

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ECONOMIA**

VICTOR REIS ANDRADE

**MENSURAÇÃO DO IMPACTO DA PANDEMIA DA COVID-19 NO CONSUMO DE
ENERGIA ELÉTRICA NA CLASSE COMERCIAL DO BRASIL**

**JUIZ DE FORA
2023**

VICTOR REIS ANDRADE

**MENSURAÇÃO DO IMPACTO DA PANDEMIA DA COVID-19 NO CONSUMO DE
ENERGIA ELÉTRICA NA CLASSE COMERCIAL DO BRASIL**

Monografia apresentada ao curso de
Ciências Econômicas da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito
parcial à obtenção do título de bacharel
em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Alexandre Zanini

**JUIZ DE FORA
2023**

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Andrade, Victor Reis.

Mensuração do Impacto da Pandemia da COVID-19 no Consumo de Energia Elétrica na Classe Comercial do Brasil / Victor Reis Andrade. -- 2023.

50 p.

Orientador: Alexandre Zanini

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia, 2023.

1. Setor Elétrico brasileiro. 2. Pandemia. 3. Modelo de previsão. I. Zanini, Alexandre, orient. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
REITORIA - FACECON - Depto. de Economia

FACULDADE DE ECONOMIA / UFJF

ATA DE APROVAÇÃO DE MONOGRAFIA II (MONO B)

Na data de 04/07/2023, a Banca Examinadora, composta pelos professores

1 – Alexandre Zanini - orientador; e

2 – Rafael Morais de Souza,

reuniu-se para avaliar a monografia do acadêmico **VICTOR REIS ANDRADE**, intitulada:
MENSURAÇÃO DO IMPACTO DA PANDEMIA DA COVID-19 NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA CLASSE COMERCIAL DO BRASIL.

Após primeira avaliação, resolveu a Banca sugerir alterações ao texto apresentado, conforme relatório sintetizado pelo orientador. A Banca, delegando ao orientador a observância das alterações propostas, resolveu **APROVAR** a referida monografia.

ASSINATURA ELETRÔNICA DOS PROFESSORES AVALIADORES



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Zanini, Professor(a)**, em 05/07/2023, às 09:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Morais de Souza, Professor(a)**, em 05/07/2023, às 19:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1352682** e o código CRC **1DF0404A**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos.

Ao professor Dr. Alexandre Zanini, por ter me dado o privilégio de ser seu orientando, por ser sempre tão solícito, presente e disposto a me apoiar nesta etapa tão significativa da vida acadêmica.

A minha mãe por não me deixar desacreditar que eu era capaz de finalizar este processo, mesmo com diversas dificuldades no meio do caminho.

Aos meus familiares, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

Aos meus colegas de curso, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando.

Aos meus companheiros de trabalho da MRS Logística que me apoiaram em diversos momentos para esta etapa tão importante em minha vida.

Aos docentes e funcionários da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, por toda a atenção e ensinamentos.

RESUMO

Este trabalho de monografia se concentra em examinar o impacto da pandemia da COVID-19 no consumo de energia elétrica na classe comercial do Brasil, utilizando um modelo de análise de séries temporais conhecido como Método de Amortecimento Exponencial (MAE) com análise de eventos. Durante o período de dados analisados, foram realizadas análises para dois eventos específicos: a crise hídrica que ocorreu no início dos anos 2000 e os efeitos da pandemia do Covid-19, que foram mais recentes. Neste estudo, é brevemente descrito o modelo de comercialização do setor elétrico brasileiro, com destaque para o setor comercial consumidor deste bem. Além disso, é expressada a magnitude dos efeitos da pandemia na sociedade, a fim de introduzir os propósitos e justificar a formulação deste trabalho. Por fim, são discorridos os resultados estimados por meio do Método de Amortecimento Exponencial com análise de eventos. Para as previsões futuras, foram construídos três cenários distintos.

Palavras-chave: Modelo de previsão, séries temporais, Setor elétrico brasileiro, pandemia.

ABSTRACT

This monograph work focuses on examining the impact of the COVID-19 pandemic on electricity consumption in the commercial class in Brazil, using a time series analysis model known as the Exponential Damping Method (MAE) with event analysis. During the data period analyzed, analyzes were carried out for two specific events: the water crisis that occurred in the early 2000s and the effects of the Covid-19 pandemic, which were more recent. In this study, the commercialization model of the Brazilian electricity sector is briefly described, with emphasis on the commercial sector that consumes this good. In addition, the magnitude of the effects of the pandemic on society is expressed, in order to introduce the purposes and justify the formulation of this work. Finally, the results estimated using the Exponential Damping Method with event analysis are discussed. For future predictions, three different scenarios were constructed.

Keywords: Forecasting model, time series, Brazilian electricity sector, pandemic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Painel de Consumo de energia elétrica no Brasil entre 2019 e 2021 (em GWh).....	14
Figura 2 - Painel de Consumo de energia elétrica no setor comercial do Brasil entre 2019 e 2020 (em GWh).	17
Figura 3 - Gráfico do Correlograma do Erro - Cenário I.....	36
Figura 4 - Projeção com valores ajustados para consumo de energia elétrica em GWh no setor comercial do Brasil para o biênio 2023-2024 – Cenário I	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo livre de energia por classe em 2020 (GWh).....	16
Tabela 2 - Parâmetros e Hiperparâmetros – Modelo do Cenário I.....	35
Tabela 3 Fatores Sazonais – Cenário I.....	35
Tabela 4 – Desempenho preditivo	36
Tabela 5 - Previsões de Consumo de energia elétrica no setor comercial do Brasil (em GWh) – Intervalo de Confiança de 95% - Cenário I.....	37
Tabela 6 - Parâmetros Hiperparâmetros sem eventos e com eventos.....	38
Tabela 7 – Fatores Sazonais – Cenário II	39
Tabela 8 - Previsões anualizadas para o biênio 2023 e 2024 (em GWh).....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRACEEL	Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia
ACF	Função de Autocorrelação
AES	Applied Energy Systems
AIE	Agência Internacional de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
ENAP	Escola Nacional de Administração Pública
ENEL	Entidade Nacional de Eletricidade
EPE	Empresa de pesquisa energética
GOV	Governo Federal
GWh	Gigawatt-hora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEADATA	Fonte das bases de dados
IRENA	Agência Internacional de Energia Renovável
MAE	Método de Amortecimento Exponencial
MAPE	Mean Absolute Percentual Erro
MG	Minas Gerais
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Setor Elétrico
PIB	Produto Interno Bruto
RJ	Rio de Janeiro
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	11
2.1. IMPACTOS DA PANDEMIA NO SETOR ELÉTRICO.....	15
2.2. PREVISÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	18
3. MÉTODO DE AMORTECIMENTO EXPONENCIAL (MAE).....	21
3.1. DESCRIÇÃO E ATUALIZAÇÃO PARAMÉTRICA.....	21
3.2. EQUAÇÕES DE PREVISÃO.....	29
3.3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS MODELOS DE PREVISÃO.....	30
3.3.1. MAPE (MEAN ABSOLUTE PERCENTUAL ERRO).....	31
3.3.2. COEFICIENTE DE EXPLICAÇÃO AJUSTADO (R^2 AJUSTADO).....	31
3.3.3. TESTES DE HIPÓTESES BASEADOS NA FUNÇÃO DE AUTOCORRELAÇÃO (ACF) DOS RESÍDUOS.....	32
3.3.3.1. PORTMANTEAU OU LJUNG-BOX.....	32
4. ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS.....	34
5. CONCLUSÃO.....	42

1. INTRODUÇÃO

No início de 2020, se instaurava no planeta uma das maiores crises sanitárias já vistas com o surgimento da COVID-19, doença provocada pelo vírus do corona. Tal crise fez com que autoridades globais tomassem atitudes drásticas para tentar amenizar a transmissão do vírus, como bloqueios em massa e considerável redução da mobilidade das pessoas, ocasionando em uma direta frenagem das atividades econômicas e conseqüentemente, do consumo de energia elétrica e todas as vertentes que a envolvem (DELGADO et al, 2020).

Em meio à grande quantidade de impactos e dificuldades que a pandemia da COVID-19 trouxe a milhares de pessoas ao redor do planeta, países subdesenvolvidos que ainda possuem áreas e povoados sem acesso a condições sanitárias básicas acabaram sendo mais afetados. No caso do Brasil, além de todos esses fatos os governantes do país inicialmente negligenciaram a gravidade da pandemia, desdenhando dos seus efeitos, medidas de prevenção e tratamentos cientificamente comprovados, promovendo informações distorcidas ou falsas sobre a doença. Esta postura foi adotada pelo presidente do Brasil e se propagou para outros níveis de governo, em geral, para os alinhados e apoiadores de Jair Bolsonaro. Isso contribuiu para a falta de ações por parte do Ministério da Saúde e para a resistência dos governos subnacionais (estados e municípios) às suas ações e iniciativas no combate à crise pandêmica (CASTILHO et al, 2022).

O consumo de energia elétrica pode ser estudado por variadas classes como, por exemplo, a industrial, residencial e comercial. As classes comercial e industrial foram as mais afetadas pela pandemia devido às medidas de distanciamento social, restrições de funcionamento e meios de mitigação para combater a propagação do vírus (EPE, 2020).

No território brasileiro, a geração e disseminação da energia elétrica são realizadas através do Sistema Interligado Nacional (SIN), o qual é formado pelas estruturas e aparelhos responsáveis por prover o abastecimento de energia elétrica nas distintas áreas do país que estão interconectadas eletricamente (DE ALMEIDA, 2022). Observando o SIN, a queda no consumo de energia elétrica foi mais acentuada nas regiões mais afetadas pela pandemia (áreas mais povoadas) e nas áreas onde as restrições foram mais rigorosas. Além disso, empresas que adotaram

medidas estratégicas como adaptação ao trabalho remoto ou ao comércio eletrônico reduziram seu consumo de energia elétrica de forma significativa. Tais consequências também trouxeram à tona a relevância da resiliência e da adaptação dos setores econômicos em momentos de crise (GOV, 2021).

A mensuração do impacto da pandemia no consumo de energia elétrica na classe comercial do Brasil é importante para que se entenda os efeitos sofridos pelo setor durante esta crise, tal qual para planejar ações futuras de modo a garantir a segurança energética do país em situações adversas e imprevisíveis. Com essa compreensão mais aprofundada, é possível desenvolver estratégias para ajudar a mitigar os efeitos negativos da pandemia na economia e na infraestrutura energética do país (ANEEL, 2020). Esta monografia visa estudar a evolução do consumo de energia elétrica na classe comercial no Brasil, procurando captar os efeitos da pandemia da covid-19.

A utilização da energia elétrica abrange uma ampla variedade de propósitos, tais como suprir as necessidades residenciais, manter o funcionamento do comércio e da indústria, além de prover iluminação pública, entre outras aplicações. O setor elétrico desempenha um papel crucial e estratégico na infraestrutura da economia brasileira, destacando-se pela sua abrangência, uma vez que assegura o bem-estar da sociedade e está presente em todas as etapas produtivas (CASTRO, 2021).

Feitas estas considerações, atenta-se que o presente trabalho está disposto em mais quatro capítulos. No segundo capítulo é retratada a estrutura do setor elétrico brasileiro com ênfase na área comercial, abordando os impactos da pandemia nesta classe em específico. O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada neste trabalho para o modelo de mensuração, o Método de Amortecimento Exponencial (MAE). As análises de dados e resultados são exibidas no quarto capítulo. Por último, no capítulo 5, podem ser vistas as conclusões.

2. SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O ramo energético brasileiro teve seu início na última década do período de domínio imperial no Brasil. Em 1876, após sua visita à Exposição da Filadélfia, Tomas Edson recebeu o convite de Dom Pedro para trazer ao território brasileiro equipamentos e métodos atribuídos à utilização da eletricidade para fins de iluminação. Dessa forma, no Rio de Janeiro em 1879, foi estabelecida a iluminação elétrica interna na estação Central do Brasil, que naquela época era conhecida como Estação Central da Estrada de Ferro Dom Pedro II. A estrutura organizacional desse setor permaneceu com pouca interferência do Estado até o fim da República Velha (1889-1930). A regulação governamental nessa época se limitava a medidas pontuais de concessão e regulamentação de aproveitamentos hidrelétricos e fornecimento de serviços (LIMA, 1995).

Em 1889 entrou em operação a primeira usina hidroelétrica de grande porte no Brasil construída por Bernardo Mascarenhas, a fim de fornecer eletricidade à cidade mineira de Juiz de Fora (CEMIG, 2012).

A introdução da energia elétrica no território brasileiro remonta a 1879, enquanto a produção por meio de usinas só teve início em 1883, com a construção da usina de Diamantina. No entanto, foi somente na década de 1920 que houve um aumento significativo dos investimentos para a distribuição de energia nos centros de indústrias e urbanização. Até os anos 30, os investimentos no setor eram predominantemente de origem estrangeira. Todavia, o Estado assumiu um controle maior sobre a economia após a revolução de 1930, resultando na criação do Código das Águas e do Conselho Nacional de Águas e de Energia Elétrica. A principal fonte de produção de energia elétrica no Brasil era a hidroelétrica, e essa tendência se mantém até os dias atuais. Durante as décadas de 40 e 50, o Brasil passava por uma expansão industrial e urbana significativa, o que impulsionou o desenvolvimento do setor nesse período (LORENZO, 2002).

Após essa arrancada no ramo da eletricidade brasileira, ao longo dos anos foram surgindo diversas companhias e empresas no ramo de energia elétrica, inaugurando várias novas fontes e serviços deste insumo. (ANEEL, 2019).

O considerável avanço do mercado do café no Estado de São Paulo, que perdurou até meados da década de 1930, foi essencial para a formação e consolidação da energia elétrica no país. Tal desenvolvimento do setor cafeeiro

gerava uma série de atividades intercaladas, como ferrovias, assalariamento, expansão urbana, comércio de empregos, e, especialmente, fomentava o surgimento de atividades industriais. O fenômeno da eletrificação crescia e se consolidava nesse processo de evolução. Desse modo, na parte econômica e social, e ainda na questão política, uma vez que ocorreu uma forte interação das forças políticas que representantes das atividades cafeeiras com os membros das concessionárias estrangeiras, o setor elétrico e o modo específico como se propagava no Brasil tornaram-se os meios integrantes da própria natureza e da particularidades do crescimento do capitalismo no país (LORENZO, 1993).

No mercado livre, os consumidores com demanda contratada acima de determinado patamar podem escolher o seu fornecedor de energia elétrica, negociando preços diretamente com os geradores ou comercializadores. A estrutura do setor elétrico no Brasil é composta por várias empresas, órgãos reguladores e modalidades de comercialização, que visam garantir a segurança e a eficiência do fornecimento de energia elétrica para a sociedade. A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) é guiada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e faz parte da governança do Setor Elétrico Brasileiro, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME). A câmara atua ativamente do Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) e possui abundante sinergia com o Operador Nacional do Setor Elétrico (ONS) e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) formando assim, a estrutura do setor elétrico brasileiro (CCEE, 2020).

Na geração de eletricidade, destacam-se as empresas públicas como a Eletrobrás e a Petrobrás, além de diversas empresas privadas, como a Engie, a AES Brasil e a CPFL Energia. Para a distribuição, há as empresas estatais, como a Cemig e a Copel, e também empresas privadas, como a Enel Distribuição e a Energisa. Na transmissão, as principais empresas são a estatal Chesf e a privada Transmissão Paulista, entre outras (GOMES, 2022).

No atual cenário, o Brasil adota um modelo de geração de energia elétrica baseado na liberalização, em que a expansão da capacidade de geração é determinada pelo mercado, com o valor spot sendo a principal forma de remuneração dos investimentos no setor. No entanto, até meados da década de 1990, o modelo adotado era centralizado pelo Estado. A comercialização de energia elétrica é baseada em acordos bilaterais, formulados normalmente no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) ou no Ambiente de Contratação Livre (ACL). Este

último tem se mostrado como uma alternativa promissora para a economia, pois a eletricidade é encarada como outro insumo qualquer presente na cadeia produtiva, sendo um bem de negociação (VIEIRA, 2011).

No Brasil, o setor de energia elétrica apresenta particularidades significativas em relação à composição da matriz energética. Por um lado, uma parcela substancial da geração de energia provém de fontes renováveis, com destaque para a geração hidrelétrica. Em contrapartida, a construção e a manutenção de usinas hidrelétricas acarretam consideráveis custos socioambientais, tornando-se motivo de apreensão para os responsáveis pela formulação de políticas públicas (MENDES, 2014).

Entre as maiores usinas hidrelétricas do país, destacam-se a Usina Hidrelétrica de Itaipu, a Usina Hidrelétrica de Belo Monte e a Usina Hidrelétrica de Jirau. A geração de energia hidrelétrica no Brasil é influenciada por fatores como chuvas, níveis de reservatórios e demanda de energia. Em períodos de seca, por exemplo, a geração de energia hidrelétrica pode ser afetada e o país pode recorrer a outras fontes de energia, como termelétricas e eólicas, para suprir a demanda energética (EPE, 2021).

De acordo com dados do Ministério de Minas e Energia do Brasil, a produção de eletricidade a partir de fontes hidrelétricas no país correspondeu a cerca de 63% do total da matriz energética em 2020. O setor comercial é um dos principais consumidores de energia elétrica no país, juntamente com os setores industrial e residencial (MME, 2020).

O consumo de energia elétrica na classe comercial inclui a eletricidade utilizada em estabelecimentos comerciais, como lojas, escritórios, restaurantes e hotéis, podendo variar de acordo com o tipo de negócio e a atividade desenvolvida, além da quantidade de equipamentos e aparelhos elétricos utilizados. O setor é afetado por fatores como o tamanho do estabelecimento, a natureza do negócio e os horários de funcionamento. Geralmente, empresas com maior porte e que utilizam equipamentos mais complexos tendem a ter um consumo maior de energia elétrica (ANEEL, 2022).

De acordo com a EPE, o consumo de energia elétrica no Brasil apresentou um aumento de 1,5% em 2019 em relação ao ano anterior. Já em 2020, devido aos impactos da pandemia de Covid-19, o consumo de energia elétrica no país teve uma queda de 0,8% em relação a 2019. Se tratando do setor comercial, houve uma

elevação em torno de 0,6% de 2018 para 2019. Em contrapartida, no ano de 2020 o consumo de energia elétrica no setor comercial diminuiu cerca de 3,8% comparado com 2019 por conta das consequências da pandemia da Covid-19 (EPE, 2021).

A Figura 1 do Painel de Monitoramento do Consumo de Eletricidade no Brasil disponibilizado pela EPE, permite visualizar dinamicamente as estatísticas da utilização de energia no país ao longo do tempo, bem como analisar o comportamento do consumo em suas diferentes classes.

Figura 1 - Painel de Consumo de energia elétrica no Brasil entre 2019 e 2021 (em GWh).



Fonte: Painel de Monitoramento do Consumo de Energia Elétrica, EPE 2023.

A suposição de que a pandemia possa impactar o consumo de energia de forma imediata tem consequências diretas no planejamento do crescimento da capacidade de geração e operação de usinas hidrelétricas e termelétricas, que são as principais fontes de energia no Brasil. Isso ocorre devido aos longos prazos de construção das usinas e à necessidade de controlar o esvaziamento dos reservatórios (OLIVEIRA et al., 2010).

A Figura 1 permite notar o considerável declive do consumo de energia elétrica total do país no período de ascensão da covid-19 (junho de 2020), com destaque para a região sudeste do país pelo fato de ser responsável, isoladamente, por metade do consumo do Brasil (EPE, 2021).

2.1. IMPACTOS DA PANDEMIA NO SETOR ELÉTRICO

Segundo dados do IBGE, o PIB brasileiro sofreu uma queda de 4,1% em 2020 em comparação ao ano anterior, o que representa a maior retração desde o início da série histórica em 1996. Este resultado reflete as sequelas da COVID-19, que afetou negativamente setores como comércio, serviços, indústria e turismo devido à farta desaceleração da atividade econômica mundial que foi instaurada na época (IBGE, 2021).

A pandemia da COVID-19 trouxe diversos impactos negativos para o setor elétrico brasileiro. Entre as principais alterações, podemos destacar a queda no consumo de energia e o aumento da inadimplência por parte dos consumidores. Além disso, as distribuidoras também enfrentaram dificuldades financeiras durante esse período. A fim de mitigar esses efeitos, o governo brasileiro e a ANEEL adotaram algumas medidas para garantir a estabilidade das concessionárias e o fornecimento de energia para os consumidores. Foram implementados programas de parcelamento de dívidas, empréstimos para as distribuidoras e ações para estimular a regularização das contas em atraso. O governo também promoveu leilões de energia para garantir a demanda e a sustentabilidade financeira do setor elétrico (ANEEL, 2022).

No âmbito fiscal, diante desse panorama desfavorável fez-se necessário que o governo fornecesse assistência a fim de mitigar a redução do consumo das famílias e evitar o fechamento de empresas, o que, por consequência, preserva os empregos e o nível de renda da população. Assim, os insumos concedidos pelo governo a empresas e famílias resultaram em um aumento nos gastos públicos, o que, por sua vez, elevou a relação da dívida em relação ao Produto Interno Bruto (PIB), ultrapassando, em 2020, a marca inédita de 90% do PIB (LIMA et al, 2020).

A inadimplência elevada é mais um efeito significativo da COVID-19, nesse caso mais evidente no mercado cativo. Em maio de 2020 juntamente ao Tribunal de Contas da União, o Ministério de Minas e Energia enalteceu que o índice de inadimplência no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) passou de seus comuns 3% para 7% em abril, chegando a 12% no final do mesmo mês. A expectativa era de que a reabertura de casas lotéricas e agências bancárias gerassem um papel importante na redução de tal índice, a partir do momento em que uma considerável fração dos consumidores ainda necessitava dessas organizações a fim de realizar o

pagamento das contas de energia. Embora o índice tivesse declinado, a última informação divulgada pelo Boletim de Monitoramento COVID-19 do Ministério indicava um inadimplemento acumulado de 8,2% desde meados de março de 2020, bem acima dos 2,4% apontados no primeiro semestre de 2019 (MME, 2020).

Na classe comercial, a utilização de eletricidade declinou significativamente durante o período de pandemia. De acordo com a Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), em abril de 2020, por exemplo, a variação foi de cerca de 21% a menos em relação a abril de 2019 (ONS, 2020). Em março de 2021, o consumo ainda estava cerca de 6% abaixo dos níveis pré-pandemia. Em contrapartida, como se pode notar na Tabela 1, o consumo residencial aumentou, ou seja, fica evidente a mudança nos padrões de utilização deste insumo no período pandêmico (EPE,2021).

Tabela 1 – Consumo livre de energia por classe em 2020 (GWh)

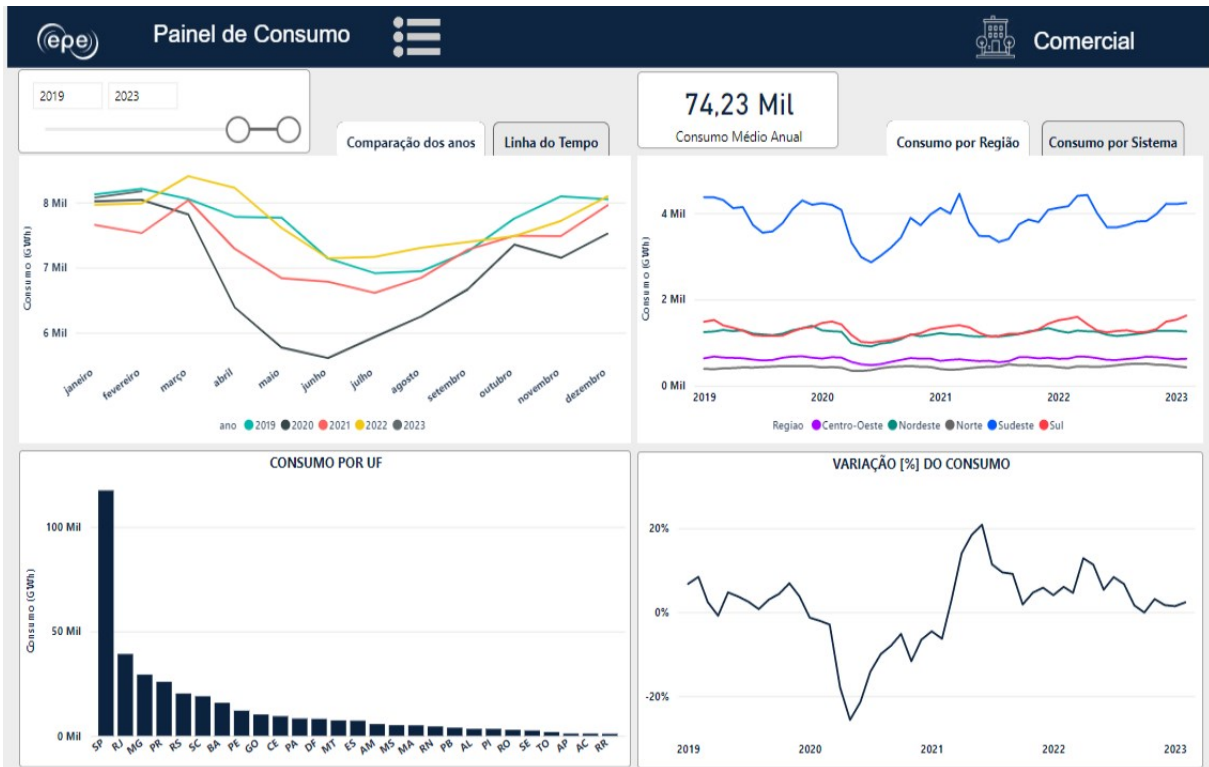
	2020	Variação(%) (2020/2019)	Part.% (2020)
Brasil	475.648	-1,4	100
Residencial	148.173	3,8	31,2
Industrial	166.135	-0,8	35
Comercial	82.500	-10,4	17,3
Rural	30.908	7,1	6,5
Poder Público	12.764	-19	2,7
Iluminação Pública	15.463	-2,4	3,3
Serviço Público	16.345	2,4	3,4
Próprio	3.138	-3,7	0,7

Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica da EPE, 2021.

Tal discrepância de consumo acabou exigindo uma adaptação por parte das distribuidoras, de modo a garantir o fornecimento adequado de energia aos consumidores (EPE, 2021).

Na Figura 2 pode-se perceber o declive da comercialização de energia elétrica no setor comercial durante a pandemia em território brasileiro, se contrapondo em relação a classe residencial que teve uma variação positiva de consumo de 3,8% em relação a 2019, de acordo com a Tabela 1.

Figura 2 - Painel de Consumo de energia elétrica no setor comercial do Brasil entre 2019 e 2020 (em GWh).



Fonte: Painel de Monitoramento do Consumo de Energia Elétrica no setor comercial, EPE 2023.

A Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (ABRACEEL), alega que as principais consequências sofridas pelo setor comercial de eletricidade no Brasil estão ligadas também, além de diversos fatores já mencionados neste trabalho, à constante redução na demanda por este insumo ocasionada pelo fechamento de uma imensa parcela dos estabelecimentos comerciais do país. A pandemia criou uma crise econômica que acabou levando diversas empresas a renegociarem seus contratos de energia, reajustando seus valores e previsão de consumo. Além disso, o declive da necessidade de energia acabou por reduzir os preços da mesma no mercado livre, prejudicando a margem de lucro dos seus comercializadores (ABRACEEL, 2020).

No período pandêmico, houve um aumento no interesse e na conscientização sobre a importância da sustentabilidade e das fontes renováveis de energia elétrica. Algumas empresas aproveitaram esse momento para investir em projetos de energia solar, por exemplo, visando reduzir os custos a longo prazo e melhorar seu caráter ambiental. Conforme o diretor da Agência Internacional de Energia (AIE) Fatih Birol,

as energias renováveis desempenharam o papel de um dos setores mais fortes no combate a essa relevante crise econômica que o planeta enfrentara, gerando variados benefícios em termos de criação de empregos, segurança energética e sustentabilidade. Migrar para as energias renováveis pode ser uma estratégia vital para estimular a recuperação econômica pós pandemia, com proposta e soluções resilientes ao sistema energético mundial (AIE, 2022).

A IRENA (Agência Internacional de Energia Renovável) publicou no relatório "Energia Renovável no Brasil e no Mundo 2021" que o Brasil tem apresentado um crescimento significativo na utilização de energia renovável nos últimos anos. Antes da pandemia, o país já se encontrava em uma trajetória de crescimento no uso de meios renováveis como a solar, eólica e biomassa. Tais fontes têm demonstrado um aumento constante na participação da matriz energética brasileira no período pós pandêmico, com ênfase para a solar (IRENA, 2021).

2.2. PREVISÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A previsão de consumo de energia elétrica por classes no Brasil começou a ser realizada em meados do século XX, em paralelo ao desenvolvimento do setor elétrico do país. No entanto, é importante ressaltar que as técnicas e métodos utilizados para realizar as previsões foram aprimorados ao longo do tempo, conforme avançaram as pesquisas e a disponibilidade de dados mais detalhados. No Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia, é uma das principais instituições responsáveis pela previsão e análise do consumo de energia no país, incluindo por classes (EPE, 2023).

Em 1987 já eram realizados métodos de previsão da demanda de energia elétrica em território brasileiro, no qual a Eletrobrás conduzia as análises para tal e era responsável pelo planejamento em escala regional e nacional, servindo como recursos balizadores no estudo das previsões de mercado das 61 concessionárias existentes na época. O mecanismo de previsão divide o mercado em diversas classes, sendo destacadas principalmente pela industrial, residencial e comercial. Cada uma destas possui uma metodologia e características específicas para a geração dos seus devidos elementos de previsões, com determinadas variáveis a serem aplicadas (ENAP, 1987).

No setor residencial por exemplo, variáveis como o Produto Interno Bruto (PIB), a tarifa real média residencial de energia elétrica e o preço de eletrodomésticos foram destacadas como os principais fatores que influenciam o consumo de eletricidade neste setor do país. Os resultados obtidos por tal estimativa, podem ser utilizados para planejar a oferta de energia ao fornecer informações importantes sobre sua demanda residencial no Brasil. Com base nas previsões geradas, é possível calcular a quantidade de eletricidade que será necessária para atender à demanda futura e, assim, planejar investimentos em infraestrutura e geração de energia elétrica. Além disso, também é possível avaliar a influência de mudanças nos principais agentes que competem a cada classe de consumo, permitindo que sejam tomadas medidas para incentivar o uso consciente e eficiente de energia (OLIVEIRA et al, 2010).

A EPE afirma que, para o planejamento da evolução e alcance da oferta de energia de um país, é necessário reconhecer as demandas energéticas dos seus setores usuários, abrangendo o consumo dos segmentos produtivos e das famílias em relação aos variados serviços de eletricidade necessitados por estes. Na medida que o diagnóstico da atual conjuntura de demanda energética dentre seus diversos grupos de consumo se torna mais preciso, mais incentivos se tem para a formulação de um desenvolvimento energético cada vez mais direcionado às verdadeiras necessidades da sociedade, incluindo indicações e ações de políticas públicas melhor conduzidas (EPE, 2023).

Portanto, é pertinente empregar abordagens e técnicas estatísticas na análise dos dados desse setor, não apenas com o intuito de identificar padrões de comportamento ao longo do tempo, mas também para realizar projeções de valores futuros (TIDRE et al, 2013).

Neste sentido, pode-se citar alguns trabalhos recentes que fizeram este tipo de abordagem como OLIVEIRA (2022), SILVA (2022), VITOR (2021), SAMPAIO (2021), RUZZA (2021), SANTOS JUNIOR (2021), SOUZA (2019), MIRANDA (2019), CHAIN (2019), FARIA (2019), NETO (2019), TAVARES (2018), PEREIRA (2018), FERREIRA (2018), MENDES JUNIOR (2018), MATTOS (2017), ASSIS (2017), CÂNDIDO (2017).

Apresentadas algumas características gerais do Setor Elétrico Brasileiro, abordando o impacto da pandemia para o consumo de energia elétrica, no próximo

capítulo é apresentada a metodologia que será estudada e aplicada para que se atinja o objetivo principal desta monografia que consiste em estudar a evolução do consumo de energia elétrica na classe comercial, mensurando o impacto da pandemia da covid-19 nesta classe específica que, com visto, é uma das principais classes de consumo.

MÉTODO DE AMORTECIMENTO EXPONENCIAL (MAE)

A metodologia adotada nesse trabalho consiste na análise de séries temporais. Será utilizado o Método de Amortecimento Exponencial (MAE) sobre a série de dados do consumo de energia elétrica na classe Comercial. Este capítulo tem como base Zanini (2023).

2.3. DESCRIÇÃO E ATUALIZAÇÃO PARAMÉTRICA

Segundo Zanini (2023), uma série temporal pode ser definida como um conjunto de observações de uma dada variável, ordenadas segundo o parâmetro de tempo, geralmente em intervalos equidistantes, e que apresentam uma “dependência serial” (correlação) entre eles. O objetivo da análise, então, é estimar uma equação matemática que expresse a correlação dos dados históricos de forma que se possa projetá-los para um horizonte futuro.

Feitas estas considerações, salienta-se que uma breve descrição do método de amortecimento exponencial será feita a partir deste momento. Para este fim, imagine-se que o conjunto de observações Z_1, Z_2, \dots, Z_T seja uma série temporal de tamanho “T”.

Considera-se agora que esta série represente um produto de determinada empresa cuja demanda mensal não apresenta uma variação significativa no seu nível ao longo do tempo, ou seja, não ocorrem mudanças no nível de venda com o tempo ou, se ocorre, são variações pouco significativas. Então, para este produto, a equação de previsão pode ser representada por:

$$Z_t = a(T) + \varepsilon_t \quad (1)$$

Onde:

Z_t = venda no período t ($t = 1, 2, \dots, T$);

$a(T)$ = parâmetro representativo do nível médio das vendas no instante T ;

ε_t = erro de previsão e $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

É importante observar que, dada as características deste produto (nível de venda mais ou menos constante), a estimativa ($\hat{a}(T)$) para o parâmetro “a” na equação (1) fornece exatamente uma previsão para o produto em questão.

Sendo assim, salienta-se que este parâmetro pode ser estimado de diversas maneiras possíveis. Dentro de uma lógica “autoprojetiva”, poder-se-ia estimá-lo, por exemplo, através do modelo ingênuo (ou naive) e que utiliza como predictor o último dado conforme indicado pela equação (2) abaixo:

$$\hat{Z}_T(\tau) = Z_T \quad (2)$$

Onde:

$\hat{Z}_T(\tau)$: previsão para Z_T , τ passos-à-frente (ou previsão de $Z_{T+\tau}$ feita no instante T);

Z_T : último dado disponível;

τ : horizonte de previsão;

Outras maneiras poderiam também ser utilizadas para estimar o parâmetro “a” na equação (1). Poderiam ser utilizadas uma média ou uma média móvel dos dados históricos (equações (3) e (4) respectivamente).

$$\hat{a}(T) = \bar{Z}_T = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T Z_i \quad (3)$$

$$\hat{a}(T) = MM(N) = M_T = \frac{Z_T + Z_{T-1} + Z_{T-2} + \dots + Z_{T-N+1}}{N} \quad (4)^1$$

Onde:

$MM(N)$: média móvel de tamanho N .

¹ É fácil verificar que $M_T = M_{T-1} + \frac{Z_T - Z_{T-N}}{N}$.

É importante observar que, tanto na média quanto na média móvel, existe uma desvantagem que diz respeito ao fato de que todos os dados entram com o mesmo “peso”, ou seja, $1/N$. O método de amortecimento exponencial vem suprir esta “deficiência”, ou seja, neste método, é possível dar pesos diferenciados de acordo com a “idade” da informação. A seguir é desenvolvida esta ideia.

O objetivo consiste em montar um “sistema” o qual possa reestimar os parâmetros do modelo a cada período de tempo incorporando a informação mais recente. Sabe-se que, ao final do período T , tem-se duas informações básicas disponíveis:

- 1 - A estimativa de “a” feita no final do período anterior $\hat{a}(T-1)$;
- 2 - O último dado disponível $Z(T)$;

Desta forma, o que se quer é utilizar estas informações para calcular uma estimativa atualizada do nível de venda: $\hat{a}(T)$. A proposta para a solução do sistema é fazer uma modificação na estimativa velha ($\hat{a}(T-1)$) do nível por uma fração do erro de previsão resultante do uso desta estimativa para o dado mais recente. Sabendo que o erro de previsão no último período pode ser definido como $\varepsilon(T) = Z(T) - \hat{a}(T-1)$, a formulação matemática para esta proposta está representada na equação abaixo:

$$\hat{a}(T) = \hat{a}(T-1) + \alpha[Z(T) - \hat{a}(T-1)] \quad (5)$$

$$\hat{a}(T) = \alpha Z(T) + (1 - \alpha)\hat{a}(T-1) \quad (6)$$

Para simplificar a notação, define-se que $\hat{a}(T) \equiv ST$. Desta forma, reescrevendo a equação (6) acima tem-se que:

$$ST = \alpha ZT + (1 - \alpha)ST-1 \quad (7)^2$$

² A equação (7) é também conhecida como Modelo de Brown.

Onde:

ST = valor amortecido da série;

α = constante de amortecimento ou hiperparâmetro (número entre 0 e 1).

Ressalta-se que esta formulação (7) indica a ideia básica do método de amortecimento exponencial e indica que para se fazer uma atualização automática do parâmetro “a”, que representa o nível de vendas na equação (1), será feita uma combinação convexa³³, onde é dado um peso α para o “presente” (último dado) e um peso $(1 - \alpha)$ para o “passado” (estimativa anterior para o nível e que pode ser obtida de várias formas como, por exemplo, uma média, uma média móvel, dentre outras)⁴.

Em síntese, no método de amortecimento exponencial é possível dar pesos diferenciados para a “idade” da informação. Isto é, para séries mais “nervosas” (maior variância) pode se dar um peso maior para informações mais recentes, ao passo que para séries mais “comportadas” (menor variância) pode se ponderar de forma igual tanto dados presentes quanto dados passados. Uma extensão deste modelo pode ser feita quando se inclui parâmetros de tendência e sazonalidade para modelar o comportamento de determinada série temporal. Obviamente, são elaborados também procedimentos de atualização destes parâmetros, mas sempre conservando a ideia de dar pesos diferenciados para “presente” e “passado”, ou seja, fazendo-se:

$$\alpha * \text{Presente} + (1 - \alpha) * \text{Passado}$$

Como dito anteriormente, a equação (1) pode ser utilizada para modelar o comportamento de uma série que apresente um comportamento mais ou menos

³ A soma é igual a 1.

⁴ Para mais detalhes, ver MONTGOMERY & JOHNSON (1990). Como um exemplo, imagine que se esteja trabalhando com dados mensais no período de janeiro de 2001 a dezembro de 2005. Neste caso, a equação (3.6) informa que a atualização do parâmetro de nível (portanto a previsão para o dado de janeiro de 2006, dado que o modelo para as vendas é constante) será feita dando-se um peso α para o dado de dezembro e um peso $(1 - \alpha)$ para a última estimativa feita para o dado de dezembro de 2005 (feita obviamente em novembro de 2005).

constante, ou seja, sem grandes variações no nível. Entretanto, este modelo torna-se inadequado na presença de alterações do nível da série, ou seja, na presença de um componente de tendência.

Para uma série que apresente oscilações no nível com o tempo, atenta-se que um modelo mais adequado é aquele representado na equação (8) a seguir⁵:

$$Z_t = (a_1(T) + a_2(T) * t) + \varepsilon_t \quad (8)$$

Onde:

$a_1(T)$: parâmetro de nível no instante T;

$a_2(T)$: parâmetro de tendência no instante T;

t: variável tempo (t = 1, 2, ..., T sendo T é a quantidade de dados existentes);

ε_t é o erro de previsão e $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

É importante salientar que um sistema de atualização paramétrica similar ao evidenciado na equação (7) será aplicado sobre os parâmetros da equação (8). Este modelo é conhecido como Modelo de Holt-2Parâmetros. A atualização dos parâmetros pode ser feita de acordo com as equações (9) e (10) a seguir:

$$\hat{a}_1(T) = \alpha * Z_T + (1 - \alpha) * \left[\hat{a}_1(T-1) + \hat{a}_2(T-1) \right] \quad (9)$$

$$\hat{a}_2(T) = \beta * \left[\hat{a}_1(T) - \hat{a}_1(T-1) \right] + (1 - \beta) * \left[\hat{a}_2(T-1) \right] \quad (10)$$

Pode-se observar que as equações acima contêm a mesma ideia de se ponderar “presente” e “passado” para se fazer a atualização dos parâmetros. Entretanto, vê-se que são usadas duas constantes de amortecimento (α e β), uma para o parâmetro de nível (a_1) e outra para o parâmetro de tendência (a_2).

⁵ Verifique que, diferentemente da equação (1), existem agora dois parâmetros e por isto é feita a diferença entre a_1 e a_2 .

Na equação (9), observa-se que a atualização do parâmetro de nível é feita dando um peso α para o dado real mais recente e um peso $(1 - \alpha)$ para a última estimativa feita para o nível que é composta por: $\hat{\alpha}_1(T-1)$, estimativa feita para o nível no instante anterior $(T-1)$, mais $\hat{\alpha}_2(T-1)$, que é a estimativa feita para a tendência também no instante anterior $(T-1)$. Ora, “nível mais tendência (taxa de crescimento)” dá exatamente uma estimativa de um novo nível, sendo que $(T-1)$ indica que este cálculo foi feito no instante anterior. Em resumo, na atualização do parâmetro de nível, dá-se um peso para o último dado (que fornece uma representação real e atualizada, portanto, “presente ou recente” para o nível) e um outro peso para um valor estimado para este nível quando se estava no momento anterior (portanto, “passado”).

Já na equação (10), atualização do parâmetro de tendência, vê-se que é dado um peso β para a diferença entre a nova estimativa do nível (calculada na equação 9) e a última estimativa do nível (feita no instante anterior $T-1$). Ora, variação de nível é exatamente o que caracteriza um componente de tendência ou taxa de crescimento. Se é dado um peso β para esta estimativa “presente” do parâmetro de tendência, é dado um peso $(1 - \beta)$ para a última estimativa da tendência feita no instante anterior $(T-1)$.

Percebe-se que, como o objetivo proposto visa desenvolver um modelo autoprojeto ou univariado, é necessário que todos os “fatores” componentes de uma série sejam estimados ou “modelados”. Até o presente momento, foi possível abordar a estimativa de dois parâmetros (nível e tendência). Entretanto, imagine-se ainda que possa existir um certo comportamento periódico das vendas, ou seja, dependendo da época do ano, existe um incremento ou decréscimo nas vendas. Em séries temporais, este comportamento é o que se denomina exatamente por “sazonalidade”, ou seja, um movimento periódico (cíclico) da série no decorrer do tempo. O que se quer dizer é que a série de vendas do produto em questão pode ainda apresentar um comportamento sazonal, ou seja, uma “influência” provocada por determinados períodos do ano sobre seu nível (incluindo obviamente a variação deste nível). Neste caso, o modelo mais adequado pode⁶ ser o expresso na equação (11):

⁶ É dito “pode”, pois, a equação apresenta uma sazonalidade multiplicativa, entretanto, pode-se encontrar também uma sazonalidade aditiva.

$$Z_t = (a_1(T) + a_2(T) * t) * \rho_t + \varepsilon_t \quad (11)$$

$a_1(T)$: parâmetro de nível no instante T;

$a_2(T)$: parâmetro de tendência no instante T;

t: variável tempo (t = 1, 2, ..., T sendo T é a quantidade de dados existentes);

ρ_t : fator sazonal referente ao período t;

ε_t é o erro de previsão e $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

Este modelo é conhecido como Modelo de Holt-Winters. Pode-se observar que na equação (11) foi incluído um novo parâmetro para “captar” o efeito da sazonalidade sobre as vendas⁷. Atenta-se que um procedimento de atualização paramétrica similar ao expresso na equação (7) será utilizado para atualizar sequencialmente os parâmetros deste modelo. Este procedimento pode ser visualizado nas equações (12) a (14) a seguir:

$$\hat{a}_1(T) = \alpha * \frac{Z_T}{\hat{\rho}_t(T \square 1)} + (1 \square \alpha) * \left[\hat{a}_1(T \square 1) + \hat{a}_2(T \square 1) \right] \quad (12)^8$$

$$\hat{a}_2(T) = \beta * \left[\hat{a}_1(T) \square \hat{a}_1(T \square 1) \right] + (1 \square \beta) * \left[\hat{a}_2(T \square 1) \right] \quad (13)^9$$

⁷ Existem uma restrição de normalização que faz com que $\sum_{i=1}^L \rho_i = L$, onde L é o comprimento do período sazonal. Isto é, caso se esteja trabalhando com dados mensais e um parâmetro de sazonalidade multiplicativo, a soma dos fatores sazonais precisa ser igual a 12 (obviamente pois existem 12 meses em um ano).

⁸ Onde $\hat{\rho}_t$ é o fator sazonal correspondente ao período (mês, trimestre, etc) t.

⁹ Trata-se da mesma equação (10).

$$\hat{\rho}_t(T) = \gamma * \frac{Z_T}{\hat{a}_1(T)} + (1 - \gamma) * \left[\hat{\rho}_t(T - 1) \right] \quad (14)$$

Pela equação (12) acima, vê-se que o nível estimado é função da última observação, do fator sazonal estimado no instante anterior (mesmo mês do ano anterior) e estimativas anteriores do nível e tendência. Vê-se que o termo $\frac{Z_T}{\hat{a}_1(T)}$ representa a observação no instante T dessazonalizada. Já pela equação (13), observa-se que a taxa de crescimento (tendência) estimada é função dos níveis estimados em T e T-1 e da taxa de crescimento estimada anteriormente¹⁰. Por fim, pela equação (14), vê-se novamente a ideia básica do método de amortecimento exponencial de atualizar os parâmetros do modelo atribuindo pesos diferenciados à “idade da informação”, ou seja, ponderando “presente” e “passado” de forma diferenciada. Esta equação indica que o fator sazonal correspondente ao período T é função do fator sazonal correspondente ao mesmo período no ano anterior e também da última observação. Logo, observa-se que o fator sazonal correspondente a um certo “mês”, por exemplo, só é atualizado uma vez por ano, ao se receber o dado referente àquele “mês”. Pode-se observar também que existem três constantes de amortecimento (α , β e γ), uma para cada parâmetro (nível, tendência e sazonalidade) a ser atualizado.

Conforme apresentado por Zanini (2023), é importante ressaltar que existem procedimentos de otimização implementados nos softwares que permitem a determinação dos valores destas. Importante registrar, também, que existe apenas um valor para cada uma das constantes de amortecimento e este valor é encontrado utilizando o histórico de dados sob análise. Portanto, a constante de amortecimento pode ser definida como uma quantidade fixa que é utilizada para fazer a atualização sequencial dos parâmetros. Este conceito caracteriza o modelo obtido através do método de amortecimento exponencial como um modelo com “validade local”, ou seja, a cada instante de tempo, a cada dado real que chega, é feita uma atualização dos parâmetros do modelo com base nas equações descritas anteriormente, sendo

¹⁰ Como visto anteriormente, a constante de amortecimento (β) é diferente daquela (α) usada para atualização do nível.

que os fatores responsáveis por esta atualização são exatamente as constantes de amortecimento ou hiperparâmetros.

Em determinadas situações, faz-se mister intervir nos valores projetados por um modelo do tipo Holt (equação 8). No modelo de Holt, vê-se que são estimados dois parâmetros, um para o nível e outro para a tendência. Dependendo da “magnitude” do parâmetro de tendência, pode-se gerar previsões “explosivas” (muito altas) no horizonte de previsão. Uma maneira de se corrigir este problema, é realizar o que se denomina de damped trend. Neste procedimento, inclui-se mais um hiperparâmetro no modelo conforme a equação 15 a seguir. Esta equação já representa a equação de previsão. Vê-se que a função deste hiperparâmetro é reduzir a tendência no horizonte de previsão.

$$Z_t = \hat{a}_1(T) + \sum_{j=1}^{\tau} \phi^{j-1} * \hat{a}_2(T) * \tau + \varepsilon_t \quad (15)$$

2.4. EQUAÇÕES DE PREVISÃO

De acordo com Zanini (2023), é importante entender que, na seção anterior, foram apresentados os modelos de amortecimento exponencial e as consequentes equações de atualização paramétrica. Desta forma, é importante que se tenha em mente a forma da equação que gerará as previsões. Para cada um dos casos (vendas constantes, vendas com tendência e vendas com tendência e sazonalidade), a equação de previsão é apresentada a seguir:

$$\hat{Z}_t(\tau) = \hat{a}_1(T) + \varepsilon_t \quad (16)$$

$$\hat{Z}_t(\tau) = \hat{a}_1(T) + \hat{a}_2(T) * \tau + \varepsilon_t \quad (17)^{11}$$

¹¹ Notação para quando há deslocamento de origem. Caso contrário faz-se (T+τ).

$$\hat{Z}_t(\tau) = \left(\hat{a}_1(T) + \hat{a}_2(T) * \tau \right) * \hat{\rho}_{p(T+\tau)}^{(T)} + \varepsilon_t \quad (18)^{12}$$

Onde:

$\hat{a}_1(T)$ = estimativa do parâmetro de nível atualizado no instante T

$\hat{a}_2(T)$ = estimativa do parâmetro de tendência atualizado no instante T

$\hat{\rho}_{p(T+\tau)}^{(T)}$ = estimativa do parâmetro de sazonalidade referente ao mês T+ τ , atualizado até o instante T.

τ = horizonte de previsão

O procedimento de damped trend pode ser também aplicado ao modelo de Holt-Winters. Portanto, a introdução do parâmetro ϕ (equação 15) pode ser também feita na equação 18.

2.5. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS MODELOS DE PREVISÃO

De acordo com ZANINI (2023), sabe-se que o processo de estimação de uma equação de previsão passa pela análise da estrutura de correlação dos dados históricos e da representação desta, por exemplo, através do cálculo de fatores como nível, tendência e sazonalidade. Estimados os parâmetros do modelo, o que se faz, antes de calcular as previsões, é projetar os valores históricos de forma a comparar os valores reais e os valores “ajustados”. Esta comparação fornece o nível de erro de previsão gerado pelo modelo ao se projetar os dados históricos. Este nível de erro, calculado para as previsões um passo-à-frente, ou seja, um período à frente, constitui um “indicador” do desempenho preditivo do modelo para o horizonte futuro (caso não aconteçam grandes mudanças no processo gerador da série histórica).

¹² Idem.

Em síntese, a partir da comparação dos valores reais e dos valores “ajustados” pelo modelo, podem ser calculadas várias métricas para medir o desempenho. Estas medidas servem, então, para avaliar o desempenho do modelo estimado dentro da amostra de dados utilizados na modelagem.

2.5.1. MAPE (MEAN ABSOLUTE PERCENTUAL ERRO)

O MAPE (erro médio absoluto percentual) é calculado através da diferença entre valores estimados e reais e equivale às previsões um passo-à-frente (por exemplo, para o mês seguinte). Veja a equação (19) seguir:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^N \left| \frac{Y(t) - \hat{Y}(t)}{Y(t)} \right| \times 100}{N} \quad (19)$$

Onde:

$Y(t)$ = valor da série temporal no período (t);

$\hat{Y}(t)$ = valor ajustado da série temporal para o período (t);

N = total de dados utilizados (total de observações).

2.5.2. COEFICIENTE DE EXPLICAÇÃO AJUSTADO (R² AJUSTADO)

O coeficiente de explicação ajustado (R² ajustado) tem interpretação similar ao coeficiente de explicação, ou seja, indica o quanto da variação total dos dados é explicada pelo modelo. Entretanto, faz-se uma correção tendo em vista a quantidade de parâmetros no modelo. Veja a equação (20) a seguir:

$$R^2_{ajust} = \left(1 - \frac{\sum_{t=1}^N \left(Y(t) - \hat{Y}(t) \right)^2}{N - k} \right) \left(\frac{N - 1}{\sum_{t=1}^N \left(Y(t) - \bar{Y} \right)^2} \right) \times 100 \quad (20)$$

Onde:

$Y(t)$ = valor da série temporal no período (t);

$\hat{Y}(t)$ = previsão da série temporal para o período (t);

\bar{Y} = média das observações (média da série temporal);

N = total de dados utilizados (total de observações);

K = número de parâmetros do modelo.

2.5.3. TESTES DE HIPÓTESES BASEADOS NA FUNÇÃO DE AUTOCORRELAÇÃO (ACF) DOS RESÍDUOS

Idealmente, se a especificação do modelo está correta, os resíduos devem ser “brancos”, isto é, não devem apresentar qualquer tipo de estrutura ou dependência. A existência de autocorrelações significantes nos resíduos revela que algum tipo de estrutura não foi devidamente considerado no modelo, de acordo com ZANINI (2023).

2.5.3.1. PORTMANTEAU OU LJUNG-BOX

Ainda, segundo ZANINI (2023), por meio do teste de Portmanteau ou Ljung-Box é testada a hipótese de que as “K” primeiras autocorrelações (ρ) são nulas, isto é:

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$$

Estatística usada no teste:

$$Q = \frac{T*(T+2) \sum_{i=1}^k r_i^2}{T-1} \quad (21)$$

A partir do resultado do teste, é apresentada a regra de decisão, onde rejeita-se a hipótese nula (autocorrelações nulas) se “Q” é “grande” quando comparado a um percentil apropriado da densidade qui-quadrado. Neste caso, pelo menos uma das correlações é diferente de zero.

É importante ressaltar que neste trabalho será aplicado o Método de Amortecimento Exponencial (MAE) com análise de eventos para captar o feito da pandemia do COVID-19 sobre a série do consumo de energia na classe comercial. Feitas essas considerações, no próximo capítulo será apresentada a análise de dados e resultados.

3. ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

Os dados foram extraídos da Eletrobrás (IPEADATA, 2023) referentes ao consumo de energia elétrica na classe comercial do Brasil, medido em GWh, no período de janeiro de 1976 a março de 2023. Com o intuito de captar os efeitos de dois eventos significativos ocorridos neste período, crise hídrica¹³ e pandemia causada da Covid-19, a variável EVENTOS foi criada, na qual se tem código 0 para ausência de eventos, código 1 para Choque de oferta e código 2 para Pandemia.

O propósito é identificar os efeitos dos eventos e realizar diferentes cenários para o Biênio 2023 e 2024. De início o modelo é estimado sem levar em consideração a modelagem de eventos (Cenário I). Em seguida, é realizada a modelagem de eventos para se determinar o impacto nos parâmetros do modelo (Cenário II). Neste momento, o efeito dos eventos não é aplicado no horizonte de previsão. Por fim, se faz a aplicação do efeito dos eventos no horizonte de previsão (Cenário III).

As previsões foram estimadas utilizando modelos que incorporam em sua estrutura os parâmetros de nível, tendência e sazonalidade. Estimou-se o Modelo de Holt-Winters (equação 18) para tais estimativas. Nesse modelo, foi adicionado um fator multiplicativo para considerar o efeito do evento no passado (Cenário II) e também no futuro (Cenário III).

Conforme os dados da Tabela 2, percebe-se que o nível estimado para o consumo de energia na classe comercial do Brasil é de 7.993,8 GWh. Já a tendência estimada é de 11,315 GWh. Para estimar o parâmetro de nível foi dado um peso maior para o presente (0,73) do que para o passado (0,27). No caso do parâmetro de tendência o inverso ocorreu, ou seja, foi atribuído um peso menor para o presente (0,001) do que para o passado (0,999). O valor resultado da sazonalidade em abril (1,01928) indica que este mês incrementa em 1,90% no consumo de energia no setor comercial brasileiro. Os demais fatores sazonais também podem ser vistos na Tabela 3.

¹³ Importante salientar que o objetivo principal da monografia é captar o efeito da pandemia sobre o consumo de energia na classe comercial. Entretanto, no período de dados trabalhado, há também a ocorrência de uma crise hídrica ocorrida no início dos anos 2000. Ver Almeida et al (2022).

Tabela 2 - Parâmetros e Hiperparâmetros – Modelo do Cenário I

Componente	Parâmetros	Hiperparâmetros
Nível	7.993,8	0,73358
Tendência	11,315	0,00174
Sazonalidade	1,01928*	0,46352

Fonte: Elaboração própria. Nota: *Fator de sazonalidade para abril.

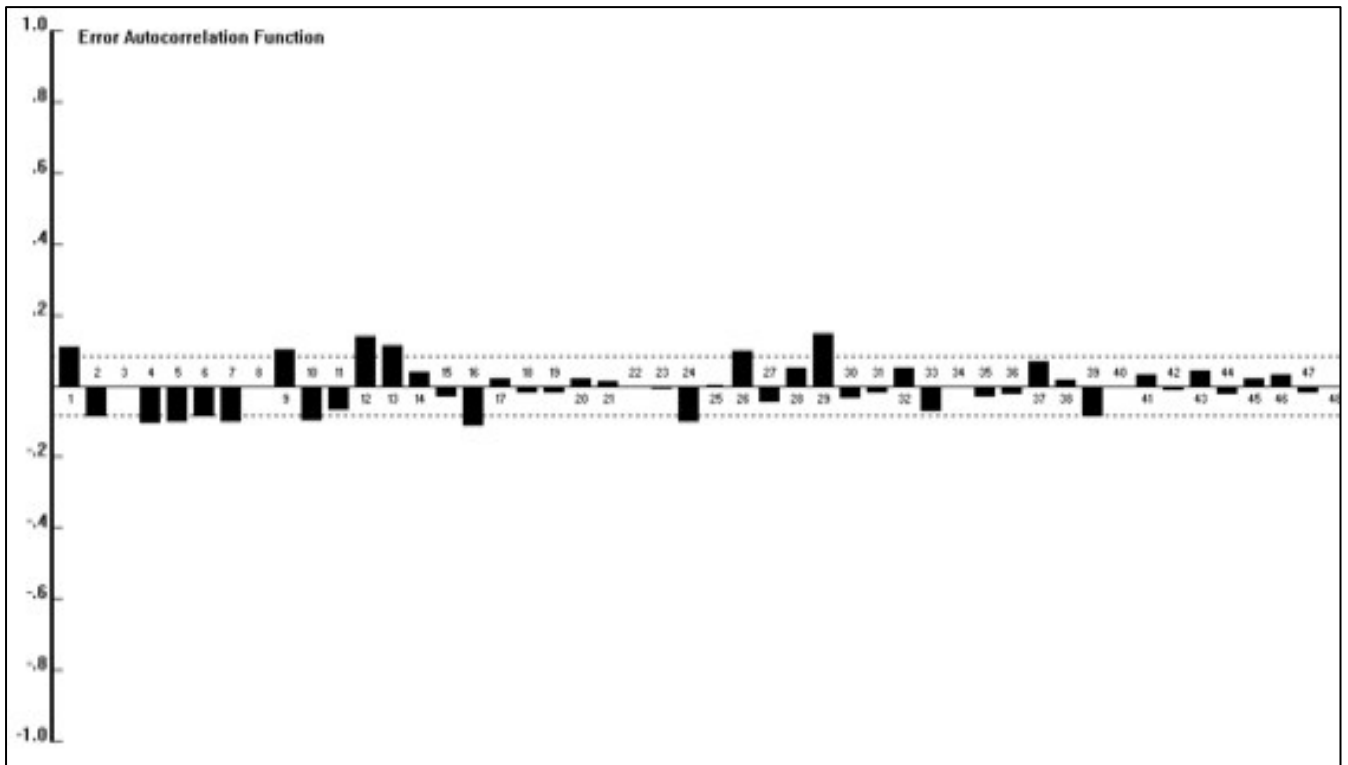
Tabela 3 - Fatores Sazonais – Cenário I

Mês	Cenário I
Janeiro	1,04694
Fevereiro	1,04916
Março	1,06957
Abril	1,01928
Maio	0,97448
Junho	0,93675
Julho	0,92472
Agosto	0,94293
Setembro	0,97532
Outubro	1,00547
Novembro	1,02227
Dezembro	1,04656

Fonte: Elaboração própria. Nota: *Fator de sazonalidade para todos os doze meses.

Anteriormente a se avaliar a capacidade preditiva do modelo e examinar suas previsões, realizou-se um teste para verificar a confiabilidade estatística do mesmo. Para isso, aplicou-se o teste de Ljung-Box de modo a analisar a estrutura de correlação dos modelos. Apesar do teste indicar a rejeição da hipótese nula de erros descorrelatados, a análise do correlograma do erro permite verificar que os erros possuem autocorrelação fraca, próxima de zero (encontram-se num intervalo de -0,2 a 0,2). Portanto, é possível afirmar que o modelo estimado é estatisticamente fidedigno. Ao analisar apenas o p-valor, rejeita-se a hipótese nula de erros descorrelatados, porém é necessário corroborar esta análise com a visualização da ACF do Erro, demonstrada no gráfico da Figura 3 a seguir.

Figura 3 - Gráfico do Correlograma do Erro - Cenário I



Fonte: Elaboração própria.

É possível observar na Tabela 4 o desempenho preditivo do modelo estimado. São apresentados o poder de explicação do modelo (R^2 ajustado) e o erro médio absoluto percentual (MAPE). O modelo estimado através do MAE explica 99,65% da evolução do consumo de energia elétrica no setor comercial do Brasil. Este modelo apresenta, e média, uma margem de erro de 2,33% ao prever o próximo mês no histórico.

Tabela 4 – Desempenho preditivo

Estatísticas	%
R^2 ajustado	99,65
MAPE	2,33

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 5 evidencia o consumo de eletricidade da classe comercial do Brasil previsto para os próximos 21 meses, de abril de 2023 a dezembro de 2024. Pode ser realizada a análise dos limites inferiores e superiores de consumo de energia

mensalmente. A probabilidade de o consumo de energia elétrica no setor comercial brasileiro se encontrar entre esses dois limites é de 95%.

Tabela 5 - Previsões de Consumo de energia elétrica no setor comercial do Brasil (em GWh) – Intervalo de Confiança de 95% - Cenário I

Mês	Limite Inferior	Previsão	Limite Superior
abr/23	7.628	8.159	8.691
mai/23	7.171	7.812	8.452
Jun/23	6.792	7.520	8.248
Jul/23	6.626	7.434	8.242
Ago/23	6.704	7.591	8.478
Set/23	6.896	7.863	8.829
Out/23	7.073	8.117	9.161
Nov/23	7.147	8.264	9.381
Dez/23	7.283	8.473	9.662
Jan/24	7.232	8.487	9.743
Fev/24	7.199	8.517	9.836
Mar/24	7.313	8.695	10.077
Abr/24	6.866	8.298	9.730
Mai/24	6.468	7.944	9.420
Jun/24	6.131	7.647	9.163
Jul/24	6.004	7.559	9.115
Ago/24	6.120	7.719	9.317
Set/24	6.351	7.995	9.639
Out/24	6.563	8.254	9.944
Nov/24	6.667	8.403	10.140
Dez/24	6.831	8.615	10.399

Fonte: Elaboração própria.

A previsão estimada para o mês de abril, por exemplo, é de 8.159 GWh. Porém é possível afirmar que há uma probabilidade de 95% desta estimativa estar entre 7.628 GWh e 8.691 GWh. Nota-se que este é um benefício em utilizar modelos estatísticos de previsão, onde além de um dado de previsão, é gerado um intervalo de confiança que engloba uma probabilidade específica para tal. A previsão é probabilística e não um valor específico.

Como explicado anteriormente, num segundo momento da análise, foi incorporado na estimativa paramétrica uma variável que pudesse captar os efeitos do choque de oferta ocorrido no início dos anos 2000 e também da pandemia da Covid-19. O efeito dos eventos entra de forma multiplicativa na equação de previsão.

Desse modo, o Choque de Oferta (efeito igual a 0,90961) provocou uma redução de 9% no consumo de energia elétrica na classe comercial do Brasil, enquanto a Pandemia (efeito igual a 0,92082) reduziu em 8% o consumo de eletricidade neste setor. Portanto, ambos os eventos apresentam fator multiplicativo menor do que 1, afetando negativamente o consumo de energia elétrica.

Na Tabela 6 é possível verificar a modificação ocorrida nos parâmetros e hiperparâmetros a partir da modelagem de eventos. Vê-se, por exemplo, uma pequena redução do parâmetro de nível, com o incremento no valor do parâmetro de tendência. Há também uma modificação no valor dos parâmetros sazonais (Tabela 07). Verifica-se também alteração nos valores dos hiperparâmetros. No Cenário I, por exemplo, para o parâmetro de nível, como já havia sido explicado anteriormente, pondera-se mais o presente (peso igual a 0,73) do que o passado (peso igual a 0,27). Ao se incorporar os eventos, este sistema de ponderação fica invertido, ponderando-se mais o passado (peso igual a 0,54) do que o presente (peso igual a 0,46). Para os parâmetros de tendência e sazonalidade a lógica de ponderação da idade da informação se manteve, ou seja, continua se ponderando mais o passado do que o presente. Importante ressaltar a característica do MAE, onde os modelos possuem validade local, ou seja, a cada dado que chega, os parâmetros são atualizados ponderando-se presente e passado. Então, ao se incorporar a informação de que um evento aconteceu, o que acontece na prática é que há uma melhor estimativa paramétrica, já que o efeito dos eventos é captado, havendo um cálculo mais fidedigno para os demais parâmetros (nível, tendência e sazonalidade).

Tabela 6 - Parâmetros Hiperparâmetros sem eventos e com eventos

Modelo	Parâmetros			Hiperparâmetros		
	Nível	Tendência	Sazonalidade*	Nível	Tendência	Sazonalidade
Sem eventos (Cenário I)	7.993,8	11,315	1,01928	0,73358	0,00174	0,46352
Com eventos (Cenário II)	7.870,2	12,053	1,04055	0,46287	0,01487	0,25796

Fonte: Elaboração própria. Nota: * Fator sazonal de abril

A Tabela 7 demonstra os fatores sazonais para todos os doze meses de 2023 captando o efeito da modelagem de eventos (Cenário II). Visto que tais fatores são

multiplicativos nas equações de previsão, conclui-se que os meses com valores maiores que 1 indicam um aumento do consumo de energia elétrica no setor comercial brasileiro, enquanto os fatores menores que 1 representam uma diminuição do consumo referente a esses meses.

Tabela 7 – Fatores Sazonais – Cenário II

Mês	Cenário II
Janeiro	1,05199
Fevereiro	1,05273
Março	1,07621
Abril	1,04055
Maio	0,98218
Junho	0,93264
Julho	0,91261
Agosto	0,93318
Setembro	0,96766
Outubro	0,99834
Novembro	1,02055
Dezembro	1,04839

Fonte: Elaboração própria. Nota: *Fator de sazonalidade para todos os doze meses.

Na Tabela 8, podem ser vistas as previsões anualizadas de acordo com os três cenários. No Cenário III conjecturou-se sobre a ocorrência de um choque de oferta (crise hídrica), o que levaria a uma redução do consumo de energia elétrica na classe comercial.

Tabela 8 - Previsões anualizadas para o biênio 2023 e 2024 (em GWh)

Cenários	2023	2024
Sem eventos (Cenário I)	96.077	98.134
Com eventos (Cenários II)	94.922	96.813
Com evento no horizonte de previsão (Cenário III)	94.922	95.830

Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar a Tabela 9, constata-se que a expectativa para o consumo agregado total de energia elétrica no setor comercial do Brasil, no intervalo de 2023

a 2024, é de 194.211 GWh (Cenário I). A média de variação do consumo projetado nesse período é de 2,9%. Em contraste, a média de variação do consumo no período de 2018 a 2022 é de 0,75%. Resumidamente, a projeção aponta um crescimento médio de 2,9% no consumo anual total de energia elétrica durante o período de 2023 a 2024. Esse crescimento se situa em um patamar superior (cerca de 2 pontos percentuais) em comparação à média de variação do consumo nos últimos anos (2018-2022).

Tabela 9 - Consumo total anual de energia elétrica no setor comercial do Brasil (em GWh) - Variação % - Cenário I

Ano	Consumo de energia elétrica (em GWh)	Variação %
2017	88.130	-
2018	88.797	0,75%
2019	92.119	3,6%
2020	82.408	-11,8%
2021	87.035	5,3%
2022	92.492	5,9%
2023*	96.077	3,73%
2024*	98.134	2,1%

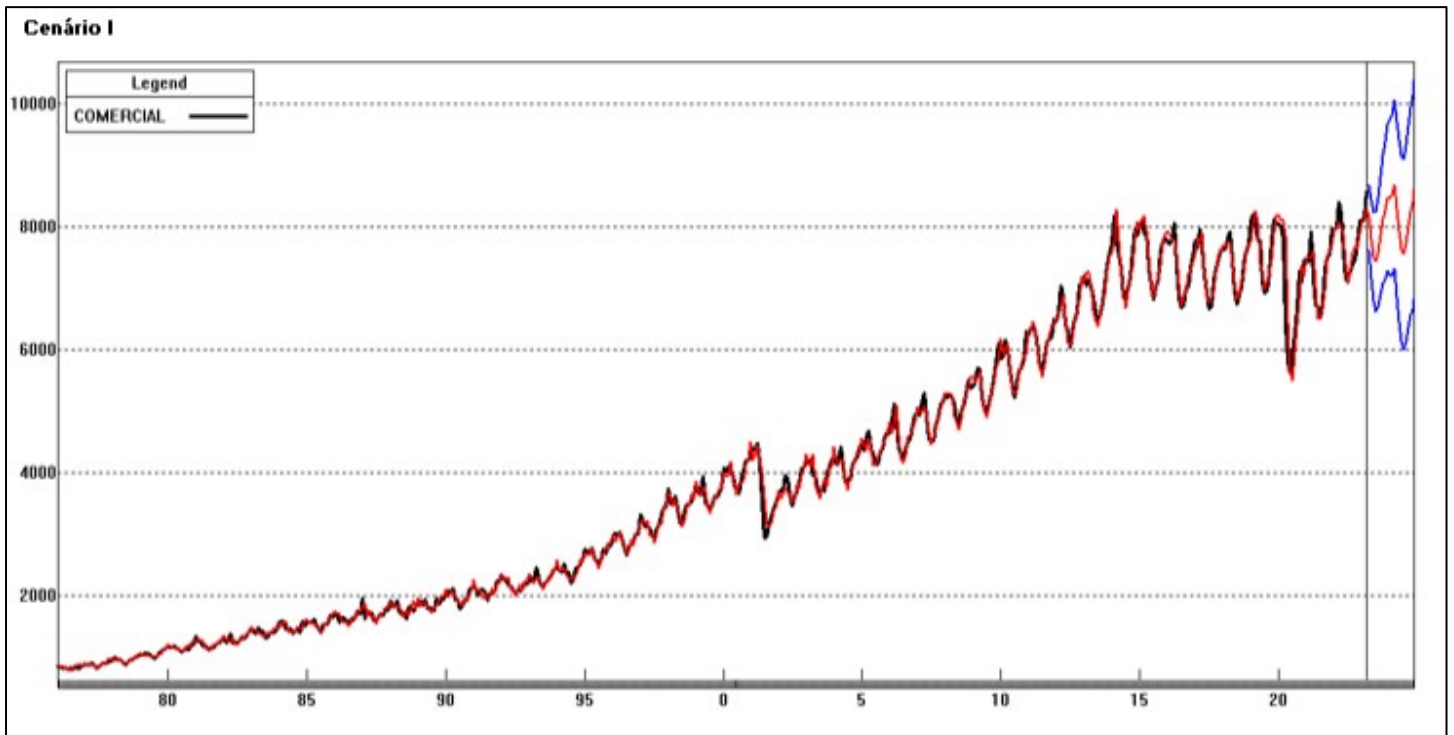
Fonte: Elaboração própria. Nota: *Cenário I.

Caso se considere que haverá um choque de oferta em um horizonte próximo (Maio - Agosto de 2024), Cenário III, a estimativa do consumo de energia na classe comercial do Brasil é de 95.830 GWh para 2024, com uma variação positiva de 0,95% em relação a 2023.

Atenta-se, através de tais resultados obtidos, uma importante característica da modelagem realizada nesse trabalho monográfico. É possível realizar a análise dos consumos futuros previstos de energia elétrica e dessa forma auxiliar na gestão de oferta e demanda deste insumo, ocasionando em um planejamento mais eficiente.

Por fim, no gráfico exibido na Figura 4, se pode enxergar as projeções para o biênio 2023-2024 no Cenário I, bem como os valores ajustados em toda a série histórica.

Figura 4 - Projeção com valores ajustados para consumo de energia elétrica em GWh no setor comercial do Brasil para o biênio 2023-2024 – Cenário I



Fonte: Elaboração própria. Nota: ____ Valor Real; ____ Valor Ajustado/Previsão; ____ Intervalo de Confiança de 95%

4. CONCLUSÃO

Este trabalho analisou de forma mais específica os efeitos da pandemia de COVID-19 no consumo de energia elétrica na classe comercial do Brasil, considerando também outros fatores como a estrutura do setor elétrico e a influência de eventos específicos. Os resultados obtidos fornecem uma melhor compreensão dos impactos da pandemia nesse setor importante da economia e permitem a possibilidade de formulação de estratégias para enfrentar crises futuras e garantir a segurança energética do país.

A pandemia de COVID-19 desencadeou uma série de medidas de combate à propagação do vírus, incluindo bloqueios em massa, restrições de mobilidade e distanciamento social. Essas medidas tiveram um impacto direto na atividade comercial, resultando em uma desaceleração significativa das atividades econômicas e, conseqüentemente, na redução do consumo de energia elétrica. O setor comercial foi particularmente afetado devido ao fechamento temporário ou redução da capacidade de operação de estabelecimentos comerciais.

Nesse contexto, a aplicação do Método de Amortecimento Exponencial (MAE) mostrou-se uma abordagem eficaz para analisar o consumo de energia elétrica na classe comercial e fazer previsões. O modelo de Holt-Winters, estimado através do MAE, permitiu calcular componentes como nível, tendência e sazonalidade, levando em conta o efeito de eventos específicos, como a crise hídrica do início dos anos 2000 e a pandemia de COVID-19. Viu-se que o Choque de Oferta (efeito igual a 0,90961) provocou uma redução de 9% no consumo de energia elétrica na classe comercial do Brasil, enquanto a Pandemia (efeito igual a 0,92082) reduziu em 8% o consumo de eletricidade neste setor. Portanto, ambos os eventos apresentam fator multiplicativo menor do que 1, afetando negativamente o consumo de energia elétrica. A partir da modelagem de eventos, foi possível elaborar cenários distintos para o consumo de energia elétrica na classe comercial.

Com base nos resultados e nas previsões, vê-se, por exemplo, que as previsões anualizadas indicam um crescimento médio de 2,9% no consumo anual total de energia elétrica durante o biênio 2023-2024, considerando diferentes cenários. No entanto, é importante ressaltar que a incerteza persiste, especialmente devido a eventos imprevisíveis, como crises sanitárias ou crises econômicas.

Portanto, este estudo fornece uma possibilidade de análise para o desenvolvimento de estratégias e políticas que visam garantir a adaptação do setor comercial de energia elétrica em situações adversas e imprevisíveis, como crises sanitárias e econômicas. Além disso, os resultados obtidos podem auxiliar na tomada de decisões por parte das concessionárias de energia elétrica, ou de órgãos de planejamento como a EPE, permitindo uma gestão mais eficiente da oferta e demanda, bem como a otimização dos recursos disponíveis.

É fundamental que os governos e as autoridades do setor energético considerem os impactos significativos que eventos como a pandemia de COVID-19 podem ter no consumo de energia elétrica. Isso requer uma abordagem proativa, com a implementação de medidas preventivas e o estabelecimento de planos de contingência para enfrentar crises semelhantes no futuro. A colaboração entre os diferentes atores do setor, incluindo governos, concessionárias, órgãos reguladores e instituições acadêmicas, é essencial para o desenvolvimento e a implementação dessas estratégias.

Além disso, é importante ressaltar a importância da conscientização e da educação da sociedade sobre o consumo eficiente de energia elétrica. A pandemia trouxe à tona a necessidade de repensar nossos padrões de consumo e buscar soluções mais sustentáveis. A promoção de práticas de eficiência energética, o incentivo ao uso de energias renováveis e a conscientização sobre a importância do uso responsável da energia são elementos-chave para garantir a segurança energética e a sustentabilidade do setor.

Em suma, a análise do consumo de energia elétrica na classe comercial durante a pandemia de COVID-19 no Brasil revelou os impactos significativos e multifacetados que essa crise teve no setor. A utilização do Método de Amortecimento Exponencial (MAE) proporcionou uma compreensão mais aprofundada dos padrões de consumo e permitiu a realização de diferentes cenários de previsão. Os resultados obtidos fornecem informações para o planejamento e a tomada de decisões no setor de energia elétrica, visando à adaptação e à resiliência em face de crises futuras.

Como sugestão de trabalhos futuros, além do monitoramento e acompanhamento da eficiência preditiva do modelo, poder-se-ia aplicar outras metodologias de análise como, por exemplo, as que incorporam outras variáveis

proxies de fatores como atividade econômica, nível tarifário, temperatura, dentre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACEEL. Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia. Disponível em: ABRACEEL • Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia – 2020.

AIE. Agência Internacional de Energia. Disponível em: IEA – Agência Internacional de Energia – 2022

ALMEIDA, D. N., Simões, A. F., Kurita, R. M., Santos, M. E. S. R., Simões, G. J., & Domingues, M. S. (2022). A crise no fornecimento e distribuição de energia elétrica no Brasil em 2001: Uma análise panorâmica com foco em na prevenção de eventos análogos futuros. *Rev. Gest. Ambient. e Sust. - GeAS*, 11(1), 1-21, e20080. <https://doi.org/10.5585/geas.v11i1.20080>. 2022

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. A ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/a-aneel>. 2020

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. A ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/a-aneel>. 2022

ASSIS, VINÍCIUS FERNANDES DE. CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: ANÁLISE PARA O SETOR COMERCIAL (2017-2018). Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2017.

CÂNDIDO, LUCAS FARIA. MODELO DE PREVISÃO DA PRODUÇÃO DO SETOR DE ENERGIA EÓLICA NACIONAL (2017- 2018). Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2017.

CASTILHO, Marta; PERO, Valéria; RAZAFINDRAKOTO, Mireille; ROUBAUD, François; SABOIA, João. UFRJ. Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Brasil. Negacionismo e o papel dos fatores políticos para a mortalidade por Covid-19 no Brasil. 2022

CASTRO, Nivalde de; Braga, Sérgio; Eliziário, Sayonara; Moszkowiczs, Maurício; Serra, Eduardo; Chaves, Ana Carolina; Branquinho, Adely; Pradelle, Florian; Chantre, Caroline; Campello, Rodrigo; Botelho, Vinicius. *Perspectivas da economia do hidrogênio no setor energético brasileiro*. Rio de Janeiro: GESEL, 2021.

CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. A CCEE. Disponível em: <http://www.ccee.gov.br>. 2020

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. A CEMIG. Disponível em: http://www.cemig.com.br/ptbr/a_cemig/Nossa_Historia/Documents/revista%2050%20anos%20cemig%20agrupada.pdf. 2012

CHAIN, DIEGO REIS. UM ESTUDO DAS ELASTICIDADES TARIFA E RENDA PARA O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR INDUSTRIAL NO BRASIL (1990-2018) ATRAVÉS DO MODELO DE REGRESSÃO DINÂMICA. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2019.

DE ALMEIDA, Rodrigo Nascimento. UFMG. Estudo de métodos de previsão de séries temporais aplicados ao preço da energia elétrica no mercado de curto prazo brasileiro. 2022.

DELGADO, Danielle B. M.; DE LIMA, Karollyne M.; SIQUEIRA, Camila A. S.; SOUZA, Dyego; CARVALHO, Monica. UFPB. Universidade Federal da Paraíba. EFEITOS DA PANDEMIA DA COVID-19 NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL. 2020

ENAP. Escola Nacional de Administração Pública. A ENAP. Disponível em: Repositório Institucional da ENAP: Metodologia de previsão do mercado de energia elétrica. 1987

EPE. BALANÇO COVID-19 Impactos nos mercados de energia no Brasil 1º semestre de 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/balanco-covid-19-impactos-nos-mercados-de-energia-no-brasil-1-semester-de-2020>. 2020

EPE. Empresa de pesquisa energética. Institucional: A EPE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. 2023

FARIA, VITOR FERRAZ. PLANEJAMENTO ENERGÉTICO: UM MODELO DE PREVISÃO PARA O CONSUMO TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2019.

FERREIRA, ROGÉRIO PIRES. UM MODELO DE PREVISÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO (2018-2019). Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2018.

GOMES, Antônio C. S.; ABARCA, Carlos D. G.; FARIA, Elíada A. S. T.; FERNANDES, Heloísa H. O. O setor elétrico. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, v. 50. 2002

GOV. Governo federal economiza R\$ 1,419 bilhão com trabalho remoto de servidores durante a pandemia. Disponível em GOV: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/noticias/2021/agosto/governo-federal-economiza-r-1-419-bilhao-com-trabalho-remoto-de-servidores-durante-a-pandemia>. 2021

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. 2021

IPEADATA. (2021). Fonte: Eletrobrás. Acesso em 25 de maio de 2023, disponível em IPEADATA: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>

IRENA. International Renewable Energy Agency. Disponível em: IRENA – Agência Internacional de Energia Renovável – 2021

JUNIOR, Fernando P. S. UFJF. Universidade Federal de Juiz de Fora. ESTUDO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA REGIÃO SUDESTE USANDO O MÉTODO DE AMORTECIMENTO EXPONENCIAL COM ANÁLISE DE EVENTOS. 2021

LIMA, A.V.; FREITAS, E. A. A pandemia e os impactos na economia brasileira. Brasília: UNB, 2020.

LIMA, J. L. Políticas de governo e desenvolvimento do setor de energia elétrica: do código de águas à crise dos anos 80 (1934-1984). Rio de Janeiro: Memória da Eletricidade, 1995.

LORENZO, Helena Carvalho De. O setor elétrico Brasileiro: Passado e Futuro. Perspectivas v. 24/25, n. 20, p. 147–170 , 2002.8577531007; 9788577531004.

LORENZO, Helena. UNESP. Universidade Estadual Paulista. ELETRIFICAÇÃO, URBANIZAÇÃO E CRESCIMENTO INDUSTRIAL NO ESTADO DE SÃO PAULO, 1880-1940.1993

MATTOS, Ana Paula de Oliveira. Modelo de Previsão do Consumo Residencial de Energia Elétrica no Brasil (2017-2018). Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2017.

MENDES, Carlos Augusto Nogueira. UFSM. Consumo de energia e crescimento econômico: uma relação em estudo com foco nos países componentes do BRICS. 2014.

MENDES JUNIOR, EDIMAR RONALDE. ESTUDO DA CAUSALIDADE ENTRE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E CRESCIMENTO ECONÔMICO NA ECONOMIA BRASILEIRA. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2018.

MIRANDA, Gabriel Mendes. UM ESTUDO DAS ELASTICIDADES TARIFA E RENDA PARA O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA TOTAL NO BRASIL ATRAVÉS DO MODELO DE REGRESSÃO DINÂMICA. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2019.

MME. Ministério de Minas e Energia. O MME. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial>. 2020

MONTGOMERY, D.C., JOHNSON, L.A.. Forecasting and Time Series Analysis, New York, McGraw-Hill Book Co.1990

- NEREUS. (2014). Aglomerações Industriais Relevantes no Brasil. São Paulo: TD Nereus
- NETO, HAROLDO VIDAL. PLANEJAMENTO DO MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: UMA ANÁLISE HIERÁRQUICA SOBRE CLASSES DE CONSUMO. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2019.
- OLIVEIRA, FELIPE DE SOUZA. MÉTODOS LINEARES E NÃO-LINEARES APLICADOS À PREVISÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICO NO BRASIL. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2022.
- OLIVEIRA, B. H. A. M; Damázio, Jorge Machado; Leone, R. J. G; Lermontov, Mihail; Machado, M. A. S. Um modelo de previsão do consumo residencial de energia elétrica no Brasil. CADERNOS DO IME – Série Estatística, v.28, n.1, p. 15-31, junho 2010.
- OLIVEIRA, Beatriz; DAMÁZIO, Jorge; LEONE, Rodrigo; LERMONTOV, Mihail; MACHADO, Maria Augusta. UERJ. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Um Modelo de Previsão do Consumo Residencial de Energia Elétrica no Brasil. 2010
- ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <https://www.ons.org.br/>. 2020
- PEREIRA, MATHEUS PIRES. MODELO DE REGRESSÃO DINÂMICA APLICADO AO ESTUDO DAS ELASTICIDADES TARIFA E RENDA PARA O CONSUMO DE ENERGIA COMERCIAL NO BRASIL (1994-2013). Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2018.
- RUZA, DANIEL GOMES. O IMPACTO DA PANDEMIA NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA CLASSE RESIDENCIAL NO BRASIL. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2021.
- SAMPAIO, JOÃO VICTOR REZENDE. PREVISÃO PARA O MERCADO DE ENERGIA EÓLICA BRASILEIRO PARA O BIÊNIO DE 2021-2022. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2021.
- SANTOS JUNIOR, FERNANDO PEDREIRA DOS. ESTUDO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA REGIÃO SUDESTE USANDO O MÉTODO DE AMORTECIMENTO EXPONENCIAL COM ANÁLISE DE EVENTOS. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2021.

SILVA, VINICIUS WILLIAM OLIVEIRA DA. MENSURAÇÃO DOS IMPACTOS DA PANDEMIA NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E NAS REGIÕES VIA MÉTODO DE AMORTECIMENTO EXPONENCIAL COM MODELAGENS EM MÚLTIPLOS NÍVEIS. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2022.

SOUZA, Fabio Olivato de. MÉTODO DE AMORTECIMENTO EXPONENCIAL COM ABORDAGEM BOTTOM-UP E TOP-DOWN PARA PREVISÃO DO CONSUMO TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL PARA 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2019.

TAVARES, Mateus Rodrigues Gonçalves. UM ESTUDO DAS ELASTICIDADES TARIFA E RENDA PARA O CONSUMO DE ENERGIA RESIDENCIAL NO BRASIL (1994? 2013) ATRAVÉS DO MODELO DE REGRESSÃO DINÂMICA. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2018.

TIDRE, Pablo Vinicius; Biase, Nádia; Silva, Maria Imaculada. UFU. Utilização dos modelos de séries temporais na previsão do consumo mensal de energia elétrica da região norte do Brasil. *Matemática e Estatística em Foco*, v. 1, n. 1, p. 57-66, 2013.

VIEIRA, Pedro Eduardo de Mesquita. O mercado de energia elétrica: o modelo de precificação da energia e o impacto na indústria eletrointensiva, em 84 especial no setor de alumínio. 2011. 35f. Monografia de Economia da Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011. Disponível em: . Acesso em: 15 out. 2022.

VITOR, JOÃO FRANCISCO MACHADO. MENSURAÇÃO DO IMPACTO DA COVID-19 NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR INDUSTRIAL ATRAVÉS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO DINÂMICA. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Juiz de Fora. 2021.

ZANINI, Alexandre. Modelos de Previsão para Séries Temporais. Material Didático, Juiz de Fora. 2023.