

Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão

Leila Limberger
Unioeste

Maria Elisa Siqueira Silva
USP

p. 657-675

revista

Geo 
USP
espaço e tempo

Volume 20 • nº 3 (2016)

ISSN 2179-0892

Como citar este artigo:

LIMBERGER, L.; SILVA, M. E. S. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão.

Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 20, n. 3, p. 657-675, mês. 2016. ISSN 2179-0892.

Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/geosp/issue/view/6465>>. doi: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2014.84539>.



Este artigo está licenciado sob a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão

Resumo

Estudos sobre variabilidade climática são de grande importância para os estudos geográficos, já que os extremos climáticos atingem diretamente as condições socioambientais. Este artigo apresenta pesquisas já desenvolvidas sobre a variabilidade climática da chuva na bacia amazônica brasileira associada à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos. Focaliza a inter-relação entre a variabilidade pluviométrica da bacia amazônica e a variabilidade da temperatura da superfície dos mares (TSM), com o objetivo de apresentar o estado da arte acerca do tema e contribuir para o desenvolvimento de estudos da área na ciência geográfica. O principal fenômeno que influencia a variabilidade da chuva na bacia amazônica é o El Niño – Oscilação Sul (Enos), concorrendo para períodos mais secos em sua fase quente e períodos mais úmidos na fria. Também o Atlântico tem papel importante na variabilidade da precipitação, especialmente por modular o posicionamento da ZCIT e o transporte de umidade para a bacia amazônica. Os artigos apresentados destacam ainda a importância de se compreender a retroalimentação entre os fenômenos que se desenvolvem no Pacífico e Atlântico, demonstrando que se trata de processos altamente acoplados e de grande complexidade, tanto em seu funcionamento quanto em seus efeitos na hidrologia da bacia amazônica. Pode-se concluir que as teleconexões entre a temperatura da superfície do mar e a variabilidade das chuvas na bacia amazônica constituem um tema muito pertinente e que ainda há várias lacunas do conhecimento por preencher.

Palavras-chave: Variabilidade climática. Bacia Amazônica. Anomalias de TSM. Enos. Ventos alísios.

Precipitation in the Amazon Basin and its connection to surface temperature variability of Pacific and Atlantic oceans: a review

Abstract

Studies on climate variability are considered of great importance for geographical studies since climate extremes directly affect the social environmental conditions. This study aims to present an overview of existing research about climate variability of the rainfall in the Amazon basin in Brazil, associated to sea surface temperature variability. There is a focus in the Amazon basin rainfall variability and the sea surface temperature (SST), to present the state of the art on the matter and promoting the development of studies in the area of geographical science. The main climatic phenomenon that influences rainfall in the Amazon basin is the El Niño-Southern Oscillation (ENSO), contributing to drier periods when it is hot and to more humid periods when it is cold. The Atlantic also plays an important role in the variability of precipitation, especially by modulating the position of the ITCZ and the transport of humidity to the Amazon basin. The articles selected also highlight the importance of understanding the feedback between the phenomena formed in the Pacific and Atlantic, demonstrating that these processes are highly linked and of great complexity, both in its operation and their effects on the hydrology of the Amazon basin. It can be concluded that the teleconnections between the sea surface temperature and rainfall variability in the Amazon basin are a topic of great relevance and several knowledge gaps remain to be filled.

Keywords: Climate variability. Amazon basin. SST anomalies. ENSO. Trade winds.

Introdução

A bacia amazônica desperta interesse internacional na pesquisa científica tanto por apresentar grande biodiversidade em relação ao observado no restante do globo (Ab'Sáber, 2004; Dirzo; Raven, 2003; Malhi et al., 2008) quanto pela busca por recursos naturais, questões geopolíticas etc. Do ponto de vista da climatologia geográfica, o interesse deve recair sobre pesquisas que visem uma abordagem integradora dos fatores e elementos que compõem o clima regional amazônico e sua interação com as características climáticas em escala global. Neste caso, destacam-se as oscilações da temperatura dos oceanos que alteram a circulação geral da atmosfera em graus diferenciados e repercutem, da mesma forma, em pontos variados no globo.

Eventos extremos de chuva alteram significativamente a vazão dos rios e são frequentemente muito prejudiciais para o ritmo de vida da população amazônica (Borma et al., 2013), que vive, em grande parte, às margens dos rios. Os principais prejuízos são o aumento da incidência de doenças, a dificuldade de acesso às escolas e de remanejamento das famílias em casos de enchentes; são registrados também prejuízos na atividade de pesca, na prática de culturas agrícolas de subsistência, no transporte, no escoamento da produção e na distribuição de água potável. Especialmente nas áreas urbanas, verificam-se danos na infraestrutura, tais como em redes de água, esgoto e em vias de acesso. Em períodos de seca extrema, verifica-se o aumento da mortandade de peixes, uma vez que os lagos secam ou ficam com pouca água, aumentando a demanda por oxigênio (Borma et al., 2013). Episódios de seca também podem afetar a navegação, a produção de hidroeletricidade, a expansão de incêndios, que afetam a biodiversidade e a produção de poluentes para a atmosfera (Coelho et al., 2012).

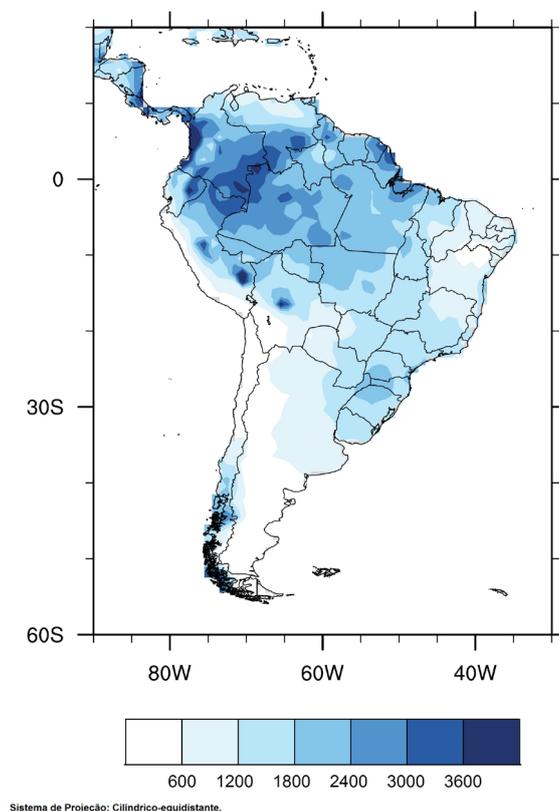
O presente artigo tem por objetivo apresentar os principais estudos sobre a variabilidade climática da bacia amazônica, especialmente os que procuram identificar como a variabilidade da temperatura da superfície do mar (TSM) influencia a circulação atmosférica e como esta, por sua vez, atinge a área de estudo considerada. A precipitação será caracterizada de maneira geral para a compreensão dos principais centros de ação que modulam o clima da região e, depois, se discutirá a variabilidade da precipitação, procurando evidenciar como anomalias de TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico podem influenciar os índices pluviométricos na bacia amazônica.

Caracterização geral da precipitação na bacia amazônica

A precipitação anual da bacia amazônica, em regiões próximas do equador, é geralmente superior a 2.000 milímetros (Figura 1). A região da foz do rio Amazonas e o setor noroeste da Amazônia apresentam precipitação anual superior a 3.000 milímetros. A precipitação diminui do equador para as regiões subtropicais e para o nordeste do Brasil, onde se observam valores anuais inferiores a 1.000 milímetros (Fisch; Marengo; Nobre, C., 1996).

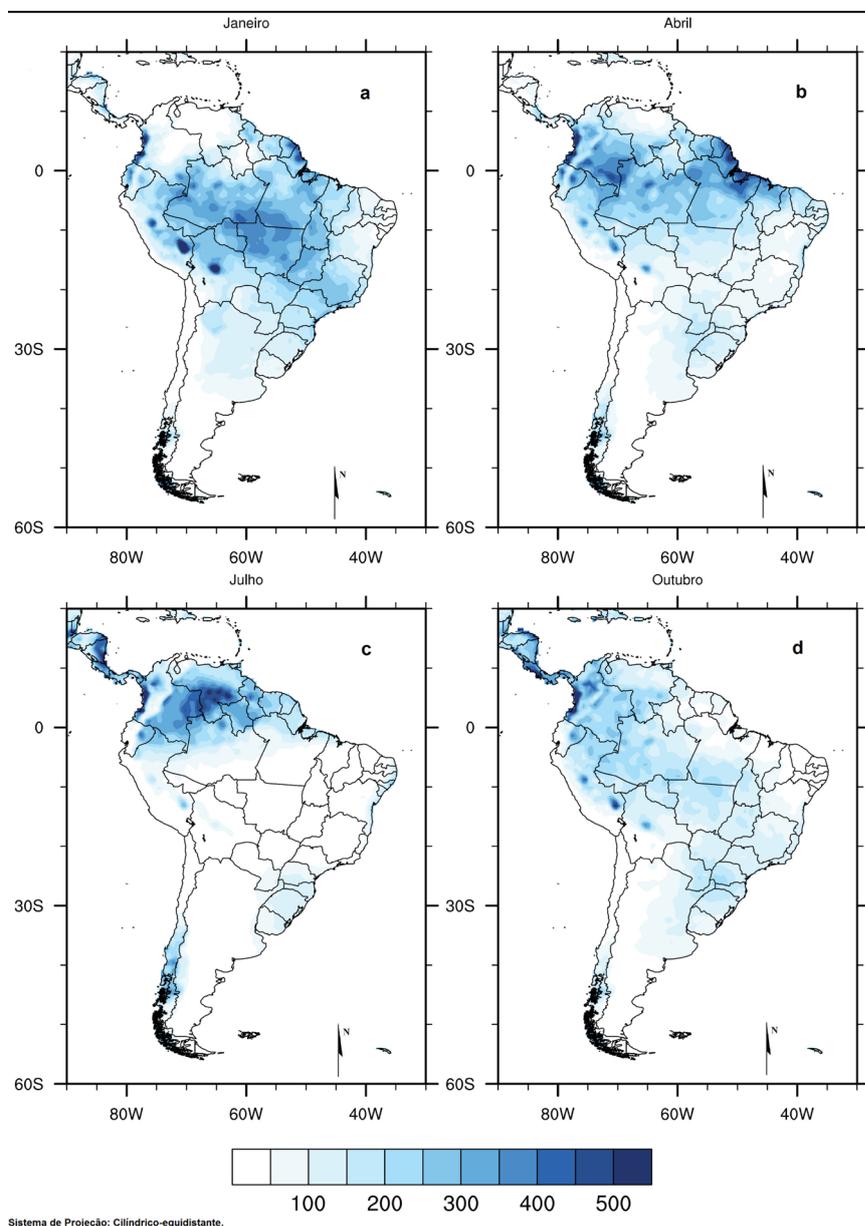
As principais diferenças das características climáticas médias entre as estações de verão e inverno correspondem ao posicionamento e intensidade do jato subtropical de altos níveis em cada um dos hemisférios e, na faixa tropical, ao deslocamento meridional da célula de Hadley, da convecção local e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). No hemisfério sul, durante o verão, as áreas de convecção e a ZCIT são deslocadas para o sul, retornando para o norte durante o inverno. Devido à maior variação meridional de temperatura durante o inverno, nos dois hemisférios, o jato subtropical fica mais intenso e mais abrangente nesta época do ano (Fisch; Marengo; Nobre, C., 1996).

Figura 1 – Precipitação média anual (mm) na América do Sul – 1980-2010 (GPCC, [s.d.])



A região amazônica tem um regime de precipitação tipo monção bem definido (Coelho et al., 2012; Nobre, C.; Obregón; Marengo, 2009; Marengo, 1992). Durante o verão austral, observam-se anomalias de convergência do ar em baixos níveis atmosféricos associadas ao aquecimento do continente (Carvalho et al., 2010). Nesse período, o cavado equatorial e a ZCIT estão em suas posições mais ao sul. Durante o verão, uma banda de nebulosidade caracterizada por convergência de ar na baixa troposfera estende-se da Amazônia para o sudeste do Brasil, na direção noroeste-sudeste, atingindo o Atlântico Sul Tropical, e formando a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Assim, durante o verão (janeiro, na Figura 2), um centro de intensa atividade convectiva situa-se sobre o sudeste da bacia amazônica, favorecendo altos índices pluviométricos nesta região (Carvalho et al., 2010).

Figura 2 – Climatologia sazonal da precipitação (mm) da América do Sul nos meses de (a) janeiro, (b) abril, (c) julho e (d) outubro – 1980-2010 (GPCC, [s.d.]



Sobre o Atlântico, segundo Curtis e Hastenrath (1999), a ZCIT migra para o sul durante os meses de dezembro a abril, quando atinge sua posição mais ao sul. O centro de atividade convectiva mais intensa sobre a Amazônia muda do setor sudeste, entre dezembro e março, para o setor noroeste, entre março e novembro (Figuras 2b, 2c e 2d), atingindo o Panamá, a Colômbia e o leste do Pacífico Equatorial, em maio. De março a outubro (período seco na maior parte da Amazônia), a Alta da Bolívia se enfraquece e desloca-se para o norte (Molion, 1987), juntamente com a ZCIT (Carvalho; Jones; Dias, 2002). O centro de convecção mais intensa continua sobre a área do Pacífico Leste Equatorial até outubro, e então muda para o sudeste da Amazônia, de dezembro a março. O pico de chuva varia entre os períodos de novembro-janeiro, no sudeste da bacia amazônica, até maio-julho, na extremidade norte da bacia.

Na estação chuvosa, portanto, a precipitação na bacia amazônica é claramente associada ao padrão sinótico sobre a América do Sul, especialmente à localização e à intensidade da ZCAS, sendo que esta é muito eficiente no transporte de umidade tropical da bacia amazônica para os extratropicais (Betts et al., 2009). As variações no regime da ZCAS estão associadas a oscilações intrassazonais de anomalias de TSM, principalmente no Atlântico Sul (Nogués-Paegle; Mo, 1997; Nobre, C.; Obregón; Marengo, 2009), e também do Pacífico Tropical (Jones; Carvalho, 2002).

Durante o inverno austral a circulação da baixa troposfera na região amazônica é caracterizada pela posição mais ao norte do cavado equatorial de baixa pressão (o que diminui a intensidade dos alísios e o ingresso de umidade, provenientes do Atlântico Norte Tropical) e pela entrada de massas de ar frio e seco que se deslocam a partir do sul do continente sul-americano (Marengo; Nobre, C., 2009). O jato subtropical de oeste na alta troposfera, durante o inverno austral, é mais intenso e mais próximo do equador do que no verão (Marengo, 1992), o que está associado à diminuição da atividade convectiva sobre a região em estudo.

Assim, a convecção tropical local é o principal processo para a formação de precipitação em toda a bacia amazônica, que é modulada pelas circulações de grande escala, como a célula de Hadley, a ZCIT e a circulação zonal de Walker. A retroalimentação entre a superfície local e a atmosfera é um importante fator que contribui para as anomalias de precipitação observadas na Amazônia (Nobre, C.; Obregón; Marengo, 2009).

A floresta amazônica também desempenha um papel crítico na regulação climática tanto em nível regional quanto global. A perda de calor latente pela floresta é uma grande fonte de aquecimento da atmosfera regional, sendo responsável pela circulação atmosférica no verão austral (Nobre, C.; Obregón; Marengo, 2009, p. 150). Molion (1975) estimou que 56% da chuva que ocorre sobre a bacia amazônica provêm da evapotranspiração local e que 44% provêm da advecção de umidade, principalmente do oceano Atlântico. C. Nobre, Obregón e Marengo (2009) afirmam que a principal fonte de umidade da Amazônia, em especial do leste da região, é o oceano Atlântico.

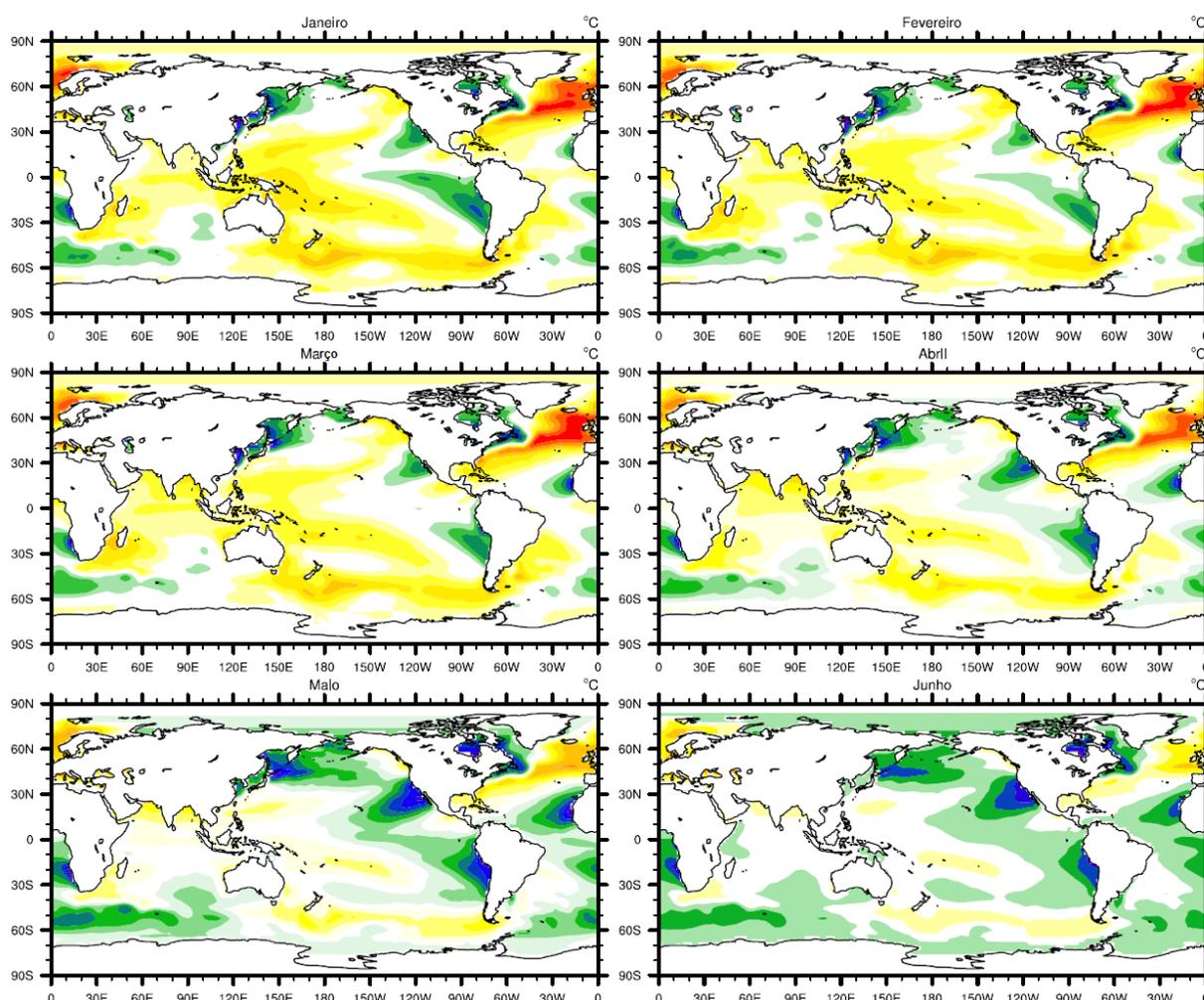
Anomalias no regime de precipitação da Amazônia podem decorrer das anomalias de temperatura da superfície dos oceanos e das condições de uso do solo, como o tipo de vegetação e umidade do solo. No caso da América do Sul, Atlântico e Pacífico são os oceanos mais estudados. Uvo e Graham (1998), com a aplicação de correlações canônicas aos dados de TSM e precipitação na América do Sul, concluíram que a combinação do Pacífico Tropical e Atlântico explica 53% da variação da precipitação interanual na Amazônia, não sendo bem conhecidos outros mecanismos, internos ou externos à região, responsáveis pelo remanescente não explicado da variabilidade interanual (Nobre, C.; Obregón; Marengo, 2009). A seguir, a variabilidade associada à variabilidade de TSM é discutida em pormenores, focando os oceanos Pacífico e Atlântico.

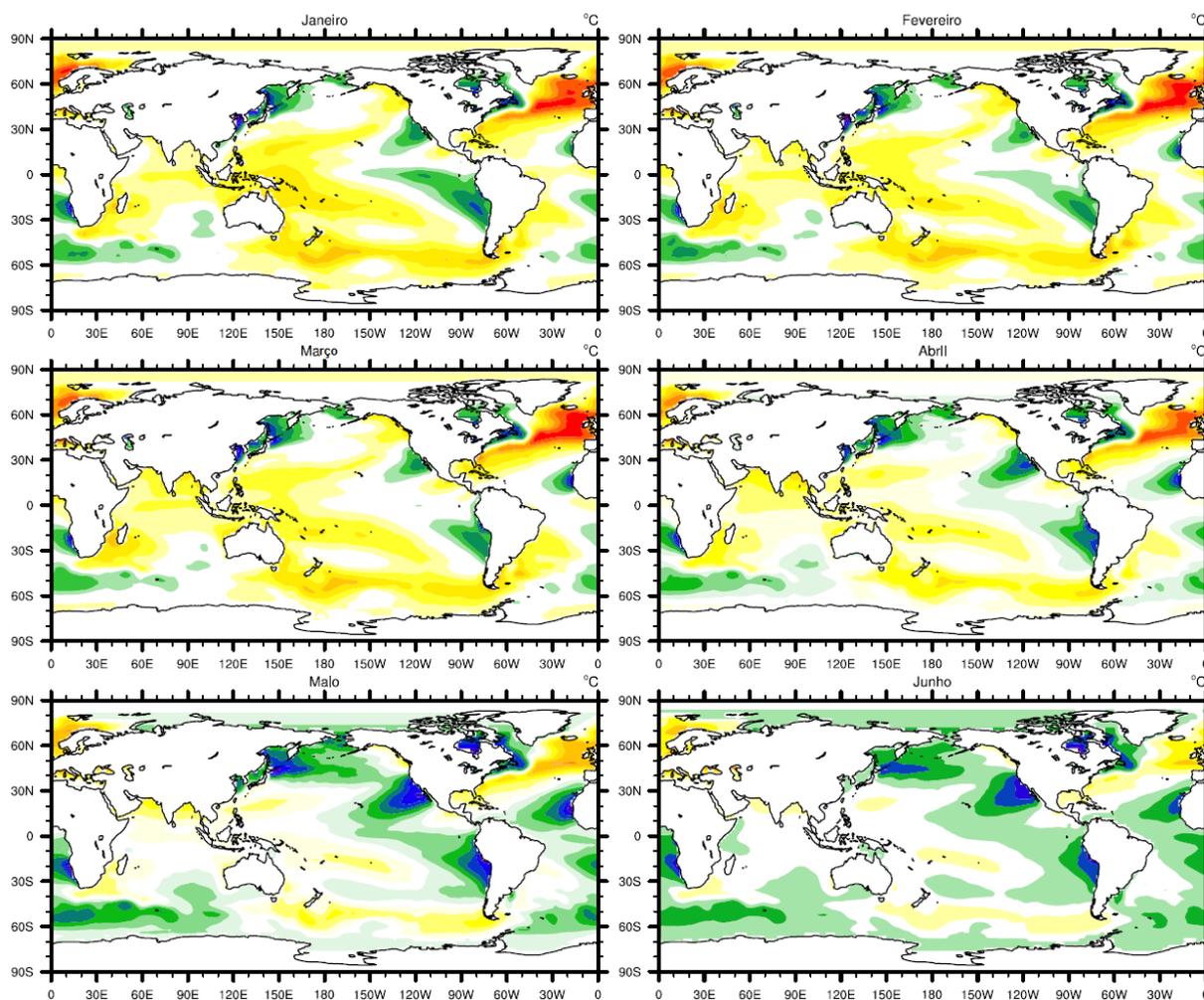
Variabilidade da chuva na Amazônia brasileira associada aos oceanos adjacentes

Um dos primeiros trabalhos a verificar a correlação entre TSM e chuva no Brasil foi o de Hastenrath e Heller (1977). Os autores constataram forte ligação negativa entre a precipitação no nordeste brasileiro e a TSM sobre a costa do Peru e do Equador, atribuindo esse fato a uma variação inversa da pressão atmosférica, de longo prazo, entre o leste do Pacífico Sul e o Atlântico Sul.

O acoplamento oceano-atmosfera é responsável por grande parte das anomalias globais de precipitação. A anomalia de TSM afeta os padrões atmosféricos, que por sua vez se propagam, principalmente por ondas de Rossby, e podem afetar locais a diversas distâncias, caracterizando a teleconexão (Ambrizzi, 2003). O Enos é o fenômeno mais conhecido e que tem o maior impacto na climatologia global, porém não é o único. A Figura 3 apresenta o desvio padrão dos dados de TSM globais para cada mês, de 1980 a 2010. O que se verifica é que há uma grande complexidade nos padrões de variabilidade globais, e cada padrão de variabilidade afeta, por meio do deslocamento de ondas, diversos padrões de circulação, como a célula de Walker ou a zona de convergência intertropical.

Figura 3 – Desvio padrão mensal aplicado aos dados de reanálise NCEP/NCAR de TSM globais – 1980-2010





organização: Leila Limberger e Maria Elisa Siqueira Silva.

Na análise da Figura 3, verifica-se que há regiões dos oceanos que mantêm em todos os meses um padrão de anomalia, como é o caso da região do leste do Pacífico, próximo da costa do Peru, assim como o Atlântico Norte, entre outros.

A importância relativa de oceanos e continente para a chuva na Amazônia pode variar em diferentes partes da região e os possíveis impactos de anomalias de TSM na Amazônia são muito heterogêneos espacialmente (Ronchail et al., 2002), apesar de parecerem influenciar a variabilidade da chuva em todas as áreas da bacia. A seguir é detalhada, a partir de pesquisa bibliográfica, a influência das anomalias de TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade da chuva na bacia amazônica.

O Pacífico e seu papel na regulação das chuvas na Amazônia brasileira

Por ser o oceano que recobre a maior área do planeta, o Pacífico é um importante regulador climático global. As anomalias de TSM que se desenvolvem em suas águas repercutem em várias partes do globo. Entre tais anomalias, destaca-se o El Niño – Oscilação Sul (Enos), considerado o mais importante fenômeno de variabilidade climática global.

Vários estudos foram desenvolvidos para entender a influência do Enos nas chuvas na região amazônica. Segundo Zeng (1999), uma correlação linear positiva da precipitação com o Índice de Oscilação Sul (IOS) é aparente em quase toda a bacia amazônica, especialmente nas

porções central e leste. A correlação máxima ocorre próximo à foz do rio Amazonas com valores maiores do que 0,7. O fato de a convecção na bacia amazônica ser suprimida durante episódios de El Niño é comumente explicado pela subsidência induzida por uma mudança na circulação de Walker; vários estudos mostram que o deslocamento zonal da célula de Walker, desencadeado por eventos Enos, propicia redução do movimento ascendente, durante eventos de El Niño, e enfraquecimento do ramo descendente da célula de Walker (com tendência de aumento do movimento ascendente), durante eventos La Niña, sobre o norte-nordeste da América do Sul, o que desencadeia, respectivamente, redução e aumento dos índices pluviométricos nesta região (Marengo; Hastenrath, 1993; Hastenrath, 2001; Ronchail et al., 2002; Souza; Ambrizzi; Coelho, 2004). Usando dados de precipitação para a América do Sul de Liebmann e Allured (2005), estudo de Silva (2013) afirma que anomalias médias da precipitação na América do Sul para períodos de El Niño e La Niña indicam a associação da precipitação a eventos Enos.

A reconstrução de 83 anos de registro (de 1903 a 1985) de dados de vazão do rio Amazonas feita por Richey, C. Nobre e Deser (1989) permite mostrar que não há tendência linear estatisticamente significativa na vazão durante o período de registro e que sua variabilidade interanual ocorre predominantemente em uma escala de dois a três anos, sugerindo que esteja muito ligada às alterações no ciclo climático do Enos.

Souza, Ambrizzi e Coelho (2004) avaliam os eventos Enos de 1954-55 e 1972-73, La Niña e El Niño, respectivamente, e apontam que não se confirmaram as previsões de mais e menos chuvas na região norte-nordeste da América do Sul; o que predominou na modulação dos índices pluviométricos das regiões estudadas durante esse período foi a configuração de TSM do Atlântico. Sobre isso, Ambrizzi (2003) afirma que não se surpreende, já que vários estudos têm mostrado que, além do Pacífico, o oceano Atlântico Tropical tem um papel importante na variabilidade interanual da estação chuvosa no norte-nordeste da América do Sul.

Ropelewski e Halpert (1987) analisaram 17 eventos El Niño, dos quais 16 coincidiram com os anos mais secos na porção norte da Amazônia. Contudo, pode haver anos secos na região quando não há ocorrência de El Niño (por exemplo, a seca de 2005 [Alves; Marengo; Cavalcanti, 2013]), o que mostra que há outros fatores que influenciam a precipitação da Amazônia além da Oscilação Sul. Ampliando a discussão, Ambrizzi (2003, p. 133) afirma:

[...] independentemente do evento Enos que esteja ocorrendo no Pacífico, o gradiente de TSM do Atlântico Tropical pode modular a precipitação no leste da Amazônia e nordeste do Brasil através da modificação na posição da ZCIT. Sendo assim, é necessário algum cuidado quando se analisa excesso ou déficit de precipitação durante a estação chuvosa no norte e nordeste da América do Sul olhando apenas a TSM sobre o Pacífico Central e leste.

Marengo (1992) e Marengo e Hastenrath (1993) estudaram um ano extremamente seco (1983 – El Niño) e um moderadamente úmido (1986 – La Niña) na Amazônia, e analisaram o padrão de circulação para março-abril. Na fase positiva de IOS, a ZCIT, sobre o setor do Atlântico, tende a estar deslocada anormalmente para o sul, concomitante com o fortalecimento da alta subtropical do Atlântico Norte e fortes alísios de nordeste, assim como

águas anormalmente frias no Atlântico Norte e quentes no Atlântico Sul (a alta subtropical do Atlântico Sul fica mais fraca). Na circulação em altos níveis, nos períodos úmidos em relação aos secos, os jatos subtropicais de oeste, dos dois hemisférios, parecem relativamente mais fracos e deslocados para os polos; nos períodos secos, os jatos de oeste ficam mais intensos e deslocados para o equador. É notável que um deslocamento da ZCIT para sul e o aumento de umidade importada do Atlântico Norte Tropical, associado com alísios de nordeste mais acelerados, conduzem a convecção mais vigorosa e chuva sobre a Amazônia, como observado no ano de 2009 (Borma et al., 2013).

Em geral, durante anos de La Niña (El Niño), as anomalias positivas (negativas) de precipitação na Amazônia são acompanhadas por alterações no Oceano Atlântico, tais como: anomalias positivas (negativas) de TSM sobre o Atlântico Tropical Sul; ventos alísios de sudeste mais fracos (intensos) do que o normal sobre esse oceano; movimentos verticais ascendentes mais intensos (menos intensos) sobre o norte da região amazônica e movimentos compensatórios subsidentes (ascendentes) sobre o norte do Peru, a oeste dos Andes (Ambrizzi, 2003).

Apesar dos resultados apresentados em Marengo e Hastenrath (1993) em relação ao fato de que forçantes externas ao Pacífico podem dominar o sinal da precipitação na América do Sul, Ambrizzi (2003, p. 160) afirma que, na ausência dessas forçantes externas, não há dúvida de que o modo Enos tem um papel relevante no clima global. Porém “cada evento Enos tem sua própria característica” (Ambrizzi, 2003, p. 160) devido às diversas forçantes tropicais e extratropicais que atuam com diversas intensidades, conjugadas ou não com outras anomalias de TSM e, assim, portanto, mudam sempre os impactos associados a cada evento Enos. Ambrizzi (2003, p. 99) sugere que a variabilidade nos regimes de precipitação regional durante diversos eventos quentes de Enos está relacionada a sua intensidade e também à posição onde ocorrem as máximas anomalias de TSM no Pacífico Equatorial.

Outra importante anomalia de TSM que ocorre no Pacífico é a chamada Oscilação Decenal do Pacífico (ODP), que apresenta um padrão de variabilidade interdecenal e desencadeia padrões anômalos de TSM, nível do oceano e intensidade do vento, especialmente sobre o Pacífico Norte (Andreoli; Kayano, 2005).

A fase quente da ODP desencadeia intensificação no sistema de baixa pressão das Aleutas, águas mais frias do que o normal no Pacífico Norte Central e Oeste e águas mais quentes ao longo da costa oeste da América do Norte e nas regiões central e leste do Pacífico Tropical. Durante a fase fria da ODP o padrão é reverso (Mantua et al., 1997). Os principais efeitos nas condições climáticas são verificados na América do Norte e na região de monções da Índia. Andreoli e Kayano (2005), porém, avaliaram os efeitos da ODP na América do Sul e sua inter-relação com os eventos Enos e verificaram que os sinais do El Niño para a chuva na América do Sul são mais pronunciados durante ODP quente do que durante a ODP fria. Também são mais pronunciadas as diferenças sazonais de precipitação durante períodos de ODP quente.

Analisando também conjugadamente Enos e ODP, G. Silva (2009) afirma que há poucas variações significativas no regime de precipitação sobre a América do Sul ao considerar anos neutros de Enos em distintas fases da ODP. Seu trabalho mostra que apenas regiões ao

extremo norte do continente e ao norte do sudeste da América do Sul apresentam diferenças significativas, com anomalias ligeiramente negativas no padrão de precipitação, sugerindo uma extensão das chuvas mais para o sudeste do Brasil durante anos de Enos neutro e de ODP negativa, quando comparado ao padrão formado em anos neutros e ODP positiva. Na ausência de anomalias significativas de TSM no Pacífico Equatorial, G. Silva (2009) verificou que o efeito local do Atlântico Sudoeste parece modular o regime de circulação do continente sul-americano em baixos níveis.

Importa ressaltar que a relação entre o Enos e anomalias de chuvas pode ser muito mais não linear. Análises estatísticas sugerem apenas uma associação matemática e não são provas de dependência física; se um evento Enos é forte, não se pode afirmar que sua influência remota também o seja. Outros fatores afetam a chuva além do Enos e sua dependência a eles é também provavelmente não linear. Além do mais, outros fenômenos climáticos de larga escala podem mudar o grau e talvez até o sinal da relação Enos e chuva na América do Sul (Poveda; Mesa, 1997).

Poveda e Mesa (1997) acreditam que interações terra-atmosfera sobre a América do Sul Tropical concorrem para transmitir sinal do Pacífico para o Caribe e Atlântico, em situações de El Niño:

Durante a fase quente do Enos, o efeito concomitante de menor pressão atmosférica ao nível do mar no Atlântico Norte Tropical e o aumento da pressão atmosférica, em baixos níveis, na América do Sul tropical contribui para reduzir o gradiente [meridional] de pressão superficial entre as duas regiões. [...] Esse mecanismo, por sua vez, contribui para enfraquecer os alísios de nordeste, acionando aquecimento na região tropical do oceano Atlântico Norte e do Caribe (Poveda; Mesa, 1997, p. 2698).

Segundo Uvo e Graham (1998), a variabilidade interanual das anomalias de TSM no Pacífico explica menos de 40% da variabilidade da chuva na bacia amazônica, sugerindo que outras fontes de energia sejam importantes para determinar essa variabilidade, tal como o Atlântico (Marengo, 1992; Uvo; Graham, 1998; Marengo et al., 2008).

Foley e outros (2002) também afirmam que é importante notar que o Enos não é o único modo importante de variabilidade climática na bacia amazônica. Em um estudo aplicando análise de componentes principais a dados climáticos da Amazônia, mostraram que o Enos explica aproximadamente 20% da variância total da precipitação. De fato, o modo dominante da variabilidade climática na Amazônia tem periodicidade de 24-28 anos e explica aproximadamente 35% da variância interanual da precipitação e 56% da variância da temperatura. Outros fatores propostos por Foley e outros (2002) para explicar a variabilidade climática na Amazônia incluem mudanças na força da Alta Subtropical do Atlântico Norte, na posição da ZCIT e na força dos ventos sobre o oceano Atlântico Tropical.

Assim, esses estudos indicam que anomalias de TSM no Pacífico são importantes na definição da chuva na Amazônia, mas não são o único fator; também se devem considerar as anomalias do Atlântico e os processos de retroalimentação entre Pacífico e Atlântico.

O papel do Atlântico

O Atlântico tem um papel importante na definição da variabilidade das chuvas na região amazônica. Marengo (1992) encontrou resultados de chuva acima do normal no verão durante períodos em que foram registrados aumento da intensidade dos alísios de nordeste, o que aumenta o fluxo de umidade para a América do Sul. Também Rao, Cavalcanti e Hada (1996) mostraram que a convecção na Amazônia é controlada em parte pelo transporte de umidade do Atlântico. Fortes alísios de nordeste, do Atlântico Norte, que trazem umidade para a Amazônia, estão associados ao deslocamento da ZCIT para o sul, o que também está relacionado a anomalias positivas de TSM no Atlântico Tropical Sul (Hastenrath; Heller, 1977; Moura, Shukla, 1981; Nobre, P.; Shukla, 1996). Por outro lado, as anomalias de TSM no Atlântico Tropical (especialmente do Atlântico Norte) também são influenciadas por mudanças de TSM no Pacífico (Marengo et al., 2001).

O gradiente meridional do Atlântico Tropical (GMAT) contribui para a ocorrência de anomalias de chuvas na região amazônica, especialmente durante o verão e outono austral, quando a ZCIT encontra-se em sua posição mais ao sul. Esse gradiente foi estudado inicialmente por Moura e Shukla (1981), Servain (1991), P. Nobre e Shukla (1996) e outros. A fase positiva do gradiente é caracterizada por anomalias positivas e negativas de TSM na região tropical do Atlântico Norte e Sul, respectivamente.

A variabilidade de baixa frequência no Atlântico Norte Tropical é caracterizada por periodicidades que variam de 7,8 a 12,6 anos, segundo Mélice e Servain (2003), para análises referentes ao período de 1964 a 1998. No Atlântico Sul Tropical, o período da componente de baixa frequência é de aproximadamente 14 anos. Por essas análises, pode-se afirmar que as anomalias de TSM no Atlântico Tropical não constituem um dipolo, como inicialmente denominado, mas que são regidas por forçantes distintas. Segundo Mélice e Servain (2003), a variabilidade da TSM no Atlântico Norte Tropical seria desencadeada por anomalias de pressão na alta dos Açores, correspondendo ao fortalecimento dos alísios de nordeste, como resultado de anomalias no sinal da Oscilação do Atlântico Norte (OAN). Para o Atlântico Sul Tropical, as anomalias de TSM seriam desencadeadas por anomalias na região das ilhas de Santa Helena e Tristão da Cunha, segundo os mesmos autores.

A fase positiva do GMAT induz precipitação abaixo da média climatológica durante a estação chuvosa na Amazônia e no nordeste do Brasil. A fase negativa do gradiente meridional, representada pelo padrão inverso de anomalias de TSM no Atlântico Tropical, está associada a anomalias positivas de precipitação na estação chuvosa das mesmas regiões Norte e Nordeste (Ambrizzi, 2003). Segundo Coelho (2001, p. 38-39), “a intensificação (enfraquecimento) dos alísios de nordeste pode aumentar (diminuir) o transporte, pela camada limite, de umidade proveniente do Atlântico Tropical Norte em direção à bacia amazônica”, favorecendo assim uma situação de chuvas acima (abaixo) do normal sobre o norte da região Norte do Brasil.

Curtis e Hastenrath (1999) afirmam que o aquecimento anômalo das águas do Atlântico Norte Tropical deve-se basicamente a três fatores: (1) a redução da intensidade dos ventos e a conseqüente redução da evaporação, (2) uma circulação oceânica equatorial anômala, com movimentos verticais descendentes entre 20°N e o equador e (3) o aumento do saldo de radiação devido à redução da cobertura de nuvens sobre a região.

Coelho (2001) afirma que o Pacífico, durante eventos de El Niño, exerce a maior influência na precipitação da América do Sul nos meses de março a maio, embora o Atlântico também exerça uma importante influência associada ao modo de variabilidade do gradiente de TSM do Atlântico Tropical. O autor afirma que o Pacífico tem, em geral, maior influência, mas que no período de março-maio a influência do gradiente meridional do Atlântico pode ser tão importante quanto a do Pacífico, sendo que no referido período o Atlântico representa 49,3% da variabilidade e o Pacífico, 50,7%.

O resultado da análise da média de eventos com o mesmo sinal de anomalias de TSM sugere que variações na intensidade dos ventos alísios aparecem como forçante primária nas mudanças térmicas da superfície dos oceanos (Nobre, P.; Shukla, 1996). Sobre o Atlântico Tropical, resulta no padrão do gradiente meridional de TSM. A componente meridional de vento parece ser a responsável pelo gradiente anômalo meridional de TSM sobre o Atlântico Tropical. Isso sugere que anomalias de circulação atmosférica sobre o Atlântico Tropical não equatorial contribuem primeiramente para a formação de gradientes meridionais anômalos de TSM, que, por sua vez, forçam a ZCIT a se deslocar para águas quentes, afetando assim a distribuição das chuvas sobre o Atlântico Equatorial e áreas continentais adjacentes (Nobre, P.; Shukla, 1996).

Portanto, assumindo um padrão de teleconexão atmosférica associado ao Enos sobre o Pacífico Equatorial, pode ser influenciada a formação de gradiente meridional de anomalia de TSM sobre o Atlântico Tropical. Ao se propagar do Pacífico Equatorial para altas latitudes do hemisfério norte (por exemplo, pelo padrão PNA), padrões de teleconexão induzem anomalias de pressão ao nível do mar (PNM) com sinal oposto (ao que apresentam no Pacífico) sobre o norte do Atlântico Norte Tropical. Uma vez que anomalias de PNM com sinais opostos fixam-se sobre as regiões tropicais do Atlântico Norte (pressão atmosférica mais alta) e Sul (pressão atmosférica mais baixa), as anomalias dos alísios ficam hemisféricamente assimétricas (mais fortes no Atlântico Norte e mais fracas no Atlântico Sul, e, vice-versa), padrão que é acompanhado por anomalias de TSM (Nobre, P.; Shukla, 1996).

Associando Pacífico e Atlântico

Sabendo que os padrões anômalos da circulação atmosférica podem ser originados por anomalias de TSM no Pacífico, Covey e Hastenrath (1978) procuraram investigar como tais padrões poderiam alterar os campos de circulação na região do Atlântico, e verificaram, a partir de testes estatísticos, que há uma variação inversa de pressão sobre o Pacífico Leste e o Atlântico.

Outros trabalhos seguiram essa linha de pesquisa, entre eles, Uvo e Graham (1998), que demonstraram que anomalias de TSM nas bacias do Pacífico e do Atlântico mostram significativa correlação. Durante um evento Enos há uma tendência para o desenvolvimento de anomalias positivas no Atlântico Norte Tropical devido a padrões de teleconexões em latitudes

altas do hemisfério norte. Como consequência da alteração de TSM no Atlântico Norte, a pressão ao nível do mar sobre o Atlântico Sul Tropical fica negativamente correlacionada com a Oscilação Sul. A fase quente do Enos pode ser associada a um aumento da PNM sobre o Atlântico Sul. Por isso, é plausível conjecturar que padrões de anomalias de PNM fora de fase sobre o Atlântico Norte e Sul podem ser induzidos, em parte, por padrão de circulação anômala em escala global associada ao Enos (Nobre, P.; Shukla, 1996, p. 2474).

Pezzi e Cavalcanti (2001) conduziram experimentos numéricos simulando os efeitos combinados de Enos e GMAT, considerando no modelo as TSM características de cada evento, conforme bibliografia. Os resultados para o Nordeste do Brasil e o leste da Amazônia

sugerem fortemente que o gradiente meridional positivo do Atlântico Tropical, durante eventos de El Niño, influencia a chuva na região Nordeste do Brasil, mudando o sinal de anomalias de precipitação sobre o norte do Nordeste e intensificando as anomalias negativas de precipitação na região. A região amazônica e outras partes da América do Sul são influenciadas apenas pelas anomalias do Pacífico Equatorial. Resultados similares foram encontrados por Souza e outros (2000) e Moura e Shukla (1981).

Ronchail e outros (2002) descrevem o que acontece com a média da precipitação em postos localizados da bacia amazônica com relação à TSM do Atlântico Sul Tropical (SATL), Atlântico Norte Tropical (NATL) e Pacífico (PAC). Foram encontrados déficits globais de chuva, com as mais altas taxas no nordeste amazônico e/ou no leste amazônico, associados com a ocorrência de eventos El Niño, principalmente durante verão e outono, quando normalmente essas áreas recebem a maior quantidade de precipitações. Quando as anomalias de TSM no Pacífico (positivas ou negativas) são fracas e quando o SATL é frio, é observado um padrão norte-sul de anomalias de chuvas com sinal contrário, com fraco déficit no norte da bacia amazônica e excesso de chuva no sul. TSM quente no NATL é também frequentemente associada com condições de seca, especialmente no sudeste da bacia amazônica. Excesso de chuva no leste da bacia amazônica ou na parte norte é associado, durante a estação chuvosa, com eventos La Niña e TSM quente no Atlântico Sul e anomalia negativa de TSM no Atlântico Norte. Porém, os autores mencionam que alguns padrões espaciais de precipitação não são geralmente associados a alguma anomalia de TSM, sendo eles: anomalias positivas no leste e sul da bacia amazônica durante o verão e anomalias positivas intensas em toda a bacia amazônica no inverno (Ronchail et al. 2002).

O estudo de Zebiak (1993) oferece um significado alternativo de identificação de um sinal “modo-acoplado” no Atlântico, ou seja, o Enos causaria uma “variabilidade climática no Atlântico”. Zebiak (1993) verificou a estrutura de circulação no Pacífico e Atlântico quando da ocorrência de Enos (TSM, vento) e verificou semelhanças no padrão de circulação; “nós interpretamos isso como uma forte evidência de um modo acoplado no Atlântico Equatorial, dinamicamente assemelhado ao Enos” (Zebiak, 1993, p. 1569). O Atlântico explicaria aproximadamente 30% da variabilidade do “modo-acoplado” e o Pacífico, o restante. “Assim, o modo acoplado do Equador, embora sem uma descrição completa, é um componente identificável e potencialmente importante da variabilidade do Atlântico” (Zebiak, 1993, p. 1570).

Porém, como há diferenças no padrão dos alísios e, conseqüentemente, na localização da termoclina para o Atlântico e o Pacífico, há diferenças substanciais na interação oceano-atmosfera (Zebiak, 1993, p. 1581). Além disso:

[...] o Atlântico Tropical difere do Pacífico Tropical por ter proporcionalmente mais variabilidade não tributável ao modo acoplado do equador. Um aspecto disto é o padrão de baixa frequência na escala da bacia tropical. Fatores contribuintes adicionais podem ser as interações na superfície terrestre e as forçantes de escala global relacionadas ao Enos (Zebiak, 1993, p. 1584).

Fu e outros (2001) usaram dados de observações e de reanálise (do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF), isolando oceanos para identificar a influência de cada um na sazonalidade da chuva na Amazônia. Primeiramente, isolaram a contribuição do continente e o resultado indicou que, de modo geral, a sazonalidade do aquecimento do continente controla largamente a precipitação das estações de solstício (deslocamento da ZCIT). Verificaram que a variabilidade da TSM tropical tanto do Atlântico quanto do Pacífico está fracamente associada à variabilidade da chuva da Amazônia durante as estações de solstício e mais fortemente associada à variabilidade das estações de equinócio e mais fortemente ainda à chuva da primavera austral sobre o leste da Amazônia. A influência do Atlântico se dá mais no sentido de uma célula térmica direta, provendo umidade por evaporação, que se dirige ao continente pelos ventos alísios (Fu et al., 2001). Os autores argumentam que a ação do Pacífico é muito mais complexa e que “não pode ser simplesmente explicada por um gradiente térmico entre o Pacífico Leste e o continente sul-americano” (Fu et al., 2001, p. 4013). As respostas são espacialmente muito variadas na Amazônia.

O Pacífico influencia mais a Amazônia devido à célula de Walker e, durante a primavera austral, devido também à resposta dos trens de onda estacionária de Rossby: “Assim, a relação entre a TSM do Pacífico e a chuva na Amazônia é complexa, com muitos fatores envolvidos” (Fu et al., 2001, p. 4024).

Com a técnica *singular value decomposition* (SVD), Uvo e Graham (1998) verificaram a influência do Pacífico e do Atlântico nas chuvas da América do Sul, numa análise simultânea (sem defasagem temporal). Quanto às análises do primeiro modo do SVD para o período de fevereiro a maio, considerando as médias de precipitação e TSM no Pacífico e Atlântico, Uvo e Graham (1998) concluíram que: no Pacífico, as anomalias de TSM equatorial, perto da linha de data, mostram significativa correlação negativa com as chuvas na maior parte do nordeste. No Atlântico, aparecem associações ainda mais fortes entre o padrão do gradiente meridional de toda a bacia norte-sul e a precipitação na maior parte do nordeste. Portanto, as áreas mais bem relacionadas com a chuva no nordeste são Pacífico Equatorial e Atlântico Norte e Sul.

Considerações finais

Esta revisão bibliográfica procurou relacionar os principais estudos sobre a dinâmica das chuvas na bacia amazônica brasileira. Com base nesses estudos, verifica-se que o padrão do regime de chuvas na região é monçônico, sendo as chuvas mais concentradas no verão, migrando com o deslocamento sazonal da ZCIT. O estabelecimento da ZCAS durante o verão se deve ao aumento da convecção local, ligando-se à umidade proveniente do Atlântico Tropical, o que concorre para grandes índices pluviométricos. As regiões que apresentam os maiores índices pluviométricos estão no noroeste e na foz da bacia amazônica.

A variabilidade interanual da chuva é definida por anomalias de TSM, por meio de teleconexões, principalmente, entre os oceanos Pacífico e Atlântico e pela própria dinâmica atmosférica da bacia amazônica. Anomalias no Pacífico, especialmente nas regiões de Niño, estão associadas a períodos com anomalias negativas de precipitação durante eventos El Niño e anomalias positivas de precipitação durante eventos La Niña. Essas anomalias atingem a região por meio de alterações na circulação da célula de Walker (alterando seu ramo subsidente), bem como por meio do padrão PNA.

O Atlântico também tem papel importante na modulação das chuvas na bacia amazônica, modulando tanto a entrada de umidade pelos alísios como o posicionamento da ZCIT. O GMAT positivo é definido por águas anormalmente quentes (frias) no Atlântico Norte Tropical (Atlântico Sul Tropical) e resulta em redução da precipitação na bacia amazônica, devido ao enfraquecimento dos alísios de nordeste, o que faz com que a ZCIT se posicione mais ao norte do que o normal (com o GMAT negativo, apresentam-se geralmente condições contrárias).

Além disso, verifica-se interação entre eventos de anomalias de TSM no Atlântico e Pacífico, tornando ainda mais complexa a definição da variabilidade das chuvas nessa região.

Assim, é premente a necessidade de mais estudos que visem compreender melhor os processos de teleconexão entre oceano e atmosfera e seus reflexos nas condições hidrológicas da bacia amazônica. Além desses processos, deve-se aprimorar a variabilidade da precipitação determinada pela interação local da atmosfera com a superfície. Especificamente, ressalta-se a necessidade de estudos diagnósticos e de modelagem numérica relativos ao impacto dos oceanos adjacentes na precipitação da bacia amazônica e na América do Sul; o aprimoramento dos estudos sobre o ENSO com diferentes intensidades e localizações no oceano Pacífico e seus reflexos na precipitação da América do Sul; a verificação da importância do aporte de umidade do Atlântico quando considerado o Pacífico em sua condição climatológica para a variabilidade da precipitação na bacia amazônica; estudos sobre interação e retroalimentação entre anomalias das temperaturas dos oceanos globais. Com isso, será possível compreender melhor a vazão dos rios para melhorar a qualidade de vida da população ribeirinha, que interage diretamente com os rios da região.

Referências

- AB'SÁBER, A. N. **Amazônia**: do discurso à práxis. São Paulo: Edusp, 2004.
- ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CAVALCANTI, I. F. A. Histórico de secas na Amazônia. In: BORMA, L. S.; NOBRE, C. A. **Secas na Amazônia**: causas e consequências. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 21-27.
- AMBRIZZI, T. **El Niño**: Oscilação Sul e teleconexões atmosféricas no hemisfério austral. Tese (Livre-Docência em Ciências Exatas e da Terra) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific Decadal Oscillation regimes. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 2017-2030, 2005.

- BETTS, A. K. et al. The Amazon boundary layer and mesoscale circulations. In: KELLER, M. et al. **Amazonia and global change**. Washington, American Geophysical Union, 2009. p. 163-181.
- BORMA, L. S. et al. Impactos dos eventos extremos de seca e cheia sobre os recursos hídricos amazônicos e ações da defesa civil. In: _____; NOBRE, C. A. **Secas na Amazônia: causas e consequências**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 305-337.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; DIAS, M. A. F.S. Intraseasonal large-scale circulations and mesoscale convective activity in tropical South America during the TRMM-LBA campaign. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, p. LBA9-1-LBA9-20, 2002.
- CARVALHO, L. M. V. et al. Moisture transport and intraseasonal variability in the South America monsoon system. **Climate Dynamics**, v. 34, p. 1-20, 2010.
- COELHO, C. A. S. **Anomalias de precipitação sobre a América do Sul e suas relações com a temperatura da superfície do mar do Pacífico e Atlântico durante eventos extremos de El Niño: Oscilação Sul**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- _____ et al. Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. **Meteorological Applications**, n. 19, p. 237-255, 2012.
- COVEY, D. L.; HASTENRATH, S. The Pacific El Niño phenomenon and the Atlantic circulation. **Monthly Weather Review**, v. 106, p. 1280-1287, 1978.
- CURTIS, S.; HASTENRATH, S. Trends of upper-air circulation and water vapour over equatorial South America and adjacent oceans. **International Journal of Climatology**, n. 19, p. 863-876, 1999.
- DIRZO, R.; RAVEN, P. H. Global state of biodiversity and loss. **Annual Review of Environment and Resources**, n. 28, p. 137-167, 2003.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima da Amazônia. **Climanálise**, p. 24-41, 1996. Número Especial 10 anos.
- FOLEY, J. A. et al. El Niño: Southern Oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 16, n. 4, p. 79/1-79/20, 2002.
- FU, R. et al. How do Tropical Sea Surface Temperatures influence the seasonal distribution of precipitation in the Equatorial Amazon? **Journal of Climate**, v. 14, p. 4003-4023, Oct. 2001.
- GPCC. GLOBAL PRECIPITATION CLIMATOLOGY CENTRE. Earth System Research Laboratory, [s.d.]. Disponível em: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcc.html#detail>. Acesso em: 27 dez. 2016.
- HASTENRATH, S. In search of zonal circulations in the Equatorial Atlantic sector from the NCEP-NCAR reanalysis. **International Journal of Climatology**, v. 21, p. 31-47, 2001.

- _____; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, p. 77-92, 1977.
- JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Active and break phases in the South America monsoon system. **Journal of Climate**, v. 15, p. 905-914, 2002.
- LIEBMANN, B.; ALLURED, D. Daily precipitation grids for South America. **Bulletin of American Meteorological Society**, v. 86, p. 1567-1570, 2005.
- MALHI, Y. et al. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. **Science**, v. 319, n. 5860, p. 169-172, 2008.
- MANTUA, N. The Pacific Decadal Oscillation. **Encyclopedia of Global Environmental Change**, 2002. Disponível em: http://www.atmos.washington.edu/~mantua/REPORTS/PDO/PDO_egec.htm. Acesso em: 10 mar. 2013.
- _____. et al. A Pacific decadal climate oscillation with impacts on salmon. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, p. 1069-1079, 1997.
- MARENGO, J. A. Interannual variability of surface climate in the Amazon Basin. **International Journal of Climatology**, v. 12, p. 853-863, 1992.
- MARENGO, J. A.; HASTENRATH, S. Case studies of extreme climatic events in the Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 6, p. 617-627, 1993.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. Clima da região Amazônica. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 197-212.
- MARENGO, J. A. et al. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, p. 495-516, Feb. 2008.
- MARENGO, J. A. et al. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 833-852, 2001.
- MÉLICE, J.-L.; SERVAIN, J. 2003. The Tropical Atlantic meridional SST gradient index and its relationships with the SOI, NAO and Southern Ocean. **Climate Dynamics**, n. 20, p. 447-464, 2003.
- MOLION, L. C. B. Climatologia Dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 2, n. 1, p. 107-117, 1987.
- _____. **[A climatonic study of the energy and moisture fluxes of the Amazonas basin with consideration of deforestation effects.](#)** Tese (Doutorado) – Universidade de Wisconsin, Madison, 1975.
- MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of drought in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiment with a general circulation model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 38, p. 2653-2675, Dec. 1981.
- NOAA. NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Earth System Research Laboratory, [s.d.]. Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcc.html>. Acesso em: 10 mar. 2016.

- NOBRE, C. A.; OBREGÓN, G. O.; MARENGO, J. A. Characteristics of Amazonian Climate: Main Features. In: KELLER, M. et al. (Org.). **Amazonia and global change**. Washington: American Geophysical Union, 2009. p. 149-162.
- NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, Wind stress, and rainfall over the Tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, p. 2464-2479, out. 1996.
- NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. C. Alternating Wet and Dry Conditions over South America during Summer. **Monthly Weather Review**, v. 125, p. 279-291, fev. 1997.
- PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. The relative importance of ENSO and Tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. **Climate Dynamics**, v. 17, p. 205-212, 2001.
- POVEDA, F.; MESA, O. J. Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and Large-Scale Ocean-Atmospheric Phenomena. **Journal of Climate**, v. 10, p. 2690-2702, 1997.
- RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. A.; HADA, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, n. 21, p. 26539-26551, 1996.
- RICHEY, J. E.; NOBRE, C. A.; DESER, C. Amazon Discharge and climate variability: 1903 a 1985. **Science**, v. 246, p. 101-103, 1989.
- RONCHAIL, J. et al. Interannual rainfall variability in the Amazon Basin and sea-surface temperatures in the Equatorial Pacific and the Tropical Atlantic oceans. **International Journal of Climatology**, v. 22, p. 1663-1686, 2002.
- ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, n. 115, p. 1606-1626, 1987.
- SERVAIN, J. Simple Climatic Indices for the Tropical Atlantic Ocean and some application. **Journal of Geophysical Research**, v. 96, n. C8, p. 15137-15146, ago. 1991.
- SILVA, E. R. L. D. G. **Associação da variabilidade climática dos oceanos com a vazão de rios da região Norte do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- SILVA, G. A. M. **Evolução dos eventos El Niño em fases distintas da oscilação decadal do Pacífico**. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T.; COELHO, C. A. S. Two ENSO episodes with reversed impacts on the regional precipitation of northeastern South America. **Meteorológica**, v. 29, n. 1/2, p. 5-16, 2004.

- SOUZA, E. B. et al. On the influence of the El Niño, La Niña and Atlantic Dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazônica**, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.
- UVO, C. B.; GRAHAM, N. E. The relationship between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly precipitation. **Journal of Climate**, v. 11, p. 551-563, abr. 1998.
- ZEBIAK, S. E. Air-Sea interaction in the Equatorial Atlantic Region. **Journal of Climate**, v. 6, p. 1567-1586, Aug. 1993.
- ZENG, N. Seasonal cycle and interannual variability in the Amazon hydrologic cycle. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n. D8, p. 9097-9106, 1999.