

## ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA E SUA ASSOCIAÇÃO AO EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL (ENOS) EM RIO BRANCO (AC), BRASIL

**Givanildo de Gois**

Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Cruzeiro do Sul, AC, Brasil  
[givanildo.gois@ufac.br](mailto:givanildo.gois@ufac.br)

**Paulo Miguel de Bodas Terassi**

Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia, São Paulo, SP, Brasil  
[pmbterassi@gmail.com](mailto:pmbterassi@gmail.com)

**José Genivaldo do Vale Moreira**

Universidade Federal do Acre, Cruzeiro do Sul, AC, Brasil  
[jose.moreira@ufac.br](mailto:jose.moreira@ufac.br)

**Josimar da Silva Freitas**

Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Cruzeiro do Sul, AC, Brasil  
[josimarfreitas55@gmail.com](mailto:josimarfreitas55@gmail.com)

**Bruno Serafini Sobral**

Instituto de Terras e Cartografia do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
[brunossobral@gmail.com](mailto:brunossobral@gmail.com)

**Marcelo Alves Muniz**

Universidade Federal do Acre, Cruzeiro do Sul, AC, Brasil  
[marcelo.muniz@ufac.br](mailto:marcelo.muniz@ufac.br)

**Djailson Silva da Costa Júnior**

Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, PB, Brasil  
[djailson\\_junior@hotmail.com](mailto:djailson_junior@hotmail.com)

**Indira Sueline Silva Aleluia**

Faculdade de Ciências da Bahia, Salvador, BA, Brasil  
[indiraaleluia@hotmail.com](mailto:indiraaleluia@hotmail.com)

**Mario Henrique Guilherme dos Santos Vanderlei**

Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil  
[mario.vanderlei@icat.ufal.br](mailto:mario.vanderlei@icat.ufal.br)

**Geraldo de Carvalho Neto**

Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Volta Redonda, RJ, Brasil  
[gcn.resende@gmail.com](mailto:gcn.resende@gmail.com)

### RESUMO

Entre as variáveis meteorológicas a chuva é mais importante para a manutenção da vida na Terra, porém a sua falta constante tem alterado o clima de diversas regiões e causando grandes prejuízos a sociedade. O objetivo deste estudo foi avaliar a ocorrência de episódios de anomalia de chuva associados às fases do El Niño Oscilação-Sul (ENOS) no município de Rio Branco (AC), por meio dos Índices de Anomalia de Chuva (IAC) e Índice Oceânico de Niño (ONI). O índice IAC identificou que 29,3% dos anos foram de seca suave, 14,63% de seca moderada e 12,2% de seca alta. Episódios de intensidade umidade baixa ocorrem em 21,9% dos anos, e de umidade moderada em 12,2% dos anos. Episódios de intensidade umidade alta ou extremamente alta apresentaram percentuais iguais em 4,9% dos anos, relacionados ao ONI. O desempenho das interações (IAC versus ENOS) com base nos parâmetros estatísticos ( $R^2$ ,  $r$ ,  $d$ , IC, EPE e RMSE), aponta para um baixo desempenho dos modelos de regressões. Essas evidências sugerem que a variabilidade climática tem impactado significativamente na hidrologia da região, e medidas adequadas são necessárias para gerenciar os impactos de uma mudança climática nos recursos hídricos.

**Palavras-chave:** Parâmetros estatísticos. Variabilidade climática. Amazônia Ocidental. Precipitação.

## RAINFALL ANOMALY INDEX AND ITS ASSOCIATION WITH THE EL NIÑO-SOUTHERN OSCILLATION (ENSO) IN RIO BRANCO (AC), BRAZIL

### ABSTRACT

Among the meteorological variables, rain is most important for maintaining life on Earth, but its constant lack has altered the climate of several regions and caused great damage to society. The objective of this study is to assess the occurrence of anomalous rainfall episodes associated with El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phases in the municipality of Rio Branco (AC), employing the Rainfall Anomaly Index (RAI) and Oceanic Niño Index (ONI). The RAI index evidenced that 29.3% of the years experienced mild drought, 14.63% exhibited moderate drought, and 12.2% encountered severe drought. Episodes of low drought intensity were observed in 21.9% of the years, while episodes of moderate drought occurred in 12.2%. Episodes with high or extremely high drought intensity showed equal percentages of 4.9% of the years, correlating with the ONI. The performance of interactions (RAI versus ENSO), as assessed through statistical parameters (R-squared, correlation coefficient, Nash-Sutcliffe efficiency, interval coverage, percent bias, and root-mean-square error), indicates a low performance of the regression models. These findings suggest that climatic variability has significantly impacted the region's hydrology, necessitating appropriate measures to manage the impacts of changes in water resource availability.

**Keywords:** Statistical parameters. Climate variability. Western Amazon. Precipitation.

### INTRODUÇÃO

Entre os elementos meteorológicos, a chuva é a variável mais importante para a manutenção da vida, porque o conhecimento de sua variabilidade e anomalias (eventos extremos, como enchentes, estiagens e secas extremas) são fundamentais para a sociedade e os ecossistemas (MARENGO et al., 2016; RAO et al., 2016). O monitoramento do regime pluviométrico possibilita o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, assegura o abastecimento das cidades e a irrigação de áreas agrícolas, e gera energia elétrica às áreas que dependem da reposição de água armazenada nos rios ou lagos (SILVA et al., 2017).

No Brasil, os estudos sobre secas e estiagens concentram-se na Região Nordeste (NEB) e a parte setentrional de Minas Gerais (MISHRA; SINGH, 2010). Porém, nas últimas décadas os estados que compõem a Amazônia Legal (AL) (Amazonas, Acre, Rondônia, Roraima, Pará, Maranhão, Amapá, Tocantins e Mato Grosso) sofrem com as variações climáticas e aumento do desmatamento (NOBRE et al., 2007; BORMA, 2013).

Na Amazônia Legal, os eventos de natureza extrema como as chuvas intensas e as secas causam impactos na vazão dos rios e afetam a vida das comunidades ribeirinhas (BORMA, 2013). De acordo com NOBRE et al. (2007), a AL é fortemente afetada por altas temperaturas e expressivos volumes pluviométrico nas fases sazonal e anual, especificamente, às variabilidades e mudanças no sistema climático, variações naturais e antropogênicas (MARENGO; ESPINOZA, 2016).

Diversos índices foram criados para quantificar os eventos extremos de seca e chuva nas diferentes regiões do mundo, principalmente: Standardized Precipitation Index - SPI (MCKEE et al., 1993), o Palmer Drought Severity Index - PDSI (PALMER, 1965), Índice de Precipitação Normalizada (IPN), Método dos Decis (MD) e Índice de Anomalia Chuva (HAO; AGHAKOUCHAK, 2013). Adicionalmente, foi criada a metodologia estatística de índices de severidade de seca que tem como objetivo caracterizar a intensidade, a duração e a frequência de seca em determinada região (GOIS et al., 2013).

Segundo Blain et al. (2010), todos esses índices têm sido amplamente empregados nas últimas décadas com fins à avaliação temporal da ocorrência do fenômeno da seca, sistemas de monitoramento de secas extremas, previsão de produtividade das culturas, como também na realização de planejamento eficiente

(ALLEY, 1984; NKEMDIRIM; WEBER, 1999). Contudo, as anomalias e tendências das chuvas mensuradas pelos indicadores climáticos de índices de seca estão relacionadas com a temperatura dos oceanos, mudanças na cobertura do solo e atividades humanas na Amazônia (BRITO et al., 2022). A variabilidade da chuva pode ser compreendida por meio do índice de Anomalia de Chuvas (IAC), uma vez que é de fácil aplicabilidade e requer apenas dados pluviométricos (SILVA et al., 2017; SOUSA, 2020).

A distribuição das chuvas na AL apresenta uma grande variabilidade temporal e espacial associada a diferentes mecanismos e ao acoplamento do sistema oceano-atmosfera de grande escala (variabilidade climática dos oceanos Atlântico Tropical “gradiente do Atlântico” e Pacífico Tropical “ENOS”), de modo a interferir no transporte de umidade oriundas do Leste na estação chuvosa da região Norte (RAO et al., 2016; SANTOS et al., 2017). Excepcionalmente, os eventos de El Niño Oscilação Sul (ENOS) causam perturbações na atmosférica em escala global e regional (LIMBERGER; SILVA, 2016; BRITO et al., 2022), assim como alteram no transporte de umidade.

Nesse sentido, este estudo avalia a ocorrência de episódios de anomalia de chuva associados às fases do El Niño Oscilação-Sul (ENOS) no município de Rio Branco (AC), por meio dos Índices de Anomalia de Chuva (IAC) e Índice Oceânico de Niño (ONI). A hipótese da pesquisa é verificar a existência de aumento ou de redução da anomalia de chuva em Rio Branco, no estado do Acre, e sua relação com o fenômeno ENOS.

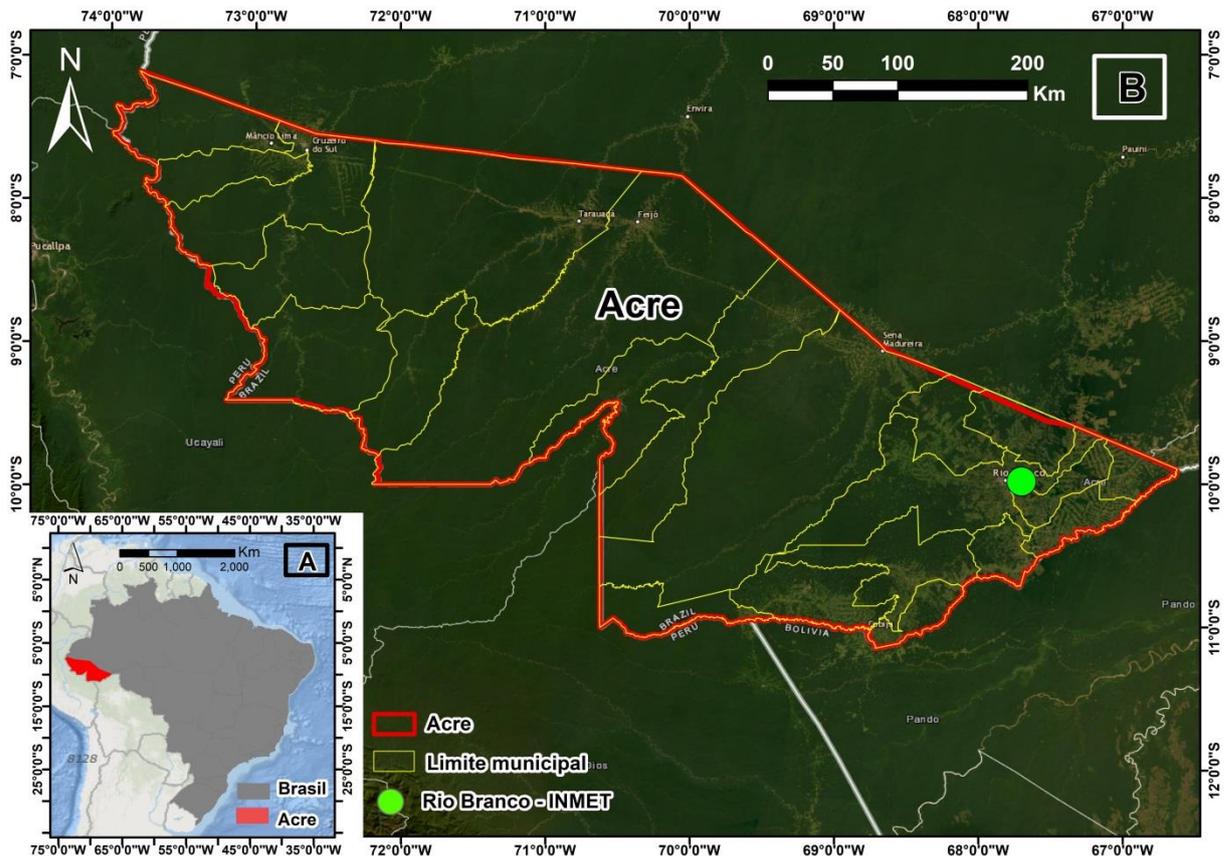
Este estudo é composto por quatro seções. Na seção 2, mostramos o material e métodos, especificamente, a área de estudo, a série temporal pluviométrica, a manipulação dos dados pluviométricos, o preenchimento de falhas de dados, a consistência da série temporal dos dados pluviométricos, o índice de anomalia de chuva (IAC), o Oceanic Niño Index (ONI) e a estatística aplicada aos índices de anomalia de chuva (IAC). Na seção 3, analisamos os resultados e validamos a discussão com o estado da arte. Na seção 4, apresentamos a novidade do estudo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Área de estudo*

O município Rio Branco é a capital do estado do Acre, Região Norte do Brasil, sendo o principal centro financeiro e político-administrativo do estado. Localiza-se às margens do rio Acre, na latitude de 9° 58' 26" S, longitude 67° 48' 27" O, e altitude de 143 m (Figura 1). O município de Rio Branco apresenta superfície territorial de 8.835,1 km<sup>2</sup>, população de 419.452 habitantes, e está inserida na Mesorregião do Vale do Acre (IBGE, 2023).

Figura 1 - Localização da estação pluviométrica de Rio Branco no estado do Acre (AC): A) Espacialização da estação Rio Branco; B) Limites do estado do Acre na América do Sul



Fontes: Os autores, 2020.

Conforme a classificação climática de Köppen-Geiger, o estado do Acre enquadra-se nas categorias climáticas “Af” e “Am”, assim como estão categorizadas por climas de quente sem estação seca e quente de monção em 70,5% e 29,5% do território do Acre, nesta ordem (ÁLVARES et al., 2013). Contudo, a análise dos tipos climáticos anuais (TCA) realizada por Dubreuil et al. (2018) indicam que o tipo climático “Am” predomina em quase a totalidade do estado do Acre, embora esta atualização tenha demonstrado o predomínio (>50%) do TCA “Aw” em Rio Branco, o que designa um clima quente com chuva de verão. Destaca-se que há um período de seca curto que ocorre nos meses de junho a agosto, mês de transição entre seca e chuvas (setembro) (DUARTE, 2005). Há na capital do estado do AC um período chuvoso mais prolongado, especificamente de outubro a março, contudo, ocorrendo transição de chuvas para a seca somente no mês de maio.

### **Controle, Preenchimento e Qualidade dos Dados Pluviométricos**

Os registros pluviométricos da estação de Rio Branco utilizados neste estudo foram oriundos do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), no período de 1980 a 2020. Os totais diários de chuva foram organizados em uma planilha eletrônica e submetidos a um pré-controle de qualidade para identificar possíveis falhas nas séries temporais.

O percentual (%) de falhas dos dados pluviométricos da estação Rio Branco foi calculado pela aplicação da função `mstats` via software R versão 3.4.2 (R Core Team 2017). Os comandos usados são listados a seguir (1), (2), (3), (4):

```
mstats(dados1) (1)
```

```
FALHAS=c(mstats(dados1)) (2)
```

```
(TAB_FALHAS_1=FALHAS$columns) (3)
```

```
write.xlsx(TAB_FALHAS_1,"MISSING-1980-2020.xlsx", row.names = T) (4)
```

Em que: `dados1` = planilha de dados das séries temporais pluviométricas mensais; `mstats` = função para cálculo de dados ausentes no R; `TAB_FALHAS_1` = tabela de dados ausentes por coluna; `write.xlsx` = saída dos percentuais de dados ausentes na extensão do Excel.

O preenchimento das falhas dos dados foi feito através da técnica de imputação de dados pelo método de "norm.predict" via aplicação do pacote "Mice" por meio do R Core Team 2023. A escolha do método de imputação tem como base a metodologia de Harrel (2001); Junninen et al. (2004); Junger, (2008) e Van Buuren e Groothuis-Oudshoorn (2011). Os percentuais (%) de dados ausentes devem seguir os seguintes critérios:

- i) Percentual  $\leq 0,05$ : A imputação única ou análise somente dos dados completos;
- ii) Percentual entre 0,05 e 0,15: Uso da imputação múltipla;
- iii) Percentual  $\geq 0,15$ : A imputação múltipla é indicada na maior parte dos casos.

Sendo adotado no presente estudo a técnica de imputação múltipla (percentual  $\geq 0,15$ ) aos dados pluviométricos.

Após o preenchimento das falhas na série temporal foi realizada a análise de consistência dos dados por meio da estatística descritiva para os seguintes parâmetros: média ( $\bar{x}$ ), mediana (Md), desvio padrão (DP), valor mínimo (Vmi) e máximo (Vma), amplitude total (At), limite inferior (Li) e superior (Ls), coeficiente de variação (CV), quartil inferior (Q1) e superior (Q3), amplitude interquântica (AIQ). E a estatística exploratória dos dados realizada via gráfico Boxplot na escala mensal. Todas às análises foram feitas no software R Core Team (2023).

### **Índice de anomalia de chuva (IAC)**

Para analisar a intensidade e a frequência dos anos secos e chuvosos no município de Rio Branco, foi utilizado o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) desenvolvido por Rooy (1965), e adaptado por Freitas (2010). A obtenção das anomalias positivas e negativas de chuva do município de Rio Branco foi obtida através da tabulação dos dados via planilha eletrônica (software Microsoft Office Excel), para o período de 1980 a 2020, conforme as expressões a seguir:

### **Índice de anomalia de chuva (IAC)**

Para analisar a intensidade e a frequência dos anos secos e chuvosos no município de Rio Branco, foi utilizado o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) desenvolvido por Rooy (1965), e adaptado por Freitas (2010). A obtenção das anomalias positivas e negativas de chuva do município de Rio Branco foi obtida através da tabulação dos dados via planilha eletrônica (software Microsoft Office Excel), para o período de 1980 a 2020, conforme as expressões a seguir:

$$IAC_{Positiva} = 3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right] \quad (1)$$

$$IAC_{Negativa} = -3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right] \quad (2)$$

Em que: N = precipitação (mm) atual do mês ou ano que será calculado o IAC;  $\bar{N}$  = precipitação média mensal ou anual da série histórica (mm);  $\bar{M}$  = média das dez maiores precipitações mensais ou anuais da série histórica (mm);  $\bar{x}$  = média das dez menores precipitações mensais ou anuais da série histórica (mm).

Os valores do IAC são classificados em nove categorias que variam de extremamente úmido a extremamente seco. Nesse índice, um valor acima ou abaixo de zero indica que o resultado foi comparado com a média histórica, e o período será classificado como chuvoso ou não chuvoso, ou seja, quanto mais o valor do índice se afastar de zero, maiores ou menores serão os volumes chuva (Freitas, 2010), conforme representa a Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação da intensidade das anomalias negativas e positivas de precipitação de acordo com o Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

IAC	Intensidade
≥ 4,00	Umidade Extremamente Alta
3,00 a 3,99	Umidade Alta
2,00 a 2,99	Umidade Moderada
0,00 a 1,99	Umidade Baixa
-1,99 a 0,00	Seca Suave
-2,00 a -2,99	Seca Moderada
-3,00 a -3,99	Seca Alta
≤ -4,00	Seca Extremamente Alta

Fontes: Freitas, 2010.

### Oceanic Niño Index (ONI)

Para a identificação dos eventos de El Niño (fase quente), La Niña (fase fria) e Neutralidade, foi utilizado o Oceanic Niño Index (ONI) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (HUANG et al. 2017). O índice é calculado na mesma região do Niño 3.4 e utiliza anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM). A metodologia do ONI é apresentada em NOAA/CPC (2023).

As condições de El Niño (fase positiva) estão presentes quando o ONI é igual ou maior do que 0.5 °C por 5 períodos trimestrais consecutivos. As condições de La Niña (fase negativa) existem quando o ONI é igual ou menor do que -0,5 °C por 5 períodos trimestrais consecutivos, e a condição de Neutralidade ocorre quando a TSM se encontra em torno da média histórica. Maiores detalhe sobre a classificação do ONI para o período de 1980 a 2020 estão disponíveis em Lima et al. (2022).

### Estatística Aplicada aos Índices de Anomalia de Chuva (IAC) e Oceanic Niño Index (ONI)

Para a avaliação do desempenho dos modelos (IAC Versos ENOS) foram usados os seguintes parâmetros estatísticos: Diagrama de correlação (1:1) entre IAC versus ENOS, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e correlação linear de Pearson (r) (HOPKINS, 2016), índice de concordância de Willmott (d) (WILLMOTT, 1981), índice de confiança ou desempenho (c) de Camargo e Sentelhas (1997), Erro Padrão da Estimativa (EPE), e Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (RMSE) para as categorias seca e úmida no período de 1980 a 2020. Maiores detalhes podem ser vistos em Souza et al. (2020).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é definido pela Equação (7):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (|x_i - \bar{x}_o|)^2}{\sum_{i=1}^n (|x_i - \bar{x}|)^2} \quad (7)$$

O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) determina o grau de correlação linear entre duas variáveis, sendo definido pela Eq. (8). É um índice adimensional com valores entre  $-1 \leq r \leq 1$  indicando a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de variáveis (Tabela 2).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_0 - \bar{x}_0)(x_i - \bar{x}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_0 - \bar{x}_0)^2 - \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}} \quad (8)$$

Tabela 2 - Classificação do Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ), (HOPKINS, 2016)

Coeficiente de Correlação ( $r$ )	Classificação
0 – 0,1	Muito Baixa
0,1 a 0,3	Baixa
0,3 a 0,5	Moderada
0,5 a 0,7	Alta
0,7 a 0,9	Muito alta
0,9 a 1,0	Quase Perfeita

Fontes: HOPKINS, 2016.

Em que  $x_0$  = é o valor  $i$ -ésimo da ENOS observado,  $x_i$  = é o valor  $i$ -ésimo do IAC estimado e  $\bar{x}_i$  = IAC médio estimado,  $\bar{x}_0$  = ENOS médio observado

O índice de concordância ( $d$ ) de Willmott et al. (1981) varia entre 0 e 1, sua maior precisão o corre quanto mais próximo de 1 e menor próximo a 0. É definido pela Equação (9) a seguir:

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}_i|)^2} \right] \quad (9)$$

Em que  $E_i$  = é o valor  $i$ -ésimo do IAC de chuva,  $O_i$  = é o valor  $i$ -ésimo do ENOS observado e  $\bar{O}_i$  = média estimada do ENOS.

O índice de confiança ou desempenho ( $c$ ) de Camargo & Setelhas (1997) é determinado pelo produto do índice de concordância ( $d$ ) e pelo coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), conforme a Equação (10) e classificado segundo a tabela 3.

$$c = d * r \quad (10)$$

Tabela 3 - Valores do Índice de Confiança ou Desempenho “c”

Valor de c	Desempenho
$\geq 0,85$	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
$\leq 0,40$	Péssimo

Fontes: Camargo & Setelhas, 1997.

O EPE é a medida do desvio médio entre os valores observados e os valores estimados da chuva conforme a equação (11).

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_o - x_i)^2}{n-2}} \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_o - x_i)}{n}} \quad (12)$$

Em que,  $x_o$  é o valor i-ésimo dados de ENOS observados;  $x_i$  é o valor i-ésimo dos dados de IAC estimados e  $n$  é o número de observações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise descritiva dos dados pluviométricos mensais

A análise descritiva da chuva no município de Rio Branco (AC) apresentada na Tabela 4 e Figura 2 mostra que a estação seca em Rio Branco ocorre entre os meses de maio a setembro, com médias pluviométricas superiores às medianas, sendo o mês de transição outubro (estação chuvosa) e abril (estação seca). Vale ressaltar que os meses mais secos na região de Rio Branco foram os meses de junho ( $\bar{x} = 37,2$  mm mês<sup>-1</sup> e Md = 28,40 mm mês<sup>-1</sup>), julho ( $\bar{x} = 31,5$  mm mês<sup>-1</sup> e Md = 24,60 mm mês<sup>-1</sup>), agosto ( $\bar{x} = 49,1$  mm mês<sup>-1</sup> e Md = 46,14 mm mês<sup>-1</sup>) na estação de verão. Porém, um comportamento contrário foi observado na estação chuvosa (outubro a abril), em que as médias pluviométricas foram inferiores às medianas (Tabela 4).

Segue as amplitudes totais (At) inferiores a 200 mm mês<sup>-1</sup>, na estação seca (junho, julho e agosto) e superiores a 200 mm mês<sup>-1</sup> na estação chuvosa (outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril) (Tabela 2). E ainda, os valores mínimos ocorreram na estação seca nos meses de junho (1,20 mm mês<sup>-1</sup>), julho (0,60 mm mês<sup>-1</sup>) e setembro (0,33 mm mês<sup>-1</sup>). Na estação chuvosa, os valores máximos são superiores a 400 mm mês<sup>-1</sup>, em janeiro (512,20 mm mês<sup>-1</sup>), fevereiro (467,70 mm mês<sup>-1</sup>), março (475,20 mm mês<sup>-1</sup>) e abril (441,00 mm mês<sup>-1</sup>).

Tabela 4 - Estatística descritiva dos parâmetros: média ( $\bar{x}$ ), mediana (Md), valor mínimo (Vmi) e máximo (Vma), amplitude total (At), limite inferior (Li) e superior (Ls), coeficientes de variação (CV), desvio padrão (DP), quartil inferior (Q1) e superior (Q3), amplitude interquartil (AIQ) da série temporal mensal de chuva do período de 1980 a 2020 no município de Rio Branco, AC

Meses	Valores					Limites	
	$\bar{x}$	Md	Vmi	Vma	At	Li	Ls
	mm mês <sup>-1</sup>						
Jan	252,11	265,30	14,00	512,20	498,20	-50,30	427,90
Fev	277,15	279,20	14,80	467,70	452,90	13,90	422,50
Mar	246,72	246,30	14,10	475,20	461,10	-37,30	400,70
Abr	139,30	139,50	7,60	441,00	433,40	-221,85	284,25
Mai	66,58	48,40	3,50	233,80	230,30	-116,04	148,04
Jun	37,22	28,40	1,20	182,00	180,80	-38,50	61,70
Jul	31,51	24,60	0,60	118,50	117,90	-40,65	64,05
Ago	49,07	46,14	1,80	132,00	130,20	-74,25	103,05
Set	77,52	61,00	0,33	236,40	236,07	-142,45	191,45
Out	139,87	148,70	7,70	273,90	266,20	-17,70	217,50
Nov	176,65	182,10	2,20	372,30	370,10	-47,40	301,20
Dez	205,68	237,40	14,60	377,10	362,50	-82,60	357,20
Meses	CV	Dp	Quartis		AIQ		
			Q <sub>1</sub>	Q <sub>3</sub>			
	mm mês <sup>-1</sup>						
Jan	53,16	134,02	188,80	348,20		159,40	

Índice de anomalia de chuva e sua associação ao El Niño-Oscilação Sul (ENOS) em Rio Branco (AC), Brasil

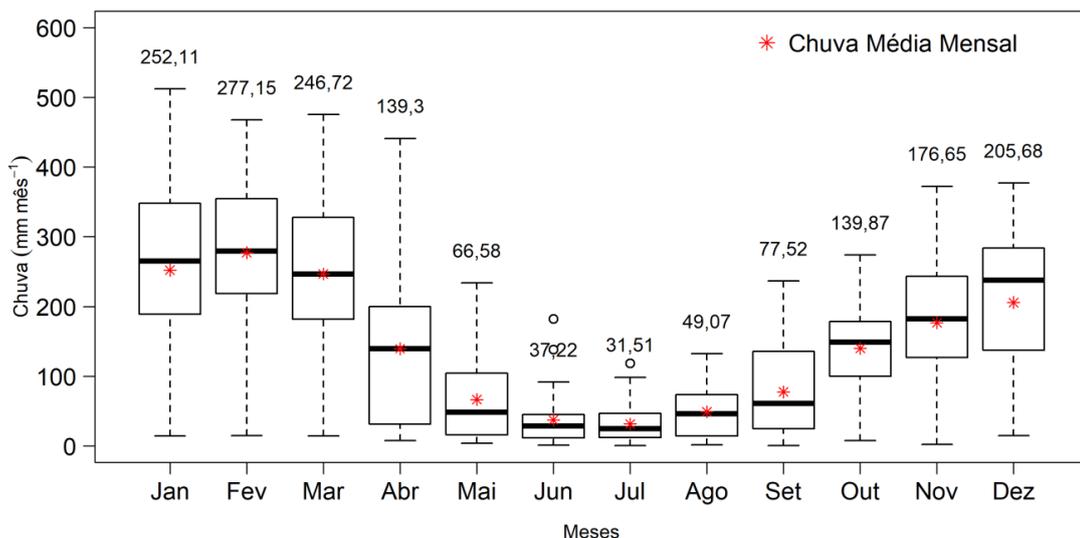
Fev	45,01	124,73	218,20	354,40	136,20
Mar	48,26	119,07	181,70	327,70	146,00
Abr	81,32	113,28	31,20	199,90	168,70
Mai	84,63	56,35	16,00	104,03	88,03
Jun	98,87	36,80	11,60	45,00	33,40
Jul	85,44	26,92	11,70	46,60	34,90
Ago	75,14	36,87	14,40	73,50	59,10
Set	81,75	63,37	24,50	135,80	111,30
Out	50,18	70,18	99,90	178,30	78,40
Nov	51,81	91,53	126,90	243,10	116,20
Dez	52,01	106,97	137,30	283,90	146,60

Fontes: Os autores, 2023.

Acompanhados dos maiores quantis  $Q_1$  e o  $Q_3$  (Tabela 4 e Figura 2) nos meses de outubro (99,90 mm  $mês^{-1}$  e 178,30 mm  $mês^{-1}$ ), novembro (126,90 mm  $mês^{-1}$  e 243,10 mm  $mês^{-1}$ ), dezembro (137,30 mm  $mês^{-1}$  e 283,90 mm  $mês^{-1}$ ), janeiro (188,80 mm  $mês^{-1}$  e 348,20 mm  $mês^{-1}$ ), fevereiro (218,20 mm  $mês^{-1}$  e 354,40 mm  $mês^{-1}$ ), março (181,70 mm  $mês^{-1}$  e 327,70 mm  $mês^{-1}$ ) e abril (31,20 mm  $mês^{-1}$  e 199,90 mm  $mês^{-1}$ ), respectivamente.

Comparativamente, os limites superiores (Ls) variam entre 61,70 mm  $mês^{-1}$  a 427,90 mm  $mês^{-1}$ , e os (Li) inferiores entre 13,90 mm  $mês^{-1}$  a -221,85 mm  $mês^{-1}$ , na estação chuvosa. Na estação seca (Ls) varia entre 61,70 mm  $mês^{-1}$  a 191,45 mm  $mês^{-1}$ , e (Li) negativo entre -142,45 mm  $mês^{-1}$  a -38,50 mm  $mês^{-1}$ . Nas estações seca e chuvosa, para o  $Q_1$  e o  $Q_3$  quartil e amplitude interquartil (AIQ), os valores oscilam entre 33,40 mm  $mês^{-1}$  e 168,70 mm  $mês^{-1}$ . Há fraca presença de outliers (Figura 2) durante a estação de seca nos meses de junho e julho na região de Rio Branco.

Figura 2 - Boxplot da chuva mensal (mm) em Rio Branco (AC) no período de 1980 a 2020



Fontes: Os autores, 2023.

Os menores valores de  $D_P$  e AIQ para a chuva demonstraram alta variabilidade dos dados em torno da média, principalmente com variações nos meses da estação seca (maio a setembro). Quanto ao  $D_P$  (26,92 mm  $mês^{-1}$  a 63,37 mm  $mês^{-1}$ ) e AIQ (33,40 mm  $mês^{-1}$  a 111,31 mm  $mês^{-1}$ ), os valores mais altos são de CV (75,15% a 98,87%). Porém, uma situação contrária é observada para o  $D_P$  (70,18 mm  $mês^{-1}$

<sup>1</sup> a 134,02 mm mês<sup>-1</sup>) e AIQ (78,40 mm mês<sup>-1</sup> a 168,70 mm mês<sup>-1</sup>) na estação chuvosa (outubro a abril), e CV entre 45,01% e 81,32% na estação seca, por apresentar médias e medianas praticamente similares. Destaque para os meses de março e abril (Tabela 4 e Figura 2).

De acordo com Fisch et al. (1998), o regime pluviométrico na (AL) do país é heterogêneo e apresenta variabilidade espacial e temporal, associada a diferentes sistemas de Mesoescala, escala sinótica e grande escala. Nesse regime, os processos que determinam a precipitação na região estão associados à convecção local na escala de tempo diurna, resultante do aquecimento da superfície e das condições de grande escala relacionadas à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e as linhas de instabilidade (LI), que interagem com os sistemas frontais advindos das regiões Sul do Brasil, além da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Alta da Bolívia (AB).

O período de chuvas ou de forte atividade convectiva na região amazônica ocorre entre os meses de novembro e março, sendo a estação seca marcada por pequena atividade convectiva nos meses de maio a setembro. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) contribui de forma direta na formação de chuvas na Região Amazônica. A intensa evaporação que ocorre sobre os oceanos na faixa equatorial produz massas de ar carregadas de umidade, as quais são transportadas para o interior do continente sul-americano.

Segundo Pinto et al. (2022), o período chuvoso ou de forte atividade convectiva na região Amazônica favorece a formação de altos índices pluviométricos nesta região, compreende o período entre de novembro e março, sendo que o período de seca ocorre entre os meses de maio e setembro. Os meses de abril e outubro são meses de transição entre um regime pluviométrico e outro. A distribuição das chuvas no trimestre dezembro-janeiro-fevereiro (DJF) apresenta chuvas superiores a 900 mm na parte oeste e central da Amazônia, devido à atuação persistente da Alta da Bolívia.

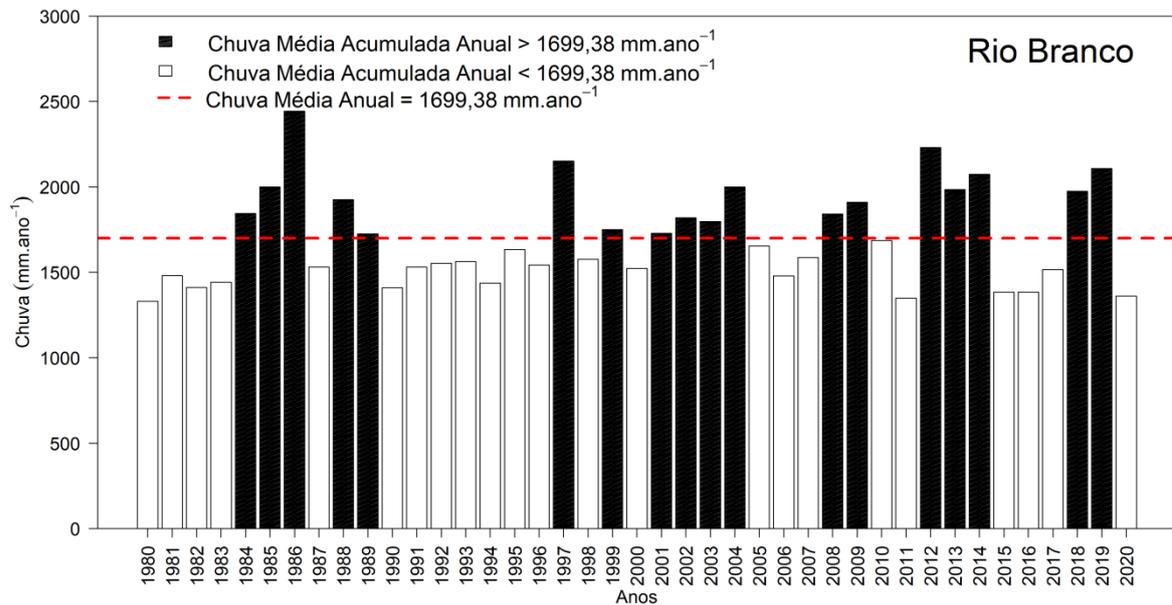
Por outro lado, no trimestre junho-julho-agosto (JJA), o centro de máxima precipitação gerado pela ZCIT desloca-se para o norte, situando sobre a América Central e, portanto, há a diminuição das chuvas neste setor da AL (CARVALHO et al., 2011). Os meses de junho a setembro correspondem ao período mais seco do ano nessa unidade federativa, com uma acentuada redução pluviométrica das chuvas e das temperaturas, dada a influência da Massa Polar Atlântica (MPA), que avança pelo interior da América do Sul (REBOITA et al., 2010).

### ***Variabilidade pluviométrica interanual***

A distribuição interanual das chuvas médias acumuladas anuais (CMAA) em Rio Branco - AC para o período de 1980 a 2020 (Figura 3) revelou que os menores volumes pluviométricos de CMAA foram registrados em 23 anos consecutivos, (56,1% dos anos com CMAA <1699,38 mm ano<sup>-1</sup>). Inversamente, aos maiores volumes de CMAA foram registrados em 18 anos (43,1% dos anos com CMAA > 1699,4 mm ano<sup>-1</sup>).

Índice de anomalia de chuva e sua associação ao El Niño-Oscilação Sul (ENOS) em Rio Branco (AC), Brasil

Figura 3 - Distribuição interanual das chuvas na estação Rio Branco (AC) para o período de 1980 a 2020



Fontes: Os autores, 2023.

Para Espinoza et al. (2011), as secas de 1995, 1998, 2005 e 2010 na região do alto Solimões, a que mais significativas nas últimas décadas foi registrada em 2010, quando comparada à de 2005, que mais prejuízos causou à região amazônica. Segundo Aragão et al. (2007), a seca de 2005 foi causada apenas devido às anomalias da Temperatura da Superfície do Mar - TSM do Atlântico, chamada de Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO) e, por sua vez, a seca de 1998, por um forte ENOS juntamente com a AMO positiva.

Segundo Fisch et al. (1998), a região Amazônica apresenta volume pluviométrico média de aproximadamente 2300 mm ano<sup>-1</sup>, embora na fronteira entre Brasil e Colômbia e Venezuela apresente um total anual que atinge 3500 mm ano<sup>-1</sup>. As regiões próximas as Cordilheira dos Andes apresentam elevados volumes de chuvas e não se registram secas, devido ao transporte de umidade pelos ventos alísios de leste da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), conforme Marengo (1995).

### Índices de anomalia de chuva (IAC) e o ENOS

A variabilidade interanual da chuva em Rio Branco (AC) foi obtida via Índice de anomalia de chuva (IAC) para a caracterização da associação à intensidade das fases do ENOS (Figura 4), no município de Rio Branco (AC).

Com base na distribuição interanual da CMAA > 1699,38 mm ano<sup>-1</sup>, em Rio Branco, 43,9% dos anos (18 anos) apresentam anomalia positiva de chuva. No entanto, em relação às anomalias negativas para as CMAA inferiores a 1699,38 mm ano<sup>-1</sup>, o percentual foi de 56,1% dos anos (23 anos) Figura 5. Destaque para os anos 1997 (2113,19 mm ano<sup>-1</sup>) e 2019 (2107,89 mm ano<sup>-1</sup>), que corresponde a 4,9% dos anos que apresentam umidade alta (1,99 > IAC > 0,00) e LN muito forte.

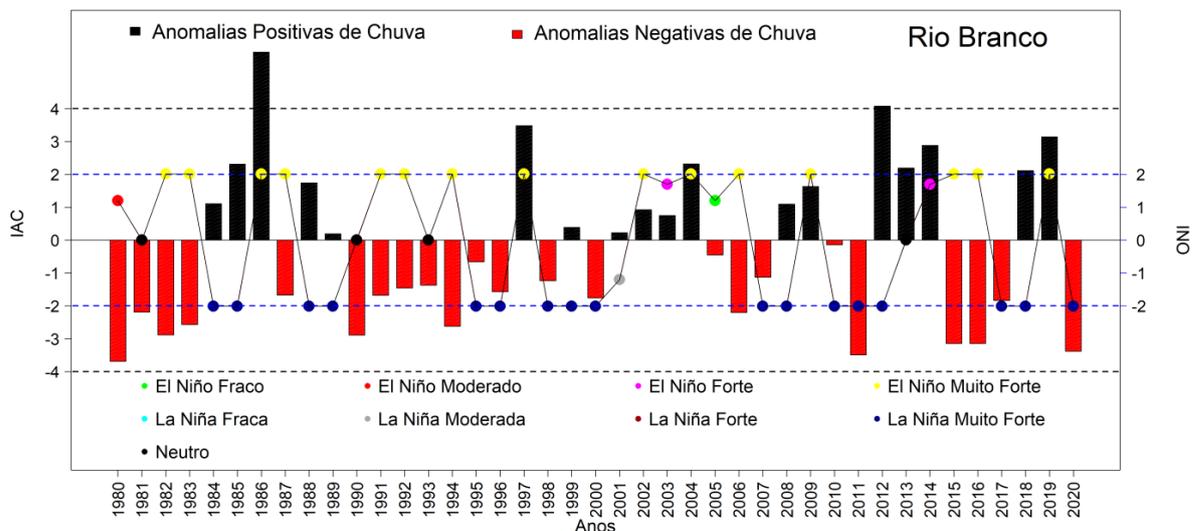
A análise de IAC e ONI em Rio Branco – AC, mostrou que 12,2% ou 5 anos apresentam-se como de umidade moderada (2,00 > IAC > 2,99), sendo destaque os anos de 1985 (2000,1 mm ano<sup>-1</sup> e LN muito forte), 2004 (2000,4 mm ano<sup>-1</sup> e de EN muito forte), 2013 (1985,0 mm ano<sup>-1</sup> e neutro), 2014 (2074,2 mm ano<sup>-1</sup> e de EN forte) e 2018 (1974,3 mm ano<sup>-1</sup> e de LN muito forte).

Todavia, eventos de umidade baixa - ( $1,99 > IAC > 0,00$ ) foram registrados pelo IAC em 21,9% em 9 anos. Além disso, a sequência temporal ocorreu da seguinte forma: 1843,9 mm ano<sup>-1</sup> (1984), 1926,1 mm ano<sup>-1</sup> (1988), 1724,2 mm ano<sup>-1</sup> (1989), 1750,2 mm ano<sup>-1</sup> (1999). Com base no índice de ONI, todos os anos de LN foram muito forte, 1728,9 mm ano<sup>-1</sup> e LN moderada (2001), 1819,9 mm ano<sup>-1</sup> (2002). Adicionalmente, o EN apresentou comportamento muito forte 1797,1 mm ano<sup>-1</sup> (2003) e forte 1841,4 mm ano<sup>-1</sup> (2008), como também o LN muito forte 1911,1 mm ano<sup>-1</sup> (2009), e EN muito forte (2009). Porém, os eventos de umidade alta e extremamente alta foram registrados os percentuais iguais a 4,9% ou em 2 anos com umidade alta ( $3,00 > IAC > 3,99$ ), para os anos de 1986 (2442,5 mm ano<sup>-1</sup> e de EN muito forte) e 2012 (2229,8 mm ano<sup>-1</sup> e de LN muito forte).

Quanto aos eventos classificados como de seca suave ( $-1,99 > IAC > 0,00$ ), para a intensidade de anomalias positivas de chuva de acordo com o IAC, a ocorrência de eventos significativos foi de 29,3% dos anos considerados (12 anos). Destaque para os anos de 1987 (1531,6 mm ano<sup>-1</sup>), 1991 (1531,5 mm ano<sup>-1</sup>) e 1992 (1553,7 mm ano<sup>-1</sup>), todos os anos de EN muito forte, 1993 (1562,4 mm ano<sup>-1</sup> de neutralidade), 1995 (1633,8 mm ano<sup>-1</sup>), 1996 (1542,5 mm ano<sup>-1</sup>), 1998 (1576,1 mm ano<sup>-1</sup>), 2000 (1523,5 mm ano<sup>-1</sup>), 2005 (1654,6 mm ano<sup>-1</sup> de EN fraco), 2007 (1586,20 mm ano<sup>-1</sup>), 2010 (1685,4 mm ano<sup>-1</sup>) e 2017 (1515,6 mm ano<sup>-1</sup>) anos de LN muito forte, classificados como de seca suave. De acordo com Marengo et al. (2008), Espinoza et al. (2011) e Marengo e Espinoza (2016), os anos de 2005 e 2010 registraram as maiores secas na região Amazônia em um período mais recente, por essa razão, obtiveram a classe de seca suave em Rio Branco (AC).

Para a classificação de eventos de seca moderada ( $-2,00 > IAC > -2,99$ ), 14,6% dos anos (6 anos), apresentaram registros de anomalias negativas de chuvas: os anos de 1981 (1480,10 mm ano<sup>-1</sup> e neutro), 1982 (1410,7 mm ano<sup>-1</sup>), 1983 (1442,3 mm ano<sup>-1</sup>) anos de EN muito fraco, 1990 (1410,3 mm ano<sup>-1</sup> e neutro), 1994 (1436,9 mm ano<sup>-1</sup>) e 2006 (1478,6 mm ano<sup>-1</sup>) anos de EN muito forte. Estes resultados são seguidos por eventos de seca alta concentrados em 12,2% dos anos (5 anos), em 1980 (1330,10 mm ano<sup>-1</sup> e de EL moderado), 2011 (1349,4 mm ano<sup>-1</sup> e LN muito forte), 2015 (1384,2 mm ano<sup>-1</sup>), 2016 (1384,7 mm ano<sup>-1</sup>) anos de EL muito forte e 2020 (1361,15 mm ano<sup>-1</sup> e de LN muito forte). Porém, não foram registrados eventos classificados como de seca extremamente alta na região de Rio Branco (AC).

Figura 4 - Distribuição do IAC e ONI na estação Rio Branco (AC) para o período de 1980 a 2020



Fontes: Os autores, 2023.

Desta forma diversos estudos, como Zeng et al. (2008), Yoon e Zeng (2010) Marengo et al. (2012) mostraram que a variabilidade pluviométrica na Amazônia não é devida apenas 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.

Aragão et al. (2007) indica que as secas na Amazônia são causadas por uma série de mecanismos, e causaram impactos significativos em diferentes regiões da Bacia Amazônica. Essa situação possui influências das secas associadas ao El Niño Oscilação Sul (ENSO), de modo a causar anomalias pluviométricas e anomalias na vazão no Norte, Centro e Leste da Amazônia. Quando as secas estão associadas a AMO, as anomalias ocorrem no oeste da Amazônia.

Em contraposição, na Amazônia, os extremos de chuva não ocorrem no mesmo espaço-temporalidade e intensidade (Brito et al., 2022). As secas na Amazônia são provocadas por inúmeros fenômenos meteorológicos de Mesoescala, ao passo de ocasionar diferentes impactos nas regiões da Bacia Amazônica, a exemplo de anomalias pluviométricas positivas, negativas e vazão na região Norte, Centro, Leste e Oeste da Amazônia (ARAGÃO et al., 2007; MARENGO et al., 2008).

### **Interações entre o IAC e ENOS**

O desempenho das interações dos modelos de regressões (IAC versus ENOS) na estação de Rio Branco (Figura 5 a, b, d, e, f) foram avaliadas conforme os indicadores estatísticos. De modo geral, verificou-se uma alta dispersão dos índices de IAC e ENOS em relação ao diagrama de dispersão (1:1), onde observamos valores do coeficiente de determinação  $\leq 0,09$  nas figuras 5 (a), (c), (d), (e) e (f) em todas as categorias de seca (seca qualquer, alta e moderada).

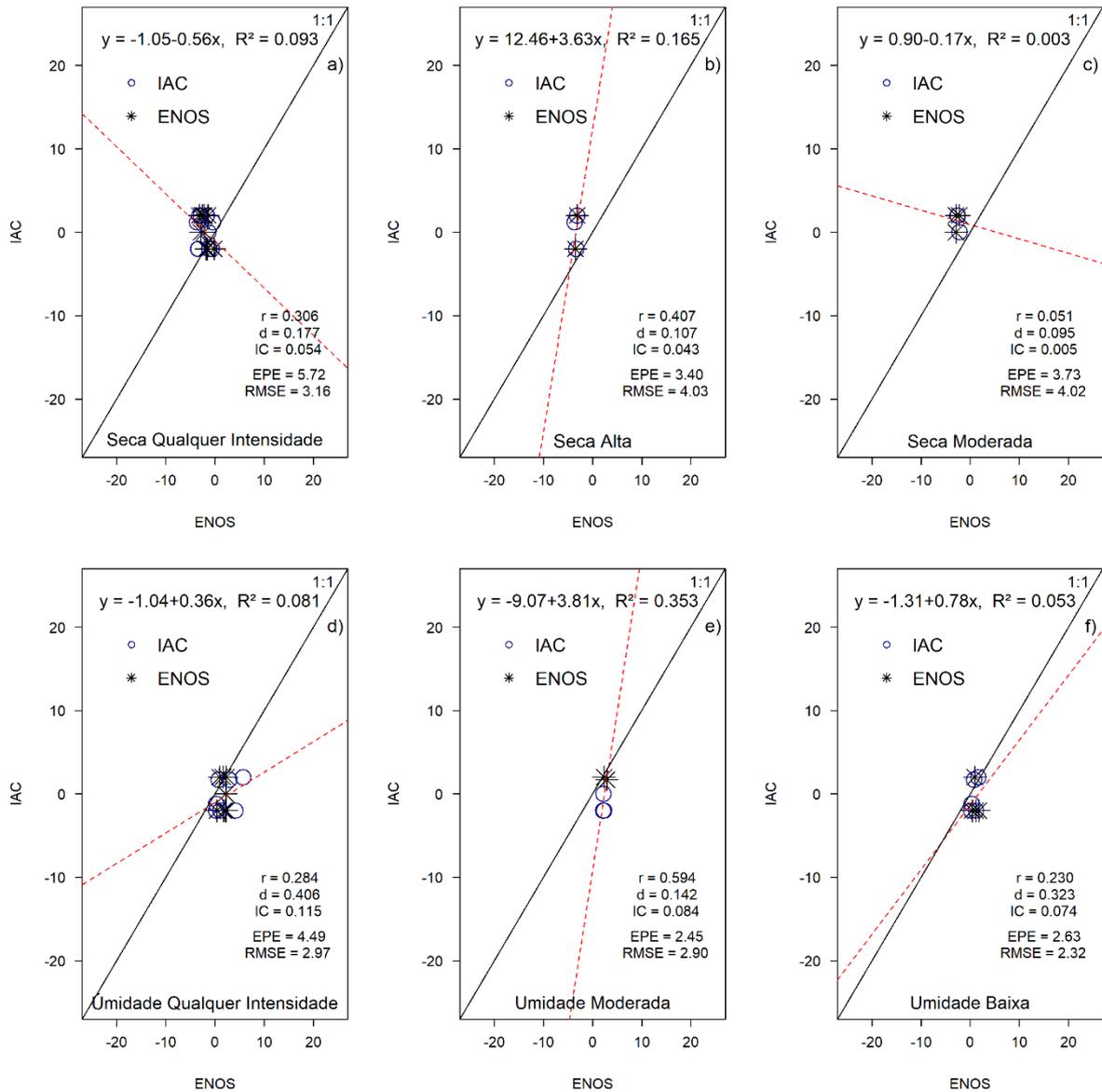
Destaque para a categoria de seca alta que explicou 16,5% do modelo de regressão (IAC versus ENOS) em Rio Branco Figura 5 (b), acompanhada por uma correlação ( $r$ ) moderada ( $0,30 < r \leq 0,50$ ). De acordo com Souza et al. (2020), categorizadas com baixo desempenho (péssimo) dos modelos de regressão (seca qualquer, alta e moderada), pode ser confirmado pelos baixos valores dos índices de concordância ( $0,095 < d < 0,177$ ) e Confiança ( $0,043 < IC < 0,054$ ), e baixa correlação ( $0,10 < r < 0,30$ ) Tabela 2, conforme a classificação de Willmott (1981), Camargo e Sentelhas (1997) e (HOPKINS, 2016), em todos os modelos da Figura 5 (a), (b), (c), (d), (e) e (f).

Quanto aos menores valores de EPE ( $< 3,40$ ) e RMSE ( $< 3,16$ ), houve ocorrências nos modelos de regressão caracterizados como de seca alta (Figura 5b) e seca de qualquer intensidade (Figura 5a). Entretanto, os maiores valores de EPE ( $> 5,72$ ) e RMSE ( $> 4,03$ ) foram no sentido inverso dos registros observados anteriormente, com seca de qualquer intensidade na Figura 5a e seca alta Figura 5b.

Todavia, o desempenho das interações dos modelos de regressão (IAC versus ENOS) é categorizado como de umidade na estação Rio Branco Figura 5 (a), (b), (c), (d), (e) e (f), por apresentar similaridade quanto ao desempenho da interação registrada na categoria seca. Ademais, a alta dispersão das categorias de umidades é observada nos modelos de regressão, sendo o melhor ajuste do modelo de regressão aos dados observados na interação entre IAC versus ENOS. A categoria de umidade moderada apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,353, em relação aos demais modelos de regressão adotados, seguido de alta ( $r = 0,594$ ) correlação de Person.

Índice de anomalia de chuva e sua associação ao El Niño-Oscilação Sul (ENOS) em Rio Branco (AC), Brasil

Figura 5 - Diagrama de correlação (1:1) entre IAC versus ENOS na estação Rio Branco para os respectivos parâmetros estatísticos (coeficientes  $R^2$ ,  $r$ , índices  $d$ ,  $IC$ , erros EPE e RMSE) para as categorias que indicam, seca ou umidade no período de 1980 a 2020



Fontes: Os autores, 2023.

Baixo desempenho (péssimo) é observado para os modelos de regressão com umidade de qualquer intensidade e umidade baixa, que apresentam um ( $R^2$ ) entre 0,081 e 0,053, e correlação de Pearson ( $r$ ) entre 0,284 e 0,230, com índices de concordância ( $d$ ) de 0,406 a 0,323, e confiança ( $IC$ ) de 0,115 a 0,074. Em adição, foram observados modelos de regressão menores EPE e RMSE de umidade moderada e baixa, com valores de EPE entre 2,45 e 2,63; e RMSE entre 2,90 e 2,32, conforme as Figuras 5(e) e (f).

Todavia os resultados encontrados corroboram com os estudos de Tostes et al., (2016), em que a análise estatística sobre a concordância dos produtos de precipitação em grade do Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) e Universidade de Delaware (UDEL) mostraram que os valores de chuva na estação de Rio Branco apresentou alta precisão apenas para o produto GPCC (0,78). Por conseguinte, os menores valores da Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) para o GPCC foi observado na estação Rio Branco (51,8 mm).

Em relação à exatidão, quando se analisa o índice de concordância (d), a estação Rio Branco apresentou padrão distinto nos produtos do GPCC e da UDEL, com (d) de 0,94 e 0,82. Quando se considera tanto a exatidão quanto a precisão, o desempenho geral dos resultados por meio do índice de confiança (IC) teve comportamento discrepante entre os dois produtos, sendo classificada com desempenho muito bom no GPCC e sofrível na UDEL. Embora ambos os produtos tenham se mostrado exatos e com certa concordância entre si, o produto de precipitação do GPCC apresentou desempenho geral mais homogêneo entre todas as estações.

## CONCLUSÕES

Aqui concluímos que com base nos parâmetros estatísticos, a distribuição interanual das chuvas em Rio Branco (AC) apresenta um baixo volume pluviométrico em 56,1% dos anos, e uma situação inversa é observada com chuvas superiores a 1699,4 mm ocorrendo em 43,9% dos anos. A associação entre os eventos de ENOS e o índice de anomalia de chuva (IAC) mostrou que 43,9% apresentam anomalias positivas em Rio Branco.

Os índices de IAC e ONI mostrou que 12,2% dos anos apresentam umidade moderada LN muito forte (1985), EN muito forte (2004), neutro (2013), EN forte (2014) e LN muito forte (2018). Em 2 anos consecutivos foram registrados 21,9% de eventos de umidade baixa, e 4,9% de umidade alta e extremamente alta. Em 12 anos, 29,3% foram identificados eventos de seca suave, tanto quanto eventos significativos para a intensidade de anomalias positivas de chuva. A classificação de eventos de seca moderada foi de 14,6% em 6 anos, dado que neste intervalo houve registros de anomalias negativas de chuvas. Adicionalmente, eventos de seca alta foram de 12,2% em 5 anos, e não foram registrados eventos de seca extremamente alta na região de Rio Branco.

O desempenho dos modelos de regressão nas interações dos IAC versus ENOS apresentaram diferentes graus de sensibilidade, com relação à caracterização da seca e sua intensidade na cidade de Rio Branco, os índices IAC e ONI se mostraram eficientes na identificação da seca, porém, à associação observada entre os índices não obtiveram desempenho satisfatório, na escala regional.

Portanto, a formulação dos modelos de interações sem considerar os elementos climáticos como: a altitude, latitude, continentalidade, maritimidade, massas de ar, correntes marítimas, relevo, vegetação e urbanização, responsáveis pelas variáveis climáticas como a temperatura do ar, radiação solar, vento e umidade relativa do ar, podem levar a uma classificação inadequada do desempenho dos modelos de interações sob um clima mais quente.

Desta forma a escolha de metodologias adequadas para identificar anomalias de chuva por meio dos índices de anomalia para avaliação das alterações climáticas devem considerar as variáveis climáticas projetadas com menos incerteza. As principais deficiências relacionadas à formulação dos índices de anomalia de chuva sob as alterações climáticas, incluindo a falta de abordagens robustas para separar o ser humano componente da variabilidade natural do clima, escolha de período de referência, uso de informações climáticas não estacionárias, e falta de dados observados para validação.

Os índices de anomalia de chuva são amplamente utilizados para diversos fins por diferentes partes interessadas. No entanto, a verdadeira utilidade e a implementação adequada de indicadores/índices de anomalia de chuva dependem sobre a facilidade com que podem ser interpretados pelas partes interessadas e atender às necessidades do usuário final. Por outro lado, as alterações climáticas afetam uma ampla gama de setores interconectados, aumentando assim ainda mais a complexidade inerente do quantificando da anomalia de chuva.

## AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos de Pós-Doutorado (PNPD), junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Acre (UFAC), (Processo 086/2013 do Edital CAPES n.º 16/2022 - PPGCA/UFAC). O segundo autor agradece à bolsa de Pós-Doutorado Júnior (PDJ) concedida pelo CNPq (processo 165450/2020-7).

## REFERÊNCIAS

- 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. <https://doi.org/10.1029/2006GL028946>.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES, J.L.G.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALLEY, W.M. The Palmer drought severity index: limitations and Assumptions. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v.23, n.7, p.1100-1109, 1984. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<1100:TPDSIL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<1100:TPDSIL>2.0.CO;2).
- BORMA, L.S.; TOMASELLA, J.; ROBALLO, S.T.; CUARTAS, L.A.; RODRIGUES, D.A.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Impactos dos eventos extremos de seca e cheia sobre os recursos hídricos amazônicos e ações da Defesa Civil. In: BORMA, L.S.; NOBRE, C.A. **Secas na Amazônia: causas e consequências**. São Paulo: Oficina de Textos, 1ª Edição, p.268-326, 2013.
- BLAIN, G.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; PEZZOPANE, J.E.M.; BONOMO, R. Índice padronizado de precipitação aplicado às condições de seca no estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.10, p.1067-1073, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001000007>.
- BRITO, A.P.; SILVA, N.V.; TOMASELLA, J.; FERREIRA, S.J.F.; MONTEIRO, M.T.F. Análise do índice de anomalia de chuva e tendência de precipitação para estações pluviométricas na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.37, n.1, p.19-30, 2022. <https://doi.org/10.1590/0102-778637014521>.
- CARVALHO, L.M.V.; SILVA, A.E.; JONES, C.; LIEBMANN, B.; DIAS, P.L.S.; ROCHA, H.R. Moisture transport and intraseasonal variability in the South America monsoon system. **Climate Dynamics**, v.36, p.1865-1880, 2011. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0806-2>.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- DUARTE, A.F. Variabilidade e tendência das chuvas em Rio Branco, Acre, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.20, n.1, p.37-42, 2005.
- DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins**, [online], n. 37, 2018. <https://doi.org/10.4000/confins.15738>
- ESPINOZA, J.C., RONCHAIL, J.; GUYOT, J.L.; JUNQUAS, C.; VAUCHEL, DRAPEAU, G.; POMBOSA R. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought. **Geophysical Research Letters**, v.38, n.13, L13406, 2011. <https://doi.org/10.1029/2011GL047862>
- FISCH, G.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Uma revisão geral do clima da Amazonia. **Acta Amazônica**, Manaus, v.28, n.2, 1998. <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282126>

FREITAS, M.A.S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semiáridas. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 19, n. 1, 2010. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/1175>. Acesso em: 06 março 2023.

GOIS, G.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; DELGADO, R.C.; MORAES, M. Severidade da seca no estado do Tocantins e suas relações com os eventos de El Niño. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.16, p.1973-1989, 2013. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3504>

HARRELL-JUNIOR, F.E. **Regression Modeling Strategies: With Applications to Linear Models, Logistic and Ordinal Regression, and Survival Analysis**. 2ª Edição. New York: Springer, 2015. 582p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19425-7>

HARRELL, F.E. et al. Regression modeling strategies: with applications to linear models, logistic regression, and survival analysis. New York: Springer, 2001. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3462-1>

HAO, Z.; AGHAKOUCHAK, A. Multivariate standardized drought index: A parametric multi-index model. **Advances in Water Resources**, v.57, p.12-18, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2013.03.009>

HOPKINS, W.G. **A New View of Statistics: Correlation Coefficient**. New York: Internet Society for Sport Science, 2016. Disponível em: <https://www.sportsci.org/resource/stats/newview.html>

HUANG, B.; THORNE, P.W. Extended reconstructed sea surface temperature, version 5 (ERSSTv5): upgrades, validations, and intercomparisons. **Journal of Climatology**, Boston, v.30, n.20, p.8179-8205, 2017. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ac/rio-branco.html>. Acesso em 18 de Abril de 2023.

JUNGER, W.L. Análise, imputação de dados e interfaces computacionais em estudos de séries temporais epidemiológicas. 178f. **Tese (Doutorado)** – Instituto de Medicina Social, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

NKEMDIRIM, L.; WEBER, L. Comparison between the droughts of the 1930s and the 1980s in the Southern Prairies of Canada. **Journal Climate**, 12, 2434–2450, 1999. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<2434:CBTDOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2434:CBTDOT>2.0.CO;2)

LIMA, E.P.; GOIS, G.; GARRITANO, F.N. Análise da variabilidade ambiental da chuva no município de Chapada Gaúcha, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Rio Branco, v.5, n.2, p.2305-2326, 2022. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n2-072>

LIMBERGER, L.; SILVA, M.E.S. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, São Paulo, v.20, n.3, p.657-675, 2016. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2016.105393>.

LOPES, C.B.; DOURADO, F.; SOUZA, L.S.; GOIS, G.; PINTO, P.M.G.M. Análise da distribuição pluviométrica na Baixada Fluminense, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, v.31, n.18, 413-433, 2022. <https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.15225>

MARENGO, J. Interannual variability of deep convection in the tropical South American sector as deduced from ISCCP C2 data. **International Journal of Climatology**, Oxford, v.15, n.9, p.995-1010. 1995. <https://doi.org/10.1002/joc.3370150906>

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, Oxford, v.36, n.9, p.1033-1050, 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4420>

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, p.73-85, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0465-1>

- 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**, Boston, v.21, n.3, p.495-516, 2008. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1600.1>
- MISHRA, A.K.; SINGH, V.P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v.391, n.1-2, p.202-216, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. **The relationship of drought frequency and duration to times scale**. In: VIII Conference on Applied Climatology. Boston. American Meteorological Society, p.179-184, 1993.
- NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; VELASQUEZ, L. F. S. Mudanças Climáticas e Amazônia. **Revista Ciência e Cultura (SBPC)**, v. 59, p. 22-27, 2007.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). **Cold and Warm Episodes by season**. 2023. Disponível em: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears\\_ERSSTv3b.shtml](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears_ERSSTv3b.shtml). Acesso em: 20 jun. 2023.
- PALMER, W. C. **Meteorological drought**. US Weather Bureau, Washington, n.45, 1965. 58p.
- PINTO, C. A. D.; SILVA JÚNIOR, J.A.; CUNHA, A.C.; SILVA, J.F.B.R.; OLIVEIRA, F.A.F.; SOUSA, L.H.; COSTA, A.C.L.; NUNES, H.G.G.C.; ATAIDE, W.L.S.; SILVA, S.P.A.; RODRIGUES, H.J.B.; SOUZA FILHO, J.D.C. Índice de anomalia de chuva (IAC) e sua relação com os desastres naturais no leste da Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.15, n.5, p.2544-2572, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2544-2572>
- TOSTES, J. O. Sinergismo entre eventos climáticos extremos, desmatamento e aumento da suscetibilidade a incêndios florestais no Estado do Acre. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Seropédica: UFRRJ. 2016. Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/jspui/handle/jspui/1336>.
- R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
- RAO, V.B.; FRANCHITO, S.H.; SANTO, C.M.E.; GAN, M.A. An update on the rainfall characteristics of Brazil: Seasonal variations and trends in 1979–2011. **International Journal of Climatology**, v.36, n.1, p.291-302, 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4345>
- REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.25, n.2, p.185-204, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>
- ROOY, M.P.V. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notos**, v.14, p.43-48, 1965.
- SANTOS, S.R.Q.; BRAGA, C.C.; SANSIGOLO, C.A.; SANTOS, A.P.P. Determinação de regiões homogêneas do Índice de Precipitação Normalizada (SPI) na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.32, n.1, p.111-122, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778632120160013>
- SILVA, A.R.; SANTOS, T.S.; QUEIROZ, D.É.; GUSMÃO, M.O.; SILVA, T.G.F. Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, n.4, p.377-384, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1420.377-384>
- SILVA, D.F.; KAYANO, M. SOUSA, J.W. Características climáticas do município de Rio Branco, Acre, período de 1990-2019. **Scientia Naturalis**, v.2, n.2, p.723-740, 2020.
- SOBRAL, B.S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; ALECRIM, F.; GOIS, G.; MUNIZ-JÚNIOR, J.G.; TERASSI, P.M.B.; PEREIRA-JÚNIOR, E.R.; LYRA, G.B.; ZERI, Marcelo. PERSIANN-CDR based characterization and trend analysis of annual rainfall in Rio De Janeiro State, Brazil. **Atmospheric Research**, v. 238, 104873, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104873>
- SOUSA, J.W. Características climáticas do município de Rio Branco, Acre, período de 1990-2019. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, v.2, n.2, p.723-740, 2020. Acesso em: 25 maio 2023.

Índice de anomalia de chuva e sua associação ao El Niño-Oscilação Sul (ENOS) em Rio Branco (AC), Brasil

Givanildo de Gois  
Paulo Miguel de Bodas Terassi  
José Genivaldo do Vale Moreira  
Josimar da Silva Freitas  
Bruno Serafini Sobral  
Marcelo Alves Muniz  
Djailson Silva da Costa Júnior  
Indira Sueline Silva Aleluia  
Mario Henrique G. dos Santos Vanderlei  
Geraldo de Carvalho Neto

---

SOUZA, E.O.; COSTA, M.S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; MARIANO, G.L.; COSTA, C.E.S.; CORREIA FILHO, W.L.F.; SANTIAGO, D.B. Estimativa e espacialização da erosividade em Mesorregiões Climáticas no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.35, número especial, p.1-15, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786355000>

VAN BUUREN, Stef; GROOTHUIS-OUDSHOORN, Karin. mice: Multivariate imputation by chained equations in R. *Journal of statistical software*, v. 45, p. 1-67, 2011. <https://doi.org/10.18637/jss.v045.i03>

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, n.2, p.184-194, 1981. <https://doi.org/10.1080/02723646.1981.10642213>

YOON, J.H.; ZENG, N. An Atlantic influence on Amazon rainfall. **Climate Dynamics**, v.34, p.249-264, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00382-009-0551-6>

ZENG, N.; YOON, J-H.; MARENGO, J.A.; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C.A.; MARIOTTI, A. e NEELIN, J.D. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environmental Research Letters**, v.3, n.1, 014002, 2008. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/3/1/014002/meta>. Acesso em: 25 março 2023.

---

Recebido em: 24/08/2023

Aceito para publicação em: 17/11/2023