

PREVISÃO DA DEMANDA ENERGÉTICA NO SUBMERCADO DE ENERGIA SUDESTE/CENTRO-OESTE DO BRASIL

Victor Lourenço Puppo do Poço – victorpoco@hotmail.com

Orlando Yesid Esparza Albarracín – orlando.albarracin@mackenzie.br

RESUMO

O setor elétrico do Brasil passa por diversas dificuldades para planejar e assegurar o fornecimento de energia em atendimento aos atuais aumentos de demanda nacional. Prever o consumo energético é essencial para o gerenciamento da matriz energética. A série temporal de consumo energia elétrica no submercado SE/CO no Brasil no período de janeiro de 2011 a fevereiro de 2020 foi ajustada usando o modelo SARIMA(2 1 0)(1 1 0)₁₂ e feito previsões do consumo energético para todo o ano de 2020. Os resultados obtidos confirmaram que houve uma diminuição significativa do consumo energético nos meses de abril, maio e junho de 2020 comprovando os impactos pela pandemia do Covid-19 e medidas restritivas para evitar a disseminação do vírus. Em seguida foi realizada a previsão do consumo energético de abril a setembro de 2021.

Palavras-chave: Consumo energético. Submercado de energia Sudeste/Centro-Oeste. Covid-19. SARIMA.

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é imprescindível para o desenvolvimento da sociedade atual e um importante indicador da atividade econômica dos países. O consumo de eletricidade está ligado à qualidade de vida da população, uma vez que reflete a utilização de bens e serviços essenciais à sociedade, como o uso de eletrodomésticos, funcionamento das indústrias, hospitais, transporte e educação. Segundo Schmidt e Lima (2014), nas últimas décadas, o consumo de energia elétrica cresceu consideravelmente, impulsionado principalmente pelo bom desempenho e expansão dos setores industrial, comercial e residencial de nosso país.

No Brasil, a maneira de geração de eletricidade mais comum é pela força da água movimentando turbinas, 64,9% da matriz energética brasileira provem de fontes hídricas (SOUSA, 2019). Com isso, existe o represamento da água para definir um desnível e enviá-la às turbinas a fim de fazer a conversão de energia cinética proveniente da água em eletricidade, que será distribuída para o consumo.

O setor elétrico do Brasil passa por diversas dificuldades para planejar e assegurar o fornecimento de energia para atender a possíveis aumentos de demanda nacional. Essas dificuldades são determinadas, bem como pela acentuada crise hídrica, quanto pelo aumento de consumo de energia elétrica, que segue uma tendência mundial (DAZA, 2014). No entanto, no final de 2020, a demanda de energia está registrada com uma queda de 1,57% em todo o mundo, recuo duas vezes maior do que afetou a crise financeira de 2009 (VALINO, 2020).

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), o impacto das políticas tomadas pelos países para combater a pandemia, como por exemplo o *lockdown*, provocou uma redução do consumo de energia elétrica no mundo sem precedentes desde a Grande Depressão. No Brasil, a demanda de energia elétrica também é um dado importante para mensurar o crescimento econômico dada a relevância que esse insumo desempenha na indústria e no comércio. E, como já era esperado, a adoção de medidas restritivas no país devido à atual pandemia de Covid-19 teve um forte impacto sobre esse consumo. Impactado pelas medidas de contenção da Covid-19, o consumo de energia elétrica total, compreende os setores residencial, industrial e comercial, caiu 1,57% no ano. A previsão anterior era crescer 4,2% (IEA, 2020).

A previsão do consumo de eletricidade é imprescindível para os governos nos países em desenvolvimento, pois ela é a base para o planejamento do investimento no setor energético (KAYTEZ *et al.*, 2013). Segundo Siqueira (1987,p.20).

“A energia elétrica, embora possa ser estocada na sua forma primária — sob a forma de energia potencial, na água armazenada nos reservatórios de um sistema hidrelétrico, ou sob a forma do combustível em sistemas termelétricos —, não pode ser armazenada, devendo ser produzida no instante em que é solicitada.”

No presente trabalho será modelada a série Consumo de energia elétrica no Brasil no submercado de energia Sudeste/Centro-oeste (SE/CO), caracterizado por possuir grande participação no setor industrial, possuindo 63,3% das indústrias do Brasil (CNI,2021), por meio dos modelos Autorregressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA), com o objetivo de analisar o impacto do Covid-19 e fazer previsões a médio prazo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O estudo sobre a previsão da demanda energética por meio de séries temporais se iniciou por uma revisão de literatura que têm caráter bibliográfico importante para fornecer este trabalho o embasamento sobre a metodologia utilizada e resultados para a comparação. Em seguida encontram-se os trabalhos que realizaram a previsão da demanda energética com diversas estratégias e que ajudaram a ampliar as escolhas metodológicas e a determinar o modelo matemático mais adequado.

Destaca-se o trabalho de Hoeckel *et al.* (2017), em que os autores estimaram os valores de elasticidades de renda, preço cruzado, preço da demanda de energia elétrica industrial no Brasil e da demanda energética industrial do Brasil utilizando os modelos ARIMA. Com base nos dados da demanda elétrica industrial no país, no período compreendido entre janeiro de 1990 e maio de 2012, retirados do *site* da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Os autores concluíram que a implementação destes modelos conduz bons resultados.

O trabalho desenvolvido por Tidre, Biase e Silva (2013), teve como objetivo prever o consumo mensal de energia elétrica da região Norte do Brasil para atender a sua demanda futura implementando a teoria de Séries temporais. O banco de dados utilizado foi extraído do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), refere-se ao consumo mensal de energia elétrica da região Norte do Brasil, correspondendo ao período de janeiro de 1970 a dezembro de 2010. Para investigar a presença de tendência e/ou periodicidades nos dados, os autores analisaram graficamente a série original e a sua função de autocorrelação, e em seguida, aplicaram os testes de Cox-Stuart e de Fisher para confirmar a existência destas componentes. A metodologia proposta por Box e Jenkins foi implementada ajustando modelos com e sem intervenção. A adequabilidade de cada modelo foi testada por meio do teste de Box-Pierce. Em seguida para selecionar o melhor dentre os modelos ajustados para série em estudo, foram utilizados os seguintes critérios: Critério de Informação de Akaike (AIC), Critério de Informação Bayesiano (BIC) e o Erro Quadrático Médio de Previsão (EQMP). O modelo final escolhido para prever o consumo de energia elétrica da região Norte do Brasil foi o modelo SARIMA (2,1,2)(0,1,1)₁₂, com intervenção. Os autores concluíram que neste modelo sazonal era adequado para prever o consumo de energia elétrica na região Norte do Brasil.

Castro e Montini (2010) modelaram a demanda energética do Brasil, pois segundo os autores é um estudo fundamental para dar suporte às decisões do setor de energia no âmbito técnico, econômico e ambiental. Os dados que foram utilizados para o estudo se originaram de 84 medições mensais realizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de janeiro de 2003 a dezembro de 2009, referentes ao consumo de energia elétrica no mercado cativo no Brasil. Para a realização do modelamento os autores optaram pelo modelo ARX, o qual permite introduzir variáveis explicativas e modelar o resíduo por meio de termos autorregressivos. O modelo selecionado pelos autores apresentou um coeficiente de determinação de 95.4% e os valores previstos pelo modelo acompanharam o comportamento da série original.

Para a escolha do modelo utilizou-se como referência quatro previsões de demanda de energia elétrica feitas por outros autores, que geralmente adotam a metodologia dos modelos

ARIMA. Por meio da análise da função de autocorrelação (FAC) e (FACP), juntamente com o critério AIC e BIC para comparação de adequação aos dados, o modelo ARMA (4,12) indicou os melhores resultados. Finalmente, obteve-se uma equação capaz de prever o consumo de energia elétrica para o mês de junho de 2012. Analogamente para a previsão dos meses subsequentes foi devidamente especificada para cada mês e posteriormente derivada, obtendo previsões com um grau de exatidão média de 97,46%.

A escolha do modelo mais adequado para a previsão da demanda energética é um dos pontos mais importantes do estudo, tema abordado por DANTAS (2019) em sua monografia. Analisando os principais modelos de previsão, sendo eles, autorregressivo (AR), autorregressivo de média móvel (MA), regressão polinomial e Kernel Gaussiano (KDE). Com a finalidade de escolher o que melhor se adapta aos dados de consumo de energia residencial do Brasil. Os dados utilizados no estudo foram retirados do *Dataset AMPds2*, com leituras de potência em Watts (W) feitas a cada um minuto, no período compreendido entre abril de 2012 a março de 2014. Com o fator de potência por horas, obtém-se os dados de consumo. Para avaliar os modelos usaram-se como parâmetros o *R squared* (R^2), o erro absoluto médio (MAE) e o erro quadrático médio (MSE). Conforme resultados obtidos, após análise, foi concluído que o modelo que melhor se adaptou a variabilidade dos dados foi o de regressão polinomial, já que apresentou erros menores ao ser comparado com os demais.

3 METODOLOGIA

Para este trabalho serão utilizados dados do Consumo mensal total de energia elétrica do submercado Sudeste/Centro-Oeste no Brasil fornecidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), companhia responsável por assegurar as estratégias para o desenvolvimento sustentável do setor energético do país. A EPE atua no planejamento do setor energético nacional, conduzindo os estudos e pesquisas que auxiliam na construção de um conjunto de mecanismos e ações que visam à realização de práticas necessárias ao suprimento de energia (EPE, 2021).

A análise da série temporal será realizada usando os modelos paramétricos ARIMA(p , d , q) os quais permitem modelar processos não estacionários homogêneos, isto é, séries com tendências que mudam ao longo do tempo, o parâmetro p representa o número de valores desfasados da série utilizados no ajuste do modelo, q corresponde a valores passados de erros aleatórios os quais são menos intuitivos e por tato difíceis de ser interpretados na prática e finalmente, d indica o número de diferenças necessárias para que a série se torne estacionária (MORETTIN; TOLOI, 1987). O modelo ARIMA é dado pela Expressão (1) abaixo.

$$Z_t = \Delta^d Y_t, \quad (1)$$

$$Z_t = \beta_1 Z_{t-1} + \dots + \beta_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q},$$

em que Y_t representa o valor da série no instante t , $\beta_1, \dots, \beta_p, \theta_1, \dots, \theta_q$ são parâmetros a serem estimados e a_t é um “erro” aleatório (ruído branco). Na prática assume-se que a_t segue uma distribuição Normal com média zero e variância σ^2 .

As etapas consideradas neste trabalho para modelar as séries em questão são: 1. Diferenciar a série temporal quantas vezes for necessário para conseguir uma série estacionária; 2. Identificar o valor de p por meio da função de autocorrelação (ACF) e os critérios AIC e BIC. Vale destacar que neste trabalho não serão considerados os termos de Médias móveis uma vez que não é possível interpretar seus valores; 3. Estimar dos parâmetros por meio da função de verossimilhança condicional usando o software R; 4. Analisar dos resíduos para verificar se toda estrutura de dependência serial contida na série foi corretamente modelada e o suposto de normalidade se cumpre; 5. Fazer previsões usando o modelo final que cumpre os supostos e que apresenta o melhor ajuste segundo os critérios adotados.

Finalmente, os modelos SARIMA propostos por Box, Jenkins e Reinsel (1994) também serão considerados para ajustar um possível comportamento sazonal da série Consumo de energia.

A ferramenta que será utilizada para realizar a modelagem é o software R (R, 2009). O software é um ambiente de cálculos estatísticos muito utilizado, atualmente, por ser de domínio público e código de fonte aberto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

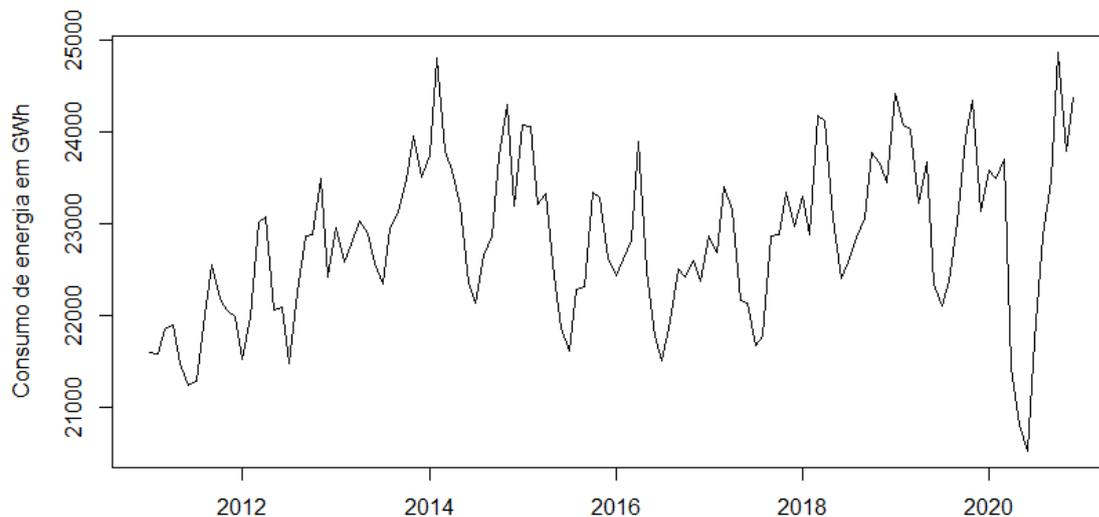
4.1. ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Nesta seção apresenta-se uma análise descritiva do Consumo mensal total de energia elétrica do submercado Sudeste/Centro-Oeste no Brasil (nas análises será referenciada como C_t). A série será analisada no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2020. Os dados, em Giga Watt hora (GWh), foram obtidos no site da EPE (EPE, 2021).

Na Figura 1 apresenta-se a série consumo energético no submercado SE/CO nota-se um comportamento sazonal que se repete a cada 12 meses, apresentando um maior consumo nos meses de julho a novembro e um menor consumo no período de março a julho. No Brasil, segundo Mello *et al.* (2008), esse comportamento pode ser explicado pela temperatura média

diária que a região compreende ao decorrer do ano, em que os períodos mais frios possuem um menor consumo de energia e os mais quentes um maior consumo.

Figura 1 – Consumo total de energia elétrica no submercado Sudeste/Centro-Oeste no Brasil.



Fonte: acervo pessoal (2021).

Observa-se também na Figura 1 que durante o período de 2011 a 2014 houve um crescimento no consumo de energia elétrica, já nos anos de 2014 a 2017 há uma queda que provavelmente está relacionada com a recessão, crise economia brasileira nesse período, em que o PIB caiu 2,2% (OREIRO, 2017). Nos anos de 2018 e 2019 observa-se que o consumo de energia não apresentou aumentos nem quedas aparentemente significativas no período no qual o consumo variou entre 22.101 GWh e 24.426 GWh. Por último, destaca-se uma queda acentuada nos meses de maio e abril de 2020 induzida provavelmente pelas medidas tomadas pelo governo para combater a epidemia causada pelo Covid-19 no Brasil.

Na Tabela 2 abaixo apresenta-se a média, desvio padrão, mediana, valor mínimo e máximo do consumo de energia em GWh do submercado Sudeste/Centro-Oeste por ano.

Tabela 2 –Valores estatísticos dos consumos registrados no submercado SE/CO por ano.

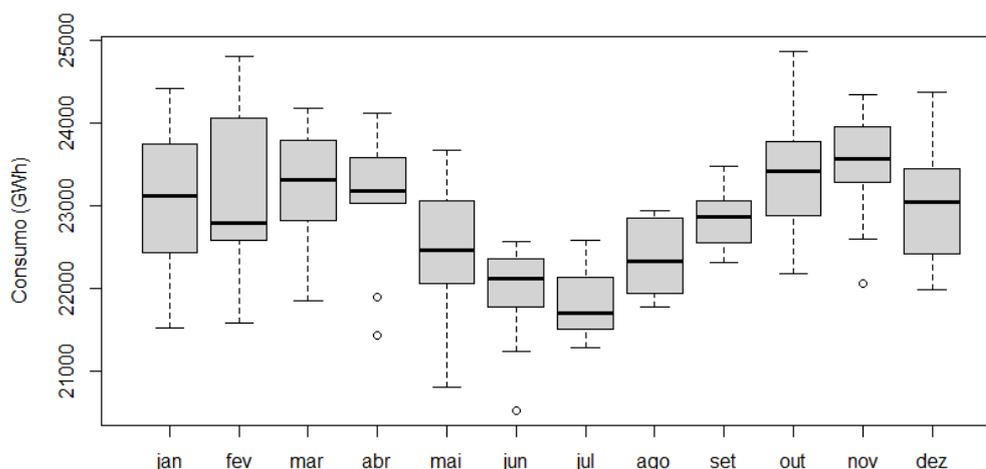
Ano	Média	Desvio Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
2011	21801,08	384,66	21873,59	21242,16	22561,14
2012	22428,79	640,40	22339,01	21470,93	23489,55
2013	23016,83	457,67	22948,64	22344,92	23961,17
2014	23368,07	786,16	23394,59	22131,09	24808,25
2015	22872,58	806,47	22918,83	21611,47	24085,24
2016	22451,33	595,77	22466,00	21512,74	23900,41
2017	22661,03	588,69	22870,00	21663,87	23409,84
2018	23278,16	573,05	23182,08	22407,50	24181,53
2019	23394,51	815,69	23451,20	22101,08	24426,50
2020	22889,32	1422,65	23483,76	20520,39	24874,48

Fonte: acervo pessoal (2021)

Nota-se um crescimento ao longo do tempo do consumo médio de energia no período de 2011 a 2014. Destaca-se que o consumo total no ano de 2014 só foi ultrapassado pelo consumo registrado no ano de 2019 com valores próximos e já reduziu no próximo ano. Finalmente, observa-se uma maior variabilidade no consumo de energia no ano de 2020 registrando-se um consumo mínimo de 20520,39 GWh no mês de maio e um consumo máximo de 24874,48 no mês de outubro.

Na Figura 2 apresenta-se o consumo de energia elétrica segundo o mês, nota-se que há meses com consumos que possuem maior variabilidade como janeiro, fevereiro, março, maio e outubro, o que pode tornar mais dificultoso fazer previsões precisas nestes meses, já nos meses de abril, junho, julho e setembro observam-se consumos mais homogêneos ao longo do período de estudo. Por último, destaca-se que os pontos *outliers* nos meses de abril e junho, que correspondem ao ano de 2020, ressaltando a drástica queda de consumo no período. Nota-se novamente o comportamento sazonal da série.

Figura 2 – *Boxplot* dos consumos de energia elétrica segundo o mês.



Fonte: acervo pessoal (2021).

Para estudar o impacto do Covid-19 no consumo total de energia elétrica no submercado SE/CO registrados em 2020, calculou-se a variação percentual em relação aos consumos de energia elétrica registrados nos meses dos dois anos anteriores. As variações calculadas como:

$$\left(1 - \frac{\text{Consumo no mês } j \text{ do ano } i}{\text{Consumo no mês } j \text{ de 2020}}\right) \times 100\%, \quad i = \{2018, 2019\}, j = \{\text{mar}, \dots, \text{dez}\} \quad (2)$$

são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Variação do consumo de energia de 2020 em relação a 2019 e 2018.

	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	-2,00%	-12,51%	-10,87%	-9,20%	-3,90%	0,06%	1,73%	4,42%	0,58%	3,78%
2019	-1,37%	-8,32%	-13,85%	-8,90%	-1,68%	2,17%	1,93%	3,71%	-2,34%	5,07%

Fonte: acervo pessoal (2021).

Observa-se que nos meses de março a julho de 2020 houve uma diminuição no consumo de energia elétrica, quando comparado com os anos de 2019 e 2018, sendo mais acentuados nos meses de abril a junho, período em que houve o fechamento provisório do comércio no Brasil devido ao Covid-19, sendo esse trimestre caracterizado por possuir o menor PIB do Brasil de 2020, em que houve uma redução de 7,33%, quando comparado com o trimestre anterior (IPEADATA, 2021). Já em agosto observa-se que o consumo de energia elétrica em 2020 foi maior que os dois anos anteriores, no qual se inicia um gradiente de aumento até o final do ano, exceto em novembro, proveniente das decisões de reabertura

tomadas pelo governo brasileiro para a recuperação econômica do país, iniciadas em julho de 2020. Importante destacar que o maior consumo de energia elétrica registrado no submercado SE/CO do Brasil no período de estudo foi em outubro de 2020, com o valor de 24.874 GWh.

4.2. MODELAGEM

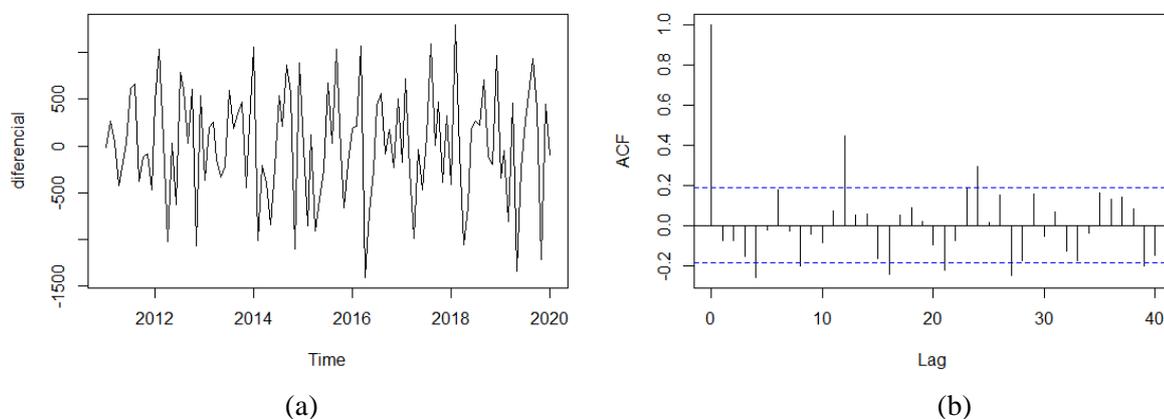
Nesta seção apresenta-se a modelagem da série Consumo de energia elétrica do submercado Sudeste/Centro-Oeste no Brasil, no período de janeiro de 2011 até março de 2021 visando analisar o impacto das restrições durante a pandemia no ano de 2020 e fazer previsões para os próximos 6 meses do ano de 2021 (abril a setembro). Vale destacar que no site do EPE só foram disponibilizados dados até março de 2021.

4.2.1. IMPACTO DO COVID-19 NO CONSUMO ENERGÉTICO DO SUBMERCADO SE/CO.

A série será analisada no período de janeiro de 2011 até fevereiro de 2020, período no qual não houve restrições pela pandemia no Brasil. Para analisar o efeito do Covid-19 no consumo energético do submercado SE/CO serão realizadas previsões do consumo para o restante do ano de 2020 para comparar os valores previstos pelo modelo com os valores efetivamente observados.

Como observado na Figura 1, a série C_t apresenta tendências e sazonalidade. Para eliminar as tendências e tornar a série estacionária, foi realizada uma diferença da série original, isto é, $\Delta C_t = C_t - C_{t-1}$. Na Figura 3, apresenta-se a série diferenciada e sua função de autocorrelação (ACF).

Figura 3. a) Série sem tendência; b) ACF da série sem tendência.



Fonte: acervo pessoal (2021).

Nota-se na função de autocorrelação (Figura à direita) que os *lags* 12 e 24 são significativos, confirmando que a série apresenta um comportamento que se repete a cada 12 meses. Assim, para modelar esse comportamento sazonal, serão considerados também os modelos ARIMA sazonais multiplicativos (SARIMA), propostos por Box, Jenkins e Reinsel (1994). Nestes modelos SARIMA(p d q)(P D Q) $_m$ são considerados P termos e Q erros defasados numa frequência sazonal e D representa número de diferenças sazonais realizadas para modelar o comportamento sazonal da série.

Para escolher o melhor modelo, isto é, os valores de foram consideradas três estratégias, sendo a primeira, o critério de informação de Akaike (AIC), um indicativo referente à qualidade do ajuste do modelo. Em que, segundo Akaike (1974), o modelo melhor modelo é aquele que possuir um menor valor de AIC. A segunda estratégia consiste em utilizar o critério Bayesiano (BIC), proposto por Schwarz (1978). Este o critério é definido como uma estatística que maximiza a probabilidade de se identificar o modelo “verdadeiro” dentre os avaliados. O modelo com menor BIC é considerado o de melhor ajuste. A terceira e última estratégia consistiu em calcular o Erro Quadrático Médio (EQM), conforme a Equação 3 dos valores observados da série no período de setembro de 2019 até fevereiro de 2019 ($C_t, t = 104, \dots, 109$) com os valores previstos para estes meses representados por \hat{C}_t . Para isto, a série foi dividida em duas partes, a primeira parte refere-se aos valores observados da série no período de janeiro de 2011 até agosto de 2019, e a segunda parte será usada para verificar a qualidade do modelo. O modelo com menor EQM é considerado o mais preciso.

$$EQM = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=104} (C_t - \hat{C}_t)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Foi realizada diversas modelagens para a primeira parte da série C_t utilizando os modelos SARIMA($p, d, 0$)($P, D, 0$) $_{12}$ considerando valores de $p = \{0, 1, \dots, 6\}$, $P = \{0, 1, 2\}$, e $D = \{0, 1\}$. A faixa de valores de p e P foi determinada após observar nos ajustes do modelos no R que defasagem maiores não eram significativas. Por fim, o valor de D igual a zero corresponde a não fazer uma diferença sazonal, caso contrário se $D = 1$ a série era diferenciada na frequência 12, isto é, era realizada $\Delta^{12}C_t = C_t - C_{t-12}$.

Nas Tabelas 4, 5 e 6 apresentam-se os cinco “melhores” modelos ranqueados conforme os três critérios descritos anteriormente. Analisando estes modelos selecionou-se o modelo SARIMA(2 1 0)(1 1 0) $_{12}$, uma vez que apresentou os menores valores de AIC, BIC e o segundo menor valor de EQM. Neste modelo observa-se que é necessário fazer uma diferença

da série para eliminar tendências ($d=1$) e uma diferença sazonal ($D=1$) na frequência 12 para modelar o comportamento sazonal da série. Finalmente, $p=2$ indica que a informação do consumo de energia nos tempos $t - 1$ e $t - 2$ é necessária para explicar o comportamento do consumo no instante t e $P=1$ indica que o consumo de energia no instante $t - 12$, isto é, o consumo de energia do mesmo mês do ano anterior traz uma informação significativa para prever o consumo no instante t .

Tabela 4 – *Ranking* EQM.

Modelos	EQM
SARIMA(1 1 0)(2 2 0) ₁₂	320,025
SARIMA(2 1 0)(1 1 0) ₁₂	323,866
SARIMA(3 1 0)(1 1 0) ₁₂	324,316
SARIMA(4 1 0)(1 1 0) ₁₂	330,029
SARIMA(1 1 0)(1 1 0) ₁₂	333,399

Fonte: acervo pessoal (2021).

Tabela 5 – *Ranking* AIC.

Modelos	AIC
SARIMA(2 1 0)(1 1 0) ₁₂	1401,174
SARIMA(5 1 0)(1 1 0) ₁₂	1401,671
SARIMA(2 1 0)(2 1 0) ₁₂	1402,462
SARIMA(3 1 0)(1 1 0) ₁₂	1403,124
SARIMA(6 1 0)(1 1 0) ₁₂	1403,669

Fonte: acervo pessoal (2021).

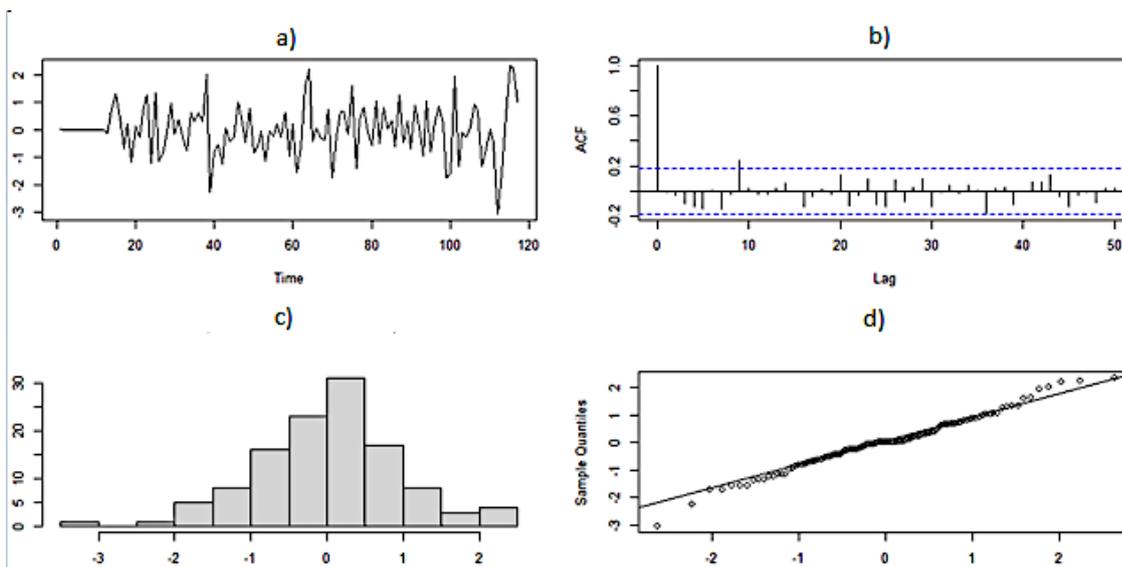
Tabela 6 – *Ranking* BIC.

Modelos	BIC
SARIMA(2 1 0)(1 1 0) ₁₂	1411,217
SARIMA(1 1 0)(1 1 0) ₁₂	1414,433
SARIMA(2 1 0)(2 1 0) ₁₂	1415,017
SARIMA(3 1 0)(1 1 0) ₁₂	1415,678
SARIMA(5 1 0)(1 1 0) ₁₂	1419,247

Fonte: acervo pessoal (2021).

Na Figura 4, apresentam-se os resíduos padronizados, ACF, histograma e *qqplot* dos resíduos, do modelo SARIMA(2 1 0)(1 1 0)₁₂, estes gráficos serão utilizados para analisar o ajuste do modelo.

Figura 4 – a-) resíduos padronizados; b-) ACF dos resíduos; c-) Histograma dos resíduos; d-) QQ-plot normal dos resíduos.



Fonte: acervo pessoal (2021).

Nota-se na figura 4 que os resíduos não apresentam tendências, são independentes e seguem uma distribuição aproximadamente normal. O teste de Shapiro-Wilk cuja hipótese nula é que os dados seguem uma distribuição Normal, confirmou a normalidade dos resíduos (valor-p = 0,6215). Por último, usando o teste Box Ljung não se rejeitou a hipótese nula que os resíduos são independentes (valor-p = 0,9731). Assim, confirma-se que o modelo está bem ajustado. Os parâmetros estimados para modelo SARIMA(2 1 0)(1 1 0)₁₂ são:

Tabela 7 – Estimativas do modelo SARIMA(2 1 0)(1 1 0)₁₂.

Parâmetro	Estimativa	Desvio Padrão	Valor p
AR(1)	-0,4249	0,1004	<0,001
AR(2)	-0,2852	0,1000	<0,001
SAR(1)	-0,4415	0,1011	<0,001

Fonte: acervo pessoal (2021).

O modelo final é dado por:

$$(1 + 0,4249B + 0,2852B^2)(1 + 0,4415B^{12})(1 - B)(1 - B^{12})C_t = a_t,$$

Com $\hat{\sigma}_a = 511,2693$.

Com a confirmação que os resíduos são normais, independentes e estacionários, foi realizada a previsão do consumo energético no submercado SE/CO para os últimos dez meses do ano de 2020 para analisar o impacto do COVID19. Na Tabela 7, apresentam-se os valores

observados e previstos segundo o modelo SARIMA(2 1 0)(1 1 0)₁₂ com os limites dos intervalos de confiança de 95% para as previsões.

Tabela 7 – Previsão da série observado do consumo energético do submercado SE/CO.

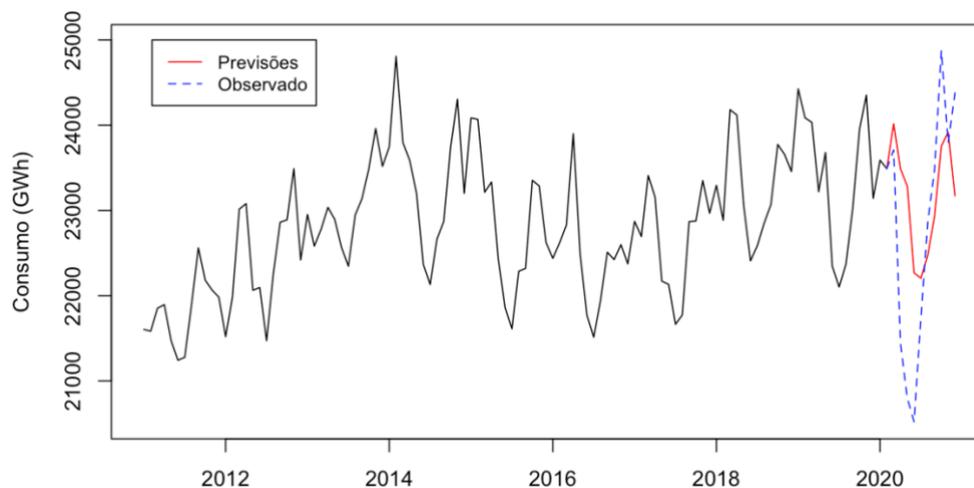
Meses	Valor observado	Valor previsto	LI	LS
Mar	23708,51	24015,09	23019,41	25010,77
Abr	21437,77	23487,05	22329,07	24645,04
Mai	20799,24	23284,67	22037,19	24532,16
Jun	20520,39	22266,91	20867,52	23666,3
Jul	21736,84	22204,48	20680,99	23727,96
Ago	22863,89	22474,75	20849,74	24099,76
Set	23476,55	22931,00	21202,31	24659,7
Out	24874,48	23754,44	21927,63	25581,24
Nov	23795,37	23916,74	21999,13	25834,35
Dez	24378,39	23171,79	21166,67	25176,91

Fonte: acervo pessoal (2021).

Observa-se que nos meses de março e julho a dezembro o consumo de energia elétrica no submercado SE/CO não foi menor do previsto pelo modelo uma vez que os valores observados estão dentro dos limites do intervalo de confiança, já os consumos registrados nos meses de abril a junho de 2020 foram menores do esperado segundo o modelo. Importante destacar que as restrições se iniciaram em março, porém os impactos foram mais relevantes nos meses de abril, maio e junho.

Para melhor visualização dos impactos das restrições no consumo de energia, na Figura 4, apresenta-se a série de consumo e os valores previstos.

Figura 4 – Valores previstos e observados no período de março a dezembro de 2020.



Fonte: acervo pessoal (2021).

Estes resultados estão relacionados principalmente por conta do impacto da pandemia no setor industrial e comercial. Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI) durante o período pandêmico, 91% da indústria brasileira relata impactos negativos e 76% reduziram ou paralisaram sua produção. Grande parte dos comércios foram fechados, em que, somente os estabelecimentos de serviços essenciais puderam continuar seu funcionamento, como, por exemplo, supermercados e farmácias (TELES, 2020).

4.2.1. PREVISÕES PARA O ANO DE 2021.

Para a previsão do consumo energético do submercado SE/CO no ano de 2021, foi modelada a série no período de janeiro de 2011 até março de 2021, o registro do consumo de março de 2021 é o último dado disponibilizado pela EPE. A série foi modelada usando-se a mesma estratégia discutida na subseção anterior. O modelo escolhido foi novamente o SARIMA(2 1 0)(1 1 0)₁₂ que dentre os candidatos, apresentou o menor AIC, EQM e segundo menor BIC. Após a escolha do modelo, foi analisado se os resíduos são normais e independentes. Para isso foram realizados o teste de Shapiro-Wilk e Box-Ljung, respectivamente, confirmando a normalidade dos resíduos (valor-p = 0,2829) e a independência dos resíduos (valor-p = 0,9462). Portanto, o modelo está bem ajustado e adequado para realizar as previsões.

Na tabela abaixo apresenta-se os resultados obtidos da previsão, com os respectivos intervalos de confiança de 95%

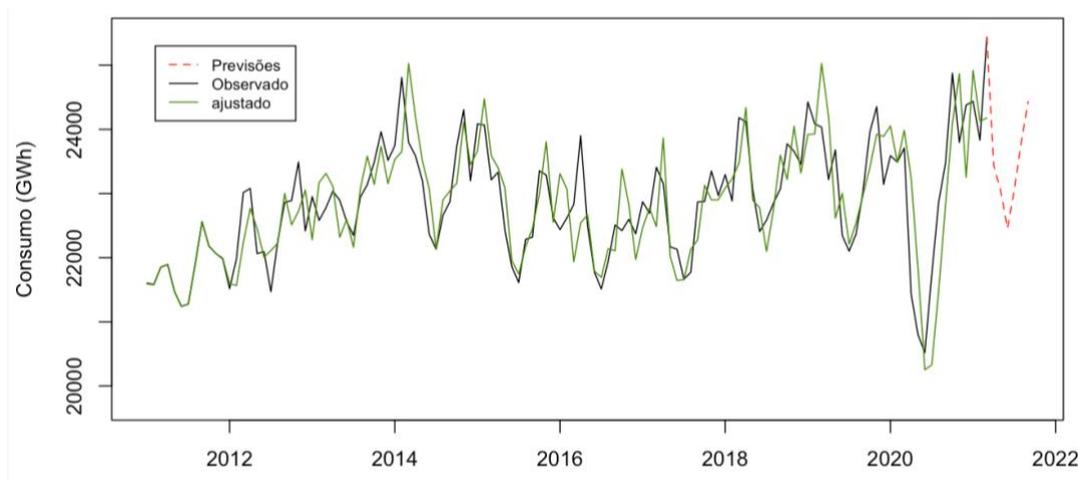
Tabela 8 – Previsão do consumo energético de abril a setembro de 2021 do submercado SE/CO

Meses	Valor Previsto	LI	LS
Abril	23437,71	22260,64	24614,78
Maio	23049,18	21602,62	24495,74
Junho	22456,76	20853,18	24060,34
Julho	23061,80	21267,74	24855,86
Agosto	23795,97	21830,27	25761,67
Setembro	24433,29	22318,39	26548,19

Fonte: acervo pessoal (2021).

Para melhor visualização do ajuste do modelo, na Figura 5, apresenta-se a série de consumo observado junto com a série do modelo escolhido.

Figura 5 – Série modelada e observada do consumo energético do Submercado SE/CO.



Fonte: acervo pessoal (2021).

Nota-se que os valores previstos no período de abril a junho apresentam uma tendência de baixa e no período de julho a setembro uma tendência de alta, seguindo a sazonalidade exposta na Figura 2. Importante destacar que quando comparamos os resultados obtidos com os registrados na mesma época do ano passado, é possível identificar um aumento no consumo de energia elétrica, nesse período espera-se um aumento médio de 6,75% quando comparado com o ano anterior.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Prever o consumo de energia de forma acurada é imprescindível no planejamento da matriz energética, uma vez que o setor de geração de energia elétrica seja subdimensionado devido a uma previsão abaixo do consumo real, além da possibilidade de ocorrer apagões e racionamento de energia, a matriz de geração será composta próxima ou em total capacidade, o que acarretará em um grande número de termelétricas em operação, gerando poluição e elevando o preço da energia. Em contrapartida, caso o setor seja superdimensionado devido a uma previsão acima do consumo real, poderia resultar em uma capacidade ociosa possibilitando desperdícios de recursos financeiros desnecessariamente e afeta a confiabilidade do investimento no setor (CCEE,2021).

Este estudo realizou uma previsão de consumo de energia elétrica no submercado energético SE/CO do Brasil em médio prazo, por meio da utilização dos modelos ARIMA, com o intuito de observar o consumo de energia.

Foi utilizado o critério de AIC, BIC e EQM para selecionar o melhor candidato para modelar o comportamento da série, que foi o SARIMA(2 1 0)(1 1 0)₁₂. Uma análise de resíduos foi realizada confirmando-se o bom ajuste. Após o ajuste do modelo SARIMA,

previram-se os consumos para 2020 e observou-se que o consumo energético do submercado SE/CO apresentou uma queda nos meses de abril, maio e junho não atingindo o consumo esperado em razão da implementação das medidas restritivas para conter o avanço do Covid-19. A previsão feita para 2021 (abril a setembro) mostrou uma rápida recuperação no consumo energético em relação ao ano de 2020.

Para um próximo estudo, pretendo realizar uma projeção do preço de curto prazo (spot) da energia no submercado SE/CO, levando em consideração as projeções de consumos realizadas, dados meteorológicos e análise de mercado.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (IEA). **Global Energy Review**, [2020]. Portal Iea. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>. Acesso em: 08 set. 2020.

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, 1974, AC-19, 716–723.

Box, G.E.P., Jenkins, G. M. and Reinsel, G. C. Time Series Analysis. **Forecasting and Control**. Prentice Hall, Englewood Cliff. 3rd Edition.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). **Portal de aprendizado**. [2021]. Disponível em: <https://capacita.ccee.org.br/>. Acesso em: 08 mar. 2021.

CASTRO, J. B.; MONTINI, A. A. Previsão do consumo residencial de energia elétrica no Brasil: Aplicação do modelo ARX. **Journal Studies Research Journal**, v. 2, n. 2, p. 03-72, São Paulo, 2010.

CNI. **Perfil da Indústria nos Estados**. [2021]. Disponível em: https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/comparativo_estados?c1=ba&c2=sd&c3=co.

DANTAS, L. L. N. **Análise de modelos para previsões de consumo de energia elétrica e seu uso na redução de custos**. Monografia (Bacharel em Ciência da Computação) –

Faculdade de Ciência da Computação, Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária, 2019.

DAZA, E. F. B. **Análise Da Regulação Econômica Do Setor Elétrico Brasileiro**. 2014. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade do Vale dos Sinos, São Leopoldo, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas)**, [2021]. Portal EPE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-mensal-de-energia-eletrica-por-classe-regioes-e-subsistemas>. Acesso em: 15 fev.2021

F. E. R. TELES; A. W. SILVA. Impactos das Medidas Governamentais em Tempos de Pandemia. **VI Seminário Científico Unifacig**. Manhauçu, 2020. Disponível em: <http://www.pensaracademico.unifacig.edu.br/index.php/semiariocientifico/article/view/2290/1837>. Acesso em: 16 mar.2021.

HOECKEL *et al.* Economia Política do Desenvolvimento: **Análise da Demanda de Energia Elétrica no Setor Industrial no Brasil**. Maceió, 2017. v.2 n.19 p.69-93.

IPEADATA. **Base de dados macroeconômicos, financeiros e regionais do Brasil mantida pelo Ipea**. [2021]. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/exibeserie.aspx?serid=38415>. Acesso em: 04 mar.2021.

J. C. C. B. S. Mello *et al.* Estudo não paramétrico da relação entre consumo de energia, renda e temperatura. **IEE Latin America Transactions**. São Paulo, 2008. v.6 n.2 p.153-160.

Kaytez, F., Taplamacioglu, M. C., Cam, E., e Hardalac, F. (2015). Forecasting electricity consumption: a comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, p.431–438.

MORETTIN, Pedro A.; TOLOI, Clélia M. **Séries Temporais: Métodos Quantitativos**. 2. Ed. São Paulo: Atual, 1987.

OREIRO, J. L. A grande recessão brasileira: diagnóstico e uma agenda de política econômica. **Estudos Avançados da Universidade de São Paulo**. São Paulo, v.31 n.89, 2017. Disponível em:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142017000100075&lng=pt&tlng=pt .Acesso em: 02 mar.2021.

R Development Core Team. A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**. Vienna. URL: <http://www.R-project.org>. Accessed in: 12jan.2021.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. M. A demanda por energia elétrica no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**. São Paulo. Revista Brasileira de Economia, 2004, vol.58, n.1 p. 67-98.

SCHWARZ, G. Estimating the dimensional of a model. **Annals of Statistics**, Hayward, 1978. v.6 n.2 p.461-464.

SIQUEIRA *et al.* O setor de energia elétrica no Brasil. **Revista do Serviço Público**. São Paulo. Fundação Centro de Formação do Servidor Público, 1987, ano 43, v.114, p.1-222.

SOUSA, Rafaela. **Fontes renováveis de energia**. [2019]. Disponível em:
<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/fontes-renovaveis-energia.htm> Acesso em: 04 nov. 2020.

TIDRE, P. V.; BIASE, N. G.; SILVA, M. I. S. Utilização dos modelos de séries temporais na previsão do consumo mensal de energia elétrica da região norte do Brasil. **Revista Eletrônica Matemática e Estatística em Foco**. São Paulo, v. 1 n. 1, p. 56-67, 2013.
Disponível em:
<http://www.seer.ufu.br/index.php/matematicaeestatisticaemfoco/article/view/19549>. Acesso em: 30 nov. 2020.

VALINO, M. A. **Setor energético e Covid-19: definindo a estratégia para o ‘novo normal’**, [2020]. Portal Pwc. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/estudos/setores-atividade/energia/2020/setor-energetico-e-covid-19-coronavirus-definindo-a-estrategia-para-o-novo-normal.html>. Acesso em: 12 set. 2020.