

**Área:** Sustentabilidade | **Tema:** Temas Emergentes em Sustentabilidade

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR HIDRELÉTRICAS NO BRASIL: UMA ANÁLISE SOBRE O  
AUMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO PAÍS**

**HYDROELECTRIC ELECTRICITY GENERATION IN BRAZIL: AN ANALYSIS OF THE INCREASE IN  
ENERGY CONSUMPTION IN THE COUNTRY**

Natália Pedroso Serpa, Rodrigo Schons Arenhart, Stéfane Dias Rodrigues, Gabriela Granzotto Fillipin e

Roselaine Ruviaro Zanini

**RESUMO**

A geração de energia elétrica tem sido fator de grande preocupação para toda a população do Brasil e do mundo. Com o aumento das indústrias e do consumo energético por parte da população, o governo encontrou na energia elétrica gerada por hidrelétricas um caminho para que o país não fique desabastecido deste insumo. A energia gerada por meios hídricos, apesar de ser renovável é extremamente nociva ao meio ambiente, o que faz com que seja necessário investimento em outros meios energéticos menos danosos. Este estudo tem por objetivo determinar a evolução das taxas de energia hidrelétrica frente a conjectura econômica nacional, por meio dos modelos da classe geral ARIMA. O banco de dados foi coletado do portal do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) a partir do mês de janeiro de 1996, coletados com periodicidade mensal até o mês de março de 2019, com 279 observações. O processo gerador da série encontrado foi um auto regressivo de ordem 12, necessitando de uma diferença para tornar a série estacionária, apresentando ainda sazonalidade de lag 12 e o modelo selecionado para representar a série foi o SARIMA(1,1,1)  $\square$  (1,0,1)  $\square$   $\square$  12.

**Palavras-Chave:** Geração de Energia Elétrica; Hidrelétricas; Metodologia Box & Jenkins; ARIMA;

Previsões; SARIMA.

**ABSTRACT**

Electricity generation has been a major concern for the entire population of Brazil and the world. With the increase of industries and energy consumption by the population, the government has found in the electricity generated by hydroelectric dams a way for the country not to be short of this input. The energy generated by water means, although renewable, is extremely harmful to the environment, which requires investment in other less harmful energy resources. This study aims to determine the evolution of hydroelectric energy rates against the national economic conjecture, using the ARIMA general class models. The database was collected from the portal of the National Electric System Operator (ONS) from January 1996, collected monthly until March 2019, with 279 observations. The series generator process found was an order 12 autoregressive, requiring a difference to make the series stationary, still presenting lag 12 seasonality and the selected model to represent the series was the SARIMA (1,1,1)  $\square$  (1.0.1)  $\square$   $\square$  12.

**Keywords:** Electric Power Generation; Hydroelectric; Box & Jenkins Methodology; ARIMA; Forecasts;

SARIMA.

# **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR HIDRELÉTRICAS NO BRASIL: UMA ANÁLISE SOBRE O AUMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO PAÍS**

## **1 INTRODUÇÃO**

A geração de energia a partir de recursos hídricos tem sido evidenciada devido às incertezas acerca das mudanças climáticas, dificultando consideravelmente o planejamento energético (MELO et al.; 2019). A partir disso, prever a quantidade necessária de energia elétrica gerada por hidrelétricas tende a facilitar o desenvolvimento de projetos voltados para a geração de energias renováveis como, por exemplo, a eólica, biomassa e solar. Diversos estudos foram realizados acerca da importância das energias renováveis para a população mundial como o realizado por Mohr et al. (2019) onde foi realizada uma previsão de demanda da energia renovável, advinda de hidrelétricas, necessária para assistir à população da África. Outros autores como Kãki et al. (2019) desenvolveram um processo de intervenção no contexto do planejamento de produção hidrelétrica para estudar as motivações dos gestores e as ramificações de seu comportamento.

Devido aos combustíveis fósseis serem restritos por reservas de energia e questões ambientais, a utilização de fontes de energia renováveis tornou-se inevitável em todo o mundo (WEN et al., 2018). Diante disso, prever a quantidade de energia a ser produzida, bem como a sua demanda por parte da população auxilia os governos e as empresas que atuam na área a criarem políticas para ampliar e diversificar a matriz energética do país. Certos autores abordaram esses temas em seus estudos, como é o caso de uma pesquisa onde foi proposto um novo modo prático de transmissão integrada para um parque eólico (WF) e uma usina hidrelétrica reversível (PSHP). Além disso, foram analisados os erros de previsão para a geração de energia eólica que foram modelados por uma técnica de análise de cenário (SU et al., 2019). Além disso, Chen e Zhong (2019) propuseram um modelo de previsão de potência em escala multi-temporal de usina hidrelétrica baseada na teoria dinâmica da rede bayesiana, onde consideraram a incerteza do influxo do reservatório, preço da eletricidade e taxa de consumo de energia.

Ressalta-se que este estudo pretende contribuir com o setor de geração e distribuição de energia, de modo a apresentar a utilização da metodologia Box-Jenkins para realizar a previsão de uma série de produção de energia hidrelétrica no Brasil, onde se busca agregar conhecimentos e demonstrar a necessidade de investimentos em políticas públicas por parte do governo federal a fim de ampliar a diversificação da matriz energética nacional e incentivar o investimento em novas fontes de energia renovável que sejam menos nocivas ao meio ambiente. Assim, a pesquisa tem por objetivo determinar a evolução das taxas de energia hidrelétrica frente a conjectura econômica nacional, por meio dos modelos da classe geral ARIMA. O estudo traz como relevância a utilização da metodologia Box & Jenkins para realização de previsão a curto prazo para a geração de energia hidrelétrica no Brasil, além de uma análise econômico-social acerca do futuro da matriz energética brasileira.

A pesquisa se apresenta estruturada em seis sessões, onde essa breve introdução compreende a primeira sessão, seguida por uma revisão bibliográfica, contextualizando sobre os tópicos pertinentes ao assunto tratado no estudo. Na terceira sessão está contida a metodologia, onde serão explicadas as etapas de pesquisa. O quinto e sexto tópico são compostos pelos resultados e referências bibliográficas. Na próxima sessão será apresentada a revisão bibliográfica desse artigo.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A fim de se gerar um maior embasamento teórico, pesquisou-se na literatura casos de estudos realizados acerca da matriz energética brasileira, bem como, da geração de energia hidrelétrica renovável. Além disso, foram levantadas pesquisas acerca da utilização da metodologia Box & Jenkins nas mais diversas áreas como pode ser visto nos subtópicos a seguir.

## 2.1 Matriz energética brasileira e a geração de energia hidrelétrica renovável

A crescente demanda por energia elétrica, bem como a preocupação do governo em prover esse recurso para uma parcela maior da população, torna os assuntos relacionados a fontes renováveis de energia cada vez mais relevantes a título de estudo. Essas fontes de energia constituem atualmente 15% da matriz energética global (BERENGUER UNGARO et al., 2019). O Brasil está entre os países que mais utilizam esse tipo de energia no mundo, destacando-se as fontes eólicas, solar, biomassa e hidrelétricas. Apesar de renovável a energia que advém de hidrelétricas não está isenta de impactos ambientais, diante disso, Garcia, Nogueira e Betini (2018) realizaram uma pesquisa sobre a avaliação da viabilidade econômica da energia solar através da utilização de sistemas fotovoltaicos em residências, auxiliando, assim, na redução da demanda por energia proveniente de hidrelétricas. Outro estudo foi desenvolvido por Biernaski e Silva (2018), onde foi realizada uma avaliação das variáveis mais relevantes para a tomada de decisão de políticas públicas que considerem fontes como a biomassa uma alternativa à matriz energética do território brasileiro.

A diversificação da matriz energética do Brasil é de extrema importância para o país, pois torna o acesso mais fácil a esse recurso por parte da população brasileira. Diversas pesquisas científicas foram realizadas sobre a matriz energética do país, dentre elas, avaliou-se, a capacidade de parques eólicos, a qual é o fator que compreende o desempenho de maior relevância atualmente em estudos sobre planejamento energético no que tange à matriz energética. Outro estudo desenvolvido, foi uma análise da geração de energia através do biogás derivado de esterco suínos para um determinado estudo de caso. Em outro foi realizada uma avaliação do potencial energético de materiais genéticos do eucalipto que são utilizados pelo setor de produção de carvão vegetal. E, por fim, foi feita uma avaliação acerca das emissões de gases nocivos à atmosfera evitadas pela utilização da energia eólica (SANTOS; ANTUNES, 2015; BRIGNOL et al.; 2016; MAGALHÃES et al., 2017; RAIMUNDO et al.; 2018).

Contudo, o Brasil possui a maior parte da sua geração de energia baseada nas fontes hidrelétricas, e por isso, entende-se que para uma maior popularização do acesso a esse recurso, é necessário que sejam feitas diversificações na matriz energética nacional. Diante disso, espera-se que sejam investidos maiores recursos em outras fontes renováveis como, por exemplo, solar, eólica e biomassa. Assim, são necessários estudos acerca de projeções futuras sobre a geração hidrelétrica, para que se projetem usinas de energia que gerem as demais fontes renováveis disponíveis no país.

O crescente consumo de energia é uma questão internacional, buscar novas maneiras de produção renováveis e até mesmo melhorar seu desempenho, fornecem subsídios a segurança energética (WU, 2019). Alguns estudos corroboram com esse pensamento, visto que afirmam a existência de uma preocupação de todos os países no investimento de energia renováveis, sendo que os recursos energéticos advindos de combustíveis fósseis podem ser esgotados. Outros autores informam que tais fontes merecem destaque por representarem uma área de crescimento, e, devido o interesse e a necessidade de diversificação da matriz energética (OPAN et al., 2018; RULLO et al., 2019). Nesse sentido, o Brasil passou a frente de alguns países em razão de ocupar uma posição importante no que diz respeito ao sistema energético global, pois ao longo dos anos se tornaram alvos de estudos no país outras gerações de energias

renováveis e a escolha pela fonte de energia como a hidrelétrica foi natural devido ao seu potencial (ROCHA; ANJOS & ANDRADE, 2015).

Neste cenário é possível compreender que o uso de fontes renováveis de energia não é um assunto novo no país. Do mesmo modo que a utilização do potencial hidráulico, que garante o fornecimento de energia elétrica em muitos estados. No Brasil, a matriz energética proveniente da fonte hídrica corresponde a 60,97% (ANEEL, 2019). Em virtude disso, pretende-se apresentar o comportamento médio da série da produção de energia elétrica das hidrelétricas no Brasil e a sua previsão para os próximos 6 meses, por meio de modelos apresentados na metodologia Box & Jenkins.

## 2.2 METODOLOGIA BOX & JENKINS

Os métodos ARIMA e SARIMA foram desenvolvidos por Box & Jenkins. Essa metodologia é empregada a fim de modelar séries temporais com um componente estocástico e quando os valores em cada ponto no tempo dependem de alguns pontos anteriores, as defasagens, pode-se dizer que existem dependências autorregressivas (GOCHEVA-ILIEVA; IVANOV; ILIEV, 2019). Esses métodos podem ser utilizados para modelar séries temporais das mais diversas áreas como, por exemplo, no estudo realizado por Nguyen e Novák (2019), onde os autores se dedicaram ao estudo de um modelo para realizar uma previsão de séries temporais sazonais, onde se utilizou o auxílio das técnicas de transformação Fuzzy e, a partir desse modelo, comparou-se com outros modelos bem conhecidos como ARIMA. Outra pesquisa foi desenvolvida por Berrios-Montero (2019), onde o objetivo foi realizar uma previsão de alta de pacientes de um hospital com o auxílio da metodologia Box & Jenkins.

Mediante o exposto, diversas pesquisas científicas foram realizadas utilizando a metodologia Box & Jenkins, dentre elas está uma investigação utilizando a análise espectral singular (AES), onde este trabalho investigou o efeito no desempenho dos métodos Holt-Winters e Box & Jenkins quando aplicados a uma série de tempo do consumo de eletricidade residencial filtrado por AES. Outro estudo realizado foi uma viabilidade econômica realizada acerca de uma instalação de um sistema de tratamento de suínos, esses valores deram origem a venda de créditos de carbono ou de compensação de energia elétrica nas fazendas de suínos, usando os modelos Box-Jenkins, onde foi descoberto que o biogás é uma opção viável para a situação em questão. Além disso, foram utilizadas, também, séries temporais para prever a demanda fazendo uso de informações sobre pedidos de leitos de UTI, onde foi feita uma previsão de demanda por meio de alisamento exponencial e Box-Jenkins. E, por fim, foi desenvolvido um estudo acerca da carga epidemiológica e econômica da demanda de serviços de saúde devido doenças como diabetes e hipertensão no México através da metodologia de Box & Jenkins (LIMA DE MENEZES; CASTRO SOUZA; MOREIRA PESSANHA, 2015; ROCKENBACH; SOUZA; OLIVEIRA, 2016; ANGELO et al., 2017; ARREDONDO et al., 2018).

Diante disso, destaca-se que a metodologia Box & Jenkins pode ser utilizada nas mais diversas áreas, facilitando a realização de previsões tanto no que tange à geração de energia elétrica quanto aos demais âmbitos que podem vir a ser estudados em pesquisas científicas. No tópico a seguir se apresenta a metodologia da pesquisa, bem como, as fases em que ela se desenvolveu.

## 3 METODOLOGIA

As séries temporais são conceituadas como um conjunto de observações geradas em sequência no tempo, de forma contínua ou discreta de modo que pode ser classificado como linear ou não linear (CORREIA et al., 2018). Por meio da metodologia Box & Jenkins, estuda-

se o modelo SARIMA, utilizado neste estudo, o qual combina modelos não sazonais e componentes sazonais e, especifica-se como, SARIMA (p, d, q) x (P, D, Q)<sub>s</sub> onde as letras p, d e q se referem, respectivamente, às ordens do setor não sazonal autorregressivo (AR), diferenciação não sazonal e médias móveis não sazonal (MA). Enquanto do modelo P, D, Q se referem às ordens da parte sazonal do modelo, onde s é a duração do período onde ocorre a sazonalidade. A componente AR considera os valores que foram observados até um *lag* máximo especificado, mais um termo de erro, ao mesmo tempo que o processo da diferença é tido como uma parte de integração que remove a sazonalidade e a tendência, estabilizando a série. No que tange à componente MA, ela considera termos de erros anteriores, o que torna a previsão mais simples (EBHUOMA; GEBRESLASIE; MAGUBANE, 2018). A equação algébrica para o modelo SARIMA é dada por:

$$\Phi(B^s)\phi(B)\Delta^d\Delta_S^D X_t = \theta_0 + \Theta(B^s)\theta(B)\alpha_t \quad (1)$$

Os fatores não sazonais são dados por:

$$AR: \phi(B) = 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p \quad (2)$$

$$MA: \theta(B) = 1 + \theta_1 B + \dots + \theta_q B^q \quad (3)$$

Enquanto os fatores sazonais são dados por:

$$SAR: \Phi_1(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \dots - \Phi_p B^{ps} \quad (4)$$

$$SMA: \Theta(B^s) = 1 + \Theta_1 B^s + \dots + \Theta_q B^{qs} \quad (5)$$

Onde  $\alpha_t$  = erro aleatório (com média zero e variância constante), B= operador de deslocamento para trás,  $\phi_1$  = coeficiente autorregressivo não sazonal,  $\theta_1$  = coeficiente de médias móveis não sazonal,  $\Phi_1$  = coeficiente autorregressivo sazonal,  $\Theta_1$  = coeficiente de médias móveis sazonal,  $\Delta^d$  = operador diferença,  $\Delta_S^D$  = operador de diferença sazonal, com “D sazonal” = ordem de diferenciação e S = duração do período sazonal.

O método de estudo foi estruturado por fases, sendo que cada etapa é referente ao andamento da pesquisa. Os dados foram coletados do portal Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e correspondem à geração de energia elétrica das hidrelétricas no Brasil. O período de análise tem início em janeiro de 1996 e se encerrou em março de 2019 com 279 observações mensais.

Após foram desenvolvidas as etapas da metodologia Box & Jenkins a qual consiste em propor e ajustar modelos, partindo da análise gráfica da série e na sequência realizando os testes de raízes unitárias *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) e o *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin* (KPSS), auxiliando na identificação da estacionariedade da série pois, para que se possa utilizar a metodologia Box & Jenkins, é necessário que ela seja estacionária (ABU; ISMAIL, 2019). Em seguida, foram realizados os testes para a identificação do melhor modelo pela identificação dos filtros (AR, MA, ARMA, ARIMA, ARFIRMA OU SARIMA) que indicam se a série possui um comportamento autorregressivo, fracionário ou sazonal (Xu et al., 2019) e obteve-se o seguinte modelo genérico: SARIMA (p, d, q) x (P, D, Q)<sub>s</sub>. Além disso, verificou-se o comportamento e os critérios dos parâmetros, p valor, Critério de Informação de Akaike (AIC), Critério Bayesiano de Schwarz (BIC) que são critérios estimadores de qualidade do modelo

matemático penalizando a diferença entre o modelo ideal dos demais (LIMA et al., 2019).

$$AIC = \ln \hat{\sigma}^2 + n \frac{2}{T} \quad (6)$$

$$BIC = \ln \hat{\sigma}^2 + n \frac{\ln T}{T} \quad (7)$$

Onde  $\hat{\sigma}^2$  é a variância do erro, T é o número de observações utilizadas, n é o número de parâmetros estimados.

Também, é feita a análise de ruído branco, este erro é uma fonte de aleatoriedade que possui média igual a zero em todos os períodos e variância constante (SAHA et al., 2019). Após isso, é feito o ajuste do modelo e, por fim, os cálculos da previsão dos modelos, considerando os melhores valores do Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE), índice U-Theil e o Erro Quadrático médio EQM.

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n-1} \left( \frac{z_{t+1} - z_t}{z_t} \right)^2}{\sum_{t=1}^{n-1} \left( \frac{z_{t+1} - z_t}{z_t} \right)^2}} \quad (8)$$

$$MAPE (\%) = \frac{\sum \left( \frac{e_t}{z_t} \right)}{n} \cdot 100 \quad (9)$$

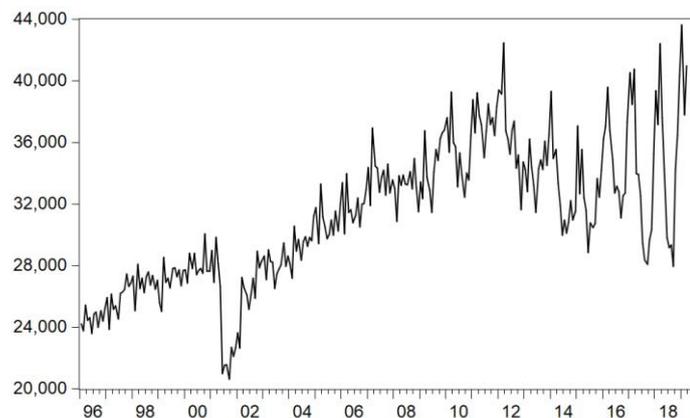
$$EQM = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n} \quad (10)$$

Assim, os métodos citados, anteriormente, servirão para que se encontre a melhor previsão possível para a geração de energia hidrelétrica no país em um curto prazo de seis meses de duração. Na etapa final se realizou a análise dos resultados, apresentação dos dados e do melhor modelo ajustado, assim como um estudo geral a fim de elaborar as conclusões do estudo.

#### 4 RESULTADOS

Na Figura 1 pode-se observar a série temporal mensal da geração de energia elétrica a partir de hidrelétricas no Brasil.

Figura 1 – Geração de energia elétrica (kWh) a partir de hidrelétricas no Brasil



Fonte: autores (2019).

A partir da análise do gráfico, verifica-se a possibilidade de a série temporal não ser estacionária em nível, a partir disso, são feitas as análises das funções FAC e FACP e os testes de raiz unitária para verificar a estacionariedade desta.

No gráfico, nota-se um crescimento da quantidade de energia elétrica gerada pelas hidrelétricas a partir de 2003, quando o programa do governo federal, Luz para Todos, foi inaugurado, levando a energia elétrica para uma grande parcela da população rural do país. Em alguns meses dos anos de 2012 a 2018 se observa, por meio de análise gráfica, maiores picos, indicando maior sazonalidade. Observa-se que, em alguns meses do ano, o consumo aumentou, portanto, a demanda por esse recurso foi maior, ocasionando as elevadas quantidades produzidas nessas épocas específicas. Os resultados das FAC e FACP para a série original são apresentados na Figura 2, corroborando com a análise gráfica, uma vez que a FAC não decai exponencialmente a zero e a FACP sugere um parâmetro autorregressivo.

Figura 2 – Resultados das FAC e FACP para a série original de energia

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.886	0.886	221.18	0.000
		2	0.842	0.269	421.95	0.000
		3	0.750	-0.167	581.73	0.000
		4	0.666	-0.116	708.30	0.000
		5	0.636	0.249	824.02	0.000
		6	0.581	0.009	920.87	0.000
		7	0.613	0.295	1029.0	0.000
		8	0.615	0.082	1138.3	0.000
		9	0.662	0.183	1265.7	0.000
		10	0.710	0.171	1412.8	0.000
		11	0.701	-0.122	1556.6	0.000
		12	0.757	0.267	1724.7	0.000
		13	0.666	-0.430	1855.3	0.000
		14	0.640	0.036	1976.5	0.000
		15	0.580	0.065	2076.3	0.000

Fonte: autores (2019).

Os testes de raiz unitária utilizados no estudo foram o ADF e o KPSS, cujos resultados permitem concluir que a série é não estacionária em nível, com significância de 5%, sendo necessária a realização de uma diferenciação ( $d = 1$ ) a fim de torná-la estacionária. Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos testes de raiz unitária.

Tabela 1 - Resultados dos testes de raiz unitária

	ADF <sup>1</sup>	KPSS <sup>2</sup>
Série em nível	-2,546679	0,274971
Série em 1 <sup>as</sup> diferenças	-4,863604	0,025100

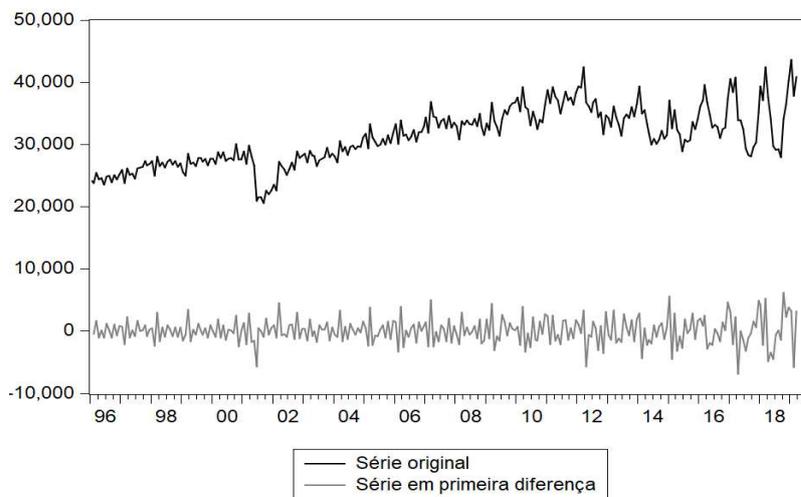
Notas: <sup>1</sup> Valor crítico para significância 5% conforme Mackinnon (1996): -3,426809.

<sup>2</sup> Valor crítico para significância 5% conforme Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992, table I): 0,146000.

Fonte: autores (2019).

Posteriormente, foi gerado um gráfico com o comportamento da série estacionária em primeira diferença, sendo que os dados da série original e em primeira diferença são apresentados na Figura 2.

Figura 3 – Dados da série original e da série em primeira diferença



Fonte: autores (2019).

Os modelos foram ajustados a partir da análise das FAC e FACP, com a aplicação de componentes autorregressivos, médias móveis e componentes sazonais autorregressivos e sazonais com médias móveis, o que pode ser verificado na Tabela 2. A escolha do melhor modelo foi baseada nos menores valores dos critérios penalizadores AIC e BIC e na verificação de resíduos na forma de Ruído Branco (RB).

Tabela 2 - Modelos concorrentes da classe geral ARIMA para a série de geração de energia elétrica a partir de hidrelétricas

Modelo	Parâmetro	AIC	BIC	RB
SARIMA (1,1,1) (1,0,0) <sub>12</sub>	$\phi_1 = 0,835446$	17,27895	17,33115	Sim
	$\theta_1 = -0,986476$			
	$\Phi_{12} = 0,771065$			
SARIMA (1,1,1) (1,0,1) <sub>12</sub>	<b><math>\phi_1 = 0,874641</math></b>	<b>17,10050</b>	<b>17,16575</b>	<b>Sim</b>
	<b><math>\theta_1 = -0,990874</math></b>			
	<b><math>\Theta_{12} = -0,660134</math></b>			
SARIMA (8,0,0) (1,0,1) <sub>12</sub> (0,0,1) <sub>4</sub>	$\phi_1 = -0,188919$	17,10159	17,16683	Sim
	$\Phi_{12} = 0,984240$			
	$\Theta_{12} = -0,115390$			
SARIMA (1,1,0) (1,0,0) <sub>12</sub> (1,0,0) <sub>6</sub>	$\phi_1 = -0,188919$	17,30316	17,35536	Sim
	$\Phi_{12} = 0,984240$			
	$\Theta_{12} = -0,115390$			
	$\Theta_4 = -0,718886$			
	$\phi_1 = -0,107536$			
	$\Phi_{12} = 0,696489$			
	$\Phi_6 = -0,149376$			

Notas: <sup>1</sup> Todos os modelos apresentaram valores de p-value inferior a 5%

Fonte: autores (2019).

O modelo SARIMA (1,1,1) (1,0,1)<sub>12</sub> foi selecionado para representar a série e estimar previsões, uma vez que apresentou os menores valores dos critérios penalizadores AIC e BIC e seus resíduos se comportaram como ruído branco, gerando o modelo mais bem ajustado aos dados coletados. Este modelo apresenta um parâmetro autorregressivo, com uma diferenciação, um parâmetro de médias móveis e ainda, apresenta um *lag* de ordem 12 de sazonalidade no componente autorregressivo e outro *lag* de ordem 12 de sazonalidade no componente de médias móveis.

Os resíduos se apresentam como ruído branco devido à verificação realizada por meio da análise das funções FAC e FACP dos resíduos, onde não há auto correlação evidenciada. Na Figura 4 são apresentados os resíduos do modelo SARIMA (1,1,1) (1,0,1)<sub>12</sub>.

Figura 4 – Resíduos do modelo SARIMA (1,1,1) (1,0,1)<sub>12</sub>

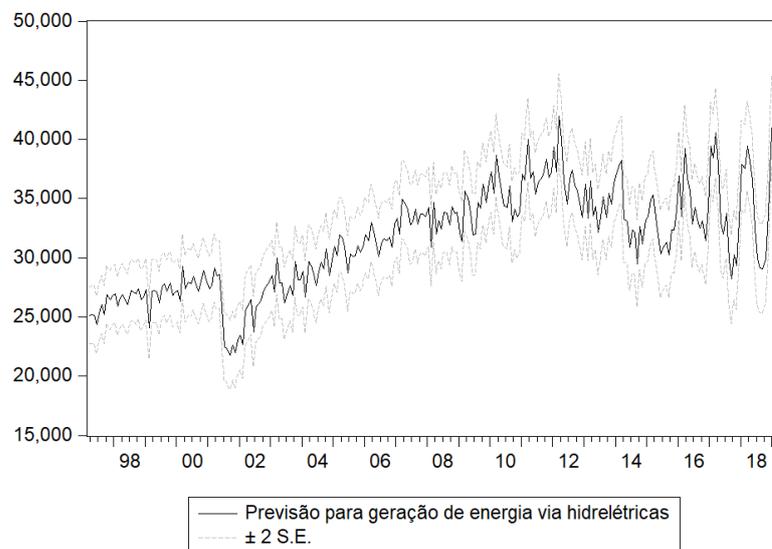
Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.038	0.038	0.4029	
		2 0.055	0.054	1.2546	
		3 -0.016	-0.020	1.3257	
		4 -0.023	-0.025	1.4787	
		5 -0.107	-0.104	4.7375	0.030
		6 -0.049	-0.040	5.4331	0.066
		7 -0.047	-0.034	6.0628	0.109
		8 -0.131	-0.130	11.013	0.026
		9 0.094	0.103	13.596	0.018
		10 0.112	0.109	17.229	0.008
		11 -0.015	-0.049	17.292	0.016
		12 0.047	0.027	17.928	0.022
		13 0.091	0.075	20.372	0.016
		14 0.008	0.008	20.392	0.026
		15 -0.002	0.007	20.393	0.040

Fonte: autores (2019).

Assim, foi realizada a previsão dentro da amostra para verificar o comportamento da série perante os limites de confiança. Na Figura 5 apresenta-se a previsão dentro de amostra da geração de energia elétrica por hidrelétricas no Brasil, onde se observa que a previsão se encontra dentro do intervalo de confiança de 2 desvios padrões.

A fim de confirmar a adequação dos modelos foram calculadas as estatísticas de erros EQM, MAPE e U-Theil. O EQM, que se trata do erro médio elevado ao quadrado, apresentou um resultado de 860,6919. A estatística MAPE, que considera erros em termos percentuais, gerou um resultado de 2,705649, que pode ser considerado um valor de erro pequeno, por se tratar de uma indicação percentual. Já o indicador U-Theil, que apresentou valores de 0 até 1 (valores próximos a zero são considerados melhores), apresentou um resultado de 0,588444, que corresponde a um valor adequado para estimar previsões.

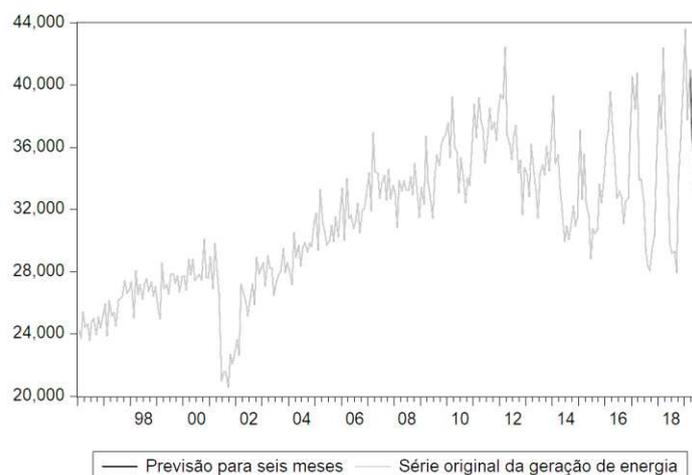
Figura 5 – Previsão dentro da amostra da geração de energia elétrica por meio de hidrelétricas no Brasil



Fonte: autores (2019).

Por fim, foram feitas as previsões para um horizonte de seis períodos a partir de março de 2019, ou seja, até o mês de setembro de 2019. Na Figura 6 apresenta-se a previsão para seis meses a partir do modelo SARIMA (1,1,1) (1,0,1)<sub>12</sub>.

Figura 6 – Previsão para seis meses a partir do modelo SARIMA (1,1,1) (1,0,1)<sub>12</sub>



Fonte: autores (2019).

A previsão da série de produção de energia por hidrelétricas está de acordo com a realidade econômica do país, onde de fato houve um aumento do consumo desse recurso por parte da população. Conforme pode ser observado, na Figura 6, existem constantes picos crescentes, o que demonstra que novos investimentos em outras fontes renováveis de energia elétrica estão sendo feitos por parte dos governantes. E espera-se que, a partir da diversificação da matriz energética brasileira, seja ampliada a disponibilidade desse recurso para uma maior parcela da população e, também, sejam reduzidos os impactos ambientais causados pela operação das hidrelétricas do país no meio ambiente.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo buscou-se realizar uma previsão de curto prazo para a geração de energia hidrelétrica brasileira acerca do que os resultados demonstram. Neste contexto, buscou-se gerar um modelo que melhor captasse o caráter sazonal e repetitivo da série. Mediante isso, o processo gerador da série foi um autorregressivo e de médias móveis de ordem 1, onde foi executada uma diferença a fim de torná-la estacionária, apresentando ainda uma sazonalidade de *lag* 12. Diante disso, esse modelo demonstra que um período de 12 meses se reflete no período corrente da taxa de produção de energia elétrica por hidrelétricas, e a parte sazonal garante que esta série apresentou comportamento repetitivo ao longo dos anos.

As previsões *in sample* foram geradas a partir do modelo ajustado para a série em estudo. Diante do que foi previsto para a série de produção nacional de energia elétrica de hidrelétricas, demonstra-se que a adequação com as situações econômica e política do país, demonstrando-se de acordo com a realidade, com picos crescentes, uma vez que o Brasil busca, em seu cenário atual, diversificar sua matriz energética. Além disso, observa-se também, que ocorreu um crescimento significativo na demanda por energia elétrica o que demonstra uma boa oportunidade para organizações que atuam na área de energias renováveis.

A metodologia utilizada alcançou seu objetivo de captar os movimentos e características da série em estudo, o que demonstrou que ela possui uma influência considerável dos 12 meses que antecedem o período atual e isso tende a se repetir nos intervalos de tempo devido ao caráter sazonal presente na série.

Como limitação para o presente estudo, destaca-se a questão de os pesquisadores não terem encontrado nenhuma base de dados anterior a 1996, impossibilitando uma comparação com períodos anteriores a este, pois seria necessária uma análise mais completa para que se compreenda de forma mais adequada o comportamento da geração e da demanda por energia elétrica no país. Recomenda-se que para pesquisas futuras sejam modeladas as demais séries disponíveis para a produção de energia por meio de outras fontes renováveis, a fim de que se comparem as previsões entre elas e sejam concluídas quais são as melhores alternativas de investimento para o país ampliar e diversificar sua matriz energética.

Como contribuições práticas, essa pesquisa abrange as fases da aplicação da modelagem ARIMA, a qual permite realizar pesquisas que caracterizem e identifiquem fatores importantes no comportamento de séries temporais. Os resultados da previsão da série da taxa de produção de energia elétrica de hidrelétricas demonstram que existe uma tendência de crescimento dessa demanda, o que ressalta a importância do desenvolvimento de políticas públicas voltadas à implementação de novas fontes de energia renováveis que sejam menos nocivas ao meio ambiente que a matriz hidrelétrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU, N.; ISMAIL, Z. A study on private vehicle demand forecasting based on Box-Jenkins method. In: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2019. p. 020005.

ANEEL, 2019. Banco de Informações de Geração. Capacidade de Geração no Brasil. Nacional Agência de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acessado em 28 de junho de 2019.

ANGELO, S. A. et al. Demand forecast and optimal planning of intensive care unit (ICU) capacity. Pesquisa Operacional, v. 37, n. 2, p. 229-245, 2017.

- ARREDONDO, A. et al. Challenges on the epidemiological and economic burden of diabetes and hypertension in Mexico. *Revista de saude publica*, v. 52, p. 23, 2018.
- BERENGUER UNGARO, M. R. et al. Potenciales para la diversificación de la matriz energética del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. *Ingeniería Energética*, v. 40, n. 1, p. 14-19, 2019.
- BERRIOS-MONTERO, R. A. Choice of a Short-term Prediction Model for Patient Discharge Before Noon: A Walk-Through of ARIMA Model. *The health care manager*, v. 38, n. 2, p. 116-123, 2019.
- BIERNASKI, I.; SILVA, C. L. Main Variables of Brazilian Public Policies on Biomass use and Energy. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 61, n. SPE, 2018.
- BRIGNOL, W. et al. Diversification of Brazilian energy matrix by connecting distributed generation sources fuelled by biogas from swine manure. In: 2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC). IEEE, 2016. p. 1-6.
- CHEN, J.; ZHONG, P. A multi-time-scale power prediction model of hydropower station considering multiple uncertainties. *Science of The Total Environment*, v. 677, p. 612-625, 2019.
- CORREIA, F. M. et al. PREDICTING KAPPA NUMBER IN A KRAFT PULP CONTINUOUS DIGESTER: A COMPARISON OF FORECASTING METHODS. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 35, n. 3, p. 1081-1094, 2018.
- EBHUOMA, O.; GEBRESLASIE, M.; MAGUBANE, L. A Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) forecasting model to predict monthly malaria cases in KwaZulu-Natal, South Africa. *South African Medical Journal*, v. 108, n. 7, 2018.
- GARCIA, G.; NOGUEIRA, E. F.; BETINI, R. C. Solar Energy for Residential Use and Its Contribution to the Energy Matrix of the State of Paraná. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 61, n. SPE, 2018.
- GOCHEVA-ILIEVA, S.; IVANOV, A.; ILIEV, I. Exploring key air pollutants and forecasting particulate matter PM10 by a two-step SARIMA approach. In: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2019. p. 020004.
- KÄKI, A. et al. What to Do When Decision-Makers Deviate from Model Recommendations? 2019.
- LIMA, D. A. et al. Stochastic analysis of economic viability of photovoltaic panels installation for big consumers in Brazil. *Electric Power Systems Research*, v. 173, p. 164-172, 2019.
- LIMA DE MENEZES, M.; CASTRO SOUZA, R.; MOREIRA PESSANHA, J. F. Electricity consumption forecasting using singular spectrum analysis. *Dyna*, v. 82, n. 190, p. 138-146, 2015.
- MAGALHÃES, M. A. de et al. ESTIMATES OF MASS AND ENERGY OF DIFFERENT GENETIC MATERIAL EUCALYPTUS. *Revista Árvore*, v. 41, n. 3, 2017.
- MELO, L. B. et al. Impacts of the hydrological potential change on the energy matrix of the Brazilian State of Minas Gerais: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 110, p. 415-422, 2019.

MOHR, L. et al. Spatial hot spots and clusters of bioenergy combined with socio-economic analysis in Switzerland. *Renewable Energy*, 2019.

NGUYEN, L.; NOVÁK, V. Forecasting seasonal time series based on fuzzy techniques. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 361, p. 114-129, 2019.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS), 2019. Banco de dados sobre geração de energia elétrica por hidrelétricas no Brasil. Disponível em: < <http://ons.org.br/>>.

OPAN, M. et al. Optimal energy production from wind and hydroelectric power plants. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, v. 41, n. 18, p. 2219-2232, 2019.

RAIMUNDO, D. R. et al. Evaluation of greenhouse gas emissions avoided by wind generation in the Brazilian energetic matrix: A retroactive analysis and future potential. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 137, p. 270-280, 2018.

ROCHA, G. O. da; ANJOS, J. P. dos; ANDRADE, J. B. de. Energy trends and the water-energy binomium for Brazil. *An. Acad. Bras. Ciênc.* [online]. 2015, vol.87, n.2, pp.569-594. ISSN 0001-3765. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201520140560>.

ROCKENBACH, F. L.; SOUZA, A. M.; OLIVEIRA, J. H. R. de. Economic feasibility of biogas production in swine farms using time series analysis. *Ciência Rural*, v. 46, n. 7, p. 1295-1300, 2016.

RULLO, P. et al. Integration of sizing and energy management based on economic predictive control for standalone hybrid renewable energy systems. *Renewable Energy*, 2019.

SAHA, D. et al. Long-term trend of ventilation coefficient over Delhi and its potential impacts on air quality. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 15, p. 100234, 2019.

SANTOS, N. de Q.; ANTUNES, F. L. M. Proposal for the replacement of hydrothermal power generation for hydro/wind one in the Brazilian power system. In: 2015 IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC). IEEE, 2015. p. 1-6.

SU, C. et al. Optimization model for long-distance integrated transmission of wind farms and pumped-storage hydropower plants. *Applied Energy*, v. 242, p. 285-293, 2019.

WEN, X. et al. Future changes in Yuan River ecohydrology: Individual and cumulative impacts of climates change and cascade hydropower development on runoff and aquatic habitat quality. *Science of the Total Environment*, v. 633, p. 1403-1417, 2018.

WU, W.; MA, X.; ZENG, B.; WANG, Y.; CAI, W. Forecasting short-term renewable energy consumption of China using a novel fractional nonlinear grey Bernoulli model, *Renewable Energy* (2019).

XU, Wenquan et al. A hybrid modelling method for time series forecasting based on a linear regression model and deep learning. *Applied Intelligence*, p. 1-14, 2019.