

Análise de dados volumétricos dos açudes Coremas e Mãe D'água da Paraíba

Analysis of volumetric data from the Coremas and Mãe D'água dams in Paraíba

Análisis de datos volumétricos de las presas Coremas e Mãe D'água en Paraíba

Recebido: 01/07/2022 | Revisado: 15/07/2022 | Aceito: 16/07/2022 | Publicado: 22/07/2022

Ana Clara da Silva Morais

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4605-6766>

Universidade Estadual da Paraíba, Brasil

E-mail: ana.clara.morais@aluno.uepb.edu.br

Nyedja Fialho Morais Barbosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1813-320X>

Universidade Estadual da Paraíba, Brasil

E-mail: nyedja@servidor.uepb.edu.br

Resumo

O Estado da Paraíba está inserido num contexto de grandes variações climáticas, onde em determinados anos há abundância no volume de água nos reservatórios, e em outros, a população sofre com a escassez deste recurso. Neste sentido, por meio do uso da técnica da análise de séries temporais, o presente trabalho analisou o comportamento do nível volumétrico dos dois principais açudes da Paraíba, Coremas e Mãe D'água, localizados no alto sertão paraibano. Os dados analisados foram obtidos no portal da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs) e na *Climate Prediction Center* (CPC) correspondendo a dados volumétricos mensais dos referidos açudes, e medições de temperaturas de anomalias no oceano, respectivamente, entre janeiro de 2013 a dezembro de 2021. Para a análise das séries temporais foi utilizado o *software* R 4.1.2, com o pacote "*forecast*", sendo possível encontrar e validar os melhores modelos matemáticos para descrever o comportamento das séries de cada açude, bem como fazer previsões para o possível comportamento da série até julho de 2022. Dos resultados obtidos, os melhores modelos para as séries históricas dos açudes foram ARIMA(0,1,1)(1,0,0)₁₂ para o açude Coremas e ARIMA(1,1,0)(1,0,0)₁₂ para o açude Mãe D'água. Além destes resultados, verificou-se que em épocas de El Niño o nível de água nos açudes apresentava-se baixo, enquanto em épocas de La Niña, percebia-se o crescimento no nível de água dos reservatórios.

Palavras-chave: Séries temporais; Reservatórios; Modelo ARIMA; El Niño; La Niña.

Abstract

The Paraíba State is inserted in a context of significant climatic variations, where in specific years, there is an abundance in the volume of water in the reservoirs. In others, the population suffers from the scarcity of this resource. In this sense, through the use of the technique of time series analysis, the present work analyzed the behavior of the volumetric level of the two main reservoirs of Paraíba, Coremas and Mãe D'água, located in the high backlands of Paraíba. The analyzed data were obtained from the Executive Agency for Water Management (AESAs) site and the Climate Prediction Center (CPC) corresponding to monthly volumetric data from the dams as mentioned above and measurements of temperatures of anomalies in the ocean, respectively, from January 2013 to December 2021. For the analysis of the time series, the R 4.1.2 software was used, with the "forecast" package, making it possible to find and validate the best mathematical models to describe the behavior of the series of each weir, as well as make predictions for the possible behavior of the series until July 2022. From the results obtained, the best models for the historical series of the dams were ARIMA(0,1,1)(1,0,0)₁₂ for the Coremas dam and ARIMA(1,1,0)(1,0,0)₁₂ for the Mãe D'água reservoir. In addition to these results, it was found that in times of El Niño, the water level in the dams was low, while in times of La Niña, an increase in the water level of the reservoirs was perceived.

Keywords: Times series; Reservoirs; ARIMA model; El Niño; La Niña.

Resumen

El Estado de Paraíba está insertado en un contexto de grandes variaciones climáticas, donde en determinados años hay abundancia en el volumen de agua en los embalses, y en otros, la población sufre con la escasez de este recurso. En ese sentido, a través del uso de la técnica de análisis de series de tiempo, el presente trabajo analizó el comportamiento del nivel volumétrico de las dos principales represas de Paraíba, Coremas y Mãe D'água, ubicados en el alto sertón de Paraíba. Los datos analizados fueron obtenidos del portal de la Agencia Ejecutiva para la Gestión de Agua (AESAs) y en la *Climate Prediction Center* (CPC) correspondiendo a datos volumétricos mensuales de las referidas represas, y mediciones de temperaturas de anomalías en el océano, respectivamente, entre enero de 2013 a diciembre de 2021. Para el análisis de series temporales fue utilizado el *software* R 4.1.2, con el paquete "*forecast*", siendo posible encontrar y validar los mejores modelos matemáticos para describir el comportamiento de las series de

cada represa, bien como hacer predicciones para el posible comportamiento de la serie hasta julio de 2022. A partir de los resultados obtenidos, los mejores modelos para las series históricas de las presas fueron ARIMA(0,1,1)(1,0,0)₁₂ para la presa Coremas y ARIMA(1,1,0)(1,0,0)₁₂ para la presa Mãe D'água. Además de estos resultados, se verificó que en épocas de El Niño, el nivel de agua en las presas se presentaba bajo, mientras que en época de La Niña se percibió el crecimiento en el nivel de agua de los embalses.

Palabras clave: Séries de tempo; Depósitos; Modelo ARIMA; El Niño; La Niña.

1. Introdução

A região Nordeste do Brasil é atingida por períodos de secas prolongadas devido aos seus aspectos climáticos (Medeiros et al., 2022; Gomes & Willegaignon, 2021). Quanto à sua geologia onde observa-se, em grande parte de seu território, formações rochosas, que dificultam o armazenamento de água subterrânea (Chaves, et al., 2022), tornando a região desfavorecida em recursos hídricos. Diante disto, as autoridades começaram a construir açudes tendo em vista a necessidade de não interromper o abastecimento da população (Santos, 2018). Porém, apesar do grande número de açudes na região, o Nordeste ainda enfrenta sérios problemas quanto ao uso dos recursos hídricos (Medeiros et al., 2019).

Aproximadamente 90% do território paraibano encontra-se situado no semiárido nordestino, sobre base predominantemente cristalina, com precipitação pluviométrica irregular, variando entre 300 mm anuais na região do Cariri e 1600mm no Litoral do Estado (Lima, 2004). De acordo com Lima (2004), tais características favorecem a ocorrência de sérios problemas relacionados à gestão dos recursos hídricos do Estado. Segundo Franciso e Santos (2017), todo o Estado da Paraíba apresenta deficiência hídrica, porém, na região do Sertão e alto Sertão esta deficiência ocorre de forma mais acentuada.

Moura (2007) afirma que a região semiárida paraibana possui um dos maiores números de açudes do mundo, sobretudo na região do Sertão e Seridó, mas, apesar deste alto índice de reservatórios, o problema da escassez de água não é resolvido tendo em vista que os açudes não possuem capacidade de garantir o abastecimento de água nos períodos de seca. Santos (2018) observou que as bacias hidrográficas paraibanas enfrentam problemas em relação à degradação ambiental, onde seus rios sofrem com altos índices de assoreamento, além de ser observado o uso de agrotóxico em seus perímetros, entre outras irregularidades.

Na Paraíba, conforme AESA (2022), existem 135 açudes ativos, de grande, médio e pequeno portes. Os dois maiores são o Açude Coremas (744.144.694 m³) e Mãe D'água (545.017.499 m³), ambos localizados no município de Coremas. De acordo com Lima (2004) estes reservatórios são tão próximos que podem ser considerados um único lago, formando o Sistema Coremas-Mãe D'água, onde o Açude Coremas é alimentado pelo Rio Piancó e o Mãe D'água pelo Rio Aguiar. No sistema formado pelos dois açudes observa-se utilização de água em atividades como abastecimento populacional, irrigação de lavouras, criação de peixes, geração de energia, além de atividades de lazer e perenização do Rio Piancó (Lima, 2004).

Neste sentido, o presente trabalho analisou as séries históricas dos dados volumétricos dos açudes Coremas e Mãe D'água, utilizando informações coletadas no portal da Agência Executiva De Gestão Das Águas Do Estado Da Paraíba (AESA), referente aos períodos de janeiro de 2013 a dezembro de 2021, que correspondem a 108 medições mensais. Por meio da análise de séries temporais, buscou-se selecionar o melhor modelo para descrever o comportamento dos açudes e fazer estimativas para os meses seguintes, utilizando o software R 4.1.2. Posteriormente, utilizou-se as séries históricas dos açudes mencionados para verificar o comportamento do nível de água nos reservatórios em anos de ocorrência de El Niño e La Niña, comparando com dados de temperaturas de medições do ENOS coletados da *Climate Prediction Center* (CPC).

2. Metodologia

Entende-se por séries temporais as informações de uma variável ordenadas num determinado intervalo de tempo fixo, descrevendo assim uma trajetória onde é possível observar seu comportamento e encontrar um modelo que melhor se ajuste

aos dados observados com a finalidade de descrever o comportamento da série, bem como fazer previsões para valores futuros (Morettin & Toloí, 2006).

Para melhor entender o comportamento de uma série é imprescindível que se esboce de imediato seu gráfico, que deve ser organizado de forma sequencial ao longo do tempo, com a finalidade de revelar suas características (Ehlers, 2007). Os componentes de uma série temporal são: tendência, sazonalidade, ciclos e erros aleatórios (Morettin & Toloí, 2006). Tais padrões podem ser observados por meio dos gráficos da decomposição das séries temporais que evidenciam cada componente da série, tornando a análise mais detalhada.

Além das componentes mencionadas, outra característica crucial das séries temporais é a estacionariedade da função, onde para uma série ser considerada estacionária, a média e a variância devem possuir um padrão constante ao longo do tempo. Nos casos em que a série original não é considerada estacionária, deve-se recorrer a diferenciação da mesma (Bueno, 2011). Segundo Box et al. (2016), um processo estacionário importante para analisar uma série temporal, denominado de ruído branco, podendo ser observado quando a média é zero e variância constante.

2.1 Modelagem das séries temporais

De acordo com Morettin e Toloí (2006), os modelos utilizados para explicar o comportamento de uma série temporal são processos estocásticos, ou seja, são funções controladas por leis probabilísticas. Assim, um processo estocástico é uma família $Z = \{Z(t), t \in T\}$ onde $Z(t)$ é uma variável aleatória para cada $t \in T$.

Os modelos paramétricos mais utilizados para descrever uma série temporal são os modelos autorregressivos e de médias móveis (ARMA), modelos autorregressivos integrados e de médias móveis (ARIMA), modelos de memória longa (ARFIMA), modelos estruturais e não lineares, segundo Morettin e Toloí (2006).

Modelos autorregressivos integrados e de médias móveis, ARIMA, podem ser utilizados para modelar séries temporais estacionárias. Por notação, o modelo é apresentado como $ARIMA(p, d, q)$, onde: p representa a ordem autorregressiva do modelo; d refere-se ao grau de diferenciação e q ao número de médias móveis.

Morettin e Toloí (2006) explicam que quando a sazonalidade estocástica está presente na série, é possível utilizar o modelo SARIMA $(p, d, q) \times (P, D, Q)$, que é uma extensão do modelo ARIMA (p, d, q) , na qual: P é o número de coeficientes sazonais autorregressivos relacionados a estacionariedade da série; D representa o número de diferenças sazonais para tornar a série estacionária e Q é o número de coeficientes sazonais de médias móveis.

De acordo com Morettin e Toloí (2006), a metodologia definida por Box-Jenkins consiste em ajustar modelos $ARIMA(p, d, q)$ a uma série temporal observando-se os passos: especificação, identificação, estimação e validação do modelo. Ao final destes procedimentos, verifica-se se o modelo escolhido foi aprovado para a modelagem dos dados. Caso não tenha obtido êxito, escolhe-se outro modelo e se recomeça a análise. De acordo com Gujarati e Porter (2011), a utilização da metodologia Box-Jenkins é importante pois pode ser utilizada tanto por uma série estacionária quanto por uma série transformada em estacionária depois de pelo menos uma diferenciação.

2.2 Validação do modelo

A função de autocorrelação de um processo estocástico estacionário é muito importante para analisar o comportamento de séries temporais pois permite quantificar o nível de dependência dos dados de uma série em determinado período em relação a observações anteriores da mesma série, e como observações do presente podem afetar os futuros valores da série, por meio de previsões do modelo (Bueno, 2011).

Ehlers (2007) explica que se o modelo é bem ajustado, deve-se esperar que os resíduos se distribuam de forma aleatória ao redor do zero, com variância constante. E nos casos em que a variância é crescente se faz necessária uma transformação logarítmica nos dados da série. Uma das melhores formas de verificar a distribuição dos resíduos é por meio da visualização dos seus gráficos. De acordo com Bueno (2011), para complementar a análise do modelo escolhido no sentido de verificar se há ordens maiores no modelo ARMA, é recomendado utilizar o teste de Ljung-Box. A estatística do teste é dada por (Ehlers, 2007):

$$Q = n(n + 2) \sum_{k=1}^m \frac{\eta_k^2}{n - k} \sim \chi^2_{(m-p-q)}$$

em que η_k é a autocorrelação da série no lag k , e m é o número de lags testados. Assim, quando não se rejeita a hipótese nula, tem-se que o modelo não exibe falha de ajuste.

Segundo Bueno (2011), o critério de informação é o meio utilizado para encontrar o número ideal de parâmetros para um modelo, onde o melhor modelo, dentre os tantos possíveis, será o mais parcimonioso, que apresente os menores resíduos. Os principais critérios de informação são: estatística de Schwars, denotado por BIC (*Bayesian Information criterion*); estatística de Akaike, denotado por AIC (*Akaike information criterion*) e estatística de Hannan-Quinn, denotado por HQ.

A partir do modelo escolhido e validado é possível fazer previsões para valores futuros da série, inclusive, tais previsões podem ser feitas dentro do período amostrado e comparado com os valores observados, a fim de verificar a capacidade preditiva do modelo (Ehlers, 2007). Segundo Gurjarati e Porter (2011) a modelagem ARIMA é uma das mais utilizadas para fazer previsões do comportamento das séries temporais devido a confiabilidade dos seus resultados.

2.3 Obtenção e processamento dos dados

Os dados utilizados neste trabalho foram oriundos da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, AESA, e compreendem 108 meses de observações, correspondendo a medições mensais dos níveis volumétricos dos açudes Coremas e Mãe D'água, na Paraíba.

As informações foram processadas no *software* R.4.1.2, utilizando o pacote *forecast*, de onde foi possível: fazer o esboço da série temporal; estudar a decomposição da série em componentes não observáveis; encontrar o melhor modelo para a série – aqui utilizou-se a função ‘auto.arima’ proposta por Hyndman & Khandakar (2008), que automatiza a busca pelo melhor modelo ARIMA – ; fazer a análise dos resíduos e prever o comportamento da série até julho de 2022.

3. Resultados e Discussão

Na literatura é possível verificar a utilização de séries temporais para analisar dados históricos em diversas áreas. No contexto hídrico podemos citar os trabalhos de: Sáfadi (2004), que analisou o comportamento da vazão de água na barragem de Furnas e Santos et al. (2016) que estudaram a vazão de água na Bacia hidrográfica do Rio Pardo.

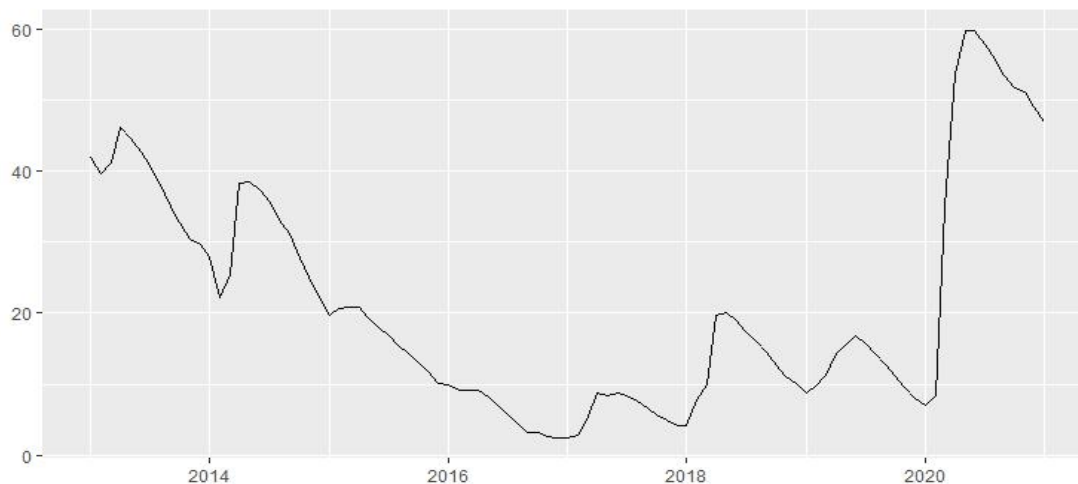
Muitos fatores interferem diretamente no volume de água nos açudes tais como evaporação (Feitosa, et al., 2021), assoreamento (Lopes et al., 2015; Araújo, 2003), aspectos climáticos (Francisco & Santos, 2017), bem como a retirada da água para abastecimento da população e para utilização na agricultura (Rodrigues et al., 2009). Por esta razão, o entendimento sobre a variação volumétrica de um reservatório de água é tão complexo.

3.1 Açude Coremas

A série histórica da porcentagem volumétrica do açude de Coremas encontra-se na Figura 1. Observa-se que o nível mais baixo apresentado pelo açude de Coremas foi registrado em janeiro de 2017, onde observou-se um volume

correspondente a 2,43% ($14.364.835 \text{ m}^3$). Já em maio de 2020 o açude registrou o volume máximo observado para o período analisado, correspondendo a 59,8% ($445.015.120 \text{ m}^3$) de sua capacidade total.

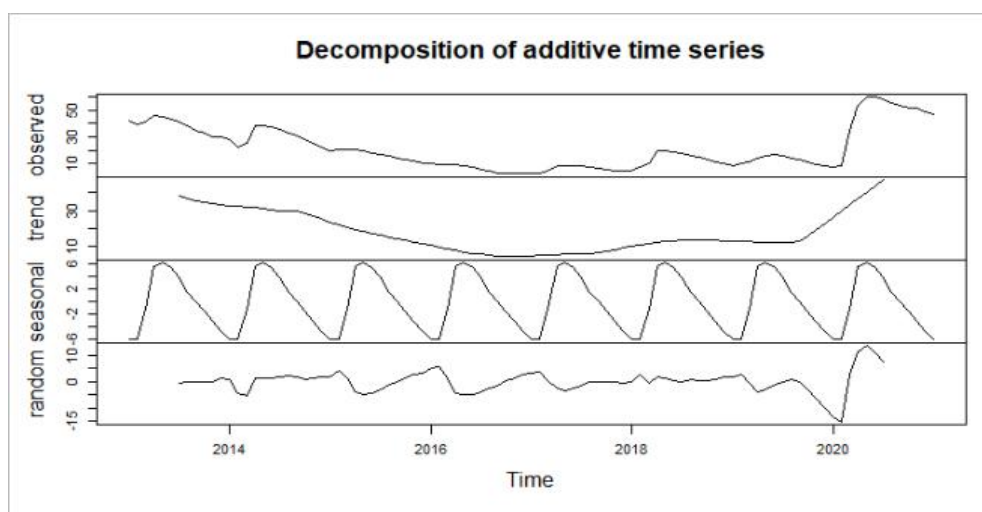
Figura 1 – Série temporal da porcentagem do volume de água do açude Coremas.



Fonte: Autores.

Na decomposição da série temporal do açude de Coremas (Figura 2) é possível verificar quatro divisões na representação gráfica. Na parte superior, onde encontra-se o termo '*observed*', encontra-se a série original (a mesma representada em melhor precisão por meio da Figura 1), na parte descrita como '*trend*' apresenta-se a tendência da série (a qual é possível observar que houve variações ao longo do tempo e atualmente encontra-se em tendência de crescimento do nível volumétrico de açude), em '*seasonal*' verifica-se a presença de sazonalidade na série, e por fim, em '*random*' é percebe-se que os resíduos variaram de forma aleatória em torno do zero.

Figura 2 – Decomposição da série temporal do açude Coremas.



Fonte: Autores.

Por meio da função ‘*auto.arima*’ do pacote *forecast* do R foi feita a seleção automática do melhor modelo matemático para o açúcar de Coremas. O Quadro 1 apresenta os modelos testados e o critério de informação AIC utilizado para selecionar o melhor modelo para a série.

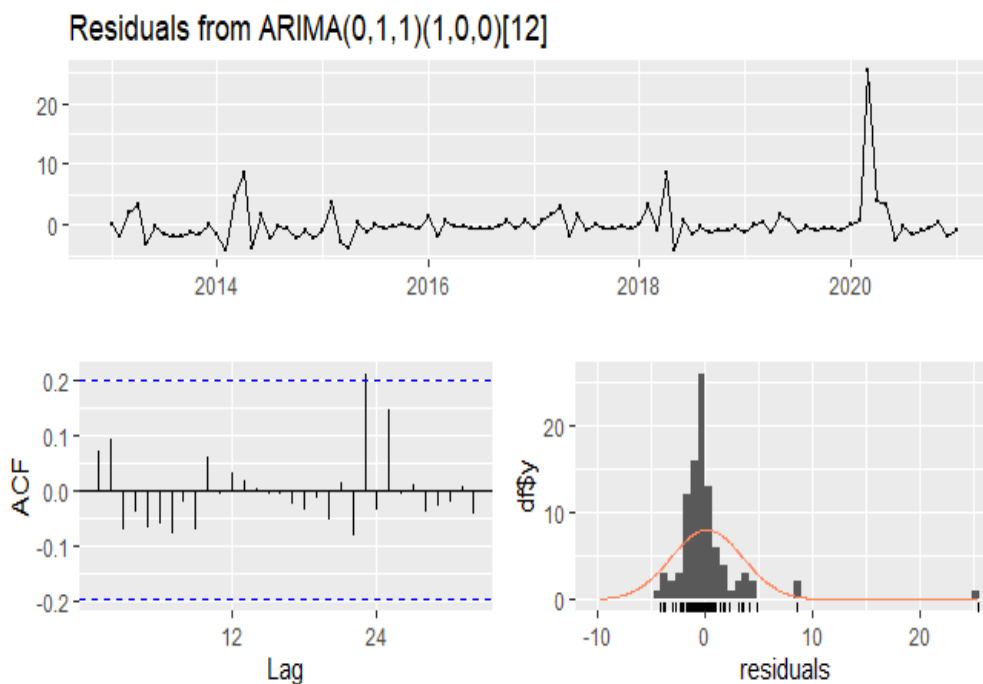
Quadro 1 – Modelos testados para a série histórica do Açúcar de Coremas.

Modelo	AIC	Modelo	AIC
ARIMA(2,1,2)(1,0,1) ₁₂	Inf	ARIMA(2,1,2)(1,0,1) ₁₂	Inf
ARIMA(0,1,0)	550,1692	ARIMA(0,1,0)	550,1692
ARIMA(1,1,0)(1,0,0) ₁₂	516,329	ARIMA(1,1,0)(1,0,0) ₁₂	516,329
ARIMA(0,1,1)(0,0,1) ₁₂	514,6516	ARIMA(0,1,1)(0,0,1) ₁₂	514,6516
ARIMA(0,1,0)	548,0974	ARIMA(0,1,0)	548,0974
ARIMA(0,1,1)	519,8679	ARIMA(0,1,1)	519,8679
ARIMA(0,1,1)(1,0,1) ₁₂	Inf	ARIMA(0,1,1)(1,0,1) ₁₂	Inf
ARIMA(0,1,1)(0,0,2) ₁₂	516,6046	ARIMA(0,1,1)(0,0,2) ₁₂	516,6046
ARIMA(0,1,1)(1,0,0)₁₂	511,8946	ARIMA(0,1,1)(1,0,0) ₁₂	511,8946
ARIMA(0,1,1)	517,7407	ARIMA(0,1,1)	517,7407
ARIMA(0,1,1)(2,0,0) ₁₂	513,9373	ARIMA(0,1,1)(2,0,0) ₁₂	513,9373
ARIMA(0,1,1)(1,0,1) ₁₂	Inf	ARIMA(0,1,1)(1,0,1) ₁₂	Inf
ARIMA(0,1,1)(0,0,1) ₁₂	512,518	ARIMA(0,1,1)(0,0,1) ₁₂	512,518

Fonte: Autores.

De acordo com as informações contidas no Quadro 1, o modelo escolhido (aquele que possui as menores medições do AIC) foi o ARIMA(0,1,1)(1,0,0)₁₂. Diante da escolha do modelo, realizou-se a análise dos resíduos, cujos resultados obtidos encontram-se na Figura 3.

Figura 3 – Análise dos resíduos do modelo de previsão para o açúcar Coremas.

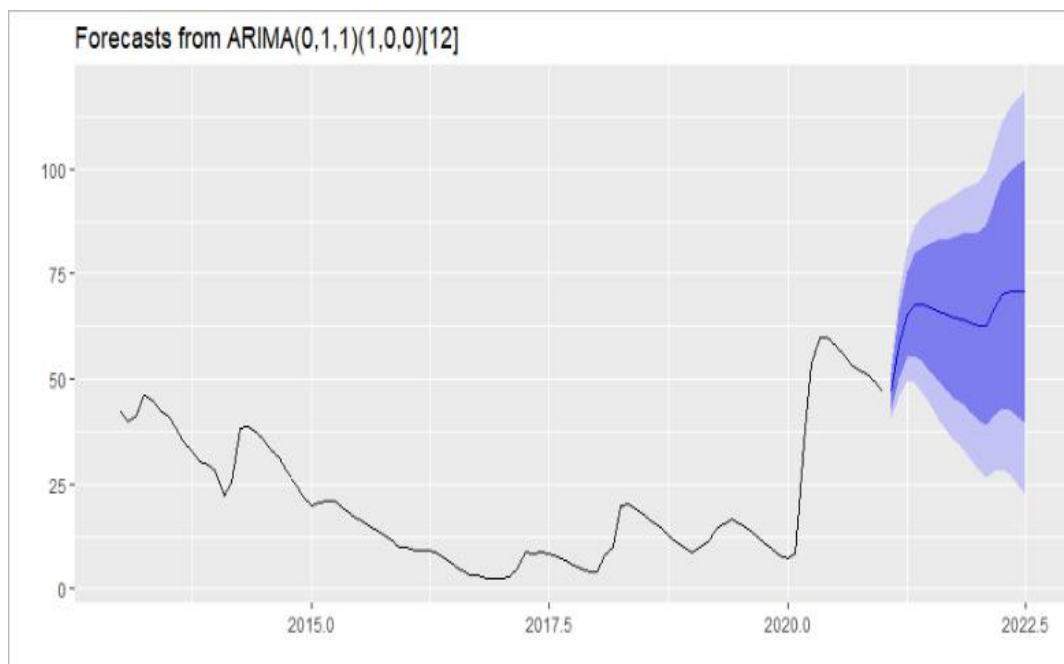


Fonte: Autores.

Nas representações gráficas da Figura 3 observa-se o comportamento dos resíduos, destacando-se que, no gráfico localizado na parte superior da figura é possível verificar que os erros se distribuem aleatoriamente ao redor do zero, o que indica estacionariedade. Na parte inferior, lado esquerdo, encontra-se o gráfico da função de autocorrelação da série, que apresenta um comportamento adequado para os resíduos, e ao lado direito, observa-se o histogramas dos valores residuais, por onde é possível verificar que os resíduos seguem distribuição normal com média zero. Ambos os gráficos apresentados indicam que a análise dos resíduos foi satisfatória, indicando que o modelo parece estar bem ajustado, o que também podem ser comprovado pelo teste de Ljung-Box ($Q = 5,0473$; $p = 0,9976$).

Com base no modelo escolhido e validado, foi possível gerar um gráfico de previsão para os valores esperados até o mês de julho de 2022 (Figura 4).

Figura 4 – Previsão do volume do açúcar de Coremas.



Fonte: Autores.

Os valores estimados para o modelo encontram-se no Quadro 2, onde podem ser observados o mês da estimativa, o valor previsto e os intervalos de confiança a 80% e 95%.

Quadro 2- Valores estimados para o açúcar de Coremas.

Mês	Valor esperado	Intervalo de confiança a 80%		Intervalo de confiança a 95%	
Fev 2021	47,03223	42,72456	51,33989	40,44422	53,62023
Mar 2021	57,70933	49,85063	65,56803	45,69049	69,72817
Abr 2021	65,27362	55,02852	75,51873	49,60508	80,94217
Mai 2021	67,77355	55,60123	79,94587	49,15759	86,38951
Jun 2021	67,74936	53,91576	81,58296	46,59269	88,90603
Jul 2021	67,01148	51,69574	82,32721	43,58809	90,43487
Ago 2021	66,14053	49,47396	82,80711	40,65120	91,62986
Set 2021	65,20105	47,28519	83,11690	37,80111	92,60098
Out 2021	64,54784	45,46431	83,63137	35,36210	93,73358
Nov 2021	64,33414	44,15038	84,51790	33,46574	95,20253
Dez 2021	63,43094	42,20389	84,65798	30,96698	95,89490
Jan 2022	62,57612	40,35473	84,79752	28,59143	96,56082
Fev 2022	62,62541	38,90108	86,34973	26,34218	98,90863
Mar 2022	66,93056	41,47647	92,38466	28,00189	105,85924
Abr 2022	69,98059	42,90702	97,05417	28,57514	111,38605

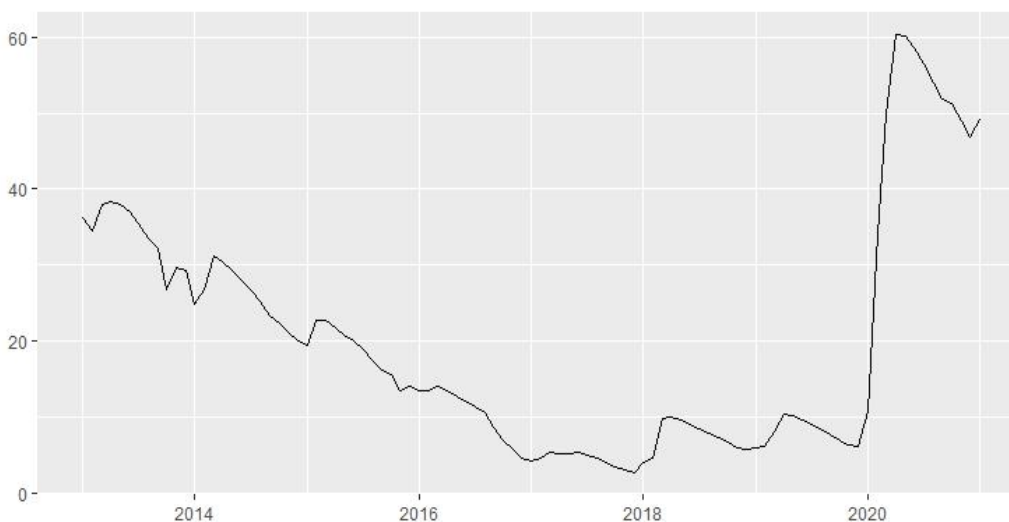
Mai 2022	70,98860	42,38710	99,59010	27,24638	114,73082
Jun 2022	70,97884	40,92700	101,03068	25,01852	116,93917
Jul 2022	70,68132	39,24598	102,11666	22,60512	118,75752

Fonte: Autores.

3.2 Açude mãe d'água

Para o açude de Mãe D'água (Figura 5), observou-se que o volume de água no açude encontrava-se em queda desde o início da série, apresentando o valor mais baixo em janeiro de 2018, registrando de 2,75% (15.627.627 m^3) da capacidade máxima de armazenamento de água. Em maio de 2020 registrou o volume máximo observado para o período analisado, correspondendo a 60,29% (328.606.009 m^3).

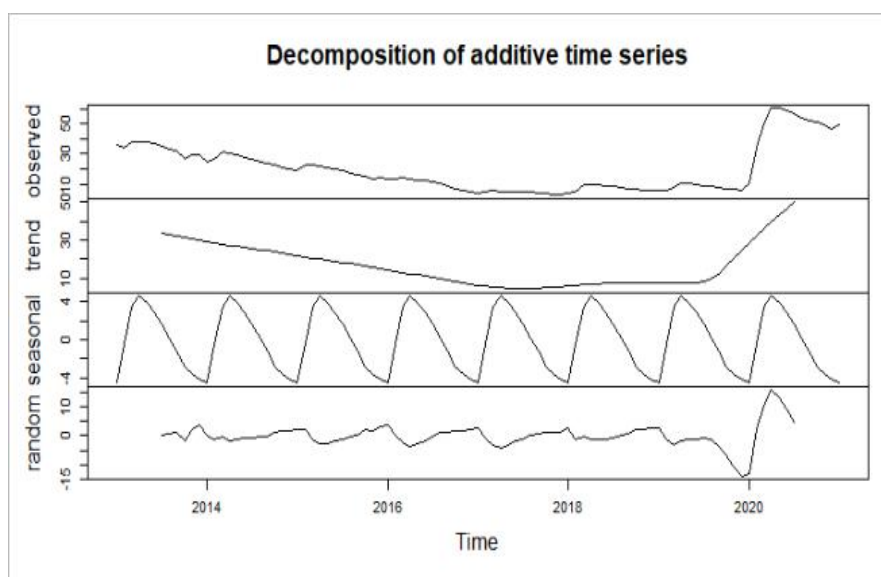
Figura 5 - Série temporal da porcentagem do volume de água do açude Mãe D'água.



Fonte: Autores.

Os Gráficos da decomposição da série temporal (Figura 6) indicam que a série se encontra em tendência de crescimento, além de ser verificado a sazonalidade e a aleatoriedade dos desvios.

Figura 6 – Decomposição da série temporal do açude Mãe D’água.



Fonte: Autores.

Por meio da função ‘*auto.arima*’ foi feita a seleção do melhor modelo matemático para o açude de Mãe D’água, cujos os modelos analisados, bem como o critério AIC, encontram-se no Quadro 3.

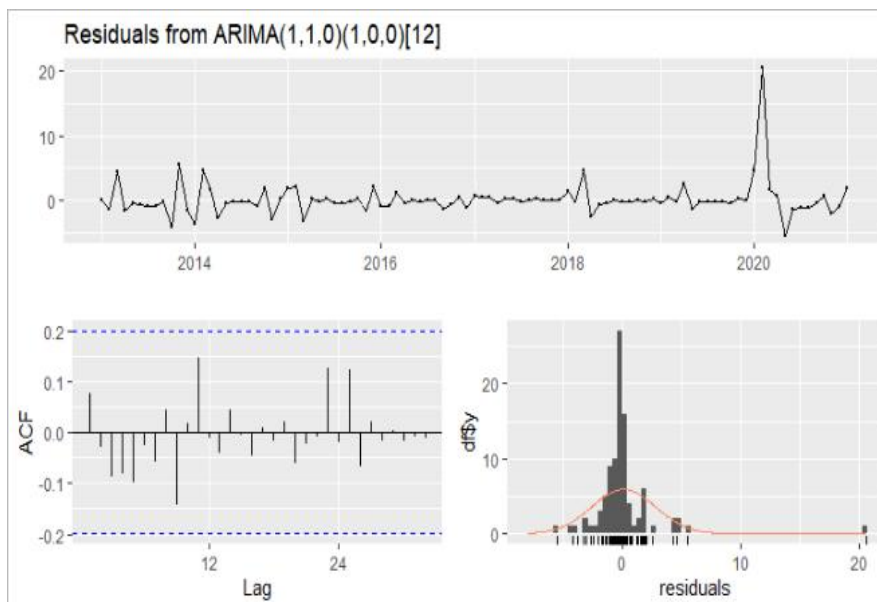
Quadro 3 – Modelos testados para a série histórica do Açude Mãe D’água.

Modelo	AIC	Modelo	AIC
ARIMA(2,1,2)(1,0,1) ₁₂	479,1144	ARIMA(1,1,0)(2,0,1) ₁₂	478,2955
ARIMA(0,1,0)	515,6934	ARIMA(0,1,0)(1,0,0) ₁₂	510,5654
ARIMA(1,1,0)(1,0,0) ₁₂	473,9469	ARIMA(2,1,0)(1,0,0) ₁₂	473,9888
ARIMA(0,1,1)(0,0,1) ₁₂	479,6066	ARIMA(1,1,1)(1,0,0) ₁₂	474,4969
ARIMA(0,1,0)	513,7515	ARIMA(0,1,1)(1,0,0) ₁₂	479,8866
ARIMA(1,1,0)	476,4593	ARIMA(2,1,1)(1,0,0) ₁₂	475,1547
ARIMA(1,1,0)(2,0,0) ₁₂	476,1084	ARIMA(1,1,0)(1,0,0)₁₂	471,8214
ARIMA(1,1,0)(1,0,1) ₁₂	476,0766	ARIMA(1,1,0)	474,3686
ARIMA(1,1,0)(0,0,1) ₁₂	474,0497	ARIMA(1,1,0)(2,0,0) ₁₂	473,9327
ARIMA(2,1,0)(1,0,0) ₁₂	471,8385	ARIMA(1,1,0)(1,0,1) ₁₂	473,8999
ARIMA(1,1,1)(1,0,0) ₁₂	472,3356	ARIMA(1,1,0)(0,0,1) ₁₂	471,9171
ARIMA(0,1,1)(1,0,0) ₁₂	477,8593	ARIMA(1,1,0)(2,0,1) ₁₂	476,0684
ARIMA(2,1,1)(1,0,0) ₁₂	473,021	ARIMA(0,1,0)(1,0,0) ₁₂	508,7416

Fonte: Autores.

Observa-se por meio do Quadro 3 que o melhor modelo encontrado para modelar o comportamento do açúcar de Mãe D'água foi o ARIMA(1,1,0)(1,0,0)₁₂. De acordo com a análise de resíduos (Figura 7), o modelo demonstra boa acurácia, o que pode ser confirmado pelos resultados do teste de Ljung-Box (Q=9,3277; p=0,9294).

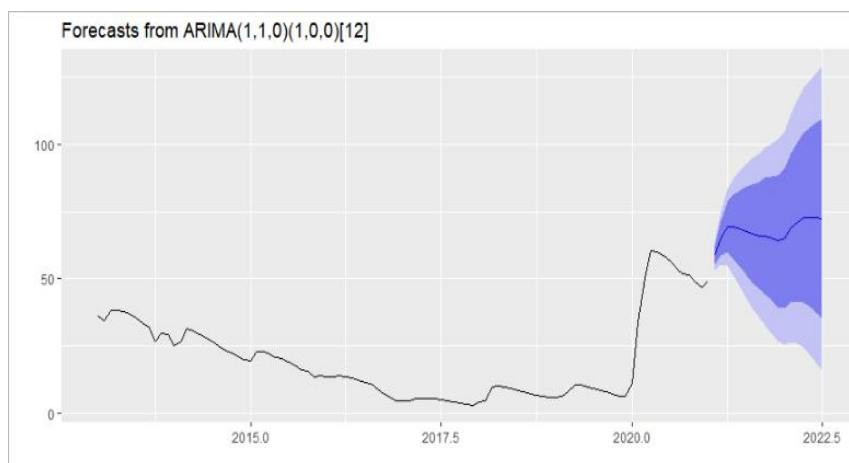
Figura 7 – Análise dos resíduos do modelo de previsão para o açúcar Mãe D'água.



Fonte: Autores.

Utilizando o modelo escolhido, foi possível estimar a previsão da porcentagem volumétrica do açúcar Mãe D'água até julho de 2022 (Figura 8).

Figura 8 – Previsão para a série da porcentagem volumétrica do açúcar Mãe D'água.



Fonte: Autores.

Os valores previstos para o comportamento da série até julho de 2022 podem ser observados no Quadro 4.

Quadro 4 - Valores estimados para o açude de Mãe D'água.

Mês	Valor esperado	Intervalo de confiança a 80%		Intervalo de confiança a 95%	
Fev 2021	58,68999	55,19243	62,18756	53,34093	64,03906
Mar 2021	65,05380	58,51727	71,59033	55,05704	75,05056
Abr 2021	69,20371	59,84770	78,55971	54,89493	83,51248
Mai 2021	69,22452	57,31299	81,13606	51,00741	87,44164
Jun 2021	68,63949	54,42058	82,85841	46,89354	90,38545
Jul 2021	67,81920	51,50811	84,13028	42,87354	92,76485
Ago 2021	66,86822	48,64611	85,09034	38,99990	94,73654
Set 2021	66,08259	46,10054	86,06465	35,52268	96,64250
Out 2021	65,87326	44,25743	87,48909	32,81470	98,93182
Nov 2021	64,97726	41,83365	88,12088	29,58216	100,37237
Dez 2021	64,13071	39,54912	88,71230	26,53642	101,72500
Jan 2022	65,06920	39,12650	91,01189	25,39327	104,74513
Fev 2022	68,75003	41,06778	96,43229	26,41368	111,08639
Mar 2022	71,22611	41,63751	100,81471	25,97425	116,47797
Abr 2022	72,84077	41,30611	104,37542	24,61267	121,06886
Mai 2022	72,84897	39,39405	106,30388	21,68409	124,01384
Jun 2022	72,62142	37,30179	107,94106	18,60471	126,63814
Jul 2022	72,30233	35,18442	109,42024	15,53539	129,06927

Fonte: Autores.

3.3 Influência do El Niño e La Niña

Sabe-se que existem diversos fatores que influenciam no nível de água em um reservatório, e um destes é a precipitação pluviométrica, que na região Nordeste possui características peculiares. Eventos como El Niño e La Niña influenciam diretamente sobre a climatologia nordestina, sobretudo na região semiárida. Na literatura é possível encontrar muitos estudos como os de: Barbosa et al. (2014) que verificaram que em anos de El Niño os mapas de precipitação pluviométrica evidenciam o baixo nível de chuva, enquanto em épocas de ocorrência de La Niña observava-se grande quantidade pluviométrica sobre áreas da Região Nordeste; Melo & Lima (2021) concluíram que as variações na chuva da microrregião de Catolé do Rocha foram fortemente influenciadas por sistemas sinóticos que atuam na região, principalmente VCAN e ZCIT. No entanto, aferem que as anomalias positivas e negativas estão, na maioria das vezes, correlacionadas ao modo de variabilidade climática El Niño-Oscilação Sul (ENOS); e Medeiros et al. (2022) que sugeriram que o ENOS também influencia o regime de chuvas, porém não é o único fator que atua sobre a pluviometria na Paraíba, outros sistemas como o VCAN e ZCIT também estão associados a variabilidade da precipitação pluviométrica na região da Paraíba.

De acordo com CPTEC/INPE (2022), o ENOS é um fenômeno atmosférico que ocorre no Oceano Pacífico Equatorial, e na atmosfera adjacente, no qual observa-se épocas em que a temperatura do oceano apresenta medições maiores do que a média histórica (El Niño) e onde a temperatura apresenta valores mais baixos do que a média (La Niña). Para quantificar o fenômeno calcula-se o Índice Oceânico Niño (*Oceanic Niño Index* -ONIX) que é dado pela média móvel trimestral da temperatura da superfície do mar na região identificada como Niño 3.4., e em seguida observam-se cinco meses consecutivos. Se for possível verificar nestes cinco meses a anomalia maior do 0,5°C, associa-se a um evento El Niño; se nos cinco meses consecutivos for verificado a anomalia menor do que 0,5°C, associa-se a La Niña.

O Quadro 5 apresenta a temperatura oceânica (°C) de anomalias para a região Niño-Oscilação Sul. Os valores em vermelho correspondem à períodos quentes, relacionados à ocorrência do El Niño, enquanto os azuis correspondem a temperaturas baixas, correspondendo aos eventos La Niña. Os períodos que não apresentam cor azul ou vermelho são períodos que não apresentaram anomalias quanto à temperatura (CPC, 2020). As temperaturas são calculadas com base em um limite de mais ou menos 5 °C, utilizando a média de três meses.

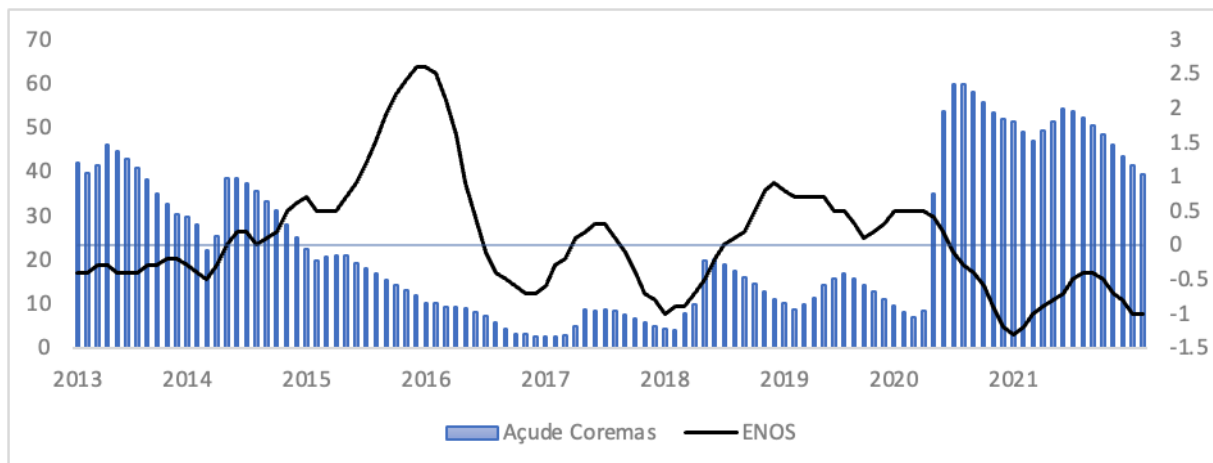
Quadro 5 – Índice de anomalia para El Niño- Oscilação Sul.

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2013	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
2014	-0,4	-0,5	-0,3	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7
2015	0,5	0,5	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,9	2,2	2,4	2,6	2,6
2016	2,5	2,1	1,6	0,9	0,4	-0,1	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6
2017	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	-0,1	-0,4	-0,7	-0,8	-1,0
2018	-0,9	-0,9	-0,7	-0,5	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,8
2019	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5
2020	0,5	0,5	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-0,9	-1,2	-1,3	-1,2
2021	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-1,0

Fonte: Adaptado de CPC.

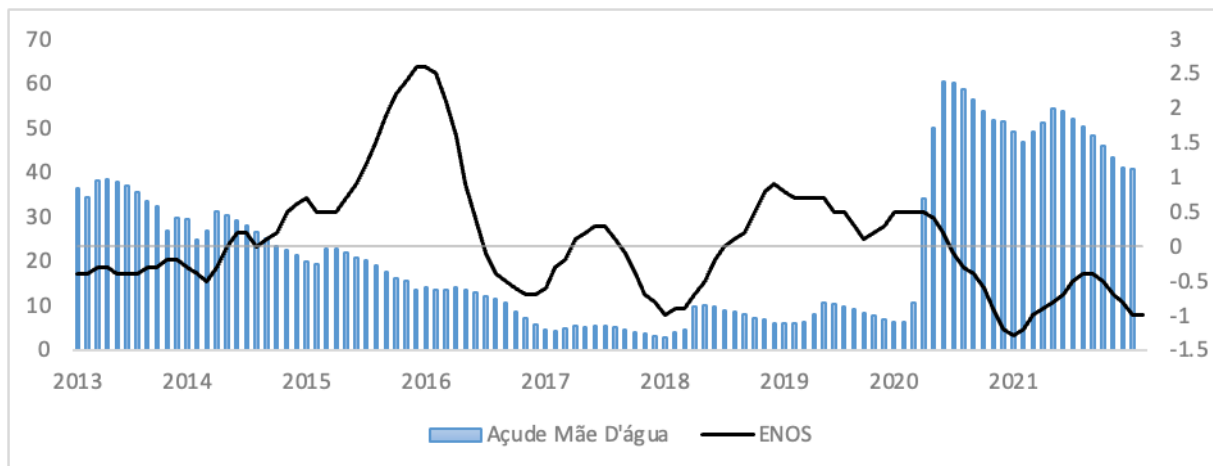
Para verificar algum indício de interferência entre as temperaturas do ENOS informadas pelo CPC (Quadro 5) e a variação no nível de água nos açudes, utilizou-se a sobreposição de curvas dos dados volumétricos dos açudes de Coremas e Mãe D'água e temperatura do ENOS (Figuras 9 e 10).

Figura 9 – Comparação da porcentagem volumétrica de água no Açude Coremas em relação ao ENOS.



Fonte: Autores.

Figura 10 – Comparação da porcentagem volumétrica de água no Açude Mãe D'água em relação ao ENOS.



Fonte: Autores.

De acordo com as Figuras 9 e 10, verifica-se que em épocas em que há temperatura alta (indicando ocorrência de El Niño), menos volume de água foi registrado. Em contrapartida, para baixas medições da temperatura (Presença de La Niña), observa-se maior acúmulo de água nos reservatórios. Este comportamento reforça as informações encontradas na literatura, quando afirmam que os eventos climáticos de El Niño e La Niña influenciam sobre a região Nordeste do Brasil, e em particular, sobre o semiárido paraibano, mesmo não sendo o único mecanismo responsável pela situação hídrica regional.

4. Considerações Finais

Por meio do estudo das séries temporais do volume dos principais açudes da Paraíba, destaca-se que os modelos encontrados obtiveram bom êxito em sua validação, passando por rigorosos critérios estatísticos. Assim, foi possível encontrar modelos que conseguiram explicar o comportamento das séries, bem como estimar possíveis valores até julho de 2022. Os modelos que melhor se adequaram às séries históricas foram: $ARIMA(0,1,1)(1,0,0)_{12}$ para o açude Coremas e $ARIMA(1,1,0)(1,0,0)_{12}$ para o açude Mãe D'água. Neste trabalho também foi possível verificar que os níveis de água nos açudes de Coremas e Mãe D'água apresentaram baixos níveis em época de El Niño, vindo a recuperar grande quantidade de

água em épocas de La Niña. Tendo em vista a grande importância da manutenção do volume de água nos reservatórios para atender as demandas hídricas da população, faz-se necessário continuar a investigação com a finalidade de fornecer informações para tomadas de decisão das autoridades competentes que gerenciam tais recursos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da FAPESq, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba e da PRPGP, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Estadual da Paraíba.

Referências

- AESA, Agência Executiva De Gestão Das Águas Do Estado Da Paraíba. (2022). <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>
- Araújo, J. C. de. (2003). Assoreamento em reservatórios do semi-árido: modelagem e validação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8(2), 39-56.
- Barbosa, N. F. M., Stosic, B. D., Stosic, T., Lopes, P. M. O., Moura, G. B. de A. & Melo, J. S. P. (2014). Kernel Smoothing de dados de chuva no Nordeste. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(7), 742-747.
- Bueno, R. de L. da S. (2011). *Econometria das séries temporais*. 2ªed., Cengage Learning.
- Chaves, L. C. G, Moura, W. B., Lima, A. L. & Araújo, M. C. (2022). Influência dos fenômenos El niño /La niña na variação do espelho d'água do Açude Castanhão, no Estado do Ceará. In Oliveira, R. J. de (Coord.), *Recursos hídricos: Gestão, planejamento e técnicas em pesquisa* (Vol. 2). Editora científica digital.
- CPC, Climate Prediction Center (2022), https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- CPTEC/INPE, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2022). <http://enos.cptec.inpe.br/#:~:text=A%20caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20do%20ENOS%20%C3%A9,anomalia%20maior%20que%20%2C5>
- Ehlers, R. S. (2007) *Análise de séries temporais*. 4ªed. <http://www.each.usp.br/rvicente/AnaliseDeSeriesTemporais.pdf>
- Feitosa, G. P.; Araújo, J. C. De & Barros, M. U. G. (2021). Different methods for measuring evaporation in a tropical reservoir: the case of the Gavião reservoir in the state of Ceará. *Revista Caatinga*, 34(2), p.410-421.
- Francisco, P. R. M. & Santos, D. (2017). *Climatologia do Estado da Paraíba* (1ªed.). Editora da Universidade Federal de Campina Grande- EDUFPG.
- Gomes, A. Y. da S. & Willegaignon, H. R. C. F. de. (2021). Efeitos da seca na Região Nordeste do Brasil. *Brazilian Journal of Development*, 7(8), 80608-80618.
- Gujarati, D. N. & Porter, D. C. (2011). *Econometria básica*. (5ªed.). AMGH Editora Ltda.
- Hyndman, R. J. & Khandakar, Y. (2008). Automatic time series forecasting: The forecast package for R. *Journal of Statistical Software*, 27(1), 1–22.
- Lima, C.A.G. (2004). *Análise e Sugestões para diretrizes de uso das disponibilidades hídricas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Piancó, situada no Estado da Paraíba*. [Tese de doutorado, Universidade Federal de Campina Grande]
- Lopes, J. W. B, Araújo Neto, J. R. de & Pinheiro, E. A. R. (2015). Produção de sedimentos e assoreamento em reservatório no semi-árido: o caso do Açude Morengo, Ceará. *Revista Geoambiente* (online), n.24.
- Medeiros, B. M, Aragão, de A., Silvino, G. da S., Medeiros, C. M. & Gondin, S. C. (2019). Avaliação do volume armazenado no açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) no semiárido paraibano. In Pereira, A. I. de A. (Org.) *Agronomia: elo da cadeia produtiva 4*. (vol.4). Editora Atena.
- Medeiros, R. M. de, Saboya, L. M. F., França, M. V. de, Holanda, R. M. de, Cunha Filho, M. & Araújo, W. R. de. (2022). Impactos das anomalias pluviais nas atividades agrícolas em Alagoa Nova e Lagoa Seca – Paraíba, Brasil. *Research, Society and Development*, 11(3), e32311326608.
- Melo, V. da S. & Lima, L. M. (2021) Caracterização da chuva da microrregião de Catolé do Rocha no Estado da Paraíba baseada em estatística aplicada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36(1), 97-106.
- Morettin, P. A. & Toloi, C. M. C. (2006). *Análise de séries temporais*. (2ªed.). Egard Blucher.
- Moura, E. M. de (2007). *Avaliação da disponibilidade hídrica e da demanda hídrica no trecho do Rio Piranhas-Açu entre os açudes Coremas-Mãe D'água e Armando Ribeiro Gonçalves*. [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte]
- Pires, A. P. N. (2019). Estrutura e objetivos da transposição do rio São Francisco: versões de uma mesma história, *Geosp – Espaço e Tempo* (Online), 23(1), 182-197.

Rodrigues, A. C. L., Celeste, A. B., Barbosa, R. L., Curi, W. F. & Curi, R. C. (2009). Influência dos reservatórios a montante do sistema Coremas-Mãe D'água no processo de outorga na bacia hidrográfica do Rio Piancó-PB. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

Sáfadi, T. (2004). Uso de séries temporais na análise de vazão de água na represa de Furnas. *Ciências Agrotec.*, Lavras, 28(1), 142-148.

Santos, C. A., Lima, A. M. M., Farias, M. H. C. S., Aires, U. R. V & Serrão, E. A. O. (2016). Análise estatística da não estacionariedade de séries temporais de vazão máxima anual diária na bacia hidrográfica do Rio Pardo. *Holos*, 32(7).

Santos, E. P. dos (2018). Análise temporal e histórica da distribuição dos reservatórios superficiais no Estado da Paraíba – BR. [Trabalho de conclusão de curso de Graduação, Universidade Federal da Paraíba].