

Índice de anomalia de chuva e ocorrência de desastres relacionados à precipitação na bacia hidrográfica do rio Cachoeira, Bahia

Rainfall anomaly index and occurrence of disasters related to precipitation in the Cachoeira river hydrographic basin, Bahia

Nizete Neli Caroline da Silva Granja Rocha¹ , Janaina Maria Oliveira de Assis¹ ,
Andrea Sousa Fontes¹ 

¹Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, BA, Brasil. E-mails: nizete.rocha.eng@gmail.com, jmoassis@gmail.com, asfontes@gmail.com

Como citar: Rocha, N. N. C. S. G., Assis, J. M. O., & Fontes, A. S. (2024). Índice de anomalia de chuva e ocorrência de desastres relacionados à precipitação na bacia hidrográfica do rio Cachoeira, Bahia. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 21, e16. <https://doi.org/10.21168/regav21e16>

RESUMO: O objetivo deste trabalho é avaliar a ocorrência de anomalias no regime de chuva na bacia hidrográfica do rio Cachoeira (BHRC), no sul da Bahia, e analisar sua relação com a ocorrência de desastres hidrológicos e climatológicos relacionados à precipitação visando subsidiar ações de enfrentamento de desastres naturais na região. Este estudo utilizou dados mensais de precipitação de cinco postos pluviométricos, no período de 1992 a 2022, fornecidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA e registros de desastres hidrológicos e climatológicos ocorridos na mesma área e período, fornecidos pelo Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. Para caracterizar o grau de severidade dos períodos secos e chuvosos foi feito o cálculo do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e para analisar a relação entre a ocorrência de desastres e as anomalias de chuva, os dados do IAC anual foram confrontados com os dados de desastres coletados, sendo analisada a correspondência entre ambos. Os resultados indicaram uma mudança decadal no padrão das chuvas, com alternância entre períodos mais secos e mais úmidos. As chuvas intensas foram responsáveis por 82% dos desastres hídricos na bacia, com os anos de 2021 e 2022 registrando a maior parte desses eventos e danos significativos.

Palavras-chave: BHRC; Pluviometria; Desastres Naturais.

ABSTRACT: The objective of this work is to evaluate the occurrence of anomalies in the rainfall regime in the Cachoeira hydrographic river basin (CHRB), in southern Bahia, and analyze their relationship with the occurrence of disasters related to precipitation in order to support actions to combat natural disasters in the region. This study used monthly precipitation data from five pluviometric stations, from 1992 to 2022, provided by the National Water and Basic Sanitation Agency – ANA and records of hydrological and climatological disasters that occurred in the same area and period, provided by the Integrated Information System about Disasters. To characterize the degree of severity of dry and rainy periods, the Rain Anomaly Index (IAC) was calculated and to analyze the relationship between the occurrence of disasters and rainfall anomalies, the annual IAC data were compared with data of disasters collected, and the correspondence between them is analyzed. The results indicated a decadal change in the rainfall pattern, with alternation between drier and wetter periods. Intense rainfall was responsible for 82% of water disasters in the basin, with 2021 and 2022 recording the majority of these events and significant damage.

Keywords: CHRB; Rainfall; Natural Disasters.

INTRODUÇÃO

O aumento alarmante no número de desastres naturais nas últimas décadas tem colocado o Brasil em alerta. Esses desastres, resultantes de eventos climáticos extremos, representam uma ameaça significativa para a sociedade, causando danos e perdas sociais, ambientais e econômicas.

Caracterizados por desvios significativos em relação a um estado climático moderado, os eventos extremos podem ocorrer em diferentes escalas de tempo, abrangendo desde o curto até o longo prazo,

Recebido: Maio 14, 2024. Revisado: Agosto 06, 2024. Aceito: Agosto 07, 2024.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

e estão intimamente relacionadas à variabilidade do clima. Intensificadas pelas ações humanas, as mudanças no clima, têm estimulado a ocorrência de anomalias climáticas, aumentando a frequência e intensidade desses extremos climáticos (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017).

No Nordeste, a ocorrência de desastres está associada principalmente a eventos de secas e chuvas intensas. Apenas no período de 2003 a 2017, a região registrou cerca de 19.000 desastres naturais, dos quais cerca de 90% foram devido à seca e 10% aos altos índices de precipitação pluvial. Estima-se que, nesse período, mais de 29 milhões de pessoas foram afetadas e o prejuízo estimado supera os R\$24,0 bilhões (Confederação Nacional dos Municípios, 2018).

A Bahia foi o estado nordestino mais afetado pelos desastres ocorridos entre dezembro de 2021 e maio de 2022 devido às fortes chuvas que atingiram a região. Os elevados índices pluviométricos resultaram em desastres sem precedentes, com massiva repercussão na mídia e grande comoção nacional. Segundo a Confederação Nacional dos Municípios – CNM, das 475 ocorrências de desastres registradas nesse período, 216 (45%) ocorreram na Bahia. Ainda de acordo com a instituição, mais de um milhão de pessoas foram impactadas, resultando em 26 fatalidades e cerca de 200.000 indivíduos que perderam suas casas ou foram obrigados a abandoná-las (Confederação Nacional dos Municípios, 2022).

Nessas condições, a caracterização da precipitação é fundamental na avaliação e monitoramento da variação de eventos climáticos relacionados ao excesso ou déficit de chuva. Dos vários métodos empregados na identificação, quantificação e controle de fenômenos de estiagem e secas, a adoção de índices de seca constitui uma ferramenta importante para a avaliação desses eventos, especialmente por simplificar as inter-relações complexas entre os parâmetros relacionados ao clima (Gross & Cassol, 2015; Tsakiris et al., 2007).

De modo geral, esses índices permitem avaliar quantitativamente anomalias climáticas em termos de sua intensidade, período de duração, extensão espacial e frequência. Isso facilita a comunicação de informações sobre anomalias climáticas para diversos públicos de usuários e permite analisar eventos históricos e sua probabilidade de recorrência (Assis et al., 2019). Adaptado por Freitas (2005) em estudos de precipitação no Nordeste Brasileiro, o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) é um índice climático amplamente utilizado, sobretudo devido sua facilidade de aplicação e precisão quando comparado a outros índices (Silva et al., 2009). Neste sentido, diversos estudos têm explorado sua aplicação em diferentes regiões do Brasil, revelando informações valiosas sobre o comportamento e mudanças nos regimes de chuva (Pinto, 2022; Rocha et al., 2021; Tavares et al., 2021; Silva et al., 2020; Cury et al., 2018; Assis, 2016; Noronha et al., 2016).

Dentre suas aplicações no Brasil, o IAC foi utilizado para examinar a variabilidade espacial da precipitação pluviométrica na região norte do Espírito Santo, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada dos padrões climáticos locais. Além disso, ao ser aplicado na proposição de uma nova classificação pluviométrica em Itaporanga, Paraíba, possibilitou a identificação de diferentes períodos de chuva na região, com a delimitação dos períodos seco e chuvoso ao longo do ano. Do mesmo modo, na classificação da precipitação pluvial anual em Parnamirim, Pernambuco, a aplicação do IAC possibilitou identificar os eventos históricos mais críticos e os meses com maior recorrência desses eventos (Ferreira et al., 2021; Nascimento et al., 2021; Rodrigues et al., 2019).

Em meio à inquietação diante da falta de preparo dos municípios baianos em prever e minimizar os danos decorrentes dos desastres devido a eventos climáticos extremos, este trabalho propõe avaliar a intensidade das anomalias de chuva na bacia hidrográfica do rio Cachoeira (BHRC), localizada no sul da Bahia, e identificar se há relação entre essas anomalias e os desastres hidrológicos e climatológicos ocorridos na região, de modo a fornecer subsídio para os formuladores de políticas públicas e sociedade em geral na definição de estratégias de preparação e proteção contra desastres.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da bacia hidrográfica do rio Cachoeira

A BHRC está localizada nas regiões sudoeste e sul do estado da Bahia, entre as coordenadas 15°22'37.99"S, 40°09'18.99"O e 14°42'59.99"S, 39°01'28.97"O (Figura 1). A bacia abrange um total de 12 municípios, a saber: Itapé, Santa Cruz da Vitória, Itororó, Itaju do Colônia, Jussari, Floresta Azul, Firmino Alves, Ibicaraí, Itabuna, Barro Preto, Itapetinga e Ilhéus. Dentre esses municípios, oito possuem mais de 95% de sua área incluída na bacia. A área total de drenagem da bacia é de aproximadamente 4.228 km² (elaborado pela autora com auxílio do QGIS), onde reside uma população de mais de meio milhão de pessoas (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023). A BHRC é delimitada ao norte pelas bacias dos rios Almada e de Contas; ao oeste e sul pela bacia do rio Pardo; e ao leste pelo Oceano Atlântico. Seus principais afluentes são os rios Colônia e Salgado. O rio Colônia tem sua origem na serra de Ouricana, situada no município de Itororó, a uma elevação de 800 metros

acima do nível do mar, e percorre uma extensão de cerca de 100 quilômetros até seu ponto de desague. O rio Salgado, por sua vez, tem suas nascentes no município de Firmino Alves e descreve uma trajetória de 64 quilômetros até seu ponto de confluência com o rio Colônia, no município de Itapé (Nacif, 2000). O encontro desses rios dá origem ao rio Cachoeira, o qual batiza a bacia.

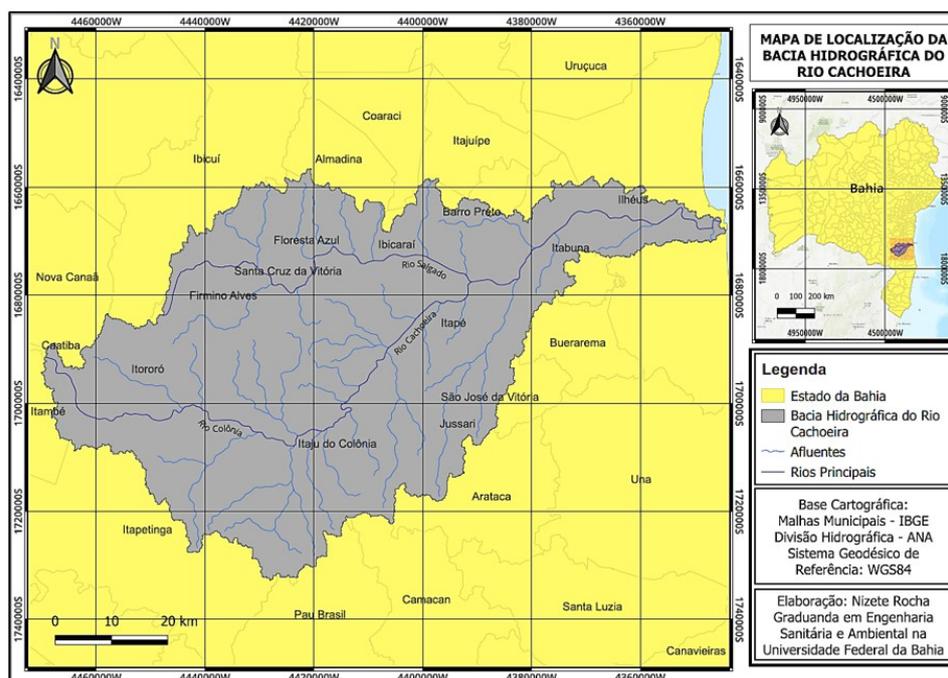


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira no Estado da Bahia

A BHRC está localizada em uma região de transição entre as zonas climáticas Tropical Nordeste Oriental e a Tropical Brasil Central (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002). De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, empregada por Alvares et al. (2013) para categorizar o clima do Brasil, a área abrangida pela bacia do rio Cachoeira é classificada como uma região de clima tropical chuvoso de floresta, que pode ser subdividida em três zonas distintas: Aw – Clima tropical com inverno seco; Af – Clima tropical úmido ou superúmido, sem estação seca; e, Am – Clima tropical úmido ou subúmido.

De modo geral, a BHRC apresenta uma estação chuvosa, entre os meses de novembro e abril, e uma estação mais seca, entre maio e outubro. Os bimestres mais chuvosos são março-abril, com média mensal de 100 mm, e novembro-dezembro com média de 120 mm. Entre os meses de maio e outubro, há uma variação espacial na precipitação ao longo da bacia, com menores volumes nos municípios localizados mais a oeste, cuja precipitação média no mês mais seco (setembro) é de 20 mm, enquanto nos municípios mais próximos do litoral, a média é de 40 mm (Climate Data, 2023). As temperaturas médias ao longo da bacia não apresentam variações significativas, com temperatura média anual de 22,0a 24,6°C.

Levantamento de dados secundários

A seleção das estações e obtenção dos dados pluviométricos foi realizada utilizando o plugin 'ANA Data Acquisition', da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que permite a visualização espacial de todas as estações pluviométricas registradas no banco de dados da ANA, instalado no software QGIS (versão 3.68.4).

Inicialmente foram selecionadas 72 estações pluviométricas localizadas dentro e nas imediações da BHRC. Após avaliar a consistência e disponibilidade dos dados, chegou-se a 15 estações com mais de 95% dos dados disponíveis. Devido ao grande número de falhas em períodos consecutivos, foram descartadas 08 estações, e mais 02 devido à proximidade com outras estações já selecionadas e comportamento pluviométrico similar. Desta forma, para a realização deste estudo foram utilizados os totais mensais de precipitação de 05 estações pluviométricas localizadas na bacia hidrográfica do rio Cachoeira, compreendendo um período de 31 anos (1992 a 2022). A localização e as informações dos postos pluviométricos utilizados neste estudo estão apresentadas nas Figura 2 e Tabela 1.

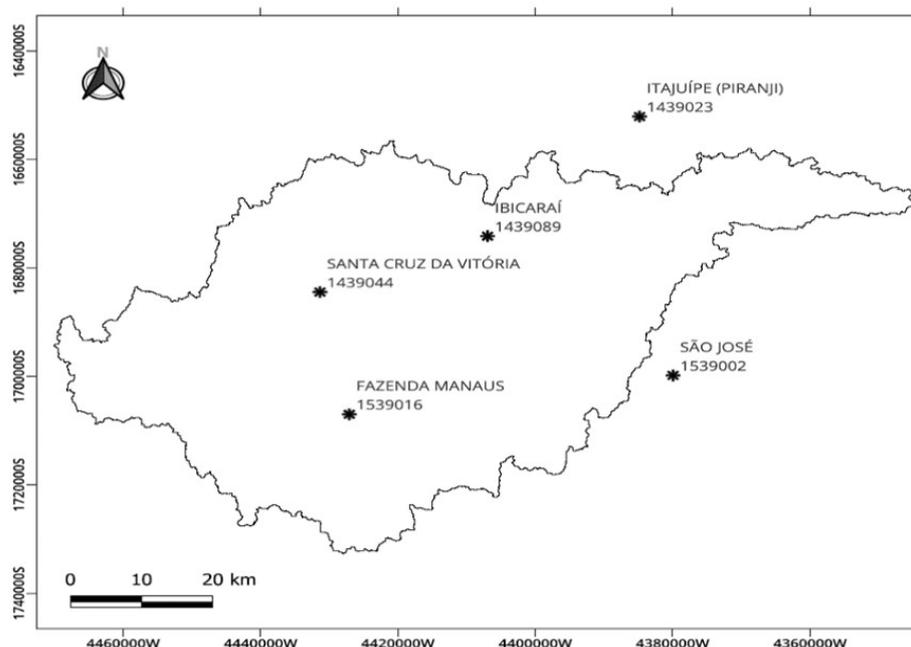


Figura 2 - Localização das Estações Pluviométricas da área da BHRC

Tabela 1 - Informações sobre os postos pluviométricos da BHRC

Código	Nome	Operador	Altitude	Classificação Climática Köppen-Geiger
1439044	Santa Cruz da Vitória	CPRM	233,29	Aw
1539016	Fazenda Manaus	CPRM	173,83	Aw
1439089	Ibicaraí	CPRM	160,20	Am
1539002	São José	CPRM	166,67	Af
1439023	Itajuípe	CPRM	107,11	Af

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2024); Alvares et al. (2013)

Foram coletados também dados de desastres naturais nos municípios da BHRC para o período de 1992 a 2022, obtidos pelo Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) (Brasil, 2024) e da plataforma Atlas Digital de Desastres no Brasil (Brasil, 2023) ambos do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR) do Governo Federal. Foram selecionados os dados referentes aos grupos de desastres hidrológico, nos quais se enquadram os alagamentos, deslizamentos, enxurradas, inundações e as chuvas intensas; e, climatológicos, representados pelas estiagens e secas, conforme classificação adotada pelo S2ID. Também foram coletadas informações sobre as perdas e danos humanos e materiais devido a desastres climatológicos e hidrológicos para o mesmo período na plataforma Atlas Digital de Desastres no Brasil, também do MIDR.

Procedimentos metodológicos

Inicialmente foram realizados os cálculos para caracterização da precipitação na área de estudo, que consistiu na adoção do Método dos Polígonos de Thiessen para obtenção da precipitação média anual. Em seguida, identificou-se os períodos extremos secos e chuvosos a partir do Índice de Anomalia de Chuva. Por fim, avaliou-se os resultados dos IACs e os dados levantados sobre desastres na BHRC, para determinar a sua correlação. Os itens a seguir apresentam o detalhamento dos procedimentos metodológicos adotados no escopo deste trabalho.

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

Para a caracterização dos períodos secos e úmidos utilizou-se a metodologia do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) proposta por Rooy (1965) e posteriormente adaptada para o Nordeste por

Freitas (2005), que possibilita a análise da frequência e intensidade dos eventos climáticos e sua variabilidade no tempo e no espaço. As equações que fornecem os IACs são:

Para anomalias positivas:

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

Para anomalias negativas:

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

Onde:

N = precipitação anual, mensal ou trimestral (mm);

\bar{N} = precipitação média anual, mensal ou trimestral da série histórica (mm);

\bar{M} = média das 10 maiores precipitações anuais, mensais ou trimestrais da série histórica (mm);

\bar{X} = média das 10 menores precipitações anuais, mensais ou trimestrais da série histórica (mm).

As anomalias de chuva são descritas como positivas quando apresentam valores acima da média histórica da região de estudo e negativas quando os valores estão abaixo da média histórica de precipitação. Os IACs são classificados em seis faixas de intensidade (Tabela 2), conforme metodologia de Freitas (2004, 2005) e Araújo (2007).

Tabela 2 - Classificações das intensidades do Índice de Anomalia de Chuva

Faixa do IAC	Classe de Intensidade
Acima de 4	Extremamente úmido
2 a 4	Muito úmido
0 a 2	Úmido
0 a -2	Seco
-2 a -4	Muito seco
Abaixo de -4	Extremamente seco

Fonte: Adaptado de Freitas (2005).

Foram realizados dois conjuntos de cálculos do IAC para a BHRC. No primeiro obteve-se os IACs anual e mensal para a bacia, possibilitando uma análise temporal da precipitação. No segundo, calculou-se os IACs em escala anual, mensal e trimestral para cada uma das estações pluviométricas, permitindo uma avaliação espacial da chuva na região. Os cálculos foram realizados com o auxílio do programa Microsoft Excel 365, que auxiliou também na elaboração das figuras e tabelas.

Análise comparativa entre o IAC e os dados de desastres hidrológicos e climatológicos

Nesta etapa foram distribuídas as ocorrências de desastres naturais em hidrológicos e climatológicos, conforme classificação do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID). Após classificação, com o auxílio do Microsoft Excel, quantificou-se o número de desastres por ano, além de dados de perdas humanas e danos materiais.

Para análise comparativa entre o IAC e os dados de desastres, uniu-se em uma mesma tabela o número de ocorrências de desastres para cada ano e o IAC correspondente para o mesmo período. Esse processo foi realizado tanto para os desastres climatológicos quanto para os hidrológicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta a precipitação média mensal dos postos pluviométricos da BHRC, onde é possível distinguir uma estação seca e uma estação úmida ao longo do ano, que se repete em cada um dos postos. A estação seca ocorre entre os meses de maio e outubro e a estação úmida entre os meses de novembro a abril.

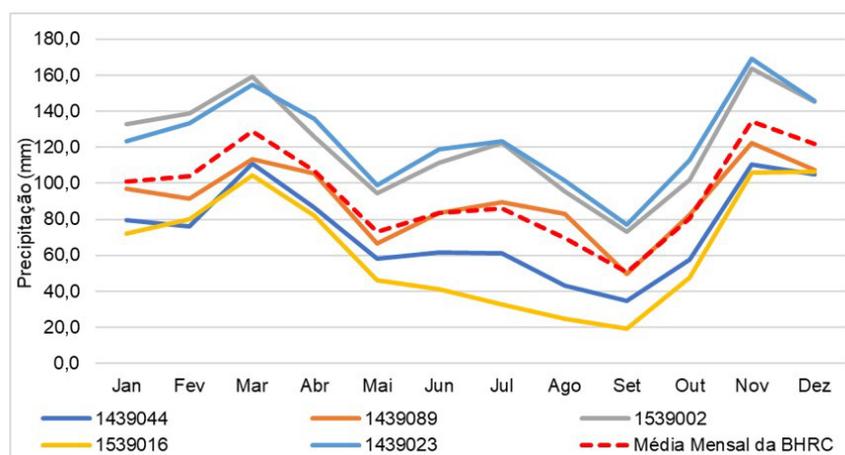


Figura 3 – Precipitação média mensal da área de estudo.

É interessante observar como as diferentes tipologias climáticas afetam a precipitação dentro da BHRC. As estações 1439023 e 1539016, situadas em regiões opostas da bacia, exibem os maiores e menores índices de precipitação ao longo do ano, respectivamente. Essa variação é crucial para entender os padrões climáticos e a distribuição das chuvas na bacia.

Ainda com base na análise da Figura 3, podemos constatar que o trimestre mais chuvoso se estende de novembro a janeiro, enquanto o período mais seco do ano ocorre entre os meses de agosto e outubro. Ademais, é útil notar que setembro e novembro se destacam por apresentarem, respectivamente, os menores e maiores índices de precipitação ao longo do ano, com médias de 50,7 mm e 134,1 mm.

Rocha et al. (2019) ao estudar sobre potencial de se utilizar sistemas de microgeração de energia solar e o aproveitamento de água de chuva em escolas públicas de Ilhéus, também identificaram o período de agosto a outubro como o trimestre mais seco para a região. Entretanto, diferentemente do obtido no presente trabalho, os autores identificaram o mês de março como sendo o mês mais úmido, compondo o trimestre chuvoso juntamente aos meses de abril e maio.

Análise do IAC anual

A Figura 4 mostra os valores calculados de IAC entre os anos de 1992 e 2022 para a BHRC. É possível observar uma variação temporal nas frequências de anomalias positivas e negativas. Até o final da década de 1990, há uma maior ocorrência de anos secos em relação aos anos chuvosos. A partir dos anos 2000, há uma inversão desse padrão, com predominância de anomalias positivas até o ano de 2009, sendo observado nesse período apenas dois anos secos. Os anos seguintes repetem o primeiro padrão observado, com mais anos secos que chuvosos, no entanto, observa-se uma redução na intensidade das anomalias positivas de precipitação em relação aos anos anteriores.

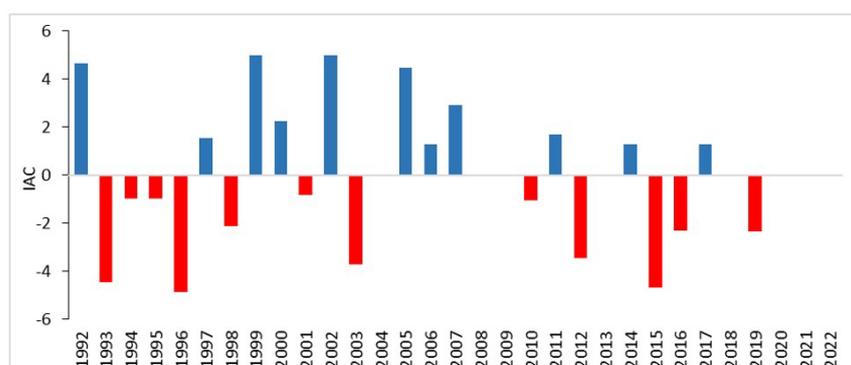


Figura 4 - Índice de Anomalia de Chuva na BHRC, no período de 1992 a 2022

Ainda em relação a década de 90, observa-se uma sequência de 4 anos secos consecutivos. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2023a), o período compreendido entre 1991 e 2000 foi um dos mais secos da história, especialmente pela ocorrência de três episódios do

El Niño, fenômeno associado à diminuição da precipitação na região Nordeste, nos anos de 1991 a 1993, 1995 e de 1997 a 1998, sendo este último considerado um dos mais intensos desde o início das observações de TSM (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2023; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2016).

No que diz respeito às categorias de intensidade do Índice de Anomalia de Chuva (IAC), observa-se uma maior frequência entre anos considerados muito secos a extremamente secos e muito úmidos a extremamente úmidos/chuvosos. Foram identificados quatro anos extremamente chuvosos (1992, 1999, 2002 e 2005) e três anos extremamente secos (1993, 1996 e 2015). Os anos que apresentaram as maiores anomalias positivas e negativas de precipitação foram os anos de 1999 e 1996, nesta ordem.

Ao analisar a relação entre os fenômenos El Niño e La Niña e os anos de maiores Índices de Anomalia de Chuva (IACs) negativos e positivos na bacia, notou-se que, dos anos classificados como extremamente secos, apenas 1996 não teve a influência do El Niño. Em contraste, nos anos classificados como extremamente úmidos, o fenômeno La Niña influenciou somente em 1999, ano que registrou o maior IAC do período. Vale ressaltar que o El Niño também se fez presente nos anos de 1992 e 2002, períodos caracterizados por chuvas extremas.

Os resultados apresentados anteriormente evidenciam uma parcial concordância entre as ocorrências de extremos de seca e chuva com os fenômenos El Niño e La Niña. Corroboram com essa afirmação, Alves et al. (2022), que ao estudar as tendências e a variabilidade da precipitação na BHRC no período de 1970 e 2020, observaram que apenas 62,5% dos eventos de seca puderam ser relacionados ao fenômeno El Niño e 42,9% dos episódios de chuvas mais intensas foram associadas ao La Niña. No entanto, vê-se que esse comportamento divergente não se limita a BHRC. Ao avaliar o papel do El Niño Oscilação Sul (ENOS) nas secas do Nordeste Brasileiro (NEB), Kane (1997) identificou que entre os anos de 1849 e 1992, dos 46 eventos de El Niño, de intensidades fortes e moderadas, apenas 21 foram associadas a eventos de seca no NEB.

Devido à presença de falhas na série de precipitação do ano de 2021, não foi possível calcular o IAC da BHRC para o ano em questão. Contudo, resultados obtidos por Assis et al. (2023), que calcularam os IACs do município de Ilhéus para o período de 2002 a 2022, indicaram que o ano de 2021 foi o ano de maior índice pluviométrico registrado para a série histórica analisada, com IAC superior à categoria 5 (extremamente úmido). O evento foi associado à influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (Instituto Nacional de Meteorologia, 2021) e ao fenômeno La Niña de intensidade moderada que atuou na primavera e verão (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2023b).

As chuvas do ano de 2021 tiveram grande repercussão nacional, principalmente pela ocorrência de desastres hidrológicos que provocaram diversos problemas de caráter social, ambiental e econômico.

Para avaliar o comportamento das chuvas anuais ao longo da BHRC, calculou-se os IACs para cada uma das estações pluviométricas adotadas neste trabalho. Foram selecionadas três estações, localizadas nas diferentes zonas climáticas da bacia, e que dispunham de maior número de dados, para serem analisadas no escopo deste trabalho (Figura 5).

Em relação às classes do IAC, a estação 1539016 apresentou uma maior recorrência de anos considerados úmidos e muito secos. Além disso, nesta mesma estação foram observados dois anos extremamente chuvosos (2002 e 2005) e três anos extremamente secos (1996, 2003 e 2015).

No posto pluviométrico 1439089, aproximadamente um terço dos anos foram considerados secos, incluindo um período notável de seis anos consecutivos de seca (1993 a 1998). Este posto registrou três anos extremamente secos em um intervalo de apenas 4 anos (1993 a 1996). Também merece destaque que o posto teve três anos classificados como extremamente chuvosos (2002, 2011 e 2020).

Por último, a estação 1539023 teve uma maior recorrência de anos considerados muito secos e úmidos a muito úmidos. Destaca-se o registro de dois anos extremamente chuvosos (1999 e 2002) e um ano extremamente seco (2015).

Na análise da tendência, postos pluviométricos 1539016 e 1539023 mostraram uma leve tendência à índices de anomalia negativos, enquanto a estação 1439089 apresentou uma tendência mais acentuada a índices positivos de anomalias de precipitação.

A presença de anos secos consecutivos nas estações 1439089 e 1539016, reforça a afirmação feita anteriormente, quando foi dito que a década de 90 foi uma das mais secas registradas na história. Os anos de chuvas e secas extremas nessas estações também foram encontrados na análise do IAC anual médio da bacia, com exceção ao ano de 1995, que foi classificado como de seca extrema no posto 1439089.

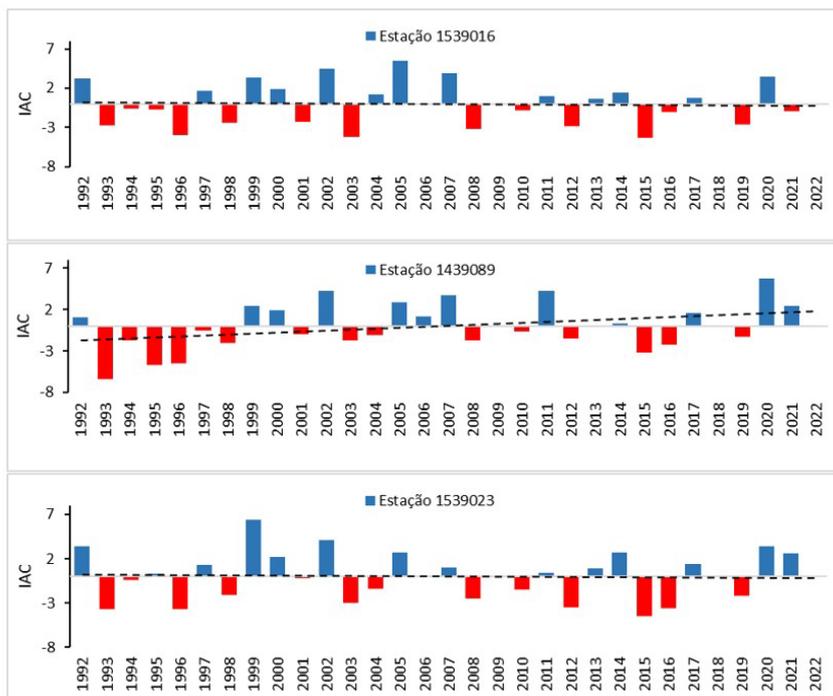


Figura 5 - Índice de Anomalia de Chuva para as estações da BHRC, no período de 1992 e 2022.

Análise do IAC trimestral

A Figura 6 apresenta os resultados encontrados na análise da frequência das classes dos IACs trimestrais para o período de 1992 a 2022 na BHRC. No eixo das abscissas as siglas EU, MU, U, S, MS e ES representam as classificações “extremamente úmido”, “muito úmido”, “úmido”, “seco”, “muito seco” e “extremamente seco”, respectivamente.

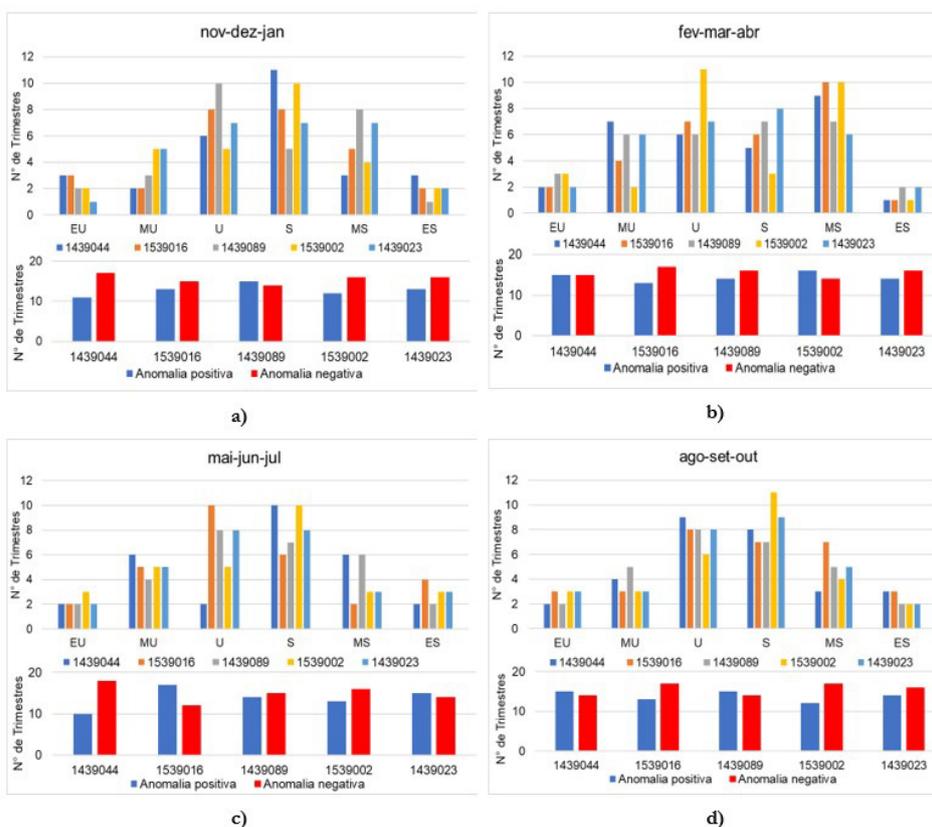


Figura 6 – Frequência das classes do IAC por trimestre para a BHRC no período de 1992 a 2022.

Observa-se que para os trimestres de novembro a janeiro, maio a julho e agosto a outubro, há uma maior frequência das classes úmido e seco nas estações da BHRC, cujos valores de IAC variam entre -2 e 2, indicando certa normalidade na distribuição da precipitação da região nesses períodos. Em contrapartida, o trimestre de fevereiro a abril apresenta um comportamento distinto, com uma maior homogeneidade nas frequências entre as classes, mas com predominância de IACs entre -2 e -4 (muito seco), sobretudo nas estações 1539002, 1439044 e 1539016. O trimestre maio a julho apresentou o maior número de eventos extremos de seca, com maior frequência na estação 1539016. Em contrapartida, o trimestre de agosto a setembro, classificado anteriormente como trimestre mais seco, foi responsável pela maior recorrência de eventos extremos de chuva, especialmente nas estações 1539016, 1539002 e 1439023.

As anomalias negativas foram predominantes nos trimestres e estações analisadas, com poucas exceções. Esse fato mostra uma tendência de redução na precipitação da região da BHRC, coerente com a análise do IAC anual mostrado anteriormente.

Análise do IAC mensal

A Figura 7 apresenta a frequência do Índice de Anomalia de Chuva mensal para a BHRC no período de 1992 a 2022. Para o recorte temporal do estudo, analisou-se 359 meses (13 meses apresentaram falhas e não foram considerados para a análise). Destes, 44% (157 meses) apresentaram anomalias positivas de precipitação e 56% (202 meses) anomalias negativas.

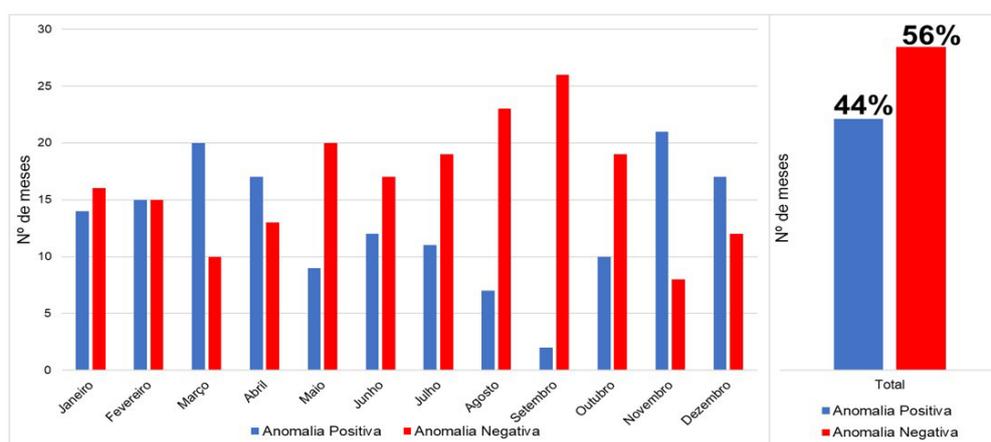


Figura 7 – Frequência mensal dos IACs para BHRC no período de 1992 a 2022.

Assis et al. (2023) analisando o IAC mensal no município de Ilhéus para o período de 2002 a 2022, identificou as mesmas frequências entre as anomalias positivas e negativas de precipitação (44% e 56%, respectivamente). De acordo com os resultados obtidos pelas autoras, o maior valor negativo do IAC (-3,15) foi verificado no mês de junho de 2016 e o maior índice positivo (5,67) foi observado no mês de novembro de 2021, configurando as classes “muito seco” e “extremamente úmido”, respectivamente.

De fato, o mês de novembro de 2021 foi um dos mais chuvosos na BHRC no período de 1992 a 2022, sobretudo nas regiões mais próximas do litoral. Corroborando com essa afirmação os resultados do IAC mensal obtidos para as estações pluviométricas 1439089 e 1439023, cujos índices no mês em questão tiveram a maior magnitude (4,55 e 5,74, respectivamente) nos 31 anos analisados. Conforme apresentado na discussão da análise do IAC anual, os eventos de 2021 foram atribuídos à ZCAS e ao fenômeno La Niña de intensidade moderada.

Marengo et al. (2023) analisou os eventos de chuvas intensas que impactaram o norte de Minas Gerais e o sul da Bahia em novembro e dezembro de 2021. Conforme indicado pelo autor, a precipitação registrada em dezembro de 2021 atingiu valores entre 250% e 430% superiores à média climatológica do período de 1981 a 2010 na área estudada. No sul da Bahia, o estudo também revelou que as chuvas na região excederam a média histórica em mais de cinco vezes para o mesmo período.

Ainda na análise da Figura 7, nota-se que nos meses considerados secos, de maio a outubro, a frequência de anomalias negativas de precipitação é bem mais pronunciada, sendo o mês de setembro o de maior ocorrência de anomalias negativas da série. No período considerado chuvoso, entre novembro e abril, não se observa uma discrepância tão acentuada entre as anomalias, especialmente

nos meses de janeiro e fevereiro que mostram uma tendência a anomalias negativas de precipitação. O mês de novembro apresenta o maior número de anomalias positivas, seguido dos meses de março e dezembro, nesta ordem.

A Tabela 3 apresenta a frequência dos IACs mensal de acordo com sua classificação. Do total de meses analisados, 82% (293 meses) apresentaram IACs entre -2 e 2, sendo classificados como “úmido” e “seco” e 15% (55 meses) como “muito seco”. Os demais meses foram classificados como “muito úmido” (3% - 9 meses) e extremamente úmido (1% - 2 meses).

Tabela 3 - Frequência (em %) das classes do IAC mensal da BHRC - 1992 a 2022.

Classificação do IAC	Frequência (%)
Extremamente úmido	1%
Muito úmido	3%
Úmido	41%
Seco	41%
Muito seco	15%
Extremamente Seco	0%

Não foram observados eventos de secas extremas para o cálculo do IAC mensal médio da BHRC e nem para as análises individuais por posto pluviométrico.

Desastres hidrológicos e climatológicos na BHRC (1992 a 2002)

No período de 1992 a 2022, a região da BHRC sofreu com a ocorrência de pelo menos 92 desastres naturais relacionados à precipitação. Deste total, 82% (75) foram classificados como desastres hidrológicos, em razão do aumento substancial no volume de chuvas, (Tabela 4) e 18% (17) foram classificados como desastres climatológicos, devido à ausência prolongada de precipitação (Tabela 5).

Tabela 4 - Desastres hidrológicos e impactos socioeconômicos na BHRC entre 1992 e 2022.

Ano	Nº de Desastres	Óbitos	Desastres Hidrológicos					Total Danos Humanos	Total Danos Materiais (R\$)
			Feridos e Enfermos	Desabrigados e Desalojados	Outros Afetados				
1992	3	0	0	0	0	0	0	0,0	
1995	1	0	0	0	0	0	0	0,0	
1997	7	0	0	0	0	0	0	0,0	
2002	3	0	273	4.056	0	4.329	28.737.733,3		
2004	1	0	19	1.156	0	1.175	4.817.290,4		
2005	1	0	110	1.052	0	1.162	5.369.962,8		
2007	1	0	0	0	0	0	1.558.305,0		
2008	1	0	263	2.285	0	2.548	7.472.816,8		
2009	1	2	0	503	123	628	77.568.060,3		
2010	4	2	1	2.021	25.655	27.679	78.937.535,2		
2011	3	2	10	1.843	187	2.042	119.858.075,5		
2013	5	0	126	5.968	0	6.094	116.538.529,6		
2014	2	0	76	3.437	0	3.513	14.397.643,9		
2017	1	0	0	25	50	75	251.040,6		
2018	6	0	45	589	23.972	24.606	24.243.115,1		
2019	4	0	0	65	22.458	22.523	12.618.628,1		
2020	3	1	30	698	3.640	4.369	32.630.350,2		
2021	14	3	339	36.872	35.609	72.823	203.006.140,9		
2022	14	0	42	11.681	51.908	63.631	36.715.081,8		
Total	75	10	1.334	72.251	163.602	237.197	764.720.309,3		

Fonte: Adaptado de Brasil (2023).

Com base nos dados apresentados na Tabela 4, é possível constatar que, ao longo dos 31 anos analisados, mais de 237.000 indivíduos foram impactados pelos desastres hidrológicos ocorridos na região da BHRC, resultando em pelo menos 10 perdas humanas. Além disso, os prejuízos materiais alcançaram um montante que ultrapassa os R\$ 750.000.000,00. Os anos de 2021 e 2022 destacam-se como os de maior incidência de desastres hidrológicos durante o período em análise, totalizando quase 40% de todas as ocorrências desse tipo. No que se refere aos danos humanos, o ano de 2021 se destaca, apresentando os maiores números de óbitos, feridos, enfermos, desabrigados e desalojados.

A Tabela 5 apresenta a frequência anual de desastres climatológicos e seus impactos socioeconômicos na BHRC para o período de 1992 a 2017, visto a ocorrência de subnotificação desses eventos climatológicos.

Tabela 5 - Desastres climatológicos e impactos socioeconômicos na BHRC entre 1992 e 2022.

Ano	Desastres Climatológicos						
	Nº de Desastres	Óbitos	Feridos e Enfermos	Desabrigados e desalojados	Outros Danos Humanos	Total Danos Humanos	Total Prejuízos (R\$)
1994	2	0	0	0	0	0	0,0
1995	4	0	0	0	0	0	0,0
1998	3	0	0	0	0	0	0,0
2001	2	0	0	0	0	0	0,0
2015	3	0	0	0	159.673	159.673	22.301.326,8
2016	2	0	0	0	328.015	328.015	0,0
2017	1	0	0	0	19.911	19.911	7.899.880,1
Total	17	0	0	0	507.599	507.599	30.201.206,9

Fonte: Adaptado de Brasil (2023).

Ao analisar os dados apresentados na Tabela 5, constata-se que dos 31 anos analisados, apenas sete tiveram reportes de desastres associados a esses eventos. O maior número de desastres decorrentes de déficit de precipitação ocorreu no ano de 1995, com quatro registros. Entre 2001 e 2015, há um intervalo de 13 anos sem nenhuma ocorrência de eventos de seca e estiagem na região, seguido de três anos consecutivos com desastres reportados.

No que se refere ao impacto das secas sobre a população, os danos refletem a porção da população exposta à insegurança hídrica devido ao fenômeno. As perdas humanas e os efeitos diretos sobre a saúde são difíceis de serem quantificados, conforme evidenciado na Tabela 5. Isso ocorre pois os impactos das secas sobre a saúde ocorrem de forma indireta e com efeitos de longo prazo (Patz et al., 2012; Stanke et al., 2013). Por outro lado, a escassez de água devido a episódios de seca afeta diretamente a economia. De acordo com os dados apresentados na Tabela 5, os desastres climatológicos ocorridos no período de 2015 a 2017 afetaram mais de 500.000 pessoas na região da BHRC, com um prejuízo de mais de R\$30.000.000,00, podendo esse valor ser muito mais elevado, visto que para o ano de 2016, os prejuízos não foram contabilizados.

Freitas et al. (2014), analisaram a inter-relação entre desastres naturais e seus impactos sobre a saúde no Brasil. O estudo destacou que os eventos hidrológicos apresentaram maiores percentuais de mortalidade, morbidade e exposição e os climatológicos maiores percentuais de ocorrências e afetados. Com efeito, quando se analisa o número de pessoas impactadas pelas secas na região da BHRC apenas entre 2015 e 2017, verifica-se que esse número é superior em mais de duas vezes ao total de pessoas afetadas nos 19 anos que tiveram ocorrências de desastres hidrológicos.

No mesmo estudo, os autores investigaram as consequências socioeconômicas associadas a eventos hidrológicos (inundações, enxurradas e alagamentos) e climatológicos (secas e estiagens). De acordo com os autores, os eventos de precipitação extrema resultam na interrupção de infraestrutura vital, paralisação de atividades sociais e econômicas, danos a atividades agrícolas e pecuárias, prejuízos econômicos, além de perdas pessoais. Já secas e estiagens causam interrupção no fornecimento de água, afetam as atividades agrícolas, pecuárias e pesqueiras que comprometem a disponibilidade de alimentos, destroem fontes de renda, levam à migração e perdas de bens pessoais. (Freitas et al., 2014).

As Figuras 8 e 9 apresentam a distribuição espacial dos desastres climatológicos e hidrológicos contabilizados no período de 1992 a 2022 nos municípios da BHRC.

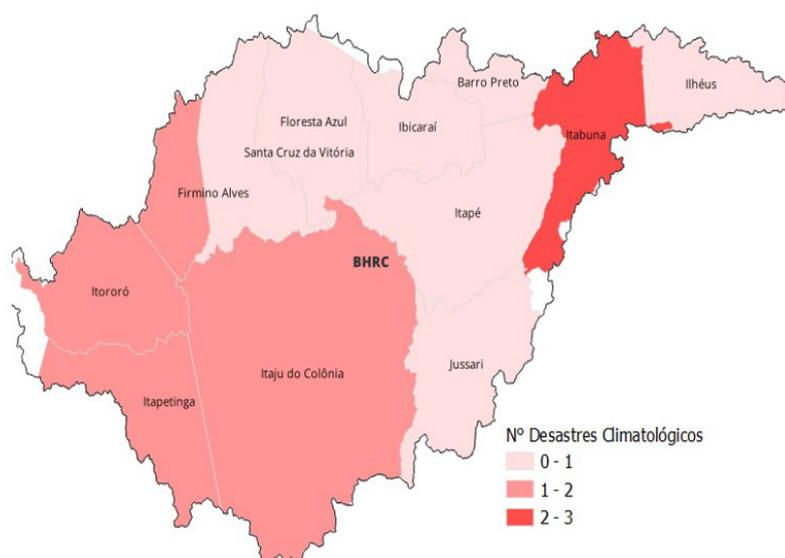


Figura 8 - Distribuição espacial dos desastres climáticos na BHRC – 1992 a 2022
Fonte: Adaptado de Brasil (2023).

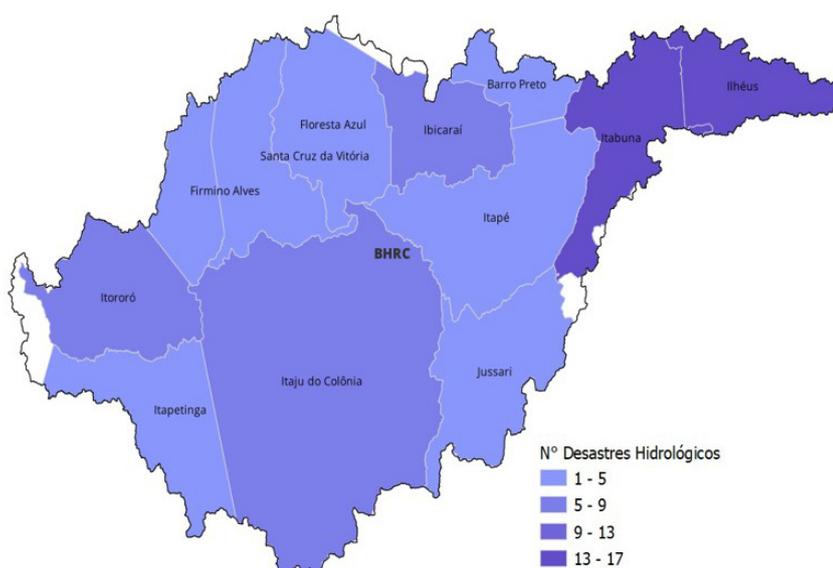


Figura 9 - Distribuição espacial dos desastres hidrológicos na BHRC – 1992 a 2022
Fonte: Adaptado de Brasil (2023).

O município de Itabuna se destaca ao registrar o maior número de desastres climáticos (3) e hidrológicos (17) na região BRHC. Logo após, encontra-se o município de Ilhéus, com 16 ocorrências de desastres hidrológicos. Em relação aos municípios menos impactados, destaca-se que apenas Barro Preto não registrou nenhuma ocorrência de desastres relacionados a secas e estiagens. Todos os municípios da BHRC apresentam registros de desastres hidrológicos, entretanto, Floresta Azul foi o menos afetado, contabilizando apenas uma ocorrência. Em seguida, Jussari teve dois desastres registrados.

Esses dados revelam uma clara disparidade nos impactos de eventos climáticos e hidrológicos entre os municípios da região da bacia. Itabuna, ao liderar com o maior número de desastres, evidencia uma vulnerabilidade significativa a esses eventos, possivelmente devido a fatores geográficos e infraestrutura. A alta incidência em Ilhéus também sugere a necessidade de atenção e a implementação de medidas preventivas nesse município. Essas observações sublinham a importância de análises detalhadas e específicas para compreender as dinâmicas locais e desenvolver estratégias adaptativas que possam ser aplicadas em toda a região BHRC.

Análise entre os registros de desastres na BHRC e a ocorrência de anomalias de precipitação

A Tabela 6 apresenta os registros de desastres hidrológicos ocorridos na BHRC entre 1992 e 2022, bem como a classificação correspondente do Índice de Anomalia de Chuva anual médio. A análise desses dados visa estabelecer uma relação entre os desastres hidrológicos e climatológicos e os índices positivos e negativos de precipitação.

Tabela 6 – Comparação entre as ocorrências de desastres hidrológicos e o IAC Anual médio

Ano	IAC	Classificação	Nº de Desastres Hidrológicos
1992	5	Extremamente úmido	3
1995	-1	Seco	1
1997	2	Úmido	7
2002	5	Extremamente úmido	3
2004	0	Úmido	1
2005	4	Extremamente úmido	1
2007	3	Muito úmido	1
2008	Não calculado	-	1
2009	Não calculado	-	1
2010	-1	Seco	4
2011	2	Úmido	3
2013	Não calculado	-	5
2014	1	Úmido	2
2017	1	Úmido	1
2018	Não calculado	-	6
2019	-2	Muito seco	4
2020	Não calculado	-	3
2021	Não calculado	-	14
2022	Não calculado	-	14

Fonte: Adaptado de Brasil (2023).

Com base na Tabela 6, nota-se que os anos de 1995, 2010 e 2019 destacam-se pela falta de uma correspondência direta entre os desastres e a classificação do IAC anual médio. Além disso, o IAC anual não pôde ser calculado em sete dos dezanove anos que registram desastres hidrológicos. Com base nisso, utilizou-se os dados de IAC mensal calculados para a BHRC (quando disponíveis), para melhor avaliar os dados ausentes e discordantes.

A Tabela 7 apresenta as classificações do IAC mensal médio para os meses com registros de desastres hidrológicos.

Tabela 7 - IAC mensal médio dos meses que contabilizaram desastres hidrológicos.

Mês/Ano	Classificação do IAC	Mês/Ano	Classificação do IAC
Nov/95	Úmido	Mai/18	Úmido
Mar/08	Seco	Jun/18	Úmido
Out/09	Úmido	Dez/18	Úmido
Mar/10	Úmido	Mar/19	Úmido
Abr/10	Úmido	Abr/19	Seco
Ago/10	Seco	Jul/19	Seco
Out/13	Úmido	Ago/19	Úmido
Dez/13	Seco	Ago/20	Úmido
Fev/18	Úmido	Nov/20	Úmido
Mar/18	Úmido		

Fonte: Elaborado pela autora.

Com base na Tabela 7, observa-se que a grande maioria dos meses que tiveram desastres hidrológicos reportados, o IAC mensal foi classificado como úmido. Além disso, todos os meses classificados como secos, foram antecedidos por meses úmidos.

Resultados de Avallone (2021), que buscou avaliar como a saturação do solo influenciava na severidade das inundações, revelou que altos índices de umidade do solo mostraram uma forte correlação com o início de inundações. Além disso, constatou-se que a diferença nas condições de umidade do solo antes de um evento de inundação pode modular fortemente sua magnitude.

Diante disso, é possível que os desastres hidrológicos ocorridos em meses considerados secos e que sucederam meses úmidos, tenham sido influenciados pelo encharcamento do solo devido às chuvas dos meses anteriores, e em associações a outros fatores, como a ocorrência de chuvas mais intensas.

Em relação aos desastres ocorridos em 2021 e 2022, anos que somam cerca de 37% do total de eventos registrados para o período de 1992 a 2022, as ocorrências de desastres se concentraram nos meses de novembro e dezembro. Em ambas as situações, a avaliação do IAC mensal médio tornou-se inviável devido a falhas nas séries de dados.

No entanto, de análises prévias realizadas neste estudo, e com base nas observações de Assis et al. (2023), os anos de 2021 e 2022 apresentaram elevados índices pluviométricos, com IACs superiores a 4 (extremamente úmido), sobretudo nos meses de novembro e dezembro.

Neste sentido, Pinto (2022) analisou a relação entre os dados de desastres climatológicos e hidrológicos para a região de Marabá, no Leste da Amazônia, e os IACs calculados. Para os desastres hidrológicos, os autores identificaram uma alta correlação entre as variáveis, sendo os resultados considerados “bastante satisfatórios”.

De maneira similar a análise anterior, a Tabela 8 apresenta os registros de desastres climatológicos (secas e estiagens) por ano de ocorrência e seu respectivo IAC calculado. Entretanto, vale ressaltar que esses eventos só tem dados até o ano de 2017 devido à ocorrência de subnotificação de desastres climatológicos.

Tabela 8 - Comparação entre as ocorrências de desastres climatológicos e o IAC Anual

Ano	IAC	Classificação	Nº de Desastres climatológicos
1994	-1	Seco	2
1995	-1	Seco	4
1998	-2	Muito seco	3
2001	-1	Seco	2
2015	-5	Extremamente seco	3
2016	-2	Muito seco	2
2017	1	Úmido	1

Fonte: Adaptado de Brasil (2023).

A análise da Tabela 8 revela que o ano de 2017 foi o único a apresentar um Índice de Anomalia de Chuva (IAC) positivo durante um evento extremo de seca. Ao examinar o IAC mensal médio da BHRC para aquele ano, constatou-se que não apenas o mês em que ocorreu o desastre (março) foi classificado como úmido, mas também o mês anterior ao evento. Portanto, para o ano de 2017, não se observou uma correlação direta entre a ocorrência do desastre climatológico e o IAC calculado.

Com este propósito, Gross & Cassol (2015) realizou uma comparação entre os dados de decretos de Situação de Emergência (SE) decorrentes de desastres climatológicos e os Índices de Anomalia de Chuva nos municípios do Rio Grande do Sul que foram afetados por estiagens no período de 1991 a 2012. Observou-se que, na maioria dos casos, essas variáveis apresentaram concordância. Desse modo, as situações de emergência decretadas em função das estiagens coincidiram com as observações nos dados do Índice de Anomalia de Chuva.

No entanto, essa associação não se verifica em todas as regiões do Brasil, como evidenciam outras pesquisas. Como mencionado anteriormente, Pinto (2022) conduziram uma análise comparativa entre os Índices de Anomalia de Chuva (IAC) e os desastres naturais relacionados à precipitação em Marabá. Em contraste com os resultados obtidos para os desastres hidrológicos, os autores não encontraram uma correlação significativa entre essas variáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do IAC na avaliação das séries históricas de precipitação para o período analisado permitiu inferir uma grande variação na distribuição temporal e espacial das precipitações pluviométricas ocorridas na BHRC, com alternâncias entre períodos prolongados de anomalias negativas e positivas.

Para o IAC anual médio da bacia, observou-se o mesmo número de anos de anomalias positivas e negativas, mas os maiores valores absolutos do índice de anomalia de chuva foram referentes às anomalias positivas. Além disso, foi verificado um período de quatro anos consecutivos de seca, entre os anos de 1993 e 1996. Os resultados do IAC anual para as estações pluviométricas mostraram uma tendência a anos secos ou muito secos na região oeste e central da bacia e mais úmidos a leste, próximo ao litoral.

Na análise trimestral, o número de anomalias negativas foi superior às positivas em todos os trimestres e na maioria das estações. Além disso, com exceção ao trimestre de fevereiro a abril, que apresentou maior frequência da classe muito seco, os demais apresentaram IACs nas classes úmido a seco. Adicionalmente, verificou-se que o maior número de extremos de chuva foi obtido no trimestre de agosto a outubro e de extremos de seca entre maio e julho.

A avaliação do IAC mensal também retornou uma maior frequência nas anomalias negativas, sobretudo entre os meses de maio a outubro. Por outro lado, entre os meses de novembro a abril, as anomalias positivas foram mais frequentes, com exceção ao mês de janeiro, marcando o período chuvoso.

Ao considerar a associação entre os fenômenos de El Niño e La Niña e eventos extremos de seca e chuva, observou-se uma concordância parcial, especialmente em relação aos eventos de chuvas extremas, o que sugere a presença de outros fatores influenciadores na variabilidade climática da BHRC, destacando a complexidade do sistema climático regional.

A partir da análise dos dados de desastres relacionados à chuva ocorridos no período de 1992 a 2022 na BHRC, os resultados indicaram uma predominância de eventos hidrológicos em relação aos climatológicos. Os anos de 2021 e 2022 foram marcados pelo maior número de desastres hidrológicos e pelos danos humanos e materiais mais significativos na série de dados. No que diz respeito aos desastres climatológicos, os anos de 2015 a 2017 foram os únicos a registrar danos humanos e materiais, com 2015 apresentando o maior prejuízo econômico e 2016 afetando o maior número de pessoas.

Da espacialização dos registros de desastres climáticos entre os municípios da BHRC, foi observado que Itabuna se apresenta como mais suscetível a eventos dessa natureza, com o maior número de desastres relacionados a secas e estiagens e eventos de chuvas extremas. Ilhéus também registrou um número expressivo de desastres de natureza hidrológica, colocando-o também em situação de vulnerabilidade. É interessante observar que Barro Preto se destacou como o único município que não registrou nenhum desastre climatológico.

Os resultados obtidos pela análise comparativa entre as ocorrências de desastres e o IAC da bacia foi positiva. Embora o IAC anual tenha apresentado discordância em relação a ocorrência de desastres em alguns dos anos analisados, a análise do IAC mensal contribuiu com a verificação da relação entre essas variáveis, sendo observado que, em todos os meses com registro de desastres devido às chuvas, o mês em questão ou o imediatamente anterior, foram considerados úmidos. Em relação aos desastres de natureza climatológica, entre todos os desastres reportados, apenas um não teve nenhuma relação com o IAC (anual e mensal) calculado. Sendo assim, a ocorrência de desastres pode, em parte, ser atribuída a anomalias positivas e negativas de precipitação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), o fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho, no âmbito do projeto aprovado pelo PEPEEC - Programa Emergencial de Prevenção e Enfrentamento de Desastres Relacionados a Emergências Climáticas, eventos extremos, acidentes ambientais.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas e Saneamento – ANA. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH. (2024). *Hidroweb: séries históricas*. Recuperado em 2 de janeiro de 2024, de <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <http://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

- Alves, J., Gonçalves, T., & Nascimento, S. A. (2022). Precipitação na bacia hidrográfica do rio Cachoeira, nordeste do Brasil: tendências e variabilidade (1970-2020). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, 17(2), 527-542. <http://doi.org/10.46357/bcnaturais.v17i2.841>
- Araújo, L. E. (2007). Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia do rio Paraíba usando IAC. *Revija za Geografijo*, 24(1), 47.
- Assis, J. M. O., Souza, N. C. R., & Fontes, A. S. (2023). Análise do índice de anomalia de chuva aplicado para o município de Ilhéus - BA. In *Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Aracaju.
- Assis, J. M. O., Oliveira, C. R., Souza, W. M., & Sobral, M. C. M. (2019). Variabilidade da precipitação em bacias hidrográficas no semiárido: uma análise espaço-temporal. In A. Philippi Junior & M. C. Sobral (Orgs.), *Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade* (1ª ed., Vol. 1, pp. 499-523). Barueri: Manole.
- Assis, J. M. O. (2016). *Variabilidade do clima e cenários futuros de mudanças climáticas no trecho submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Recuperado em 12 de janeiro de 2025, de <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/22481>
- Avallone, E. (2021). Soil saturation dictates Africa's flood severity. *Eos*, 102. <http://doi.org/10.1029/2021E0161337>
- Brasil. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. (2023). *Atlas Digital de Desastres no Brasil*. Brasília: MIDR. Recuperado em 20 de dezembro de 2023, de <http://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/downloads.xhtml>
- Brasil. (2024). *Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID)*. Brasília. Recuperado em 20 de dezembro de 2023, de <https://s2id.mi.gov.br/paginas/relatorios/>
- Climate Data. (2023). *Clima: Bahia*. Recuperado em 20 de dezembro de 2023, de <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/bahia-207/>
- Cury, M. D., Pezente, D. P., Sutil, T., & Menegasso, J. D. (2018). Análise do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) aplicado à bacia hidrográfica do rio Urussanga/SC. *Revista Tecnologia e Ambiente*, 24, 71-80. <http://doi.org/10.18616/ta.v24i0.4381>
- Confederação Nacional dos Municípios – CNM. (2018). *Decretações de anormalidades causadas por desastres nos municípios brasileiros*. Brasília. Recuperado em 19 de março de 2024, de <https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/documentos/Decretacoes-de-anormalidades-causadas-por-desastres-nos-Municipios-Brasileiros-10-10-2018-v2.pdf>
- Confederação Nacional dos Municípios – CNM (2022). *Danos e prejuízos causados por excesso de chuvas na região Nordeste entre dezembro de 2021 a 30 de maio de 2022*. Brasília. Recuperado em 19 de março de 2024, de <https://www.cnm.org.br/biblioteca/exibe/15377>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2023). *O fenômeno El Niño: oscilação do Sul e suas aplicações na agricultura do sul do Brasil*. Recuperado em 1 de outubro de 2023, de <http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/agromet/elninolanina/elnino1.html>
- Ferreira, I. T. R., Riccio, M. B., Almeida, A. C. M. L., Teixeira, A. W. F., Ribeiro, R. B., Pereira, J. M., & Oliveira, A. S. (2021). Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na Região Norte do estado do Espírito Santo: uma análise nas bacias hidrográficas dos rios Mucuri, Itaúnas e São Mateus. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(8), 174-183. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0017>
- Freitas, M. A. S. (2004). A previsão de secas e a gestão hidroenergética: o caso da bacia do rio Paraíba no nordeste do Brasil. In *Anais do Seminário Internacional sobre Represas y Operación de Embalses* (Vol. 1, pp. 1-1). Puerto Iguazú: CACIER.
- Freitas, M. A. S. (2005). Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi áridas. *Revista Tecnologia*, 9(1), 84-95.
- Freitas, C. M., Silva, D. R. X., Sena, A. R. M., Silva, E. L., Sales, L. B. F., Carvalho, M. L., Mazoto, M. L., Barcellos, C., Costa, A. M., Oliveira, M. L. C., & Corvalán, C. (2014). Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 19(9), 3645-3656. <http://doi.org/10.1590/1413-81232014199.00732014>
- Gross, J. A., & Cassol, R. (2015). Rainfall anomaly index in the State of Rio Grande do Sul. *Ambiência*, 11(3), 529-543. <http://doi.org/10.5935/ambiencia.2015.03.02>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2002). *Mapa de clima do Brasil*. Recuperado em 2 de janeiro de 2024, de https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2002.pdf
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. (2023). *Censo demográfico*. Recuperado em 10 de dezembro de 2023, de <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2022/universo-populacao-por-idade-e-sexo>
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. (2021). *Análise das chuvas da Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo em dezembro de 2021*. Recuperado em 1 de outubro de 2023, de <https://portal.inmet.gov.br/noticias/an%C3%A1lise-das-chuvas-na-bahia-minas-gerais-e-espir%C3%ADto-santo-em-dezembro-de-2021>

- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. (2016). *El Niño*. Recuperado em 12 de abril de 2023, de <http://enos.cptec.inpe.br/elnino/pt#:~:text=Evento%20de%20El%20Ni%C3%B1o%20e,%2D83%20e%201997%2D98>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. (2017). *Perguntas frequentes: monitoramento do território: mudanças climáticas*. Recuperado em 21 de março de 2024, de <http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=9>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. (2023a). *Projeções climáticas*. Brasília: INPE/MCTI. Recuperado em 6 de novembro de 2023, de www.pclima.inpe.br
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. (2023b). *El Niño e La Niña*. Recuperado em 10 de dezembro de 2023, de <http://enos.cptec.inpe.br/>
- Kane, R. P. (1997). Prediction of droughts in North-east Brazil: role of ENSO and use of periodicities. *International Journal of Climatology*, 17(6), 655-665. [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199705\)17:6<655::AID-JOC144>3.0.CO;2-1](http://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199705)17:6<655::AID-JOC144>3.0.CO;2-1)
- Marengo, J. A., Seluchi, M. E., Cunha, A. P., Cuartas, L. A., Goncalves, D., Sperling, V. B., Ramos, A. M., Dolif, G., Saito, S., Bender, F., Lopes, T. R., Alvala, R. C., & Moraes, O. L. (2023). Heavy rainfall associated with floods in southeastern Brazil in November–December 2021. *Natural Hazards*, 116(3), 3617-3644. <http://doi.org/10.1007/s11069-023-05827-z>
- Nacif, P. G. S. (2000). *Ambientes naturais da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, com ênfase nos domínios pedológicos* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Recuperado em 20 de dezembro de 2023, de <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/10732>
- Nascimento, M. B., Silva, A. F., Martildes, J. A. L., Paiva, W., & Santos, L. L. (2021). Proposta de nova classificação pluviométrica por meio da avaliação dos índices de severidade da seca na região de Itaporanga-PB. *Revista Brasileira de Climatologia*, 28, 266-284. <http://doi.org/10.5380/rbclima.v28i0.75405>
- Noronha, G. C., Hora, M. A. G. M., & Silva, L. P. (2016). Análise do índice de anomalia de chuva para a microbacia de Santa Maria/Cambiocó, RJ. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(1), 74-81.
- Patz, J., Corvalan, C., Hortwitz, P., & Campbell-Lendrum, D. (2012). Our planet, our health, our future. In World Health Organization (Org.), *Human health and the rio conventions: biological diversity, climate change and desertification*. Geneva: WHO.
- Pinto, C. A. D. (2022). Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e sua relação com os desastres naturais no leste da Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(5), 2544-2572. <http://doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2544-2572>
- Rodrigues, A. C. F., Rodrigues, E. S., Silva, C. W. G., & Galvão, S. R. S. (2019). Classificação da precipitação pluviométrica anual para o município de Parnamirim – PE utilizando Índice de Anomalia de Chuva (IAC). *Revista Semiárido De Visu*, 7(3), 275-284. <http://doi.org/10.31416/rsdv.v7i3.76>
- Rooy, M. P. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notes*, 14, 43.
- Rocha, M. H. F. F., Oliveira, A. S., Moreira, G. A., Soares, K. J., Marques, R. F. P. V., & Coelho, A. A. (2021). Avaliação do Índice de Anomalia de Chuva para a região central do Estado do Espírito Santo. *Research, Society and Development*, 10(12), e94101219990. <http://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.19990>
- Rocha, M., Gomes, R., Jesus, R., & Cerqueira, A. (2019). Potencial de utilização de sistemas de microgeração de energia elétrica e de aproveitamento de água de chuva. *Revista Gestão & Sustentabilidade*, 1(1), 250-268. <http://doi.org/10.36661/2596-142X.2019v1i1.10887>
- Silva, D. F., Kayano, M. T., Sousa, F. A. S., & Araújo, L. E. (2009). Análise da Variabilidade Espaço-Temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Mundaú usando IAC. *Unopar Científica Ciências Exatas e Tecnológicas* 7, 12-29.
- Silva, F. F., Santos, J. M., & Santos, F. A. (2020). Índice de Anomalia de Chuva (IAC) aplicado ao estudo das precipitações no município de Caridade, Ceará, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 27, 426-442.
- Tavares, C. M. G., Carvalho, P. M., Oliveira, T. A., & Sanches, F. (2021). O uso do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) em Juiz de Fora- Minas Gerais. *Revista Equador*, 10(1), 222-244. <http://doi.org/10.26694/equador.v10i01.12207>
- Stanek, C., Kerac, M., Prudhomme, C., Medlock, J., & Murray, V. (2013). Health effects of drought: a systematic review of the evidence. *PLoS Currents*, 5, 1. <http://doi.org/10.1371/currents.dis.7a2cee9e980f91ad7697b570bcc4b004>
- Tsakiris, G., Loukas, A., Pangalou, D., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi, G., & Cancelliere, A. (2007). Drought characterization. In A. Iglesias, M. Moneo & A. López-Francos (Orgs.), *Drought management guidelines technical annex*. Zaragoza: CIHEAM/EC MEDA Water.

Contribuições dos autores:

Nizete Neli Caroline da Silva Granja Rocha: obtenção e processamento dos dados, elaboração de figuras e tabelas, elaboração de metodologia, análise e discussão dos resultados e escrita do artigo.

Janaina Maria Oliveira de Assis: análise da consistência dos dados, correção contribuição na metodologia, demonstração e interpretação dos resultados, revisão na redação final do artigo.

Andrea Sousa Fontes: orientadora do trabalho, correção da análise de dados e discussão dos resultados, revisão na redação final do artigo.