



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Frequência de eventos extremos diários de precipitação em Manaus – AM e suas relações com o El Niño-Oscilação Sul

Wallace Cevalho¹, Rita Valéria Andreoli², Wilmar L. Cerón³, Maria Betânia Leal de Oliveira², Leonardo Cesar M. Jimenez¹, Rodrigo Augusto Ferreira de Souza², Mary Toshie Kayano⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) – Universidade do Estado do Amazonas, Escola Superior de Tecnologia (UEA/EST), Av. Darcy Vargas, 1200, Parque 10 de Novembro, Manaus (AM), e-mail: wcds.dcl23@uea.edu.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3072-4822>; lc.mamani.j@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3121-1682>; ²Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas, Av. Darcy Vargas, 1200, Parque 10 de Novembro, Manaus 69050-020, Brasil, e-mail: rasouza@uea.edu.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5531-0733>; mloliveira@uea.edu.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0435-0545>; rafsouza@uea.edu.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0838-3723>; ³Departamento de Geografia, Facultad de Humanidades, Universidad del Valle, Cali 760032, Colômbia, e-mail: wilmar.ceron@correounivalle.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1901-9572>; ⁴Coordenação Geral de Ciências da Terra, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil, e-mail: mkayano211@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2516-295X>.

Artigo recebido em 17/05/2023 e aceito em 25/07/2023

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo analisar os eventos extremos diários de precipitação (EEDP) ocorridos em Manaus, AM, e sua relação com eventos de El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Foram utilizados dados diários de precipitação para o período de 1979–2019. O cálculo dos quantis foi empregado aos dados e os EEDP foram definidos com base no percentil de 90% das séries diárias de precipitação separadas sazonalmente. Variações interanuais e tendências de longo prazo na ocorrência de EEDP também foram avaliadas. O teste de Mann-Kendall e o Método de Sen foram utilizados para avaliar a tendência dos EEDP. Foram calculadas as correlações lineares com os padrões oceânicos e atmosféricos a partir das anomalias mensais de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) tropical global e do fluxo de umidade integrado verticalmente e de sua divergência. A frequência e intensidade dos EEDP apresentaram comportamento similar ao da precipitação total sazonal, com acentuada variabilidade interanual. Maiores ocorrências e frequência de EEDP ocorreram em Março–Maio. A intensidade dos EEDP não mostrou grande diferença entre as fases do ENOS quando se compara o intervalo inter-quartil. Quando observamos a mediana, os anos de La Niña (LN) modulam a intensidade dos EEDP durante suas fases de desenvolvimento, madura e final. Tendência de aumento de EEDP ocorreu no trimestre de Dezembro–Fevereiro. Foi observado que o Atlântico Tropical Norte é uma das principais fontes no transporte de umidade para a região. Este estudo mostrou que a variabilidade da precipitação sazonal e eventos extremos estão associadas às condições globais de TSM.

Palavras-chave: Evento extremo de precipitação, El Niño-Oscilação Sul, Tendência.

Frequency of extreme daily precipitation events in Manaus – AM and their relations with El Niño-southern Oscillation

ABSTRACT

This research aimed to analyze the daily extreme precipitation events (EEDP) that occurred in Manaus, AM, and their relationship with El Niño-Southern Oscillation (ENOS) events. Daily accumulated precipitation data for the 1979–2019 period were used. The calculation of quantiles was applied to the data and the EEDP were defined based on the 90% percentile of the seasonally separated daily precipitation series. Inter-annual variations and long-term trends in EEDP occurrence were also evaluated. The Mann-Kendall test and Sen's Method were used to assess the trend of EEDPs. We also calculated linear correlations with oceanic and atmospheric patterns from monthly global tropical Sea Surface Temperature (SST) anomalies and the vertically integrated moisture flux and its divergence. The frequency and intensity of EEDP showed similar behavior to that of total seasonal rainfall, with marked interannual variability. The highest occurrences and frequency of EEDPs occurred in March-May. The intensity of EEDPs did not show much difference between ENOS phases when comparing the interquartile range. When looking at the median, La Niña (LN) years modulate the intensity of EEDPs during their developmental, mature, and final phases. The trend of increasing EEDP occurred in the December–February quarter. It was observed that the North Tropical Atlantic is one of the main sources

of moisture transport to the region. This study showed that seasonal rainfall variability and extreme events are associated with global SST conditions.

Key-words: Extreme precipitation event, El Niño-Southern Oscillation, Trend.

Introdução

Manaus está localizada na região central da Amazônia, cujo clima é caracterizado como quente e úmido, como resultado dos padrões de temperatura e umidade relativa do ar, os quais apresentam valores médios anuais da ordem de 27,4°C e 81%, respectivamente, além da precipitação elevada, que contabiliza 2362,4 mm/ano (Instituto Nacional de Meteorologia [INMET], 2022). O regime anual de precipitação apresenta uma sazonalidade, com os trimestres de Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF) e Março-Abril-Maio (MAM) considerados os mais chuvosos em decorrência da intensa atividade convectiva na região, enquanto que Junho-Julho-Agosto (JJA) e Setembro-Outubro-Novembro (SON), compreendem os períodos com menores registros pluviométricos (Fisch et al., 1998; Tanaka et al., 2014).

A precipitação em Manaus é decorrente da atuação de fenômenos meteorológicos de diferentes escalas espaciais e temporais atuantes na região Amazônica. Dentre os principais, destacam-se: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sistema responsável pelo padrão anual de precipitação na região, caracterizada por uma faixa de nebulosidade situada na região tropical que apresenta deslocamento norte-sul, coincidindo aproximadamente com as regiões de maior Temperatura da Superfície do Mar (TSM) (Cai et al., 2020; Nobre et al., 2009; Satyamurty & Rosa, 2019); as Linhas de Instabilidade que são aglomerados de nuvens convectivas alinhadas, cuja formação se dá devido à circulação de brisa marítima que se forma na costa norte-nordeste da América do Sul (AS), como resultado da convecção induzida, e se propagam para dentro do continente através da Bacia Amazônica (Cohen et al., 1995; Nobre et al., 2009; Sousa et al., 2021); a Zona de Convergência do Atlântico Sul que é uma banda de nebulosidade de intensa atividade convectiva, orientada na direção noroeste-sudeste que se estende desde a Amazônia ao sudeste do Brasil, sendo considerado um dos principais sistemas geradores de chuva nestas regiões, principalmente nos meses de verão (Oliveira Vieira et al., 2013; Rosa et al., 2020; Satyamurty et al., 1998; Silva et al., 2019;). Localmente, a presença da brisa fluvial na região de Manaus também é um fator importante para impulsionar a convecção em áreas urbanas. Segundo Tanaka et al. (2014), as nuvens convectivas formadas sobre a superfície do rio nas primeiras horas da manhã são deslocadas

para oeste pela circulação de grande escala, fornecendo um mecanismo adicional para o aumento das chuvas na cidade.

Em termos de variabilidade na escala de tempo interanual, anomalias da TSM no oceano Atlântico Tropical geram padrões anômalos da circulação atmosférica, que afetam a posição da ZCIT ou a intensidade dos alísios de nordeste, e, portanto, o transporte de umidade para o continente, influenciando diretamente no regime de precipitação na Amazônia central (Andreoli et al., 2012; Andreoli et al., 2017; Mamani Jimenez et al., 2023; Oliveira Vieira et al., 2013). No oceano Pacífico Tropical, o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) que se alterna entre suas fases quente (El Niño-EN) e fria (La Niña-LN), vem sendo considerado o principal modo de variabilidade climática interanual que afeta a precipitação na AS. Restringindo-se à região Amazônica, eventos EN coincidem com redução da precipitação sazonal, especialmente nas regiões norte e central, enquanto anomalias opostas ocorrem durante eventos de LN (Grimm, 2003; Andreoli & Kayano, 2005; Tedeschi et al., 2015 e 2016; Andreoli et al., 2019; Souza et al., 2021; Lopes et al., 2022; Mamani Jimenez et al., 2023).

Além disso, eventos de ENOS têm sido relacionados com a frequência e intensidade dos eventos extremos de precipitação (Grimm & Tedeschi, 2009). Eventos extremos de precipitação são definidos como aqueles em que os totais de chuva, em relação ao acumulado diário, mensal, sazonal ou até decenal, apresentam valores superiores ao comportamento frequente da área que está sendo estudada (Dias, 2014; Marengo et al., 2008; McPhillips et al., 2018). Diversos extremos sazonais associados a LN ocorreram na região Amazônica nas últimas décadas (1953, 1989, 1999, 2009, 2012-2015), influenciando em níveis acima das normais climatológicas das cotas dos rios ocasionando inundações e provocando enchentes que acabam trazendo impactos sociais, econômicos e ambientais, levando até perdas humanas (Marengo et al., 2013 e 2016).

No entanto, os eventos extremos, tanto diários quanto sazonais, foram registrados em anos de ENOS quanto em anos neutros no Oceano Pacífico. Logo, outros modos de variabilidade podem contribuir para ocorrência desses extremos. Grimm e Tedeschi (2009), estudaram as relações entre a ocorrência de Eventos Extremos Diários de Precipitação (EEDP) na AS com as fases do ENOS,

e identificaram aumento (diminuição) na frequência destes eventos quando as perturbações de grande escala associadas ao EN e LN criam anomalias de circulação favoráveis (desfavoráveis) à formação de tais eventos. Em outros estudos, Tedeschi et al. (2015 e 2016) analisaram a influência dos dois tipos de ENOS, sendo eles, os eventos Canônico e Modoki definidos por maiores variações da TSM, respectivamente no Pacífico leste, e no Pacífico equatorial central, na precipitação sazonal e de EEDP na AS durante a primavera, verão, outono e inverno austrais. Seus resultados mostram que, de modo geral, os EEDP apresentam padrões consistentes com os padrões sazonais de anomalia de precipitação, mas, normalmente, as mudanças na frequência de EEDP afetam áreas mais extensas do que a precipitação total.

Assim, em regiões da AS, os impactos sobre o regime de precipitação mensal e sazonal ligados ao ENOS, dependem da frequência de EEDP. Portanto, espera-se também que a frequência destes seja modulada pelo ENOS (Grimm & Tedeschi, 2009; Marengo et al., 2013). Nesse sentido, é importante conhecermos como o ENOS modifica a frequência de EEDP, sabendo que estes extremos diários podem trazer diversos prejuízos na sociedade e, principalmente no que diz respeito à desastres naturais que aumentam nos períodos de maiores índices pluviométricos (Aleixo & de Paula, 2023). Como por exemplo, do evento de deslizamento de terra de grande porte ocorrido na noite do dia 12 de março de 2023 na cidade de Manaus, com oito vítimas fatais. Neste dia, a cidade de Manaus registrou dezenas de ocorrências de alagamentos, deslizamentos e corridas de massa, provocados pela chuva intensa, em torno de 100 mm, precipitados desde a madrugada até meio da tarde (Honorato & Oliveira, 2023).

Além disso, considerando que os eventos extremos de ENOS têm aumentado nos últimos anos (Kayano et al., 2016), outra questão a ser considerada é sobre a ocorrência ou não de tendência de aumento ou diminuição desses EEDP ao longo do tempo. Assim, busca-se avaliar se as mudanças nos padrões de anomalias de TSM associados aos episódios de ENOS, nos últimos anos, estão relacionadas às alterações na frequência e intensidade dos EEDP na cidade de Manaus. Para responder a essa questão, esta pesquisa teve como objetivo identificar os EEDP sobre a cidade de Manaus, AM, avaliar sua relação com o ENOS e identificar possíveis tendências de aumento ou diminuição dos EEDP, considerando separadamente períodos trimestrais de JJA, SON, DJF e MAM.

Material e métodos

Dados

Para realização deste estudo foram utilizados dados diários de precipitação, séries mensais globais de TSM, e variáveis atmosféricas oriundas da reanálise do National Center for Environment Prediction (NCEP, Kalnay et al., 1996), para o período de 1979 a 2019. Os registros diários de precipitação foram coletados através de estação meteorológica convencional localizada em Manaus, AM (Figura 1, Lat. 3° 6' 26" S; Long. 60° 1' 34" W), a qual integra a rede de estações gerenciadas e operadas pelo INMET.

Séries mensais globais de TSM foram obtidas a partir do conjunto de dados mensais globais de Temperatura da Superfície do Mar Reconstruída (Extended Surface Reconstructed Sea Temperature – ERSST, versão 5), em uma grade com resolução espacial de 2° x 2°, disponibilizados pela Agência Nacional Oceânica e Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Agency – NOAA), tal como descrito por Huang et al. (2017).

A partir das reanálises do NCEP foram selecionados os campos globais médios mensais das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento e umidade específica (q) em diferentes níveis de pressão, numa grade horizontal de 2,5° de latitude e longitude. A partir dessas variáveis foram calculados o fluxo de umidade integrado verticalmente da superfície até o nível de 300 hPa ($\vec{F}$) e sua divergência seguindo Lopes et al. (2022):

$$\vec{F} = F_{\lambda}\vec{i} + F_{\phi}\vec{j} \quad (1)$$

Onde F_{λ} e F_{ϕ} são os fluxos de umidade verticalmente integrado zonal e meridional, respectivamente:

$$F_{\lambda} = \frac{1}{g} \int_{pt}^{ps} qu \, dp \quad (2)$$

$$F_{\phi} = \frac{1}{g} \int_{pt}^{ps} qv \, dp \quad (3)$$

E sua divergência em coordenadas esféricas está dada por:

$$\nabla \cdot \vec{F} = \frac{1}{a \cdot \cos\phi} \left[\frac{\partial}{\partial\lambda} (F_{\lambda}) + \frac{\partial}{\partial\phi} (F_{\phi}) \cdot \cos\phi \right] \quad (4)$$

Onde a é o raio médio da terra ($6,37 \cdot 10^6$ m), g é a aceleração da gravidade ($9,8 \text{ ms}^{-2}$), ps e pt são os níveis inferior e superior de pressão, 1000 e

300 hPa, respectivamente, λ a longitude e ϕ a latitude.

Definição dos anos de El Niño e La Niña

O método de Trenberth (1997), foi utilizado para definir os eventos de EN e LN, tendo como base a região do Niño-3.4 (5°N – 5°S, 120° – 170°W) e o período climatológico de 1979 a 2019 para calcular as anomalias de TSM. Foram definidos como anos de EN (LN), aqueles em que as anomalias de TSM na região do Niño-3.4 foram iguais ou superiores (iguais ou inferiores) a 0,5°C (–0,5°C) por pelo menos cinco meses consecutivos incluindo os meses de outubro a março. Os anos de EN, LN e anos normais (AN) selecionados estão apresentados na Tabela 1, considerando como ano de referência o ano em que se inicia o evento.

Seleção dos eventos extremos de precipitação

Para a seleção dos eventos extremos diários de precipitação (EEDP) foi utilizado o método dos quantis (Xavier, 2002), aplicado inicialmente as séries diárias de precipitação separadas por estação do ano e considerando a

ordem quantílica de 90% (Q90). Uma vantagem de se representar os dados na forma quantílica reside no fato que os quantis são imunes a uma eventual assimetria na função densidade de probabilidades que descreve o fenômeno aleatório (Xavier, 2002), além de permitir identificar episódios extremos. Assim, inicialmente as séries diárias de precipitação separadas por estação do ano foram organizadas, de forma que a série transformada resultante apresentasse os valores ordenados. Nesse sentido, para calcular os quantis de uma determinada série de precipitação (P_i), com i variando de 1 a n observações, é necessário determinar o número de ordem $w(P_i)$ de cada elemento i desta série, supondo que as observações estejam dispostas em ordem crescente. Sendo n o número de observações disponíveis, calculou-se então os quantis a partir da equação (5), seguindo a metodologia apresentada por Cardoso (2005).

$$q(P_i) = \left(\frac{1}{2n}\right) + [w(P_i) - 1] / n \quad (5)$$

Posteriormente, definiu-se P_i como evento extremo quando $q(P_i) \geq 0.9$.

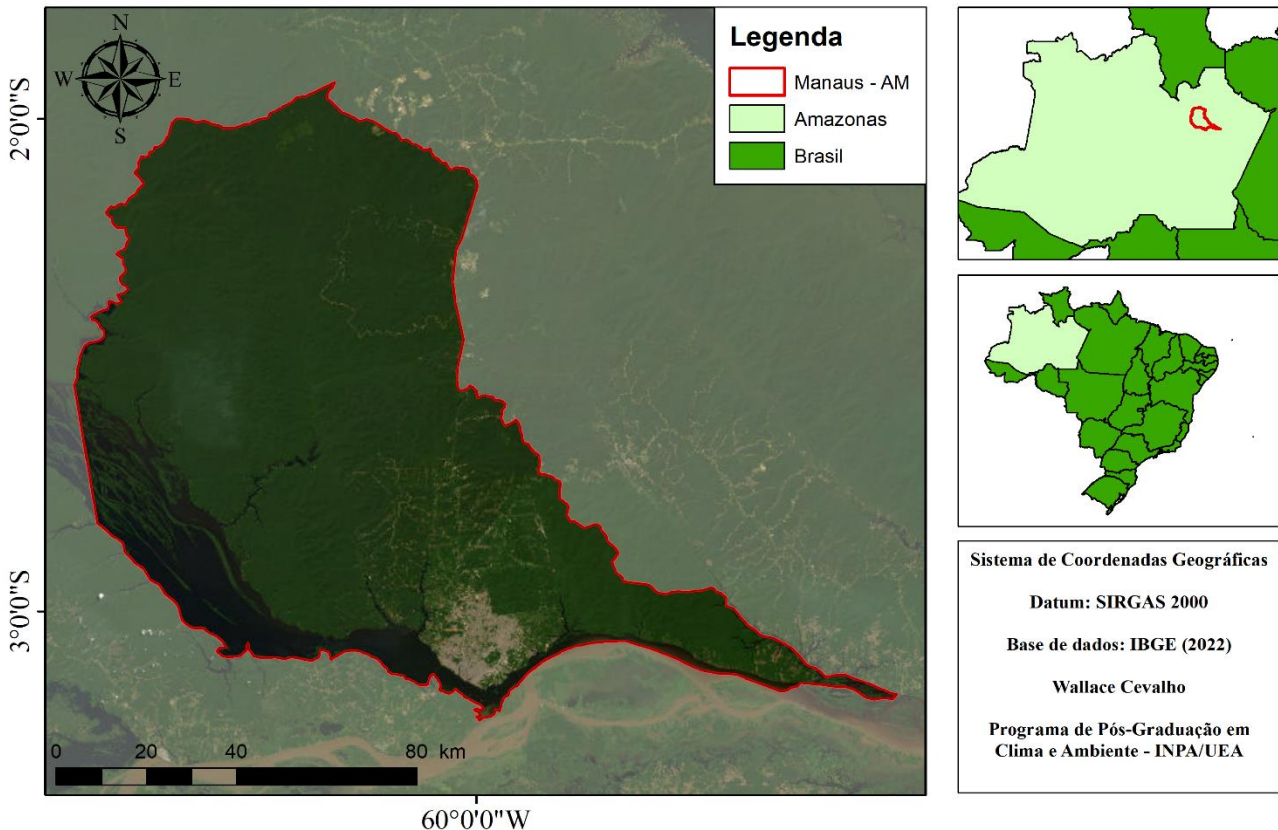


Figura 1. Mapa de localização da cidade de Manaus – AM, norte do Brasil.

Tabela 1. Anos de El Niño (EN), La Niña (LN) e normais (AN) incluídos na análise. Os anos correspondem ao ano de início do evento.

EN	1982	1986	1987	1991	1994	1997	2002	2004	2006	2009	2015	2018	-	-	-
LN	1983	1984	1985	1988	1995	1998	1999	2000	2005	2007	2010	2011	2016	2017	-
AN	1979	1980	1981	1989	1990	1992	1993	1996	2001	2003	2008	2012	2013	2014	2019

Uma vez identificado a ordem quantílica, a série original de precipitação foi comparada com a série quantizada a fim de identificar o valor de precipitação em mm associado ao limiar que define o evento extremo para cada período sazonal separadamente. Uma vez identificado os limiares relacionados aos eventos extremos para cada estação do ano, as séries diárias de precipitação e as séries de extremos de precipitação (EEDP) foram agrupadas considerando anos de EN, LN e AN, levando-se em consideração o ciclo de vida do ENOS, com o início do evento em JJA (0), seu desenvolvimento em SON (0), a fase madura em D (0) JF (+1) e sua fase final em MAM (+1). Os símbolos (0), (+1) referem-se ao ano de início e o ano seguinte do evento.

Em seguida, análises de distribuição de frequência foram aplicadas às séries sazonais de precipitação diária e de EEDP separadas em relação as fases do ENOS. Ainda, a fim de avaliar a intensidade dos EEDP nas diferentes fases do ENOS foi calculado o diagrama de caixa (“boxplot”). O diagrama de caixa é um tipo de gráfico que exibe as distribuições do valor mínimo, 1º quartil, mediana, 3º quartil, valor máximo (sem outliers) e outliers (aqui chamados de Evento Muito Extremo – EME).

Por outro lado, para avaliar a variação temporal e tendências de aumento ou diminuição dos EEDP ao longo do período de 1979-2019, foi construída a série temporal que representa o número total de EEDP que ocorreram durante determinado período sazonal em determinado ano. Em seguida, para o cálculo da tendência linear foi aplicado à essa série de ocorrências de EEDP os testes não paramétricos de Mann-Kendall criado por Mann (1945), reformulado por Kendall (1975), e o método de Sen não paramétrico (Sen, 1968), usando a subrotina descrita por Fatichi (2009), através da linguagem de programação Matlab. O código executa o teste de Mann-Kendall de duas caudas modificado para levar em conta a autocorrelação na série temporal. A hipótese nula de ausência de tendência é testada, contra a alternativa de tendência. O resultado do teste retornado em $H = 1$ indica uma rejeição da

hipótese nula no nível de significância α , definido aqui como 0,05. $H = 0$ indica uma falha em rejeitar a hipótese nula no nível de significância α .

Relação entre dados oceânicos e atmosféricos

Com o intuito de investigar a relação entre a precipitação acumulada sazonal e a ocorrência de EEDP com os padrões de grande escala de variabilidade da TSM, foram calculadas as correlações lineares entre as séries de precipitação sazonal e da ocorrência de EEDP com as séries de anomalias sazonais da TSM e anomalias do $\vec{F}$ e de sua divergência. O termo anomalias corresponde a diferença entre o valor total mensal de cada variável e sua climatologia mensal, sendo a climatologia obtida a partir do comportamento médio mensal para o período de 1979-2019. Assim, inicialmente foram obtidas anomalias mensais de TSM em cada ponto de grade na região tropical global e anomalias do $\vec{F}$ e de sua divergência, em cada ponto de grade sobre a AS e Atlântico adjacente. Em seguida foram calculadas as médias trimestrais das anomalias mensais, para os trimestres de JJA, SON, DJF e MAM. Os resultados dessas análises são apresentados na forma de mapas de correlação. A significância estatística dessas correlações foi avaliada considerando o teste t-Student com um nível de confiança de 95% (Wilks, 2011).

Resultados

Trimestre de Junho, Julho e Agosto – JJA (0)

Climatologicamente, JJA é o período que apresenta menores valores acumulados de precipitação sobre Manaus, caracterizando o período seco da região (Tanaka et al., 2014). Neste período, a frequência da chuva diária (Figura 2a) mostra que os valores de precipitação abaixo de 10 mm possuem maior frequência durante AN, seguido pelos anos de LN e EN, respectivamente. Por outro lado, em relação aos EEDP, a maior frequência de eventos com chuva acima de 30 mm (40 mm) é observada em anos de LN (EN) (Figura 2b), como mostrado pela diferença de frequência

entre anos de LN (EN) e AN (Figura 2c) nas mesmas classes. Ainda, em relação aos EEDP, o máximo de chuva registrado durante um evento foi de 79,8 mm durante a fase de LN.

O diagrama de caixa (Figura 2d) mostra que em anos de EN há uma maior dispersão em relação aos valores de chuva correspondentes aos EEDP, assim como a amplitude do intervalo interquartil. Os valores mínimos correspondentes à EEDP para as fases do ENOS e anos normais coincidem em 21,8 mm (Tabela 2). Além disso, a diferença entre o valor da mediana e dos 1º quartil e 3º quartil, indicam que há uma distribuição de assimetria positiva entre os valores de extremos de chuva. No trimestre de JJA em Manaus, foram registrados três EME durante AN, e um em LN, porém atingindo maior intensidade (79,8 mm) em relação aos AN. Em relação a mediana nas diferentes fases do ENOS, a intensidade dos EEDP não mostra grande variação, com valores de 28 e 31 mm em anos de AN e EN, respectivamente.

Trimestre de Setembro, Outubro e Novembro – SON (0)

Consistente com os resultados para o período de JJA, em SON, a distribuição observada da chuva diária (Figura 3a) mostra que valores abaixo de 30 mm possuem menor frequência durante anos de EN. O mesmo ocorre quando

consideramos a frequência de EEDP, exceto para a classe de 40 mm que mostrou a maior frequência de ocorrência durante episódios de EN (Figura 3b). Os anos de LN e AN tem o pico de suas frequências também em 40 mm, mas, essa frequência tende a se alternar entre essas fases do ENOS para as classes mais extremas. A diferença entre frequência em função da intensidade dos eventos extremos (Figura 3c), mostra maior diferença entre EN e AN na classe de 40 mm e LN e AN em 60 mm, e varia para as classes mais extremas.

Em relação a intensidade dos eventos em SON, a Figura 3d mostra que a amplitude interquartil, bem como a amplitude total dos EEDP, é maior em AN e menor nos anos de EN. Além disso, a mediana dos EEDP durante AN e EN está mais próxima do 1º quartil indicando uma distribuição assimétrica positiva, com maior parte dos eventos com amplitude abaixo da mediana. Em anos de LN, a mediana se encontra mais centralizada, isso mostra uma distribuição simétrica de 50% dos dados. Em relação aos dias com registro de EME no trimestre de SON em Manaus, houve duas ocorrências em cada fase do ENOS e AN (Tabela 2). A intensidade dos EEDP em SON em relação a mediana, mostrou que os eventos ocorrem com maior (menor) intensidade em LN (EN) de 50 (42,1) mm.

JJA (0)

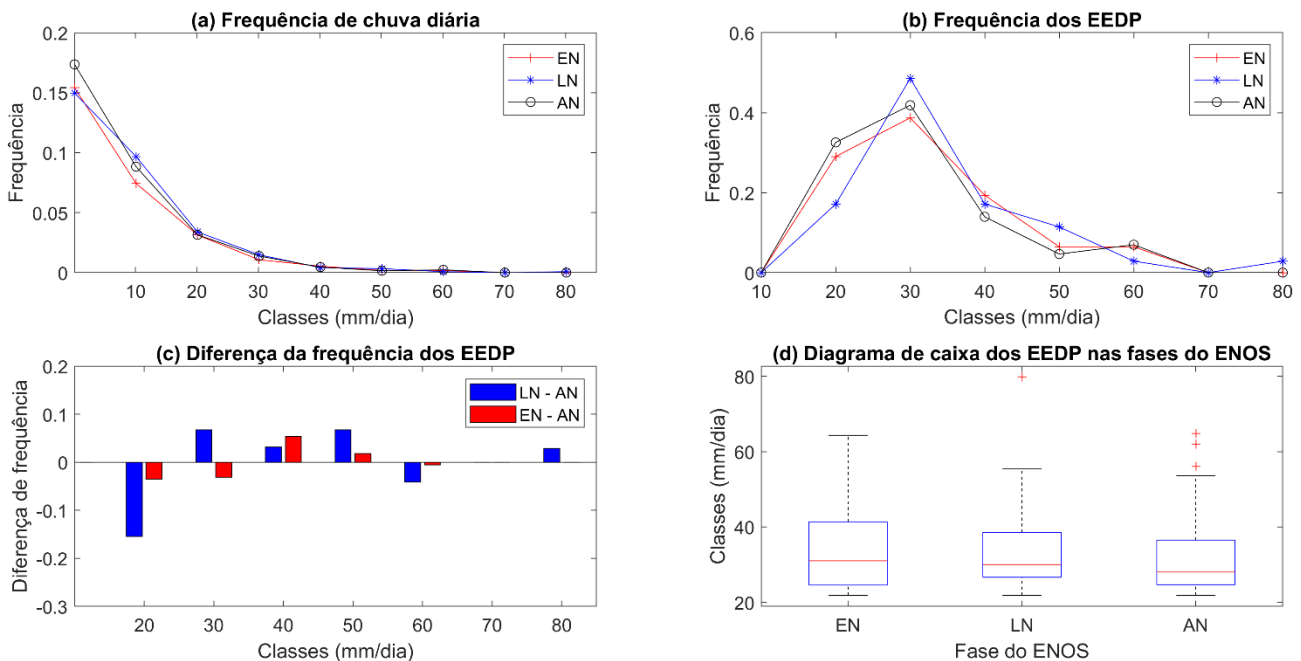


Figura 2. Estação meteorológica em Manaus, JJA(0): a) Distribuições da frequência de chuva diária ($\geq 0,1$ mm); b) Distribuições da frequência dos eventos extremos diários de precipitação (EEDP); c) Histograma das diferenças das frequência dos EEDP entre as fases do ENOS; d) Diagrama de caixa dos valores correspondentes aos EEDP nas diferentes fases do ENOS.

SON (0)

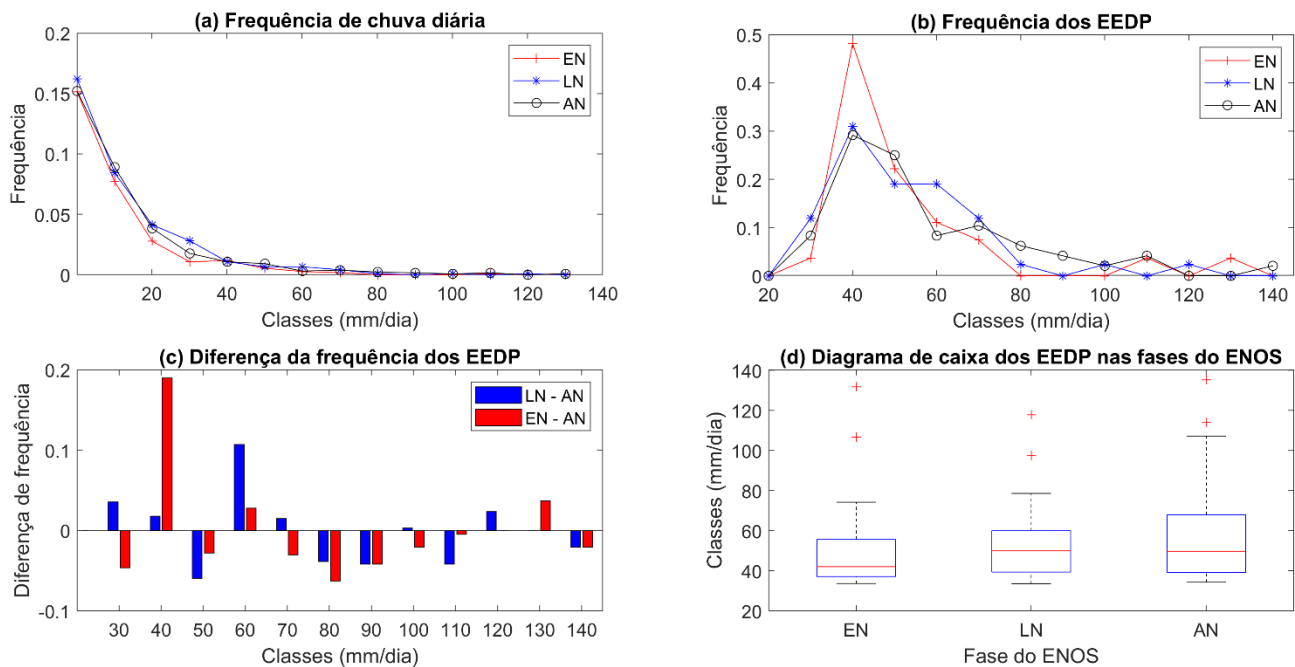


Figura 3. Mesmo que a Figura 2, exceto que para o trimestre de SON (0).

Trimestre de Dezembro, Janeiro e Fevereiro – D (0) JF (+)

Em DJF, o ENOS está em sua fase madura, e a distribuição observada da chuva diária (Figura 4a) mostra que os valores de precipitação diária abaixo de 30 mm possuem menor (maior) frequência durante anos de EN (LN). Em relação aos EEDP, assim como em SON, a maior frequência em função de sua intensidade ocorre em 40 mm, durante anos de EN e AN (Figura 4b). Contudo, os EEDP em anos de LN passam a ter maior frequência em classes a partir de 70 mm em relação aos anos de EN e AN. Quanto a diferença da frequência entre EN e LN em relação aos AN (Figura 4c), anos de EN tem maior diferença em 50 mm e LN em 70 mm, e nas classes a partir de 90 mm não há uma grande diferença de frequência.

O diagrama de caixa (Figura 4d), mostra maior amplitude interquartil dos EEDP em anos de LN comparados aos anos de EN e AN e menor em EN, havendo uma similaridade no mínimo e 1º quartil para extremos entre as fases do ENOS em torno de 36 mm e 41 mm, respectivamente. Em anos de LN e AN, a mediana está próxima do 1º quartil, indicando uma distribuição de assimetria positiva. Para os anos de EN, o diagrama de caixa mostra que a mediana está no centro do intervalo interquartil, considerando uma distribuição simétrica de 50% dos dados. Ainda, no trimestre de DJF em Manaus, houve nove registros de EME durante anos de EN, eventos estes que tem amplitudes maiores que a dispersão apresentada

pelo intervalo inter-quartil, seguido de LN e AN com três em cada fase (Tabela 2). A intensidade dos EEDP neste trimestre mostrou ser modulada principalmente por anos de LN, e seu valor representado pela mediana é de 50,2 mm.

Trimestre de Março, Abril e Maio – MAM (+)

Comportamento similar aos trimestres anteriores é observado em MAM em relação a distribuição de frequência de chuva diária em Manaus (Figura 5a). Em relação a distribuição de frequência de EEDP, ocorre uma maior frequência em AN e EN e menor em LN para a intensidade de 40 mm. Esse comportamento se inverte para eventos com intensidade de 50 mm (Figura 5b). Em AN, a frequência tende a ser maior em quase todas as classes de EEDP neste trimestre. No entanto, a maior diferença de frequência entre EN e LN em relação à AN (Figura 5c), ocorre em 60 mm e 50 mm, respectivamente, indicando que a precipitação nestas classes é mais frequente durante episódios de EN e LN.

Os diagramas de caixa nesse trimestre (Figura 5d), mostram que há uma similaridade na dispersão dos EEDP em episódios de LN e AN, e menor dispersão durante EN. Durante as fases do ENOS, a maior parte dos EEDP se encontram abaixo da mediana, próximo do 1º quartil, sendo uma distribuição de assimetria positiva. Mesmo assim existem valores acima da dispersão observada pelo intervalo interquartil, sendo totalizados cinco (três) EME durante AN (EN) para o trimestre de MAM em Manaus. Porém, o evento

que ocorreu com maior intensidade foi observado em ano de LN com 154,4 mm (Tabela 2). A intensidade dos EEDP em Manaus para MAM

mostrou que em termos do valor da mediana (53,8 mm), os anos de LN são mais predominantes em relação à EN e AN.

D (0) JF (+1)

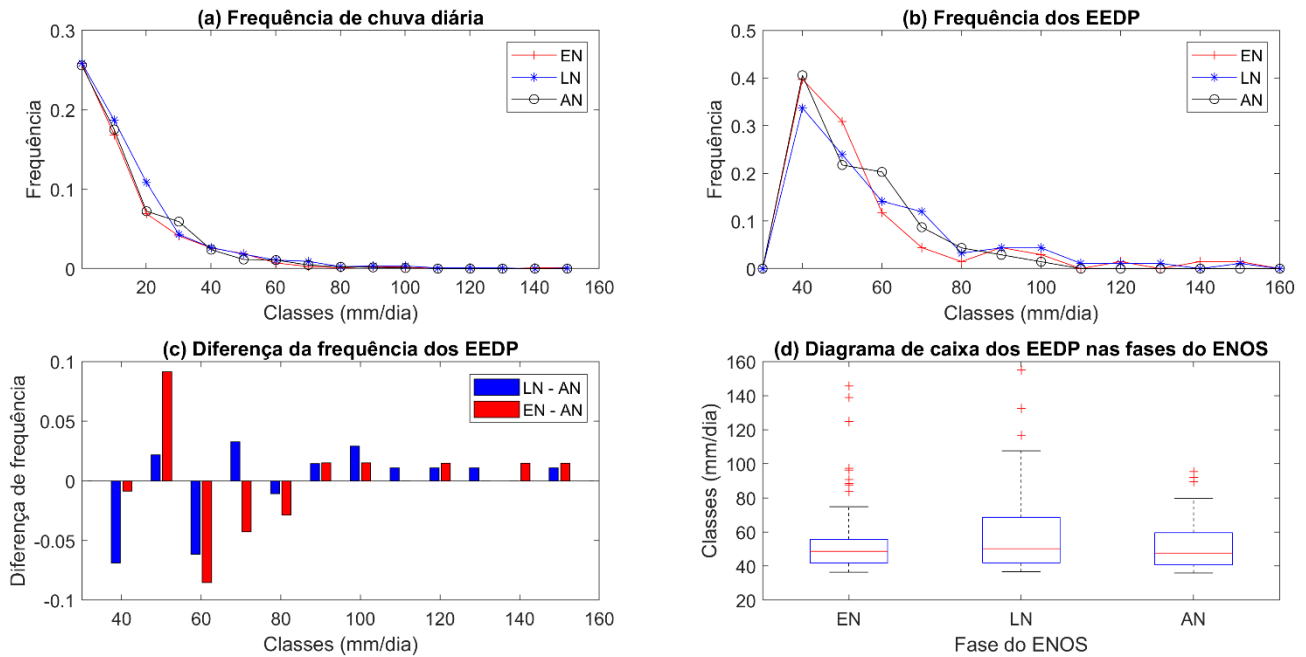


Figura 4. Mesmo que a Figura 2, exceto que para o trimestre de D (0) JF (+).

MAM (+1)

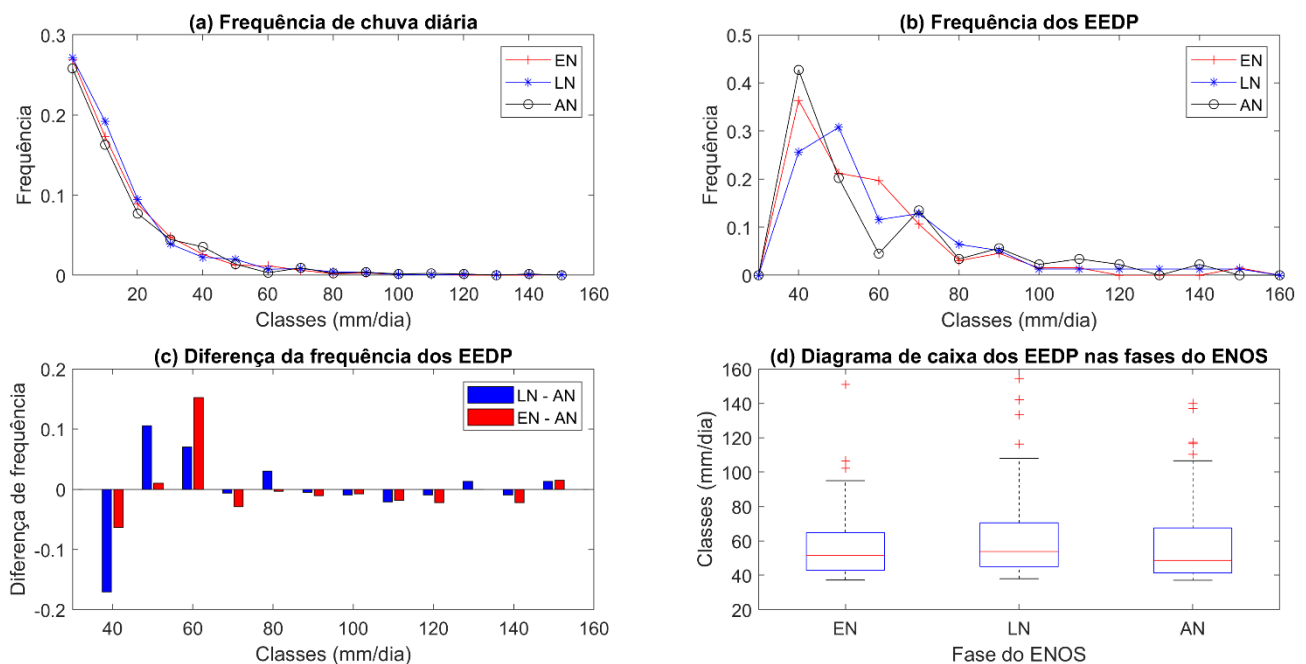


Figura 5. Mesmo que a Figura 2, exceto que para o trimestre de MAM (+).

Tabela 2. Métricas estatísticas correspondentes aos diagramas de caixa das Figuras 2d-5d. Os valores de precipitação estão em mm. EME corresponde ao número total de eventos considerados muito extremos.

Manaus – AM								
Trimestre	ENOS	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Out. Máx.	EME
JJA (0)	EN	21,8	24,55	31	41,35	64,3	-	-
	LN	21,8	26,63	30	38,55	55,4	79,8	1
	AN	21,8	24,65	28	36,5	53,6	64,8	3
SON (0)	EN	33,7	37,15	42,1	55,7	74,2	131,8	2
	LN	33,6	39,4	50	60	78,6	117,8	2
	AN	34,3	39,25	49,75	67,9	107,2	135,2	2
D (0) JF (+1)	EN	36,4	41,7	48,6	55,7	74,8	145,6	9
	LN	36,6	41,9	50,2	68,55	107,6	155	3
	AN	35,9	40,68	47,6	59,55	79,6	95,4	3
MAM (+1)	EN	37,2	42,9	51,6	64,8	95	151	3
	LN	38	45	53,8	70,5	108	154,4	4
	AN	37,1	41,3	48,6	67,53	106,6	140	5

Variação temporal da ocorrência de eventos extremos diários de precipitação e sua relação com anomalias de TSM

A série temporal da ocorrência de EEDP para Manaus, separadas por estações do ano, é apresentada na Figura 6. Em relação ao número total de eventos é observado que o trimestre de JJA (Figura 6a) é o que apresenta menor ocorrência de EEDP (116), enquanto a maior ocorrência de eventos extremos é observada no trimestre de MAM (245). Além disso, de acordo com os resultados obtidos pelo teste de Mann-Kendall, no trimestre de DJF (Figura 6c) há indicação de tendência de aumento em 3 extremos ao longo do período total analisado ($S = 0.0755$), porém essa tendência não apresenta valor significativo ($P > 0.05$). Nos demais trimestres, não há indicações de tendência nas séries de ocorrência de EEDP. Por outro lado, é observada uma variabilidade interanual da ocorrência de eventos extremos durante todos os trimestres.

A fim de se avaliar a variabilidade interanual contida na ocorrência dos EEDP correlações lineares entre as séries de ocorrência EEDP em Manaus e as anomalias de TSM são apresentadas para os trimestres de JJA, SON e DJF e MAM (Figura 7) e comparadas com os padrões de correlações lineares entre o acumulado sazonal de precipitação e as anomalias de TSM em cada trimestre. De modo geral, os mapas de correlação correspondente à precipitação sazonal (Figura 7a,

coluna esquerda) definem o padrão sazonal do ENOS.

Em JJA, correlações negativas significativas sobre o Pacífico equatorial central e leste e positivas sobre a região do Pacífico oeste caracterizam o início do padrão de LN. Além disso, correlações positivas significativas no Atlântico equatorial leste, formam junto com o padrão de LN, o modo gradiente inter-bacias do Pacífico e Atlântico, que é responsável pelo aumento da precipitação sazonal na região em JJA. Considerando as correlações para os EEDP (Figura 7e, coluna direita), nota-se que as correlações negativas relacionadas à LN são centradas no Pacífico central, enquanto no Atlântico Tropical (AT), correlações negativas fracas sobre o Atlântico Tropical Norte (ATN) e positivas significativas no Atlântico equatorial leste definem o gradiente inter-hemisférico no AT. Assim, a combinação entre o modo gradiente inter-bacias do Pacífico e Atlântico e o modo de gradiente meridional do AT definem a variabilidade anual dos EEDP durante JJA.

Em SON, os padrões de correlação definem o padrão de LN relacionado ao aumento da precipitação sazonal (Figura 7b) e dos EEDP (Figura 7f) sobre a região, exceto que o padrão correspondente à precipitação sazonal é melhor configurado. Por outro lado, em DJF (Figuras 7c e g), o padrão de LN é melhor caracterizado nas correlações das anomalias de TSM com a

precipitação sazonal e se associa ao Atlântico equatorial formando o gradiente inter-bacias do Pacífico e Atlântico, o que explica a intensificação da precipitação durante DJF. Em MAM, o padrão de LN é enfraquecido em ambos os casos (precipitação sazonal e EEDP) e correlações significativas se restringem sobre o Pacífico leste subtropical. O Atlântico equatorial exibe um padrão de correlação positiva com os EEDP (Figura 7h), definindo o gradiente inter-bacias

enquanto para a precipitação sazonal (Figura 7d), há presença de correlações negativas não significativas no ATN que definem um gradiente meridional de anomalias de TSM. Assim, a variabilidade da precipitação sazonal em MAM parece estar associada à combinação do evento de LN e do gradiente inter-hemisférico do Atlântico, enquanto os EEDP são associados ao gradiente inter-bacias do Pacífico e Atlântico.

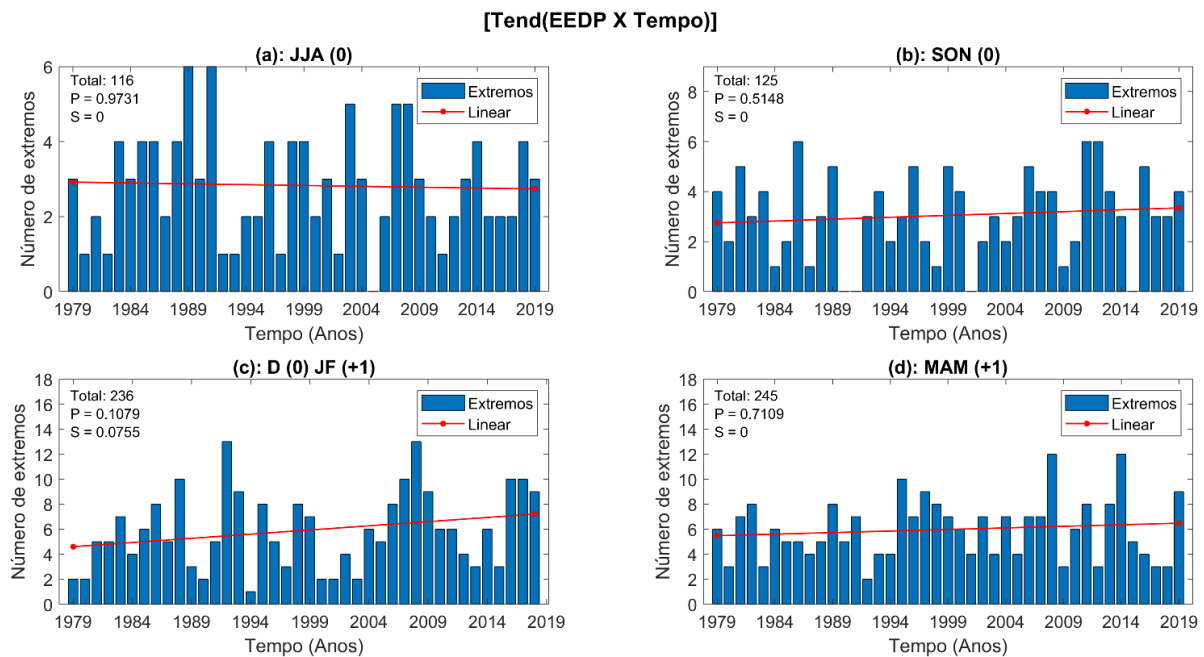


Figura 6. Série temporal dos eventos extremos diários de precipitação (EEDP) separados sazonalmente em cada ano para a cidade de Manaus, Amazonas. Total é a soma de eventos ocorridos em todo o período de estudo. As barras indicam o número de eventos em cada ano. A linha vermelha é a tendência (Tend) destes eventos no tempo e é ilustrada pela letra S de acordo com o Método de Sen. P é a significância estatística de 95% de acordo com o teste de Mann-Kendall.

Variação temporal da ocorrência de eventos extremos diários de precipitação sazonal e sua relação com as anomalias do fluxo de umidade integrado verticalmente e de sua divergência

No trimestre de JJA, o mapa de correlação (Figura 8a) apresenta valores negativos associados à uma convergência do $\vec{F}$ anômala sobre a região norte do Brasil, que engloba a cidade de Manaus, enquanto os valores positivos associados à divergência do $\vec{F}$ anômala ocorre sobre a região sul, sudeste e central do Brasil, na Argentina, Paraguai, Bolívia e no Atlântico sul. A convergência do $\vec{F}$ anômala sobre a região norte corre em resposta ao transporte anômalo de umidade proveniente do ATN que atinge o norte da AS e converge com o fluxo anômalo de sul/sudeste a partir da região de divergência sobre o sudeste da AS. Essas características são mais intensas quando

observamos o padrão relacionado aos EEDP (Figuras 8a e 9a).

Em SON os mapas de correlações entre precipitação sazonal e $\vec{F}$ e sua divergência (Figura 8b e 9b) mostram correlações negativas significativas, associadas à convergência do $\vec{F}$ sobre a região de estudo para a precipitação sazonal, enquanto a região de divergência do $\vec{F}$ se limita a região sul do Brasil, Argentina, Paraguai e Bolívia. Ainda, o fluxo de umidade anômalo se direciona de sudeste-noroeste na região do Jato de baixos níveis, indicando seu enfraquecimento. Em associação, um fraco centro ciclônico sobre os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul favorecem o transporte de umidade para a região Amazônica. Ainda, no Atlântico equatorial próximo à costa nordeste do Brasil, a presença de um centro ciclônico favorece a convergência de umidade sobre a porção tropical da AS.

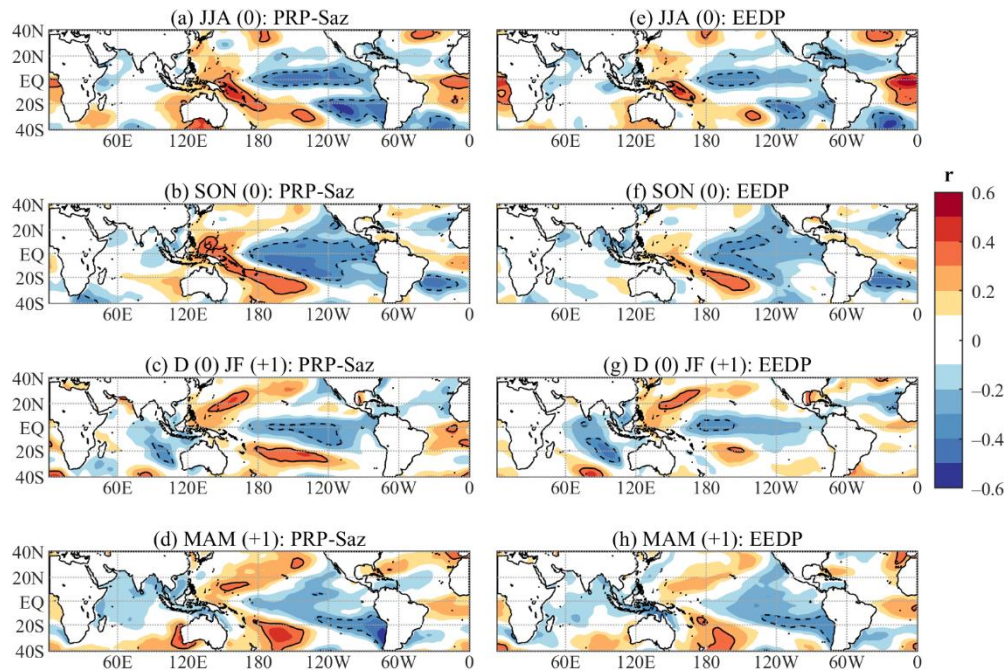
[Corr(TSM X PRP-Saz-EEDP)]

Figura 7. Mapa de coeficiente de correlação (Corr) entre a as anomalias médias trimestrais de TSM e precipitação sazonal (PRP-Saz, (a-d) coluna da esquerda) e entre as anomalias médias trimestrais de TSM e eventos extremos diários de precipitação (EEDP, (e-h) coluna da esquerda). As séries de precipitação sazonal e EEDP são obtidos a partir da estação meteorológica de Manaus – Amazonas. As linhas contínuas (tracejadas) são positivas (negativas) e representam o nível de significância estatística de 95%.

Para DJF (Figuras 8c e 9c), há convergência do $\vec{F}$ sobre a região de estudo favorecendo a precipitação, mas, diferenças ocorrem entre os mapas de correlações relacionados à precipitação sazonal (Figura 8c) e frequência de EEDP (Figura 9c). Para a precipitação sazonal, a presença da convergência do $\vec{F}$ na área de estudo é devido a um maior fluxo de umidade vindo do ATN, que converge com o fluxo de umidade associada à circulação ciclônica sobre a AS e Atlântico. Para os EEDP (Figura 9c), ocorre uma intensificação do fluxo de umidade de oeste oriundo do Pacífico leste que adentra o continente através da Colômbia, converge entre o Peru, Bolívia e o Brasil (aproximadamente 10°S) e transporta umidade para a região de estudo.

No trimestre de MAM, o mapa de correlação de $\vec{F}$ mostra que o transporte de umidade de oeste vindo do Pacífico leste é o principal fator responsável pelo transporte de umidade para os EEDP (Figura 9d), e precipitação sazonal (Figura 8d). Este fluxo adentra o continente através do Equador e Colômbia, em direção a região de estudo, que associado a convergência na região intensifica o regime de precipitação sazonal e extremos.

Discussão

Este estudo teve como objetivo analisar os EEDP que ocorreram na região de Manaus, AM, durante o período de 1979 a 2019, e sua relação com a variabilidade interanual do ENOS. Para isso, foram analisadas as distribuições de frequência dos eventos e mapas de correlações entre a precipitação sazonal e EEDP com as anomalias de TSM e do fluxo de umidade ($\vec{F}$). As análises de frequência indicam que, os EEDP ocorrem com maior (menor) frequência nos meses de Dezembro a Maio (Junho a Outubro). Ainda, sazonalmente, os EEDP que ocorrem no trimestre JJA em Manaus são menos intensos em relação aos das demais estações do ano, seguindo o comportamento climatológico da precipitação para este trimestre.

Em termos de variabilidade, as análises de correlação entre precipitação sazonal com as anomalias da TSM e $\vec{F}$ e ocorrência de EEDP com as anomalias da TSM e $\vec{F}$ mostram que os modos de variabilidade associados à ocorrência de EEDP tem certa consistência com o comportamento da variabilidade associada aos totais sazonais de precipitação, de modo que em muitos casos o ENOS modula essa variabilidade. Embora, em geral, ocorram essas similaridades em relação ao

padrão de correlação entre TSM e precipitação, há alguns modos de variabilidade de TSM com maior

potencial para produzir EEDP que serão discutidos a seguir.

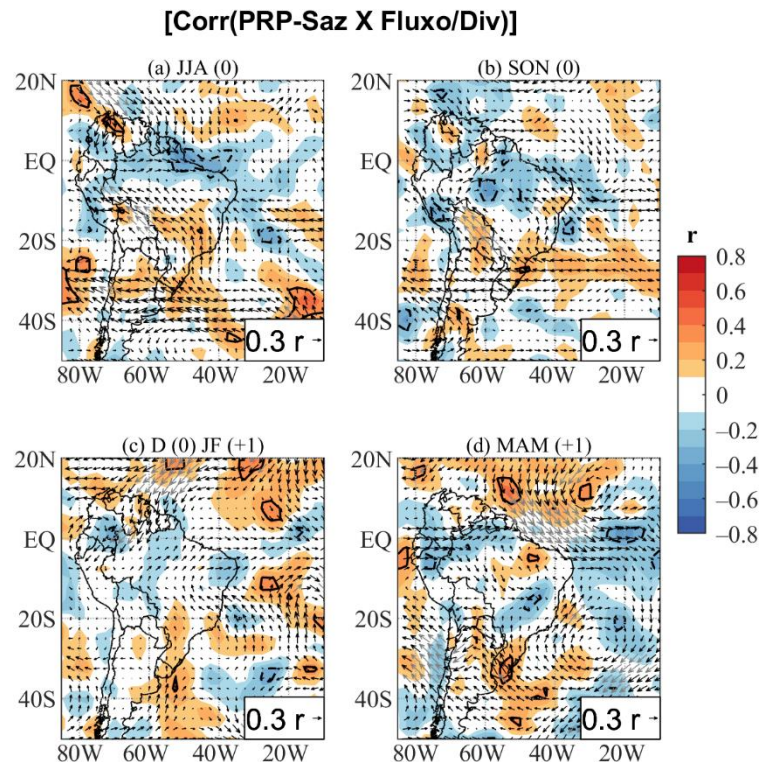


Figura 8. Mapas de correlação (Corr) entre as séries de anomalias do fluxo de umidade verticalmente integrado (setas) e sua divergência (convergência) em vermelho (azul) com as séries de precipitação acumulada sazonal (PRP-Saz), para a estação de Manaus – Amazonas, em todos os trimestres. As linhas contínuas (tracejadas) são positivas (negativas) e representam o nível de significância estatística de 95%.

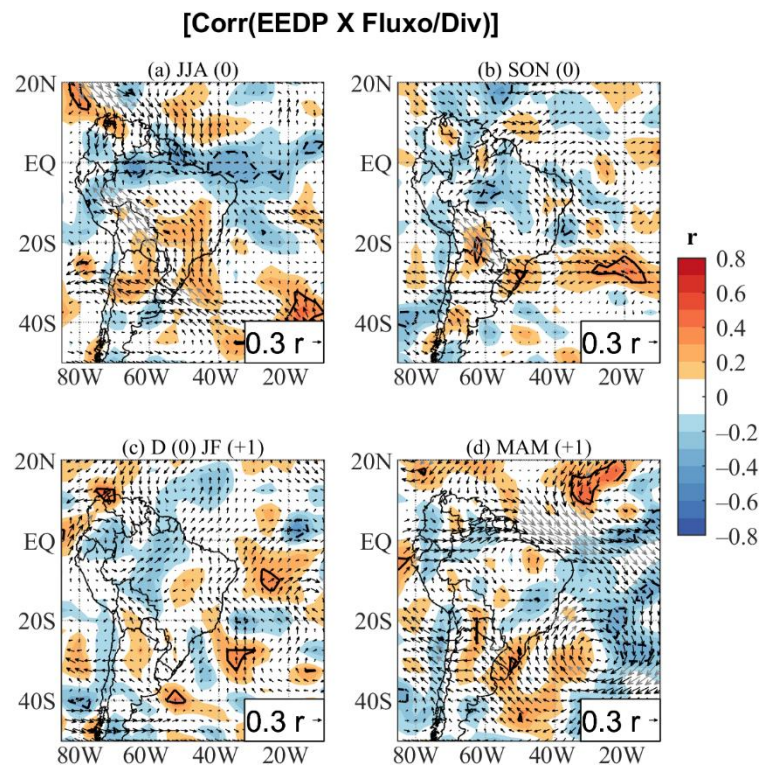


Figura 9. Mesmo que a Figura 8, exceto que para os eventos extremos diários de precipitação (EEDP).

Para Manaus, as maiores ocorrências de EEDP e precipitação sazonal em JJA são influenciados por condições de LN de maior intensidade no Pacífico Central, consistente com os resultados de Andreoli et al. (2019) e Tedeschi et al. (2016). Andreoli et al. (2019) analisaram os efeitos de dois tipos de LN (Canônica e Modoki) na precipitação sazonal da AS e mostraram que durante JJA as anomalias sazonais de TSM apresentam um padrão definido por anomalias negativas significativas no Pacífico tropical central e leste, porém, com os maiores valores a leste de 150°W. Nesse mesmo sentido, em relação aos EEDP, Tedeschi et al. (2016) também mostraram uma maior relação com eventos de LN Modoki.

Aliado a isso, no trimestre de JJA, a precipitação sazonal e os EEDP também são influenciados por anomalias positivas de TSM no Atlântico equatorial, que combinadas com a LN no Pacífico definem o padrão de gradiente inter-bacias do Pacífico e Atlântico. Além disso, um gradiente inter-hemisférico de TSM do AT, com anomalias negativas no ATN e positivas no Atlântico equatorial, foi observado, corroborando com os resultados de Andreoli et al. (2012). No entanto, a correlação entre TSM e a ocorrência de EEDP para Manaus em JJA indica que o gradiente de TSM que cruza o equador é mais forte do que aquele relacionado a precipitação sazonal.

Em SON, condições de LN do tipo Modoki, acompanhadas do aquecimento no Atlântico equatorial explicam as variações na precipitação sazonal, enquanto a variabilidade da ocorrência dos EEDP está mais correlacionada às variações na TSM somente no Pacífico tropical. No contexto da precipitação sazonal, Andreoli et al. (2019) também encontraram que as anomalias de TSM negativa mais forte no Pacífico central, acompanhadas por um aquecimento no Atlântico equatorial, estão associadas com extremos de precipitação sazonal que ocorrem na Amazônia central e leste. Os resultados em SON para EEDP corroboram com os resultados de Tedeschi et al. (2015) que analisaram a influência do ENOS Central (LN Central) e Leste (LN Leste) nos eventos extremos de precipitação na AS durante a primavera (SON) e o verão austral (DJF), e encontraram uma maior relação do ENOS com os EEDP durante a LN Central.

No verão austral, trimestre de DJF, correlações significativas foram observadas em todo o Pacífico equatorial com a precipitação sazonal e EEDP que ocorrem em Manaus. No entanto, os EEDP mostram maior correlação com o Pacífico central, assim como em Tedeschi et al. (2015). Em DJF no norte da AS os EEDP associados a LN (EN) são cada vez mais (menos)

frequentes, nestes meses o ENOS se encontra na sua fase madura e tem maior influência no regime de precipitação em cidades da AS tropical (Grimm & Tedeschi, 2009; Tedeschi et al., 2015).

Em MAM, fase de decaimento do ENOS, os EEDP e a precipitação sazonal em Manaus estão correlacionados com condições significativas de LN do Pacífico central-leste, acompanhados por um fraco aquecimento no Atlântico equatorial (Andreoli et al., 2019; Tedeschi et al., 2015). Este trimestre, corresponde a estação que mais teve ocorrência de EEDP em Manaus, corroborando com o estudo de Grimm e Tedeschi (2009) e Tedeschi et al. (2016). Estes autores encontraram que no trimestre de MAM há uma ocorrência aumentada de eventos extremos de precipitação na América do Sul tropical durante LN, especialmente em abril, quando eventos de LN aumentam a frequência de EEDP. Este aumento é devido a intensificação no regime da precipitação que ocorre nestes meses (Andreoli et al., 2012; Tedeschi et al., 2016).

Em relação ao fluxo de umidade integrado verticalmente e sua divergência, um dos principais fatores que influenciam o transporte de umidade para a região sul/sudeste da AS é o Jato de Baixos Níveis à leste dos Andes (Arraut e Satyamurty, 2009; Salio et al., 2002; Satyamurty et al., 2013). No entanto, de acordo com os estudos citados anteriormente, quando os ventos estão enfraquecidos, indica que o jato está fraco ou não há presença do mesmo. Isto contribui para a diminuição do transporte de umidade da região Amazônica em direção ao sul/sudeste da AS, fazendo com que ocorra a maior convergência de umidade sobre a região de estudo, como visto nos trimestres de JJA e SON. Esses trimestres apresentam um padrão de transporte de umidade típico para eventos de LN (Andreoli et al., 2019; Lopes et al., 2022), consistentes com os mapas de correlações para TSM, caracterizados pelo enfraquecimento dos Jatos de Baixos Níveis a leste dos Andes sobre a AS, o que favorece a convergência de umidade na parte norte da AS.

Além disso, foi observado que, além do ATN, a região do Pacífico leste contribui para a convergência de umidade sobre a região, principalmente nos trimestres de DJF e MAM.

Conclusões

As distribuições de frequências de EEDP para anos EN, LN e AN mostram que os episódios EN e LN influenciam significativamente a frequência desses sobre a cidade de Manaus. Além disso, as análises de correlação com as anomalias da TSM mostram que a variabilidade associada à

ocorrência de EEDP tem certa consistência com o comportamento da variabilidade associada aos totais sazonais de precipitação, de modo que em muitos casos o ENOS modula essa variabilidade. Isto indica que os EEDP ocorrem naturalmente mais em situações em que há mais eventos de precipitação. Porém, o ENOS não é o único fenômeno que afeta a variabilidade da precipitação sazonal e a frequência de EEDP. Outros modos de variabilidade, principalmente aqueles oriundos do Oceano Atlântico, como o gradiente meridional de TSM do Atlântico e o Niño no Atlântico desempenham um papel importante na caracterização dos EEDP, principalmente quando combinados com o ENOS.

Por outro lado, os resultados não mostram diferenças significativas em relação à intensidade dos EEDP, entre as fases do ENOS, quando se compara o intervalo inter-quartil dos EEDP. Porém, quando observamos a mediana, os anos de LN modulam a intensidade dos EEDP principalmente durante a fase de desenvolvimento (SON), madura (DJF) e final (MAM), enquanto os eventos de EN modulam os EEDP somente durante sua fase inicial (JJA). Consequentemente, outros fatores, como processos de interações terra-atmosfera, podem ser responsáveis para definir a intensidade dos eventos EEDP. Além disso, foi observado que no trimestre de DJF houve tendência, porém não significativa, de aumento de EEDP.

Assim, de modo geral, este estudo mostrou que a variabilidade da precipitação sazonal e EEDP estão associadas às condições globais de TSM, principalmente aquelas provenientes dos Oceanos Pacífico e Atlântico. No entanto, os eventos ENOS parecem influenciar mais a frequência do que a intensidade dos eventos extremos. Esses resultados sugerem que a frequência de EEDP aumenta (diminui) quando as perturbações de grande escala relacionadas ao ENOS favorecem (dificultam) as anomalias de circulação associadas com os eventos extremos em determinadas regiões, consistente com o comportamento da precipitação sazonal, uma vez que maior parte dessa precipitação sazonal é devida a eventos extremos, conforme discutido por Grimm e Tedeschi (2009).

Agradecimentos

O primeiro e o quinto autor agradecem à Fundação de Apoio à pesquisa do Amazonas (FAPEAM), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), respectivamente, pela concessão da bolsa de Mestrado, e ao Programa de Pós-graduação em Clima e Ambiente (CLIAMB, INPA/UEA). O segundo autor agradece ao CNPq

pelo apoio financeiro recebido através do processo 305611/2019-4. O segundo, quarto e sexto autores agradecem à Universidade do Estado do Amazonas pelo apoio recebido (Portaria 086/2021-GR/UEA). O terceiro autor é apoiado pela Universidad del Valle (Cali-Colômbia) e é bolsista CAPES/BRASIL 88887.701371/2022-00 para o desenvolvimento de uma pesquisa de pós-doutorado no Programa de Pós-graduação em Clima e Ambiente (CLIAMB, INPA/UEA). Este artigo é parte da dissertação de Mestrado do primeiro autor.

Referências

- Aleixo, N. C. R., & de Paula, L. B. C. Precipitação pluvial e episódios intensos na cidade de Manaus–Am. *Revista Ciência Geográfica*. <https://doi.org/10.57243/26755122.XXVII2029>
- Andreoli, R. V., & Kayano, M. T. 2005. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific decadal oscillation regimes. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15), 2017-2030. <https://doi.org/10.1002/joc.1222>
- Andreoli, R. V., de Oliveira, S. S., Kayano, M. T., Viegas, J., de Souza, R. A. F., & Candido, L. A. 2017. The influence of different El Niño types on the South American rainfall. *International Journal of Climatology*, 37(3), 1374-1390. <https://doi.org/10.1002/joc.4783>
- Andreoli, R. V., Ferreira de Souza, R. A., Kayano, M. T., & Candido, L. A. 2012. Seasonal anomalous rainfall in the central and eastern Amazon and associated anomalous oceanic and atmospheric patterns. *International Journal of Climatology*, 32(8), 1193-1205. <https://doi.org/10.1002/joc.2345>
- Andreoli, R. V., Kayano, M. T., Viegas, J., de Oliveira, S. S., de Souza, R. A. F., Garcia, S. R., & de Oliveira, M. B. L. 2019. Effects of two different La Niña types on the South American rainfall. *International Journal of Climatology*, 39(3), 1415-1428. <https://doi.org/10.1002/joc.5891>
- Arraut, J. M., & Satyamurty, P. 2009. Precipitation and water vapor transport in the Southern Hemisphere with emphasis on the South American region. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(9), 1902-1912. <https://doi.org/10.1175/2009JAMC2030.1>
- Cai, W., McPhaden, M. J., Grimm, A. M., Rodrigues, R. R., Taschetto, A. S., Garreaud,

- R. D., ... & Vera, C. 2020. Climate impacts of the El Niño–southern oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(4), 215-231. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3>
- Cardoso, A. D. O. 2005. Relações entre a TSM nos oceanos Atlântico e Pacífico e as condições climáticas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo]. Repositório da Produção USP. <https://repositorio.usp.br/item/001502299>
- Cohen, J. C., Silva Dias, M. A., & Nobre, C. A. (1995). Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. *Monthly weather review*, 123(11), 3163-3174. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1995\)123<3163:ECAWAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1995)123<3163:ECAWAS>2.0.CO;2)
- Dias, M. A. F. S. 2014 Eventos climáticos extremos. *Revista usp*, (103), 33-40. <https://repositorio.usp.br/item/002721284>
- Fatichi, S. 2009. Mann-Kendall Modified test. MATLAB Central File Exchange. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/25533-mann-kendall-modified-test>
- Fisch, G., Marengo, J. A., & Nobre, C. A. (1998). Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta amazônica*, 28, 101-101. <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282126>
- Grimm, A. M. 2003. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. *Journal of Climate*, 16(2), 263-280. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<0263:TENIOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<0263:TENIOT>2.0.CO;2)
- Grimm, A. M., & Tedeschi, R. G. 2009. ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate*, 22(7), 1589-1609. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2429.1>
- Honorato, A. G. & Oliveira, M. A. (2023). Avaliação técnica pós-desastre: Manaus, Amazonas. Serviço Geológico do Brasil, Manaus-AM, abril de 2023. <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23772>
- Huang, B., Thorne, P. W., Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., ... & Zhang, H. M. 2017. Extended reconstructed sea surface temperature, version 5 (ERSSTv5): upgrades, validations, and intercomparisons. *Journal of Climate*, 30(20), 8179-8205. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1>
- Instituto Nacional de Meteorologia. 2022. Normais climatológicas. <https://portal.inmet.gov.br/normais>
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., ... & Joseph, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, (1996). *Am. Meteor. Soc*, 77, 437-431. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077%3c0437:TNYRP%3e2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077%3c0437:TNYRP%3e2.0.CO;2)
- Kayano, M. T., Andreoli, R. V., Souza, R. D., Garcia, S. R., & Calheiros, A. J. 2016. El Niño e La Niña dos últimos 30 anos: diferentes tipos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/Kayanoetal.pdf>
- Kendall, M. G. 1975. Rank Correlation Methods. London: Charles Griffin and Co. 202 p.
- Lopes, A. B., Andreoli, R. V., Souza, R. A., Cerón, W. L., Kayano, M. T., Canchala, T., & de Moraes, D. S. 2022. Multiyear La Niña effects on the precipitation in South America. *International Journal of Climatology*, 42(16), 9567-9582. <https://doi.org/10.1002/joc.7847>
- Mamani Jimenez, L. C., Andreoli, R. V., Kayano, M. T., de Souza, R. A. F., & Ceron, W. L. 2023. Multiyear versus single-year El Niño events: Contrasting their impacts on South American seasonal precipitation. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.8186>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Marengo, J. A., & Espinoza, J. C. 2016. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, 36(3), 1033-1050. <https://doi.org/10.1002/joc.4420>
- Marengo, J. A., Borma, L. S., Rodríguez, D. A., Pinho, P., Soares, W. R., & Alves, L. M. 2013. Recent extremes of drought and flooding in Amazonia: vulnerabilities and human adaptation. *American Journal of Climate Change*. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2013.22009>
- Marengo, J. A., Nobre, C. A., Tomasella, J., Oyama, M. D., De Oliveira, G. S., De Oliveira, R., ... & Brown, I. F. 2008. The drought of Amazonia in 2005. *Journal of climate*, 21(3), 495-516. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1600.1>
- McPhillips, L. E., Chang, H., Chester, M. V., Depietri, Y., Friedman, E., Grimm, N. B., ... & Shafiei Shiva, J. 2018. Defining extreme events: A cross-disciplinary review. *Earth's Future*, 6(3), 441-455. <https://doi.org/10.1002/2017EF000686>
- Nobre, C. A., Obregón, G. O., Marengo, J. A., Fu, R., & Poveda, G. 2009. Characteristics of Amazonian climate: main features. *Amazonia*

- and global change, 186, 149-162.
<https://doi.org/10.1029/2009GM000903>
- Oliveira Vieira, S. de, Satyamurty, P., & Andreoli, R. V. 2013. On the South Atlantic Convergence Zone affecting southern Amazonia in austral summer. *Atmospheric Science Letters*, 14(1), 1-6. <https://doi.org/10.1002/asl2.401>
- Rosa, E. B., Pezzi, L. P., Quadro, M. F. L. D., & Brunsell, N. 2020. Automated detection algorithm for SACZ, oceanic SACZ, and their climatological features. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 18. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00018>
- Salio, P., Nicolini, M., & Saulo, A. C. 2002. Chaco low-level jet events characterization during the austral summer season. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D24), ACL-32. <https://doi.org/10.1029/2001JD001315>
- Satyamurty, P., & Rosa, M. B. 2019. Synoptic climatology of tropical and subtropical South America and adjoining seas as inferred from Geostationary Operational Environmental Satellite imagery. *International Journal of Climatology*, 40(1), 378-399. <https://doi.org/10.1002/joc.6217>
- Satyamurty, P., da Costa, C. P. W., & Manzi, A. O. 2013. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. *Theoretical and Applied Climatology*, 111, 195-209. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0637-7>
- Satyamurty, P., Nobre, C. A., & Silva Dias, P. L. 1998. South America. *Meteorology of the southern hemisphere*, 119-139. https://doi.org/10.1007/978-1-935704-10-2_5
- Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389.
<http://doi.org/10.1080/01621459.1968.104809>
- Silva, J. P. R., Reboita, M. S., & Escobar, G. C. J. 2019. Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul em campos atmosféricos recentes. *Revista Brasileira de Climatologia*, 25.
<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v25i0.64101>
- Sousa, A. C., Candido, L. A., & Satyamurty, P. 2021. Convective cloud clusters and squall lines along the coastal Amazon. *Monthly Weather Review*, 149(11), 3589-3608. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-21-0045.1>
- Souza, I. P. de, Andreoli, R. V., Kayano, M. T., Vargas, F. F., Cerón, W. L., Martins, J. A., ... & de Souza, R. A. F. 2021. Seasonal precipitation variability modes over South America associated to El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and non-ENSO components during the 1951–2016 period. *International Journal of Climatology*, 41(8), 4321-4338. <https://doi.org/10.1002/joc.7075>
- Tanaka, L. D. S., Satyamurty, P., & Machado, L. A. 2014. Diurnal variation of precipitation in central Amazon basin. *International journal of climatology*, 34(13), 3574-3584. <https://doi.org/10.1002/joc.3929>
- Tedeschi, R. G., Grimm, A. M., & Cavalcanti, I. F. 2015. Influence of Central and East ENSO on extreme events of precipitation in South America during austral spring and summer. *International Journal of Climatology*, 35(8), 2045-2064. <https://doi.org/10.1002/joc.4106>
- Tedeschi, R. G., Grimm, A. M., & Cavalcanti, I. F. 2016. Influence of Central and East ENSO on precipitation and its extreme events in South America during austral autumn and winter. *International Journal of Climatology*, 36(15), 4797-4814. <https://doi.org/10.1002/joc.4670>
- Trenberth, K. E. 1997. The definition of el nino. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(12), 2771-2778. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<2771:TDOENO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<2771:TDOENO>2.0.CO;2)
- Wilks, D. S. 2011. *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. 100). Academic press.
- Xavier, T. D. M. B. S. 2002. *A técnica dos quantis e suas aplicações em meteorologia, climatologia e hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras*. Brasília: Thesaurus.