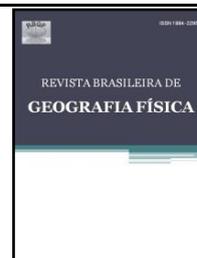




# Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)

## Análise de tendência da precipitação diária na Amazônia Brasileira

Eliane Barbosa Santos<sup>1</sup>, Paulo Sergio Lucio<sup>2</sup>, Cláudio Moisés Santos e Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doutora em Ciências Climáticas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). E-mail: [elianbs@gmail.com](mailto:elianbs@gmail.com). <sup>2,3</sup>Professor do Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas/Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). E-mails: [pslucio@ccet.ufrn.br](mailto:pslucio@ccet.ufrn.br); [claudiomoises@ccet.ufrn.br](mailto:claudiomoises@ccet.ufrn.br).

Artigo recebido em 29/03/2015 e aceite em 28/12/2015

### RESUMO

Os eventos de precipitação extrema vêm causando grandes prejuízos sociais e econômicos às regiões atingidas. Na Amazônia, esses eventos podem causar importantes impactos principalmente aos núcleos de ocupação populacional nas margens dos seus inúmeros rios, pois quando há elevação do nível dos rios, em geral, têm-se inundações e enchentes. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar as tendências nas séries temporais de precipitação diária em sub-regiões da Amazônia Brasileira. Para tanto, foram utilizados os dados diários de precipitação da rede hidrometeorológica gerenciada pela Agência Nacional de Água e do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia, para o período de 1983 a 2012. As sub-regiões da Amazônia foram representadas por séries sintéticas, que consiste em usar os valores máximos diários de cada sub-região. As tendências foram calculadas através do teste de Mann-Kendall e da técnica de suavização de LOWESS (*locally weighted regression scatter-plot smoothing*). Foram analisados os dias com precipitação acima dos quantis 50% e 95%. Os resultados mostraram tendências positivas e negativas, no entanto, nem todas as tendências apresentaram significância estatística. Foram encontradas tendências significativas no aumento do número de dias com precipitação acima dos quantis 50% e 95% nas sub-regiões do noroeste da Amazônia. Ao mesmo tempo, houve diminuição do número de dias com precipitação acima do quantil 95% em uma sub-região do sul da Amazônia. No método de LOWESS, também foi possível verificar tendências positivas no noroeste da Amazônia, sugerindo aumento de eventos de precipitação extrema nessa região.

**Palavras-chave:** regiões pluviometricamente homogêneas, precipitação máxima, testes não paramétricos.

### Trend analysis of daily precipitation in the Brazilian Amazon

### ABSTRACT

Extreme precipitation events have been causing great social and economic losses in the affected regions. In the Amazon, these events can have serious impacts, primarily for populations living on the margins of its countless rivers, because when water levels are elevated, floods and/or inundations are generally observed. Thus, the objective of this study is to evaluate trends in the time series of daily precipitation into sub-regions of the Brazilian Amazon. The study was performed based on daily rainfall data of the hydrometeorological network managed by the National Water Agency (*Agência Nacional de Água*) and the Bank of Meteorological Data for Education and Research of the National Institute of Meteorology (*Instituto Nacional de Meteorologia*), from 1983-2012. Synthetic series to represent the homogeneous sub-regions were Created, which consists of using the daily maximum values of each sub-region. The trends were calculated using the Mann-Kendall test and the smoothing technique LOWESS (*locally weighted regression scatter-plot smoothing*). Days with precipitation above the 50% and 95% quintiles were analyzed. The results showed positive and negative trends, however, not all trends were statistically significant. Significant trends were found in the increasing number of days with precipitation above the 50% and 95% quantiles in sub-regions of northwestern Amazonia. At the same time, there was a decrease in the number of days with precipitation above the 95% quantile in a sub-region of southern Amazonia. In LOWESS method, we could also verify positive trends in northwest Amazonia, suggesting an increase of intense precipitation events in this region.

**Key words:** homogeneous rainfall regions, maximum precipitation, non parametric tests.

### Introdução

A Amazônia Brasileira localiza-se na região equatorial entre 5°N-18°S e 42°W-74°W. Envolve nove estados, todos os sete da região Norte (Acre,

Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), um do Centro-Oeste (Mato Grosso), e um do Nordeste (parte do estado do Maranhão, a oeste do meridiano de 44°), totalizando uma área de aproximadamente 5.217.423 km<sup>2</sup> correspondente a cerca de 61% do território Brasileiro (de acordo com a Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia - SUDAM). Devido a sua grande extensão territorial esta região apresenta diferentes características meteorológicas e climáticas (Santos et al., 2014). Essas diferenças estão relacionadas a efeitos topográficos e à presença de sistemas meteorológicos que atuam em diferentes escalas de tempo. Além disso, são modulados por mecanismos de interação na interface oceano-atmosfera, que podem promover totais pluviométricos acima e/ou abaixo da média climatológica (De Souza et al., 2005). Os principais mecanismos tropicais de circulação oceano-atmosfera que modulam a precipitação nessa região, são: El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre o Oceano Pacífico e o gradiente meridional inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o oceano Atlântico (Nobre e Shukla, 1996; De Souza et al., 2000), que atuam em suas diferentes fases favorecendo ou desfavorecendo a atividade convectiva em áreas tropicais. Logo, diversos eventos de precipitação extrema estão associados às anomalias de TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico (Marengo et al., 2008(a); Marengo et al., 2008(b); Marengo, 2011; Vale et al., 2011; Sena et al., 2012; Coelho et al., 2012, Santos et al., 2012).

As maiores enchentes registradas na Amazônia ocorreram em 1954, 1989, 1999, 2009, 2011 e 2012 (Marengo et al. 2013b). As principais causas dessas enchentes foram o evento La Niña e/ou águas anormalmente quentes do oceano Atlântico Tropical Sul (Vale et al., 2011; Sena et al., 2012; Marengo et al. 2013(a); 2013(b); Satyamurty et al., 2013). Santos et al., (2012) estudando três estações localizadas em Manaus e na região circunvizinha, para o período de 1971 a 2007 identificam que o aumento das anomalias positivas de TSM no Oceano Pacífico Equatorial leva a um aumento dos dias consecutivos secos e diminuição dos eventos extremos de chuva e da precipitação total sobre a bacia amazônica.

O regime pluviométrico de várias regiões da Amazônia vem sofrendo alterações devido ao aumento dos eventos extremos de precipitação, tanto devido a períodos prolongados com e sem chuva, quanto ao aumento dos eventos com precipitações intensas. Em 2014 e 2015, dois estados, Acre e Rondônia, decretaram estado de calamidade pública devido às inundações causadas por chuvas fortes nas nascentes de seus rios (Rio

Acre e Madeira). Segundo Gloor et al., (2013), desde o final do século XX (começando aproximadamente em 1990), houve uma grande intensificação do ciclo hidrológico amazônico, com um aumento do deságue durante a estação chuvosa e eventuais secas severas. Brito et al., (2014) estudaram diferentes tipos de eventos extremos de precipitação na Amazônia, analisando frequência, intensidade e a contribuição para a climatologia da precipitação acumulada, para o período de 1998 a 2013, e observaram que os extremos de precipitação produziram mais chuvas nos últimos 7 anos, atingindo um máximo durante 2011-2012. Contudo, Marengo (2009(a)) a partir de uma análise estatística das séries hidrometeorológicas, concluiu que não há uma tendência sistemática de longo prazo para condições secas ou úmidas, desde 1920. Satyamurty et al. (2009) não constataram tendências significativas na Bacia Amazônica como um todo, afirmando que a precipitação na região não passa por mudanças significativas, exceto em algumas estações individuais.

No âmbito da modelagem climática, investigações científicas sugerem que as mudanças no clima atual estão resultando em eventos de precipitação mais frequentes e que a interferência do homem no meio ambiente vem intensificando consequências destes eventos, com ações como o desmatamento de encostas e a construção civil em áreas de risco (Marengo, 2009(b)). Esses eventos vêm causando grandes prejuízos sociais e econômicos às regiões atingidas, principalmente em cidades cuja infraestrutura não é adequada para evitar enchentes e aquelas que possuem habitações em locais de risco, como encostas de montanhas, vales de rios e córregos. Na Amazônia, os eventos de precipitação extrema causam importantes impactos principalmente aos núcleos de ocupação populacional nas margens dos seus inúmeros rios, pois as enchentes e inundações impossibilitam o cultivo de plantações, impossibilitam inclusive a saída e o acesso às comunidades para a obtenção de mantimentos e de receber ajuda governamental.

As expectativas desses extremos continuar, no futuro, são altas, mesmo levando em conta as incertezas (Marengo et al., 2013(b)). Em 2014 e em 2015, dois estados, Acre e Rondônia, decretaram estado de calamidade pública devido às inundações causadas por chuvas fortes nas nascentes de seus rios (Rio Acre e Madeira). Em 2014, a precipitação foi cerca de 80-100% acima do normal da região (Espinoza et al., 2014). Diante do exposto, o objetivo deste estudo é avaliar se existe tendência no número de dias com precipitação extrema nas sub-regiões da Amazônia Brasileira.

**Material e métodos**

*Dados*

Utilizamos dados diários de precipitação obtidos junto à rede hidrometeorológica gerenciada pela Agência Nacional de Água (ANA) e ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O conjunto de dados inicial foi composto de 1129 pluviômetros, mas ao aplicar as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization - WMO*), estabelecidas no Documento Técnico WMO-TD/Nº. 341, para o período de 1983 a 2012, restaram 305. Este documento recomenda descartar o mês que apresentar algum valor diário faltante e para calcular as normais climatológicas, séries mensais com dados faltantes em 3 ou mais meses

consecutivos ou mais que 5 meses alternados também devem ser descartadas.

*Métodos*

Os testes de tendência da precipitação diária na Amazônia Brasileira foram realizados para as regiões pluviometricamente homogêneas determinadas por Santos et al., (2014). Esses autores usaram o método hierárquico aglomerativo de Ward e como medida de similaridade a distância euclidiana e, com base na normal climatológica de 305 estações pluviométricas, identificaram seis sub-regiões pluviometricamente homogêneas (Figura 1): dois grupos da região sul da Amazônia

Brasileira; quatro grupos na região norte, sendo dois em áreas litorâneas e dois na porção noroeste.

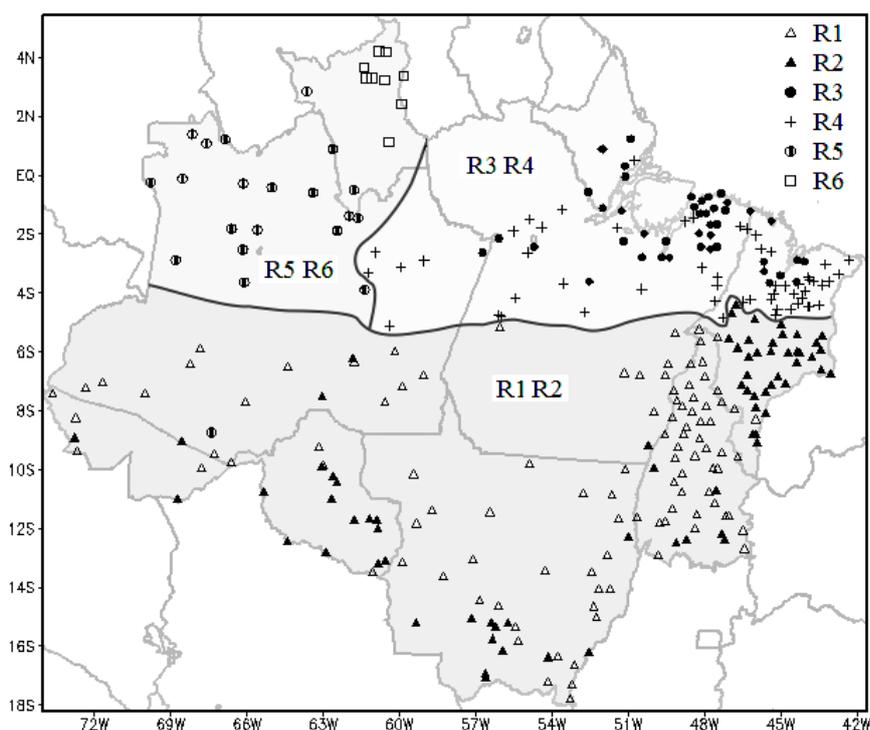


Figura 1. Distribuição espacial das estações utilizadas neste trabalho, para as seis sub-regiões pluviometricamente homogêneas da Amazônia Brasileira (R1, R2, R3, R4, R5 e R6).

Fonte: Adaptada de Santos et al. (2014).

Segundo Santos et al., (2014) essas sub-regiões são suficientes para representar a precipitação da Amazônia Brasileira em padrões e intensidades diferentes. No presente estudo nós usamos séries

sintéticas para representar as sub-regiões, que foram construídas com os valores máximos diários de cada sub-região (Tabela 1).

Tabela 1. Modelo de construção das séries sintéticas.

Ano	Mês	Dia	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4	Série sintética
1983	1	1	12,4	49,2	85,2	7,5	85,2
1983	1	2	38,2	19,8	0	8,4	38,2
1983	1	3	8,6	7,8	10,2	0	10,2

Primeiramente, selecionamos 50% (q50%) e 5% (q95%) dos dados localizados na cauda superior das séries sintéticas (máximos diários) de cada sub-região. Em seguida, fizemos uma análise descritiva desses dados através do gráfico *box plot*, que permite avaliar a simetria dos dados e a sua dispersão, através dos valores mínimos, máximos, mediana e quartis. Posteriormente, determinamos a quantidade de dias com precipitação acima do q50% e do q95% em cada ano, e aplicado o teste não paramétrico Mann-Kendall (MK), verificou-se a ocorrência de tendência positiva ou negativa. Segundo Goossens & Berger (1986) o teste de MK é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas.

O teste de tendência de MK (Mann, 1945; Kendall, 1975), consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial, contando o número de vezes em que os termos restantes são maiores que o valor analisado. O método descreve a tendência de uma série temporal de dados, sendo apropriado para casos em que a tendência possa ser assumida como monotônica; portanto, não apresentam qualquer ciclo sazonal ou outra tendência nos dados.

Seja as observações  $x_1, x_2, \dots, x_n$  de uma série temporal. No teste de MK, deseja-se testar a hipótese nula,  $H_0$ , de não existência de tendência, ou seja, as observações  $x_n$  são aleatoriamente ordenadas no tempo, contra a hipótese alternativa,  $H_1$ , em que há uma tendência monotônica de aumento ou redução. O teste estatístico de MK é determinado da seguinte forma:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (1)$$

em que:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sinal}(x_j - x_k) \quad (2)$$

sendo  $x_j$  e  $x_k$  valores sequenciais,  $n$  é o número de observações e, o sinal obtido da seguinte forma:

$$\text{sinal}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & \text{se } (x_j - x_k) > 0 \\ 0, & \text{se } (x_j - x_k) = 0 \\ -1, & \text{se } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Também foi utilizada a equação:  $\tau = 2S / [n(n-1)]$ , em que  $\tau$  é o tau de MK e  $s$  é o sinal.

Kendall (1975) mostra que  $S$  é normalmente distribuída, e a média ( $\mu$ ) e a variância ( $\sigma^2$ ) de  $S$ , para uma situação na qual pode haver valores iguais de  $x$ , são calculadas por:

$$\mu = 0 \quad (4)$$

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (5)$$

em que  $P$  é o número de grupos com observações iguais na série temporal e  $t_j$  é o número de observações iguais no grupo  $j$ .

Em um teste bilateral, rejeitamos a hipótese nula,  $H_0$ , para um certo nível de significância  $\alpha$ , se dado o valor do quantil  $Z_{\alpha/2}$  de uma distribuição normal padrão temos  $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ . O sinal da estatística de MK indica se a tendência é crescente (MK>0) ou decrescente (MK<0).

Além do teste de MK, a tendência dos dados foi representada por uma curva ajustada da técnica não paramétrica de suavização de LOWESS (locally weighted regression scatter-plot smoothing) (Cleveland et al., 1979; Chambers et al., 1983), que consiste em suavizar os valores da série através de sucessivos ajustes de retas de mínimos quadrados ponderados.

**Resultados e discussão**

Apresenta-se na Figura 2 o *box plot* das séries sintéticas (máximos diários) acima do q50% ( $P>q50\%$ ) e do q95% ( $P>q95\%$ ). Observa-se através da largura (ou altura) das caixas pouca variabilidade dos dados, principalmente para  $P>q95\%$  (Figura 2b). Também podemos notar a presença de muitos *outliers* (eventos extremos), em todas as sub-regiões. No entanto, mesmo com a presença de muitos *outliers*, a média (medida influenciada pelos *outliers*) apresenta valores próximos da mediana (posição central da série de dados), como pode ser observado na Figura 2 e

Tabela 2. Indicando assim, que a distribuição dos dados é aproximadamente simétrica.

Analisando os 50% ( $P>q50\%$ ) e 5% ( $P>q95\%$ ) dos dados localizados na cauda superior das séries sintéticas (máximos diários), nota-se que os menores valores são observados no noroeste da Amazônia (R5 e R6) (Tabela 2). Esses resultados estão de acordo com Santos et al. (2015(a)), que estimando o período de retorno das máximas precipitações diárias, das seis sub-regiões da Amazônia brasileira, encontraram os menores valores estimados no noroeste (R5 e R6), com total diário de 97.9 mm ao menos uma vez ao ano e, os maiores valores estimados no sul (R1 e R2) e litoral da Amazônia (R3 e R4), com total diário de 179.8 e 181.7 mm ao menos uma vez ao ano.

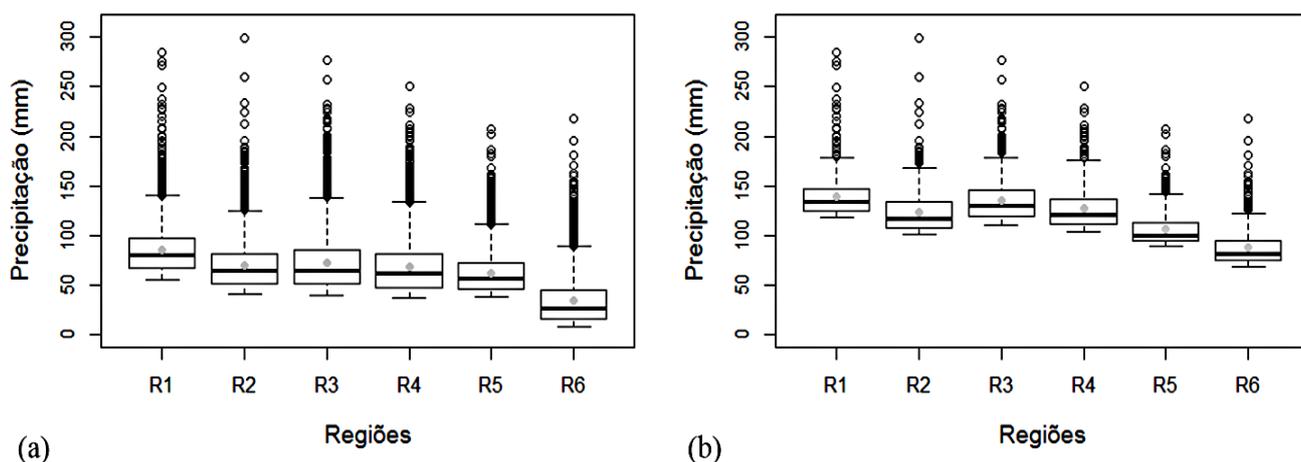


Figura 2. Box plot: (a) Precipitação acima do quantil 50% ( $p>q50\%$ ) e (b) Precipitação acima do quantil 95% ( $P>q95\%$ ), para as seis sub-regiões pluviometricamente homogêneas da Amazônia Brasileira. Os primeiros e terceiros quartis estão nas extremidades da caixa, a linha central marca a mediana e os círculos fechados (em escala de cinza) são as médias. Os “bigodes” representam os valores mínimos e máximos a menos que existam *outliers*. Os círculos abertos representam os *outliers*.

Tabela 2. Estatística descritiva para os valores de precipitação acima do quantil 50% e 95%.

	Mínimo ( $P>q50\%$ )	Mediana ( $P>q50\%$ )	Média ( $P>q50\%$ )	Mínimo ( $P>q95\%$ )	Mediana ( $P>q95\%$ )	Média ( $P>q95\%$ )	Máxima ( $P>q95\%$ )
R1	55.5	80.0	85.3	117.7	134.0	139.6	285.3
R2	40.3	64.0	69.7	101.0	116.3	123.7	299.6
R3	39.6	65.0	72.3	110.0	129.4	135.8	277.0
R4	36.3	61.5	68.2	103.8	121.2	127.3	250.0
R5	38.1	56.4	61.8	88.8	99.9	106.3	207.5
R6	8.5	26.7	34.0	68.0	82.0	88.11	218.1

O R6, onde foi encontrado os menores valores, é formado por estações do Estado de Roraima (todas do hemisfério norte), apresentando

características climáticas do hemisfério norte, com máximas anuais no inverno austral, como observado por Rao e Hada (1990), Reboita et al.,

(2010) e Santos et al. (2015(b)). No R6 o limiar q50% é de 8,5 mm e nas demais sub-regiões o limiar q50% foi maior que 38 mm. O R5 (região do noroeste e nor-noroeste do Estado do Amazonas) possui precipitações elevadas durante o ano todo, não apresentando período de seca. No entanto, mesmo com precipitações elevadas durante o ano todo, os máximos diários encontrados no R5 são menores que os observados no R1, R2, R3 e R4. Os R5 e R6 apresentam limiares q95% de 88.8 e 68.0 mm, enquanto as medianas são 99.9 e 82.0 mm, respectivamente (Figura 2b). Nas demais sub-regiões, o limiar q95% foi maior que 100 mm e a mediana maior que 120 mm.

O R1 (sul da Amazônia) é a sub-região que apresenta os máximos diários mais elevados. No entanto, o maior valor encontrado (299.6 mm), no período de 1983 a 2012, foi no R2, que também faz parte do sul da Amazônia. Essas sub-regiões são influenciadas pelo Sistema de Monção da América do Sul (Marengo et al., 2012), que modula a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Zhou & Lau, 1998; Carvalho et al., 2004) e sua variabilidade espacial e temporal têm papel fundamental para a distribuição dos extremos de chuvas sobre as mesmas (Carvalho et al., 2002; 2004; Grimm, 2011; De Oliveira Vieira et al.,

2013; Quadro et al., 2012). Esses resultados, também estão em concordância com Arvor et al., (2013), que verificaram que a duração do período chuvoso no sul da Amazônia está relacionada principalmente com a data de início, que ocorre de acordo com um eixo de noroeste para sudeste, relacionado a ZCAS.

As sub-regiões do litoral da Amazônia (R3 e R4) apresentaram precipitação com intensidade semelhante as encontradas no sul da Amazônia. No entanto, os sistemas meteorológicos que condicionam o regime pluviométrico nessas sub-regiões não são os mesmos do sul da Amazônia. A distribuição de chuva nessas sub-regiões é resultado da atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (De Souza et al., 2005; De Souza & Rocha, 2006) e da formação de Linhas de Instabilidade (LI) (Alcântara et al., 2011; Santos e Silva, 2013), mas nem todas as LI propagam-se para o interior da Amazônia, o que pode justificar a precipitação na sub-região 4 ser menos intensa em comparação a 3.

Na Tabela 3, lista-se os resultados do teste estatístico de Mann-Kendall. O teste foi aplicado ao número de dias com  $P > q50\%$  e  $P > q95\%$ . Assim, podemos identificar se os eventos de precipitação extrema estão aumentando ou diminuindo.

Tabela 3. Teste de Mann-Kendall

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
tau de Kendall (q50%)	-0.12	-0.06	-0.03	0.07	0.38***	0.29**
tau de Kendall (q95%)	-0.24*	-0.12	-0.15	0.08	0.35***	0.24*

\*significativos a 10%; \*\*significativos a 5%; \*\*\*significativo a 1%.

De uma forma geral, pode-se observar tendências contrastantes entre o sul e o norte da Amazônia. As sub-regiões do sul (R1 e R2) apresentam tendências negativas sendo significativa apenas em R1 para o número de dias com  $P > q95\%$ . Nas sub-regiões da parte norte (R3, R4, R5, e R6) observa-se predominância de tendência positiva, com exceção do R3, que é negativa, mas não significativa. A tendência positiva em R4 está de acordo com Santos et al., (2012), que estudando três estações localizadas em Manaus (estação pertencente a R4) e na região circunvizinha, para o período de 1971 a 2007, encontraram sobre a zona urbana de Manaus aumento no número de dias no ano com precipitação superior a 50 mm, assim como, na precipitação acumulada em um período de cinco dias consecutivos e no número de dias úmidos.

No norte da Amazônia, as tendências foram significativas apenas em R5 e R6, principalmente em R5, onde as significâncias estatísticas são de

1%. Esses resultados mostram que as tendências nessas regiões são não homogêneas, indicando que muitas alterações têm caráter regional, e não estão relacionadas a uma mudança global do clima.

Nas Figura 3 e 4 são mostradas o número de dias com  $P > q50\%$  (Figura 3) e  $P > q95\%$  (Figura 4) e a curva de tendência ajustado pelo método LOWESS. As sub-regiões R5 e R6 mostram tendências de aumento do número de dias com  $P > q50\%$  e  $P > q95\%$ . Enquanto as sub-regiões R1, R2, R3 e R4 não apresentam sinais de tendências de aumento ou diminuição dos eventos de precipitação.

As tendências negativas no sul da Amazônia sugerem que o “Arco do Desmatamento”, que é uma faixa de desmatamento que se estende do Maranhão a Rondônia, passando pelo leste do Estado do Pará e pelos Estados do Tocantins e Mato Grosso, tem influenciado no ciclo hidrológico da região de forma significativa. Esses resultados estão coerentes com alguns estudos, que

utilizando modelos climáticos para simular as mudanças climáticas causadas pelo desmatamento da Amazônia, encontraram que a precipitação média diminui com o aumento do desmatamento, e a distribuição da precipitação é afetado tanto pelo tipo de cobertura da superfície quanto pela topografia (Ramos da Silva & Avissar, 2006; Ramos da Silva et al., 2008). Segundo Durieux et al., (2003) ocorre mudanças significativas nas características de cobertura de nuvens sobre áreas desmatadas, considerando as variações sazonais.

O contraste das tendências entre o sul e norte da Amazônia estão de acordo com Marengo (2004),

que estudando os dados mensais de precipitação entre o período de 1929 a 1998, não encontrou uma tendência clara de aumento ou redução nas chuvas, mas observou uma tendência de variações interdecadais contrastantes entre o sul e norte da Amazônia. Entretanto, encontram tendências positivas no sul da Amazônia e negativas no norte. Satyamurty et al., (2009) analisando dados mensais de precipitação de 1920 ou 1930 até 2007, também não constataram tendências significativas na Bacia Amazônica como um todo, mas encontraram tendências significativas em algumas estações individuais.

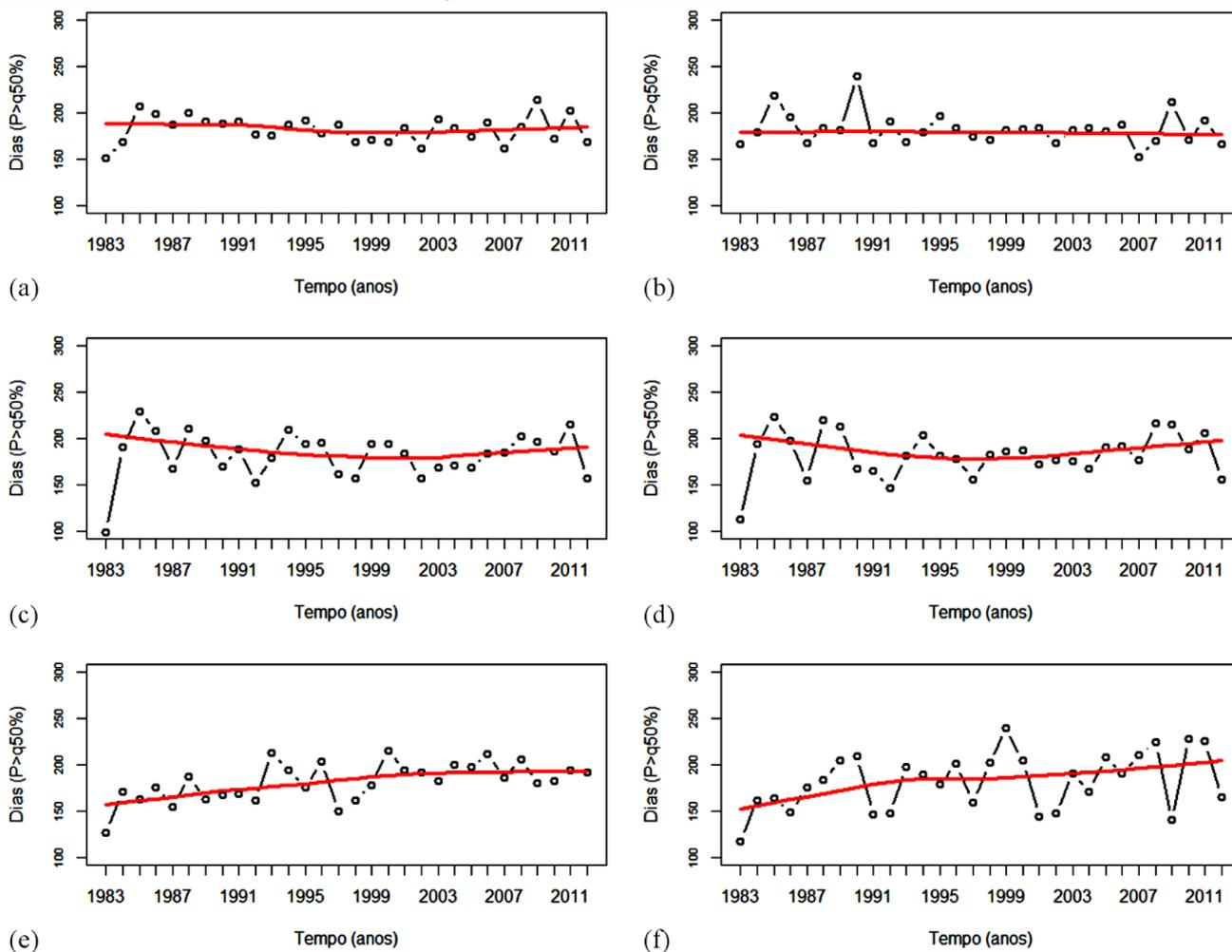


Figura 3. Número de dias com precipitação acima do quantil 50%, para as seis sub-regiões pluviometricamente homogêneas da Amazônia Brasileira: (a) R1, (b) R2, (c) R3, (d) R4, (e) R5 e (f) R6. A linha vermelha descreve a tendência segundo o método de LOWESS.

Segundo Marengo (2009(a)), desde 1920 não há uma tendência sistemática de longo prazo para condições secas ou úmidas. No entanto, podemos verificar através do teste de Mann-Kendall e das Figuras 3 e 4 que existe evidencia de aumento de eventos de precipitação extrema no noroeste da Amazônia (R5 e R6).

Os resultados observados na Figura 4 estão parcialmente de acordo com Brito et al., (2014). Analisando somente o período de 1998 a 2012, podemos notar que nos últimos anos a quantidade de dias com extremos de precipitação ( $P > q95\%$ ) aumenta. Entretanto, não observamos um máximo durante 2011-2012, como encontrado por Brito et al., (2014). Esse máximo deve estar relacionado a

intensidade da precipitação e não a quantidade de eventos com precipitações intensas.

A tendência das séries temporais depende do conjunto de dados utilizado, com isso, as tendências podem ser variáveis quando observadas sob diferentes períodos de duração, o que justifica o alto grau de incertezas. Neste estudo, a precipitação mostrou tendência negativa (sul) e

positiva (noroeste), mas os sinais não foram claro e nem apresentaram significância estatística em todas as tendências. Entretanto, se as tendências forem confirmadas, o noroeste da Amazônia sofrerá com o aumento de precipitação intensa, e o sul, com o aumento de eventos extremos de secas, o que pode levar a população às perdas materiais e/ou humanas.

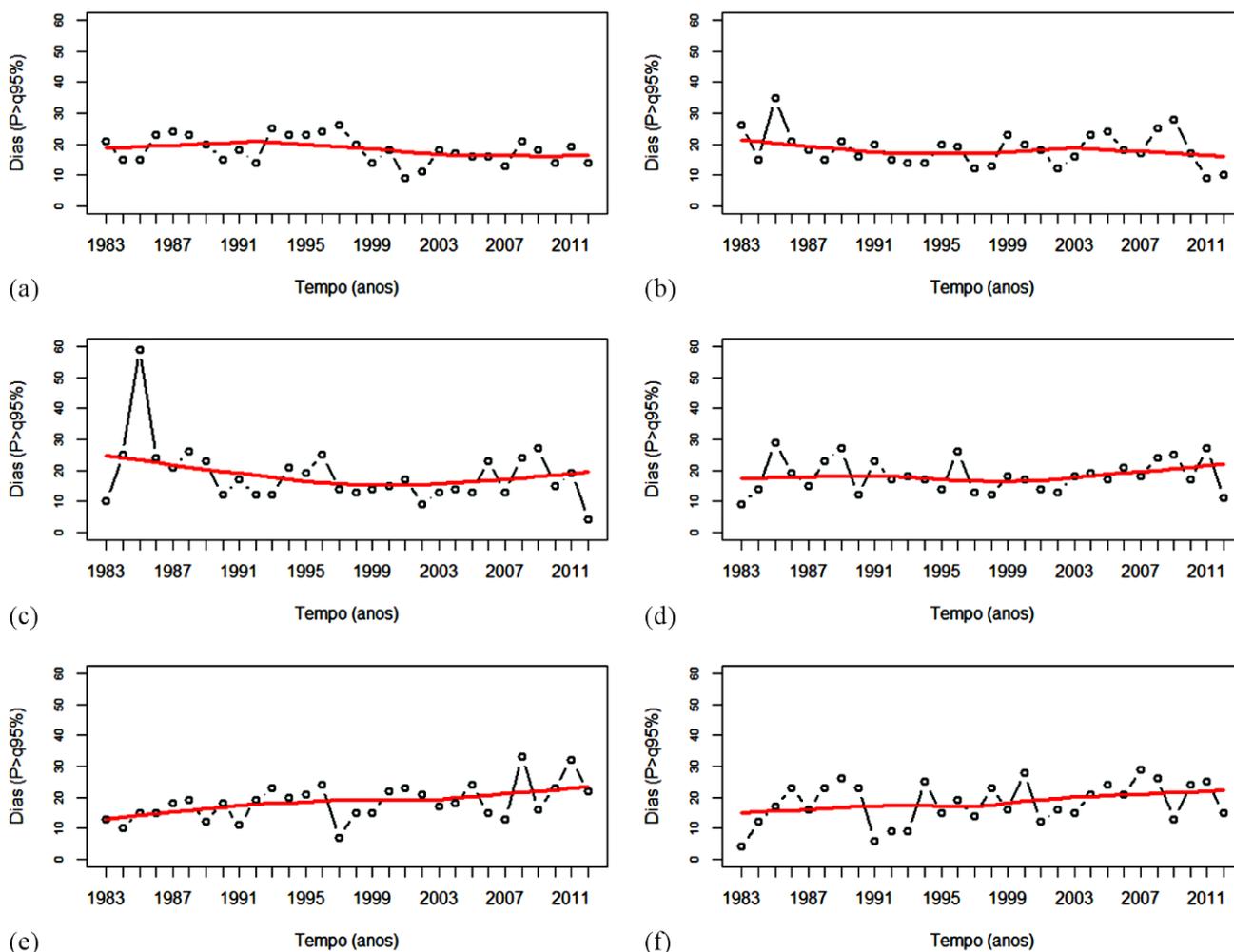


Figura 4. Número de dias com precipitação acima do quantil 95%, para as seis sub-regiões pluviometricamente homogêneas da Amazônia Brasileira: (a) R1, (b) R2, (c) R3, (d) R4, (e) R5 e (f) R6. A linha vermelha descreve a tendência segundo o método de LOWESS.

Em concordância com os registros de eventos de precipitação extrema na Amazônia (Marengo et al. 2013(a); 2013(b); Santos et al. 2015(a); 2015(b)), a maior parte da precipitação anual ocorreu entre as estações de verão e outono austral, com exceção do R6 (Tabelas 4 e 5). Os resultados mostrados na Tabela 5 fortalece a hipótese que as precipitações mais intensas ocorrem no período chuvoso de sua sub-região. Sendo causados pela

interação dos fenômenos meteorológicos com os mecanismos oceano-atmosfera.

No sul (R1 e R2) e litoral (R3 e R4) da Amazônia mais de 70% das precipitações acima do quantil 50% ocorreram no verão e outono austral. Nas precipitações acima do quantil 95%, observa-se que 77 e 88% das precipitações também ocorrerem nessas estações, no sul e litoral da Amazônia, respectivamente. No R5 (região do noroeste e nor-noroeste do Estado do Amazonas),

as precipitações estão bem distribuídas entre as estações do ano, com maior ocorrência no outono austral. No R6, mais de 40% das precipitações acima do quantil 50 e 95% foram registradas no inverno austral.

De maneira geral, nota-se no sul e litoral da Amazônia, que a menor quantidade de dias com precipitação acima do quantil 50 e 95% são registradas no inverno austral, período que a ZCAS geralmente está ausente (Carvalho et al., 2004) e a ZCIT desloca-se para o norte, deslocando as fortes atividades convectivas para aquelas regiões (De Souza et al., 2006; Chen et al., 2008; De Souza et al., 2009; Moura e Vitorino, 2012).

Os resultados encontrados neste estudo estão em conformidade com Santos et al. (2015(b)), que

estudando as máximas precipitações diárias na Amazônia, encontraram precipitações diárias mais elevadas no verão e outono austral e os menores valores no inverno austral, com exceção do noroeste, onde os valores mais elevados foram observados no inverno e outono austral. Esses autores também estimaram o período de retorno das máximas precipitações diárias, e de acordo com os resultados, espera-se no verão ou outono austral totais diários de 146.1 e 143.1 mm ao menos uma vez ao ano, no sul e litoral da Amazônia, respectivamente.

Tabela 4. Número de dias com precipitação acima do quantil 50%, para as seis sub-regiões pluviometricamente homogêneas da Amazônia Brasileira (R1, R2, R3, R4, R5 e R6), nas estações no ano: Verão austral (DJF), Outono austral (MAM), Inverno austral (JJA) e Primavera austral (SON).

	DJF		MAM		JJA		SON		TOTAL	
	Dias (P>q50%)	%	Dias (P>q50%)	%						
R1	2226	40,6	1657	30,2	195	3,6	1405	25,6	5483	100
R2	2256	41,1	1687	30,8	201	3,7	1342	24,5	5486	100
R3	1773	32,4	2268	41,4	921	16,8	511	9,3	5473	100
R4	1854	33,9	2221	40,6	646	11,8	755	13,8	5476	100
R5	1323	24,3	1781	32,7	1230	22,6	1120	20,5	5454	100
R6	615	11,2	1417	25,9	2313	42,3	1128	20,6	5473	100

Tabela 5. Número de dias com precipitação acima do quantil 95%, para as seis sub-regiões pluviometricamente homogêneas da Amazônia Brasileira (R1, R2, R3, R4, R5 e R6), nas estações no ano: Verão austral (DJF), Outono austral (MAM), Inverno austral (JJA) e Primavera austral (SON).

	DJF		MAM		JJA		SON		TOTAL	
	Dias (P>q95%)	%	Dias (P>q95%)	%						
R1	261	47,7	161	29,4	3	0,5	122	22,3	547	100
R2	257	47,6	165	30,6	4	0,7	114	21,1	540	100
R3	195	35,8	299	54,9	32	5,9	19	3,5	545	100
R4	199	36,4	284	51,9	15	2,7	49	9,0	547	100
R5	148	27,0	214	39,1	90	16,4	96	17,5	548	100
R6	29	5,3	182	33,4	258	47,3	76	13,9	545	100

### Conclusões

Este trabalho consistiu na análise de tendência do número de dias com precipitação acima do

quantil 50% e do quantil 95%, para o período de 1983 a 2012.

As tendências foram avaliadas através do teste de Mann-Kendall e do método de LOWESS. Os

resultados obtidos mostraram predominância de tendência negativa no sul da Amazônia e positiva no noroeste. No entanto, nem todas as tendências apresentaram significância estatística.

As tendências positivas significativas foram encontradas nas duas sub-regiões do noroeste da Amazônia, para o número de dias com precipitação acima do quantil 50% e do quantil 95%, com significância de 1% no R5 e 5% e 10% no R6. Também foi encontrada tendência negativa significativa a 10% em uma sub-região do sul da Amazônia, mas somente para o número de dias com precipitação acima do quantil 95%.

A tendência negativa no sul da Amazônia sugere que o “Arco do Desmatamento” tem influenciado no ciclo hidrológico da região de forma significativa.

A tendência positiva no noroeste da Amazônia sugere aumento de eventos de precipitação extrema. Eventos que podem causar nessa região graves problemas, como aumento de inundações, alagamentos e enxurradas, o que pode levar a população perdas materiais e/ou humanas.

Este estudo pode contribuir em um planejamento estratégico melhor, podendo minimizar os transtornos ocasionados pelos extremos de precipitação. No entanto, ainda é preciso um estudo mais detalhado, pois as regiões homogêneas são de grande extensão territorial, sendo necessário um estudo das estações individuais.

## Referências

- Alcântara, C. R.; Silva Dias, M. A. F.; Souza, E. P.; Cohen, J. C. P. 2011. Verification of the role of the low level jets in Amazon squall lines. *Atmospheric Research* 100, 36-44. DOI:10.1016/j.atmosres.2010.12.023.
- Arvor, D.; Dubreuil, V.; Ronchail, J.; Simões, M.; Funatsu, B. M. 2013. Spatial patterns of rainfall regimes related to levels of double cropping agriculture systems in Mato Grosso (Brazil). *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.3863.
- Brito, A. L.; Veiga, J. A. P.; Yoshida, M. C. 2014. Extreme rainfall events over the Amazon basin produce significant quantities of rain relative to the rainfall climatology. *Atmospheric and Climate Sciences* 4, 179-191. DOI: 10.4236/acs.2014.42021.
- Carvalho, L. M. V.; Jones, C.; Silva Dias, M. A. F. 2002. Intraseasonal large-scale circulations and mesoscale convective activity in tropical South America during the TRMM-LBA campaign. *Journal of Geophysical Research*, 107(D20): LBA 9-1–LBA 9-20. DOI: 10.1029/2001JD000745.
- Carvalho, L. M. V.; Jones, C.; Liebmann, B. 2004. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate* 17, 88–108. DOI: 10.1175/1520-0442(2004)017<0088:TSACZ>2.0.CO;2.
- Chambers, J.; Cleveland, W.; Kleiner, B.; Tukey, P. 1983. *Graphical Methods for Data Analysis*. Pacific Grove: Wadsworth / Cole.
- Chen, B.; Lin, X.; Bacmeister, J. T. 2008. Frequency distribution of daily ITCZ patterns over the western–central Pacific. *Journal of Climate* 21, 4207-4222. DOI: 10.1175/2008JCLI1973.1
- Cleveland, W. S. 1979. Robust Locally weighted regression and smoothing scatterplots, *Journal American Statistical Association* 74, 829-836.
- Coelho, C. A. S.; Cavalcanti, I. A. F.; Costa, S. M. S.; Freitas, S. R.; Ito, E. R.; Luz, G.; Santos, A. F.; Nobre, C. A.; Marengo, J. A.; Pezza, A. B. 2012. Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. *Meteorological Applications* 19, 237-255. DOI: 10.1002/met.1324.
- De Oliveira Vieira, S.; Satyamurty, P.; Andreoli, R. V. 2013. On the South Atlantic Convergence Zone affecting southern Amazonia in austral summer. *Atmospheric Science Letters* 14, 1-6. DOI: 10.1002/asl.401.
- De Souza, E. B.; Kayano, M. T.; Ambrizzi, T. 2005. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and northeast Brazil during the autumn rainy season. *Theoretical and Applied Climatology* 81, 177-191. DOI: 10.1007/s00704-004-0081-4.
- De Souza, E. B.; Kayano, M. T.; Tota, J.; Pezzi, L.; Fisch, G.; Nobre, C. 2000. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic Dipole Pattern on the Amazonian rainfall during 1960- 1998. *Acta Amazônica* 30, 305-318.
- De Souza, E. B.; Lopes, M. N. G.; Da Rocha, E. J. P.; De Souza, J. R. S.; Da Cunha, A. C.; Da Silva, R. R.; Ferreira, D. B. S.; Santos, D. M.; Do Carmo, A. M. C.; De Sousa, J. R. A.; Guimarães, P. L.; Da Mota, M. A. S.; Makino, M.; Senna, R. C.; Sousa, A. M. L.; Mota, G. V.; Kuhn, P. A. F.; Souza, P. F. de S.; Vitorino,

- M. I. 2009. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. *Revista Brasileira de Meteorologia* 24, 111-124. DOI: 10.1590/S0102-77862009000200001
- De Souza, E. B.; Rocha, E. J. P. 2006. Diurnal variations of rainfall in Bragança-PA (eastern Amazon) during rainy season: mean characteristics and extreme events. *Revista Brasileira de Meteorologia* 21, 142-152.
- Durieux, L.; Machado, L. A. T.; Laurent, H. 2003. The impact of deforestation on cloud cover over the Amazon arc of deforestation, *Remote Sensing of Environment* 86, 132-140. DOI: 10.1016/S0034-4257(03)00095-6.
- Espinoza, J. C.; Marengo, J. A.; Ronchail, J.; Carpio, J. M.; Flores, L. N.; Guyot, J. L. 2014. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: the role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. *Environmental Research Letters* 9,124007(9pp).
- Gloor, M.; Brienen, R. J. W.; Galbraith, D.; Feldpausch, T. R.; Schöngart, J.; Guyot, J-L; Espinoza, J. C.; Lloyd, J.; Phillips, O. L. 2013. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades, *Geophysical Research Letters* 40, 1729–1733. DOI:10.1002/grl.50377.
- Goossens, C.; Berger, A. 1986. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysicae*, Berlin 4(B4): 385-400.
- Grimm, A. M. 2011. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events and possible effects of climate change. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 25, 537-554. DOI: 10.1007/s00477-010-0420-1.
- Kendall, M. G. 1975. *Rank Correlation Methods*. 4 ed. London: Charles Griffin.
- Mann, H. B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13p.
- Marengo, J. A. 2004. Interdecadal and long term rainfall variability in the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology* 78, 79–96.
- Marengo, J. A. 2009(a). Long-term trends and cycles in the hydrometeorology of the Amazon basin since the late 1920s. *Hydrological Processes* 23, 3236-3244.
- Marengo, J. A. 2009(b). Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. *Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - FBDS*, 4-18.
- Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Soares, W. R.; Rodriguez, D. A.; Camargo, H.; Riveros, M. P.; Pabló, A. D. 2013(a). Two Contrasting Severe Seasonal Extremes in Tropical South America in 2012: Flood in Amazonia and Drought in Northeast Brazil. *Journal of climate* 26, 9137–9154. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00642.1.
- Marengo, J. A.; Borma, L. S.; Rodriguez, D. A.; Pinho, P.; Soares, W. R; Alves, L. M. 2013(b). Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptation, *American Journal of Climate Change* 2, 87-96. DOI: 10.4236/ajcc.2013.22009.
- Marengo, J. A.; Liebmann, B.; Grimm, A. M.; Misra, V.; Silva Dias, P.L.; Cavalcanti, I. F. A.; Carvalho, L. M. V.; Berbery, E. H.; Ambrizzi, T.; Vera, C. S.; Saulo, A. C.; Nogues-Paegle, J.; Zipsper, E.; Seth, A.; Alves, L. M. 2012. Recent developments on the South American monsoon system. *International Journal of Climatology* 32: 1–21. DOI: 10.1002/joc.2254.
- Marengo, J. A.; Nobre, C. A.; Tomasella, J.; Cardoso, M. F.; Oyama, M. D. 2008a. Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 363: 1773-1778. DOI: 10.1098/rstb.2007.0015.
- Marengo, J. A.; Nobre, C. A.; Tomasella, J.; Oyama, M. D.; Oliveira, G. S.; Oliveira, R.; Camargo, H.; Alves, L. M.; Brown, F. 2008b. The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate* 21, 495-516. DOI: 10.1175/2007JCLI1600.1.
- Marengo, J. A.; Tomasella, J.; Alves, L. M.; Soares, W. R.; Rodriguez, D. A. 2001. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters* 38, L12703. DOI:10.1029/2011GL047436.
- Moura, M. do N.; Vitorino, M. I. 2011. Variabilidade da precipitação em tempo e

- espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. *Revista Brasileira de Meteorologia* 27, 475-483. DOI:10.1590/S0102-7862012000400010
- Nobre, P.; Strukla, J. 1996. Variations of Sea Surface Temperature, Wind Stress, and Rainfall over the Tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate* 9, 2464–2479. DOI: 10.1175/1520-0442(1996)009<2464:VOSSTW>2.0.CO;2.
- Quadro, M. F. L. de; Silva Dias, M. A. F.; Herdies, D. L.; Goncalves, L. G. G. de. 2012. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. *Revista Brasileira de Meteorologia* 27, 152-162. DOI: 10.1590/S0102-77862012000200004.
- Ramos da Silva, R.; Avissar, R. 2006. The hydrometeorology of a deforested region of the Amazon basin. *Journal of Hydrometeorology* 7, 1028–1042. DOI:http://dx.doi.org/10.1175/JHM537.1.
- Ramos da Silva, R.; Werth, D.; Avissar, R. 2008. Regional impacts of future land-cover changes on the Amazon basin wet-season climate. *Journal of Climate* 21, 1153–1170. DOI: http://dx.doi.org/10.1175/2007JCLI1304.1.
- Rao, V.B. & Hada, K. 1990. Characteristics of rainfall over Brazil annual variations and connections with the southern oscillation. *Theoretical and Applied Climatology* 42, 81-91. DOI: 10.1007/BF00868215
- Reboita, M. S.; Gan, M. A.; Rocha, R. P.; Ambrizzi, T. 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25, 185-204.
- Santos e Silva, C. M. 2013. Ciclo diário e semidiário de precipitação na costa norte do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* (Impresso) 28, 34-42.
- Santos, C. A. C. dos; Satyamurty, P.; Santos, E. M. dos. 2012. Tendências de índices de extremos climáticos para a região de Manaus-AM. *Acta Amazonica* 42, 329-336.
- Santos, E. B.; Lucio, P. S.; Santos e Silva, C. M. 2014. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. *Atmospheric Science Letters*. DOI: 10.1002/asl2.535.
- Santos, E. B.; Lucio, P. S.; Santos e Silva, C. M. 2015(a). Estimating return periods for daily precipitation extreme events over the Brazilian Amazon. *Theoretical and Applied Climatology*. DOI 10.1007/s00704-015-1605-9.
- Santos, E. B.; Lucio, P. S.; Santos e Silva, C. M. 2015(b). Seasonal analysis of return periods for maximum daily precipitation in the Brazilian Amazon. *Journal of Hydrometeorology*, 2015 (in press). DOI: 10.1175/JHM-D-14-0201.1.
- Satyamurty, P.; Castro, A. A.; Tota, J.; Gualarte, L. E. S.; Manzi, A. O. 2009. Rainfall trends in the Brazilian Amazon basin in the past eight decades. *Theoretical and Applied Climatology* 99, 139-148.
- Satyamurty, P.; Costa, C. P. W. da; Manzi, A. O.; Candido, L. A. 2013. A quick look at the 2012 record flood in the Amazon Basin, *Geophysical Research Letters* 40, 1396–1401, DOI:10.1002/grl.50245.
- Sena, J. A.; Beser de Deus, L. A.; Freitas, M. A. V.; Costa, L. 2012. Extreme events of droughts and floods in Amazonia: 2005 and 2009, *Water Resources Management* 26, 1665–1676. DOI: 10.1007/s11260-012-9978-3.
- Vale, R.; Filizola, N.; Souza, R.; Schongart, J. 2011. A cheia de 2009 na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Geociências* [online]. 41, 577-586. ISSN 0375-7536.
- Zhou, J.; Lau, K-M. 1998. Does a monsoon climate exist over South America? *Journal of Climate* 11, 1020–1040. DOI: 10.1175/1520-0442(1998)011<1020:DAMCEO>2.0.CO;2.