


Artigo

Análise do Índice de Anomalia de Chuva e Tendência de Precipitação para Estações Pluviométricas na Amazônia Central

Alderlene Pimentel de Brito^{1,4} , Nayandra Carvalho da Silva², Javier Tomasella³,
Sávio José Filgueiras Ferreira¹, Maria Terezinha Ferreira Monteiro¹

¹*Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil.*

²*Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente, Manaus, AM, Brasil.*

³*Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, Cachoeira Paulista, SP, Brasil.*

⁴*Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM, Brasil.*

Recebido em: 25 de Novembro de 2020 - Aceito em: 11 de Julho de 2021

Resumo

As mudanças climáticas são uma resposta da dinâmica do sistema Terra a fatores intrínsecos ou extrínsecos ao planeta. Importantes consequências dessa alteração climática são as ocorrências de secas ou do aumento na intensidade das chuvas em várias regiões do globo terrestre, que pode reduzir ou aumentar a disponibilidade de água no sistema. Para a Amazônia o cenário de severidade de secas pode se agravar, conforme sugerido por modelos climáticos. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é analisar a anomalia de chuva e a tendência de precipitação para o período de 1994 a 2017 em sete estações pluviométricas localizadas na Amazônia Central e relacioná-los aos eventos interanuais/ interdecadais. Para tal, utilizou-se o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e o teste não paramétrico de Mann-Kendall. Os resultados sugerem que somente El Niños extremos, tais como os de 1997 e 2015, apresentaram redução na precipitação em todas as estações, enquanto o La Niña de 1999 foi o que apresentou os maiores aumentos, a partir dos IACs. Com relação ao teste de tendências de Mann-Kendall, somente na estação C apresentou uma tendência de aumento na precipitação, evidenciando a necessidade de maiores séries temporais de precipitação para análises mais concisas.

Palavras-chave: IAC, Mann-Kendall, precipitação.

Analysis of the Rain Anomaly Index and Precipitation Trend for Pluviometric Stations in Central Amazonia

Abstract

Climate change is a response to the dynamics of the Earth system to intrinsic or extrinsic factors to the planet. Important consequences of this climate change are the occurrence of droughts or an increase in the intensity of rainfall in various regions of the globe, which can reduce or increase the availability of water in the system. For the Amazon, the drought severity scenario may worsen, as suggested by climate models. The purpose of this work is to analyze the rain anomaly and the precipitation trend for the period from 1994 to 2017 in seven pluviometric stations located in Central Amazonia and relate them to the events El Niño and La Niña. For this, the Rain Anomaly Index (RAI) and the Mann-Kendall non-parametric trend assessment test were used. The results suggest that only extreme El Niño, such as those in 1997 and 2015, showed a decrease in precipitation, while La Niña in 1999 was the one that showed the greatest increases, from the RAI. Regarding the Mann-Kendall trend test, only at station C it showed a tendency to increase in precipitation, showing the need for larger precipitation time series for more concise analyzes.

Keywords: RAI, Mann-Kendall, precipitation.

1. Introdução

As mudanças climáticas são uma resposta da dinâmica do sistema Terra a fatores intrínsecos ou extrínsecos ao planeta. Estas mudanças, inclusive, proporcionaram a migração e instalação das comunidades humanas ao redor do globo e estão registradas na história geológica do planeta (Pinheiro *et al.*, 2013). Entretanto, a intensidade em que essas mudanças estão ocorrendo fez com que o interesse no estudo da variabilidade climática aumentasse, principalmente pela hipótese de que os efeitos das atividades humanas atuam sobre o sistema terrestre, sobrepondo-se ao sinal base dos processos climáticos naturais, o que acaba mascarando ou intensificando seus impactos (Obregón Párraga, 2003).

Importantes consequências dessa alteração climática são as ocorrências de secas ou do aumento na intensidade das chuvas em várias regiões do globo terrestre, que pode reduzir ou aumentar a disponibilidade de água no sistema e afetando diretamente o homem (Bates *et al.*, 2008; Marengo *et al.*, 2010; Marengo *et al.*, 2013; Gloor *et al.*, 2015).

Desde 1970, observou-se o aumento da temperatura e a intensificação do ciclo hidrológico (Seneviratne *et al.*, 2012). Onde, o aumento da temperatura eleva os níveis vapor d'água na atmosfera, o que torna a disponibilidade água menos previsível e variável (Marengo, 2008). Estudos sobre mudanças climáticas (Marengo, 2008; Marengo *et al.*, 2010) têm demonstrado uma certa polarização da ocorrência das chuvas para diferentes regiões do planeta, tendendo ao aumento da ocorrência de chuvas intensas e da severidade das secas meteorológicas.

Para a Amazônia os impactos ocorreram na intensidade, frequência e duração das secas, fenômeno crescente na região (Seneviratne *et al.*, 2012; Gloor *et al.*, 2015) e evidenciou - se, também, a vulnerabilidade do homem a esse risco climático, demonstrando a necessidade de melhor entendimento, melhor previsão de sua ocorrência e uso correto de medidas mitigatórias.

O cenário de severidade de secas pode se agravar, conforme sugerido por modelos climáticos (Marengo *et al.*, 2013; Gloor *et al.*, 2015). Essas secas na região amazônica estão associadas ao aquecimento da temperatura na superfície do mar do Oceano Pacífico Tropical e/ou do Oceano Atlântico Norte Tropical, fenômeno denominado de El Niño Oscilação Sul (ENOS) (Marengo & Espinoza, 2016; Aragão *et al.*, 2018).

O ENOS refere-se às situações nas quais o oceano Pacífico Equatorial está mais quente (El Niño) ou mais frio (La Niña) do que a média normal histórica. Tal fenômeno acarreta efeitos globais na temperatura e precipitação. A caracterização do ENOS é feita através do cálculo de índices, como o Índice de Oscilação Sul (IOS - calculado através da diferença de pressão entre duas regiões distintas: Taiti e Darwin) e os índices nomeados

Niño [(Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4), que são as anomalias de temperaturas da superfície do mar (TSM) médias em diferentes regiões do Pacífico equatorial] (CPTEC, 2020).

Nas duas últimas décadas, três secas extremas (2005, 2010 e 2015-2016) atingiram a região amazônica, cada uma com aumentando sucessivo em intensidade (Erfanian *et al.*, 2017; Aragão *et al.*, 2018), onde a última seca, originada pelo El Niño (2015-2016), foi a mais extrema (Jimenez-Muñoz *et al.*, 2016).

Nos ecossistemas tropicais, a hidrologia caracteriza-se por grande variabilidade interanual intrassazonal de precipitação e fluxo, afetando todos os componentes do balanço hídrico (escoamento, recarga, evapotranspiração etc.) (Tomasella *et al.*, 2008), que para o caso da região amazônica, são de fundamental importância no funcionamento do clima regional e global (Marengo, 2004). Esta variabilidade climática natural na forma de ciclos plurianuais de deficiência e excesso de chuvas em toda a região amazônica produz, de tempos em tempos, essas secas e inundações (Marengo e Espinoza, 2016).

Sabe-se que a variabilidade climática de alta frequência: nas escalas sinótica (temporalmente varia entre 1 a 10 dias e cuja largura do sistema é expressivamente maior que a espessura vertical) a sazonal (variações que ocorrem em cada estação, com duração de cerca de 60 dias) (Moran e Morgan, 1994); cria respostas hidrológicas de curto prazo, tais como cheias e vazantes, mas os níveis de água subterrânea e recarga são parcialmente controlados por interações complexas de variabilidade climática de baixa frequência (interanual a multidecadal) (Tremblay *et al.*, 2011; Venencio e Garcia, 2011; Perez-Valdivia *et al.*, 2012); por isso faz-se importante conhecer o comportamento e a distribuição da variabilidade da precipitação, pois reflete nos componentes do balanço hídrico.

Wilhite e Glantz (1987) classificaram, além das secas meteorológicas, as secas como agrícolas (solos e cultivo), hidrológicas (suprimento de água) e socioeconômicas (impacto social e econômico). Os autores definiram a seca meteorológica como um período constante, de um mês ou mais, durante o qual a precipitação está abaixo dos valores de precipitação média para o período. Cunha (2008), sugere que este tipo de seca depende da região de ocorrência, uma vez que as condições atmosféricas que resultam em deficiências de precipitação podem diferir consideravelmente de uma região para outra e embora Wilhite e Glantz (1987) classifiquem as secas em quatro tipos, todas são originadas da deficiência de precipitação, que resulta na redução ou falta de água para o desenvolvimento de atividades ou para a sobrevivência dos seres vivos (Wilhite, 2003).

Este trabalho objetiva analisar a anomalia de chuva e a tendência de precipitação para o período de 1994 a 2017 em sete estações pluviométricas na Amazônia Central.

2. Materiais e Métodos

2.1. Localização da área de estudo

A área de estudo deste trabalho está localizada na região Norte do Brasil, especificamente na região central do estado do Amazonas, correspondente a Amazônia Central (Fig. 1), onde foram selecionadas sete estações pluviométricas (Tabela 1), cujos dados diários foram cedidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), ANA (Agência Nacional de Águas) e INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia).

2.1.1. Fisiografia e geologia

A região de estudo situa-se na zona fisiográfica do Médio Amazonas. Inclui os municípios de Manaus, cuja

população é de 2.219.580 habitantes, cidade mais populosa da região norte (IBGE, 2020); Rio Preto da Eva, com 34.106 habitantes; Presidente Figueiredo, com 37.193 habitantes; e Itacoatiara, com 102.701 habitantes. Manaus destaca-se por ser um importante polo econômico e industrial na região norte do Brasil, concentra regiões industriais, urbanas, sob pressão antrópica e preservadas. Contém áreas tidas como ilhas de calor (Corrêa *et al.*, 2016).

A vegetação de terra firme ocorre em quatro variantes: Platô, Vertente, Campinarana e Baixio, com ocorrência de vegetação secundária nos entornos das regiões urbanas (Ribeiro *et al.*, 1999). O solo predominante é o Latossolo Amarelo distrófico, de textura muito argilosa, principalmente em área de platô (Chauvel *et al.*, 1981). O relevo é suavemente ondulado, com sequências topo-

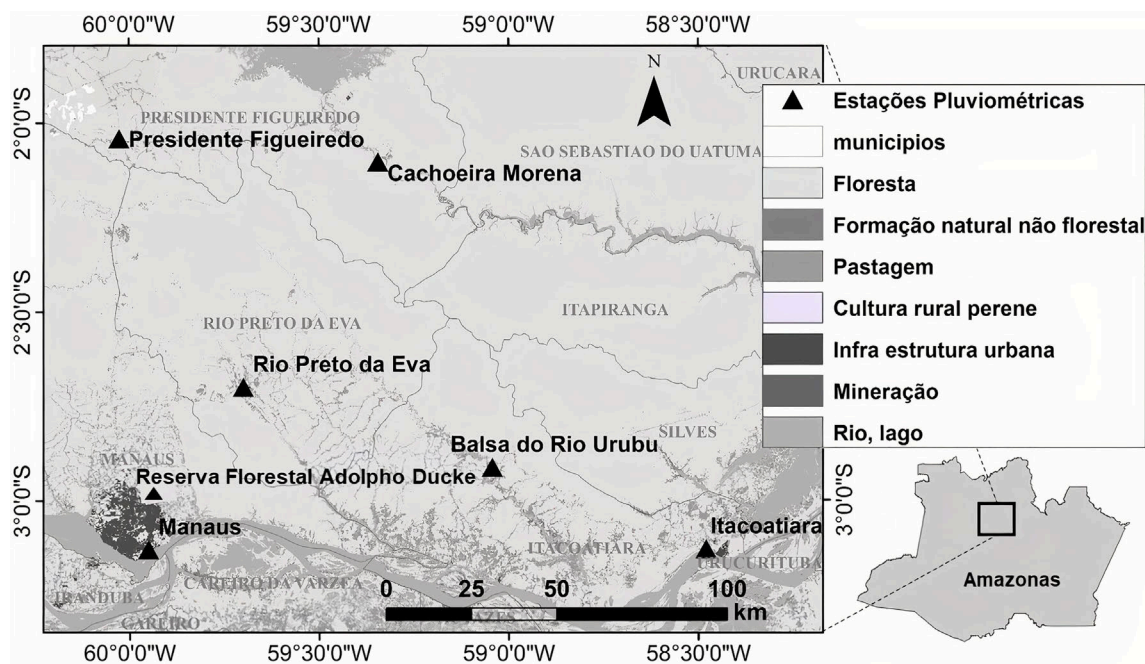


Figura 1 - Localização geográfica das estações pluviométricas utilizadas neste estudo e suas relações entre as regiões urbanas.

Tabela 1 - Caracterização geral das estações pluviométricas aplicadas a este estudo com relação as coordenadas geográficas, intervalo analisado e a fonte dos dados.

Nome	Representação	Latitude	Longitude	Intervalos de precipitação utilizados	Fonte
Manaus	A	-59.95	-3.13	01/1994 a 12/2017	INMET
Reserva Florestal Adolpho Ducke	B	-59.975	-2.929	01/1994 a 12/2017	INPA
Presidente Figueiredo	C	-60.0258	-2.0417	01/1994 a 12/2017	HIDROWEB
Itacoatiara	D	-58.48	-3.13	01/1994 a 12/2017	INMET
Rio Preto da Eva	E	-59.6997	-2.7003	03/1994 a 12/2017	HIDROWEB
Cachoeira Morena	F	-59.65	-3.13	05/1994 a 12/2017	HIDROWEB
Balsa do Rio Urubu	G	-59.0433	-2.9131	01/1994 a 12/2017	HIDROWEB

*Reserva Florestal Adolpho Ducke.

gráficas de platô, encosta e baixo, respectivamente com solos das classes Latossolo, Argissolo e Espodosolo, todos ocorrendo em condições de terra firme (Toledo, 2009).

Geologicamente, as estações Manaus, Reserva Florestal Adolpho Ducke (RFAD), Rio Preto da Eva e Itacoatiara ocorrem sobre a formação Alter do Chão. Neste contexto, as estações Manaus, Rio Preto da Eva e Itacoatiara estão inseridas em áreas urbanas. Somente a estação RFAD ocorre em região de floresta primária. As estações Balsa do Rio Urubu e Cachoeira Morena ocorrem sobre sedimentos aluvionares, as margens de rios. Já a estação Presidente Figueiredo ocorre sobre o grupo Trombetas, também em região de baixa demografia.

2.1.2. Climatologia

O clima da região segue o tipo Afi de Köppen (tropical, sem inverno, cujo mês mais frio está acima de 18 °C, com chuvas o ano todo, precipitação superior a 60 mm no mês mais seco (agosto) e isotermia (em média 5 °C), com temperatura média de 26 °C (máxima 39 °C e mínima 19 °C) (CPRM, 2002).

De acordo com a climatologia, de 1961 a 1990 proposta pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) (INMET, 2016), a média do mês mais quente corresponde a outubro; o mais seco a maio; o mais chuvoso a abril. O trimestre mais quente a agosto, setembro e outubro; o mais seco a julho, agosto e setembro; o mais frio a janeiro, fevereiro e março; o mais chuvoso a fevereiro, março e abril. A média da precipitação anual é 2286 mm. Ocorrem duas estações ao ano: uma chuvosa (novembro a maio) e outra seca (junho a outubro), inverno e verão amazônico, respectivamente. Medidas realizadas de radiação indicam que os maiores totais em superfície ocorrem nos meses de setembro/outubro e os mínimos nos meses de dezembro a fevereiro (Nobre *et al.*, 2009).

2.2. Dados

Para a seleção das estações pluviométricas, o critério estabelecido foi que a série temporal deveria ser contínua e que possibilitasse a comparação temporal, o que totalizou um comprimento temporal de 23 anos.

As falhas diárias foram preenchidas de acordo com o método da dupla massa acumulada, que é um dos métodos mais conhecidos para a análise de consistência dos dados de precipitação, cuja finalidade de identificar se ocorreram mudanças no comportamento da precipitação ao longo do tempo, ou mesmo no local de observação. Baseia-se no princípio de que o gráfico de uma quantidade acumulada, plotada contra outra quantidade acumulada, durante o mesmo período, deve ser uma linha reta, sempre que as quantidades sejam proporcionais. A declividade da reta ajustada nesse processo representa, então, a constante de declividade (Teixeira, 2010).

Especificamente, seleciona-se os postos de uma região, acumula-se para cada um deles os valores mensais, e plota-se num gráfico cartesiano os valores acumulados correspondentes ao posto a consistir (nas ordenadas) e de outro posto confiável adotado como base de comparação (nas abscissas). Pode-se também modificar o método, considerando valores médios das precipitações mensais acumuladas em vários postos da região, e plotar esses valores no eixo das abscissas (Teixeira, 2010).

As falhas nas séries mensais foram preenchidas pelo método da regressão linear, que consiste em utilizar as regressões lineares simples ou múltiplas. Na regressão linear simples, aplicada neste estudo, correlacionou-se as precipitações de um posto com falhas (Y) e de um posto vizinho (X). Obteve-se as estimativas dos dois parâmetros através do critério de mínimos quadrados. Correlaciona-se o posto de falhas (Y) com outro vizinho (X) e produziu-se uma equação analítica do tipo $Y = a + bX$ e preencheu-se as falhas. (Tucci, 2004).

De acordo com esses critérios foram selecionadas sete estações pluviométricas, duas no município de Manaus, uma no município do Rio Preto da Eva, duas em Itacoatiara e duas em Presidente Figueiredo. A partir de cada série temporal foram analisados os valores característicos, tais como, total anual e total mensal.

A Tabela 1 descreve o código das estações, os intervalos de precipitação utilizados e as respectivas fontes de acesso.

2.3. Índice de anomalias de chuva (IAC)

Utilizou-se o índice de anomalias de chuva (IAC), desenvolvido por Rooy (1965) para classificar as magnitudes de anomalias de precipitação positivas e negativas de acordo com as Eqs. (1) e (2).

$$IAC_{positivo} = 3x \left[\frac{(N - N_1)}{(M - N_1)} \right] \quad (1)$$

$$IAC_{negativo} = -3x \left[\frac{(N - N_1)}{(X - N_1)} \right] \quad (2)$$

onde N é precipitação observada para ano em que será gerado o IAC (mm); N_1 é precipitação média anual da série histórica (mm); M é a média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm); e X é média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm).

Quanto a classificação de IAC para os anos secos e úmidos, foi feita de acordo com o proposto por Araújo *et al.* (2009) na Tabela 2. Esse autor baseou suas análises no trabalho desenvolvido por Freitas (2005), cuja análise estatística inicial teve por base 30 estações de precipitação distribuídas no estado do Ceará, cujo objetivo era observar a severidade da dependência entre a incidência do fenômeno do El Niño e a ocorrência de secas no Ceará. Adicionalmente, foram estabelecidas tabelas de probabilidade

Tabela 2 - Classificação do Índice de anomalia de chuva.

	Faixa do IAC	Classe de intensidade
Índice de anomalia de chuva	>4	Extremamente úmido
	2 a 4	Muito úmido
	0 a 2	Úmido
	0 a -2	Seco
	-2 a -4	Muito seco
	<-4	Extremamente seco

condicionadas para as diferentes estações. Os quantis 33% e 67% das séries de precipitação foram usados para classificar os anos em seco, normal ou úmido. Os índices do ENSO foram, também, classificados em quente, normal ou frio (Freitas, 1996). Para esta pesquisa o IAC considerado, foi o anual.

2.4. Teste de Mann-Kendall (TMK)

O TMK é um teste não-paramétrico (Mann, 1945; Kendall, 1975), sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais, para este estudo, foram feitas avaliações anuais e mensais das séries temporais.

Chebana *et al.* (2013) acrescentam que o TMK é uma ferramenta poderosa para teste de tendências e destacam que foi concebido para testar a hipótese nula (H_0), de ausência de tendência, ou seja, em geral, correlações seriadas positivas (negativas) aumentam (diminuem) a probabilidade de rejeitar a hipótese nula (Von Storch, 1995).

Conforme explicitado Wagesho *et al.* (2012), dada uma série (X_1, X_2, \dots, X_n) proveniente de uma amostra de n variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (*iid*), a estatística do teste de MK é (Eq. (3)):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(X_j - X_i) \quad (3)$$

sendo X_i os valores da série, em geral tomados em intervalos de tempo anuais, i e j os índices de tempo, e n é o número de elementos da série. O termo sinal $(X_j - X_i)$ é determinado por (Eq. (4)):

$$\text{sinal}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Kendall (1975) mostrou que S é normalmente distribuída com média $E(S)$ e variância $Var(S)$, e são calculadas pelas Eqs. (5) e (6), respectivamente, para uma situação na qual pode haver valores iguais a x :

$$E[S] = 0 \quad (5)$$

$$Var[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (6)$$

onde t_p é o número de dados com valores iguais num certo grupo (p th) e q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados, ou seja, dados que apresentam observações descritas como abaixo de um certo limite de detecção. Esses dados não devem ser eliminados, pois poder-se-á gerar graves distorções (Helsel, 2005).

3. Resultados e Discussão

3.1. Índice de anomalias de chuva (IAC)

A Tabela 3 mostra o IAC das sete estações pluviométricas para o período de 1994 a 2017, onde o máximo valor (10,8) de ano extremamente húmido foi registrado

Tabela 3 - Distribuição dos índices anuais de anomalia de chuva tanto positivos quanto negativos das estações pluviométricas. O destaque em cinza escuro representa anos de El Niño e em cinza claro os anos de La Niña.

Ano	A	B	C	D	E	F	G
1994	-0,5	-3,3	-4,0	-0,1	5,4	-2,1	3,1
1995	-0,9	-3,7	-4,9	-3,1	1,4	-1,5	-2,0
1996	2,5	-4,9	-3,5	0,9	5,6	2,6	4,5
1997	-0,2	-3,3	-6,2	-4,9	-4,0	-7,1	-2,4
1998	-1,6	-0,8	-2,5	-2,2	-2,3	-1,4	-3,1
1999	2,8	3,8	2,1	3,2	4,0	1,3	10,8
2000	2,6	1,5	4,0	0,2	1,5	2,2	-1,1
2001	-5,9	1,5	-3,3	-2,9	-2,6	0,2	-1,5
2002	-0,3	0,5	-0,3	-1,5	-1,0	3,1	0,3
2003	-4,2	-5,0	-2,9	-3,2	-3,8	0,6	-0,6
2004	-3,1	-2,1	0,8	-1,4	-2,3	1,2	-4,4
2005	-1,5	5,8	2,1	-4,3	-0,5	3,6	-1,4
2006	-0,5	2,2	2,5	7,6	-2,9	6,0	3,5
2007	0,6	1,9	2,5	-0,6	-0,4	2,1	-0,3
2008	8,2	5,9	6,0	4,9	5,3	-3,9	4,1
2009	-4,2	-1,5	0,9	-5,4	1,9	-1,3	1,3
2010	-1,9	-1,1	0,5	3,0	0,1	-4,8	-0,9
2011	4,4	3,2	3,6	3,0	1,8	-0,3	0,7
2012	-0,4	1,2	0,7	1,7	0,5	-0,9	0,8
2013	3,8	2,2	3,3	1,4	-2,4	-5,7	-1,7
2014	2,3	1,0	0,6	0,5	-0,6	0,5	-2,7
2015	-6,1	-3,9	-2,8	-0,5	-6,4	-1,3	-7,0
2016	-0,7	-1,1	2,0	3,8	-2,2	1,5	-3,8
2017	3,1	2,0	1,9	-1,2	2,5	6,4	3,0

em 1999 na estação G, enquanto o menor valor de ano extremamente seco, foi de $-7,1$ em 1997, na estação F.

Os IACs das estações foram relacionados aos eventos interanuais El Niño e La Niña, onde os períodos considerados de acordo [CPTEC/INPE \(2020\)](#) são mostrados na [Tabela 4](#).

Com relação aos eventos interanuais El Niño e La Niña, as estações demonstraram respostas variáveis: Em 1995, El Niño, para as estações A ($-0,9$), F ($-1,5$) e G ($-2,0$), o IAC foi para um período seco, enquanto, para as estações B ($-3,7$) e D ($-3,1$) o IAC foi muito seco, na estação C ($-4,9$) foi extremamente seco e para a estação E ($1,4$) o IAC foi úmido.

Para o El Niño extremo de 1997, as estações C ($-6,2$), D ($-4,9$) e F ($-7,1$) demonstraram um IAC extremamente seco, enquanto em B ($-3,3$), E ($-4,0$) e G ($-2,4$) o IAC foi muito seco. Já na estação A ($-0,2$) o IAC foi classificado como seco.

Para 2015, outro El Niño extremo, o IAC extremamente seco ocorreu para as estações A ($-6,1$), E ($-6,4$) e G ($-7,0$). Para B ($-3,9$) e C ($-2,8$) o IAC foi muito seco e em D ($-0,5$) e F ($-1,3$), foram secos. Outros IAC's extremamente secos ocorreram para a estação B ($-4,9$) em 1996, ressalta-se que esta estação B apresenta valores déficits de chuva desde 1994 e cujo ápice culmina em 1996 e perdura até 1998, sugerindo que a fase positiva da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) gere menos precipitação na região e tenha maiores impactos que os El Niños sobre a estação. Os demais valores variaram entre secos a muito secos e coincidiram com fases positivas da ODP. Destaca-se que a estação D ($-4,3$) pode ter captado a seca de 2005, causada devido as anomalias da TSM do Atlântico, chamada de Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) ([Aragão et al., 2007](#)).

Para as La Niñas, em 1999, a estação G foi a que se apresentou extremamente úmida na classificação, com um IAC de $10,8$. Para 2006, as estações D e F, com os IACs $7,6$ e $6,0$, respectivamente, foram as extremamente úmidas. Para 2008, todas as estações classificaram-se em extremamente úmido, com exceção da estação F ($-3,9$), tida como muito seca; para 2011, a estação A ($4,4$), foi a extremamente úmida; e para 2017, a estação F ($6,4$), foi a extremamente úmida. Outros valores extremamente úmidos são encontrados nas estações E ($5,4$) em 1994 e E ($5,6$) e G ($4,5$) em 1996, anos tidos como neutros.

Tabela 4 - Períodos de El Niño e La Niña considerados neste estudo ([NOAA, 2020](#)).

El Niño	La Niña
1997-1998	1998-1999
2002-2003	1999-2000
2006-2007	2007-2008
2009-2010	2010-2011
2015-2016	2017-2018

É importante ressaltar que na Amazônia os extremos pluviométricos não acontecem no mesmo espaço, no mesmo período e nem na mesma intensidade ([Marengo et al., 2008](#)). Por exemplo, as secas na Amazônia são causadas por vários fenômenos meteorológicos e causam impactos diferentes em diferentes regiões da Bacia Amazônica, ou seja, quando as secas ocorrem associadas ao ENOS, que geram anomalias pluviométricas, e consequentemente anomalias na vazão, afetam, principalmente, o Norte, Centro e Leste da Amazônia e quando as secas estão associadas a AMO as anomalias ocorrem, principalmente, no oeste da Amazônia ([Aragão et al., 2007](#)).

Um exemplo foi a seca de 2005, que não afetou a região central e leste da Amazônia e não foi influenciada pelo fenômeno El Niño ([Marengo et al., 2008](#)). Já os estudos de [Zeng et al. \(2008\)](#), [Yoon e Zeng \(2010\)](#) e [Marengo et al. \(2012\)](#), mostraram que a variabilidade das chuvas na Amazônia não é devida somente ao aquecimento e resfriamento da superfície do Pacífico Leste, mas também ao Oceano Atlântico Norte e Sul durante o período de transição entre a estação chuvosa e a seca.

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

Os autores [Zeng et al. \(2008\)](#), [Yoon e Zeng \(2010\)](#) e [Marengo et al. \(2012\)](#) demonstraram que ocorrem variações regionais da distribuição dos extremos pluviométricos e que estes podem ou não ser consequência de El Niños e La Niñas. [Souza et al. \(2000\)](#), [Marengo et al. \(2001\)](#) e [Tomasella et al. \(2013\)](#) estudaram que o ciclo anual da precipitação na região centro-sul da Amazônia mostra um máximo durante o verão austral que está relacionado com a ZCAS, enquanto a porção norte da Amazônia apresenta o máximo no outono austral, devido o deslocamento da ZCIT mais ao sul. Já as anomalias positivas de TSM tanto no Pacífico Leste, como no Atlântico Norte Tropical, associadas aos ventos fortes e à célula de Walker, se deslocam de Oeste para Leste, fazendo com que ocorra movimentos atmosféricos subsidentes sobre a Amazônia provando, assim, uma diminuição dos índices pluviométricos e consequentemente baixos valores de vazão, que se associa as secas ([Tomasella et al., 2013](#)).

Com base nos dados analisados dispostos na [Fig. 2](#), somente El Niños extremos, tais como em 1997 e 2015, todas as estações tiveram redução na precipitação, enquanto o La Niña de 1999, foi o que apresentou os maiores aumentos em precipitação nas setes estações.

A [Fig. 2](#) também mostra o comportamento de cada estação com relação aos IACs, onde para as estações D e

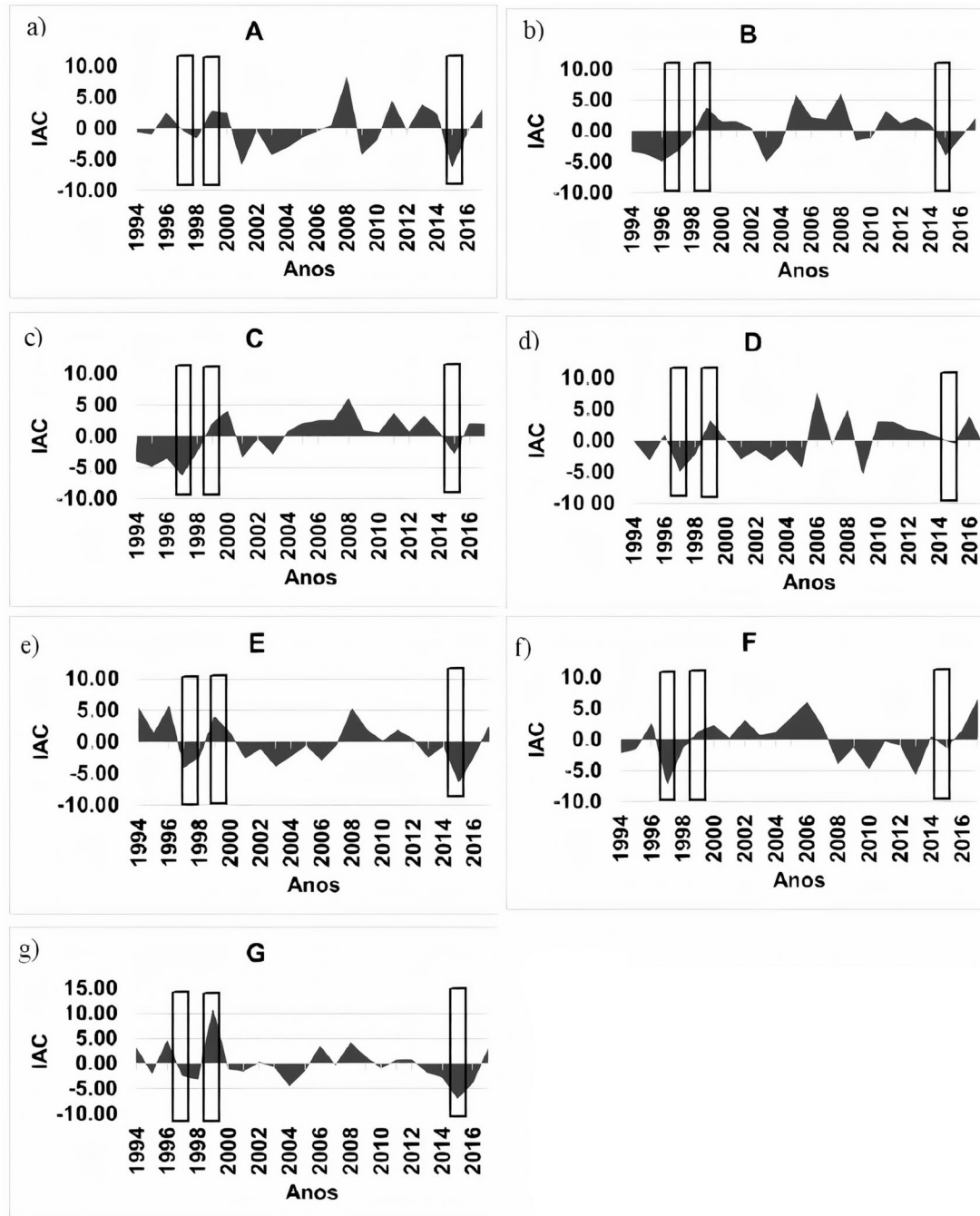


Figura 2 - Distribuição temporal dos IACs entre 1994 e 2017, para as estações a) Manaus; b) RFAD; c) 260007; d) Itacoatiara; e) 259004; f) 259000; g) 358002.

F, entre 1996 e 2008, o padrão dos IACs foi similar, sendo os anos de 1996 e 1997 negativos, 1999 positivo, 2000 a 2005 negativos e 2006 a 2008 positivos, com mudança de comportamento a partir daí.

As estações E e F mostraram comportamento invertido em IACs entre 2000 a 2012, onde entre 2000 a 2006 os IACs foram negativos para a estação E e o inverso (positivos) para a estação F; e de 2007 a 2012, para E os

valores foram negativos e para F positivos, demonstrando assim a variabilidade dos IACs das estações ao longo do tempo.

Com relação a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) (NOAA, 2020), as fases positivas mais longas foram 1995 a 1998 e 2015 a 2017; já as fases negativas ocorreram de 1999 a 2003, 2008 a 2010, 2011 a 2014 (Fig. 3). A estação F foi a que acompanhou o comportamento de ODP, exceto

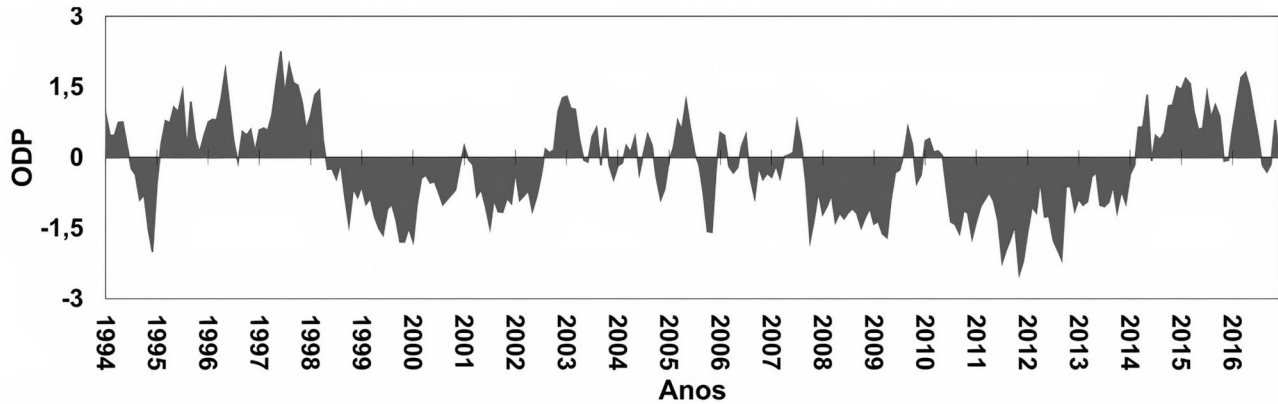


Figura 3 - Padrões de ODP entre 1994 e 2016 (NOAA, 2020)

para o período entre 2000 e 2004. Nas demais estações os efeitos das inversões de fase foram diferenciados.

Seis estações apresentaram uma fase negativa de IAC entre 2000 e 2004, seguindo o padrão ODP, com exceção da estação F. As mudanças de fase da ODP foram captadas pelas estações no ano seguinte.

3.2. Teste de Mann-Kendall

Com relação ao teste de tendências de Mann-Kendall, os dados anuais de seis estações não apresentaram significância estatística para o período de 1994 a 2017, somente na estação C, localizada a norte da área de estudo, a tendência foi positiva (0,02) (Tabela 5), ou seja, tendência de aumento na precipitação.

Quanto as tendências mensais de precipitação das estações: A apresentou tendência positiva para o mês de julho no período (0,04); B apresentou uma tendência positiva, também, para o mês de julho (0,01); Para C, a tendência foi positiva, de crescimento de precipitação, para os meses de março e dezembro; Em D, a tendência foi negativa, ou, seja, redução na precipitação para os meses de fevereiro, março, abril e maio, e positiva, aumento na precipitação para julho, agosto, setembro, outubro e novembro; A estação E apresentou uma tendência negativa para abril enquanto das estações F e G não apresentaram tendências mensais.

As estações A e B, embora em ambientes distintos: A, em região urbana e B, em região de floresta primária, apresentaram tendências de crescimento similares para o mês de julho, sem tendência anual significativa para o período estudado. Estes resultados foram diferentes do obtido por Almeida (2014), que aplicou o mesmo teste de tendência utilizado neste estudo e observou um aumento de tendência significativa de precipitação para Manaus, no período de 1977 a 2011. Cutrim *et al.* (2000), também verificaram aumento de tendência de precipitação para o período entre 1901 e 1996. A Fig. 4, apresenta os acumulados totais anuais da precipitação para a estação A e a comparação com o R^2 obtido no trabalho de Almeida (2014), o que demonstra a necessidade de uma ampla série temporal de dados para observações de tendências de precipitação anual.

Para o trabalho de Santos *et al.* (2012), que incluiu as estações de Manaus (A) e RFAD (B), a análise dos índices anuais de extremos climáticos, oriundos de dados de precipitação pluvial diária, indica aumento da precipitação total anual, porém, sem significância estatística.

É possível que a tendência positiva para julho nas estações de Manaus e RFAD, demonstre um mês de transição para a temporada chuvosa mais volumosa e que pode estar relacionado as ilhas de calor urbano (ICU), que de acordo com Arya (2001), trata-se do aumento da

Tabela 5 - Resultados do teste não paramétrico de Mann-Kendall para as estações desse estudo. Os valores em cinza escuro apresentaram tendências mensais e em cinza claro, tendência anual.

Representação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
A	0,50	0,90	0,47	0,09	0,64	0,60	0,04	0,12	0,30	0,37	0,64	0,16	0,64
B	0,75	0,86	0,57	0,71	0,21	0,94	0,01	0,90	0,29	0,90	0,86	0,36	0,15
C	0,43	0,13	0,01	0,54	0,33	0,29	0,10	0,64	0,19	0,14	0,94	0,03	0,02
D	0,09	0,04	6,78	1,63	0,00	0,98	0,02	1,48	0,00	0,00	1,48	0,09	0,22
E	0,57	0,73	0,79	0,03	0,26	0,90	0,39	0,33	0,94	0,26	0,44	0,47	0,60
F	0,44	0,60	0,82	0,90	0,26	0,79	0,79	0,79	0,41	0,14	0,28	0,09	0,67
G	0,26	0,71	0,33	0,90	0,11	0,98	0,10	0,98	0,24	0,41	0,32	0,54	0,47

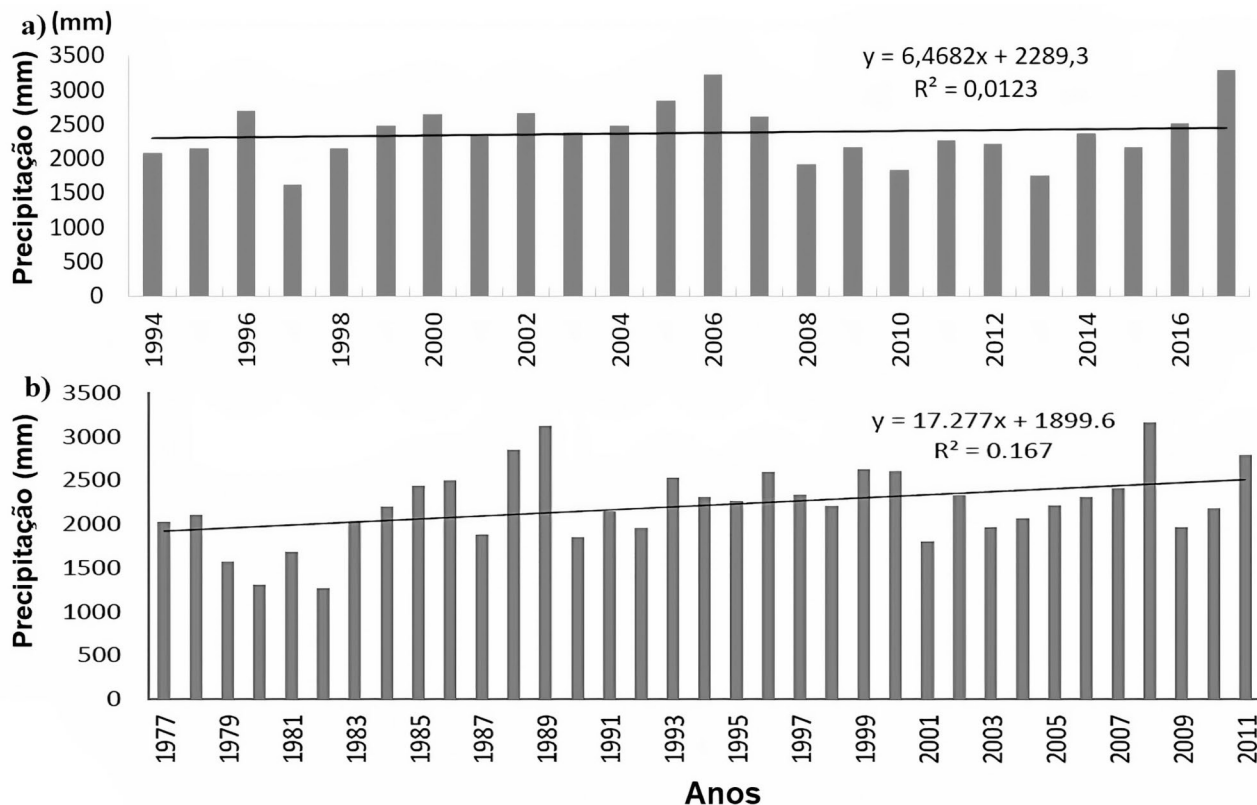


Figura 4 - a) Acumulado anual de precipitação da série temporal deste estudo (1994 a 2017); b) Acumulado anual da precipitação para 1977 a 2011 de Almeida (2014); ambos os dados são provenientes da estação do INMET em Manaus.

temperatura da superfície e do ar sobre uma área urbana, que irá influenciar de forma direta o Balanço de Energia em Superfície (BES). Essa modificação do BES em áreas urbanas é diretamente influenciada por estrutura urbana, mudanças nos usos da terra e população, enquanto a intensidade da ICU está positivamente correlacionada a população (Oke, 1988). Mudanças no BES podem induzir à formação de circulações atmosféricas locais entre regiões mais quentes e mais frias de uma área urbana. A criação de circulações atmosféricas locais está diretamente relacionada ao armazenamento diferenciado de energia em superfície. Além disto, as circulações locais criadas em uma área urbana podem interagir diretamente com outros tipos de circulações locais, como, por exemplo, brisas fluviais ou circulações de escala sinótica (Souza, 2012).

No trabalho de Souza (2012) as análises de temperatura evidenciaram que existe uma tendência de mudança do microclima da cidade de Manaus nos últimos 50 anos. Para o autor as mudanças no microclima de Manaus foram verificadas a partir da análise das variáveis temperatura e precipitação, e tais mudanças podem estar relacionadas ao crescimento urbano, pois no teste de Mann-Kendall para temperatura máxima e mínima nenhuma mudança abrupta de comportamento que justifique as tendências observadas foi encontrada.

Já a estação D (Itacoatiara), para o presente estudo, não apresentou tendência anual significativa pelo método de Mann-Kendall. Tal resultado acompanha o obtido no estudo de Almeida (2014). Nas demais estações, estudos comparativos não foram encontrados.

De acordo com Marengo (2004), as tendências crescentes das chuvas são suportadas por mudanças na circulação que favorecem um aumento no transporte de umidade para a Amazônia. O autor subdividiu a Amazônia em norte e sul, onde a tendência negativa é mantida para norte, enquanto a sul exibe uma ligeira tendência positiva. As estações estudadas nesta pesquisa estão no setor norte da Amazônia. Como a série de dados é limitada, maiores observações com relação as tendências não puderam ser observadas. Entre o período de 1994 a 2016 as estações apresentaram um comportamento neutro.

4. Conclusões

Com relação aos IACs, somente El Niños extremos, tais como os de 1997 e 2015, apresentaram redução na precipitação em todas as estações, enquanto o La Niña de 1999, foi o que apresentou os maiores aumentos em precipitação nas setes estações. Ainda com relação aos IACs, para as estações D e F, entre 1996 a 2008, o padrão foi similar, sendo os anos de 1996 e 1997 negativos, 1999

positivo, 2000 a 2005 negativos e 2006 a 2008 positivos, com mudança de comportamento a partir daí. Comparativamente a ODP, as estações demonstraram seguir um padrão positivo e negativo. O período 2002 a 2004 foi mais seco em precipitação para todas as estações, mas representou uma fase positiva em ODP.

Com relação ao teste de tendências de Mann - Kendall, somente na estação C, localizada a norte da área de estudo, apresentou uma tendência de aumento na precipitação. As estações A e B, embora em ambientes distintos, demonstraram um comportamento similar, com tendências de crescimento para o mês de julho, sem significância para tendências anuais no período estudado.

Tais análises sugerem que o comportamento da precipitação na região é variável, em função da variação geomorfológica de cada ambiente, bem como das influências antrópicas exercidas sobre o ambiente. Através deste estudo foi possível verificar que os impactos dos eventos interanuais e interdecadais apresentaram diferentes magnitudes e que eventos extremos de ENOS foram captados por todas as estações.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Projeto IETÉ, realizado pelo INPA, em parceria com a SAMSUNG Eletrônica da Amazônia, com recursos previstos na Lei Federal nº 8.387/1991, em concordância com o artigo 39 do decreto nº 10.521/2020 (P&D). Nossos agradecimentos, também, ao Programa LBA (Programa de Grande Escala Biosfera-Atmosfera na Amazônia), coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), pelo uso e disponibilização dos dados, suporte logístico e infraestrutura durante as atividades de campo. Agradecemos ainda ao Programa de Pós-graduação em Clima e Ambiente do INPA (CLIAMB) por oportunizar um novo olhar sobre dados pluviométricos.

Referências

- ALMEIDA, C.T. **Dinâmica das Mudanças Climáticas na Região Amazônica Baseada em Dados Meteorológicos e Satélites Ambientais**. Monografia de Graduação em Engenharia Florestal, UERG, Soropédica, 2014.
- ARAGÃO, L.E.O.C.; ANDERSON, L.O.; FONSECA, M.G.; ROSAN, T.M.; VEDOVATO, L.B.; *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, p. 536, 2018.
- ARAGÃO, L.E.O.C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R.M.; SAATCHI, S.; ANDERSON, L.O.; SHIMABUKURO, Y.E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 1, p. 1-5, 2007. doi
- ARAÚJO, L.E.; MORAES NETO, J.M.; SOUSA F.A.S. Análise climática da bacia do rio Paraíba - Índice de Anomalia de

- Chuva (IAC). **Revista de Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 508-523, 2009.
- ARYA, S.P. **Introduction to Micrometeorology** 2 ed. San Diego: Academic Press, 2001.
- BATES, B.C.; KUNDZEWICZ, Z.W.S. WU, S.; PALUTIKOF, J.P. (eds). **Climate Change and Water, Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC, 2008.
- CHAUVEL, A.; LUCAS, Y.; BOULET, R. On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, Central Amazonia, Brazil. **Experientia**, v. 43, p. 234-241, 1987.
- CHEBANA, F.; OUARDA, T.B.M.J.; DUONG, T.C. Testing for multivariate trends in hydrologic frequency analysis. **Journal of Hydrology**, v. 486, p. 519-530, 2013.
- CORREA, P.B.; CANDIDO L.A.; SOUZA, R.A.F.; ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. Estudo do fenômeno da ilha de calor na cidade de Manaus/AM: Um estudo a partir de dados de sensoriamento remoto, modelagem e estações meteorológicas. **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 31, n. 2, p. 167-176, 2016. doi
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta Hidrogeológica da Cidade de Manaus. Mapas + Relatório**, 8 p., escala 1:10.000, 2002.
- CUNHA, R.L.A. **Definição de Cenários de Referência Para Avaliação dos Impactos das Secas**. Dissertação Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 147 p., 2008.
- CUTRIM, E.M.C.; MOLION, L.B.; NECHET, D. Chuvas na Amazônia durante o século XX. In: **Anais do XI CBMET**. Rio de Janeiro: SBMET, p. 1327-1333, 2000.
- ERFANIAN, A.; WANG, G.; FOMENKO, L. Unprecedented drought over tropical South America in 2016: Significantly under-predicted by tropical SST. **Scientific Reports**, v. 7, n. 5811, p. 5811, 2017.
- FREITAS, M.A.S. Aspectos a serem considerados quando de uma análise regional integrada de secas. UNIFOR. **Revista Tecnologia**, v. 9; n. 17, p. 9-17, 1996a.
- FREITAS, M.A.S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semiáridas. **Revista Tecnologia**, v. 19 (suppl.), n. 1, p. 84-95, 2005.
- GLOOR, M.; BARICHIVICH, J.; ZIV, G. (2015), Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, p. 1384-1399, 2015. doi
- HELSEL, D.R. **Nondetects and Data Analysis. Statistics for Censored Environmental Data**. New York: Wiley, 2005.
- IBGE. <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em 27 de abril de 2020 às 9h.
- INMET. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas> Acesso em 12 de setembro de 2016 às 19h.
- INPE - CPTEC. <http://enos.cptec.inpe.br/~renos/misc/elnino.html>. Acesso em 25 de outubro das 2020 às 17h.
- INPE - CPTEC. <http://enos.cptec.inpe.br/~renos/misc/lanina.html>. Acesso em 25 de outubro das 2020 às 17h.
- JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; SANTAMARÍA-ARTIGAS, A.; TAKAHASHI, K.; *et al.* Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016. **Sci. Rep.**, v. 6, n. 33130, p. 1-7, 2016. doi

- KENDALL, M.G. **Rank Correlation Methods**. 4.ed. Londres: Charles Griffin, 1975.
- MANN, H.B. Non-parametric tests against trend. **Econometria**, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.
- MARENGO, J.A.; Espinoza, J.C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2016.
- MARENGO, J.A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V.E.; FILIZOLA, N.P.; WAINER, I.C. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, n. 5, p. 833-852, 2001.
- MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M.D.; OLIVEIRA, G.V.S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L.M.; BROWN, F. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, n. 3, p. 495-516, 2008. doi
- MARENGO, J.A.; TOMASELLA, J.; SOARES, W.R.; ALVES, L.M.E.; NOBRE, C.A. Extreme climatic events in the Amazon basin. **Theoretical Applied Climatology**, v. 107, n. 1-2, p. 73-85, 2012.
- MARENGO, J.A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theor. Appl. Climatol.**, v. 78, p. 79-96, 2004. doi
- MARENGO, J.A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; REMON, M. An Intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: Part 2 - Historical trends. **Climate Change**, v. 98, n. 3, p. 509-529, 2010. doi
- MORAN, J.M.; MORGAN, M.D. **Meteorology**. New York: Macmillan College Publishing Company, 1994.
- NOAA. psl.noaa.gov/pdo/. Acesso em 25 de novembro de 2020.
- NOBRE, C.A.; OBREGÓN, G.O.; MARENGO, J.A. Characteristics of Amazonian climate: Main features. In: KELLER, M. *et al.* (Org.). **Amazonia and Global Change**. Washington: American Geophysical Union, p. 149-162, 2009.
- NOBRE, C.A.; OBREGÓN, G.O.; MARENGO, J.A.; RONG, FU; POVEDA, G. Características do clima amazônico: Aspectos principais. In: Amazonia And Global Change. **Geophysical Monograph Series** n. 186, 2009.
- OBREGÓN, G.O. **Dinâmica da Variabilidade Climática da Precipitação Sobre a América do Sul**. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.
- OKE, T.R. The urban energy balance. **Progress in Physical Geography**, v. 12, n. 4, p. 471-508, 1988.
- PEREZ-VALDIVIA, C.; SAUCHYN, D.; VANSTONE, J. Groundwater levels and teleconnection patterns in the Canadian Prairies. **Water Resour. Res.**, v. 48, n. 7, p. 1-13, 2012. doi
- PINHEIRO, A.; GRACIANO, R.L.G.; SEVERO, D.L. Tendências das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 28, n. 3, p. 281-290, 2013. doi
- RIBEIRO, J.E.L.S.; HOPKINS, M.J.G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C.A.; COSTA, M.A.S.; *et al.* **Flora da Reserva Ducke: Guia de Identificação das Plantas Vasculares de uma Floresta de Terra Firme na Amazônia Central**. Manaus: INPA, 816 p., 1999.
- ROOY, M.P.V. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notos. Weather Bureau of South Africa**, v. 14, n. 1965, p. 43-48, 1965.
- SANTOS, C.A.C.; SATYAMURTY, P.; SANTOS, E.M. Tendências de índices de extremos climáticos para a região de Manaus - AM. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 3, p. 329-336, 2012.
- SENEVIRATNE S.I.; NICHOLLS, N.; EASTERLING, D. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: FIELD, C.B.; BARROS, V.; STOCKER, T.F.; QIN, D.; DOKKER, D.J.; EBI, K.L. *et al.* (eds). **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 109-230, 2012.
- SOUZA, D.O. **Influência das Ilhas de Calor Urbana nas Cidades de Manaus e Belém sobre o Microclima Local**. Tese de Doutorado em Meteorologia, INPE, 2012.
- SOUZA, E.B.; KAYANO, M.T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; NOBRE, C. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazônica**, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.
- TEIXEIRA, C.A. **Apostila de Hidrologia Aplicada**. Curitiba: UTFPR, 133 p., 2010.
- TOLEDO, J.J. **Influência do Solo e Topografia Sobre a Mortalidade de Árvores e Decomposição de Madeira em uma Floresta de Terra-Firme na Amazônia Central**. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 84 p., 2009.
- TOMASELLA, J.; HODNETT, M.G.; CUARTAS, L.A.; NOBRE, A.D.; WATERLOO, M.J.; OLIVEIRA, S. The water balance of an Amazonian micro-catchment: the effect of interannual variability of rainfall on hydrological behavior. **Hydrogeological Processes**, v. 22, n. 13, p. 2133-2147, 2008. doi
- TOMASELLA, J.; PINHO, P.F.; BORMA, L.S.; MARENGO, J.A. The droughts of 1997 and 2005 in Amazonia: flood-plain hydrology and its potential ecological and human impacts. **Climatic Change**, v. 116, p. 723-746, 2013.
- TREMBLAY, L.; LAROCQUE, M.; ANCTIL, F.; RIVARD, C. Teleconnections and interannual variability in Canadian groundwater levels. **J. Hydrol.**, n. 410, p. 178-188, 2011. doi
- TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 943 p, 2004.
- VENENCIO, M.D.V.; GARCÍA, N.O. Interannual variability and predictability of water table levels at Santa Fe Province (Argentina) within the climatic change context. **J. Hydrol.**, n. 409, p. 62-70, 2011. doi
- VON STORCH, V.H. Misuses of statistical analysis in climate research. In: VON STORCH, H.V.; NAVARRA, A. (eds). **Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques**. Berlin: Springer-Verlag, 1995.
- WAGESHO, N.; GOEL, N.K.; JAIN, M.K. Investigation of non-stationarity in hydro-climatic variables at Rift Valley lakes basin of Ethiopia. **Journal of Hydrology**, n. 445, p. 113-133, 2012.

- WILHITE, D.A.; DROUGHT, A.I.; HOLTON, J.A.; PYLE, C.; CURRY, J.A. (eds). **Encyclopedia of Atmospheric Science**. New York: Elsevier, p. 650-658, 2003.
- WILHITE, D.A.; GLANTZ, M.H. Understanding the drought phenomenon: The role definitions. In: WILHITE, D.A.; EASTERLING, W.E.; WOOD, D.A. **Planning for Drought Toward a Reduction of Societal Vulnerability**. Colorado: Westview, p. 11-14, 1987.
- YOON, J-H.; ZENG, N. An Atlantic influence on Amazon rainfall. **Journal Climate**, v. 34, n. 2010, p. 249-264, 2010.
- ZENG, N.; YOON, J-H.; MARENGO, J.A.; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C.A.; MARIOTTI, A.; NEELIN, J.D. Causes

and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environmental Research Letters**, v. 3, n. 1, p. 014002, 2008.

Endereços de Internet

Instituto Nacional de Meteorologia, <https://portal.inmet.gov.br/>
Agência Nacional de Águas, <https://www.gov.br/ana/pt-br>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, <http://portal.inpa.gov.br/>

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (type CC-BY), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original article is properly cited.