

ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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



A variabilidade da precipitação nas sub-bacias do Alto e do Médio Jaguaribe e seu efeito sob os acudes Castanhão e Orós, localizados no estado do Ceará

Sâmia de Sousa Rocha. Instituto Federal do Ceará (IFCe). E-mail: samiasrocha@gmail.com (Autor Correspondente)

João Roberto Façanha de Almeida. Professor no Instituto Federal do Ceará (IFCe) -Campus Maracanaú, Doutor em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará (UFC)

Artigo recebido em 06/02/2020 e aceito em 01/12/2020

RESUMO

Os grandes períodos de seca e as fortes chuvas são características da variabilidade pluviométrica do semiárido do estado do Ceará e para melhor caracterizar tais acontecimentos existem diversos métodos. Dentre eles, o Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) que foi aplicado neste trabalho e teve como base a série histórica publicada no portal HidroWeb da Agência Nacional das Águas (ANA) durante o período de 1969 a 2019. O enfoque do estudo se deu nas sub-bacias do Alto e Médio Jaguaribe, onde se localizam, respectivamente, os açudes Orós e Castanhão. Com isto, calculou-se o IAC para sete postos pluviométricos identificando os anos secos e chuvosos e os classificando de acordo com a intensidade. Posteriormente, realizou-se através do coeficiente de correlação de Pearson a correlação entre a variação da precipitação e dos níveis volumétricos dos açudes. Conclui-se que houve uma proporção entre a quantidade de anos secos e chuvosos na região, pois, em ambas as bacias foram identificados 27 anos secos e 24 anos úmidos. O menor IAC encontrado foi de -4,55 em 1993 na região do Médio Jaguaribe e o maior foi de 6,77 em 1985 no Alto Jaguaribe. Observou-se também que a correlação se mostrou forte obtendo valores de 0,74 para o açude Castanhão e de 0,72 no Orós, ou seja, o fator precipitação influencia diretamente no aporte hídrico de açudes e por isto, é tão crucial o entendimento de séries históricas e de acontecimentos climáticos nas regiões do Nordeste brasileiro.

Palavras-chave: Eventos climáticos. Nordeste brasileiro. IAC.

The precipitation variability in Alto and Médio Jaguaribe sub-basins and your efect on reservoir Orós and Castanhão, located in state of Ceará

ABSTRACT

The large dry and heavy rains periods are characteristics of the rainfall variance on the semiarid region in the State of Ceará and there are several methods to characterize better such events. Among them, the Rains Anomaly Index (RAI) was applied in this work based on the historical series extracted from ANA between the periods of 1969 to 2019. The focus of the study was the region of the Upper Jaguaribe and Middle Jaguaribe basins, where the Orós and Castanhão dams are located, respectively. Thus, the RAI was calculated for 7 pluviometric stations identifying the dry and humid years and classifying them according to the intensity, afterward, through the Pearson method, the correlation between the RAI and the variation of the volumetric levels of the dams was performed. Therefore, it's possible to conclude that was a proportion between the number of dried and humid years in the region, for as much in both basins were identified 27 dry and 24 humid years. It was also observed that the correlation proved to be strong, obtaining values of 0.74 for the Castanhão reservoir and 0.72 in Orós, that is, the precipitation factor directly influences the water supply of dams and, therefore, the understanding of series and climatic events is so crucial in the Northeast regions of Brazil.

Keywords: Weather Events. Northeast brazilian. RAI.

Introdução

A variabilidade da precipitação é uma característica climatológica que se manifesta pela

irregularidade na frequência das chuvas e por acontecimentos de eventos extremos de longos períodos de estiagem hídrica e/ou fortes chuvas (Lucena et al., 2012).

No Nordeste brasileiro a variabilidade da precipitação está relacionada principalmente com os fenômenos meteorológicos de diferentes escalas e tempo que acontecem simultaneamente ou não sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais, como o Lã Ninã e El Niño. Além disso, outro fator que influência no clima da região é a variação da TSM (Temperatura da superfície do mar) que está associada ao deslocamento meridional da ZCIT (Zona de convergência intertropical) e do seu tempo de permanência nas latitudes sul do Equador (Lucena et al., 2011).

A seca no Nordeste brasileiro é relatado por muitos pesquisadores como um problema cíclico. De acordo com Marengo, Beserra e Lacerda (2011) apesar dos períodos de seca não serem bem definidos, estima-se que a cada cem anos há vinte anos de seca na região do semiárido.

Nóbrega e Santiago (2016) ressaltam que as regiões semiáridas são sensíveis às mudanças climáticas, pois têm tendências a se tornarem áridas em situações de aumento de temperatura e diminuição de precipitações. O estado do Ceará tem cerca de 92% do seu território submetido à semiaridez, o que resulta em diversos impactos sociais, ambientais e econômicos. (Albuquerque et al., 2014)

Os principais impactos estão relacionados aos efeitos diretos e indiretos sobre a sociedades e suas atividades socioeconômicas, como a agricultura que sofre percas de plantio em longos períodos de seca e fortes chuvas. Além disso, há prejuízos na economia local e regional e também, no meio ambiente com deslizamentos, erosão do solo e mudanças nas características dos recursos hídricos (Terassi, Silveira e Oliveira Júnior, 2017; Marengo et al., 2011).

Cunha (2008) e Cortez, Lima e Sakamoto (2017) relata a ocorrência do período de seca durante os anos de 2010 a 2016, que trouxeram prejuízos no setores industrial, de energia, agropecuário, pesqueiro e turístico, onde diversas atividades culturais e recreativas em rios e lados ficam restritas com a diminuição do nível de água.

Diversos outros fatores naturais e antrópicos interferem no aporte hídrico no Semiárido brasileiro. Entre eles às elevadas taxas evaporação, a predominância de solos rasos de embasamento cristalino nos quais aceleram a infiltração da água no solo, as altas taxas de insolação, temperatura e escoamento. (Nascimento e Medeiros, 2017; Zanella, 2014; Nobre, Oyama, Oliveira e Tomasella, 2011; Marengo, Beserra e Lacerda, 2011).

Além disso, a região semiárida é composta

por rios intermitentes, ou seja, que só se mantêm durante o período chuvoso, acarretando na diminuição da disponibilidade hídrica e no baixo rendimento de reservatórios. Tais fatores intensificam o processo de desertificação no semiárido que já se apresenta de forma avançada em diversas regiões (Vieira, Gondim Filho, 2006; Cirilo, 2008).

Como já relatado, apesar da variabilidade pluviométrica e a ocorrência de secas serem consideradas eventos cíclicos é datado eventos extremos no Nordeste que devido aos grandes impactos causaram uma preocupação relevante que ocasionou o despertar das autoridades e para pesquisas voltadas a estes acontecimentos. (Campos, 2014).

O estado do Ceará é historicamente conhecido por possuir longos períodos de seca que estão diretamente atrelados a escassez hídrica (Pereira e Cuellar, 2015). Albuquerque et al. (2014) explica que a vulnerabilidade ambiental do estado do Ceará ocorre devido à irregularidade pluviométrica que acontece principalmente no sertão, prejudicando o abastecimento dos recursos hídricos superficiais.

A problemática da escassez hídrica fez com que os moradores de regiões semiáridas buscassem formas de se adaptar aos longos períodos de seca (Pereira e Cuellar, 2015). Porém, a fim de garantir água para as atividades de subsistência humana iniciou-se durante o Governo Imperial os projetos para a construção de açudes e barragens. (Otoch et al., 2019)

E durante o século XX após o início das obras de construção do açude do Cedro/CE, considerado o primeiro e mais importante açude da época, foi criado a Inspetoria de Obras Contra as Secas. (Campos, 2014).

No Ceará são monitorados pela Companhia de Gerenciamento dos Recursos hídricos (COGERH) 155 reservatórios os quais, possuem capacidade total de armazenar 18.617 hm³ de água. Contudo, a grande maioria dos açudes se encontra com os níveis volumétricos baixos devido ao último período de seca datado desde 2012.

Para suprir as necessidades básicas dos moradores das regiões mais afetadas o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), juntamente com a Defesa civil, realizaram a instalação de cisternas, dessalinizadores domésticos e abastecimento através de carros-pipa, entretanto, tais medidas são paliativas.

Devido a todos os problemas já citados é cada vez mais reforçada a importância dos estudos voltados a identificação de tendências climáticas

como forma de prever e realizar planejamentos futuros frente aos intensos eventos climáticas. Tais estudos envolvem métodos estatísticos, análises de dados e estudos ambientais. (Martins, Da Silva, Pons, 2019; Penereiro e Meschiatti 2018);

Dentre esses métodos encontra-se o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) que foi desenvolvido por Roy (1965) afim de monitorar, prever e caracterizar os eventos climáticos pluviométricos. Tal método tem se mostrado relevante por ser simples e de fácil aplicação, sendo ele aplicado em diversos trabalhos.

Sousa, Melo e Da Silva, (2013) aplicaram o método para caracterizar o espaço-temporal da precipitação da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe e assim, auxiliar na gestão hídrica local com dados da qualidade dos recursos hídricos, utilização do solo e da precipitação.

Da Silva, Galvíncio e Nóbrega (2011) aplicaram o IAC para obter dados da característica da variabilidade espaço-temporal da precipitação na região da bacia do rio Jaguaribe.

Costa e Da Silva (2017) aplicaram o IAC no período de 1979 a 1993 com dados obtidos de 12 postos pluviométricas localizados e distribuídos nas macrorregiões do estado do Ceará, onde puderam avaliar a distribuição espaço-temporal da precipitação no estado e também correlacionaram os resultados do IAC com eventos climáticos El niño e La niña e com as anomalias da Temperatura da superfície do mar (TSM).

Com base nisto, o presente estudo buscou dados pluviométricos afim de caracterizar os eventos de chuvas e secas extremas durante o período de 51 anos (1968-2019) das sub-bacias hidrográficas do alto e médio Jaguaribe por meio da aplicação do IAC. Como forma de identificar os anuais chuvas períodos com e secas consideravelmente acima do normal correlacioná-los com variação volumétrica dos açudes Orós e Castanhão pertencentes às subbacias de estudo.

Metodologia

Área de estudo

A área de estudo compreende os açudes Orós e Castanhão ambos pertencentes ao mesmo sistema hidrográfico do rio Jaguaribe, entretanto localizados em sub-bacias diferentes. A região que compreende parte da bacia do rio Jaguaribe possuí baixa capacidade de armazenamento de águas subterrâneas e a maior parte de sua área encontra-se em rochas cristalinas (Sousa, Melo e Da Silva, 2013).

Os açudes Orós e Castanhão encontram-se em uma região estratégica e por isto, fazem parte do mais importante sistema de distribuição de água do Ceará, o eixão das águas na qual garantem o abastecimento hídrico da região metropolitana de Fortaleza (RMF).

De acordo com a Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (CEARÁ, 2020), o açude Orós está localizado na sub-bacia do Alto Jaguaribe no entorno dos municípios de Quixelô e Iguatu nas coordenadas 6°14'19.68" S, 38°55'30" e é considerado o segundo maior açude do estado, possuindo capacidade máxima de reservar 1.940,00 hm³ de água, sua estrutura foi finalizada em 1961.

Já o açude Castanhão está localizado na sub-bacia do Médio Jaguaribe no município de Alto Santo sobe as coordenadas de latitude 05°28'47" S e longitude 38°27'06,5" O. Ele é o maior e mais importante açude do estado, sua capacidade máxima de armazenamento é de 6.700,00 hm³ água e sua construção foi finalizada em 2003.

A escolha das estações pluviométricas foi realizada tendo como base a pesquisa de Nunes (2017) que compilou dados de 41 estações com séries centenárias e separou a localização de cada uma de acordo com a distribuição das bacias hidrográficas do Ceará. Ao final de sua pesquisa foi avaliado os impactos sociais na região devido aos períodos de seca.

As séries históricas de estações pluviométricas foram obtidas através do Sistema de Informações Hidrológicas (hidroweb) da Agência Nacional de Águas (ANA). Utilizou-se ao total sete estações pluviométricas, localizadas e distribuídas conforme Tabela 1 e Figura 1. O período de estudo datou-se desde 1969 a 2019, totalizando 51 anos.

As estações 2 e 3 que possuem as mesmas coordenadas foram utilizadas em conjunto, pois os dados de precipitação da estação 2 foi contabilizado somente até final do ano de 2008, portanto, utilizou-se os dados da estação 3 para complementar a série história durante o período de 2009 a 2019.

, 1		C		C			
BACIA DO ALTO JAGUARIBE							
Nome das estações/Município		Código	Localiz	Localização			
1	Saboeiro	639033	-39,9000	-6,5333			
2	Iguatu	639035	-39,3000	-6,3667			
3	Iguatu*	639084	-39,3000	-6,3667			
4	Farias Brito	639029	-39,5667	-6,9167			
	BACIA DO M	ÉDIO JAGUARIBE					
Nome das estações/Município		Código	Localiz	Localização			
5	Solonópole	539023	-39,0167	-5,7000			
6	Pereiro	638011	-38,4667	-6,0500			

Tabela 1. Estações pluviométricas escolhidas nas bacias hidrográficas do Alto e Médio Jaguaribe.

538010

As estações pluviométricas estão distribuídas de acordo com a Figura 1. Os recursos hídricos principais da região da sub-bacia do Alto e Médio Jaguaribe são os rios Jaguaribe, Bastiões e os riachos afluentes destes. Eles são os responsáveis pela distribuição de água para a região e pelo aporte hídricos dos açudes Orós e Castanhão.

Desconsiderando o relevo da região

São João do Jaguaribe

pudemos mesurar através do Google Earth as distâncias em linha reta entre as estações e os recursos hídricos principais. Para as estações 1,2,3 as distâncias entre o Rio Jaguaribe foram, respectivamente, cerca de 1,41 km e 143 km. Enquanto, a estação 4 se localiza a cerca de 36 km do Rio Bastilhões. Já as estações 5, 6 e 7 estão, respectivamente, a cerca de 37 km, 23 km e 0,7 km de distância do Rio Jaguaribe.

-38,2667

-5,2833

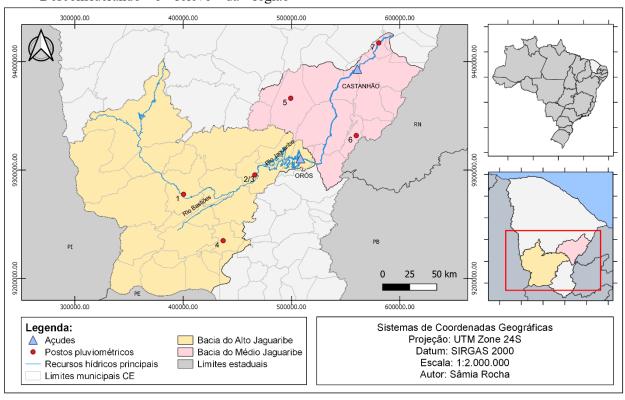


Figura 1. Mapa de localização das estações pluviométricas. Fonte: Elaborados pelos autores, 2020.

^{*} A estação Iguatu foi utilizada para complementar os dados durante o período de 2009 a 2019. Fonte: Adaptado de ANA (BRASIL, 2020)

Índice de Anomalia de Chuvas (IAC)

A compilação dos dados pluviométricos serviu para incorporar as frações da equação do IAC. A pesquisa e análise dos dados foram realizados em escala sazonal e interanual.

O cálculo da precipitação acumulada anual de cada sub-bacia foi feito através da compilação dos dados de chuva anuais de cada posto pluviométrico obtidos de valores mensais e então, com estes valores calculou-se as médias anuais para representar cada sub-bacia. Após, encontrouse a média pluviométrica da série histórica.

Corroborando com Da Silva, Galvício e Nóbrega (2011) utilizou-se a metodologia de aplicação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) devido ao fato de suas variáveis só necessitarem de dados pluviométricos, sendo assim, mais simples do que outros métodos que exigem dados de evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial e outros.

De acordo com Da Silva et al. (2009) o IAC desenvolvido por Rooy em 1965 e aplicado e adaptado por Freitas (2005) como forma de monitorar os períodos de secas e as características pluviométricas do Nordeste brasileiro. Sua aplicação consiste nas seguintes equações:

$$IAC = 3 * \left[\frac{N - \bar{N}}{\bar{M} - \bar{N}} \right]$$
, para anomalias positivas; (1)
 $IAC = -3 * \left[\frac{N - \bar{N}}{\bar{X} - \bar{N}} \right]$, para anomalias negativas; (2)

onde, N = precipitação anual do ano em que será gerado o IAC (mm);

 \overline{N} = precipitação média anual da série histórica (mm);

 \overline{M} = média das dez maiores precipitações anuais da série (mm);

 \bar{X} = média das dez menores precipitações anuais da série (mm);

As anomalias positivas apresentam valores de precipitação acima da média histórica e as anomalias negativas precipitação abaixo da média.

Para melhor visualizar os resultados do IAC das bacias hidrográficas utilizou-se a classificação (estabelecido na Tabela 2).

Tabela 2. Classificação da pluviometria com base

Classificação do IAC	Intervalo de IAC			
Seco moderado a intenso	[-5,5 a -2,5]			
Seco	[-2,4 a 0,0]			
Úmido	[0,0 a 2,4]			
Úmido moderado a intenso	[2,5 a 5,5]			
Extremamente úmido	[5,6 a 7,8]			

Fonte: Adaptado de Costa e Da Silva (2017).

Os anos das estações que apresentaram falhas nas medições de precipitação foram desconsiderados durante a compilação dos dados e nos cálculos com média aritmética para manter a proporção dos resultados.

Variações volumétricas dos açudes Orós e Castanhão

Os dados volumétricos dos açudes foram obtidos junto ao Sistema de Acompanhamento de Reservatórios do Semiárido da ANA (BRASIL, 2020).

Devido ao fato da construção dos açudes Orós e Castanhão terem sido totalmente finalizadas respectivamente, em 1961 e 2003, foi necessário determinar novas séries históricas de acordo com a disponibilidade de dados no sistema.

A Tabela 3 traz os anos em que foram iniciados o monitoramento volumétrico dos açudes e então, a partir desta data pôde-se definir a série do estudo, os valores a serem apresentados em percentagem são referentes ao último registro do ano em questão, ou seja, no mês de dezembro.

Tabela 3. Série histórica de monitoramento volumétrico dos acudes Orós e Castanhão.

Açude	Início do monitoramento volumétrico	Série histórica	
Orós	1978	2000-2019	
Castanhão	2002	2002-2019	

Fonte: Adaptado de ANA (BRASIL, 2020)

Coeficiente de Correlação de Pearson

Utilizou-se o Coeficiente de Pearson como forma de correlacionar os resultados de variação de chuva e dos níveis volumétricos dos açudes (Equação 3), que de acordo com Dancey e Reidy (2006, p.189) representa o grau de correlação linear entre duas variáveis com base em uma amostra de dados pré-definida.

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) * (y_{i-}\bar{y})}{\sqrt{[\sum (x_i - \bar{x})^2] * [\sum (y_i - \bar{y})^2]}},$$
(3)

onde, r = Coeficiente de Pearson; x = Primeira variável; \bar{x} = Média da amostra da variável "x"; y = Segunda variável; \bar{y} = Média da amostra da variável "y". A classificação do grau do coeficiente de correlação utilizada está descrita na tabela 4.

Tabela 4. Classificação da pluviometria com base no IAC.

Intensidade	Coeficiente de Correlação
Perfeito	1,0
Forte	0,7 a 0,9
Moderado	0,4 a 0,6
Fraco	0,1 a 0,3
Zero	0,0

Fonte: Adaptado de Dancey e Reidy (2006, p.186)

A variação da chuva foi encontrada com a diferença entre a precipitação anual e a média da série histórica, considerada anteriormente na Tabela 3.

Teste t de Student

Afim de certificar estatisticamente os resultados obtidos com o Coeficiente de Correlação de Pearson Utilizou-se o Teste t de Student (Naghettini e Pinto, 2007).

Resultados e Discussão

Com base na compilação dos dados pluviométricos encontrou-se a média de precipitação das séries históricas estudadas de

850,77 mm/ano na sub-bacia do Alto Jaguaribe e de 805,60 mm/ano no Médio Jaguaribe, ambas apresentaram 24 anos com precipitações acima da média.

As Figuras 2 e 3 mostram os registros anuais de chuva das bacias hidrográficas e pode-se observar que a maior precipitação anual registrada na sub-bacia do Alto Jaguaribe foi de 1728,83 mm em 1985 e a menor de 394,37 mm em 1983 e na sub-bacia do Médio Jaguaribe o maior registro foi de 1764,76 mm em 1985 e a menor foi de 273,53 mm em 1993.

A precipitação do ano de 1985 foi a maior registrada na série histórica das duas sub-bacias e não houve durante 34 anos um registro de valores tão altos de precipitação.

Um dos fatores que podem ter contribuído para as elevadas precipitações dos anos de 1974 e 1985 relatadas por Silva (2006) foram a ocorrências de fenômenos naturais. Costa e Da Silva (2017) relatam que foram anos com anomalias de temperatura da superfície do mar negativas, caracterizando a ocorrência de La Niña o que promove a ocorrência de chuvas fortes no Nordeste Brasileiro. O contrário aconteceu em 1993 e 1983 que foram anos secos com prováveis ocorrências de El Niño e alterações na temperatura da superfície do mar positivas.

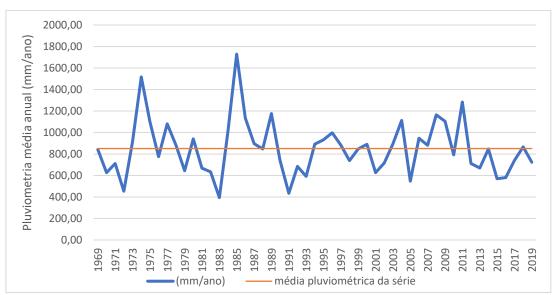


Figura 2. Pluviometria da sub-bacia do Alto Jaguaribe.

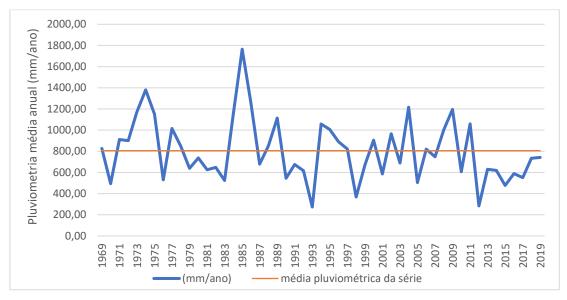


Figura 3. Pluviometria da sub-bacia do Médio Jaguaribe.

A partir das Equações 1 e 2 foi possível encontrar os valores do IAC dos quais foram identificados os anos chuvosos e secos das subbacias. Observa-se na Figura 4 que os maiores IAC aconteceram na primeira metade da série histórica o que condiz com o fato que durante esse período foram registradas as maiores precipitações.

O maior valor de IAC registrado na bacia

hidrográfica do Alto e Médio Jaguaribe foi de 6,77 e 6,51 em 1985, se classificando como um ano extremamente úmido e o menor de -4,49 em 1983 e -4,55 em 1993, se classificando como um ano moderado a extremamente seco. Tal valor já era esperado devido aos valores de precipitação mostrado anteriormente.

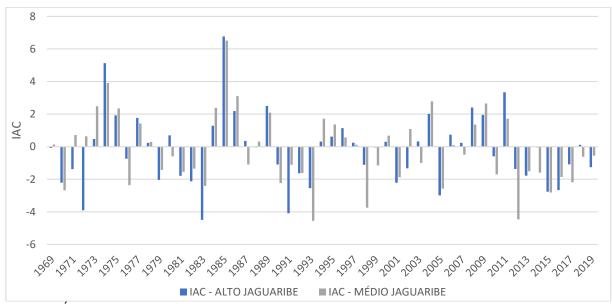


Figura 4. Índice de Anomalia de Chuva aplicado nas sub-bacias do Alto e Médio Jaguaribe.

Nos anos de 1974, 2004, 2009 e 2001 houve precipitações relevantes que ocasionaram IAC positivos e de grande relevância para a série histórica, sendo o maior IAC entre eles o de 5,13 em 1974 na bacia do Alto Jaguaribe.

Observa-se que em alguns anos os valores de IAC se apresentaram de forma inversa nas subbacias, como no ano de 1972 mostrando que

características locais e climáticas em cada região interferiu nesta diferenciação.

Em ambas as sub-bacias, foi observado que o período mais longo de anos com IAC negativo iniciou-se em 2011 e se prolongou até 2019. Durante todo o período onde somente o IAC do ano de 2018 na sub-bacia do Alto Jaguaribe. Ano este em que houve os relatos mais otimistas da volta das

chuvas para o sertão relatado por diversos jornais e secretárias públicas.

No total, foram identificados, nas duas bacias hidrográficas 27 anos secos, ou seja, com valores de IAC negativo e 24 anos chuvosos com IAC positivo

Dentre os anos secos na bacia do Alto Jaguaribe, 7 foram classificados como secos moderado a intenso e 20 como secos. Na bacia do

Médio Jaguaribe 6 anos se classificaram como seco moderado a intenso e 21 como seco.

Dentre os anos úmidos na bacia do Alto Jaguaribe 20 foram classificados como úmidos, 3 como úmidos moderado a intenso e 1 como extremamente úmidos, enquanto na bacia do Médio Jaguaribe 19 anos foram classificados como úmidos, 4 como úmidos moderado a intenso e 1 ano extremamente úmido (Figura 5).

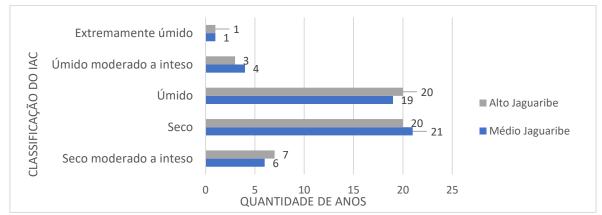


Figura 5. Classificação do IAC das sub-bacias do Alto e Médio Jaguaribe.

A correlação encontrada entre o IAC e a variação dos níveis volumétricos do Açude Orós (Figura 6), localizado na região da bacia do Alto Jaguaribe se mostrou na maioria dos anos condizente ao fato que se o IAC for positivo os

níveis dos açudes serão positivos.

Houve durante a série história intervalos de tempo em que nos anos de 2004, 2008, 2009 e 2011 o açude atingiu sua capacidade máxima e nestes anos os IAC's foram de 2,0, 2,4, 2,0 e 3,3.

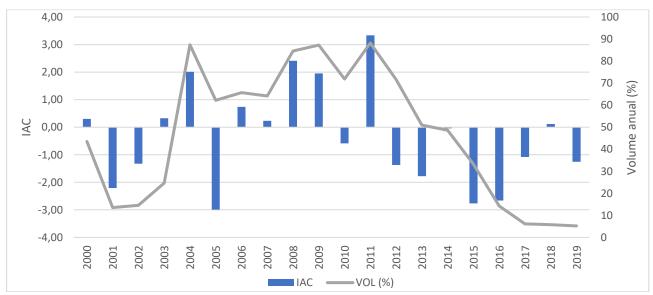


Figura 6. Correlação entre IAC e variação do volume do Açude Orós. Elaborados pelos autores, 2020.

Ainda na Figura 6 observa-se que, durante os quatros primeiros anos da série histórica, o volume do açude estava entre 40 e 10%, mesmo período em que apresentou IAC negativo e IAC positivos baixos. Tal correlação se diferencia em 2005 onde o IAC foi negativo, mas o volume do

açude se manteve acima de 60%.

A partir de 2011 os níveis volumétricos foram se reduzindo drasticamente juntamente com o aumento de anos com IAC negativos. Em 2018 houve IAC positivo, mas em 2019 o IAC foi novamente negativo e o açude Orós no final do ano

de 2010 estava com 5,21% de sua capacidade.

Na Figura 7 observa-se a o comportamento entre os valores de IAC e a variação do volume do açude Castanhão. Apresentando em 2002 baixa percentagens volumétricas pois, foi quando se iniciou a utilização do açude. Ao final de 2008 o açude estava com 79,66% de sua capacidade e apresentou IAC positivo de 1,36, mesmo ano em que choveu 1005,2 mm.

Observa-se que no final de 2007 o açude Castanhão estava com 52% de sua capacidade, apresentando IAC negativo de -0,43 valor este já representativamente preocupante ao se comparar

com o ano de 2006 e 2008. O ano de 2005 apesar de apresentar IAC de -2,58 ao final do ano manteve seu nível volumétrico em 56,62%.

O açude Castanhão não apresentou durante a série histórica registros que mostram que 100% de sua capacidade foi preenchida. Contudo, durante o mês de maio de 2009 o açude se manteve com a capacidade acima de 95%, atingindo seu ápice de 97,64% de água reservada.

A partir de 2012 o IAC apresentado foi negativo e os níveis volumétricos do açude foram diminuindo até que no final do ano de 2019 estava com 2,8% de sua capacidade.

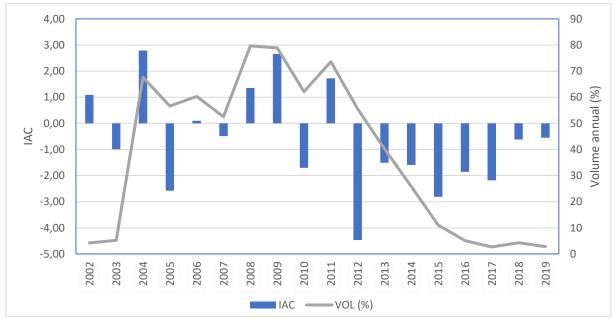


Figura 7. Correlação entre IAC e variação do volume do Açude Castanhão. Fonte: Elaborados pelos autores, 2020.

Um fato a ser observado, é que em ambas bacias hidrográficas o último ano a apresentar IAC positivo e precipitações acima da média relevantes para o aporte hídrico foi 2011.

A bacia do Alto Jaguaribe e Médio Jaguaribe apresentaram, respectivamente, precipitações médias anuais de 1283,7 mm e 1059,3 mm e IAC de 3,34 e 1,72. Além disso, os níveis percentuais dos volumes de ambos açudes estavam altos, o Orós estava com 88,22 % de sua capacidade total e o açude Castanhão com 73,6%.

Em 2012, o cenário foi diferente, as precipitações médias anuais das bacias do Alto e Médio Jaguaribe foram, respectivamente de 711,7 mm e 283,5 mm, ou seja, abaixo da precipitação. Tal fato, acarretou em IAC's negativos de -1,37 e -4,47.

Após 2012 os cinco anos seguintes foram marcados por IAC's negativos, precipitações abaixo da média e perdas volumétricas dos açudes Orós e Castanhão caracterizando o maior e mais

prejudicial período de seca do semiárido nordestino conforme salientado pelo Inmet (BRASIL, 2020). Houve uma diferença discrepante terre os valores IAC nas sub-baciais do Médio e Alto Jaguaribe em 2012, que na do Alto Jaguaribe apresentou IAC de – 4,466 e na do Médio Jaguaribe -1,32 isto foi devido a precipitação anual que foi 428,23 mm menor na sub-bacia do Médio Jaguaribe.

O coeficiente de correlação de Pearson resultou em 0,74, estatisticamente significativo de acordo com o teste estatístico t-Stduent (p = 0,006) para a amostragem da sub-bacia do médio Jaguaribe. E para a amostragem da sub-bacia do alto Jaguaribe o resultado correlação de Pearson foi de em 0,72, estatisticamente significativo de acordo com o de t-Student (p=0,005).

Ambos resultados são classificados como correlações "fortes", ou seja, a maioria dos valores foram proporcionais. Na medida em que a precipitação era menor que a média história o

volume do açude sofria uma perca hídrica o contrário ocorreu para precipitações anuais maiores, mas esta relação não representou todos os anos, como por exemplo, 2009 no açude Castanhão que teve uma precipitação maior que a média histórica mas apresentou percas volumétricas. Tais acontecimentos também interferiram no valor da correlação que

Estas percas hídricas são associadas principalmente ao fator climático de baixa umidade e elevadas temperaturas associado ao uso indiscriminável dos recursos. Este fato fez com que o açude só voltasse a ter volumes consideráveis em 2011 que foi o último ano úmido das séries.

Na região do açude Orós a correlação entre os níveis volumétricos e a precipitação foi menor pois apresentou anos com mais divergências entre precipitações fortes ou fracas e perca de volume. Tal fator poderia estar também, relacionado à localização dos cursos dos rios, mas isto não influenciou de forma relevante, pois ambas subbacias possuíram características climáticas similares e ao utilizar três estações para representálas pôde-se obter uma média considerativa.

Mesmo séries utilizando históricas diferentes para o teste t-student e o coeficiente de correlação de Pearson não houve interferência nos resultados, pois a série volumétrica e de precipitação foram consideradas proporcionalmente acordo de com disponibilidade de dados dos açudes. Ou seja, tal fator não interferiu na lógica dos resultados que é mostrar como a precipitação influenciou no aporte hídrico.

Considerações Finais

Neste estudo os resultados dos IAC, nas sub-bacias do Médio e Alto Jaguaribe foram na grande maioria negativos, sendo classificados como anos secos moderados a intensos, o que remete a característica tradicional da região semiárida.

Houve uma certa proporcionalidade nos resultados de IAC pois, em ambas as bacias foram identificados 27 anos secos e 24 anos úmidos. Assim como também, nos resultados entre o IAC e os volumes dos açudes que na medida em que o IAC tinha valores negativos mais expressivos os volumes dos açudes decresciam.

Tais resultados, constatam que durante a série histórica houve uma alta variabilidade pluviométrica na região. Durante a última década houve o maior período de anos secos da série histórica, o que remeteu aos baixos níveis volumétricos dos açudes no final do ano de 2019.

A aplicação do método de IAC se mostrou

relevante através da sua correlação com a variação dos níveis volumétricos dos açudes, mostrando que a provável causa de tal variação tem a ver com a precipitação anual da região, pois, obteve-se correlação forte para o açude Orós e moderada para o Castanhão, vale ressaltar que os outros fatores que promovem a perca hídrica não estão sendo analisados.

Com a aplicação do coeficiente de correlação de Pearson foi mostrado o quanto a variação pluviométrica afeta no aporte hídrico de açudes, mostrando o quão importante é a aplicação de melhorias na segurança hídrica e distribuição sustentável de água de açudes. Tudo isto como forma de garantir água reservada por mais tempo possível, evitando a perca ocasionado por desvios de água e evapotranspiração.

Os resultados da aplicação do IAC apesar de trivial se mostraram relevante para a obtenção de dados e caracterização da região do Alto e Médio Jaguaribe. Podendo estes dados serem utilizados como uma ferramenta na gestão de recursos hídricos, auxiliando na tomada de decisões e em estratégias de previsão e melhores na distribuição de água dos açudes do Ceará.

Conclui-se, portanto, que o estudo se mostrou de grande relevância para caracterizar e compreender períodos climáticos e auxiliando em estudos futuros no ramo de hidrologia e mudanças climáticas.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal do Ceará pela capacitação, do primeiro autor, que deu condição à realização deste trabalho. E ao segundo autor que orientou o trabalho pela paciência e disposição.

Referências

Albuquerque, E.L.S., Souza, M. J. N., Medeiros, C. N. de., Sousa, F. J. de; Lima, K. A. de. 2014. Perfil Geossocioeconômico: Um olhar para as Macrorregiões de Planejamento do estado do Ceará. Fortaleza, IPECE.

BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. Sistema de Informações Hidrológicas, 2020. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/ma pa_hidroweb.jsf>

as Secas - DNOCS. Disponível em:http://www.defesacivil.ce.gov.br/index.ph p?option=com_content&view=article&id=651 &Itemid=192>. Acesso em: 28 mai. 2019.

- . Fundação Joaquim Nabuco. Seca de 2012 a 2017 no semiárido foi a mais longa na história do Brasil. Disponível em: https://www.fundaj.gov.br/index.php/docume ntarios-e-estudos-sobre-as-secas/7040-seca-de-2012-a-2017-no-semiarido-foi-a-mais-longana-historia-do-brasil-marco-2018>. Acesso em: 28 mai. 2019.
- _____. Sistema de Acompanhamento de Reservatórios. Disponível em: https://www.ana.gov.br/sar/. Acesso: 20 out. 2019.
- CEARÁ. Companhia de Gerenciamento dos Recursos hídricos COGERH. Portal Hidrológico do Ceará. Disponível em http://www.hidro.ce.gov.br/. Acesso em 09 fev. 2019.
- Campos, José Nilson B. 2014. Secas e políticas públicos no semiárido: ideias, pensadores e períodos. Estud. av. São Paulo, v. 28, n. 82, p. 65-88.
- Cirilo, J.A. 2019. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. Estudos Avançados. n. 22(63), 61-82, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142008000200005&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 20 de jun.
- Cortez, Helder S., Lima, G.P., Sakamoto, M.S. 2019. A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitosno Nordeste e seus impactos. Parc. Estrat. Brasília-DF, v. 22, n. 44, p.83-118, jan-jun. 2017. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/858/786. Acesso em: 28 jun.
- Costa, J. A.,; Da Silva, D.F. 2017. Distribuição espaço-temporal do Índice de anomalia de chuva para o Estado do Ceará. Revista Brasileira de Geografia Física RBGF, v,10, n. 04. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234026. Acesso em: 03 abr. 2019.
- Costa, J. A., Rodrigues, G. P. 2017. Space-time distribution of rainfall anomaly index (RAI) for the Salgado Basin, Ceará State Brazil. Ciência e Natura, v. 38, n.3, p. 627-634.
- Da Silva, D. F.; Galvíncio, J.D.; Nóbrega R.S. 2011. Influência da variabilidade climática e da associação de fenômenos climáticos sobre subbacias do rio São Francisco. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, nº 19, p. 46-56. Disponível em: < https://www3.ufpe.br/tropoclima/images/pdf/dj

- ane.pdf>. Acesso em: 21 de jun. 2016.
- Da Silva, D. F., Kayano, M. T., Sousa, F. A. S., Araújo, L. E. 2009. Análise da precipitação na Bacia do RioMundaú Usando IAC. UNOPAR Científica. Ciências Exatas e Tecnológicas 7, 12-29.
- Dancey, C. P., & Reidy, J. 2006. Statistics without Mathematics to Psychology: Using SPSS for Windows. Porto Alegre: Artmed.
- Freitas, M. A. S. 2005. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semiáridas. Revista Tecnologia, Fortaleza, v. suplem, p.84-94. Disponível em: https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/1175 Acesso em: 21 jun. 2019.
- Gaddis GM, Gaddis ML. Introduction to biostatistics. Part 4; statistical inference techniques in hypothesis testing. Ann Emerg Med. 1990; 19:820-5.
- Galvão, C. de O., Paz, V.P da S. Recursos Hídricos e Regiões Áridas e Semiáridas. INSA, Campina Grande, p. 01-25, 2011
- Gondim Filho, Joaquim G.C., Vieira, Vicente P. P. B. 2006. Água doce no semiárido. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J. G.(org.). Água doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação. 3.ed., São Paulo: Escrituras Editoras, cap.15, p.481-505.
- Lucena, Daisy Beserra; Gomes Filho, Manoel F.; Servain, Jacques. 2011. Avaliação do impacto de eventos climáticos extremos nos oceanos pacífico e atlântico sobre a estação chuvosa no nordeste do Brasil. Rev. bras. meteorol., São Paulo, v. 26, n. 2, p. 297-312 Disponível em: http://ref.scielo.org/fwdn25. Acesso em: 03 abr. 2019.
- Lucena, Joselma; SOUZA, Bartolomeu Israel; MOURA, Marcelo de Oliveira; LIMA, Joab de Oliveira. Análise da variabilidade da precipitação pluviométrica como subsídio para o planejamento agrícola em Caicó/RN. Revista Brasileira de Climatologia, [S.l.], v. 10, june 2012. ISSN 2237-8642. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/30591/19779>. Acesso em: 28 aug. 2020. doi:http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v10i1.30 591.
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Beserra, E., Lacerda, F. 2011. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, in: Medeiros, S. de S., Gheyi, H.R., Galvão, C. de O., Paz, V.P da S.

- Recursos Hídricos e Regiões Áridas e Semiáridas. Campina Grande: INSA, pp. 383-416.
- Martins, Cinthia M.S., Da Silva, B.C., Pons, Nívea A. D. 2019. Estimativa de cheias em bacias hidrográficas com base em previsões de precipitação por conjunto. Revista Brasileira de Geografia Física RBGF, v.12, n. 05.
- Naghettini, M., Pinto, E. J. de A. Hidrologia Estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007. Disponível em: < http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/ Mapas-e-Publicacoes/Livro-%22Hidrologia-Estatistica%22-981.html>
- Nascimento, F.J.S.C., Medeiros, P.H.A. 2017. Zoneamento da magnitude e da variabilidade temporal dos escoamentos como indicador do potencial de regularização de vazão através de açudes. Revista Water Resources and Irrigation Management, v.6, n.2, p.115-129.
- Nobre, Paulo., Oyama, Marcos D., Oliveira, G. S., Tomasella, Javier. 2011. Impacto de mudanças climáticas globais na hidrologia do semiárido do Nordeste brasileira para o final do século XXI. In: Medeiros, S. de S., Gheyi, H.R.,
- Nóbrega, Ranyére Silva., Santiago, Gabriela Ayane C.F. 2016. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. Revista de geografia norte grande: Santiago, n. 63, p. 9-26.
- Nunes, Luiz Fabiano Camilo Viana. 2017. Análise histórica da severidade de secas no Ceará e os impactos do capital hidráulico sobre a sociedade entre as secas de 1912 e 2015. 87 f. (Artigo) TCC Curso de Eng. Ambiental e Sanitária. IFCe Maracanaú, CE.
- Otoch, Beatriz C.C., Studart Ticiana M.C; Campos, José N.B., Portela, Manuela M. 2019. Gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas e a dependência da trajetória institucional: Nordeste brasileiro e Austrália. RBRH: Recursos Hídricos, v. 40, n. 1, p. 43-51.
- Pereira, Guilherme Reis., Cuellar, Miguel Dragomir Zanic 2015. Conflitos pela água em tempos de seca no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. Estud. av., São Paulo, v. 29, n. 84, p. 115-137.

- Penereiro, Júlio César; Meschiatti, Monica Cristina. 2018. Tendências em séries anuais de precipitação e temperaturas no Brasil. Eng. Sanit. Ambient, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, p. 319-331. Disponível em:http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522018000200319&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 03 abr. 2019
- Rooy, M.P. 1965. A rainfall anomaly Index Independent of Time and Space. Notes, 14, 43.
- Sousa, A. B. S., Melo, R. A., Da Silva F.S. 2013. Avaliação climática e dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (CE). Revista Brasileira de Geografia Física, v. 6, n. 5, p. 1115-1140.
- Silva, Kamillo Karol Ribeiro e. Nos caminhos da memória, nas águas do Jaguaribe: memória das enchentes em Jaguaruana-CE (1960, 1974, 1985).2006. 169f. Dissertação (Mestrado em História) Universidade Federal do Ceará, Departamento de História, Programa de Pósgraduação em História Social, Fortaleza-CE, 2006.
- Terassi, Paulo Miguel de Bodas; Silveira, Hélio; Oliveira Júnior, José Francisco de. Variabilidade pluviométrica e a erosividade das chuvas na unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema Iii E Iv Paraná.- O Espaço Geográfico em Análise, [S.l.], v. 39, p. 76 91, apr. 2017. ISSN 2177-2738. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/42196/32070. Acesso em: 24 aug. 2020. doi:http://dx.doi.org/10.5380/raega.v39i0.4219 6.
- Zanella, Maria Elisa. 2014. Considerações sobre o clima e recursos hídricos do semiárido nordestino. Caderno prudentino de geográfica. Presidente Prudente/SP, n. 36, volume especial, p. 126-142.