

## **Analysis of annual precipitation variability and the rainy season period for the municipality of Petrolina, Pernambuco**

Gabriel Victor Silva do Nascimento<sup>\*</sup>, Eduardo Almeida da Silva<sup>\*\*</sup>, Israel Walter Hilário da Silva<sup>\*\*\*</sup>, Jailene Kelley Umbelino dos Santos<sup>\*\*\*\*</sup>, Maxsuel Bezerra do Nascimento<sup>\*\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, RN, Brasil, nascimento.gabriel@outlook.com.br

<sup>\*\*</sup>Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, RN, Brasil, eduardometeorologistaufm@gmail.com

<sup>\*\*\*</sup>Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, RN, Brasil, israel.agrarias@gmail.com

<sup>\*\*\*\*</sup>Graduanda em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, PE, Brasil, jailene.kelley@ufpe.br

<sup>\*\*\*\*\*</sup>Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, RN, Brasil, maxsuel10gba@hotmail.com

Received 10 November; accepted 05 December

### **Abstract**

Monitoring precipitation variability is essential for the socio-environmental planning of a region or municipality. Therefore, the research aimed to analyze the Rain Anomaly Index (IAC) and the annual precipitation trend and the months of the rainy season for the municipality of Petrolina, PE. Monthly precipitation data were from the historical series from 1991 to 2021, obtained through the database of the National Institute of Meteorology (INMET). To understand the variability of precipitation in the years and months of the rainy season, the IAC method was applied, which distinguishes years with precipitation above and below the average through pre-established classes. Thus, in the annual analysis of the study, it was possible to identify three years with extremely positive anomalies (1995, 2004, 2009) and two with extremely negative anomalies (2012, 2017). Meanwhile, on the monthly scale, January stands out as the month with the most negative anomalies and with the highest positive anomaly observed in the year 2004. Additionally, it was possible to observe an increase in negative anomalies in recent years on both the monthly and annual scales. However, the linear trend analysis showed that despite the higher number of dry years, the month of April shows an increasing trend in precipitation accumulations.

Keywords: Climatology, Extreme Events, Semiarid, Rain Anomaly Index.

## **Análise da variabilidade da precipitação anual e do período chuvoso para o município de Petrolina, Pernambuco**

### **Resumo**

Realizar o monitoramento da variabilidade da precipitação é essencial para o planejamento socioambiental de uma região ou município. Com isso, a pesquisa teve como objetivo analisar o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e a tendência de precipitação anual e dos meses do período chuvoso para o município de Petrolina-PE. Os dados mensais de precipitação foram da série histórica de 1991 a 2021, obtidos por meio do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para compreender a variabilidade da precipitação nos anos e nos meses do período chuvoso foi aplicado o método do IAC que distingue os anos com precipitação acima e abaixo da média por meio de classes pré-estabelecidas. Assim, na análise anual do estudo foi possível verificar três anos com anomalias extremamente positivas (1995, 2004, 2009) e dois com anomalias extremamente negativas (2012, 2017). Enquanto na escala mensal, janeiro se destaca como mês com mais anomalias negativas e com a maior anomalia positiva observada no ano de 2004. Além disso, foi possível observar o aumento de anomalias negativas nos últimos anos na escala mensal e anual. No entanto, a análise de tendência linear demonstrou que apesar da maior quantidade de anos secos, o mês de abril apresenta tendência de aumento nos acumulados de precipitação.

Palavras-chave: Climatologia, Eventos Extremos, Semiárido, Índice de Anomalia de Chuva.

### **1. Introdução**

A variabilidade climática proporciona deficiência e/ou excesso de precipitação na Terra, assim, com as mudanças climáticas, há o aumento de eventos extremos de precipitação em intensidade,

frequência e duração, esse aumento dos extremos climáticos é responsável pelo desequilíbrio dos ecossistema e causa preocupações na sociedade devido ao consequente aumento de desastres socioambientais por meio de

enchentes, inundações, deslizamento de barreiras e secas prolongadas (Da Silva et al., 2020; Gomes Néto, Santos, 2021).

Um fenômeno importante para o clima do semiárido é o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) que é uma oscilação acoplada do oceano-atmosfera, a fase quente desse fenômeno (El Niño) está associada com anos de seca na região, enquanto na fase fria (La Niña) há o predomínio de um período mais chuvoso, além da Temperatura da Superfície do Mar do Atlântico Sul e Norte (TSM) (Freire; Lima; Cavalcanti, 2011; Rodrigues et al., 2011). Dessa forma, períodos de El Niño e TSM positiva causam impacto na migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e de Linhas de Instabilidade (LI) no município de Petrolina durante o período chuvoso, diminuindo os acumulados de precipitação (Jatobá; Silva; Galvêncio, 2017). Além disso, cabe destacar a importância dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) para o município e da convecção local (Araújo Filho, 2013; Palharini, 2022).

Desse modo, a precipitação no semiárido brasileiro é caracterizada pela irregularidade durante o ano, com precipitação média anual inferior a 800 mm, sendo grande parte concentrada em três meses consecutivos (Silva et al., 2010). Assim, as elevadas temperaturas associadas ao alto grau de evapotranspiração, caracteriza a região com significativa deficiência hídrica, o que impacta a população e as atividades agrícolas (Texeira, 2010).

Além disso, Alcântara et al. (2019) explicam que o aumento da frequência de eventos extremos de precipitação pode provocar danos ambientais, agrícolas, sociais e até econômicos. Contudo, não é apenas as chuvas e secas extremas que podem prejudicar os habitantes de uma região, mas também a irregularidade da precipitação, com isso, para compreender o clima local faz-se necessário estudar a variabilidade e anomalias das variáveis climáticas, como a precipitação, além da flutuação e dos seus extremos (Sena; Moraes Neto; Lucena, 2017).

Com o maior polo de fruticultura da região semiárida, o município de Petrolina desenvolve

grandes projetos agrícolas que intensificam alterações no uso e ocupação do solo (Brito et al., 2023). Dessa forma, o desenvolvimento da agricultura irrigada moderna e intensiva se constitui um indutor de dinamismo econômico no semiárido brasileiro (Baiardi; Ribeiro, 2023). Assim, o município se tornou o aglomerado urbano mais próspero e desenvolvido, ao lado de Juazeiro, na região do Vale do São Francisco (Correia; Araújo; Cavalcanti, 2023).

Com isso, o monitoramento da precipitação por meio do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) possibilita compreender a variabilidade da precipitação na escala anual, sazonal ou mensal (Araújo et al., 2009; Alves et al., 2016). Além disso, o monitoramento da variabilidade da precipitação no município de Petrolina é essencial, pois a economia do município depende da agricultura irrigada, de sequeiro e do extrativismo vegetal (Silva et al., 2019), além da importância da regularidade da precipitação para as culturas agrícolas, projetos de irrigação, abastecimento de água (Silva et al., 2017), para o solo e biodiversidade do município e da região.

Nesse contexto, é essencial compreender a variabilidade da precipitação do município durante o ano e durante os meses do período chuvoso, entre novembro e abril, visto que, esses acumulados correspondem pela maior porção de chuva no município. Desse modo, o objetivo da pesquisa é analisar o comportamento da precipitação anual e dos meses do período chuvoso do município de Petrolina-PE, por meio do IAC e análise de tendência linear.

## 2. Material e métodos

A área de estudo foi o município de Petrolina, localizado no sertão de Pernambuco e inserido na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. O município possui área total de 4.561,870 km<sup>2</sup>. Localiza-se na latitude 9° 23' 39" S, longitude 40° 30' 35" W, com altitude de 380 metros (IBGE, 2023), conforme representado na Figura 1. Além disso, o município está localizado no extremo sudoeste de Pernambuco e faz parte da região semiárida nordestina. Nesse contexto, Petrolina tem se destacado no cenário regional e nacional devido ao seu significativo crescimento econômico nas últimas décadas, impulsionado principalmente pelo setor agrícola (Souza, 2015).

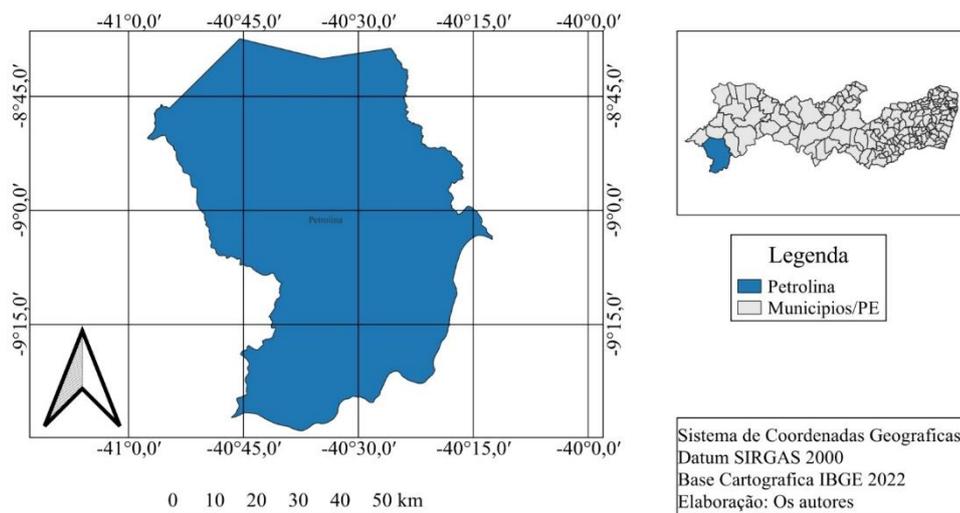


Figura 1 - Mapa de localização do município de Petrolina - PE. Fonte: Os autores (2023).

Com base nos critérios da classificação climática de Köppen, o clima do município é classificado como Semiárido de baixa altitude e latitude (BSH) (Alvares et al., 2013). Petrolina encontra-se no domínio fitogeográfico da Caatinga, conhecido por suas florestas sazonalmente secas e pela notável adaptação da biodiversidade local às temperaturas elevadas. Esse domínio é caracterizado pela vegetação hiperxerófila, mas também reúne a presença de campos irrigados (Jatobá; Silva; Galvêncio, 2017; Barbosa; Gomes Filho, 2022).

Os dados médios mensais de precipitação para o período de 1991 a 2021 foram obtidos por meio do banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A partir disso, os dados foram tabulados e analisados no *software* Excel, sem necessidade de ajustes devido à ausência de falhas.

Com isso, foi aplicado o método do Índice de Anomalia de Chuva (IAC), que é uma técnica

proposta por Roy (1965) e adaptada para o NEB por Freitas (1998; 2004) para obtenção das anomalias positivas e negativas, representadas nas Equações 1 e 2;

$$[1] \quad IAC = 3 \left[ \frac{N - \bar{N}}{\bar{M} - \bar{N}} \right], \text{ para anomalias positivas}$$

$$[2] \quad IAC = -3 \left[ \frac{N - \bar{N}}{\bar{X} - \bar{N}} \right], \text{ para anomalias negativas}$$

em que: N = precipitação mensal atual (mm);  $\bar{N}$  = precipitação média anual/mensal da série histórica (mm);  $\bar{M}$  = média das dez maiores precipitações anuais/mensais da série histórica (mm); e;  $\bar{X}$  = média das dez menores precipitações anuais/mensais da série histórica (mm).

A partir disso, para analisar os dados de IAC foi utilizado a classificação adaptada proposta por Nascimento e Medeiros (2023) apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Classes de Intensidade do Índice de Anomalia de Chuva

<b>Índice de Anomalia de Chuva</b>	
<b>Faixa do IAC</b>	<b>Classe de Intensidade</b>
$4,1 \geq$	Extremamente chuvoso
$2,1 \leq 4$	Muito chuvoso
$0,1 \leq 2$	Chuvoso
$-0,1 \leq -2$	Seco
$-2,1 \leq -4$	Muito Seco
$\leq -4,1$	Extremamente Seco

Fonte: Adaptado de Nascimento; Medeiros (2023).

Ademais, foi aplicado o teste de regressão linear simples para os dados de precipitação anual e dos meses do período chuvoso. Nesse procedimento, foi utilizado a Equação 3 da reta de tendência:

$$[3] \quad Y = ax + b$$

### 3. Resultados e discussão

A Figura 2 apresenta a precipitação mensal média para o município de Petrolina entre os anos de 1991 a 2021. Na figura é importante destacar que o período chuvoso do município é de novembro a abril e a precipitação mensal não ultrapassa os 90,0 mm. Os meses mais chuvosos são: janeiro, fevereiro e março, com 83,0, 78,4, 81,6 mm, respectivamente. Já o

em que Y é a precipitação média anual e/ou mensal; “a” é o coeficiente angular da reta, que representa a variação da variável dependente em relação à variável independente; “b” é o intercepto da reta, e “x” é a variável independente, neste caso, o número de anos de análise do estudo (Andrade *et al.*, 2018).

período seco do município ocorre entre maio e outubro, durante esses meses a precipitação não ultrapassa os 15,0 mm, sendo agosto e setembro os meses menos chuvosos, com precipitação de 1,6 e 2,2 mm, respectivamente. Nesse contexto, Moura; Silva; Borges (2005) e Lopes *et al.* (2017) também evidenciam que o período chuvoso de Petrolina é de novembro a abril, com chuvas concentradas nos meses de janeiro, fevereiro e março.

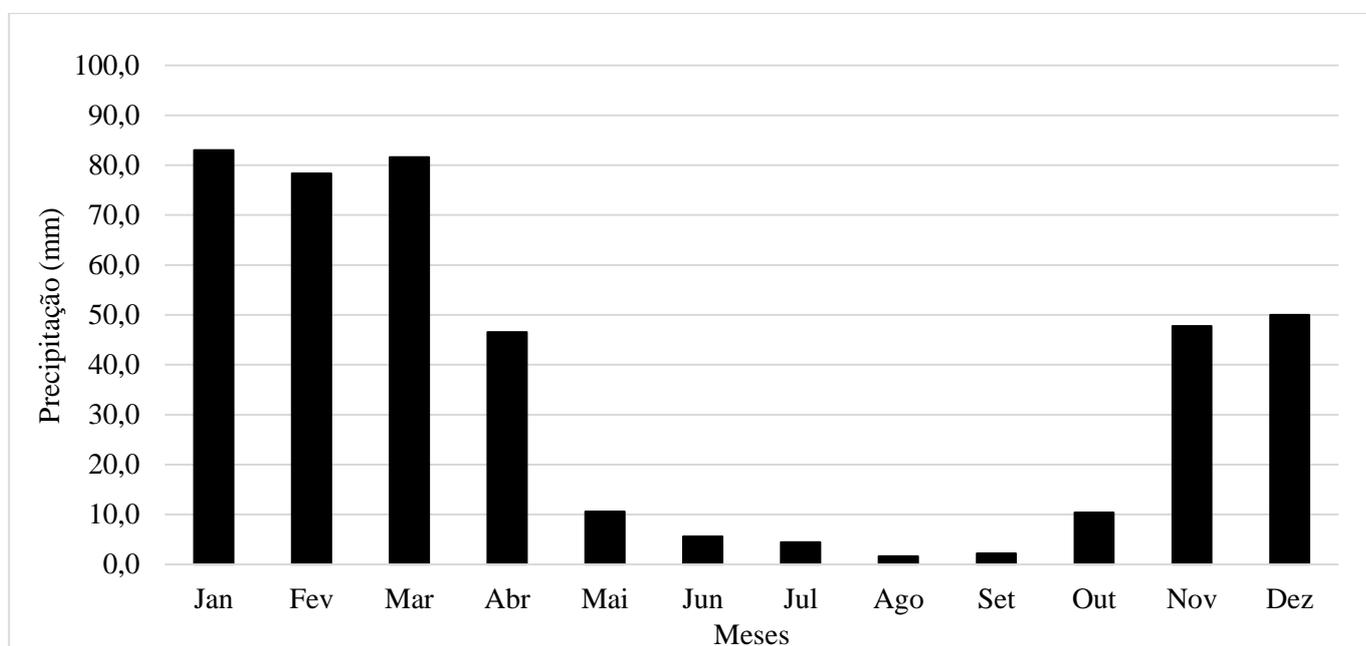


Figura 2 - Precipitação média do município de Petrolina-PE. Fonte: Os autores (2023).

A Figura 3 representa a análise de tendência linear para o município de Petrolina. Com isso, se observa observar que os anos mais chuvosos foram 1995, 2004 e 2009, com 702,0, 691,4, 747,7 mm. Enquanto os anos de 2012, 2015 e 2017 tiveram precipitação abaixo de 200,0 mm, com valores de 141,1 175,1 e 147,4, respectivamente. A figura também evidencia que 17 anos possuem precipitação

abaixo da média histórica e 14 anos possuem precipitação acima da média. Além disso, a precipitação demonstra uma tendência de diminuição, visto que sua variação não segue a linha média de precipitação com R<sup>2</sup> de 7,71%. Ademais, o coeficiente angular negativo (-5,0799), revela uma tendência de decréscimo da precipitação média de 5,0799 mm a cada ano.

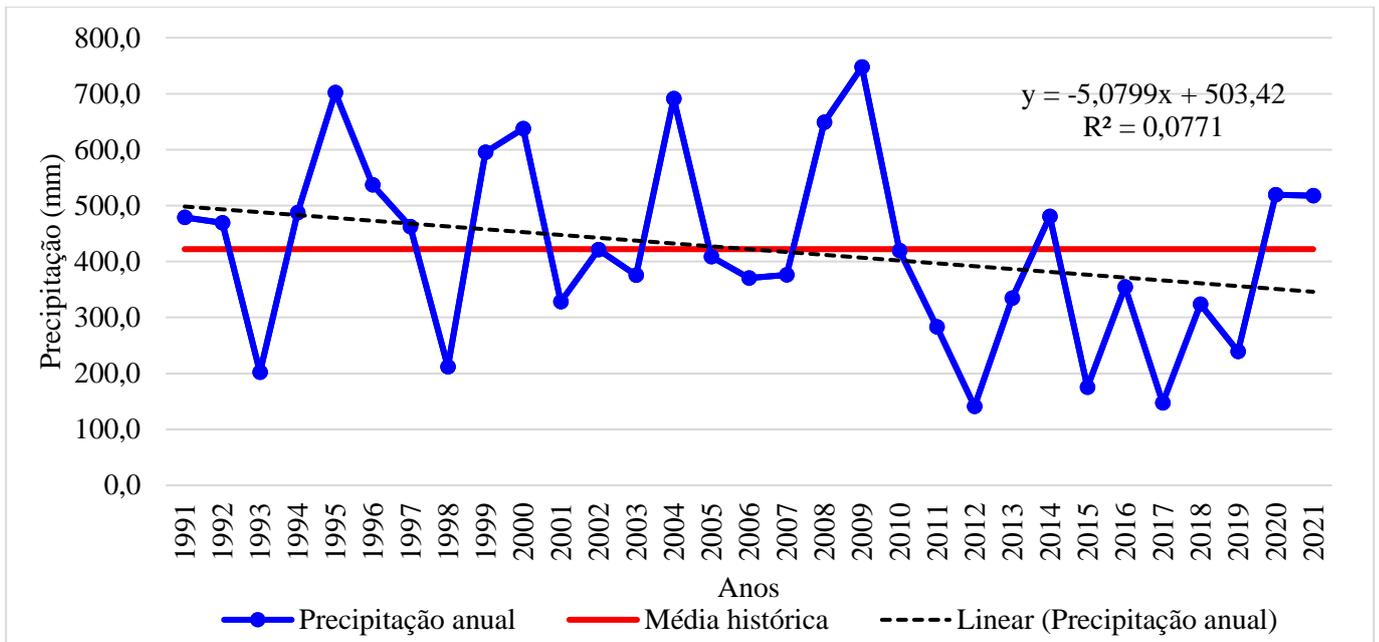


Figura 3 - Análise de tendência linear anual. Fonte: Os autores (2023).

A Figura 4 apresenta o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) anual para o município de Petrolina entre os anos de 1991 a 2021. Nesse período, foi possível observar 17 anos caracterizados com anomalias negativas e 14 anos com anomalias positivas. A partir disso, os anos de 1995, 2004, 2009 apresentaram anomalias com classe de extremamente chuvoso com taxa de anomalia de 4,5, 4,3 e 5,2, e acumulados de

precipitação de 702,0 mm, 691,4 mm e 747,7 mm, respectivamente. Os anos extremamente seco foram 2012 e 2017, com anomalia de -4,6 e -4,5, com precipitação acumulada de 141,1 mm e 147,4 mm. Evidencia-se também o período de 2010 a 2019, no qual é observado apenas um ano com anomalia positiva e anos consecutivos de anomalia negativa para o município.

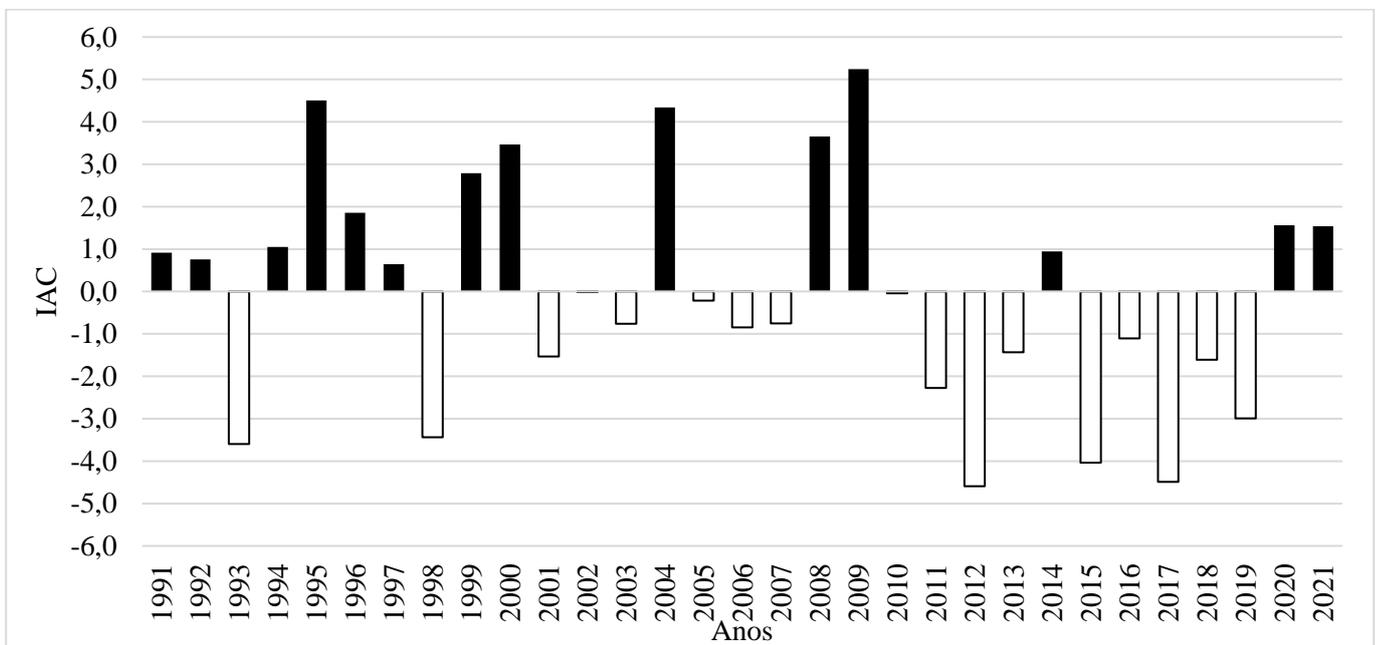


Figura 4 - Índice de anomalia de chuva anual. Fonte: Os autores (2023).

A Tabela 2 apresenta os anos de ocorrência de El Niño e os respectivos acumulados de precipitação. Com isso, observa-se que os anos de anomalias negativas de 1993, 1998, 2006, 2007, 2010, 2015 e 2016 coincidem com anos de atuação do El Niño.

Contudo, os anos extremamente seco foram 2012 e 2017, com acumulados de precipitação de 141,1 mm e 147,4 mm.

Nesse contexto, a seca de 2012 ocorreu devido a alterações na circulação atmosférica. Na alta

atmosfera, a circulação teve maior divergência sobre a Amazônia e maior convergência no NEB, com um movimento intenso no leste de Amazônia durante o verão e subsidência anômala sobre o NEB durante o outono. Com isso, a subsidência, ao interagir com a alta pressão provocada por temperaturas mais frias do Atlântico Sul, propiciou anos de seca na região do NEB durante os anos de 2011, 2012 e 2013 (Marengo *et al.*, 2013; Marengo; Cunha; Alves, 2016).

Os anos de anomalia negativa de 1993, 1998, 2001, 2005, 2007, 2010, 2012, 2013 e 2015, revelados na figura, coincidem com a ocorrência de seca na região do NEB (Marengo; Cunha; Alves, 2016; Pinheiro; Araújo, 2019). Cabe destacar também a presença de cinco anos muito seco, dez anos seco, três anos muito chuvoso e oito anos chuvosos durante a série histórica anual. Além disso, apenas em 1991, 1992 e 2009 a precipitação em anos de El Niño é acima da média histórica de 431,5 mm.

**Tabela 2** - Anos de Ocorrência do fenômeno El Niño

Anos de El Niño	Acumulados de Precipitação (mm)
1991	479,1
1992	468,9
1993	202,0
1997	462,1
1998	211,8
2006	370,3
2007	376,0
2009	747,7
2010	419,5
2015	175,1
2016	354,4
2018	323,6
2019	239,0

Fonte: Adaptado da base de dados do CPTEC/INPE e do Golden Gate Weather Services (2023).

Os anos de La Niña são representados na Tabela 3 com suas intensidades e acumulados de precipitação. Assim, os anos de La Niña que coincidiram com anomalias positivas de precipitação foram: 1999, 2000 e 2008; nesses anos, a precipitação acumulada foi de 595,2 mm, 637,3 mm e 649,0 mm.

Com isso, observa-se a menor quantidade de anos com anomalias positivas em anos de La Niña, ocorrendo apenas em anos classificados como muito chuvosos. Dessa forma, é possível observar a maior influência de anos de El Niño na variabilidade da precipitação anual no município de Petrolina.

**Tabela 3** - Anos de Ocorrência do fenômeno La Niña

Anos de La Niña	Acumulados de Precipitação (mm)
1998	211,8
1999	595,2
2000	637,3
2007	376,0
2008	649,0
2010	419,5
2011	282,9
2017	147,4
2018	323,6
2020	519,2
2021	517,8

Fonte: Adaptado da base de dados do CPTEC/INPE e do Golden Gate Weather Services (2023).

A precipitação média para o mês de novembro é de 47,7 mm. O IAC para este mês está representado na Figura 5. Nesse contexto, as classes de

extremamente chuvoso foram observadas nos anos de 1996, 1999 e 2020, tais anos apresentaram acumulados de 195,9 mm, 164,9 mm, 163,1 mm.

Assim, novembro apresenta 20 anos de anomalias negativas e 11 de anomalias positivas, contudo, as anomalias positivas estão concentradas entre os anos de 1991 a 2000, enquanto entre 2001 a 2019 há a presença de três períodos secos consecutivos entre

2001 e 2004, 2006 e 2013 com maior quantidade de anos consecutivos secos e entre 2015 e 2019. Além disso, o mês contou com 12 anos com a classe muito seco, sendo 11 verificados nos últimos 20 anos de estudo.

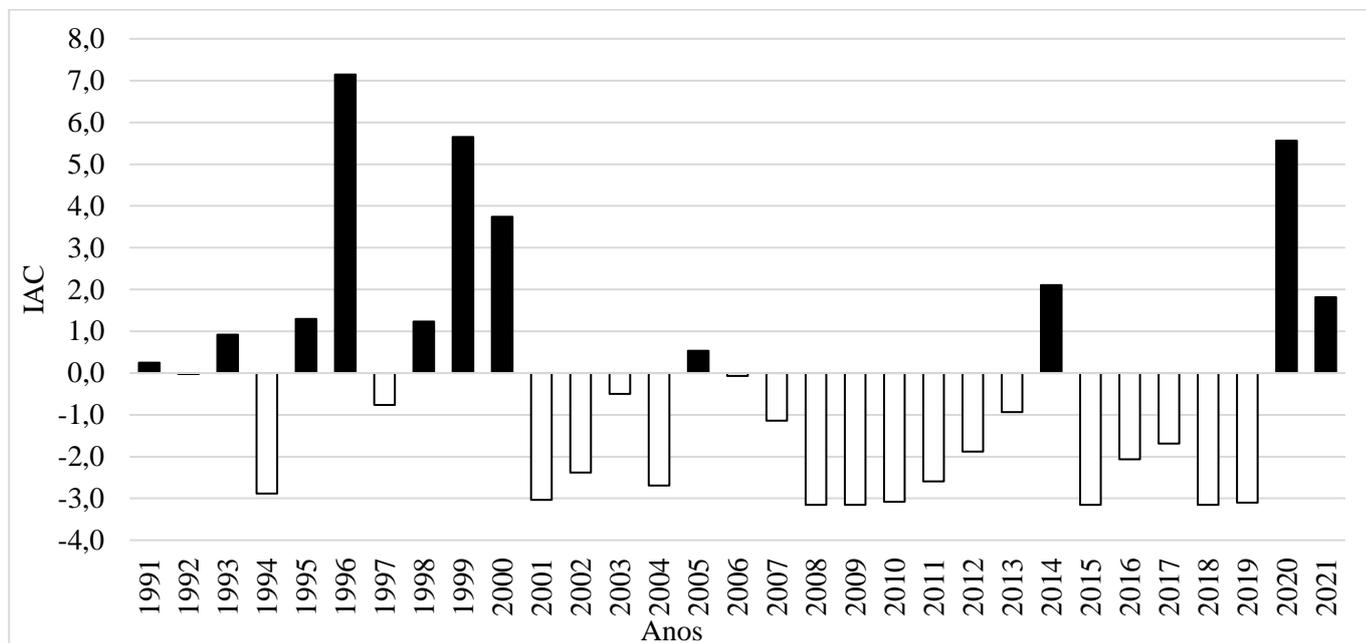


Figura 5 - Índice de anomalia de chuva para o mês de novembro. Fonte: Os autores (2023).

A Figura 6 apresenta o IAC para o mês de dezembro. Neste mês, a precipitação média é de 50,0 mm. Com isso, dezembro foi caracterizado por 12 anos com anomalias positivas e 19 anos com anomalias negativas. A classe de extremamente chuvoso foi verificado nos anos de 2010, 2013 e 2021, com precipitação acumulada mensal de 151,2 mm,

155,0 mm e 135,7 mm. Assim como em novembro, a classe de muito chuvoso foi verificado apenas em dois anos, enquanto a classe de muito seco foi observada em nove anos. Além disso, foi possível observar dois períodos com anos secos consecutivos, entre 2003 e 2007, e entre 2014 e 2020.

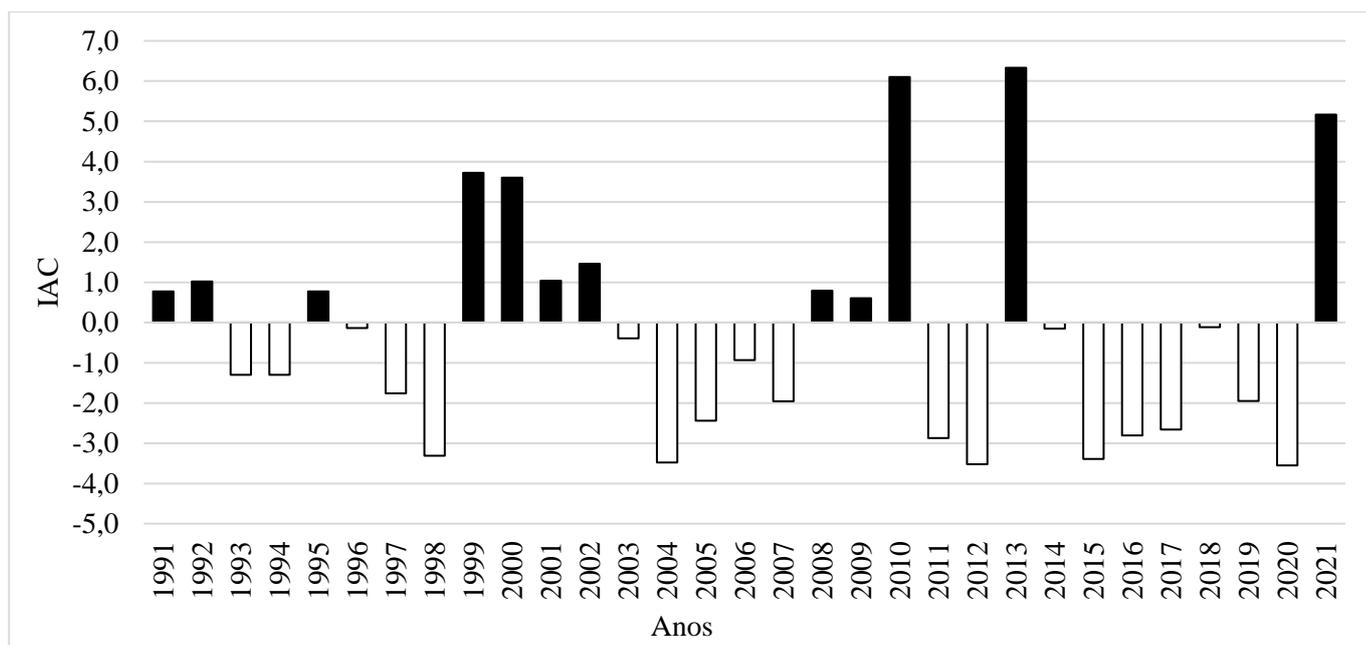


Figura 6 - Índice de anomalia de chuva para o mês de dezembro. Fonte: Os autores (2023).

A Figura 7 representa o IAC para o mês de janeiro entre os anos de 1991 a 2021, o qual possui precipitação acumulada média de 83,0 mm. Este mês apresentou a maior anomalia positiva em 2004, com taxa de 9,5 o que representou 416,8 mm de chuva para esse mês, alcançando quase o valor da média anual, que é de 422,1 mm, e com valor cinco vezes maior a média do mês de janeiro que é de 83,0 mm. Nesse sentido, Correia *et al.* (2012) explicam que esse valor extremo no mês de janeiro de 2004, ocorreu devido à atuação do VCAN e da ZCIT em parte da região do NEB, causando o transbordamento de açudes na região do Submédio do São Francisco.

É importante destacar também que janeiro apresentou a menor quantidade de anomalias positivas, com apenas dez, enquanto as anomalias negativas foram observadas em 21 anos, sendo 14 anomalias negativas nos últimos 16 anos. O mês não apresentou nenhuma anomalia com classe de extremamente seco. Contudo, foi o mês com o maior período de anos consecutivos com chuvas abaixo da média (10 anos) entre o período de 2005 a 2015. Neste mês também não foi possível observar a classe de muito chuvoso, em contrapartida, foi observado a maior presença da classe muito seco que ocorreu em 12 anos da série histórica para janeiro.

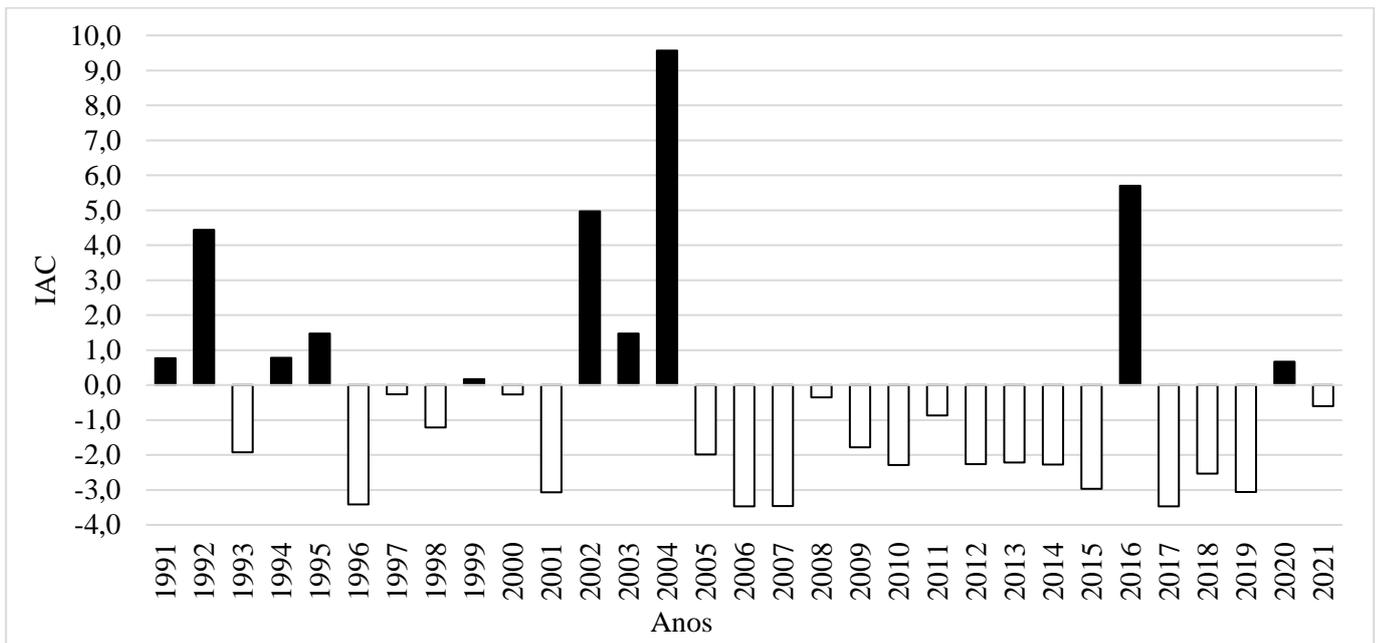


Figura 7 - Índice de anomalia de chuva para o mês de janeiro. Fonte: Os autores (2023).

A Figura 8 apresenta o IAC para o mês de fevereiro, o qual tem precipitação média de 78,4 mm. Ao contrário dos outros meses, o mês de fevereiro se destaca como mês com maior equilíbrio em quantidade de anomalias positivas e negativas, com 14 anomalias positivas e 17 anomalias negativas. Assim, foi possível observar três anos com anomalias na classe de extremamente chuvoso nos anos de 1995, 2000 e 2007, com acumulados de 208,5 mm, 170,4

mm e 227,8 mm, respectivamente. Entretanto, foi possível observar também a presença da classe de extremamente seco, no ano de 2013. Além disso, foram verificados sete anos com a classe muito chuvosa e dez com classe de muito seco. Nesse contexto, é importante destacar também dois períodos com classes secas consecutivas, entre 1996 a 1999, e entre 2013 e 2016 e um período com classes chuvosas consecutivas entre 2002 a 2005.

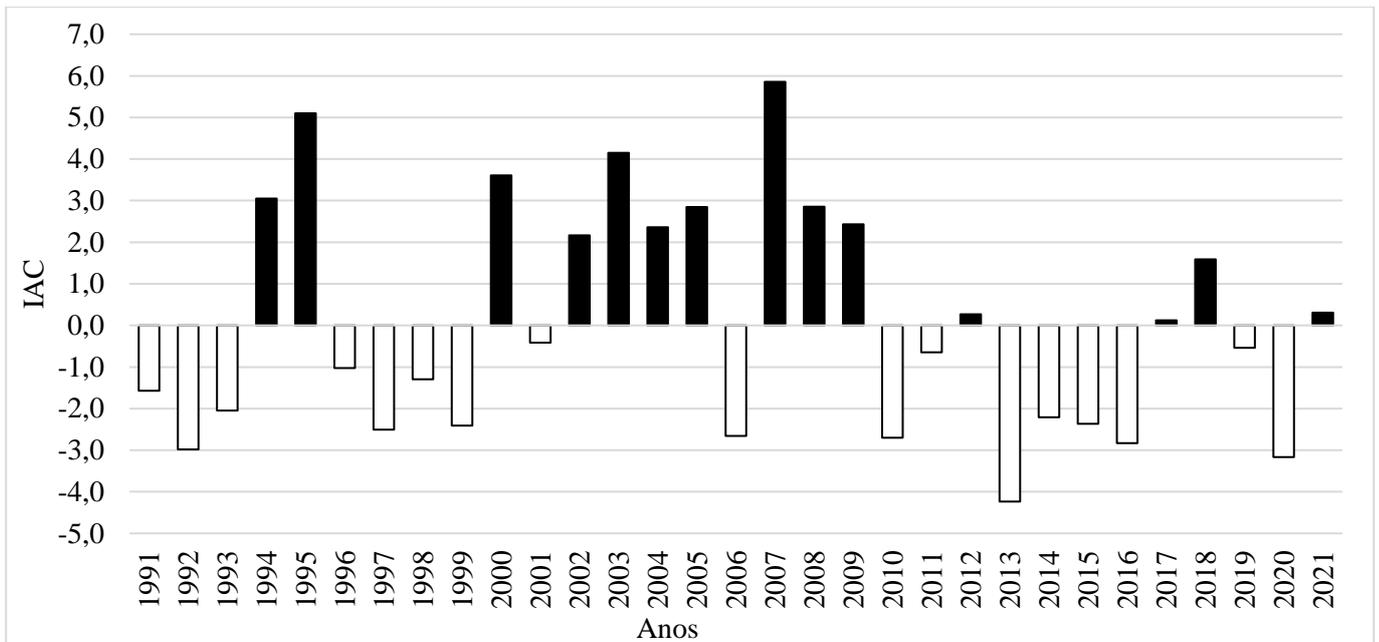


Figura 8 - Índice de anomalia de chuva para o mês de fevereiro. Fonte: Os autores (2023).

Na Figura 9 está representado o IAC para o mês de março, o qual tem precipitação média de 81,6 mm. Este mês foi caracterizado com apenas dois anos com classes de extremamente chuvoso: 1997 e 2008, com taxa de 5,0 e 7,0, e precipitação acumulada de 220,3 mm e 275,2 mm. Já entre o período de 2010 e 2021 foi encontrado apenas um ano de anomalia

positiva, sendo dez anos de anomalias negativas consecutivas entre 2010 e 2019. É importante ressaltar que dos 31 anos analisados, 19 foram com anomalias negativas e em apenas 12 anos houve anomalias positivas. Além disso, foram verificados 11 anos com classe de muito seco e apenas cinco com classe de muito chuvoso.

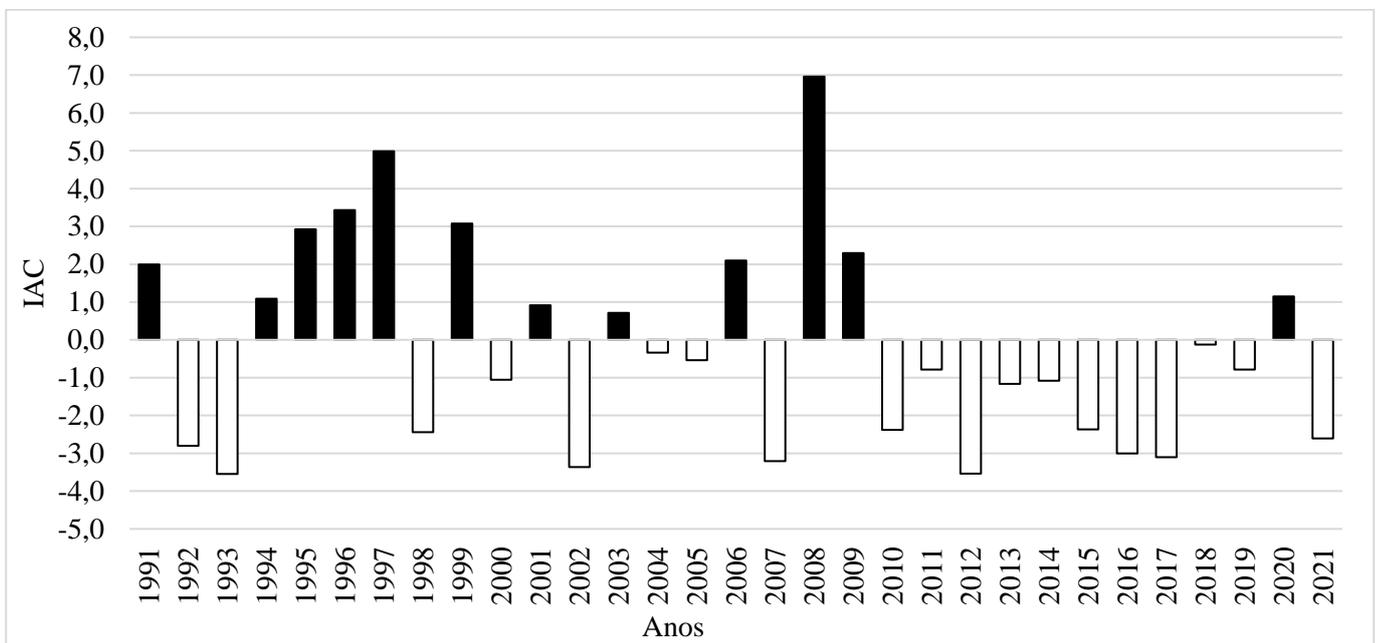


Figura 9 - Índice de anomalia de chuva para o mês de março. Fonte: Os autores (2023).

A Figura 10 apresenta o IAC para o mês de abril, este mês possui o menor acumulado de precipitação com média 46,5 mm. As anomalias positivas se concentraram entre 2006 e 2015, com

classes de extremamente chuvoso nos anos de 2009 e 2014, em ambos os anos a taxa de anomalia ultrapassou o valor de 8,0, acumulados de precipitação de 181,2 mm e 179,8 mm.

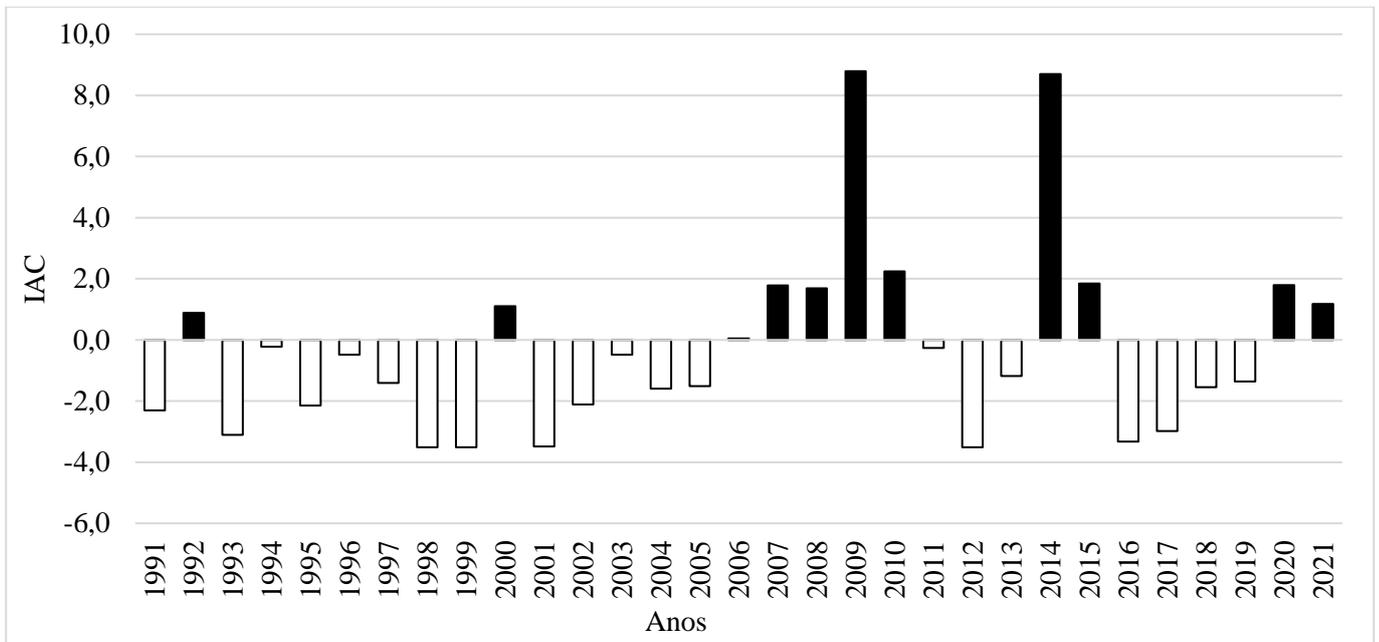


Figura 10 - Índice de anomalia de chuva para o mês de abril. Fonte: Os autores (2023).

É possível verificar também que dos 31 anos analisados 20 foram anos de anomalias negativas e 11 tiveram anomalias positivas, contudo a maior concentração de anomalias negativas foi verificada entre os anos de 1991 a 2005, sendo observado um maior equilíbrio após 2005. Logo, apesar de não haver classe de extremamente seco, o mês apresentou oito anos com classe de muito seco e apenas um com classe de muito chuvoso, devido aos baixos acumulados de precipitação nesse mês. Desse modo, os meses de novembro, dezembro, janeiro, março e abril não apresentam a classe de extremamente seco devido à precipitação média dos dez anos mais secos não ultrapassar 20 mm.

A Tabela 4 apresenta os acumulados de precipitação anual e dos meses do período chuvoso. Nesse contexto, o período anual e o mês de fevereiro apresentaram o maior equilíbrio na distribuição da chuva durante os anos, com 14 anos de anomalias positivas e 17 anos com anomalias negativas. Enquanto em dezembro e março, foi constatado 12 anos com anomalias positivas e 19 anos de anomalias negativas. Já novembro e abril, início e final do período chuvoso, respectivamente, foram caracterizados com 11 anos de anomalias positivas e 20 com anomalias negativas. Cabe destacar ainda o

mês de janeiro, o qual tem o maior acumulado de precipitação do município, mas se observa a maior redução de anos chuvosos, com dez anos de anomalias positivas e 21 anos com anomalias negativas. Com isso, se observa a diminuição de anos com precipitação acima da média para o município de Petrolina, com chuvas abaixo do normal durante os anos, principalmente a partir de 2012.

Contudo, ao realizar a análise de tendência para os meses do período chuvoso (Figura 11), a precipitação demonstra uma tendência leve de diminuição para os meses de novembro, dezembro, fevereiro e um pouco maior para o mês de janeiro e março, enquanto para o mês de abril é observado tendência de aumento para os acumulados de precipitação mensais. Dessa forma, o mês de novembro apresentou  $R^2$  no valor de 4,48%. Além disso, o coeficiente angular negativo (-1,2412), revela tendência de diminuição da precipitação média de 1,2412 mm a cada ano. Enquanto dezembro apresentou o maior equilíbrio, apesar da leve tendência de diminuição com  $R^2$  no valor de 0,3%. Com isso, o coeficiente angular negativo de -0,2624, revela tendência de diminuição da precipitação média de apenas 0,2624 mm a cada ano.

**Tabela 4 - Precipitação acumulada anual e mensal**

Anos	Precipitação acumulada (mm)						
	Anual	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
1991	479,1	52,9	62,8	109,8	49,3	137,0	17,5
1992	468,9	47,4	66,9	237,9	23,2	17,1	64,0
1993	202,0	66,8	32,2	37,0	40,5	0,0	5,9
1994	487,5	4,1	32,2	110,2	156,2	111,8	47,6
1995	702,0	74,6	62,8	134,4	208,5	162,9	19,8
1996	537,1	195,9	48,1	1,30	59,4	177,0	43,9
1997	462,1	36,2	25,9	76,7	32,0	220,3	30,5
1998	211,8	73,3	4,7	54,0	54,4	25,4	0,0
1999	595,2	164,9	111,7	88,9	33,8	167,1	0,0
2000	637,3	125,3	109,7	76,6	170,4	57,3	67,2
2001	328,3	1,8	67,2	9,6	70,7	107,0	0,4
2002	421,2	11,7	74,2	256,4	38,3	4,2	20,3
2003	375,5	40,2	44,6	134,4	1,6	101,4	43,9
2004	691,4	7,0	2,4	416,8	138,6	73,8	27,8
2005	408,9	58,8	16,6	35,5	151,0	69,2	29,0
2006	370,3	46,7	37,2	0,0	29,2	139,9	51,7
2007	376,0	30,5	23,2	0,2	227,8	7,8	77,3
2008	649,0	0,0	63,1	74,6	151,2	275,2	75,9
2009	747,7	0,0	60,0	40,4	140,4	145,4	181,2
2010	419,5	1,1	151,2	28,3	28,4	26,8	84,2
2011	282,9	8,5	10,7	62,2	66,4	63,5	47,0
2012	141,1	19,3	1,8	28,9	85,2	0,2	0,0
2013	334,4	33,6	155,0	30,0	0,0	54,8	33,8
2014	480,7	91,4	47,9	28,6	37,5	56,7	179,8
2015	175,1	0,0	3,6	12,0	34,6	27,1	78,2
2016	354,4	16,5	11,6	281,9	26,0	12,5	2,7
2017	147,4	22,2	13,6	0,0	81,5	10,2	7,7
2018	323,6	0,0	48,4	22,4	118,9	78,7	28,5
2019	239,0	0,8	23,3	9,8	68,4	63,5	31,2
2020	519,2	163,1	1,4	106,3	19,8	113,5	77,5
2021	517,8	85,4	135,7	68,6	86,2	21,6	68,3
Anomalias positivas	14	11	12	10	14	12	11
Anomalias negativas	17	20	19	21	17	19	20

Fonte: Os autores (2023).

O mês de janeiro exibiu  $R^2$  no valor de 4,66%, com coeficiente angular negativo de -2,2883, indicando tendência de diminuição da precipitação média de 2,2883 mm. Enquanto fevereiro, expressou  $R^2$  no valor de 1,05%, e coeficiente angular negativo de -0,6904, o que reflete tendência de diminuição de 0,6904 mm, por ano. O mês de março também mostra tendência de diminuição da precipitação com  $R^2$  de

8,41%, e coeficiente angular negativo de -2,2373, o que evidencia tendência de diminuição de 2,2373 mm, por ano. Em contrapartida, o mês de abril, exibe tendência de aumento da precipitação e teve  $R^2$  no valor de 7,12%, com coeficiente angular positivo de 1,3112, o que indica tendência de aumento de 1,3112 mm por ano.

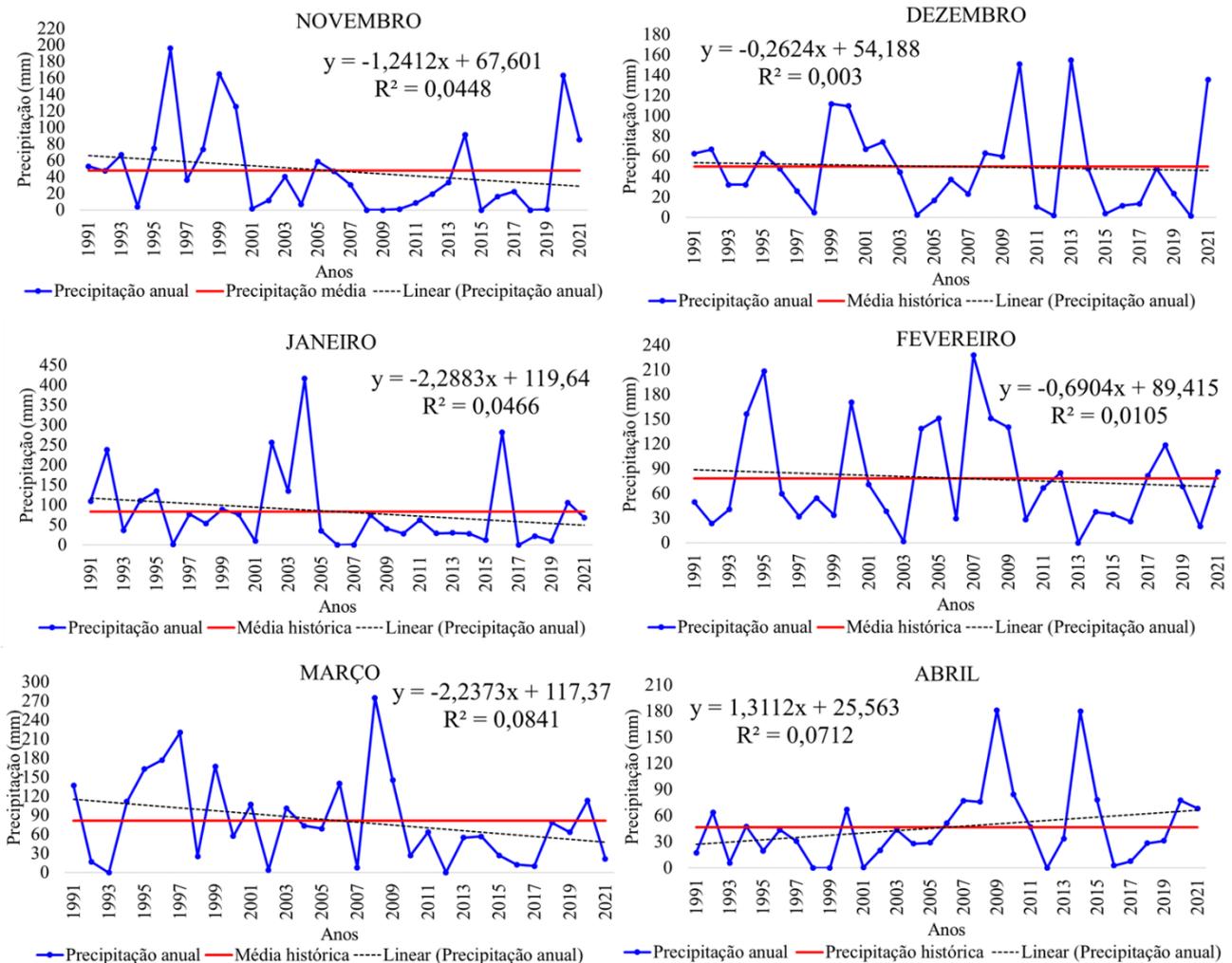


Figura 11 - Análise de tendência linear mensal. Fonte: Os autores (2023).

#### 4. Conclusão

No estudo foi possível verificar três anos com anomalias extremamente positivas (1995, 2004, 2009) e dois com anomalias extremamente negativas (2012, 2017). Também foi observado que a maioria dos anos com El Niño apresentou anomalias negativas. Na análise mensal, janeiro se destaca como o mês com mais anomalias negativas e com a maior anomalia positiva observada no ano de 2004.

Por outro lado, fevereiro teve o maior equilíbrio na quantidade de anos secos e chuvosos. Assim, o IAC representou adequadamente o comportamento da precipitação anual e do mês de fevereiro. No entanto, nos outros meses do período chuvoso, o IAC não conseguiu representar a classe de extremamente seco, mesmo em anos em que não houve precipitação.

Além disso, foi possível observar o aumento de anomalias negativas nos últimos anos na escala mensal

e anual. Nesse sentido, apesar da menor quantidade de anomalias positivas, o estudo demonstrou que em todos os meses houve anomalias com classe de extremamente chuvoso, com taxas superiores a 5,0 de anomalia positiva. Ademais, se observou o aumento de anos e meses secos consecutivos nos últimos anos, com exceção do mês de abril.

Contudo, a análise de tendência linear revelou que o mês com maior equilíbrio nos acumulados de precipitação é dezembro. Cabe destacar também o mês de abril, que apesar de ser um mês com maior quantidade de anomalias negativas, a análise de tendência demonstrou leve tendência de aumento da precipitação nos últimos anos. Enquanto os outros meses apresentaram tendência de diminuição da precipitação.

Alcântara, L.R.P., Coutinho, A.P., Santos Neto, S.M., Melo, T.D. A.T.D., Costa, L.F., Ribas, L.V.D.S., Alves, E.M. 2019. Modelos probabilísticos para eventos de precipitações extremas na cidade de

#### Referências

- Palmares-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(4), 1355-1369.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C, Gonçalves, J.D.M, Sparovek, G. 2013. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (6), 711-728.
- Alves, J.O., Pereira, C.P., de Queiroz, M. G., da Silva, T. G. F., da Silva Ferreira, J. M., Júnior, G. D. N. A. 2016. Índice de anomalia de chuva para diferentes mesorregiões do Estado de Pernambuco. *Pensar Acadêmico*, 14(1), 37-47.
- Andrade, A.R.S., Neto, A.H.G., da Silva Cruz, A.F., de Andrade, E.K.P., Dos Santos, V. F., Silva, T. N. P. 2018. Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no agreste pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 126-145.
- Araújo Filho, J., Camara, P.D.H., SEMEAR, P. 2013. Manejo pastoril sustentável da caatinga. FIDA. Building Capacities for Results-based Management and Scaling up for Innovations in Public Policies to Combat Rural Poverty in North-east Brazil.
- Araújo, L., Moraes Neto, J., Sousa, F. 2009. Análise climática da bacia do rio Paraíba-índice de anomalia de chuva (IAC). *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, 6(3).
- Baiardi, A., Ribeiro, M.C.M. 2023. Eficiência da gestão da agricultura irrigada no Vale do São Francisco: uma análise comparativa no polo regional Petrolina-Juazeiro. *COLÓQUIO-Revista do Desenvolvimento Regional*, 20(3, jul./set), 28-51.
- Barbosa, T.A., Gomes Filho, R.R. 2022. Biodiversidade e conservação da Caatinga: revisão sistemática. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 7(4), 177-189.
- Brito, P., Chaves, M., Carvalho, H., Souza, F., Silva, B., Ferreira, K., de Queiroz, G.R. 2023. Uso de séries temporais para classificações de uso e cobertura da terra em Petrolina, Pernambuco.
- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). 2023. Condições atuais do ENOS: caracterização do El-Niño. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 06 de set. 2023.
- Correia, M.F., Gonçalves, W.A., Aragão, M.R.S., Maryfrance de Cassia, S. D. 2012. Mudanças na estrutura termodinâmica da atmosfera na presença de vórtices ciclônicos de altos níveis: Um episódio de precipitação extrema no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 4, 877-890.
- Correia, R.C., Araújo, J.L.P., Cavalcanti, E.D.B. 2001. A fruticultura como vetor de desenvolvimento: o caso dos municípios de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). In Congresso brasileiro de economia e sociologia rural (Vol. 39).
- Da Silva, D.F., Lima, M. J. D. S., Souza Neto, P. F., Gomes, H. B., Silva, F. D. D. S., Almeida, H. R. R. C., Costa, R. L. 2020. Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(2), 449-464.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2023. Cidades e Estados. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 30 abr. 2023.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2023. Banco de Dados Meteorológicos Para Ensino e Pesquisa. Disponível em <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em 22 abr. 2023.
- Freire, J.L.M., Lima, J.R.A., Cavalcanti, E. P. 2011. Análise de aspectos meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em anos de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 3(1), 429-444.
- Freitas, M.A.S. 1998. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. *Revista Tecnologia*, 19(1).
- Freitas, M.A.S. 2004. Previsão de secas e a gestão hidroenergética: o caso da Bacia hidrográfica do Rio Parnaíba no nordeste do Brasil. No Seminário Internacional Sobre Represas e Operação de Embalses, Puerto Iguazú. *Anais do Seminário Internacional Sobre Represas e Operação de Embalses: Puerto Iguazú: CACIER*, v. 1, p. 1–12.
- Golden Gate Weather Services. 2023. El Niño and La Niña Years and Intensities. Disponível em: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>. Acesso em: 02 ago. 2023.
- Gomes Néto, N.C., Santos, E.B. 2022. Análise Espaço-Temporal dos Eventos de Precipitação Intensa no Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37, 89-97.
- Jatobá, L., Silva, A.F., Galvêncio, J.D. 2017. A dinâmica climática do semiárido em Petrolina-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(01), 136-149.
- Lopes, I., Guimarães, M.J.M., Melo, J.M.M., Ramos, C. M. C. 2017. Balanço hídrico em função de regimes pluviométricos na região de Petrolina-PE. *Irriga*, 22(3), 443-457.
- Marengo, J.A, Alves, L.M, Soares, W.R, Rodriguez, D.A, Camargo, H., Riveros, M.P, & Pabló, A.D 2013. Dois extremos sazonais severos contrastantes na América do Sul tropical em 2012: enchentes na Amazônia e secas no nordeste do Brasil. *Revista do clima*, 26 (22), 9137-9154.
- Marengo, J.A., Cunha, A.P., Alves, L.M. 2016. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. *Revista Climanalise*, 3(1), 49-54.
- Moura, M. S. B., da Silva, T. G. F., Borges, C. J. R. 2005. Análise da precipitação e do número de dias de

- chuva no município de Petrolina-PE. In: Simpósio Brasileiro Da Captação E Manejo De Água De Chuva, 5, 2005., Teresina. Anais Petrolina: Associação Brasileira de Captação de Água de Chuva, 2005. 1 CD-ROM.
- Nascimento, M.B.D., Medeiros, M. D. D. 2023. Índices de severidade da seca no Semiárido, Paraíba. *Mercator (Fortaleza)*, 21, 1-15.
- Palharini, R., Vila, D., Rodrigues, D., Palharini, R., Mattos, E., Undurraga, E. 2022. Análise de Eventos Extremos de Chuvas e Desastres Naturais Utilizando Produtos de Precipitação por Satélite em Diferentes Regiões do Brasil. *Atmosfera*, 13 (10), 1680.
- Pinheiro, J.M., Araújo, R.R. 2019. Impactos do Fenômeno El Niño e La Niña no Município de São Luís–Maranhão. *Revista GeoUECE*, 8(15), 124-136.
- Rodrigues, R.R., Haarsma, R.J., Campos, E.J., Ambrizzi, T. 2011. Os impactos da variabilidade inter-El Niño no clima tropical do Atlântico e Nordeste do Brasil. *Revista do Clima*, 24 (13), 3402-3422.
- Rooy, M.P.V. 1965. A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space. *Notes*, v. 14.
- Sena, J.P.O., Morais Neto, J.M., Lucena, D.B. 2017. Variabilidade da precipitação por década e a relação com os eventos extremos. *Revista Brasileira de Climatologia*, 20, 199-210. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v20i0.45542>.
- Silva, A.R., dos Santos, T.S., de Queiroz, D.É., Gusmão, M. O., Silva, T. G. F. 2017. Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. *Journal of environmental analysis and progress*, 377-384.
- Silva, P.C.G., de Moura, M.S.B., Kiill, L.H.P., Brito, L.D.L., Pereira, L.A., Sá, I.B., Guimarães Filho, C. 2010. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. No *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: Embrapa Semiárido. 18–48. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/861906>. Acesso em: 13 set. 2023.
- Sousa, L.F. 2015. Análise multivariada das condições atmosféricas em mês chuvoso extremo na área de Petrolina, semiárido do Nordeste do Brasil. 88 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, Paraíba, Brasil.
- Teixeira, A.D.C. 2010. Informações agrometeorológicas do polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA-1963 a 2009. Embrapa Semiárido. Documentos, 233. Petrolina, PE: Embrapa. 2010. 21 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31579/1/SDC233.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2023.