entra na região e nas águas do Rio Amazonas, Salati *et al.* (1979) estimaram que grande parte do vapor que entra na região pelos ventos alísios é transportado para fora da bacia e contribui para a geração de precipitação em outras regiões. De acordo com os autores, esse fluxo de umidade é da ordem de $3 \text{ a } 5 \times 10^{12} \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ e parte desse vapor d'água dirige-se para a região Centro-Sul do continente sul-americano.

Brubaker *et al.* (1993) adaptaram o modelo desenvolvido por Budiko (1974) em duas dimensões, com fluxos de umidade entrando e saindo em um volume de controle. Utilizando dez anos de dados de vento e umidade observados, os autores determinaram a convergência de vapor d'água atmosférico e a fração da precipitação que tem origem local, sobre quatro regiões continentais: Eurásia, África, América do Norte e Amazônia. De acordo com os resultados obtidos, os autores verificaram que a contribuição da evapotranspiração para a precipitação local varia sazonal e localmente. A reciclagem média anual determinada para as quatro regiões foram: Eurásia – 11%; América do Norte – 24% e África Ocidental– 31%. Na Amazônia, os valores máximo (32%) e mínimo (14%) foram estimados nos meses de dezembro e junho, respectivamente.

Eltahir e Bras (1994) desenvolveram um modelo numérico bi-dimensional e utilizaram dados de reanálises (ECMWF e GFDL) para quantificar a reciclagem de precipitação na bacia amazônica. Os resultados encontrados revelaram uma reciclagem média anual da ordem de 25% e 35% de acordo com os dados do ECMWF e do GFDL, respectivamente. A distribuição espacial da reciclagem de precipitação apresentou diferenças significativas. A razão máxima de reciclagem foi identificada no setor sudoeste da bacia, com índices superiores a 50%.

Savenije (1995) utilizou um modelo unidimensional para calcular a reciclagem de precipitação em Sahel (África Ocidental) com base em dados observacionais de chuva e escoamento superficial no período de 1950-1990. Segundo o autor, a evapotranspiração é o mais importante mecanismo de retroalimentação “*feedback*” que sustenta as chuvas em bacias continentais, especialmente em regiões semiáridas. A reciclagem no Sahel é responsável por mais de 90% da precipitação na estação chuvosa; contudo, o valor encontrado é considerado superestimado, uma vez que a umidade no modelo proposto por Savenije (1995) não deixa a região através da atmosfera, mas apenas pelo escoamento superficial “*runoff*”.

Trenberth (1999) utilizou o modelo proposto por Brubaker *et al.* (1993) e os dados do CMAP, NVAP e reanálises do NCEP/NCAR, no período de 1979-1995, para avaliar a distribuição espacial e sazonais na reciclagem de precipitação em escala global. Os



resultados encontrados mostram que o valor da reciclagem de precipitação depende da escala de comprimento L considerada. Na Amazônia uma forte advecção de umidade domina o fornecimento de vapor d'água em grande parte da região, porém, a evapotranspiração local é mais proeminente sobre o setor sul da bacia. Considerando o ciclo anual, cerca de 34% da precipitação é reciclada localmente. Entretanto, para a bacia do Mississipi, a reciclagem de precipitação estimada é da ordem de 21%.

Também utilizando as reanálises do NCEP/NCAR, a reciclagem de precipitação na Amazônia foi estimada e avaliada por Costa e Foley (1999) – 20%; Nóbrega *et al.* (2005) – 24%; Silva (2009) – 27% e Satyamurty *et al.* (2013) – 30%. Um resumo desses estudos sugere que: (a) os fluxos de vapor d'água do Atlântico Equatorial associados aos ventos alísios são as principais fontes de umidade para a bacia amazônica; (b) admitindo-se que o Atlântico Norte seja a única fonte de umidade, é impossível explicar o padrão das chuvas na Amazônia, o que ressalta o papel da floresta na reciclagem de precipitação; e (c) a Amazônia é a principal fonte de umidade para o Brasil Central no período de setembro a fevereiro (MARENGO e NOBRE, 2009).

Costa e Foley (1999) analisaram a variabilidade dos componentes do balanço de umidade na bacia para o período de 1976-1996. Os autores observaram que existe uma tendência de diminuição no transporte de vapor d'água, tanto o que entra quanto o que sai, sobre a Amazônia. Essa tendência está associada com o “enfraquecimento” dos ventos alísios de sudeste, assim como do gradiente de pressão leste-oeste, e com o aquecimento da temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico equatorial sul. Enquanto o transporte atmosférico de vapor d'água através da Amazônia reduziu, a reciclagem de precipitação no interior da bacia aumentou.

Nóbrega *et al.* (2005) analisaram os campos do fluxo de vapor d'água, evapotranspiração e precipitação, no período 1978-1998, para investigar a variabilidade sazonal e interanual da reciclagem de precipitação sobre a América do Sul. Os resultados encontrados indicaram valores de reciclagem relativamente pequenos sobre a Amazônia e o Nordeste do Brasil e maiores na parte central da América do Sul, com núcleos de até 50% durante o verão. De acordo com os autores, os aspectos climatológicos da reciclagem de precipitação sobre a América do Sul mostram que a contribuição advectiva é mais importante para a precipitação sobre a Amazônia e o Nordeste do Brasil, ao passo que na região Centro-Sul a contribuição local tem importante papel na precipitação. A reciclagem média anual verificada sobre a bacia amazônica foi da ordem de 24%, com valor mínimo (21%) no bimestre junho-julho e máximo (27%) no mês de novembro.



Silva (2009) avaliou a reciclagem e a precipitação de origem externa em seis regiões distintas da América do Sul para o período de 1979-2007 conforme o modelo desenvolvido por Brubaker *et al.* (1993). Os campos sazonais da precipitação de origem externa sobre a porção norte da América do Sul indicam contribuição dominante da umidade vinda de leste, principalmente durante o inverno. Por outro lado, a maior parte da precipitação que ocorre sobre o Centro-Oeste e Sudeste do Brasil deve-se à umidade proveniente do leste e do norte. Sobre o sul da América do Sul, a maior contribuição para a precipitação é proveniente da umidade vinda do oeste. Na Amazônia setentrional (central), verificou-se que 77% (73%) da precipitação é de proveniente de umidade externa e 23% (27%) de origem local; na região Centro-Oeste, 36% da precipitação é de origem externa e 64% é gerada localmente; no Sudeste do Brasil, 30% da precipitação é de origem externa e cerca de 70% é local; na bacia do Prata, aproximadamente 55% da precipitação é de origem externa e 45% é gerada localmente.

Van der Ent *et al.* (2010) demonstraram o quão importante é o papel da circulação geral da atmosfera, topografia e uso da terra nos padrões de reciclagem de precipitação sobre os continentes e na distribuição mundial dos recursos hídricos. Os autores utilizaram os dados de reanálises do ECMWF (ERA-Interim, no período de 1998-2008) para quantificar os índices globais de reciclagem. De acordo com o estudo, em média, 40% da precipitação sobre os continentes tem origem na evapotranspiração da superfície terrestre; além disso, 57% de toda a evapotranspiração da superfície retornam como precipitação sobre os continentes. Na América do Sul, 70% dos recursos hídricos na bacia do Prata dependem da evapotranspiração da floresta amazônica. Os valores da reciclagem de precipitação estimada para o continente sul americano e, especificamente, na Amazônia foram de 36% e 28%, respectivamente.

Viana *et al.* (2010) utilizaram o modelo regional BRAMS (Brazilian Regional Atmospheric Modeling System) para avaliar os efeitos sobre a reciclagem de precipitação decorrentes do desflorestamento de grande escala na bacia amazônica. As condições iniciais e de contorno foram fornecidas pelo Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA – CPTEC/INPE). Para estimar a reciclagem de precipitação os autores se basearam no método desenvolvido por Brubaker *et al.* (1993). Os resultados revelaram uma heterogeneidade na reciclagem de precipitação, com valores mais intensos no centro-sul da bacia, principalmente no período chuvoso. Na estação seca (chuvosa), a reciclagem de precipitação foi da ordem de 14,3% (25%); sendo que, a redução na evapotranspiração e o aumento no transporte de umidade contribuíram, significativamente, para a diminuição da reciclagem no período de estiagem.



4 - Conclusões

Com base nos estudos discutidos, estima-se que a reciclagem de precipitação na bacia amazônica é da ordem de 20-35%. Tanto o desflorestamento quanto as mudanças no clima global, devido ao aumento das emissões antropogênicas dos gases de efeito estufa, podem prejudicar o funcionamento dos ecossistemas amazônicos, reduzindo sua capacidade de capturar o carbono da atmosfera, aumentando a temperatura à superfície, reduzindo a umidade do solo, enfraquecendo o ciclo hidrológico regional e, conseqüentemente, afetando a reciclagem de precipitação (MARENGO *et al.*, 2011).

A maioria das projeções dos modelos climáticos globais e regionais utilizando diferentes cenários de emissões e de mudanças no uso da terra mostram que o aumento na temperatura da superfície e as reduções percentuais da precipitação na Amazônia, principalmente em cenários de desflorestamento em larga escala, são mais acentuados após 2040 (PBMC RAN₁, 2013). As diminuições na precipitação também podem ser resultado das águas aquecidas nos oceanos Atlântico e Pacífico, que provocam alterações nos padrões de vento e no transporte de umidade sobre a América do Sul.

Do ponto de vista econômico, as mudanças previstas no clima ao longo do século XXI (PBMC RAN₁, 2013; IPCC AR5, 2013) poderão produzir impactos importantes no Brasil: mais de 70% da energia brasileira vem de usinas hidrelétricas; portanto, uma redução na precipitação pode limitar o fornecimento de eletricidade, afetando as atividades industriais nas regiões mais importantes do país (MARENGO *et al.*, 2011). Embora os estudos sobre reciclagem de precipitação tenham produzido novos conhecimentos acerca da interação entre os processos de superfície e o ciclo hidrológico, os efeitos das mudanças climáticas globais nesse mecanismo ainda não estão completamente compreendidos.

5 - Referências bibliográficas

ARRAUT, J.R.; SATYAMURTY, P. Precipitation and water vapor transport in the Southern Hemisphere with emphasis on the South American region. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.48, n.9, 2009, p.1902-1912.

BOSILOVICH, M.G.; SCHUBERT, S.D. Precipitation Recycling over the Central United States Diagnosed from the GEOS-1 Data Assimilation System. **Journal of Hydrometeorology**, v.2, n.1, 2001, p.26-35.

BRUBAKER, K.L.; ENTEKHABI, D.; EAGLESON, P.S. Estimation of Continental Precipitation Recycling. **Journal of Climate**, v.6, n.6, 1993, p.1077-1089.

BUDYKO, M.I. **Climate and Life**. New York, USA: Academic Press, 1974.



COSTA, M.H.; FOLEY, J.A. Trends in the hydrologic cycle of the Amazon basin. **Journal of Geophysical Research**, v.104, n.D12, 1999, p.14189-14198.

ELTAHIR, E.A.B.; BRAS, R.L. Precipitation recycling in the Amazon basin. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.120, n.518, 1994, p.861-880.

ELTAHIR, E.A.B.; BRAS, R.L. Precipitation Recycling. **Reviews of Geophysics**, v.34, n.3, 1996, p.367-379.

ELTAHIR, E.A.B. A Soil Moisture-Rainfall Feedback Mechanism: 1. Theory and Observations. **Water Resources Research**, v.34, n.4, 1998, p.765-776.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Summary for Policymakers. In: STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (Eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, U.K. and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013.

MALHI, Y.; ROBERTS, J.T.; BETTS, R.A.; KILLEEN, T.J.; LI, W.; NOBRE, C.A. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. **Science**, v.319, n.5860, 2008, p.169-172.

MARENGO, J.A. On the Hydrological Cycle of the Amazon Basin: a historical review and current state-of-the-art. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3a, 2006, p.1-19.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Clima da Região Amazônica. In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; DA SILVA, M.G.A.J.; SILVA DIAS, M.A.F. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. 1ªed. São Paulo (SP): Ed Oficina de Textos, 2009, p.197-212.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; CHOU, S.C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES L.M.; OBREGÓN, G.O.; SOARES, W.R.; BETTS, R.; KAY, G. **Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. Projeto colaborativo realizado pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Brasil e o Met Office Hadley Centre (MOHC), do Reino Unido. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, BRA e Met Office Hadley Centre, U.K., 2011, 55p.

MARQUES, J.; SANTOS, J.M.; VILLA NOVA, N.A.; SALATI, E. Precipitable water and water vapor flux between Belem and Manaus. **Acta Amazonica**, v.7, n.3, 1977, p.355-362.

MOLION, L.C.B. **A climatonic study of the energy and moisture fluxes of the Amazonas basin with considerations of deforestation effects**. 1975. Ph.D. Thesis – University of Wisconsin, Madison, USA, 1975.

NOBRE, C.A.; MARENGO, J.A.; ARTAXO, P. Understanding the Climate of Amazonia: Progress From LBA. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; SILVA DIAS, P. (Orgs.). **Amazonia and Global Change**. Geophysical Monograph Ser, vol. 186. Washington, D.C.: American Geophysical Union Books, 2009a, p.145-147.



NOBRE, C.A.; OBREGÓN, G.O.; MARENGO, J.A; FU, R.; POVEDA, G. Characteristics of Amazonian Climate: Main Features. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; SILVA DIAS, P. (Orgs.). **Amazonia and Global Change**. Geophysical Monograph Ser, vol. 186. Washington, D.C.: American Geophysical Union Books, 2009b, p.149-162.

NÓBREGA, R.S.; CAVALCANTI, E.P.; SOUZA, E.P. Reciclagem de vapor d'água sobre a América do Sul utilizando reanálises do NCEP-NCAR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, 2005, p.253-262.

PBMC (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas). **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 (GT1) ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional (RAN₁) do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1**. Rio de Janeiro, RJ: PBMC, 2013, 24p.

SALATI, E.; DALL'OLIO, A.; MATSUI, E.; GAT, J.R. Recycling of Water in the Amazon Basin: An Isotopic Study. **Water Resources Research**, v.15, n.5, 1979, p.1250-1258.

SATYAMURTY, P.; da COSTA, C.P.W.; MANZI, A.O. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. **Theoretical and Applied Climatology**, v.111, n.1-2, 2013, p.195-209.

SAVENIJE, H.H.G. New definitions for moisture recycling and the relation with land-use changes in the Sahel. **Journal of Hydrology**, v.167, n.1-4, 1995, p.57-78.

SCHAR, CH.; LUTHI, D.; BEYERLE, U.; HEISE, E. The Soil-Precipitation Feedback: A Process Study with a Regional Climate Model. **Journal of Climate**, v.12, n.3, 1999, p.722-741.

SILVA, A.E. **Variabilidade da Circulação e Transporte de Umidade no Regime de Monção da América do Sul**. 2009. 137f. Tese (Doutorado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

TRENBERTH, K.E. Atmospheric Moisture Recycling: Role of Advection and Local Evaporation. **Journal of Climate**, v.12, n.5, 1999, p.1368-1381.

Van der ENT, R.J.; SAVENIJE, H.H.G.; SCHAEFLI, B.; STEELE-DUNNE, S.C. Origin and fate of atmospheric moisture over continents. **Water Resources Research**, v.46, n.9, 2010, p.1-12.

VERA, C.; BAEZ, J.; DOUGLAS, M.; EMANUEL, C.B.; ORSINI, J.A.M.; MEITIN, J.; NICOLINI, M.; NOGUES-PAEGLES, J.; PAEGLE, J.; PENALBA, O.; SALIO, P.; SAULO, C.; SILVA DIAS, M.A.F.; SILVA DIAS, P.; ZIPSER, E. The South American Low Level Jet Experiment. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.87, n.1, 2006, p.63-77.

VIANA, L.P.; CORREIA, F.W.S.; FREITAS, S.R. Modelagem do impacto das mudanças no uso da terra na reciclagem de água na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XVI, 2010, Belém-PA. **Anais...** Belém: UFPA, 2010, p.1-5.