UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PRISCILA REZENDE

MODELAGEM PARA ANÁLISE DO SISTEMA DISTRIBUÍDO NO SETOR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA BRASILEIRO DADA A PANDEMIA DO COVID-19

JUIZ DE FORA
2021

PRISCILA REZENDE

MODELAGEM PARA ANÁLISE DO SISTEMA DISTRIBUÍDO NO SETOR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA BRASILEIRO DADA A PANDEMIA DO COVID-19

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Dra. Cristina Márcia Barros de Castro

Coorientador: Dra. Roberta Cavalcanti Pereira Nunes

JUIZ DE FORA

2021

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

Rezende, Priscila.
MODELAGEM PARA ANÁLISE DO SISTEMA DISTRIBUÍDO NO SETOR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA BRASILEIRO DADA A PANDEMIA DO COVID-19 / Priscila Rezende. -- 2021.
120 f.

Orientadora: Dra. Cristina Márcia Barros de Castro
Coorientadores: Dra. Roberta Cavalcanti Pereira Nunes, Dra. Mariana Paes da Fonseca Maia
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2021.

1. Série Temporal. 2. Brasil. 3. Energia Solar Fotovoltaica. 4. Modelo de Previsão. I. de Castro, Dra. Cristina Márcia Barros, orient. II. Nunes, Dra. Roberta Cavalcanti Pereira, coorient. III. Maia, Dra. Mariana Paes da Fonseca , coorient. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PRISCILA REZENDE

MODELAGEM PARA ANÁLISE DO SISTEMA DISTRIBUÍDO NO SETOR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA BRASILEIRO DADA A PANDEMIA DO COVID-19

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado de modo remoto referente à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 15 de Dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Dra. Cristina Márcia Barros de Castro (Orientador)
UFJF

Dra. Roberta Cavalcanti Pereira Nunes (Coorientador)
UFJF

Dra. Mariana Paes da Fonseca Maia
UFJF

AGRADECIMENTOS

Mais um ciclo se encerra, muitas das vezes os caminhos levam a um destino inesperado, onde é necessário resiliência para lidar com as adversidades impostas e coragem para mudar se for preciso, mas independente de onde esse ciclo te leve, saiba que muitos aprendizados foram conquistados e existe a felicidade em se ter mais uma conquista e experiências para contar pela vida.

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, por me abençoar com esta oportunidade de cursar na Universidade Federal de Juiz de Fora e me iluminar durante essa jornada. Agradeço aos meus pais Edson e Lucimara, por todo carinho, dedicação, preocupação e esforço em não impor limites para realizar os meus sonhos. Aos meus avós, Euclides e Maria Trindade, por todas as orações e carinho. Ao Tio Ailton, que hoje está no plano divino, por compartilhar comigo o dom da matemática. Aos meus cachorros, Pipoca e Duque, por sempre alegrar o meu dia. Agradeço também, a torcida de todos os amigos presentes nesta importante etapa. E por fim, a todos os docentes do Departamento de Engenharia de Produção da UFJF, pela oportunidade de crescimento acadêmico, pela participação nas atividades voluntárias e em principal, por ensinar e compartilhar todo o conhecimento.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar."

Josué 1:9

RESUMO

A economia brasileira apresentou diversos desafios ao longo da pandemia da COVID-19, não obstante tais impactos também foram sentidos no setor de energia elétrica. Desde 2015, observa-se o crescimento de instalações de energia fotovoltaica. Grande parte do crescimento da capacidade instalada deve-se como protagonista no setor residencial. Assim, o estudo buscou modelar o comportamento da potência instalada fotovoltaica distribuída nas classes comercial, industrial e residencial através da utilização da metodologia de séries temporais, através das etapas da metodologia Box-Jenkins, onde por meio dos estudos, foi utilizado o modelo ARIMA, este modelo forneceu variáveis fidedignas que justificam o comportamento dos setores em estudo, convergindo assim com a possibilidade de desenvolvimento econômico.

Palavras-chave: Série Temporal; Brasil; Energia Solar Fotovoltaica; Modelo de Previsão.

ABSTRACT

The Brazilian economy presented several challenges throughout the COVID-19 pandemic, although such impacts were also felt in the electric energy sector. Since 2015, there has been a growth in photovoltaic installations. Much of the installed capacity growth is due to the protagonist in the residential sector. This, the study sought to model the behavior of the photovoltaic installed power distributed in the commercial, industrial and residential classes through the use of the time series methodology, through the stages of the Box-Jenkins methodology, where through the studies, ARIMA model was used, this model provided reliable variables that justify the behavior of the sectors under study, this converging with the possibility of Economic development

Keywords: Time Series; Brazil; Photovoltaic Solar Energy; Forecast Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de conversão de energia solar 32
Figura 2 - Esquemático da conversão de energia solar em térmica 32
Figura 3 - Esquema de incidência de radiação em uma superfície. 33
Figura 4 - Funcionamento do sistema centralizado 34
Figura 5 - Funcionamento do sistema off grid 35
Figura 6 - Sistema de funcionamento on grid 36
Figura 7 - Capacidade instalada acrescida em 2019 43
Figura 8 - Informativo de consumo ao longo de 2020 43
Figura 9 - Evolução do número de consumidores no ACL 48
Figura 10 - Brasil: total diário de irradiação no plano inclinado na latitude 49
Figura 11 - Imagem das instalações na cobertura do estádio 52
Figura 12 - Painéis fotovoltaicos em comunidade do Rio de Janeiro 55
Figura 13 - Instalações da Topaz Solar Farm 64
Figura 14 - Instalações da Noor Abu Dhabi 65
Figura 15 - Esquema do sistema de previsão 70
Figura 16 - Etapas do método Box-Jenkins 71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz elétrica mundial 2018 26
Gráfico 2 - Matriz elétrica brasileira 2019 26
Gráfico 3 - Evolução da bandeira tarifária em 2021 28
Gráfico 4 - Potência instalada na GD fotovoltaica por regiões do Brasil 37
Gráfico 5 - Evolução da capacidade instalada de geração de energia solar no Brasil (MW) 39
Gráfico 6 - Mudanças na geração de eletricidade global 61
Gráfico 7 - Evolução da capacidade instalada de geração fotovoltaica no mundo (GW) 62
Gráfico 8 - Consumo na rede no primeiro semestre de 2020, dados mensais (TWh e %) 45
Gráfico 9 - Percentual de consumo em 2019 por classes 45
Gráfico 10 - Preço médio da energia solar fotovoltaica comercializada nos leilões 50
Gráfico 11 - Número de conexões GD no Brasil 51
Gráfico 12 - Número total de ligações (mil) realizadas em 2019 53
Gráfico 13 - Potência instalada por estado com GD no Brasil em 2020 56
Gráfico 14 - Capacidade instalada em 2019 58
Gráfico 15 - Geração de Energia Elétrica nos primeiros semestres de 2019 e 2020 (MWmed) 59
Gráfico 16 - Capacidade Instalada da energia fotovoltaica direcionada à geração distribuída - sem ajuste (kW) 82
Gráfico 17 - Capacidade Instalada da energia fotovoltaica direcionada à geração distribuída - com ajuste (kW) 82
Gráfico 18 - Diferenciação de primeira ordem dos dados do setor industrial 83
Gráfico 19 - Histograma da capacidade instalada com sobreposição da curva normal 87
Gráfico 20 - Box-plot da capacidade instalada dos setores comercial, industrial e residencial (kW) 88
Gráfico 21 - Curva de tendência de crescimento exponencial 90
Gráfico 22 - Curva de tendência modelo de curva S 90
Gráfico 23 - Curva de tendência linear dos setores comercial, industrial e residencial. 91
Gráfico 24 - Curva de tendência quadrática (kW) 92
Gráfico 25 - Função de autocorrelação do setor comercial e residencial 93
Gráfico 26 - Função de autocorrelação do setor industrial 93
Gráfico 27 - Função de autocorrelação parcial dos setores comercial e residencial 94
Gráfico 28 - Função de autocorrelação parcial dos setores industrial 94

Gráfico 29 - ACF e PACF dos resíduos do modelo ARMA (2,2) do setor comercial 98
Gráfico 30 - Gráficos de resíduo do modelo ARMA (2,2) do setor comercial 98
Gráfico 31 - Gráficos de resíduo do modelo ARMA (1,3) do setor residencial 101
Gráfico 32 - Gráficos de resíduo do modelo ARMA (1,3) do setor residencial 101
Gráfico 33 - Gráficos de resíduo do modelo ARIMA (2,2,3) do setor industrial 104
Gráfico 34 - Gráficos de resíduo do modelo ARIMA (2,2,3) do setor industrial 105
Gráfico 35 - Série histórica dos dados da capacidade instalada nos próximos 12 meses para o setor comercial 109
Gráfico 36 - Série histórica dos dados da capacidade instalada nos próximos 12 meses para o setor industrial 109
Gráfico 37 - Série histórica dos dados da capacidade instalada nos próximos 12 meses para o setor Residencial 110

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de série temporal 67
Quadro 2 - Condições observadas dos diagramas 75
Quadro 3 - Critérios de Informação 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - -Geração fotovoltaica acumulada até 2019 63
Tabela 2 - Valores da Capacidade Instalada (kW) 81
Tabela 3 - Estatística descritiva dos dados da série de consumo (kW) 86
Tabela 4 - Comparativo da Análise de Tendência 89
Tabela 5 - Comparativo do valor-p para o setor comercial 96
Tabela 6 - Comparativo do valor de QM e SQ para o setor comercial 97
Tabela 7 - Teste do qui-quadrado com o valor-p para o setor comercial 97
Tabela 8 - Comparativo do valor-p para o setor residencial 99
Tabela 9 - Comparativo do valor de QM e SQ para o setor residencial 100
Tabela 10 - Teste do qui-quadrado com o valor-p para o setor residencial 100
Tabela 11 - Comparativo do valor-p para o setor industrial 102
Tabela 12 - Comparativo do valor de QM e SQ para o setor industrial 103
Tabela 13- Teste do qui-quadrado com o valor-p para o setor industrial 103
Tabela 14 - Teste de Anderson-Darling para os setores comercial, residencial e industrial 106
Tabela 15 - Teste de Ryan-Joiner para os setores comercial, residencial e industrial 106
Tabela 16 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para os setores comercial, residencial e industrial 106
Tabela 17 - Previsões para a capacidade instalada nos próximos 12 meses para os setores comercial, industrial e residencial. 108

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Absolar	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ACF	*Autocorrelation Function*
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
Agefepe	Agência de Fomento do Estado de Pernambuco
AIE	Agência Internacional de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AR	Autorregressivo
ARCH	Modelos de Heterocedasticidade Condicional Auto Regressiva
ARIMA	*Autoregressive Integrated Moving Average*
BACEN	Banco Central
BEN	Balanço Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CA	Corrente contínua
Cb-solar	Centro Brasileiro para desenvolvimento de Energia Solar
CC	Corrente alternada
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDC	Centro de Controle
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CNN	*Cable News Network*
CPF	Cadastro de Pessoa Física
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
Coopercam	Cooperativa dos Cafeicultores de Campos Gerais e Campo do Meio
COVID-19	*Corona Virus Disease*
DAM	*Desviacion Absoluta Media*
EAD	Ensino à distância
EIA	*Energy International Administration*
EPAM	Erro Percentual Absoluto Médio
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESG	Éticos, sociais e de governança

EUA	Estados Unidos da América
FAC	Função de autocorrelação
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FUNDAJ	Fundação Joaquim Nabuco
GC	Geração Centralizada
GD	Geração Distribuída
Gesel	Grupo de Estudos do Instituto de Economia da UFRJ
GW	Gigawatt
GWh	Giga watt-hora
GWp	Giga watt de potência
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre à Circulação de Mercadorias e Prestações de Serviços
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
Idene	Instituto do Desenvolvimento do Norte e Nordeste de Minas Gerais
IEA	*International Energy Agency*
IEO	*International Energy Outlook*
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Intelectual
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
kW	Kilowatt
LM	Multiplicador de Lagrange
LN	Logaritmo natural
MA	Médias Móveis
MAE	*Mean Absolute error*
MAPE	*Mean Absolute Percentage Error*
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MG	Minas Gerais
MME	Ministério de Minas e Energia
MSE	*Mean Square Error*
MW	Megawatt
MWh	Mega watt-hora
NASA	*National Aeronautics and Space Administration*
NT-Solar	Núcleo Tecnológico de Energia Solar

OCB/MS	Organização das Cooperativas Brasileiras no Mato Grosso do Sul
ONG	Organização não-governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PACF	*Parcial Autocorrelation Function*
PCP	Planejamento e Controle da Produção
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Programa de Interação Social
PPA	*Power Purchase Agreement*
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
Proger	Programa de Geração de Emprego e Renda
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
QM	Somas Residuais Dos Quadrados
REN	Redes Energéticas Nacionais
RESET	*Regression Specification Error Test*
RJ	Ryan-Joiner
SDS	*Sustainable Development Scenario*
Sede	Secretaria de Desenvolvimento Econômico
Semad	Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIN	Sistema Integrado Nacional
SP	São Paulo
SQ	Soma dos quadrados
STEPS	*Stated Policies Scenario*
TWh	Terá watt-hora
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFVs	Centrais Geradoras Fotovoltaicas
USP	Universidade de São Paulo
VAR	Modelo de Vetores Autorregressivos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 18
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 18
1.2 JUSTIFICATIVA 20
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 21
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 22
1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 23
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 23
2. GERAÇÃO DE ENERGIA 25
2.1 FONTES RENOVÁVEIS 28
2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA 31
2.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL ANTES E DURANTE A PANDEMIA 41
2.3.1 Regulamentação E Comercialização 46
2.3.2 Consumo De Energia Fotovoltaica 48
2.3.3 Cooperativas 52
2.3.4 Investimentos No Brasil 55
2.3.5 Cenário Econômico 58
2.4 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO 60
3. ECONOMETRIA DE SÉRIE TEMPORAL 66
3.1 PROCESSO ESTOCÁSTICO 67
3.2 MÉTODO BOX-JENKINS 71
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS 80
4.1 COMPORTAMENTO DO CENÁRIO 84
4.2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA 85
4.3 ETAPAS DO MÉTODO BOX-JENKINS 88
4.3.1 Análise De Tendência 88
4.3.2 Autocorrelação E Autocorrelação Parcial 92
4.3.3 Validação Do Modelo 95
4.3.3.1 Setor Comercial 95
4.3.3.2 Setor Residencial 99
4.3.3.3 Setor Industrial 102
4.3.3.4 Teste De Normalidade 105
4.4 PREVISÕES DO SETORES 107
4.5 ANALISE QUALITATIVA DAS INFORMAÇÕES 110
5. CONCLUSÕES 112
6. REFERÊNCIAS 113

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O surgimento das fontes de geração de energia elétrica, segundo Amaral (2010), se deu ainda na era do vapor, com o carvão mineral sendo empregado na combustão direta para a produção de energia. Considerado como um dos grandes marcos de tecnologia impostos pela Revolução Industrial, deu-se início a utilização do combustível fóssil que foi usado em larga escala para a geração de energia dentre outras funcionalidades.

Segundo BHATTACHARYYA (2011), tem-se que a energia é um método de gerar trabalho, onde através de uma fonte de energia primária, que se classifica como aquelas que se pode encontrar na natureza como, o sol, água dentre outros agentes é capaz de se transformar em energia mecânica, cinética ou térmica e, gerar uma fonte secundária de energia, como a energia elétrica que é conduzida ao consumidor final através de extensas redes de distribuição.

Ainda segundo o mesmo autor, pode-se ainda, classificar a energia primária como energia renovável e não renovável. As fontes de energia não renovável, são encontradas na natureza, mas de modo limitado, ou seja, um dia irão se esgotar e sua maior parcela é representada pelos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e elementos radioativos como o urânio. Seus malefícios são o fato de serem poluentes sendo que, representaram um consumo de 74% na matriz elétrica no mundo em 2018, segundo dados do IEA (2020).

As fontes renováveis, são encontradas na natureza de modo contínuo, ou seja, são fontes inesgotáveis, como exemplo, tem-se a energia solar, geotérmica, eólica, dentre outras. Seus benefícios são, de não poluir o meio ambiente e de acordo com a localização, são fontes abundantes para geração de energia.

Desde o final do século XX e início do XXI, a ONU realiza conferências mundiais para discussões climáticas, como a Cúpula do Clima, que tem periodicidade anual e, que busca alternativas para retardar os impactos que o homem provoca na natureza. Dentre essas alternativas, pode-se citar a redução no consumo de fontes de energia que emitem em excesso gases contribuintes ao efeito estufa e, como solução para mitigar a situação vem se fortalecendo o conceito de utilização de fontes renováveis e limpas em substituição aos que causam tais impactos ao meio ambiente (ONU, 2020).

Diante de tal cenário, exposto anualmente pela ONU (2020), diversos países vêm discutindo alternativas aos incentivos para ampliação da utilização de fontes renováveis, cada qual, de acordo com as vantagens que cada país possui para usufruir melhor das condições de uso das fontes alternativas existentes.

De acordo com Silveira (2017), é necessário que os países se conscientizem do carecimento de investir em políticas de conscientização do consumo e de desenvolvimento tecnológico, a fim de obter eficiência e redução dos custos de energia para a sociedade. Dessa forma, estes países estão diversificando sua matriz energética, se preocupando com questões ambientais e também mantendo suas atividades econômicas.

Segundo Bezerra (2016), muitos empreendimentos vêm aquecendo a economia em diversos países e, novas tecnologias e metodologias vêm agregando valor e incentivando o consumo de fontes renováveis assim como, incentivos governamentais e facilidades que contribuem para que a utilização de fontes limpas se torne ampla, rentável e acessível para todos que desejem usufrui-la.

No Brasil, fatores como a limitação dos recursos não-renováveis, facilitação da comercialização das novas fontes de energia, surgimento de novas tecnologias, novas diretrizes dos órgãos relacionados à energia e à preservação do meio ambiente, levaram o país a diferentes escolhas para a composição de sua matriz ao longo das últimas décadas. Contudo, a matriz energética de produção no Brasil tem-se diversificado de forma intensiva, como resposta ao aumento dos níveis de consumo (WALTER, 2010).

Segundo o mesmo autor, hoje o Brasil é considerado um dos países de grande destaque mundial, mais de 80% da sua matriz elétrica é derivada de fontes limpas e, o seu potencial de ampliação deste tipo de consumo é notável, devido a fatores como as condições climáticas que favorecem a implantação de diversas fontes renováveis.

Foi observado pela EPE (2020), que nos últimos anos, o crescimento da capacidade instalada de fontes como eólica e fotovoltaica foram os grandes destaques de investimentos no país, agregando grande valor na economia brasileira.

Segundo a EPE (2020), durante a pandemia da COVID-19, foi observado um maior consumo total de energia e além disso, uma interrupção de negociações e trâmites políticos. Porém, quando observado o cenário de energia fotovoltaico, foram acrescidos diversos

investimentos e ativação de novas cooperativas e usinas no território nacional, ou seja, percorrendo uma direção inversa, o que proporcionou o crescimento do setor.

Segundo a Absolar (2021), ganha-se destaque a energia fotovoltaica com um crescimento projetado de 90% da capacidade instalada em território nacional no ano de 2020, sendo o estado de Minas Gerais o que mais investe para o crescimento do setor.

Segundo os estudos da EPE (2020), acrescido a expansão da fonte fotovoltaica, tem-se o crescimento da geração distribuída (GD) ou *on grid* no país, ou seja, novas empresas e consumidores, vem implementando painéis fotovoltaicos em casas, empreendimentos ou terrenos próximos do local de consumo, visando obter sua própria energia. Tem sido observado também grupos que compartilham a geração, novas legislações que favorecem a ampliação e utilização do modelo, o que contribui para o crescimento do setor.

Como exposto, diversos fatores podem implicar na expansão do setor fotovoltaico no Brasil, alguns destes aspectos são nítidos de se observar e, outros fatores podem estar relacionados de modo intrínseco e necessitam de melhor apuração.

Diante de tal cenário, esse trabalho busca analisar a geração de energia, através da fonte solar fotovoltaica, no sistema de geração distribuída (GD) no Brasil, investigando quais as possíveis variáveis qualitativas que vem influenciando para impulsionar a economia em relação ao crescimento do setor, para tal é utilizado de um estudo de séries temporais buscando analisar as variáveis que influenciaram no setor mesmo diante de um cenário de pandemia.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo o IEA (2020), o ano de 2021 deu origem a uma nova era, a da energia sem carbono, devido à tendência de crescimento das fontes limpas e renováveis em todo o mundo e, em especial no Brasil.

No Brasil, esse crescimento das fontes limpas acaba por ser uma reação de causalidade, pelos resultados adquiridos com os atuais incentivos governamentais, redução de custos, pela busca de soluções e alternativas que visam o bem comum, aspectos geográficos do país, maior acessibilidade e novos investimentos de micro e grande empreendedores, que torna o momento oportuno para a tendência de expansão do setor pós COVID-19.

Tais critérios, influenciam no aumento da demanda e, a motivação deste estudo foi validar quais variáveis qualitativas que podem implicar na expansão do setor de geração distribuída fotovoltaica e, buscar investigar os resultados deste crescimento, visto que a expansão de energia fotovoltaica se mostra potenciais ganhos no Brasil e para todo o mundo.

Ainda diante do exposto, tem-se que uma das subáreas da Engenharia de Produção é a previsão de dados, utilizadas na Pesquisa Operacional, Econometria, Logística, PCP e dentre outros, onde a partir de diversos modelos estatísticos, utilizando-se da média com a confiabilidade de 95%, podemos identificar fatores que influenciam nas métricas pré-estabelecidas, no planejamento estratégico, nos padrões de qualidade de determinado setor e, conforme estudo utilizar para modelo de previsão de demanda, capacitando com maior assertiva as futuras tomadas de decisões e desafios para dado setor.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

Esse estudo, busca uma modelagem através do estudo de séries temporais, que como tal tem por objetivo avaliar a tendência de crescimento da capacidade instalada de energia fotovoltaica, considerando a geração distribuída, para os setores comercial, industrial e residencial no Brasil.

Neste estudo de series temporais, os dados coletados para o estudo estatístico foram dados quantitativos e todos estes utilizados para os testes, seguindo a metodologia Box-Jenkins e, por conseguinte, efetivar a previsão, já os dados qualitativos, tem por objetivos descrever o processo de previsão e justificar a influência sobre tais informações após efetivada a previsão, já que tal estudo, recebe muitas influencias qualitativas, como da economia, política, discussões sustentáveis, dentro outros aspectos citados ao longo do estudo.

Os dados de janeiro de 2015 até agosto de 2021, foram utilizados para gerar a tendência da série analisada e posteriormente, executar a metodologia Box-Jenkins, para definir o modelo mais adequado para o estudo e por fim, executar a previsão para os setores em um período de 12 meses, já que os impactos econômicos e políticos, tornam essas mudanças mais voláteis. Diante dessas informações foram determinadas as principais razões para as alterações e possíveis impactos para o setor do ponto de vista de informações qualitativas econômicas.

1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

Além dos fatores citados, diversos aspectos podem influenciar na expansão de fontes limpas, neste trabalho o foco foi analisar através do estudo de séries temporais, o cenário da geração distribuída de energia fotovoltaica no Brasil, observando-se os setores comercial, residencial e industrial.

Dadas essas informações, dentro de um período de 12 meses, foram possíveis prever de modo quantitativo e observar quais fatores qualitativos contribuíram no crescimento, retração ou estabilidade dos setores, além de, permitir identificar possíveis oportunidades de longo prazo.

Como objetivos específicos, pretende-se:

(i) analisar o comportamento das principais fontes renováveis de geração de energia;

(ii) explicar a forma de geração de energia fotovoltaica;

(iii) analisar: o comportamento da capacidade instalada de energia fotovoltaica no Brasil nos últimos anos, o consumo e o investimento relacionados à essa fonte de geração nos setores comercial, residencial e industrial no Brasil;

(iv) observar os impactos de curto prazo, devido a pandemia da COVID-19, voltado à fonte fotovoltaica;

(v) observar quais as mudanças executadas pelos setores e se as mesmas proporcionaram crescimento ou estagnação.

E como objetivos qualitativos secundários podemos compreender que os seguintes pontos:

(vi) observar a influência das tomadas de decisões políticas, econômicas e sociais voltadas para implementação de sistemas fotovoltaicos e compreender como a longo prazo a demanda pelo sistema irá se comportar.

(vii) observar o quanto a sociedade está preocupada com questões sustentáveis.

(viii) compreender se os investimentos no setor, seja público ou privado, estão proporcionando os resultados de crescimento esperado.

1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

O presente estudo é classificado como exploratório e descritivo, buscando avaliar determinado fenômeno através da abordagem de dados quantitativos e qualitativos, avaliando possíveis variáveis que impactam na potência instalada de geração distribuída fotovoltaica, nos setores comercial, industrial e residencial e, discutir os resultados obtidos e sua relevância no setor econômico observando também os impactos da COVID-19.

O trabalho, também, pode ser classificado como uma modelagem, no qual foram utilizados dados da geração distribuída, nos setores citados, ao longo do período de janeiro de 2015 até agosto de 2021, para a modelagem do comportamento dessa variável por meio do método de séries temporais, verificando-se qual o melhor modelo para o estudo em questão.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi subdividido em cinco capítulos, sendo que, além dessa introdução, o segundo capítulo visa analisar o fornecimento de energia de modo geral, suas principais fontes limpas e renováveis, compreender como funciona em detalhes a geração de energia fotovoltaica, as principais diferenças entre o sistema de geração centralizada, isolado e distribuído e verificar como o mundo vem aplicando este modelo de geração.

Ainda no capítulo 2, busca apresentar uma percepção do mercado de energia brasileiro, com dados informativos que relatam o crescimento do setor fotovoltaico, cooperativas voltadas pelo setor, os investimentos realizados que vem impulsionando o setor, uma pequena abordagem de regulamentos estabelecidos para o consumo e normas para a comercialização, como o mercado econômico encontra-se favorável para implementação da energia fotovoltaica, assim como, adentrou-se no objetivo deste estudo de fatores que estão influenciando no crescimento da utilização de energia fotovoltaica no país.

O terceiro capítulo, tem por objetivo apresentar a metodologia do estudo, utilizando de uma análise de série temporal descrevendo os principais modelos a serem utilizados para a modelagem dos dados em estudo.

Por fim, o capítulo quatro apresenta os resultados quantitativos obtidos neste trabalho, como a escolha do modelo, validação do modelo e simulações que geraram as previsões para

um cenário de 12 meses. E, ainda, averiguar quais aspectos qualitativos estão de acordo com as análises feitas nos capítulos anteriores.

No capítulo cinco, tem-se as conclusões do trabalho dada a análise da capacidade instalada de energia fotovoltaica dos setores comercial, industrial e residencial.

2. GERAÇÃO DE ENERGIA

Este capítulo visa abordar alguns aspectos da geração de energia, como quais são as principais fontes renováveis, como se dá o funcionamento do sistema fotovoltaico, as diferenças entre o modelo de geração distribuída (GD) ou *on grid*, geração centralizada (GC) e geração isolada ou *off grid*, o consumo de energia fotovoltaica no mundo e no Brasil, as fazendas e cooperativas focadas no setor e a abordagem econômica e dos investimentos realizados no Brasil.

Como abordado anteriormente, a geração de energia elétrica se deu em conjunto com a primeira revolução industrial onde fontes como carvão e o petróleo proporcionaram avanços tecnológicos em diversos setores de consumo e ocasionou facilidades ao dia a dia do homem.

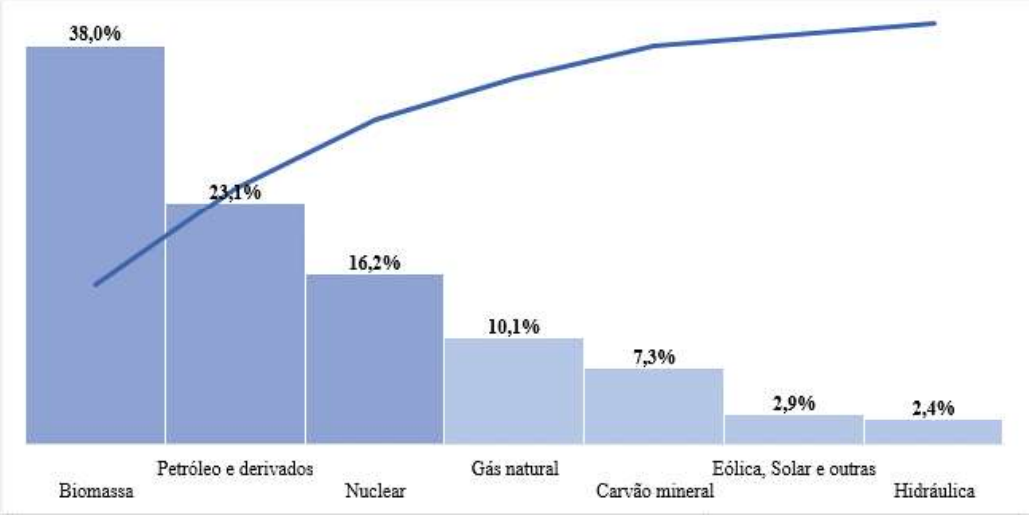
Nos dias atuais, observa-se que a necessidade de reduzir o consumo de fontes não renováveis se torna essencial, em virtude da necessidade de reduzir a emissão de gases poluentes.

Segundo a ONU (2019), a população mundial é de aproximadamente 7,7 bilhões de habitantes e, sua tendência é de que até 2030 haverá um aumento de 26% de pessoas, totalizando uma população de 9,7 bilhões de habitantes no mundo. Já no Brasil, em 2020, a população alcançou o quantitativo de 211,7 milhões de habitantes e a expectativa, segundo dados do IBGE em 2013, é de que a população brasileira alcance 220 milhões de pessoas em 2030.

Segundo o documento "*International Energy Outlook* (IEO)", elaborado pela *Energy International Administration* (EIA) em 2018, o consumo de energia elétrica no mundo possui a tendência de aumentar 80% entre os anos de 2006 e 2030. Esse aumento pode ser explicado pela escalada de renda nos países emergentes, que ampliou a necessidade de geração de energia elétrica e que ocasiona na oportunidade da energia elétrica se tornar mais acessível e ter uma distribuição mais igualitária para toda população.

Quando se observa o consumo de energia no mundo, em 2018, tem-se que cerca de 74% da matriz elétrica é derivada de fontes não renováveis e apenas a restante oriunda de fontes renováveis, conforme mostra o gráfico 1.

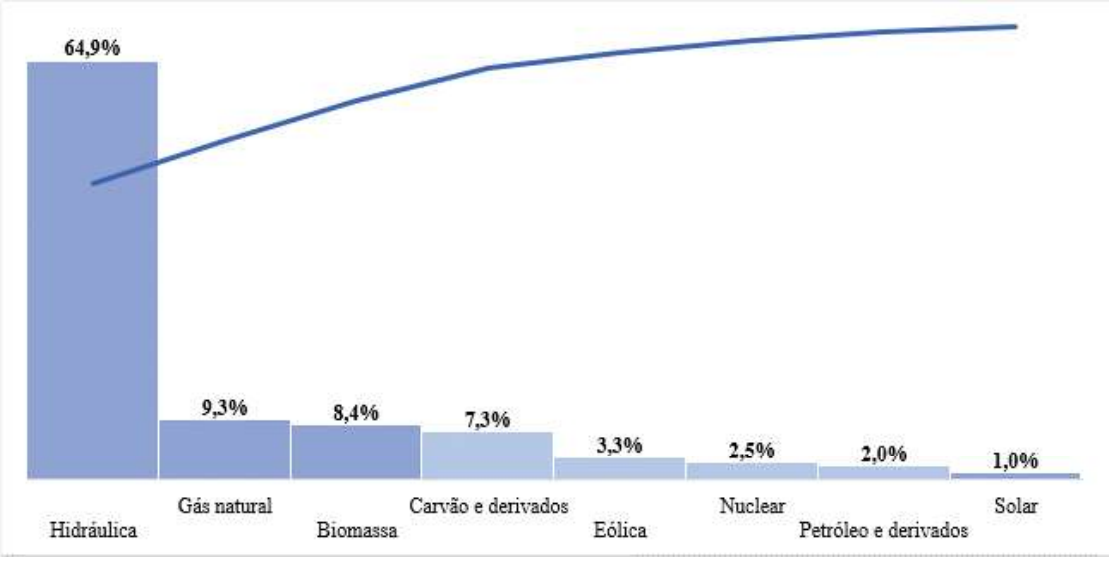
Gráfico 1 - Matriz elétrica mundial 2018



Fonte: Adaptado de IEA (2020).

Tal consumo mundial opõe-se à matriz elétrica brasileira, que é considerada a mais renovável do mundo, onde mais de 80% de sua utilização, em 2019, foi originária de fontes limpas, sendo que grande parte da energia elétrica gerada no Brasil é derivada de usinas hidrelétricas, seguido da energia eólica, solar e dos biocombustíveis conforme se observa no gráfico 2 a seguir.

Gráfico 2 - Matriz elétrica brasileira 2019



Fonte: Adaptado do BEN (2020).

Apesar do Brasil ser referência mundial na utilização de fontes limpas de energia, o país não explora todo o seu potencial, como exemplo, sua condição climática de altas incidências de raios solares ao longo de todo o ano. Desse modo, torna-se necessário novos investimentos e incentivos para ampliação no uso de fontes limpas a fim de proporcionar o crescimento no país.

Segundo a Agência Internacional de Energia (2020), as fontes renováveis responderam por quase 90% do aumento da capacidade instalada[1] de energia no mundo em 2020, sendo que os últimos seis anos demonstraram um pico de crescimento. O mesmo levantamento, mostra que a geração de energia limpa possui uma tendência de crescimento positiva e em paralelo se observa o declínio na utilização de combustíveis como o petróleo, gás e carvão. Ainda neste estudo, prevê-se que nos próximos cinco anos, incentivos dos governos e reduções financeiras para investimentos no setor de fontes limpas irão alavancar o crescimento das fontes renováveis.

Segundo dados obtidos por Dantas e Pompermayer (2018), uma das fontes que tem se destacado no setor de geração de energia renovável é a solar fotovoltaica. A qual devido a redução dos custos no setor e ascensão tecnológica dos materiais semicondutores que são necessários para a fabricação de painéis fotovoltaicos, a energia solar aumentou sua participação na matriz elétrica. Como destaque do setor, tem-se a China que realizou altos investimentos na fonte solar nos últimos anos.

Segundo IPEA (2018), projeta-se que a capacidade eólica e solar fotovoltaica irão ultrapassar o consumo de gás natural e carvão até 2024, mais otimista ainda o cenário prevê que em 2025, as fontes renováveis se tornarão a maior fonte de geração de eletricidade do mundo.

O Brasil por sua vez, possui um grande potencial em fontes renováveis, com destaque para a energia eólica e a solar. De acordo com dados da ANEEL (2018), o Brasil obteve de capacidade instalada eólica 162,5 GW[2] e além deste dado, a capacidade de extensas regiões propícias a irradiação dos raios solares para geração de energia fotovoltaica.

Segundo reportagem publicada no jornal O Globo (2021), ao longo da pandemia ocorreram grandes prejuízos no setor de energia elétrica, onde alternativas para contornar a situação foram o aumento da tarifa, importação de energia e ativação de termelétricas, soluções que visam mitigar a situação e que impactam no custo de vida da sociedade, porém, se mostra benéfico para ampliação no uso de energia limpas, como a solar fotovoltaica.

---

[1] É o somatório das potências instaladas, concedidas ou autorizadas, das usinas de geração de energia elétrica em operação localizadas no sistema.

[2] Gigawatt (GW) - ordem de grandeza 10^9W

Gráfico 3 - Evolução da bandeira tarifária em 2021

Fonte: O Globo (2021).

Com isso, diante do crescimento da população, da demanda por energia elétrica e da necessidade de redução de gases poluentes é de suma importância que se preocupe com os investimentos em energia elétrica renovável, para que assim, o mundo seja capaz de sustentar as mudanças provocadas pelo ser humano.

2.1 FONTES RENOVÁVEIS

Esta seção visa abordar brevemente as fontes de energia renováveis e os principais meios de usufruir destas fontes. Tem-se que, as fontes renováveis são recursos naturais inesgotáveis, ou seja, capazes de se recompor constantemente podendo ser utilizados para geração de energia, acarretando como benefícios a não poluição do meio ambiente (PORTAL SOLAR, 2015).

As energias renováveis, ganham destaque no fornecimento de eletricidade com baixo impacto ao meio ambiente, como a geração de energia eólica, biomassa e solar (OLIVEIRA, 2011). Segundo ONU (2020) tem-se que, nos últimos anos, as fontes de energia renovável estão em ascensão no mercado, devido ao crescimento da indústria, maior demanda econômica, escassez das fontes comumente utilizadas, como o carvão e maior rigidez de órgãos como a mesma para a redução da poluição ambiental e emissão de gases do efeito estufa.

Com isso, tem-se que as principais fontes de energia renovável são: a luz do sol (energia solar), os ventos (energia eólica), a água (energia hidráulica), as oceânicas, o calor da terra (energia geotérmica) e a biomassa como combustível. A seguir, apresenta-se um breve descritivo desses principais tipos, segundo informações do EPE (2020):

(i) Oceânica: a energia proveniente desta fonte vem das ondas, marés ou das correntes marinhas. Através de uma barragem em locais de grande amplitude de *maré*, ocorre a passagem da água que através da turbina que se movimenta e transforma a energia cinética em eletricidade (maremotriz).

Tal meio, ainda é pouco explorado e encontra-se em estudos, protótipos e testes em diversas partes do mundo. Acredita-se que no Brasil, onde possui 8 mil quilômetros de litoral, a capacidade instalada pode chegar a 87 gigawatts de energia, segundo pesquisa da USP (2018).

(ii) Geotérmica: O calor no interior da Terra produz vapor e água quente que podem ser usados por geradores de energia, podendo ser extraída de reservatórios subterrâneos profundos ou de reservatórios geotérmicos na superfície.

No Brasil, segundo a IndEco (2019), a energia geotérmica é utilizada em parques de águas termais que atrai turistas em algumas regiões, mas não é explorado como potencial de geração de energia, como ocorre na Islândia onde mais de 25% da sua energia é proveniente desta fonte.

(iii) Eólica: A energia eólica é obtida através do aproveitamento do vento para transformar a energia cinética em energia elétrica, onde são aplicados aerogeradores com hélices que se movimentam de acordo com a quantidade de vento no local.

No Brasil, o maior potencial de geração é encontrado na região Nordeste, que representa 85% de geração de energia e observa-se o avanço de parques eólicos, com crescimento de mais 971 MW[3] no ano de 2019, segundo a FUNDAJ (2019).

(iv) Biomassa: oriunda de toda a matéria vegetal e orgânica existente, como exemplo a lenha, bagaço de cana-de-açúcar, cavaco de madeira, resíduos agrícolas, algas, restos de alimentos e até excremento animal que, após sua decomposição, produz gases que são captados

[3] Megawatt (MW) - Ordem de grandeza de 10^6W

para gerar energia. O vapor em alta pressão proveniente desta queima é utilizado para acionar turbinas e geradores elétricos.

No Brasil, a biomassa tem maior predominância com a utilização da cana-de-açúcar, que hoje tem uma representatividade nacional de cerca de 8,4%, segundo levantamento publicado no site do governo (GOV, 2020).

(v) Hidráulica: uma das fontes mais utilizadas e conhecidas no Brasil, onde a energia gerada por esta fonte vem do aproveitamento da água dos rios. Tem-se que nas usinas hidrelétricas, as águas movem turbinas que transformam a energia da água (cinética) em energia mecânica e, por fim, em elétrica. Segundo a Agência Brasil (2020) altos investimentos e notórias usinas são observadas no território nacional, muito devido a sua grande extensão de bacias hidrográficas.

(vi) Solar: proveniente do sol, uma fonte inesgotável que pode ser aproveitada na forma de calor ou na forma de luz. A eletricidade gerada a partir da luz é captada pelos painéis fotovoltaicos ou através do aproveitamento do calor nas usinas heliotérmica, como é objeto de estudo deste trabalho será abordado com maiores detalhes a posteriori.

Conforme foi apresentado, as usinas de energia renovável conquistaram amplo espaço no território nacional. Mas, de acordo com BEN (2020), continua a geração hidráulica com uma alta representatividade, no Brasil, responsável por mais de 60% da geração de energia elétrica do país.

Contudo, segundo o Portal Solar (2020) observa-se o crescimento de meios alternativos como a energia eólica, onde representa mais de 250 usinas eólicas instaladas com capacidade de 6.39 GW em 2019 e outra tendência seria o uso da energia solar.

De acordo, ainda, como o Portal Solar (2020), estima-se que até 2050 a quantidade de energia gerada por painéis solares alcance entre 78 e 128 GW, isso se deve aos elevados índices de incidência solar, o que torna a captação da luz mais eficiente.

Diante do exposto, escolheu-se a energia solar como objeto de estudo deste trabalho, sendo assim, as próximas seções visam apresentar detalhes sobre o funcionamento deste sistema, os modos disponíveis para distribuição deste modelo de energia, seu consumo no mundo e no Brasil e concluir com uma visão do cenário econômico assim como, os investimentos em potencial no setor.

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Os parágrafos a seguir irão explicar o funcionamento da energia solar, as formas de distribuição desta fonte, além de, enfatizar como se comporta tal fonte de energia no cenário brasileiro.

Segundo Lodi (2011), desde os primórdios, a luz solar foi utilizada como fonte de calor. Sua possibilidade de utilização para outras finalidades foi avaliada ao longo do século 19, onde diversas tentativas surgiram para o aproveitamento da energia solar, uma destas opções foi através da captação de sua radiação em vapor de baixa pressão para impulsionar as máquinas a vapor utilizadas nas indústrias.

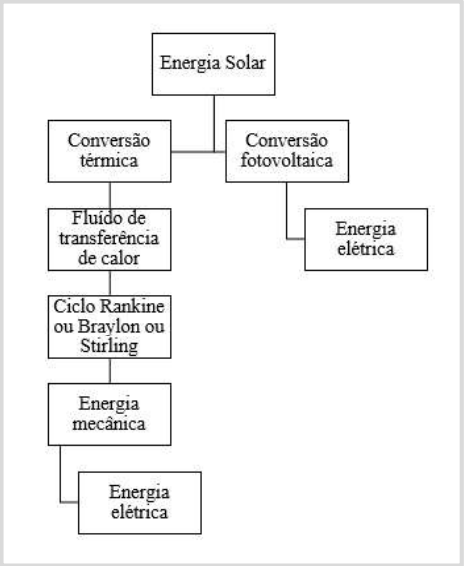
Mas, o efeito fotovoltaico foi averiguado pelo físico Edmond Becquerel no ano de 1839 onde ele observou que as propriedades do selênio produziam um tipo de corrente elétrica com a incidência solar (LODI, 2011).

Ainda segundo o mesmo autor, com a evolução dos anos em 1958, a NASA implantou a utilização de painéis fotovoltaicos em um satélite e o resultado demonstrou confiabilidade, durabilidade e eficiência. Devido à crise do petróleo na década de setenta, criou-se o modelo de coletor solar hoje utilizado, pelos EUA e ainda na mesma época, no Novo México, foi criada a primeira planta solar comercial, onde os coletores atingiam 500ºC e tinha por finalidade gerar calor para os processos industriais.

Nas décadas de oitenta e noventa, foram também marcadas por maiores investimentos em programas de financiamento e de demonstração, motivados sobretudo pela consciência crescente da ameaça das alterações climáticas devido à queima de combustíveis fósseis (WILLEKE, 2004).

Segundo Kamal (1988), seu funcionamento ocorre através da captação da radiação solar (calor e luz) e com a transformação em eletricidade, essa subdividida em dois tipos: conversão térmica ou conversão fotovoltaica, de acordo com o esquemático da figura 1 a seguir.

Figura 1 - Esquema de conversão de energia solar

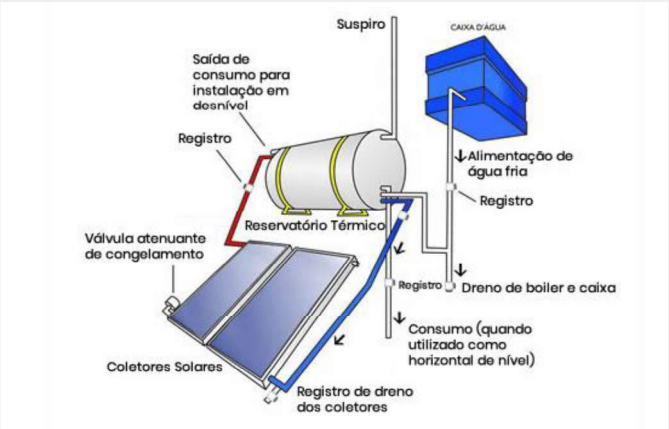


Fonte: Adaptado de Kamal (1988).

A conversão térmica ocorre através de um processo termodinâmico, onde o coletor transforma a energia da radiação solar em energia interna, ou seja, um fluido que gera trabalho, em geral vapor ou gás, e assim, convertido em energia mecânica que impulsiona o funcionamento do sistema (KAMAL, 1988).

Conforme apresentado na figura 2, tem-se que o sistema térmico ocorre quando a água passa da caixa d'água para o reservatório térmico, estando no reservatório ela é transferida para os coletores solares, onde a radiação solar captada, transfere calor para aquecer a água do compartimento. Estando aquecido, a água regressa para o reservatório térmico, onde é mantida aquecida por longo período de tempo e direcionada para o consumo da residência quando necessário.

Figura 2 - Esquemático da conversão de energia solar em térmica



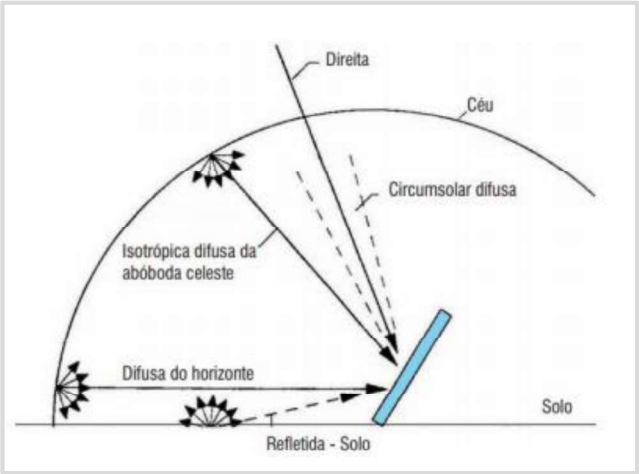
Fonte: Econoterm (2021).

Já o outro modelo de conversão, segundo GREEN (2000), considera que a luminosidade é captada através de células fotovoltaicas, estas formadas em sua maior parte pelo silício, que proporciona uma maior eficiência, algo em torno de 25% ou algum outro material condutor como o arseneto de gálio, telureto de cádmio ou disseleneto de cobre e índio, ocasionando uma reação elétrica, onde ocorre a transformação de uma corrente contínua (CC) através de um inversor em corrente alternada (CA), podendo alimentar as residências, indústrias e serviços.

Segundo Blaszczak (2017), os projetos geralmente usam estruturas de módulos solares de inclinação fixa projetada para fornecer o melhor perfil de produção de energia. De acordo com ANEEL (2018), os módulos fotovoltaicos são geralmente orientados em direção ao equador com ângulo de inclinação levemente menor que a latitude do local.

Como exemplificado na figura 3, segundo Duffie e Beckman (1991), para melhor aproveitamento da luz solar o ideal é que o coletor seja instalado com o ângulo de inclinação igual à latitude local. Com essa configuração a incidência de raios solares são perpendiculares à placa, otimizando a utilização da energia fornecida. Tal fato se deve, que a energia solar anual recebida em função a inclinação da placa é máxima, ou seja, igual a latitude.

Figura 3 - Esquema de incidência de radiação em uma superfície



Fonte: Adaptada, DUFFIE; BECKMAN (1991).

Dado esse modelo de funcionamento, Caldas e Moisés (2016), apresentam que podem existir em três formatos para a geração de energia solar fotovoltaica: geração centralizada, sistema isolado ou *off grid* e sistema distribuído ou *on grid*.

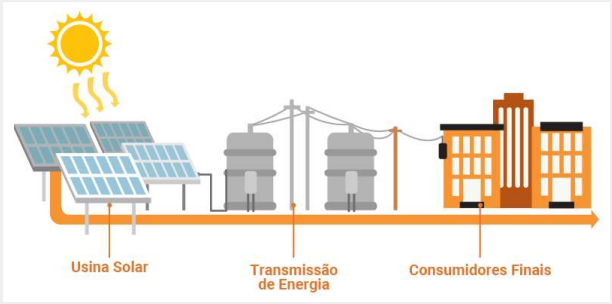
O subtópico a seguir, busca detalhar sobre os principais meios de geração de energia solar fotovoltaica: sistema centralizado, sistema isolado ou *off grid* e sistema distribuído ou *on grid*. Assim como, abordar sobre incentivos no Brasil para o uso do sistema distribuído de

energia fotovoltaico, que vem alcançando marcos de crescimento, sendo que, grande parte desta tendência é devido ao uso de energia solar fotovoltaica e será considerado nos dados coletados para o estudo deste trabalho.

2.2.1 Geração De Energia Fotovoltaica

A geração centralizada é formada por grandes usinas que geralmente ficam afastadas dos centros de consumo, onde necessitam de extensas linhas de transmissão. Esse modelo é comumente utilizado no Brasil, mas para distribuição de energia proveniente de hidrelétricas. Seu funcionamento é representado no esquemático da figura 4.

Figura 4 - Funcionamento do sistema centralizado



Fonte: Perfil energia (2021).

No Brasil, segundo a EPE (2020), a Geração Centralizada (GC) é reconhecida como o método tradicional de geração de energia elétrica, na qual grandes parques ou sítios são destinados a geração e a transformação da energia, como ocorrem com as usinas térmicas e hidrelétricas ou as novas fazendas de energia limpa que surgiram no mundo e no Brasil.

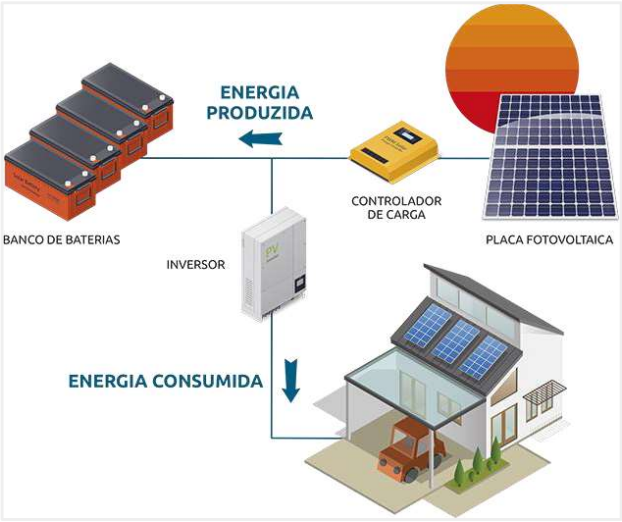
Segundo a mesma fonte, o Brasil utiliza da fonte hidrelétrica como principal meio para geração de energia elétrica, porém, para a implementação das usinas hidrelétricas, necessita-se de uma extensa estrutura para sua instalação e de linhas de transmissão para a distribuição de energia quando alocadas distantes dos locais de distribuição, o que ocasiona em perdas e reduz a eficiência de todo o processo.

Como forma de manter o sistema de geração centralizado estável, surgiu a oportunidade de investir na geração de energia híbrida. Isto é, quando a usina de energia fotovoltaica é instalada em conjunto com outro tipo de usina como a eólica, hidráulica ou outra fonte não renovável como termoelétrica, Cruz (2015) e Strangueto (2016).

Outro modelo de distribuição é o sistema solar fotovoltaico isolado ou *off-grid*, conforme apresentado na figura 5, aquele em que a energia é produzida e consumida, e o

excedente dessa geração de energia precisa ser armazenado em baterias, para que seja utilizado em períodos noturnos ou de pouca luminosidade. Esse tipo de geração ocorre em locais remotos ou de difícil acesso e são necessários por estarem distantes dos sistemas interligados (CALDAS e MOISÉS, 2016).

Figura 5 - Funcionamento do sistema off grid



Fonte: ECO Aquecedores (2021).

Segundo o CEPEL (2014), quando se trata do modelo de geração de energia isolado ou *off grid*, tem-se que ele se adapta melhor quando necessário sua implementação longe de grande centro de distribuição, ou ainda, em postes de luz implementados em estradas, por exemplo, não necessitando com isso de interligação com as redes de distribuição e se tornando um sistema independente.

Ainda segundo o mesmo estudo, a energia gerada pelos painéis solares é armazenada nas baterias instaladas no mesmo local e indispensáveis para implementação deste sistema, onde estas estão interligadas com dispositivos para controle de carga e descarga ou melhor, o controlador de carga. Também possui neste sistema, o inversor para conversão de corrente contínua em corrente alternada.

Como se trata de um sistema autônomo, ainda não possui regulamentação no Brasil vigente sobre seu uso. Tem-se a intenção de regulamentar a utilização de baterias e novas tecnologias para o armazenamento de energia, que deve se concretizar ao longo da próxima década de 2020, segundo Abolar (2020).

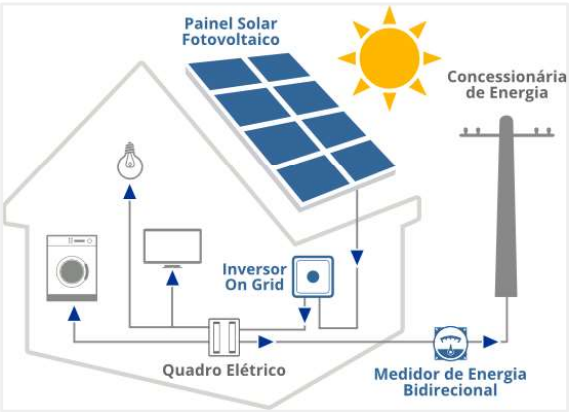
De acordo com ALVES (2019), a utilização de módulos *off-grid* no Brasil ainda é reduzida e, possui pequenos investimentos testando tal tecnologia, como exemplo, a Ansol montou um sistema de armazenamento de energia em Uberlândia - MG, que possui uma capacidade instalada de 1,4 MWh.

Conforme relatado nos parágrafos anteriores, o sistema isolado ou *off grid,* apesar de oferecer autonomia para os consumidores, ainda caminha em passos lentos para investimentos no Brasil, tem-se como dificuldade os altos custos de aquisição de baterias, além de, as baterias não possuírem capacidade de armazenamento completa para o sistema funcionar de modo eficiente e gerar dificuldades para o adequado descarte do material.

No Brasil, pode-se dizer que o sistema GC já se encontra maduro e consolidado no mercado e, o sistema isolado ou *off grid* ainda se encontra em estudo para sua implementação. Contudo, observa-se que o setor elétrico tem-se voltado bastante para o desenvolvimento do modelo de Geração Distribuída (GD) ou *on grid*. A seguir, são apresentadas informações deste modelo e seus benefícios.

Segundo Caldas e Moisés (2016), o sistema solar fotovoltaico distribuído ou *on-grid* é formado geralmente por pequenas usinas instaladas no ponto de consumo ou próximo, conforme apresentado na figura 6. Neste sistema, o proprietário pode produzir sua própria energia e seus excedentes podem ser revertidos em créditos, podendo ser abatidos nas faturas mensais ou consumidos quando não tiver uma alta incidência solar.

Figura 6 - Sistema de funcionamento on grid



Fonte: Fóton Engenharia (2021).

O sistema *on-grid* é o mais utilizado no Brasil, quando se trata de consumo de energia solar fotovoltaico, capaz de proporcionar ao consumidor a economia na conta, permanecendo

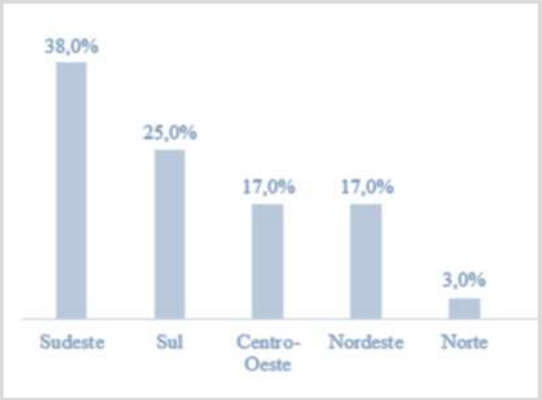
o pagamento das taxas obrigatórias definidas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) para a concessionária[4] de energia. Caso não produza o suficiente para o consumo, o pagamento ocorre normalmente a distribuidora de energia (ANEEL, 2018).

Segundo o Portal Terra e Sol (2018), com o sistema *on-grid* o consumidor consegue economizar até 95% nas contas de energia elétrica. Os créditos adquiridos na geração de energia, podem ser usados por outras unidades consumidoras, estando cadastrada com o mesmo CPF do titular e sob domínio da mesma concessionária ou cooperativa de energia.

Segundo relatório do Grupo de Estudos do Setor Elétrico da UFRJ (Gesel), realizado por CASTRO *et al*. (2020), tem-se observado muitas inovações e o uso de metodologias mais eficientes, que buscam reduzir os impactos ambientais, seja no processo de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica. Esse fato, atrelado a necessidade de investimento e expansão do setor elétrico brasileiro, tem possibilitado a ampliação da geração distribuída (GD) como alternativa às tradicionais soluções vigentes.

De acordo com dados da ANEEL (2020), a expectativa de crescimento pelos próximos 10 anos de geração de energia fotovoltaica é em torno de 0,8 GW por ano no sistema GD ou *on grid*. No primeiro semestre de 2020, foi observado uma maior participação de energia fotovoltaica, com relação à potência instalada, que representou um crescimento de cerca de 78%, com destaque para a região Sudeste, responsável por 38% da potência total, como mostra o gráfico 4.

Gráfico 4 - Potência instalada na GD fotovoltaica por regiões do Brasil



Fonte: Adaptado da ANEEL (2020).

[4] De acordo com, a Resolução Normativa ANEEL n. 479, de 03 de abril de 2012 (Diário Oficial de 12 de abr. de 2012, p. 48), uma concessionária é um agente titular de concessão federal para prestar o serviço público de distribuição de energia elétrica, doravante denominado “distribuidora”.

O modelo de geração distribuída, segundo Ackermann (2001), pode ser explicado como uma fonte de geração conectada diretamente à rede de distribuição ou ao consumidor. O autor, neste mesmo trabalho, divide a GD em função da potência, em Micro (até 5 kW[5]), Pequena (de 5 kW a 5 MW), Média (de 5 MW a 50 MW) e Grande (de 50 MW a 300 MW), valores de acordo com o padrão americano, em contrapartida no Brasil, a GD é geralmente limitada por uma potência instalada de até 75 kW ou até 5 MW.

No Brasil, a GD foi definida de forma oficial através do Decreto nº 5.163 de 30 de Julho de 2004, da seguinte forma:

> " Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados (...), conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:
>
> I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e
>
> II - termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética[6] inferior a setenta e cinco por cento, (...).”

Pelo governo em 2012, foi criada a Resolução Normativa 482 que estabelece as condições regulatórias para a inserção da geração distribuída na matriz energética brasileira, apresentando as seguintes definições:

(i) Microgeração distribuída: Sistemas de geração de energia renovável ou cogeração qualificada conectados à rede com potência até 75 kW;

(ii) Minigeração Distribuída: Sistemas de geração de energia renovável ou cogeração qualificada conectados à rede com potência superior a 75 kW e inferior a 5 MW;

Outras medidas que incentivou o consumo da GD, foi através da Lei n° 13.169 (2015):

(i) Isentou o PIS e COFINS a energia injetada na rede;

(ii) Trouxe os incentivos ao setor, como o do Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD);

---

[5] Kilowatt (kW) - Ordem de grandeza 10^3

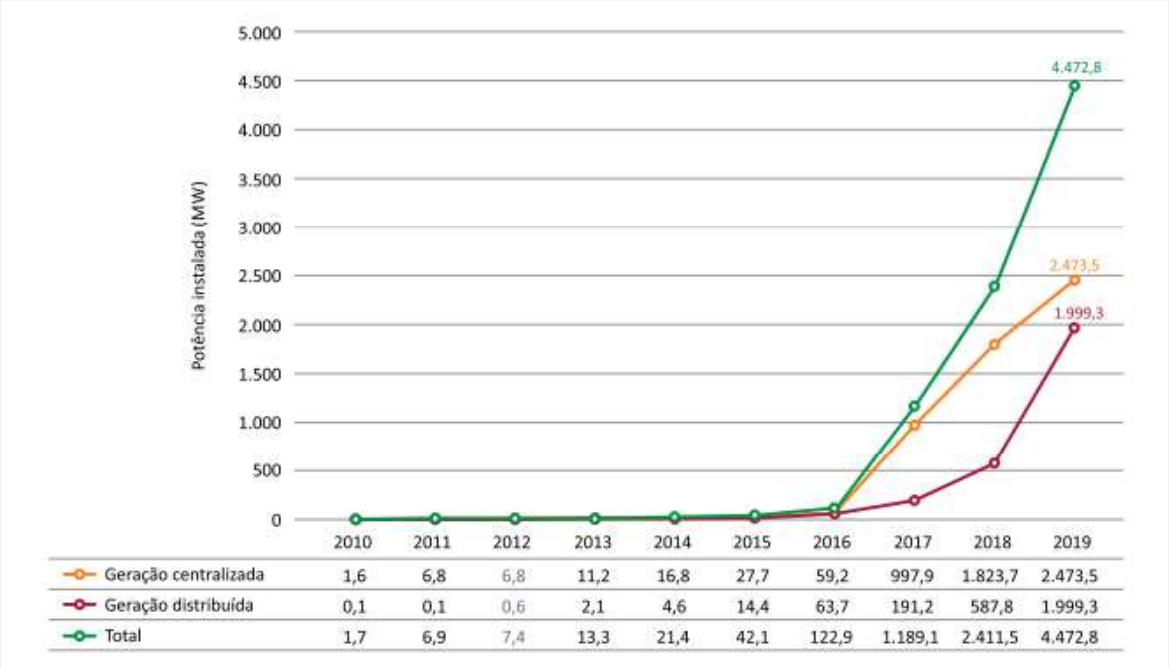
[6] Segundo EPE, a eficiência energética pode ser compreendida como gerar a mesma quantidade de energia com menos recursos naturais ou obter o mesmo serviço ("realizar trabalho") com menos energia.

(iii) Adotou medidas de dedução do IPTU e do imposto de renda por amortização de equipamentos;

(iv) Firmou parcerias para financiamentos através de empresas como Economia Verde (Desenvolve SP), Finem (BNDES), PE Solar (Agefepe), Construcard (Caixa Econômica Federal), CDC Eficiência Energética (Santander), Proger (Banco do Brasil) além da possibilidade de aluguel.

Com a análise da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar) (2020), até janeiro de 2020, o Brasil atingiu um consumo de 2 GW em GD de potência instalada, onde o seu consumo compreende sistemas de microgeração e minigeração distribuída, tanto em residências quanto indústrias, estabelecimentos comerciais, propriedades rurais, serviços públicos e pequenos terrenos. O gráfico 5 demonstra melhor como ocorreu esse crescimento.

Gráfico 5 - Evolução da capacidade instalada de geração de energia solar no Brasil (MW)



Fonte: ANEEL (2020).

Através do Gráfico 5, observa-se que a capacidade instalada, voltada à GC apresentou uma tendência de crescimento desde 2016. Enquanto que, para a GD essa tendência de crescimento se deu, principalmente, a partir de 2018.

Grande parcela desta capacidade instalada é devido a utilização da energia solar fotovoltaica, com representatividade de 99,8% das instalações no País, ou seja, mais de 171 mil

sistemas fotovoltaicos *on-grid*, com mais de R$10 bilhões investidos desde 2012, em todas as regiões brasileiras, de acordo com o Portal Solar (2020).

A EPE (2019), prevê que serão instalados 78 GWp do sistema de geração distribuída até 2050, segregado em 3 GW no poder público, 13 GW no setor industrial, 29 GW de consumo no setor comercial e com destaque a ampliação de 33 GW para o residencial, que reforça que devido a acessibilidade para aquisição dos painéis fotovoltaicos, a projeção no setor residencial tornou-se maior.

De acordo com ALVES (2019), como benefícios da GD destacam-se:

(i) A redução de perdas por transmissão de energia, por estar disponibilizada próxima ao local de consumo;

(ii) Melhor exploração dos recursos; e

(iii) Maior eficiência energética nos empreendimentos.

Em contrapartida, a redução de custos para a implementação do sistema GD provoca impactos negativos no sistema GC, que permite que o controle, planejamento e a operação do sistema elétrico se tornem mais complexo e dispendioso.

A tendência de redução no consumo de GC provoca a necessidade de adequação das concessionárias de transporte e distribuição de energia, o que ocasiona o aumento dos preços e necessidade de controlar oferta e demanda.

Diante de tal cenário, torna-se necessário o estabelecimento de regras democráticas para balancear o interesse de todos os envolvidos no sistema e a manutenção de incentivos à implementação para se manter acessível a todos da população nacional.

A utilização destes sistemas distribuídos, pode ocorrer com a implantação de fazendas solares, que segundo o Portal Solar (2015), são conjuntos de painéis solares fotovoltaicos instalados em propriedades rurais, capazes de gerar mais de 1 MW de potência. Seu nome (*Solar Farm*) foi originário nos anos 90, na Alemanha, onde proprietários rurais optaram por implantar os painéis no local antes destinado às plantações. Exemplos de fazendas solares no mundo e no Brasil, serão apresentados nas próximas subseções.

Outra modalidade presente no sistema distribuído é a criação de cooperativas, que segundo o Portal Solar (2018), é um conjunto de consumidores que implementam um sistema solar fotovoltaico e compartilham a energia gerada entre si, o excedente gera créditos que é dividido, conforme acordo entre os cooperados. Exemplos de cooperativas de sucesso no Brasil, serão abordadas em subseções específicas.

De acordo com o apresentado antes, o mercado de energia limpa ganhou destaque na economia e, se revela auspicioso para investimento nos próximos anos, já que permite autonomia para o consumidor, e incentiva o *mindset*[7] pela busca da preservação ambiental, impulsiona valores éticos, sociais e de governança (ESG). Tais quesitos, reforçam o poder pessoal de pensamento coletivo e de responsabilidade para com as gerações futuras.

2.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL ANTES E DURANTE A PANDEMIA

Este subitem aborda o consumo de energia brasileiro, após apresentar um breve relato sobre como é a matriz de energia do Brasil irá adentrar ao consumo de energia solar fotovoltaico, sua regulamentação, comercialização, os principais investimentos e incentivos e como se encontra o cenário econômico para o setor.

Segundo a EPE (2020), muitos dos benefícios da atual configuração brasileira se dão por conta da sua matriz elétrica, que possui o privilégio de ser uma matriz proveniente de fontes de energias renováveis, com predominância da energia hidráulica, porém, dentro deste cenário, tem-se conquistado espaço para a utilização de novas fontes, como a solar e a eólica.

Através de dados extraídos da ANEEL (2020), observa-se que no ano de 2019 ocorreu um incremento de 7,25 GW de capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil, ultrapassando a meta estabelecida de 5,78 GW, onde 75% desta energia é derivada de fontes renováveis.

Segundo a EPE (2021), a geração de energia elétrica através da força das águas, tem sido por décadas a principal fonte de energia no Brasil, isso é atribuído pela sua competitividade econômica e pela abundância deste recurso energético no território nacional. O potencial hidrelétrico brasileiro é estimado em 172 GW, dos quais mais de 60% já foram aproveitados ao

[7] O termo *mindset* significa "modelo mental". Que nada mais é do que a maneira como uma pessoa pensa. É a configuração dos seus pensamentos. Assim, é a partir daqui que enfrentaremos as mais diversas situações do cotidiano. Também será através dele que seremos capazes de tomar decisões.

longo dos anos, onde sua maior concentração ocorre nas bacias hidrográficas da Amazônia e de Tocantins - Araguaia.

Segundo o mesmo estudo, em relação aos aspectos técnicos, tem-se que as hidrelétricas são um recurso flexível, capaz de prover o controle automático de geração, de tensão e de frequência, através de reservatórios de acumulação, que permitem regularizar as vazões afluentes aos rios, transferindo água de períodos úmidos para secos e o inverso.

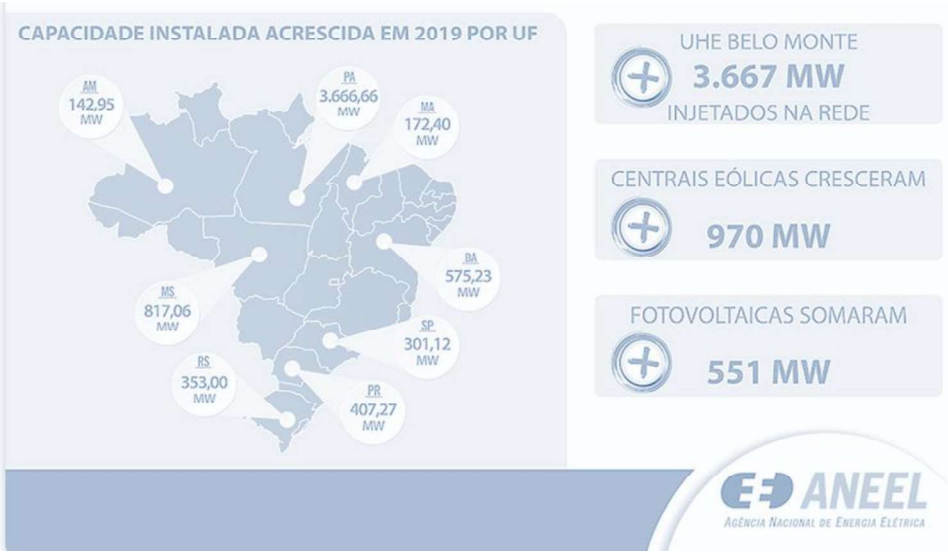
Segundo a EPE (2020), em 2019, as hidrelétricas no Brasil obtiveram um potencial de geração de energia de 4,84 GW, que inclui novos empreendimentos e conclusão de novas usinas. Esses ganhos se justificam, pelos diversos contratos de concessões que foram prorrogados, inclusive o valor do investimento total e o cálculo do novo montante de garantia física[8].

Além do potencial hidrelétrico, observa-se o crescimento de outras fontes de energia na matriz elétrica brasileira, como a ampliação da geração eólica com incremento de 1 GW em 2019, e das usinas solares fotovoltaicas de grande porte que agregaram 0,6 GW à matriz brasileira no mesmo período (ANEEL, 2019).

De acordo com o avanço verificado no ano de 2019 pela ANEEL, os 3.870 empreendimentos de energia solar em operação já são responsáveis por 1,46% da potência utilizada no país, e os 629 de energia eólica, por 9,04%, como pode ser observado na figura 9:

[8] Garantia física, de acordo com ANEEL (2012), é o montante, em MW médios, correspondente à quantidade máxima de energia relativa à Usina que poderá ser utilizada para comprovação de atendimento de carga ou comercialização por meio de contratos, estabelecido na forma constante da Portaria MME nº 258, de 28 de julho de 2008.

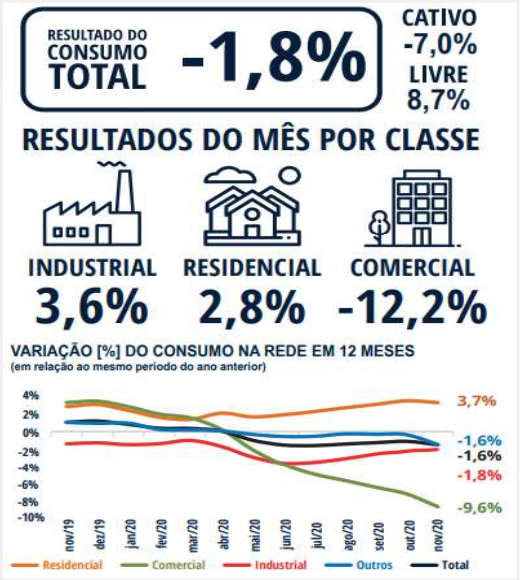
Figura 7 - Capacidade instalada acrescida em 2019



Fonte: ANEEL (2019).

Dado o aumento da capacidade instalada em 2019, a pandemia do COVID-19 trouxe consequências com relação ao consumo de energia. Ao final de 2020, o balanço da EPE mostrou uma pequena queda de 1,8% no consumo de energia. A queda maior, de 12,2%, foi verificada no setor comercial, como impacto da COVID-19, tais valores podem ser observados na Figura 10 deste trabalho.

Figura 8 - Informativo de consumo ao longo de 2020



Fonte: EPE (2020).

Segundo dados da FGV (2020), devido a pandemia da COVID-19, em 2020, observou-se uma retração na demanda de energia, o que ocasionou alguns atrasos em investimentos.

Observou-se, também, atrasos em leilões de energia, renegociação dos contratos já estabelecidos e atrasos na assinatura de novas contratações.

Diante desse cenário de queda, alguns indicadores econômicos passaram a reduzir, contrariando a tendência de crescimento. Pensando em tal retratação do setor, o Governo Federal implementou através da medida provisória nº 950, algumas regras para mitigar possíveis inadimplências e prejuízos do setor. Onde destaca-se tais acréscimos:

> "Art. 13. .....XV - prover recursos, exclusivamente por meio de encargo tarifário, e permitir a amortização de operações financeiras vinculadas a medidas de enfrentamento aos impactos no setor elétrico decorrentes do estado de calamidade pública, reconhecida na forma prevista no art. 65 da Lei Complementar nº 101, de 2000, para atender às distribuidoras de energia elétrica.
>
> .....
>
> § 1º-D. Fica a União autorizada a destinar recursos para a CDE, limitado a R$ 900.000.000,00 (novecentos milhões de reais), para cobertura dos descontos tarifários previstos no art. 1º-A da Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010, relativos à tarifa de fornecimento de energia elétrica dos consumidores finais integrantes da Subclasse Residencial Baixa Renda.

Tal preocupação, tange não somente de interesses em atender uma necessidade coletiva de bem estar humano, mas também a relevância de captação de taxas e tributos no setor, que tange desde manutenção da ANEEL, instituições de incentivo à universalização e crescimento do setor como o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) e CDE (Conta de Desenvolvimento Energético), recolhimento de tarifas e compensações financeiras, além dos impostos cobrados no país como PIS/COFINS (Programa de Integração Social/Contribuição para Financiamento da Seguridade Social) e ICMS (Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação) dentre outros modos de arrecadação.

Segundo EPE (2020), ao se comparar o primeiro semestre do ano de 2019 com o de 2020, pode-se constatar os impactos da pandemia da COVID-19, destacando a redução do consumo mensal de energia elétrica no Brasil, o qual alcançou maior redução em maio, no valor de 11%, conforme gráfico 8:

Gráfico 6 - Consumo na rede no primeiro semestre de 2020, dados mensais (TWh e %)

Fonte: EPE (2020).

Tais atitudes estabelecidas pelas medidas provisórias, foram essenciais para redução de inadimplência e manutenibilidade das condições financeiras das grandes empresas distribuidoras de energia elétrica. Segundo EPE (2020), pode-se subdividir os principais consumidores, que são as classes: residencial, industrial, comercial, rural, poder público, iluminação pública, serviço público e próprio. O gráfico 9, apresenta o percentual de consumo (GWh) por classes, observado no ano de 2019. De acordo com as classes de consumo, os principais consumidores de energia elétrica são os setores industrial e residencial, que detém 64,4% de todo o consumo de energia no Brasil.

Gráfico 7 - Percentual de consumo em 2019 por classes

Fonte: Adaptado de EPE (2020).

Mesmo diante do cenário exposto de retração, o sistema elétrico brasileiro é dinâmico e, através de um bom planejamento no curto e longo prazo, permite que o setor se recupere, além de buscar estabelecer melhores incentivos para a implementação de novas fontes, como a solar fotovoltaica.

Segundo o EPE (2019), benefícios como, a possibilidade da estocagem através dos reservatórios hídricos, a oportunidade de intercâmbio elétrico-energético que ocorre via Sistema Interligado Nacional (SIN) e ampliação do uso das novas fontes de energia são capazes de proporcionar a ampliação da matriz elétrica com a utilização de outras fontes renováveis.

Os benefícios citados proporcionam a expansão renovável no Brasil, com baixos custos e com reservatórios que possam prover um suporte de abastecimento, ocasionando uma flexibilidade ao longo deste processo e proporcionando a ascensão da matriz sustentável de energia.

Nos tópicos seguintes descreve-se como a regulamentação e a comercialização de energia ocorrem no Brasil, como se caminha o consumo de energia fotovoltaica, citando os principais incentivos do governo, cooperativas e investimentos no setor além de uma breve abordagem sobre o cenário econômico vigente.

2.3.1 Regulamentação E Comercialização

Este subtópico, aborda alguns dos principais sistemas que regulamentam a operação, a geração, a fiscalização e a comercialização de energia no Brasil, com foco nos meios que possam impactar na implementação de um sistema fotovoltaico de energia.

Como principal órgão no setor de energia tem-se a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), segundo definições do próprio site, tem como principais atribuições regular a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, fiscalizar o sistema como um todo, estabelecer as corretas diretrizes relacionadas à energia elétrica e controlar as concessões e divergências que possam surgir (ANEEL, 2020).

Ainda como responsabilidade da ANEEL, tem-se a promoção de licitações na modalidade de leilão, para a contratação de energia elétrica pelos agentes distribuidores do SIN. A ANEEL tem delegado esses leilões à CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica).

Outro órgão existente é o CCEE, que capta empresas capazes de comercializar energia, de acordo com as regras vigentes no mercado, garantindo a competitividade de preços. As formalizações de contratos em geral ocorrem através de dois meios:

(i) no Ambiente de Contratação Regulada (ACR): responsável por promover os leilões de energia elétrica; ou

(ii) no Ambiente de Contratação Livre (ACL): com a liquidação das diferenças (sobras e déficits) no Mercado de Curto Prazo.

O ACR caracteriza pela presença dos consumidores cativos, sendo que estes estão ligados diretamente às distribuidoras de energia, no estado de Minas Gerais, a principal distribuidora é a CEMIG. As tarifas pagas são reguladas pelo governo e a unidade consumidora efetua pagamentos mensais referentes ao serviço de distribuição e geração de energia à distribuidora. (MERCADOLÍDER DE ENERGIA, 2021).

Segundo a mesma fonte, o ACL é estruturado pelos consumidores livres, onde estes compram energia de geradores, comercializadores, fazendas ou participam de cooperativas de energia. O pagamento para distribuição é feito para concessionária local, através da conta mensal e o pagamento da compra de energia é feita através dos contratos negociados livremente onde se verifica o valor, prazo, volume e demais aspectos entre as partes.

Ainda segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica publicado pela EPE (2020), no ambiente ACR prevalece o predomínio de consumo da classe residencial com 44,7% do consumo e no ambiente ACL domina o setor industrial com 85% de consumo.

Segundo dados da EPE (2021), em janeiro de 2021, foi observado um crescimento, de 25,3%, na comercialização do ambiente de contratação livre (ACL), onde neste ambiente teve predomínio dos setores industrial e comercial e, em contrapartida o ambiente de contratação regulado (ACR) demonstrou uma queda de -2,3%. A figura 11, aborda o crescimento de consumidores livres analisados pelo relatório.

Figura 9 - Evolução do número de consumidores no ACL

Fonte: EPE (2021).

Segundo CCEE (2020), para que ocorra a comercialização dentro do ACR é necessário a realização de leilões, dos quais podem ser subdivididos em: vendas, fontes alternativas, excedentes, estruturante, energia de reserva, energia nova, energia existente, ajuste e compra. De acordo com a ANEEL (2008), vencem os leilões os investidores que oferecerem o menor preço para a venda da produção energética das futuras usinas.

Segundo a ANEEL (2015), os leilões de energia têm auxiliado diretamente no estímulo à concorrência no setor e na indução à entrada de novos empreendedores (nacionais e internacionais) no mercado brasileiro, bem como tem reduzido os prazos e custos de implantação de novas usinas geradoras.

Segundo a ANEEL (2020), em 2019, foram negociados nos leilões R$ 44 bilhões em contratos, em todas as regiões do país, proporcionando em média no total 1,2 GW de energia contratada em 91 empreendimentos. Destes empreendimentos, 11 são usinas solares fotovoltaicas com um preço médio de R$ 84,39 por MWh, capazes de gerar 530 MW de potência.

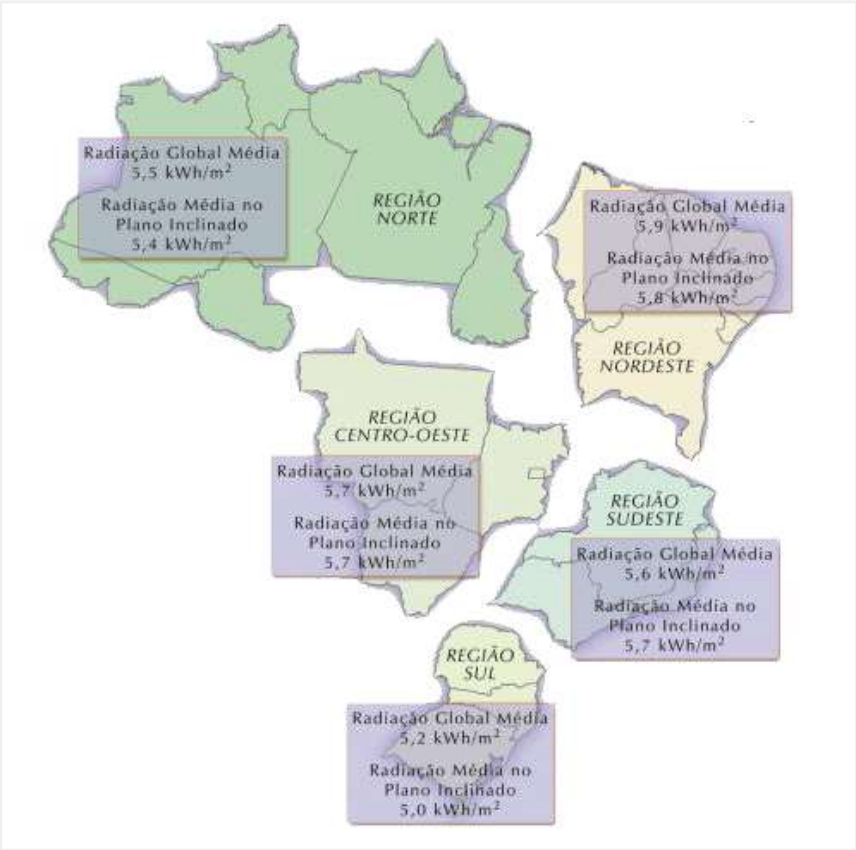
Contudo, segundo a EPE (2020), o que se observa é o crescimento do ACL e a expansão da utilização de GD, principalmente da energia solar, o que ocasiona em redução da demanda para realização de leilões no ACR.

2.3.2 Consumo De Energia Fotovoltaica

O Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado em 2017, pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, revela as médias anuais de irradiação solar no Brasil, como pode ser observado na Figura 12. De acordo com esse estudo, o Nordeste é a região mais propícia a

captação de irradiação no plano inclinado (média anual de 5,8 kWh/m². dia) e menor variabilidade interanual durante o ano (PEREIRA et al., 2017). Pereira et al. (2017) ainda afirmam que devido a fatores de baixa precipitação e de formação de nuvens, essa região tem se mostrado como ponto focal para os investimentos, como já se observa nos leilões realizados pela ANEEL.

Figura 10 - Brasil: total diário de irradiação no plano inclinado na latitude

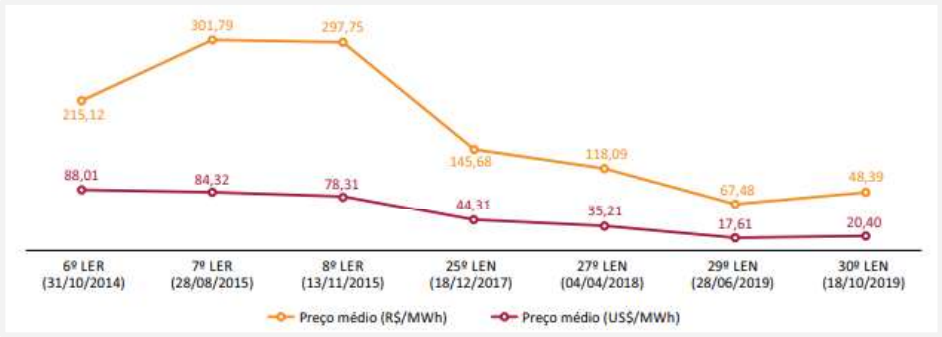


Fonte: Pereira et al. (2017).

Segundo o MME (2019), para 2029, o aporte para investimento em energia solar fotovoltaica sofreu uma queda significativa, como, no período entre 2010 e 2018, a *International Energy Agency* - IEA (2020) relata uma queda de mais de 70%, observando somente os preços dos módulos fotovoltaicos durante esse período.

Nos leilões realizados no Brasil entre 2014 e 2019, observou-se que os investimentos realizados, validaram a tendência de baixa no preço médio da energia solar fotovoltaica (Gráfico 10), influenciada não somente pelo custo da produção, mas pela maior eficiência dos equipamentos.

Gráfico 8 - Preço médio da energia solar fotovoltaica comercializada nos leilões



Fontes: CCEE (2019) e BACEN (2019).

Através de diversas parcerias e incentivos, a CCEE vem proporcionando a expansão do mercado de fontes renováveis. Como exemplo, tem-se o Instituto Ideal – Selo Solar, que possui participação no programa de Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina, além de programas do governo como o PROINFA (Lei nº 10.763/2003), Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, os quais possuem como objetivos a diversificação da matriz energética nacional e o incentivo à indústria nacional.

Aliado à redução de preços, observou-se incentivos do governo em Pesquisa e Desenvolvimento (P & D) que fortaleceram tecnologia nacional de equipamentos relacionados ao setor.

Através do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ocorreu a assinatura de um acordo técnico científico para a criação do Centro Brasileiro para o Desenvolvimento de Energia Solar Fotovoltaica (CB-SOLAR), implantado em parceria com Núcleo Tecnológico de Energia Solar (NT-Solar), da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), onde é responsável por pesquisar sobre alternativas para o sistema fotovoltaico e seus implementos como um todo sendo uma referência na América Latina (VARELLA; CAVALIERO; SILVA, 2008).

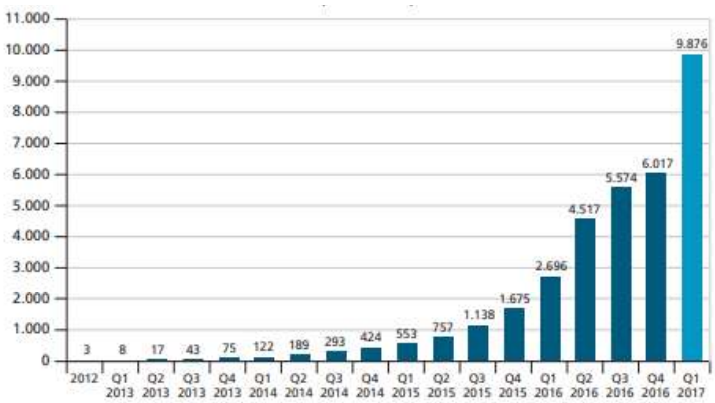
Concomitante a essa iniciativa, a ANEEL vem buscando soluções de P & D em parceria com empresas concessionárias de geração e distribuição de energia, de acordo com WALTER (2010).

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar (Absolar), em 2021, o ano iniciou com 175 mil sistemas fotovoltaicos *on-grid* instalados, com potencial de se tornar o primeiro grande mercado na América Latina, que oferece benefícios como redução de investimento em transmissão e diminuição de perdas energéticas, ou seja, alinhada a pilares importantes de

produzir com maior qualidade, menor custo e mais eficiência, proporcionando desenvolvimento econômico e social do país.

A expansão de GD no Brasil pode ser observada através do gráfico 11, o qual mostra, que entre 2016 e 2017, as conexões obtiveram um aumento de quatro vezes mais, sendo que 98% são referentes à energia solar distribuída.

Gráfico 9 - Número de conexões GD no Brasil



Fonte: Astra Solar (2017).

Quando se observa o cenário nacional, em 2020, tem-se em operação 3.893 usinas solares que juntas possuem a capacidade de geração média de 2,7 GW. Dentre as de maior potencial no país, estão as usinas de São Gonçalo - PI com potencial de gerar 0,48 GW, de Pirapora no estado de Minas Gerais com geração de 0,32 GW, a localizada em Ribeira do Piauí – PI com 0,29 GW e de Ituverava em Tabocas do Brejo Velho no estado da Bahia com 0,29 GW.

Ganha destaque a usina localizada na cidade de São Gonçalo do Gurgueia, no estado do Piauí, implementada pela empresa Enel Green Power que em operação produz 0,46 GW, sendo considerado a maior instalação fotovoltaica solar da América do Sul. Espera-se que a usina seja capaz de gerar 1.500 GWh por ano e evitar mais de 860 mil toneladas de emissões de dióxido de carbono (CO_2) por ano.

Outra relevância nacional, foi a usina solar fotovoltaica construída no Estádio do Mineirão na cidade de Belo Horizonte em parceria com a Cemig, concessionária do estado, a usina possui capacidade de geração de 1.800 MWh por ano de energia, suficiente para o abastecimento de 1.400 casas. A instalação é composta por 6.000 células fotovoltaicas abrangendo uma área de 9.500 m² localizada na cobertura do estádio, conforme a figura 13:

Figura 11 - Imagem das instalações na cobertura do estádio

Fonte: Estádio Mineirão (2020).

Contudo, apesar da existência de incentivos, que ocasionaram em benefícios como a realização de leilões, novos empreendimentos no setor e oportunidade de expansão das novas fontes renováveis, tem-se que as contratações são condicionadas pela situação de fornecimento de eletricidade, implicando em oscilações no setor e dependência governamentais que ainda não se conscientizar a nível de incentivar e influenciar na expansão do setor.

2.3.3 Cooperativas

As cooperativas são um conjunto de consumidores que optam por compartilhar de um sistema de geração de energia, onde a distribuição permanece sob domínio da concessionária local e seus créditos são distribuídos em acordo entre as partes. Neste subitem, busca-se abordar sobre as principais cooperativas existentes no Brasil.

Através do Decreto nº 7.520, que institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, Luz para Todos, que visa atender a população com uma renda inferior a três salários mínimos e, que em geral vivem em regiões que possuem baixo IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) e estando localizadas em zonas rurais.

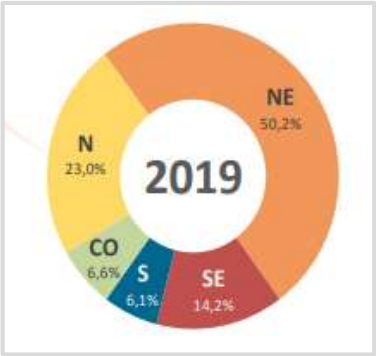
Para atender a esses domicílios e facilitar a logística envolvida até às regiões remotas, os incentivos contemplaram uma sinergia entre concessionárias e permissionárias [9] de distribuição de energia elétrica com as cooperativas de eletrificação rural, tais investimentos proporcionaram o crescimento da utilização de fontes renováveis.

Ao longo do ano de 2019, 98.000 ligações foram realizadas pelo programa beneficiando 393.000 pessoas, sendo destas 73% localizadas nas regiões Norte e Nordeste, segundo dados

[9] De acordo com, a Resolução Normativa ANEEL n. 479, de 03 de abril de 2012 (Diário Oficial de 12 de abr. de 2012, p. 48), as p**ermissionárias** são contratadas para execução de obras de transmissão ou distribuição de energia destinada ao consumo privativo.

da EPE (2020), isso proporciona a maior acessibilidade a todos e maior qualidade de vida para as famílias, conforme gráfico 12.

Gráfico 10 - Número total de ligações (mil) realizadas em 2019



Fonte: EPE (2020).

Muitas dessas cooperativas optam pelo GD, já que segundo as normas da ANEEL é permitido a geração de energia elétrica compartilhada, o que gera uma economia de escala, e permite que diversos usuários compartilhem a energia oriunda de uma única unidade geradora de grande porte. A geração compartilhada é deliberada pela ANEEL, através do artigo 2° da REN 482:

> Art. 2°
>
> (…)
>
> VII – geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada; (Incluído pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

Segundo a Lei 5.764/1971, para a participação nestas cooperativas tem-se que o número de associados é ilimitado, prestação de assistência aos associados, ocorre também a oportunidade de novos integrantes na cooperativa, desde que não realizem atividades com fins lucrativos e estejam de acordo com as condições estabelecidas no estatuto da cooperativa.

Segundo a Instrução Normativa Nº 1.911/2019, em relação a distribuidora, o sistema de compensação, deve seguir a regulamentação de alguns documentos constitutivos e validar em um formulário como ocorre o rateio de créditos entre os envolvidos, ambos devem ser aprovados pelos órgãos responsáveis.

Essa alternativa mostra-se positiva no cenário brasileiro, porque eleva os benefícios para a população assim como, busca beneficiar a matriz elétrica brasileira tornando-a mais sustentável a longo prazo, já que são alternativas de redução de custos, sustentáveis e que contribuem para o crescimento socioeconômico local.

A primeira cooperativa brasileira foi inaugurada em 2016, no estado do Pará, através de um investimento de R$ 600 mil em micro usina solar, com a instalação de 288 placas fotovoltaicas com a capacidade média por mês de 11.550 KW/h de energia, onde ocorreu a fusão de 23 cooperados, segundo o Sindicato e Organização das Cooperativas Brasileiras no Mato Grosso do Sul (OCB/MS, 2016).

A implementação do projeto citado no parágrafo anterior, foi inspirada na Alemanha, país onde encontra-se empecilhos em conciliar o incentivo de produção própria e integrar a rede de distribuição local, mas que segundo os dados revela possuir 822 cooperativas de energia sendo que 86% são de geração de energia sustentável.

Ainda segundo a OCB (2016), esse primeiro incentivo abriu portas para investimentos em novas cooperativas, buscando como principal opção ampliar a utilização de fontes renováveis e limpas entre os associados. Também corrobora para tais incentivos, o fato do impacto ambiental e social ser reduzido em relação a implementação de uma hidrelétrica, por exemplo, o que proporciona uma instalação mais ágil e redução de processos burocráticos.

Segundo o Portal Solar (2020), ainda no primeiro semestre de 2020, a capacidade instalada em propriedades rurais teve um aumento de 120% quando comparado ao mesmo período do ano anterior. Dado esse fato, destaca-se a implementação da Cooperativa dos Cafeicultores em Minas Gerais (Coopercam), um investimento de 4.000m², com potência de 192 KW e que pode gerar dentro de um mês 23.000 KW/h, proporcionando uma economia anual de R$ 240 mil reais para os seus associados.

Outro exemplo, de acordo com o Extra (2020), conquistado ao longo de 2020, foi a criação de uma cooperativa que engloba duas comunidades na cidade do Rio de Janeiro, reforçando a possibilidade de levar benefícios e igualdade a toda e qualquer população. Ocorreu através da ONG Revolusolar, onde foi implantado um projeto piloto de painéis fotovoltaicos no telhado de moradores destas comunidades, conforme figura 14, com potência de 26 kWp e capacidade de distribuir energia para 30 famílias.

Figura 12 - Painéis fotovoltaicos em comunidade do Rio de Janeiro

Fonte: Revolusolar (2020).

Esses exemplos, reforçam a relevância da implantação de políticas públicas em prol do bem comum e qualidade de vida a toda população, dado que de 30% a 40% da renda de pessoas de classe baixa é comprometida com o pagamento de energia elétrica, segundo a ONG Revolusolar (2020).

Diante do exposto, a mudança de patamar em busca de fontes de energias renováveis e uma matriz de energia limpa, nos revela que não se busca apenas benefícios a grandes empresas e investidores, com o aumento dos lucros e economias, mas proporciona acesso a comunidades, propriedades rurais e a todas as pessoas que possam usufruir do sistema com qualidade e igualdade, proporcionando ganhos para todos, aumento da economia nacional e preservação do meio ambiente.

2.3.4 Investimentos No Brasil

Desde 2012, vem se observando a ascensão da energia solar no mercado brasileiro, segundo a Absolar (2020), a geração desse tipo de energia ao longo de 2020 triplicou no território nacional, e se prevê que ao longo dos próximos 10 anos ocorrerá uma redução de 30% nos preços do investimento em energia solar produzida em usinas fotovoltaicas.

Segundo o mesmo estudo anterior, em 2020, foram observados 255 mil sistemas fotovoltaicos ativos, gerando em média 0,78 GW de energia com 465 mil unidades recebendo créditos pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

Com relação à GD, o gráfico 13, apresenta os estados brasileiros com maior potência instalada, de acordo com os dados de 2020. Destaca-se que Minas Gerais dispõe da maior

potência instalada de GD para a geração de energia solar, com capacidade de geração de 826,4 MW, ou seja, 18,9% da aptidão no Brasil.

Gráfico 11 - Potência instalada por estado com GD no Brasil em 2020

Fonte - Absolar (2021).

No estado de Minas Gerais, durante a pandemia da COVID-19, foi observado a ampliação do setor e, de acordo com o governo estadual, dentro de 5 meses os investimentos foram em torno de R$5,6 bilhões nas cidades mineiras para o setor de energia elétrica, sendo quase metade deste investimento em energia solar, ganha destaque as regiões do triângulo mineiro e norte de Minas devido ao potencial de irradiação solar.

Segundo a Secretaria de Desenvolvimento Econômico (2021), devido às oportunidades observadas, foi criado o programa Sol Minas pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico (Sede) e, que conta com a parceria da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad), o Instituto de Desenvolvimento do Norte e Nordeste de Minas Gerais (Idene) e da Cemig. De acordo com o secretário adjunto da Sede, Fernando Passalio, o estado possui um dos maiores índices de irradiação e comitente a isso, atrai grandes investimentos para o setor de energia limpa, alavancando a diversificação da economia e por causalidade a geração de riqueza para o estado.

Segundo a Agência de Minas (2020), tais benefícios já foram observados em contratos assinados junto a GD Solar em outubro de 2020, que pretende construir onze novas usinas no triângulo mineiro, totalizando um investimento de R$ 105 milhões, que unificando com seus demais investimentos é capaz de atingir a capacidade instalada de 65 megawatts (MW).

Essa mesma empresa além de atuar no estado de Minas Gerais, ampliou seus negócios efetivando uma parceria com seus demais investimentos o grupo Via Varejo, responsável por

grandes lojas do setor de eletrodoméstico dentre outras necessidades, onde a implementação das plantas solares irá abastecer 236 filiais em 8 estados diferentes como o Ceará, Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraíba, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo.

Ainda no estado de Minas Gerais, em reportagem feita pela Pequenas Empresas & Grandes Negócios (2021), no início de 2021, foi inaugurado uma *startup* focada no setor, a Solarbid, essa *startup* busca orientar o consumidor a fazer a melhor escolha de acordo com suas necessidades e com fornecedores confiáveis.

Ainda segundo a mesma reportagem, através de um simulador é possível verificar qual a necessidade de investimento, qual o seu retorno e dentro de qual tempo vai ocorrer, possibilidade de financiamento, além de proporcionar benefícios qualitativos e quantitativos, listando possíveis fornecedores com credibilidade para implementação do sistema. Os benefícios não são obstantes ao cliente, possibilita aos fornecedores redução de custos e maior visibilidade para as vendas com o marketing e informações estratégicas que alavancam seu potencial de negócio mantendo a margem de lucro.

Segundo dados da Absolar (2021), o Brasil conseguiu vencer a marca de 8 GW de potência operacional de energia solar fotovoltaica, considerando sistemas GC e GD e, com investimentos acumulados de 2012 até 2020 no segmento superior a R$ 40 bilhões.

O Brasil, ainda detém de 411 mil mini e micro usinas conectadas na rede, que atendem a 514 mil unidades consumidoras, ganhando destaque o estado de Minas Gerais que detém 18,9% destes investimentos.

Ainda segundo a mesma fonte, o ano de 2021 se iniciou com uma projeção de investimento privado de R$22,6 bilhões, representando para o setor um crescimento de 90% da capacidade instalada no GD, saltando de 4,4 GW para 8,3 GW e, para o GC uma expansão de 37%, ou seja, de 3,1 GW para 4,2 GW, em comparação com 2020.

Diante do exposto, o cenário de investimento em energia elétrica solar fotovoltaica se mostra com tendência de crescimento, ganhando destaque quando se trata do consumo via GD, onde mais de 90% é derivado da energia solar. O estado de Minas Gerais, ganha destaque como um dos maiores potenciais de capacidade instalada do país projetado para a próxima década de 2020.

2.3.5 Cenário Econômico

Conforme abordado em subtópicos anteriores, existe uma relação entre o aumento de renda em países emergentes e o consumo de energia, tal fato foi abordado em um estudo de GADELHA (2012), onde mostrou relação de causalidade unidirecional entre crescimento do PIB brasileiro e o consumo de energia.

Tais resultados, mostram que situações onde existe restrição de consumo de energia ou crise hídrica, diversos setores foram prejudicados, como exemplo, a região Sudeste que detém 52,9% do PIB nacional, de acordo com o IBGE em 2018, e teve seu consumo de energia em torno de 50,7% ao longo de 2019. (EPE, 2020).

Além de tais fatores, segundo dados da EPE (2020), apenas 5 estados brasileiros detinham 50,5% da capacidade instalada de energia do Brasil em 2019, destes, dois fazem parte da região sudeste: Minas Gerais e São Paulo, juntos somam 21,1% de capacidade instalada no país, e que também vem investindo na implantação de usinas fotovoltaicas. Conforme pode ser observado no gráfico 14.

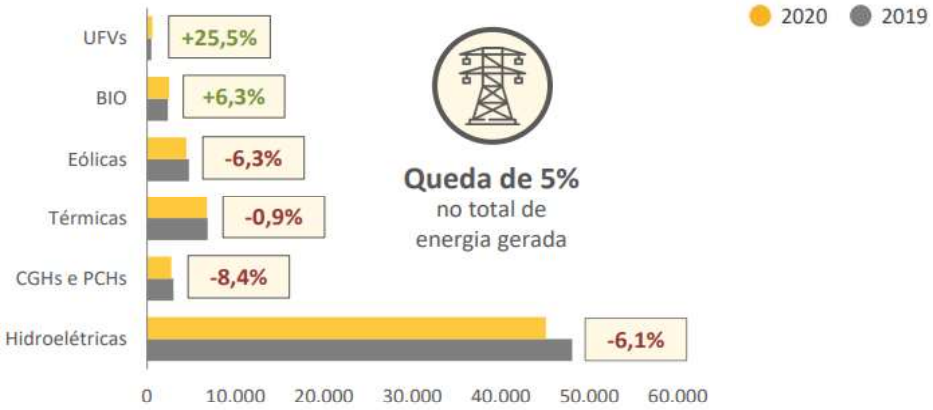
Gráfico 12 - Capacidade instalada em 2019

Fonte: BEN (2020).

Contudo, segundo o PIRAHY; PRIOLLI (2020), como alternativa para superação da crise devido a pandemia, o mercado de energia fotovoltaica tem-se mostrado promissor com a manutenibilidade do cenário com taxa de juros baixa, aumento das linhas de crédito para financiamento e baixa tendência de alteração da norma no curto prazo. O mercado tem instigado mão-de-obra qualificada e motivado empresas a investirem em tal tecnologia para uma recuperação econômica pós coronavírus, principalmente na GD.

Além disso, apesar do cenário do setor de energia elétrica brasileiro ter se mostrado desfavorável no primeiro semestre de 2020 devido à pandemia, o setor de energia solar permaneceu em crescimento quando comparado a outras fontes de energia, conforme o gráfico 15 da CCEE.

Gráfico 13 - Geração de Energia Elétrica nos primeiros semestres de 2019 e 2020 (MWmed)



Fonte: CCEE (2020).

Apesar de no ano de 2021, ter apresentado no 1º trimestre uma demanda de energia retraída, segundo o Canal Solar (2021), os trimestres seguintes mostram uma escalada do setor, onde espera-se que a GD irá ultrapassar 10 GW.

Ainda segundo PIRAHY; PRIOLLI (2020), ao longo de 2020, observou-se também a adoção de cooperativas por parte de pequenas e médias empresas e, do comércio que inclui segmentos como mercados, salões de beleza, postos de gasolina, padarias, lojas, restaurantes, entre outros, onde tais setores podem receber até 15% de desconto em sua fatura de energia. Tal benefício partiu do consumo de geração distribuída e necessidade de economia devido ao cenário vivenciado ao longo do ano citado.

Tal tendência de crescimento, contribui para a retomada sustentável da economia já que fortalece a visão estratégica do governo para atender as metas de desenvolvimento social, econômico e ambiental do país, através da competitividade saudável entre as empresas e a busca por aliviar o orçamento do poder público.

2.4 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO

Este subitem aborda o consumo de energia elétrica no mundo, principalmente voltado à ascensão da fonte de energia solar fotovoltaica assim como, as principais fazendas solares no setor.

O sistema de energia solar fotovoltaico é considerado uma tecnologia de geração limpa de energia, capaz de reduzir os impactos ambientais e que está em crescimento nos diversos países do mundo (VARELLA; CAVALIERO; SILVA, 2008).

De acordo com o relatório do IEA (2020), com os incentivos de inovação, o custo de implementação da energia solar fotovoltaica reduziu em 80% ao longo do período de 2010 a 2019 no mundo, esse fato se deve a busca por alternativas que ofereçam uma maior eficiência.

O mesmo relatório, aborda que os países têm adotado políticas de incentivo ao uso da energia solar como forma de reduzir o impacto das fontes tradicionais, que liberam na atmosfera gases geradores do efeito estufa além de, proporcionar um equilíbrio que possa favorecer tais investimentos.

De acordo com IEA (2020), apesar dos impactos da pandemia ao longo de 2020 e a redução da demanda do consumo de energia em torno de 5,1%, as fontes renováveis mostram um crescimento de 0,9% quando comparado às outras alternativas e, observa-se o oposto em fontes como carvão e petróleo que chegaram a reduzir o consumo em torno de 6,7% e 8,5%, respectivamente.

Com isso, a IEA (2020) reforça que a demanda por carvão não terá ascensão pós pandemia e ainda se acredita que até 2040 seu consumo será menos de 20% no mundo. O cenário ainda mostra que o grande responsável pelo crescimento de fontes renováveis será derivado da energia solar e que ultrapassará o carvão como principal fonte de eletricidade.

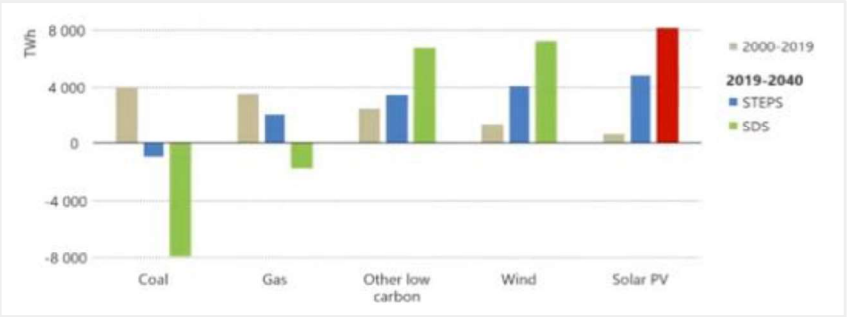
Sua projeção de crescimento é justificada pelo fato de a energia solar ter se tornado uma opção mais acessível na maioria dos países, devido à redução de custos para financiamento de sua implementação, incentivos do governo e novas tecnologias no mercado.

O gráfico 5, aborda um comparativo entre o consumo de 2000 a 2019 (em bege). Tem-se também a projeção STEPS (*Stated Policies Scenario* ou Cenário de Políticas Declaradas) (em azul), que está relacionada aos impactos das políticas em curso e das declarações firmadas

e o cenário SDS (*Sustainable Development Scenario* ou Cenário de Desenvolvimento Sustentável) (em verde), relacionado ao firmado no Acordo de Paris[10], na busca pelo combate à poluição do ar e ao acesso universal à energia.

Tais projeções, apontam que até 2030 o crescimento no uso de fontes renováveis deve triplicar. A coluna representada em vermelho mostra que o proposto pelo cenário SDS terá um significativo avanço. Ainda no mesmo gráfico 6 da IEA (2020), o esperado, segundo o SDS, é que o consumo de carvão sofra uma considerável redução como apresentado na coluna em verde.

Gráfico 14 - Mudanças na geração de eletricidade global

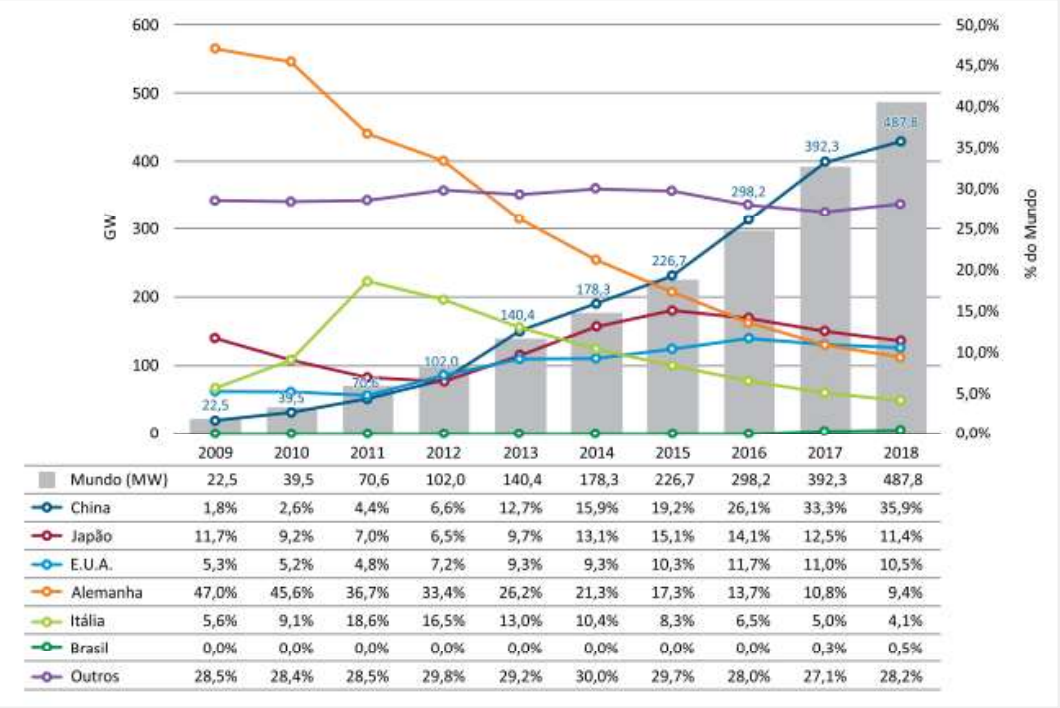


Fonte: IEA (2020)

Em 2018, foi observado uma ascensão da geração de energia solar no mundo de 1,83%, mesmo que pareça um crescimento irrisório o valor da capacidade instalada no mesmo período no mundo alcançou a marca de 487,8 GW, o que representa um aumento de 24,3% em relação ao ano anterior. No período de 2009 a 2018, o crescimento anual foi em média 40,8% no mundo, conforme dados do gráfico 7:

[10] O Acordo de Paris é um tratado mundial que possui um único objetivo: reduzir o aquecimento global. Ele foi discutido entre 195 países durante a COP21, em Paris. O compromisso internacional foi aprovado em 12 de dezembro de 2015 e entrou em vigor oficialmente no dia 4 de novembro de 201, em substituição ao Protocolo de Kyoto.

Gráfico 15 - Evolução da capacidade instalada de geração fotovoltaica no mundo (GW)



	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mundo (MW)	22,5	39,5	70,6	102,0	140,4	178,3	226,7	298,2	392,3	487,8
China	1,8%	2,6%	4,4%	6,6%	12,7%	15,9%	19,2%	26,1%	33,3%	35,9%
Japão	11,7%	9,2%	7,0%	6,5%	9,7%	13,1%	15,1%	14,1%	12,5%	11,4%
E.U.A.	5,3%	5,2%	4,8%	7,2%	9,3%	9,3%	10,3%	11,7%	11,0%	10,5%
Alemanha	47,0%	45,6%	36,7%	33,4%	26,2%	21,3%	17,3%	13,7%	10,8%	9,4%
Itália	5,6%	9,1%	18,6%	16,5%	13,0%	10,4%	8,3%	6,5%	5,0%	4,1%
Brasil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,5%
Outros	28,5%	28,4%	28,5%	29,8%	29,2%	30,0%	29,7%	28,0%	27,1%	28,2%

Fonte: BNB/ETENE/Célula de Estudos e Pesquisas Setoriais (2020).

Através do Relatório da Agência Internacional de Energia (2018), o mercado de energia solar fotovoltaico nos anos de 2016 e 2017, demonstrou um crescimento com grande contribuição da China, cujo engrandecimento representou quase 35% da capacidade total instalada em 2017, por outro lado, no mesmo período, o mercado de alguns países Europeus, não atingiram 2 GW de instalações, dentre eles tem-se a Alemanha com 1,8 GW, seguido pelo Reino Unido com 0,96 GW, pela França com 0,9 GW, pela Holanda com 0,85 GW e pela Itália com 0,4 GW.

Ao observar a capacidade de energia fotovoltaica acumulada, cinco países mais a União Europeia, foram os responsáveis por 573,3 GW de capacidade total associada a esta fonte. A China se destacou com 204,7 GW, ou seja, 35,7 % da capacidade de energia acumulada em 2019.

A Alemanha, que costumava liderar o ranking por anos, perdeu a posição de liderança em 2014 e agora ocupa o quinto lugar com 49,2 GW, ficando abaixo do Japão que conquistou a quarta posição com 63 GW e dos EUA, no terceiro lugar do ranking com 75,9 GW. Além destes destaques, tem-se o Brasil, que ocupa a décima sexta posição com uma capacidade acumulada instalada, com 4,5 GW, como mostra a tabela 1:

Tabela 1 - Geração fotovoltaica acumulada até 2019

Colocação	País	Capacidade instalada acumulada
1º	China	204,7 GW
2º	União Europeia	137,7 GW
3º	EUA	75,9 GW
4º	Japão	63,0 GW
5º	Alemanha	49,2 GW
6º	Índia	42,8 GW
16º	Brasil	4,5 GW

Fonte: Adaptada, Absolar (2021).

Segundo a IEA (2020), diversos países mostraram-se incentivados a reduzir a emissão de carbono ao longo da próxima década entre 2020 e 2030. Dando destaque a geração solar, que foi apelidada de "rainha da eletricidade" devido a oportunidade de crescimento global projetada para 12% ao ano.

Grande parte desta geração de energia é originária de fazendas solares, estas são construídas em grandes áreas rurais, onde ocorre a geração e distribuição de energia, possibilitando que consumidores economizem através do compartilhamento de energia ao invés de investir na implementação do sistema para consumo próprio, seu principal objetivo torna-se a distribuição compartilhada de energia para um certo grupo de consumidores (ANEEL, 2008).

Ainda segundo o mesmo autor, as fazendas se diferem das usinas fotovoltaicas porque sua capacidade de produção é menor e seu objetivo de distribuição é restrito a um grupo de consumidores que vivem próximo ao local. O que é produzido é repassado para a rede de distribuição pública e seus créditos consumidos dentro de determinado prazo.

Segundo o Portal Solar (2020), para utilizar deste método o consumidor pode optar por duas modalidades: uma através do *PPA* (*Power Purchase Agreement*), que é contrato de compra ou venda no longo prazo realizado entre quem distribui e quem consome a energia e, é comumente utilizado por empresas que possuem um gasto maior de energia.

E o outro método é a possibilidade de o consumidor alugar uma parcela do lote da fazenda para utilizar no seu consumo e abater em formato de créditos na conta de luz.

Ambas as modalidades oferecem viabilidade econômica para consumidores com grandes gastos de energia como indústrias e comércios, mas ainda não se mostrou viável para consumo residencial, já que para este setor o ideal é ter sua própria instalação.

Algumas fazendas solares ganham destaque no mundo e vem contribuindo para o crescimento do setor, algumas delas são:

1. **Solar Núñez de Balboa (Espanha):** Localizada na região de Badajoz, possui capacidade de gerar 500 MW de energia elétrica, com a implementação de 1,43 milhões de painéis solares. Possui a previsão de gerar 832 GW de energia por ano até 2022, sendo considerada a maior da Europa. (IBERDROLA, 2019).

2. **Topaz Solar Farm (EUA):** Localizada no estado da Califórnia que gera 550 MW e possui capacidade para abastecer 160 mil residências. A fazenda possui 9 milhões de módulos solares e potencial de reduzir a emissão de gases poluentes equiparado a 77 mil automóveis (GREENBRÁS, 2016).

Figura 13 - Instalações da Topaz Solar Farm

Fonte: Green City Times (2021).

3. **Desert Sunlight Solar Farm (EUA):** também localizada no estado da Califórnia, possui capacidade de 550 MW, com 8,8 milhões de painéis solares e com potencial de distribuição para 160 mil residências. Ganha destaque por ter sido construída em uma pequena extensão de 16 Km², segundo Greenbrás (2016).

4. **CalifKamuthi Solar Power Project (Índia):** Localizada na cidade de Kamuthi, possui a capacidade de geração de 648 MW, com um total de 2,5 milhões de módulos solares (GREENBRÁS, 2016).

5. **Noor Abu Dhabi (Dubai):** fica localizada na cidade de Sweihan, com uma capacidade de energia em torno de 1,18 GW, conta com 3,2 milhões de painéis solares, sendo suficiente para abastecer uma cidade de 90 mil habitantes. Sendo considerada até o ano de 2020, a maior fazenda do mundo (ÉPOCA, 2019).

Figura 14 - Instalações da Noor Abu Dhabi

Fonte: Época (2019).

De acordo com o abordado antes, pode-se observar que diversos investimentos são realizados no setor solar fotovoltaica pelas diferentes nações, tais necessidades estão relacionadas aos acordos proferidos em conjunto com a ONU, que estabelece a necessidade de ampliar a geração de energia através de fontes renováveis, onde a solar ganha destaque também neste cenário.

3. ECONOMETRIA DE SÉRIE TEMPORAL

Segundo Gujarati e Porter (2011), o estudo da econometria busca mensurar as teorias econômicas através de dados quantitativos. Para tal, utiliza-se de formulações matemáticas, a fim de modelar cenários e compreender quais fatores influenciam, para validar as teorias impostas e, com isso, espera-se que através da projeção de gráficos, tabelas e teste as respostas possam afirmar tais proposições.

Nesse estudo, o cenário observado foi a ascensão das fontes renováveis, principalmente da energia solar fotovoltaica, focado no setor de geração distribuída. Dado esse cenário, foram analisados o comportamento da capacidade instalada da fonte de energia solar no Brasil no período de 2015 até agosto de 2020, o que inclui a pandemia do COVID-19 e quais os impactos que a pandemia pode ter causado nas oportunidades de investimento deste setor.

A metodologia escolhida para tal estudo, foi a econometria de séries temporais e neste capítulo descreve-se os conceitos que norteiam tal metodologia.

De acordo com Bueno (2008), uma série temporal é caracterizada pela relação de ocorrência de um processo estocástico ou determinístico, que se encontram ordenados dentro de intervalos regulares de tempo (mês, dia, ano e demais). Em geral, os dados apresentam características estacionárias ou não estacionárias, que dependem de como ocorre a distribuição do termo aleatório a ser analisado.

> A econometria de séries temporais é particularmente interessante para as previsões futuras porque é formulada de forma dinâmica, geralmente em equações às diferenças. Assim, conhecendo o passado (ou explicando o passado), vislumbra-se o futuro pela formulação recursiva do problema (BUENO, 2008, p.xvi).

Ainda segundo Bueno (2008), quando a série apresenta alguma característica determinística ela é previsível em dado cenário e não é variável, podendo em geral ser representada pelo formato mais simples abordado na fórmula (3.1):

$$y_t = c \tag{3.1}$$

Pode-se compreender que, quando a série possui características estacionárias, ela oscila em torno de uma média, ou seja, possuem média e variância constantes ao longo do tempo. Em contrapartida, quando se tem uma série não estacionária ocorre o oposto e, esta pode apresentar uma tendência de um processo estocástico, ou seja, quando a série se movimenta em torno de médias flutuantes ou determinístico, onde flutua em torno de uma série temporal.

Tais informações, com relação ao estudo proposto, serão abordadas em detalhes no capítulo a seguir. Em resumo o quadro 1, a seguir demonstra tais divisões:

Quadro 1 - Tipos de série temporal

Tipo de Série	Tendência	Estocástica	Determinística
Estacionária	-	$y_t = c + \varepsilon_t$	$y_t = c + 0{,}5y_{t-1}$
Não Estacionária	Estacionária	$y_t = c + \delta_t + \varepsilon_t$	$y_t = c + \delta_t$
-	Estocástica	$y_t = y_{t-1} + \varepsilon_t$	-

Fonte: Adaptado de Bueno (2008).

No quadro 1 as variáveis apresentadas correspondem a:

- y_t representa variáveis aleatórias em pontos discretos do tempo;
- c é uma constante pertencente aos Reais;
- ε_t são um componente aleatório independente e identicamente extraído de uma distribuição normal;
- δ_t é conhecido com um parâmetro de deslocamento;

Com essas informações em mãos, pode-se observar de modo mais fidedigno, como os dados se comportam, com relação à tendência, à sazonalidade e aos movimentos irregulares. Diante disso, torna-se possível um melhor planejamento a longo, médio e curto prazo e ainda uma maior facilidade na tomada de decisões. O subitem a seguir aborda um pouco mais acerca do tema.

3.1 PROCESSO ESTOCÁSTICO

Processo pode ser definido como uma coleção de variáveis aleatórias ordenadas em um período de tempo. Podendo ser ainda subdividido em: estacionário e não estacionário (MORETTIN, 2011).

No processo estacionário, a média e variância são constantes ao longo do tempo e a covariância depende da distância, do intervalo ou da defasagem entre dois períodos de tempo, ou seja, é um processo invariante ao longo do tempo.

Ainda segundo o mesmo autor, o processo estocástico não estacionário é aquele que se caracteriza por uma média não constante, ou variância que não varia com o tempo ou ainda ambas as situações, o que se permite avaliar os dados apenas dentro de um intervalo específico, limitando o aprofundamento de dados e análise de possíveis projeções.

De acordo com Gujarati e Porter (2011), o modelo não estacionário ainda se divide em passeio aleatório sem deslocamento, onde a média ou variância permanece constante e o outro termo varia ao longo do tempo e, o modelo não estacionário de passeio aleatório com deslocamento, onde ambos os termos variam ao longo do tempo, de modo geral, o passeio aleatório é caracterizado como um processo de raiz unitária.

Também citado pelo autor, o processo de raiz unitária, pode ser compreendido como semelhante ao processo de auto regressão, onde o $\rho = 1$indica que é não estacionário e sem deslocamento. A relevância desta informação, se deve à necessidade de avaliar os modelos utilizados e a partir dos testes concluir a estacionariedade da série temporal em estudo.

Segundo Matos (2000), um dos modos de efetuar o teste de estacionariedade é através da função de correlação (FAC), denotada por ρk, explicita a dependência entre os dados da série analisada, e a função é definida pela fórmula (3.1.1):

$$\rho k = \frac{yk}{y0} = \frac{covariância\ com\ defasagem\ K}{variância} \tag{3.1.1}$$

Segundo Matos (2000), classificam os valores da autocorrelação conforme descrição a seguir:

> Se os valores de autocorrelação iniciam-se próximos da unidade e declinam-se lenta e gradualmente à medida que aumenta a distância [...] entre os dois conjuntos de observações a que se referem, há indicação da existência de raiz unitária. A série de tempo é, portanto, não estacionária e segue um passeio aleatório. Se esses coeficientes declinam rapidamente à medida que tal distância se amplia tem-se uma série com características de estacionariedade (MATOS, 2000, p.238).

Alguns modelos apresentam características de não estacionariedade e, para isso é necessário transformar em um modelo estável para que se possa aplicar as devidas previsões. De acordo com Morettin (2011), as duas transformações comumente utilizadas são:

1. Transformação Box-Cox: comumente utilizadas para observar a variância e segue a função (3.1.2) a seguir.

$$g(y) = \frac{(y^{\lambda} - 1)}{\lambda} \tag{3.1.2}$$

Onde temos as seguintes situações:

$\lambda = 1$, g é a identidade;

$\lambda = -1$, g é a transformação inversa;

$\lambda = 1/2$, g transforma y em $\sqrt{y}$;

$\lim_{\lambda \to 0} g(y) = \log(y)$

Sendo que g(y), representa uma função de variação contínua, onde necessita-se encontrar um λ que representa um parâmetro de potência.

2. Operação Diferença (Δ): em geral, a aplicação de uma ou duas diferenciações costumam ser suficiente para tornar a função estacionária e pode ser definido através da função (3.1.3):

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1} \tag{3.1.3}$$

Referenciando novamente a diferença, temos:

$$\Delta^2 y_t = \Delta(\Delta y_t) \tag{3.1.4}$$

$$= \Delta\,(y_t - y_{t-1}) \tag{3.1.5}$$

$$= (y_t - y_{t-1}) - (y_{t-1} - y_{t-2}) \tag{3.1.6}$$

$$= y_t - 2y_{t-1} + y_{t-2} \tag{3.1.7}$$

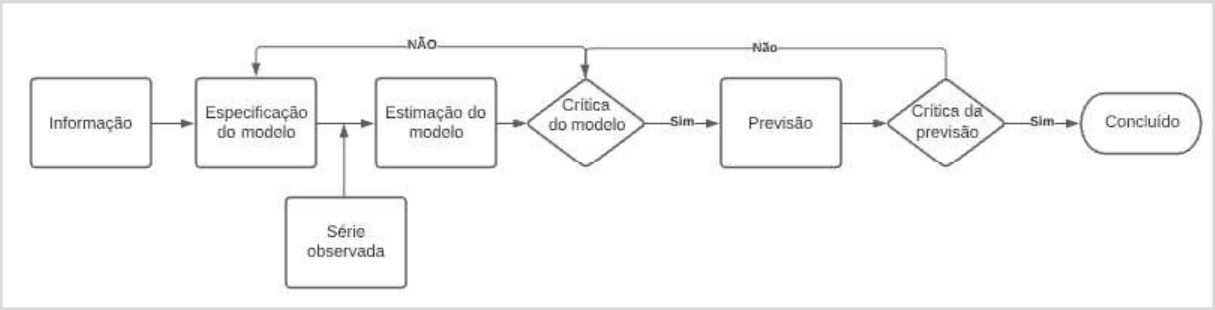
Com isso a enésima diferença de yt é obtida por:

$$\Delta^n y_t = \Delta\,(\Delta^{n-1}\, y_t) \tag{3.1.8}$$

Através de tais testes, é possível identificar qual o modelo será mais estável para realizar o estudo de previsão.

Assim, para que se realize um processo de previsão, alguns passos devem ser seguidos, como o fluxo apresentado na figura 15.

Figura 15 - Esquema do sistema de previsão



Fonte: Adaptado da UFRJ (2016).

Segundo Gujarati e Porter (2011), cinco modelos podem ser utilizados para a realização da previsão, sendo eles: o método de suavização exponencial, os modelos de regressão uni equacional, o modelo de regressão de equação simultânea, o modelo de auto regressivos e/ou de médias móveis (ARIMA) e o modelo de vetores autorregressivos (VAR).

A metodologia VAR é similar à modelagem das equações simultâneas, onde se considera variáveis intrínsecas do modelo observado, e cada variável é explicada pelos valores defasado ou passado.

Ganha-se destaque neste estudo o modelo ARIMA, onde o objeto em estudo tende a ser explicado pelos valores anteriores, ou defasados, do próprio Y_t que representa as variáveis aleatórias em pontos discretos do tempo e dos termos de erro estocástico, que de acordo com Gujarati e Porter (2011), pode ser compreendido como uma variação aleatória de uma variável.

Em geral, esse modelo tem como objetivo deixar que as variáveis exponham o que está ocorrendo para ser compreendido o cenário. No subitem a seguir foi detalhado como ocorre sua modelagem, para posterior aplicação aos dados considerados no presente estudo.

A fim de, estimar modelo de previsão estatístico, uma metodologia muito utilizada é o método Box-Jenkins, o qual está descrito a seguir.

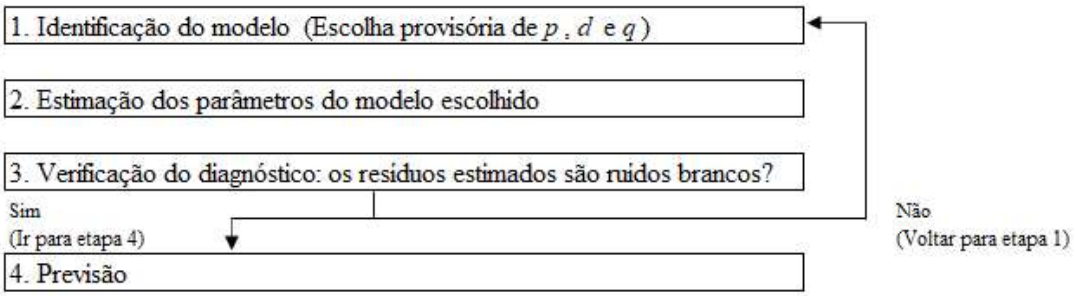
3.2 MÉTODO BOX-JENKINS

Para Gujarati e Porter (2011), a necessidade de obter um modelo estacionário visa garantir dados fidedignos para a previsão, já que os dados se comportam no cenário de modo estável, com isso a metodologia Box-Jenkins tem como objetivo:

> Identificar e estimar um modelo estatístico que possa ser interpretado como tendo sido gerado pelos dados amostrais. Se esse modelo estimado for utilizado para a previsão, deveremos admitir que suas características são constantes ao longo do período, e, particularmente, ao longo de períodos futuros. A simples razão para requerer os dados estacionários é que qualquer modelo que seja inferido com base nesses dados pode ser interpretado como estacionário ou estável e, portanto, fornece uma base válida para a previsão (GUJARATI, PORTER, 2011, p.765).

A seguir, figura 16, são apresentadas as etapas para melhor identificação do modelo, de acordo com Gujarati e Porter (2011).

Figura 16 - Etapas do método Box-Jenkins



Fonte: Adaptado de Gujarati, Porter (2011).

A seguir, foram descritas cada etapa: identificação do modelo, estimação do modelo, verificação do modelo e, por fim, a revisão do processo.

Segundo Gujarati e Porter (2011), a etapa de identificação tem como objetivo, a identificação do valor adequado para *p*, *d* e *q,* onde as principais metodologias utilizadas são de um estudo autorregressivo (AR) ou com médias móveis (MA), podendo se unificar e se transformar no modelo ARIMA, onde podemos determinar padrões através da função de correlação amostral (ACF) ou a função de correlação amostral parcial (PACF), estes observados através dos correlogramas resultantes.

Segundo Morettin (2011), o modelo ARIMA, comumente utilizado no estudo de série temporal, é formado pela integração de um estudo autorregressivo (AR) com médias móveis

(MA) e, este subitem visa formular como ocorre essa unificação de conceitos para se aplicar este modelo.

Na fórmula (3.2.1) apresentada logo mais, tem-se que δ representa a média de Y e μ_t é um erro aleatório, com isso observa-se um processo autorregressivo estocástico de primeira ordem ou AR (1), onde o valor de Y em dado tempo t possui dependência com o período anterior e de um termo aleatório. Tais valores de Y são observados em torno dos seus valores médios.

$$(y_t - \delta) = \alpha_1 (y_{t-1} - \delta) + \mu_t \qquad (3.2.1)$$

De modo geral, considera-se *p* períodos para compilar os dados e observar que unicamente os valores de Y atuais e anteriores são computados no cálculo não havendo a ocorrência de outros regressores, com isso, tem-se a equação (3.2.2) a seguir que representa um processo autorregressivo de ordem p-enésima ou AR (*p*):

$$(y_t - \delta) = \alpha_1 (y_{t-1} - \delta) + \alpha_2 (y_{t-2} - \delta) + \ldots + \alpha_p (y_{t-p} - \delta) + \mu_t \qquad (3.2.2)$$

Ainda segundo o mesmo autor, outro formato de se descobrir o Y é através da equação (3.2.3) adiante, onde μé uma constante em *u*, acrescida de uma média móvel dos termos de erro atuais e passado, com isso Y mostra um processo de média móvel de primeira ordem, ou MA (1).

$$y_t = \mu + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1} \qquad (3.2.3)$$

Porém, pode-se compreender que um modelo de média móvel é somente uma combinação linear de erros ao longo de um período *q* ou MA(*q*), como pode ser visto na Equação 3.2.4:

$$y_t = \mu + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1} + \beta_2 u_{t-2} + \ldots + \beta_q u_{t-q} \qquad (3.2.4)$$

A partir dessas duas definições é previsível que Y possui características tanto de AR quanto de MA e assim, obtém-se o modelo ARMA (p, q). De acordo com a equação (3.2.5) subsequente tem-se, um termo autorregressivo *p* e um termo de média móvel *q*, onde μ representa uma constante.

$$y_t = \theta + \alpha_1 y_{t-1} + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1} \quad (3.2.5)$$

Esses modelos observados, sugerem que as séries temporais envolvidas são fracamente estacionárias, ou seja, a média e a variância são constantes e sua covariância é invariante no tempo.

Porém, na econometria, segundo Morettin (2011), muitos modelos apresentam características não estacionárias, ou melhor, são integradas e é necessário transformá-las em estacionária para uma melhor análise dos dados. Por exemplo, quando uma série temporal for integrada em ordem 1, tem-se que sua primeira diferença é dada por I (0), e neste caso a série será estacionária. Analogamente, se uma série temporal é I (2), sua segunda diferença é I (0). Em geral, se uma série temporal é I(d), efetua-se uma diferenciação d vezes e assim, o resultado de uma série I (0) é alcançado.

Ao diferenciar uma série temporal d vezes para torná-la estacionária, o modelo ARMA (p, q) passa a ser um modelo ARIMA (p, d, q), ou melhor um processo autorregressivo integrado de médias móveis, em que p representa os termos autorregressivos, d o número de vezes que a série deve ser diferenciada antes de tornar-se a série estacionária e q o número de termos de média móvel.

Após executado os devidos ajustes da série, e ter transformado em uma série estacionária, se faz necessário o estudo de análise de tendência, utilizando os novos dados.

Para o estudo de tendência, se faz necessário testar quatro modelos: o modelo linear, o modelo quadrático, o modelo de crescimento exponencial e a curva S (logística *Pearl-Reed*). As características observadas em cada modelo são:

(i) Linear: os dados são ajustados em linha e, observa-se que a taxa de variação é uniforme ao longo do tempo.

(ii) Quadrático: os dados sofrem uma leve curvatura, indicando que a taxa de variação varia ao longo do tempo.

(iii) Crescimento exponencial: os dados apresentam uma curvatura muito acentuada, o que faz compreender que a taxa de variação se altera mais rapidamente ao longo do tempo.

(iv) Curva S: os dados possuem a forma de S e, indica qual orientação da mudança varia ao longo do tempo.

Diante dos resultados de cada ajustamento de tendência, devem ser utilizadas medidas de acuracidade, através destas pode-se observar através de comparação o quanto a previsão pode desviar do valor real e, quanto menor esses valores melhores será a o resultado da previsão. A escolha deve ser efetuada através da comparação com os parâmetros EPAM ou erro médio percentual absoluto e o DAM que é o desvio médio absoluto.

O EPAM pode ser compreendido como, a média da diferença absoluta entre os valores previstos e os valores atuais, refletida em porcentagem dos valores originais, ou conforme a equação 3.2.6, a seguir:

$$\text{EPAM} = \frac{\sum_{t=1}^{n} EPt}{n} \tag{3.2.6}$$

Já o DAM, deve ser um valor positivo, ou seja, utiliza-se o módulo, onde se subtrai o valor da previsão ao do valor real em cada período de tempo, soma-se e divide-se pelo número *n* de valores que foram usados para obter a soma (equação 3.2.7).

$$\text{DAM} = \frac{\sum_{t=1}^{n} |e_t|}{n} \tag{3.2.7}$$

Pode-se ocorrer, de se encontrar um valor de DAM menor em um modelo e um valor de EPAM menor em outro modelo, nestes casos, deve-se optar por dois conjuntos de informações, escolher primeiro o com menor EPAM e recorrer a análises gráficas, onde se observa se os valores ajustados se encontram o mais próximo possível aos valores reais da série estudada.

Ao se observar o final de um gráfico de análise de tendências, os valores encontrados na curva de ajustes devem seguir adjacentes aos dados da série original, casos estes valores começam a se distanciar, indicam que a tendência latente esteja mudando e, com isso, o modelo não irá fornecer previsões fidedignas, necessitando de mais dados para acurácia da tendência ao longo de um período.

Outra análise necessária aos estudos é avaliar a autocorrelação ou ACF e autocorrelação parcial ou PACF.

Com base nos diagramas gerados, podemos compreender a defasagem de MA (q), através da avaliação do ACF e a defasagem do AR (p), através do PACF. Para se obter um modelo ARMA (p, q), ambas as funções devem decair a partir da defasagem de truncagem. O quadro 2 adiante, resume os resultados.

Quadro 2 - Condições observadas dos diagramas

Modelo	ACF	PACF
AR (p)	Decai	Truncada na defasagem p
MA (q)	Truncada na defasagem q	Decai
ARMA (p, q)	Decai se $j > q$	Decai se $j > p$

Fonte: Adaptado de Bueno (2008).

Segundo BUENO (2008), a ACF, representa a razão entre a covariância da amostra (em relação a um tempo K) e a variância da amostra, sendo assim, um teste simplificado que pode retornar um gráfico conhecido como correlogramas amostral.

De acordo com o mesmo autor, a correlação amostral parcial, mede a correlação entre as observações da série temporal distintas por k períodos, depois de observar as correlações nas defasagens menores do que k, ou seja, a autocorrelação parcial é a correlação entre y_t e y_{t-k} depois de remover a ocorrência dos Y intermediários.

Após esse estudo são gerados os correlogramas que unificam os resultados gerados pelos modelos AR e MA, gerando o modelo ARMA que mostra se o resultado é plausível dentro de um nível de confiança pré-estabelecido. Apenas quando os modelos ACF e PACF não são bem estabelecidos é que se faz necessário a testagem de outros modelos para garantir um resultado eficaz.

De acordo com Bueno (2008), pode-se observar a ocorrência de algumas variações dos correlogramas gerados. Tem-se que o ACF demonstra a defasagem do MA e o PACF relata a defasagem do AR. Dado um modelo AR (p), a função de autocorrelação decresce com o aumento da defasagem e a função de autocorrelação parcial é truncada a partir da defasagem p. Já para o modelo MA (q), a função ACF é truncada na defasagem q e a PACF decresce. E quando se tem o processo ARMA (p, q), ambas decaem a partir da defasagem de truncagem.

Ainda segundo o mesmo autor, tem-se uma dificuldade em identificar o modelo ARMA, pode-se pensar que, o modelo ideal é aquele em que se observar o mínimo possível de resíduos

ou de variações entre os parâmetros, neste caso deve-se comparar séries com o mesmo número de observações.

Para executar essa comparação, pode-se utilizar de três métodos, onde estes necessitam obter o menor valor possível, para ser considerado um valor confiável. De acordo com o quadro 3 subsequente, tem-se as fórmulas de verificação dos três métodos citados.

Quadro 3 - Critérios de Informação

Critérios de Informação	Definição
AIC (*Akaike Information Criterion*)	$\ln \hat{\sigma}^2 + n \frac{2}{T}$
BIC (*Bayesian Information Criterion*)	$\ln \hat{\sigma}^2 + n \frac{\ln T}{T}$
HQ (*Hannan-Quinn*)	$\ln \hat{\sigma}^2 + n \frac{2}{T} \ln \ln T$

Fonte: Adaptado de Bueno (2008).

A partir da verificação dos correlogramas e de testes, o modelo escolhido tende a ser aquele com menores impactos estatísticos, pois este relata a melhor previsão de acordo com o Box, Jenkins e Reinsel (1994).

De acordo com Gujarati e Porter (2011), após descobrir os valores de p e q, a etapa de estimação (Figura 16) visa informar quais são os parâmetros dos termos autorregressivos e dos termos de média móvel do modelo em estudo. Em geral é recorrido aos cálculos via mínimos quadrados simples[11] ou através de verossimilhança, para adquirir tais resultados.

A terceira etapa deste processo (Figura 16), conforme Gujarati e Porter (2011), consiste na verificação do diagnóstico, onde busca investigar se o modelo selecionado se adequa aos dados de modo satisfatório. Um modo de se afirmar tal assertividade é através dos resíduos estimados, ou seja, verificar se ocorre a existência dos ruídos brancos, se sim pode-se aceitar o ajuste, se não necessita rescindir o processo.

Como informado pelo mesmo autor, para a validação da aderência do modelo ajustado, ou seja, para conferência de que o modelo está adequado para a utilização das previsões, se faz necessário a análise dos resíduos ($yi - \hat{y}i$), geradas por cada série, tal modo se faz necessário

[11] GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. Econometria básica. 5. ed. New York: AMGH, 2011. p. 1-918.

para atestar e validar que os erros sejam distribuídos em torno da normal, possuindo média nula e com variância constante, somente deste modo, se faz factível a realização das projeções.

A convergência entre os dados é feita através da comparação do valor de p para o termo e o seu nível de significância, verifica-se assim como deve-se tratar a hipótese nula, se rejeita ou não rejeita. O resultado assertivo é aquele em que indica que o valor é diferente de zero, ou seja, não ocorre fusão entre a expressão e a resposta.

Conforme Gujarati e Porter (2011), estatisticamente o valor utilizado para o nível de significância é um alfa (α) de 0,05, ou seja, expressa uma probabilidade de 5% do termo não ser discordante de zero, quando este for substancialmente diferente de 0, deste modo temos:

- Se o valor de $p \leq \alpha$: a hipótese nula é aceita e, se

- O valor de $p > \alpha$: a hipótese nula é rejeitada e, deste modo, se faz necessário revisar o modelo.

De acordo com Bueno (2008), tem-se que se a hipótese nula é rejeitada, ocorre uma falta de informações e com isso as previsões ainda não são exatas, diante deste ocorrido é necessário verificar o ACF e o PACF e, identificar qual correlação deve ser modelada novamente para atingir o objetivo esperado.

Depois desta verificação, pode-se ainda utilizar para determinar o melhor modelo de ARIMA, a comparação entre os dados obtidos, pelo menor valor do erro do quadrado médio do erro (QM).

Por fim, de acordo com o mesmo autor, utiliza-se a estatística do qui-quadrado de Ljung-Box e a análise dos correlogramas das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial dos resíduos para validação do modelo, a fim de verificar se este se adequa às inferências de que os resíduos são independentes, caso não seja, o modelo se torna inadequado.

Os resíduos são considerados autônomos quando, o valor de *p*, usualmente considerado como $\alpha=0,05$, referente ao teste do qui-quadrado, apresenta um nível de significância superior a este valor e, assim, se considera que os resíduos são independentes e que o modelo responde à prognose.

A confirmação a respeito dos resíduos independentes, ainda é feita analisando os correlogramas do ACF e do PACF, quando os *lags*[12] de ambos os gráficos se encontram dentro dos limites de significância, tem-se que os resíduos são independentes.

Ainda segundo o mesmo autor, outro formato de verificação da série é através do teste de normalidade, onde verifica-se se os resíduos são normalmente distribuídos. Onde através de um histograma, que no eixo vertical representa a frequência e no horizontal o intervalo de valores, coloca-se menos peso nos erros mais distantes e suaviza o gráfico observado, onde neste é possível analisar os *outliers* para melhor apuração do estudo de econometria.

De acordo com Morettin (2011), para validação dos dados ainda pode-se utilizar do teste de normalidade, para se certificar de que os ruídos são normalmente distribuídos e logo, o modelo se torna satisfatório para se prosseguir com a previsão. O teste de normalidade, pode ocorrer de três modos:

(i) Teste de Anderson-Darling: dado um conjunto de referências, quanto mais adequado essas informações melhores são a distribuição irá se ajustar aos dados e, com isso maior acurácia no resultado da estatística. Rejeita-se a hipótese nula quando o valor de p for menor que o alfa escolhido, ou seja, as informações geradas tem as características de:

- H0: Os dados conferem uma distribuição típica;
- H1: Os dados não conferem uma distribuição típica;

(ii) Teste de normalidade Ryan-Joiner: tem por função avaliar a normalidade utilizando do cômputo da correlação entre os dados e os escores normais de seus dados. Quando mais próximo do valor um, a população em estudo tende a ser normal, caso contrário se rejeita a hipótese.

(iii) Teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov: Este teste compara a função de distribuição acumulada empírica dos dados de amostragem com a distribuição prevista caso os dados sejam normais. Caso encontre um valor de p, inferior ao nível de significância α escolhido, a hipótese nula será rejeitada e, inferido que a população do estudo não possui uma distribuição normal.

---

[12] Palavra em inglês, que é traduzida para o português como perna, no caso de um estudo de econometria pode ser compreendido, que cada lag, representa uma defasagem.

Assim, de acordo com o mesmo autor, os três testes atendem a necessidade de se avaliar a normalidade ou não dos dados em estudo. Nota-se, que entre os testes que consideram dados de uma função de distribuição empírica, a metodologia do Anderson-Darling tende a oferecer valores fiéis na constatação de desvios nas caudas da distribuição. Em geral, se a dispersão a partir da normalidade para as caudas for o maior problema, muitos estatísticos usariam de Anderson-Darling como a primeira escolha.

Outros testes ainda podem ser executados para verificar os resíduos da série estudada como o teste de Jarque-Bera, que verifica se o momento da série estimada coincide com os da normal, o teste LM, que averigua a autocorrelação dos resíduos, o teste ARCH-LM, que identifica sinais de heterocedasticidade condicional, ou seja, a variância dos erros é constante, logo não são correlacionados e por fim, o teste RESET, que informa a não linearidade da série. Existem alguns outros testes possíveis, mas com menos destaque para este estudo.

Por fim, de acordo com, Gujarati e Porter (2011), a última etapa seria de previsão (Figura 16), onde a confiabilidade do modelo ARIMA ganha destaque devido ao alto grau de confiança de seus resultados.

De acordo com o autor anterior, com a previsão concluída e a definição do intervalo de confiança, utiliza-se de três medidas de desempenho para avaliar tais previsões. Tem-se assim, o erro quadrático médio (MSE), erro absoluto médio (MAE) e o erro absoluto percentual médio (MAPE).

De acordo com Bueno (2008), para verificar qualquer um dos casos é necessário deixar alguns valores de fora da amostra, ou seja, obtendo T + H resultados, onde dentro de uma série ocorre a estimação até o período T e H é o número de passos a partir da origem T, de porte destas informações, retira-se as últimas H observações e estima-se apenas considerando T.

De acordo com Morettin (2011), o modelo Box-Jenkins permite verificar duas ou mais séries de modo simultâneo, ou ainda excluir dados de sazonalidades observadas em certos estudos, ou seja, garantir que o modelo poderá ser aplicado, já que se trata de uma série estacionária.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo, tem por objetivo apresentar os dados coletados para o estudo, assim como, os testes para averiguar se os dados atendem ao modelo proposto e os resultados gerados pela modelagem, onde para tal foi utilizado o software Minitab®.

A modelagem em análise se baseia no modelo de séries temporais, que identifica padrões não aleatórios, que representa um sistema quase que constante, interligado com o tempo, onde se observa as influências do passado que podem afetar um comportamento futuro, sendo que através das previsões pode-se orientar nas corretas tomada de decisões.

No presente trabalho, a conferência dos dados, foi feita tanto pelos resultados gerados quanto pelas análises gráficas. Foi observado o comportamento do modelo, constatando a presença ou não de sazonalidade e/ou tendência. Também, se fez necessário analisar se a série observada possui estacionariedade ou não, para que caso o resultado seja negativo, se efetue os corretos ajustes.

Além das averiguações citadas, foi executado o estudo das etapas do método de Box-Jenkins, como a análise de tendência das séries temporais, onde o menor valor observado do EPAM (Erro médio percentual absoluto) e do DAM (Desvio médio absoluto), nos indica qual a melhor opção a ser considerada.

Por fim, foi realizado o ACF (função de autocorrelação) e PACF (função de autocorrelação parcial), que nos faz compreender a correlação entre os dados quando utilizado um modelo AR (auto regressivo) e MA (média móvel), com isso os valores fora do padrão representam valores truncados e, se faz necessário novas testagens a fim de, aprimorar o modelo.

Após a confirmação dos dados e, ajustes necessários nas observações, pode-se modelar o cenário utilizando como método de previsão o modelo ARIMA, em um período de 12 meses e com isso, obter os resultados a fim de, adentrar nas observações e verificar se as justificativas discutidas anteriormente são pertinentes e, concluir se o objetivo proposto do estudo foi atendido.

Para o estudo, os dados foram obtidos através do informativo mensal presente no site da ANEEL (2021), onde se observa a capacidade instalada em kW mês a mês, no cenário da geração distribuída de energia fotovoltaica, durante o período de janeiro de 2015 a agosto de

2021, nos setores, comercial (kW Com), industrial, (kW Ind.) e residencial (kW Res), em todo o Brasil, onde tais dados podem ser observados na Tabela 2.

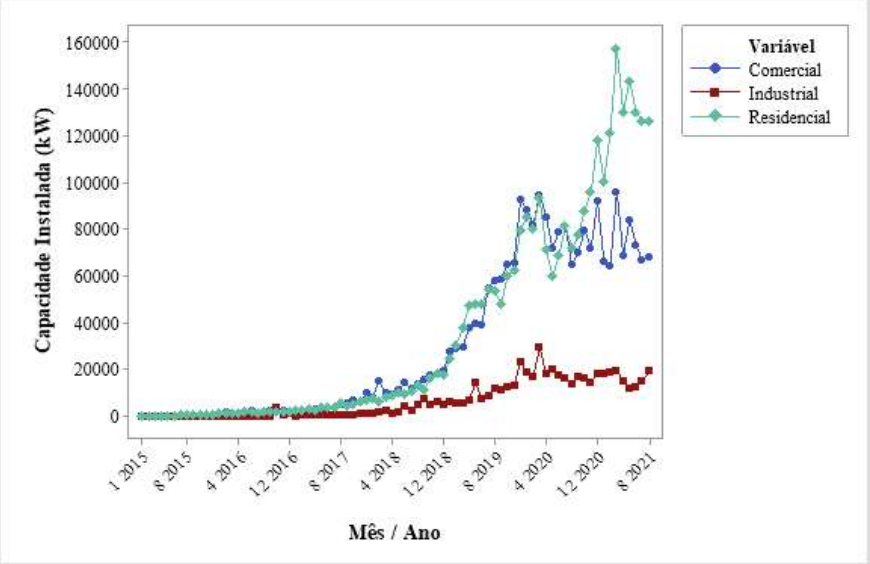
Tabela 2 - Valores da Capacidade Instalada (kW)

Mês	kW Com	kW Ind	kW Res	Mês	kW Com	kW Ind	kW Res
1 2015	123,44	0,00	198,28	5 2018	11.646,26	2.067,73	10.246,66
2 2015	36,17	201,56	136,44	6 2018	14.817,07	4.737,81	9.774,52
3 2015	85,42	7,45	147,79	7 2018	11.749,53	2.367,88	10.852,78
4 2015	83,16	13,67	181,39	8 2018	14.186,06	5.267,59	13.031,16
5 2015	122,18	0,00	294,68	9 2018	15.683,55	7.386,34	11.490,37
6 2015	210,61	50,00	187,06	10 2018	17.738,02	5.151,18	16.373,48
7 2015	289,54	1,97	455,63	11 2018	18.536,98	6.305,04	18.349,05
8 2015	85,87	35,00	439,89	12 2018	19.507,28	5.110,83	17.948,37
9 2015	455,71	107,10	410,31	1 2019	28.106,02	6.157,57	24.859,72
10 2015	379,35	12,75	532,79	2 2019	29.237,60	5.690,97	30.692,93
11 2015	499,93	30,20	634,67	3 2019	29.733,47	5.828,56	38.125,00
12 2015	882,80	124,28	839,41	4 2019	38.187,29	7.071,21	47.423,03
1 2016	1.047,59	35,50	994,75	5 2019	39.913,30	14.436,98	47.795,74
2 2016	1.740,25	63,32	1.155,28	6 2019	39.380,70	7.793,38	48.405,97
3 2016	1.049,27	148,76	1.425,01	7 2019	55.250,18	8.825,84	54.661,98
4 2016	1.103,14	104,20	1.272,64	8 2019	58.076,43	12.171,28	53.993,38
5 2016	1.478,87	64,48	1.843,81	9 2019	59.115,02	11.517,60	48.196,29
6 2016	2.677,03	305,88	1.820,91	10 2019	65.447,29	12.483,03	60.253,99
7 2016	1.558,55	145,74	1.520,88	11 2019	65.677,65	13.534,33	62.740,20
8 2016	1.343,69	119,25	2.149,18	12 2019	92.775,59	23.456,22	79.874,58
9 2016	2.676,84	184,96	1.895,43	1 2020	88.600,29	19.070,68	85.198,52
10 2016	1.735,81	3.638,56	1.624,41	2 2020	82.271,96	17.406,69	80.615,46
11 2016	2.418,29	465,40	1.910,93	3 2020	95.220,18	29.563,54	93.786,16
12 2016	2.028,70	1.169,14	2.195,53	4 2020	85.659,74	18.359,18	71.207,03
1 2017	1.718,74	159,12	2.524,56	5 2020	72.163,45	20.102,21	60.146,13
2 2017	1.213,20	711,40	2.303,85	6 2020	79.099,79	17.462,55	68.818,15
3 2017	2.448,41	450,06	3.043,01	7 2020	81.596,19	16.748,38	81.486,42
4 2017	2.990,90	553,17	2.348,89	8 2020	64.896,65	14.098,51	71.974,94
5 2017	3.017,05	367,53	3.592,16	9 2020	70.489,45	17.262,46	77.708,33
6 2017	3.735,66	489,53	3.603,35	10 2020	79.477,75	16.392,04	88.231,23
7 2017	3.660,64	592,70	4.132,64	11 2020	72.305,36	14.680,71	96.200,58
8 2017	5.248,35	848,68	5.460,13	12 2020	92.303,38	18.528,50	118.439,25
9 2017	6.035,42	825,20	4.499,00	1 2021	66.222,86	18.572,68	100.757,49
10 2017	6.782,00	881,56	5.182,75	2 2021	64.639,72	18.936,47	121.615,67
11 2017	6.320,27	1.394,95	6.267,32	3 2021	96.422,07	19.887,66	157.593,81
12 2017	10.120,82	1.190,69	7.077,34	4 2021	69.107,90	15.238,84	130.298,90
1 2018	8.264,12	1.162,79	7.307,91	5 2021	84.326,58	11.752,20	143.514,58
2 2018	15.456,46	1.874,39	6.536,08	6 2021	73.508,80	12.890,93	130.331,70
3 2018	9.856,41	2.366,78	8.280,03	7 2021	66.919,58	15.291,90	126.850,81
4 2018	9.331,22	1.531,25	8.612,96	8 2021	68.522,35	19.528,45	126.292,44

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Com os dados coletados, pode-se efetuar a análise gráfica dos mesmos e com isso, observar que os índices de crescimento se mantiveram estáveis no início do período analisado até meados de 2018, quando os setores comercial e industrial, apresentaram crescimento significativo, sendo o residencial com um crescimento alavancado a partir do início de 2020, conforme se observa no gráfico 16, a seguir.

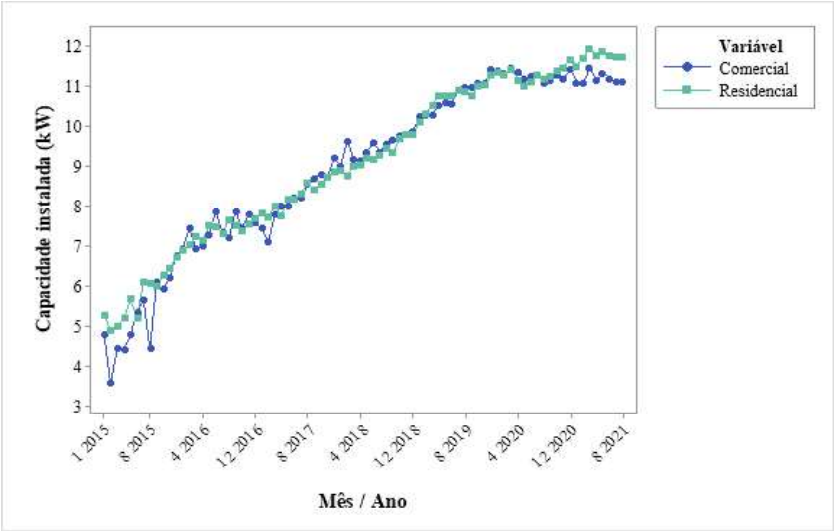
Gráfico 16 - Capacidade Instalada da energia fotovoltaica direcionada à geração distribuída - sem ajuste (kW)



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Porém, se observa que os valores dos setores comercial e industrial, possuem um crescimento exponencial, para se retirar os desvios e tornar a série observada em um crescimento linear, foi aplicado o logaritmo natural (LN), tal diferença dos valores modificados após a aplicação do LN, se aproximam à variação percentual dos valores da série original. O resultado obtido foi representado no Gráfico 17.

Gráfico 17 - Capacidade Instalada da energia fotovoltaica direcionada à geração distribuída - com ajuste (kW)



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Pode-se observar, que os setores comercial e residencial, sempre apresentaram um crescimento na capacidade instalada fotovoltaica voltada à geração distribuída a partir do início de 2016. Porém no setor residencial, ainda se destaca um tênue crescimento ao longo de 2020 e, suas justificativas serão detalhadas adiante.

Já para o setor industrial, o efeito de crescimento exponencial não foi observado, porém, por observação gráfica, a série não é estacionária, e para efetuar o ajuste dos parâmetros e se obter uma redução da variância, se fez necessário executar o processo de diferenciação.

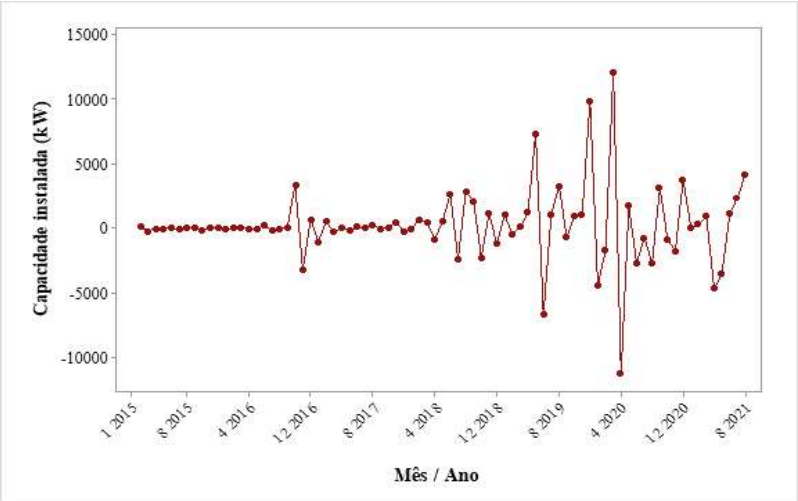
Conforme retratado no gráfico 16, o setor industrial, apresentou uma estabilidade de 2015 a 2018, quando ainda no ano de 2018, transcorreu um tênue crescimento e que se apresenta estável desde o início de 2020. Porém, se observa que tal setor, não possui uma série estacionária e devido a este fato se fez necessário efetuar os corretos ajustes.

A estacionariedade da série é aquela cuja os dados apresentam uma média constante, variância constante e ausência de sazonalidade. Conforme informado no capítulo 3, para que se possa efetuar a previsão do modelo, se faz necessário tal ajuste.

Ao se observar o gráfico 16, que fez referência ao comportamento da série, pode-se perceber que o setor industrial, possui uma tendência de crescimento, sem apresentar características exponencial e, neste caso, foi utilizado do método de diferenciação em T-1, para torna a série estacionária e reduzir as variações.

Utilizando o software Minitab®, foi executada a primeira diferenciação, para transformar os dados coletados do setor industrial em estacionários, que de acordo com o gráfico 18, nos revela um início de ciclo mais constante e um final de ciclo ainda com algumas oscilações.

Gráfico 18 - Diferenciação de primeira ordem dos dados do setor industrial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Com isso, pode-se definir o modelo ARIMA (p, d, q), de acordo com esse teste a defasagem de primeira ordem, atendeu ao esperado para a série se tornar estacionária e com isso, encontra-se um *d* com o valor de 1, para o setor industrial.

Nos tópicos a seguir, foi justificado o comportamento do cenário em estudo, efetuado o estudo da estatística descritiva e iniciada a aplicação do método Box-Jenkins para ao final ser informado os resultados gerados para este estudo.

4.1 COMPORTAMENTO DO CENÁRIO

O comportamento da capacidade instalada de energia fotovoltaica no setor de geração distribuída, para os setores comercial, residencial e industrial, ao longo do período de janeiro de 2015 a agosto de 2021, pode ser verificada após os ajustes, através dos gráficos 16 e 17.

Para explicar tal comportamento, destaca-se como ações impulsionadoras ao crescimento da energia solar fotovoltaica: os incentivos governamentais, a facilitação da linha de crédito e os investimentos da iniciativa privada, como exemplo, o estado de Minas Gerais foi o primeiro estado a conceder isenção do ICMS para a energia solar.

Outro fator que contribuiu positivamente para a expansão dessa capacidade total instalada, segundo o Portal Solar (2021), foi a redução nos preços de leilões, onde o preço médio dos insumos em 2013 era de R$103, já em 2017 sofreu uma redução para R$44,31 e em 2019 atingiu o valor de R$20,33, ou seja, uma redução de 80,26% do valor em 6 anos, possibilitando maior acesso e investimentos no setor.

O setor que mais contribuiu para essa expansão, como já apresentado no Gráfico 15, foi o residencial, muitos consumidores deste setor têm ficado atraídos por essa forma de geração de energia devido: aos ganhos de créditos para a redução do valor da conta de luz e à redução dos valores para a aquisição e instalação dos painéis fotovoltaicos. Segundo a Absolar (2020), diversos proprietários vêm optando pela energia solar, tanto para utilizar como térmica como para fotovoltaica, o que se mostrou benéfico nos últimos anos, já que se estima que o retorno deste investimento é pago em quatro anos, podendo usufruir sem quantidade mínima ao longo de todo o ano.

Uma mudança de hábito ao longo de 2020, também proporcionou tal mudança, a necessidade de se ficar em casa, a adaptação ao trabalho remoto, aulas em modelo de EAD

(ensino a distância) e demais necessidades, fizeram com que a conta de luz aumentasse. Associado a esta mudança nos comportamentos dos consumidores aponta-se que muitas concessionárias passaram a operar em bandeira vermelha, devido a fatores climáticos, como a falta de chuvas e necessidade de ativação de termelétrica e a necessidade do aumento na demanda de energia.

Assim, segundo a CNN (2021), ao longo da pandemia do COVID-19, ocorreu um aumento de 70% na aquisição dos componentes para implementação do sistema solar fotovoltaico.

Junto a essa tendência, tem-se que no setor comercial, micro e pequenas empresas possuem a possibilidade de aproveitar seu CPF tanto no seu comércio quanto na sua residência. Esse setor foi representativo devido a necessidade de implementar o sistema visando redução de custo e comitente ter-se uma visibilidade como uma empresa sustentável.

Já no setor industrial, apesar dos incentivos citados anteriormente, se mostra em leve crescimento e nos últimos períodos encontra-se em estabilidade. O modelo de implementação do sistema fotovoltaico é executado em larga escala, ou seja, demanda uma grande quantidade de painéis para que possam suprir a necessidade da empresa.

Apesar de oferecer benefícios como a redução de gases poluentes e, uma propaganda favorável para a sustentabilidade da empresa, é necessário se efetuar um alto investimento. Estima-se que no setor industrial, é possível obter uma redução de 50% nos gastos da empresa, o que apesar de ser atrativo, ainda não capta todos os empreendedores, de acordo com Portal Solar (2021).

4.2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Com os dados organizados, ajustados e processada a análise gráfica do cenário, se faz necessário avaliar a estatística descritiva dos dados, referentes aos setores estudados. Esse processo foi realizado por meio dos principais testes de significância e da análise dos parâmetros de testes utilizados, cujo objetivo foi compreender a acuracidade das variáveis da série estudada. Após tais verificações é possível observar a necessidade ou não, de ajustes do modelo matemático e delinear as hipóteses do estudo em questão.

A tabela 3 informa, os principais resultados da análise feita para os setores comercial, industrial e residencial:

Tabela 3 - Estatística descritiva dos dados da série de consumo (kW)

Medida	Valor		
	Comercial	Industrial	Residencial
Média	8,981	7,392	9,094
Erro padrão	0,241	0,268	0,231
Desvio padrão	2,160	2,365	2,065
Variância	4,665	5,595	4,266
Coef. de variação	24,05	32,00	22,71
Soma	718,500	576,584	727,545
Máximo	11,476	10,294	11,968
Mínimo	3,588	0,678	4,916
Amplitude	7,888	9,616	7,052
1º Quartil	7,452	5,619	7,526
3º Quartil	11,092	9,560	11,116
Mediana	9,367	7,985	9,124
Assimetria	- 0,65	- 0,76	- 0,32
Curtose	- 0,57	- 0,34	- 1,07

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

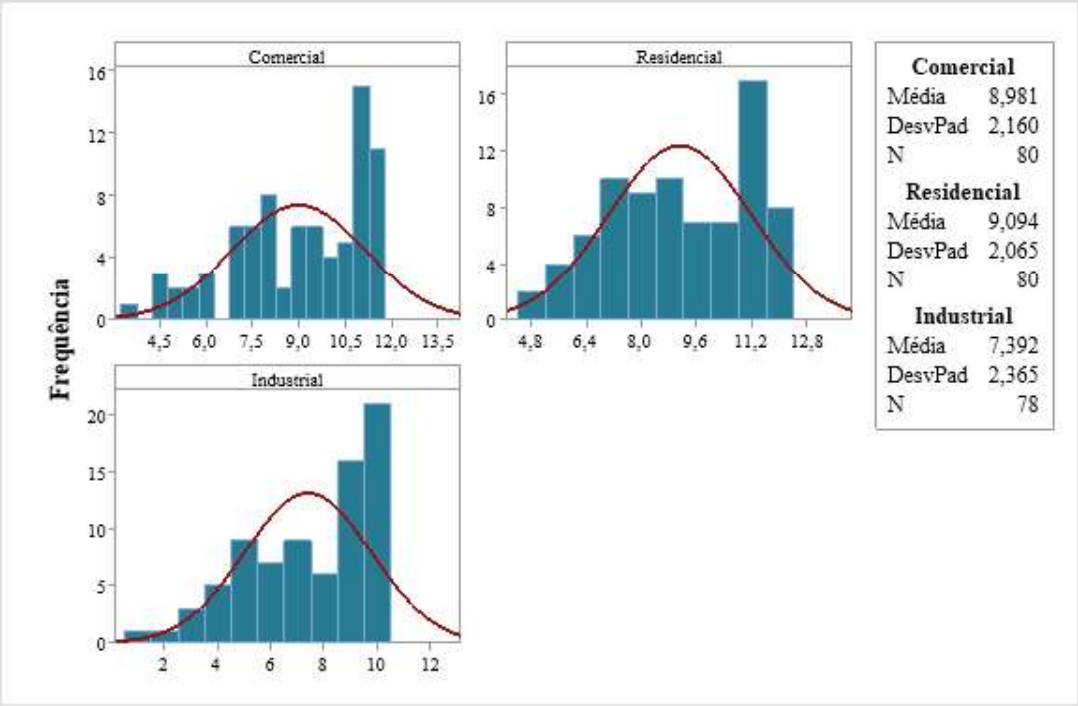
Observa-se pela análise da estatística descritiva, um consumo médio mensal de energia, em kW, de 8,981, 7,392 e 9,094, para os setores comercial, industrial e residencial. Estes dados podem compreender resultados superestimado, uma vez que o observado no comportamento do cenário foi a tendência de crescimento ao longo do tempo, deste modo, os termos podem ocasionar uma defasagem em relação aos valores centrais.

Quando se observa o coeficiente de variação do setor comercial, industrial e residencial, tem-se por ordem os resultados de 24,1 %, 32,00% e 22,71%, verifica-se assim, que o setor industrial, oferece uma alta dispersão, onde seus dados possuem uma maior heterogeneidade.

Quando se observa a curtose, afirma-se que de fato, os dados provêm de uma distribuição normal, com ausência de grandes picos, os valores negativos indicam, que os cálculos foram devidamente satisfatórios, devido ao fato de a distribuição possuir ruídos e logo se fazer necessário, ajustes de tendência.

Para se observar melhor, pode-se utilizar da análise gráfica do histograma, que tem como funcionalidade oferecer informações da forma, ou formato, da distribuição em estudo, que possui relação direta com a simetria e a curva normal que informa qual a curtose dos dados.

Gráfico 19 - Histograma da capacidade instalada com sobreposição da curva normal

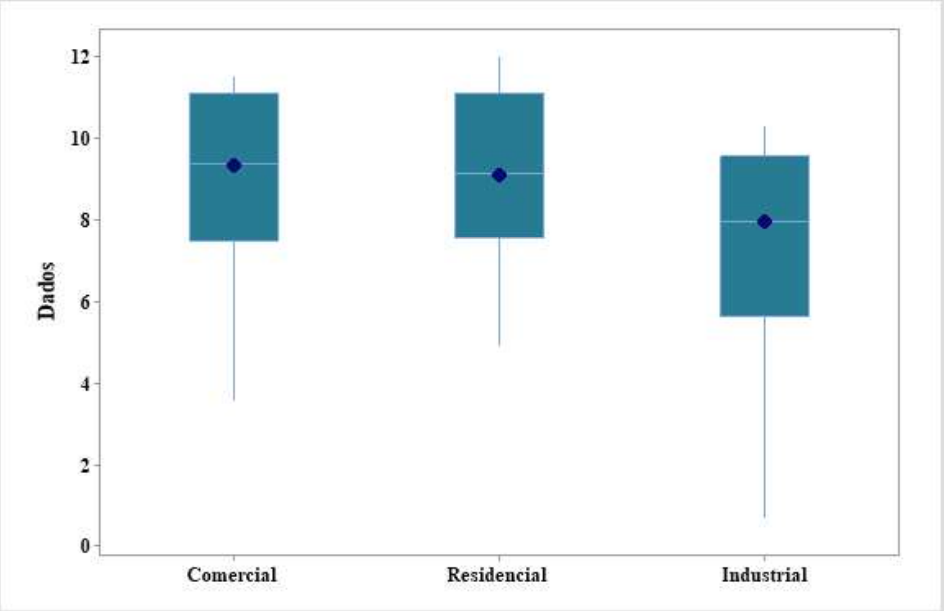


Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Já os valores da média se apresentaram inferiores aos valores da mediana indicando que ocorreu uma moderada assimetria negativa. Tais valores são confirmados, devidos aos coeficientes negativos encontrados de -0,65, -0,76 e -0,32, ou seja, os valores encontram-se mais centralizados à esquerda da curva.

Tal fato, é confirmado ainda, através da utilização de análise gráfica, dado o modelo de *box-plot*, onde é possível confirmar que os dados possuem uma assimetria negativa, tendência à esquerda da curva, conforme apresentado no gráfico 20.

Gráfico 20 - Box-plot da capacidade instalada dos setores comercial, industrial e residencial (kW)



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Embora se observe algumas discrepâncias, os resultados podem ser julgados como imperceptíveis e deste modo, os dados coletados são fidedignos aos padrões de normalidade, podendo-se seguir com as hipóteses estabelecidas neste trabalho.

4.3 ETAPAS DO MÉTODO BOX-JENKINS

Seguindo a metodologia de Box-Jenkins informada no capítulo 3, destaca-se como primeiro passo para o processo de previsão a etapa de identificação do modelo. Nesta fase, alguns testes fazem-se necessários para compreender se a ideia inicial é aceita e irá gerar o resultado esperado, sendo eles, análise de tendência, avaliação da correlação através do ACF e PACF e avaliação dos resíduos.

Não se fez necessário neste estudo, verificar a sazonalidade das séries estudadas, para todos os setores, devido às observações gráficas e estudos feitos nos capítulos anteriores, foi possível constatar que não existem picos de capacidade instalada de energia fotovoltaica ao longo do período de 2015 e 2021 e sim, apenas tendência de crescimento.

4.3.1 Análise De Tendência

A Tabela 4 a seguir, nos mostra os resultados encontrados para os três setores estudados, pode-se verificar assim, que os valores em negrito e hachurado são os menores encontrados

deste modo, por maioria, escolhe-se o modelo de tendência quadrático para representar a tendência das séries.

Tabela 4 - Comparativo da Análise de Tendência

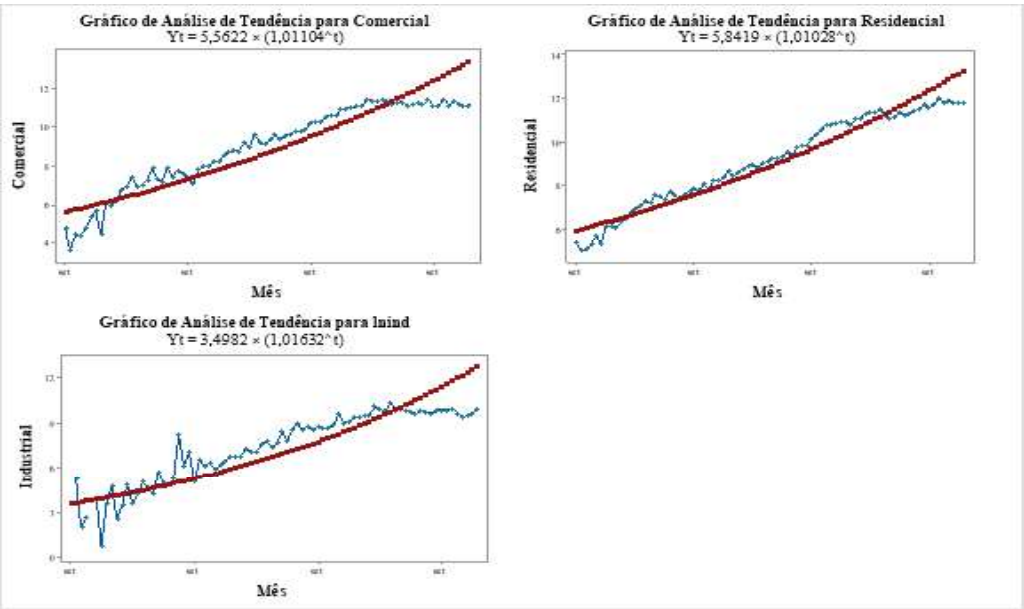
Setor	Linear		Quadrático		Crescimento Exponencial		Curva S	
	EPAM	DAM	EPAM	DAM	EPAM	DAM	EPAM	DAM
Comercial	6,490	0,494	**3,910**	**0,291**	8,907	0,720	4,122	0,304
Industrial	16,716	0,659	**12,014**	**0,439**	20,412	1,020	-	-
Residencial	3,273	0,276	**2,562**	**0,215**	5,246	0,457	2,611	0,216

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Em relação à análise gráfica, temos a linha em azul representando os valores reais, em vermelho os valores ajustados e em verde os valores previstos.

Quando se observa a curva de crescimento exponencial, para os setores em estudo, foi possível observar que seus valores de EPAM e DAM alcançaram seu nível máximo, onde através do gráfico 21, observa-se que a curva azul referente aos dados reais possui grande dispersão em relação a curva vermelha, que representa os dados referentes a previsão e, com isso, não gera confiança nos resultados de suas projeções sendo descartados neste trabalho, o gráfico 21, reforça tais análises.

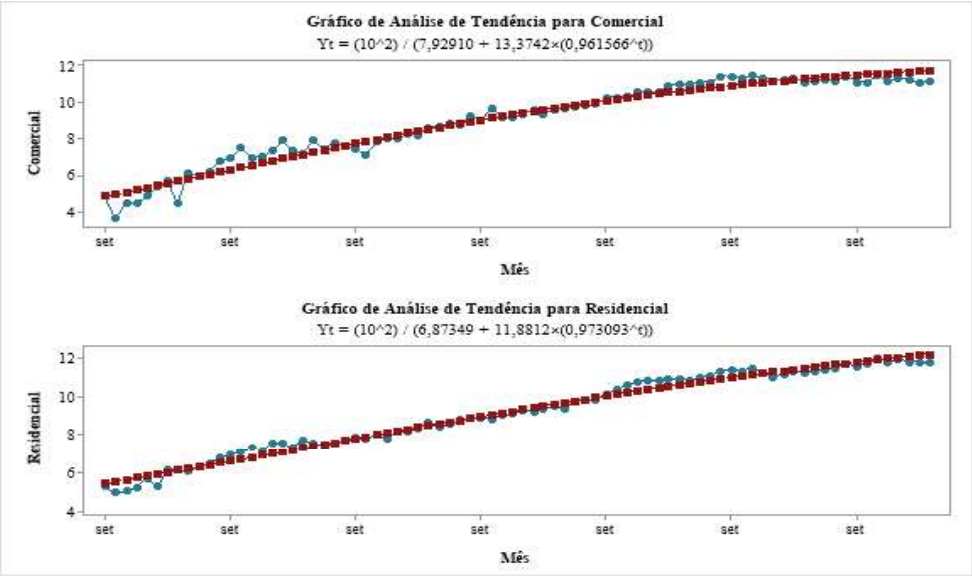
Gráfico 21 - Curva de tendência de crescimento exponencial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Já o modelo de curva s, não gerou resultado para o setor industrial visto que esse não apresenta comportamento normal e, logo não se consegue prever diante deste modelo, para os demais setores, apesar de exemplificar uma curva dentro do esperado, quando se observa o gráfico 22, percebe-se que os valores ajustados encontrados aos finais das séries possuem um distanciamento em relação aos valores reais, sendo assim, subentende-se que a tendência subjacente está sendo alterada.

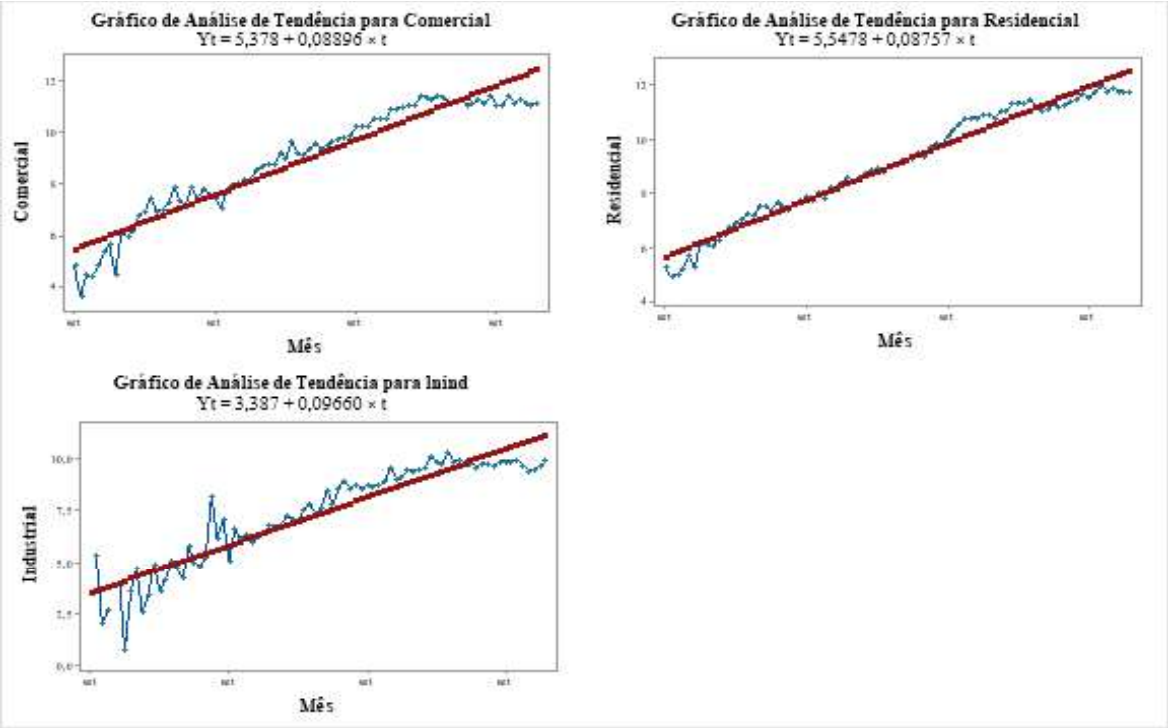
Gráfico 22 - Curva de tendência modelo de curva S



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Quando se observa a linha de tendência dos diagramas lineares, para todos os setores, pode-se observar uma moderada discrepância em relação com os valores da realidade, além disso, a previsão passou ocorrer de um modo irreal não sendo fidedigno aos resultados esperados, de acordo com o gráfico 23.

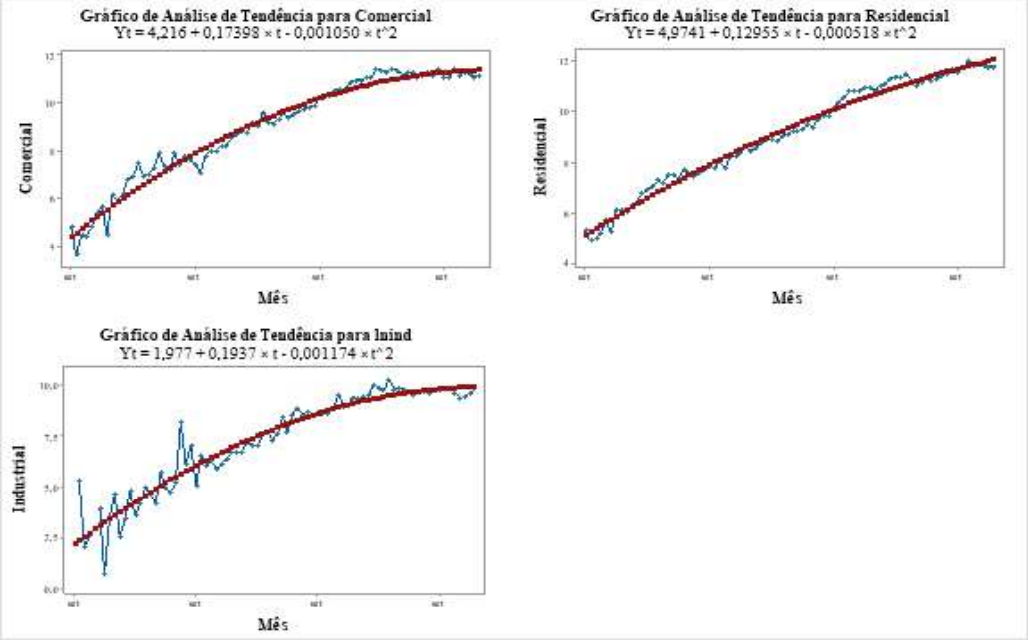
Gráfico 23 - Curva de tendência linear dos setores comercial, industrial e residencial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Através de informações teóricas citadas no capítulo 3 e da análise do gráfico 24, onde foi possível perceber que os valores ajustados se encontram finítimo aos valores reais, inclusive ao final da curva, o modelo de tendência quadrático ou suavização exponencial dupla, foi avaliado como viável para a previsão dos três setores, já que obteve a acuracidade dos parâmetros de EPAM e DAM, onde os menores valores indicam um resultado autêntico para as previsões que assim serão geradas, ou seja, as curvas em azul e vermelho, são próximas o suficiente para se afirmar tal proposição.

Gráfico 24 - Curva de tendência quadrática (kW)



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

4.3.2 Autocorrelação E Autocorrelação Parcial

Outra análise necessária aos estudos é avaliar a autocorrelação ou ACF e autocorrelação parcial ou PACF, a fim de se obter um modelo ARMA (p, q), estacionário, onde ambas as funções devem decair a partir da defasagem de truncagem.

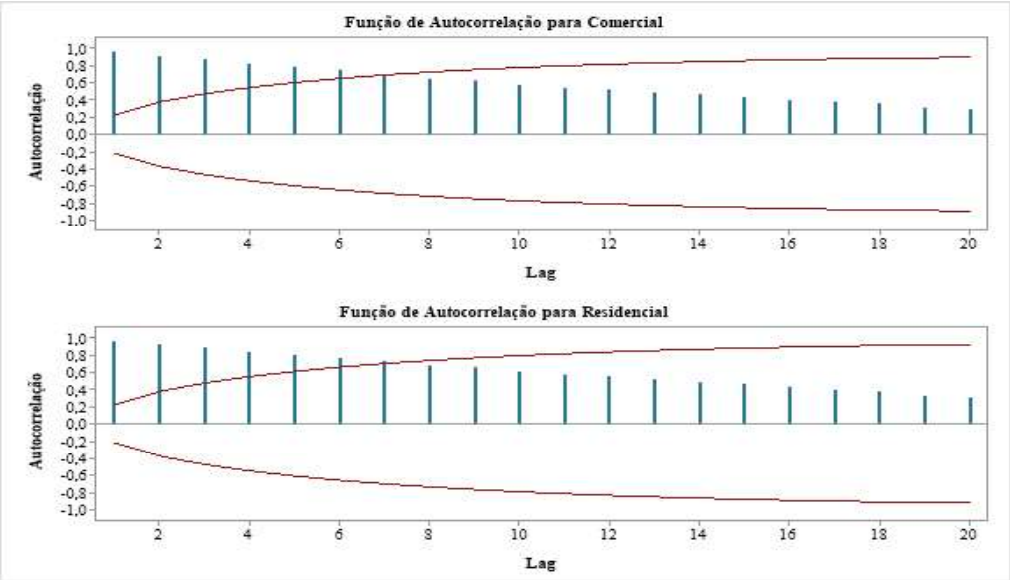
O modelo ACF irá informar o MA do modelo ou melhor, o coeficiente q em estudo, já o modelo PACF, será utilizado para exprimir o termo p, ou o modelo AR equivalente, e, assim será idealizado o modelo ARMA.

Foi utilizado neste estudo, limites de significância de 5% para as autocorrelações, em todos os três setores de análise: comercial, industrial e residencial. E para a determinação do modelo ARMA, foi plotado através do software Minitab® os correlogramas correspondes a cada setor em estudo.

Foi possível observar no estudo, que para os setores comercial e industrial, existe um decaimento exponencial, que é característico do modelo MA, constata-se, a existência de seis defasagens superiores, que são as barras em azul, que estão superiores ao limiar de significância, linha em vermelho, dos correlogramas em estudo, deste modo, compreende-se que o modelo em estudo, para ambos os setores, começa a ser estatisticamente igual a zero, após o sétimo *lag*,

conforme se observa no gráfico 25. De acordo com essa análise, pode-se compreender que para os setores comercial e industrial, o modelo MA irá possuir um $q = 6$.

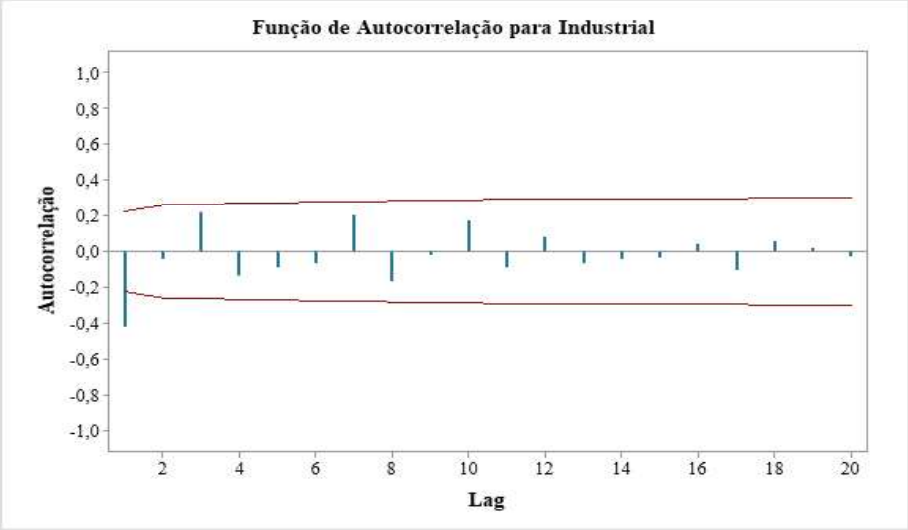
Gráfico 25 - Função de autocorrelação do setor comercial e residencial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Já quando se observa o setor industrial, percebe-se a ocorrência de uma correlação que é expressiva no *lag* 1, ou seja, apenas a primeira barra azul está forra dos parâmetros esperados para este estudo, sendo assim, apresenta correlações que não são relevantes na série, mas que tal referência indica a existência de um termo autorregressivo, que será melhor constatado no PACF, conforme se observa o gráfico 26, compreende-se assim que, para o setor industrial, o seu MA apresenta um $q = 1$.

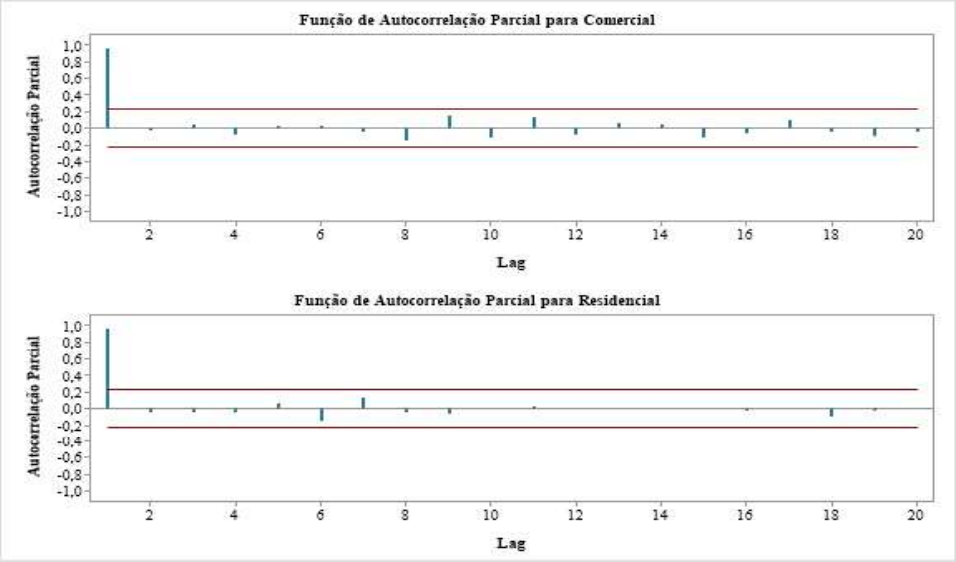
Gráfico 26 - Função de autocorrelação do setor industrial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Analisando o PACF, para os setores comercial e residencial, constata-se um desempenho intrínseco de decaimento exponencial, onde através do gráfico 27, representa a primeira defasagem distinto de zero ou fora da linha vermelha, que representa o limiar do parâmetro em estudo e, com isso tem-se um modelo AR onde a ordem do modelo autorregressivo é identificada como $p = 1$.

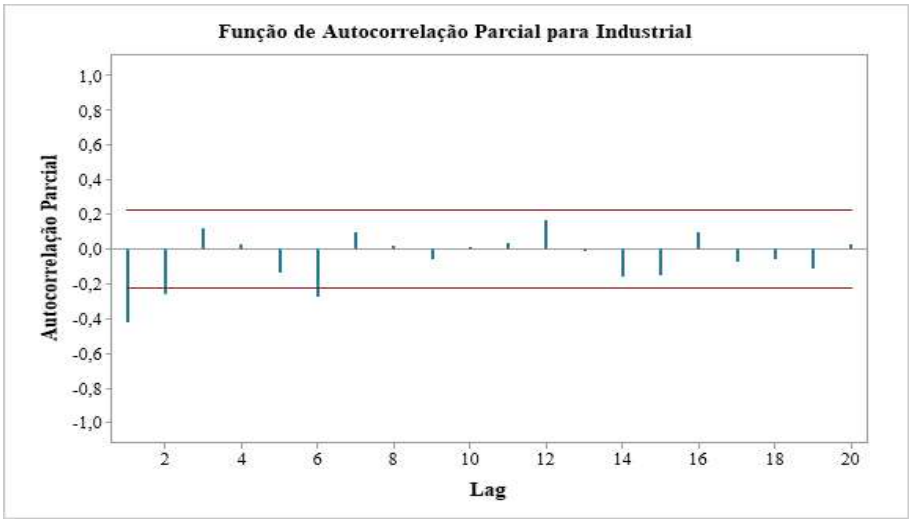
Gráfico 27 - Função de autocorrelação parcial dos setores comercial e residencial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Já o setor industrial, apesar de coincidir o correlogramas com um decaimento exponencial, apresentou o resultado para seu termo autorregressivo de $p = 3$, conforme se observa no gráfico 28, onde as duas primeiras barras em azul e a sexta barra em azul, se encontra fora dos limites esperados para este estudo.

Gráfico 28 - Função de autocorrelação parcial dos setores industrial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Compreende-se assim, que para os setores comercial e residencial é possível considerar que o modelo seja com as características ARMA (1,6), AR = 1 e MA = 6, já para o setor industrial, de acordo com os dados, entende-se que o modelo adequado será um ARIMA (3,1,1) ou seja, AR = 3, I = 1 e MA = 1.

Contudo, apesar dos correlogramas oferecerem tais interpretações, se faz necessário compreender os erros e seus parâmetros, a fim de, testar outras ponderações para os valores de *p* e *q* e com isso, ser capaz de compreender se o modelo pré-existente foi inferior ao especificado ou super especificado, examinando com isso, qual modelo de previsão é capaz de oferecer valores estatísticos mais fidedignos.

4.3.3 Validação Do Modelo

Neste subitem, foi realizado a verificação e confirmação de que os resíduos são ruídos brancos, ou seja, apresenta como característica serem independentes ou desprendidos de autocorrelação, seguem uma distribuição normal e são homocedásticos[13].

Para todos os setores e testes analisados, o valor do nível de significância considerado neste estudo foi de um alfa de 0,05.

4.3.3.1 Setor Comercial

No setor comercial, em primeiro momento foi considerado o modelo ARMA sugerido pelos dados de (1,6), porém o valor de MA ou da média móvel encontrada que considera seis períodos, o que para este modelo se mostra como um período distante para a previsão, sendo mais sensível utilizar um valor de *q* que seja menor, de acordo com Bueno (2008).

Considerando tal informação, foi executado alguns modelos a fim de, se comparar seus resultados e determinar qual modelo de previsão se mostrou mais fundamentado para o estudo em questão. Os modelos de ARMA testados para este setor foram: (1,5), (1,0), (1,2) e (2,2).

Foi avaliado em um primeiro momento, a estimativa final dos parâmetros e se cada termo no modelo apresentou um resultado estatisticamente significativo, onde, se o valor de *p*

[13] Termo utilizado em Estatística, para se referir a uma sequência de variáveis aleatórias que apresentam variância constante.

for menor do que $\alpha = 0{,}05$ a hipótese nula será aceita, senão será rejeitada, o comparativo entre os modelos se encontra na tabela 5.

Tabela 5 - Comparativo do valor-p para o setor comercial

Modelo ARMA		Valor – p	Definição
(1,5)	AR (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
	MA (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
	MA (2)	0,209	Rejeita-se a hipótese nula
	MA (3)	0,589	Rejeita-se a hipótese nula
	MA (4)	0,618	Rejeita-se a hipótese nula
	MA (5)	0,002	Aceita a hipótese nula
(1,0)	AR (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
(1,2)	AR (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
	MA (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
	MA (2)	0,009	Aceita a hipótese nula
(2,2)	AR (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
	AR (2)	0,001	Aceita a hipótese nula
	MA (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
	MA (2)	0,000	Aceita a hipótese nula

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Diante desse estudo, pode-se perceber que apenas o modelo ARMA (1,5), por ter hipóteses rejeitadas, não foi aceito como uma possível previsão. Em um segundo momento, os dados a serem comparados são os referentes às somas residuais dos quadrados (QM) e o valor da soma dos quadrados (SQ), onde quanto menor o valor melhor será SQ para o modelo. As comparações se encontram na tabela 6.

Tabela 6 - Comparativo do valor de QM e SQ para o setor comercial

Modelo ARMA	SQ	QM
(1,0)	12,592	0,160
(1,2)	9,689	0,126
(2,2)	**8,608**	**0,113**

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

De acordo com essas informações, pode-se concluir que o modelo mais adequado foi o ARMA (2,2), porém ainda necessita de outras etapas para a confirmação da independência dos ruídos, foi a de verificar os valores da estatística do qui-quadrado de Ljung-Box, na tabela 7, tem-se os resultados, onde se confirma que todas as *lags* obedecem a suposição de $\alpha > 0{,}05$, ou seja, dentro do período de 12, 24, 36 e 48 meses de previsões todos os dados foram aceitos para este estudo.

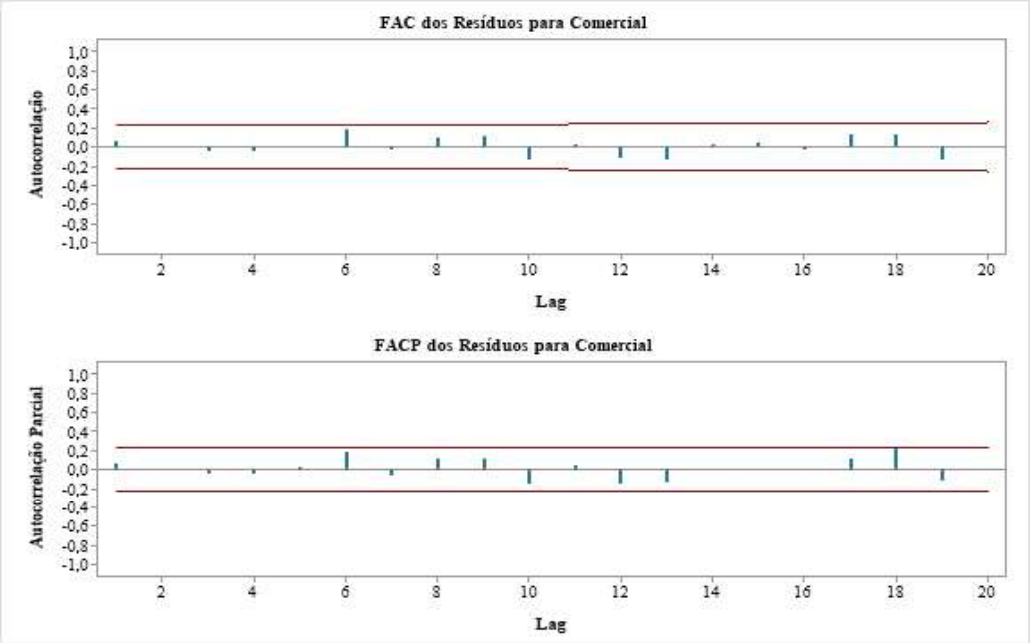
Tabela 7 - Teste do qui-quadrado com o valor-p para o setor comercial

Lag	Valor-*p*	Qui-quadrado
12	0,439	7,94
24	0,521	19,01
36	0,766	25,94
48	0,963	28,78

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Por fim, foi efetuada a análise gráfica dos resíduos, onde se pode confirmar que o modelo ARMA (2,2), possui todos os valores dentro dos níveis de significância, de acordo com o gráfico 29, ou seja, todos os *lags,* ou barras em azul estão dentro do limite de significância, linha em vermelho, referente a este estudo.

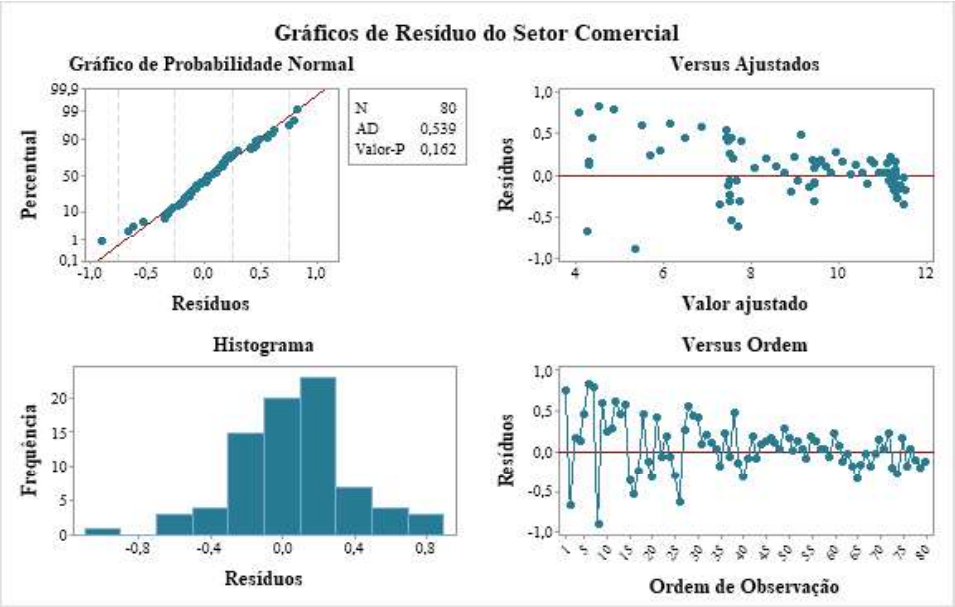
Gráfico 29 - ACF e PACF dos resíduos do modelo ARMA (2,2) do setor comercial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Também, se observa que os resíduos são normalmente distribuídos, conforme primeiro gráfico superior a esquerda, onde os dados se encontram próximo a reta normal, também verifica-se que possuem uma dispersão não viciada conforme o gráfico superior da direita e, que possuem valores em torno de uma média constante, de acordo com o gráfico inferior da direita confirmando assim, que os resíduos apresentam características de variância constante, média constante e dados normais, como mostra o gráfico 30.

Gráfico 30 - Gráficos de resíduo do modelo ARMA (2,2) do setor comercial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

4.3.3.2 Setor Residencial

No setor residencial, também ocorreu como resultado o modelo ARMA sugerido pelos dados de (1,6), porém o valor de MA não possibilita a realização de uma previsão com dados fidedignos de acordo com os dados coletados para este estudo.

Considerando tal informação, esse modelo foi substituído pelo modelo ARMA (1,5), além deste modelo, também foi analisado como possibilidade os modelos ARMA: (1,0), (1,2) e (1,3), onde seus resultados podem ser encontrados na tabela 8.

Tabela 8 - Comparativo do valor-p para o setor residencial

Modelo ARMA		Valor – *p*	Definição
(1,5)	AR (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
	MA (1)	0,004	Aceita a hipótese nula
	MA (2)	0,027	Aceita a hipótese nula
	MA (3)	0,026	Aceita a hipótese nula
	MA (4)	0,806	Rejeita-se a hipótese nula
	MA (5)	0,304	Rejeita-se a hipótese nula
(1,0)	AR (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
(1,2)	AR (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
	MA (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
	MA (2)	0,000	Aceita a hipótese nula
(1,3)	AR (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
	MA (1)	0,006	Aceita a hipótese nula
	MA (2)	0,030	Aceita a hipótese nula
	MA (3)	0,025	Aceita a hipótese nula

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Diante desse estudo, pode-se perceber que também para o setor residencial o modelo ARMA (1,5), teve hipóteses rejeitadas, então recusa-se esta previsão. Por seguinte, foi efetuada a comparação dos resultados referentes às somas residuais dos quadrados (QM) e o valor da soma dos quadrados (SQ). Os valores obtidos nas simulações encontram-se na tabela 9.

Tabela 9 - Comparativo do valor de QM e SQ para o setor residencial

Modelo ARMA	SQ	QM
(1,0)	3,658	0,046
(1,2)	3,050	0,040
(1,3)	**2,867**	**0,038**

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

De acordo com as informações da tabela, pode-se aferir que o modelo com os menores parâmetros de SQ e QM foi ARMA (1,3), para sancionar a exatidão da independência dos ruídos, foi analisado os quocientes da estatística do qui-quadrado de *Ljung-Box*, sendo estes, indicados na tabela 10, onde verifica que todas as *lags* rejeitam a hipótese nula e o modelo pode ser previsto com uma *lag* de 24 meses, que irá fornecer valores mais exatos.

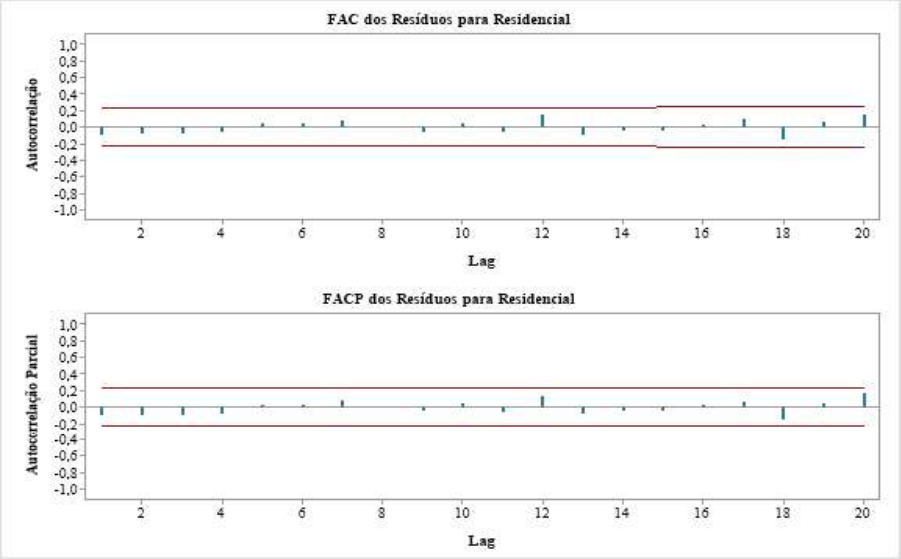
Tabela 10 - Teste do qui-quadrado com o valor-p para o setor residencial

Lag	Valor-*p*	Qui-quadrado
12	0,688	5,63
24	0,643	17,15
36	0,696	27,46
48	0,903	32,35

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Por fim, foi processada a análise gráfica dos resíduos, onde pode-se confirmar que os resíduos gerados por esse modelo se encontram dentro dos padrões de significância, como se observa no gráfico 31, ou seja, com todas as barras em azul dentro dos padrões de significância, indicados pelas retas inferiores e superiores em vermelho.

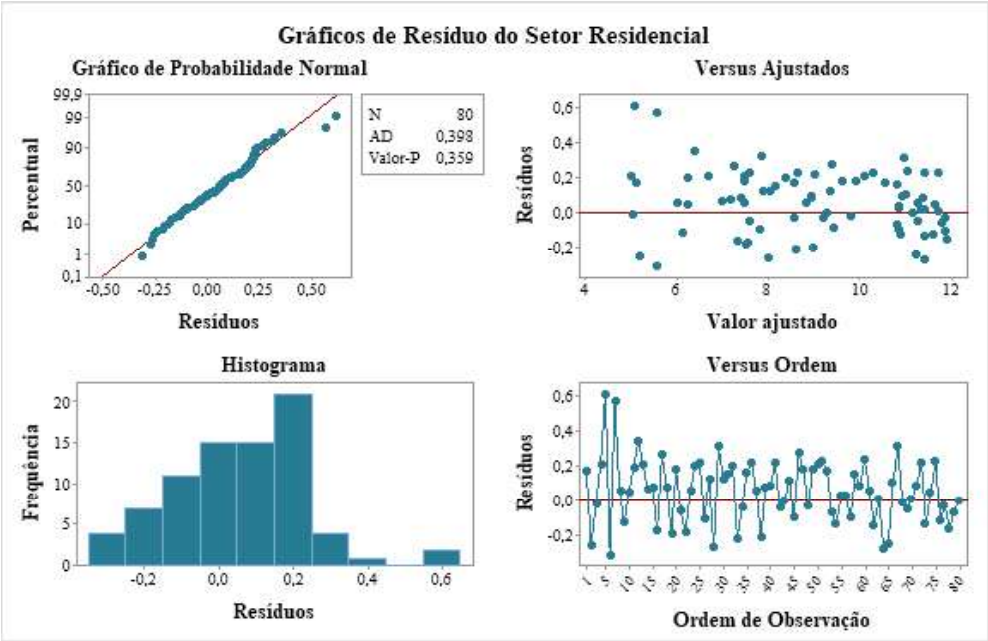
Gráfico 31 - Gráficos de resíduo do modelo ARMA (1,3) do setor residencial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Por fim, por análise visual, através do gráfico 32, verifica-se que os dados estão quase que alinhados como uma reta, o que garante a normalidade dos resíduos. Em relação ao gráfico dos resíduos *versus* valores ajustados, não se observa a existência de um padrão, tais informações entram em conformidade com o gráfico de ordem, que exprimem que os dados são precisos em relação aos valores reais, ou seja, os gráficos da direita se comportam sem vícios e os gráficos da esquerda demonstram a normalidade da série em estudo. Com isso, conclui-se que a série em estudo possui ruídos branco.

Gráfico 32 - Gráficos de resíduo do modelo ARMA (1,3) do setor residencial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

4.3.3.3 Setor Industrial

No setor industrial, o modelo obtido através do estudo do ACF e PACF e da necessidade de diferenciação da série em d = 1, já efetuada nos dados anteriormente, resultou em um ARIMA (3,1,1), ou seja, com um valor autorregressivo de p = 3 e uma média móvel de q = 1. Foi-se assim, necessário a confirmação de que os resíduos atendem a necessidade de independência, para a objetividade da previsão deste setor.

Além de tal modelo considerar, também se fez necessário a simulação de mais três modelos ARIMA, sendo eles, (2,1,2), (2,0,1) e (2,2,3), na tabela 11, se encontra a avaliação referente às estimativas dos parâmetros estudados.

Tabela 11 - Comparativo do valor-p para o setor industrial

Modelo ARIMA		Valor – p	Definição
(3,1,1)	AR (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
	AR (2)	0,000	Aceita a hipótese nula
	AR (3)	0,005	Aceita a hipótese nula
	MA (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
(2,1,2)	AR (1)	0,003	Aceita a hipótese nula
	AR (2)	0,004	Aceita a hipótese nula
	MA (1)	0,037	Aceita a hipótese nula
	MA (2)	0,279	Rejeita-se a hipótese nula
(2,1,1)	AR (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
	AR (2)	0,023	Aceita a hipótese nula
	MA (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
(2,2,3)	AR (1)	0,013	Aceita a hipótese nula
	AR (2)	0,000	Aceita a hipótese nula
	MA (1)	0,000	Aceita a hipótese nula
	MA (2)	0,000	Aceita a hipótese nula
	MA (3)	0,000	Aceita a hipótese nula

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Diante desta exploração, o modelo ARIMA (2,1,2), obteve uma de suas hipóteses rejeitadas, logo, tem-se este modelo como descartado. Restando mais três modelos, fez-se a comparação em relação aos valores obtidos nas somas residuais dos quadrados (QM) e o valor da soma dos quadrados (SQ) e, sinalizado na tabela 12, qual modelo apresentou os menores valores relativos a esses indicadores.

Tabela 12 - Comparativo do valor de QM e SQ para o setor industrial

Modelo ARIMA	SQ	QM
(3,1,1)	933.072.520	12.609.088
(2,1,1)	529.981.828	7.066.424
(2,2,3)	**465.736.034**	**6.379.946**

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

De acordo com as informações da tabela, o modelo que apresentou os menores indicadores foi o ARIMA (2,2,3), onde revela que o valor de *d* foi de duas diferenciações, o valor de *p* foi inferior ao projeto e o valor de *q* indicou que quanto maior a média móvel, melhor foi a aderência do modelo.

Para ainda confirmar a veracidade das informações, foi observado os se o valor de *p*, para o teste do qui-quadrado, foi superior ao parâmetro de 0,05, dispondo assim, sua hipótese rejeitada, de acordo com a tabela 13, ou seja, quanto menor o tempo em meses ou *lags*, mais assertivo será a previsão, onde para uma *lag* de 48 meses os dados podem não exprimir a realidade esperada para o estudo.

Tabela 13- Teste do qui-quadrado com o valor-p para o setor industrial

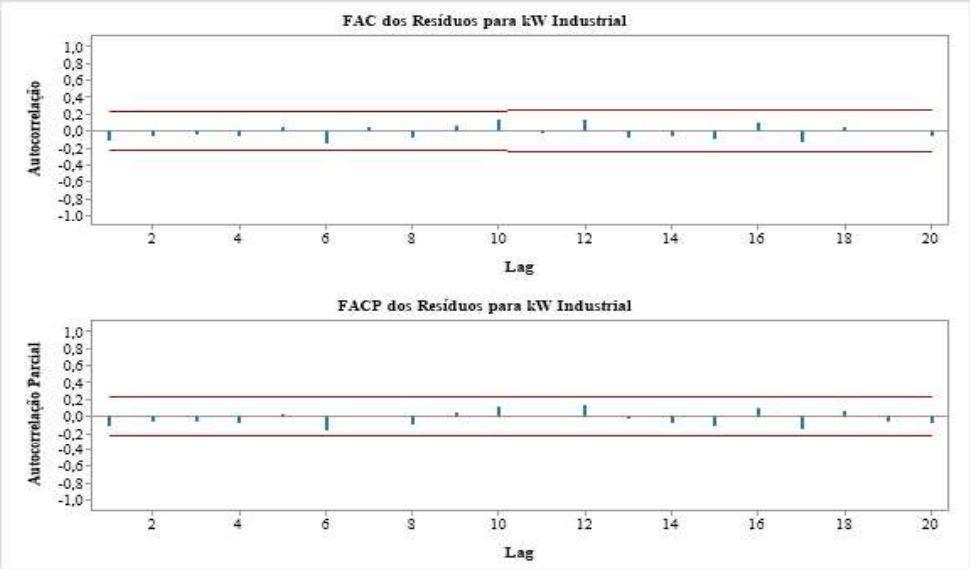
Lag	Valor-*p*	Qui-quadrado
12	0,415	7,14
24	0,742	14,69
36	0,956	18,92
48	0,996	22,62

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Para confirmação dos dados a análise visual dos gráficos dos resíduos foi efetuada, onde se solidifica as informações geradas pelos dados, onde os valores residuais apresentam *lags* nos

gráficos de ACF e PACF, dentro do nível de significância de 5%, conforme mostra o gráfico 33.

Gráfico 33 - Gráficos de resíduo do modelo ARIMA (2,2,3) do setor industrial



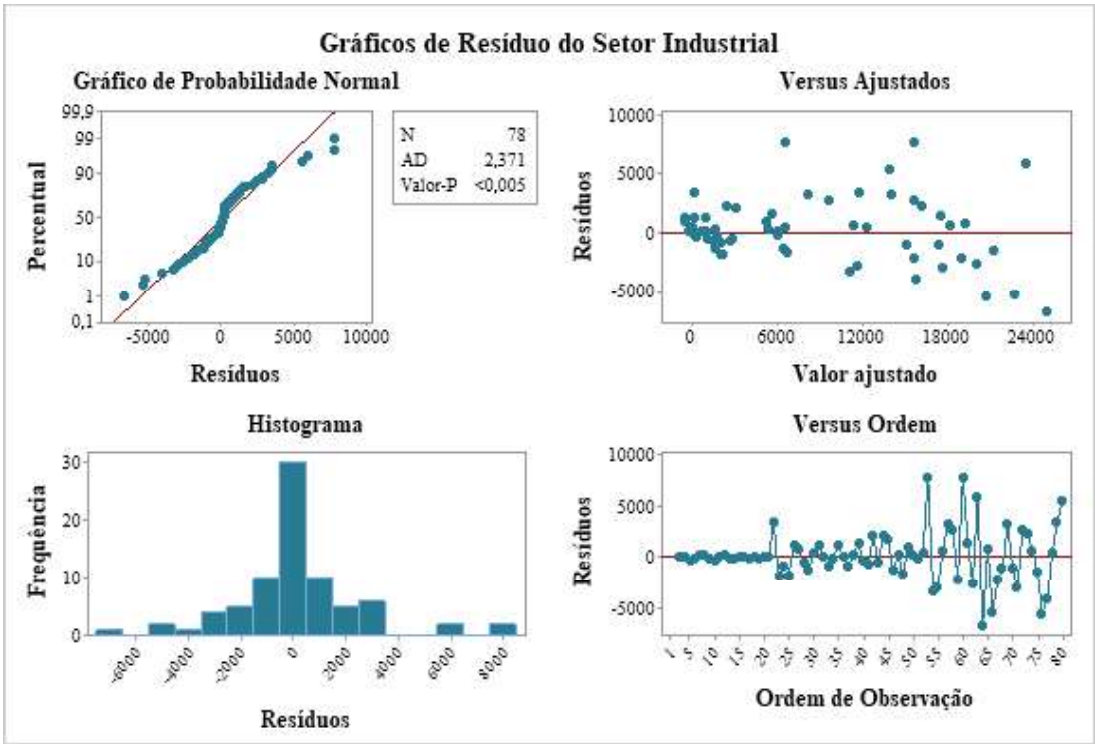
Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Por fim, foi observado através do gráfico 34 o comportamento dos resíduos, de acordo com o gráfico da esquerda superior, verifica-se que o modelo apresentou dados aproximados em torno da curva normal, mas que possui pequenas dispersões em suas caudas e/ou extremidades conforme dados em azul, o que se justificará ao realizar o teste de normalidade, já que o setor industrial possui um comportamento ARIMA, ou seja possui tendencia de integração entre o modelo autorregressivo e o de média moveis e sua correlação só é percebida em um teste de normalidade em especifico, mas ainda com tais diferenças indica que tais ruídos são normalmente distribuídos.

Observa ainda, que o gráfico de dispersão possui um comportamento aleatório em torno de zero, com a presença de alguns *outliers*, apesar de tal fato não foi possível determinar um padrão reconhecido, porém o gráfico do ACF e PACF complementa a análise, quando se observa que os dados estão dentro dos níveis de significância de 5%.

Por fim, através do gráfico de resíduo *versus* ordem, foi possível perceber, a precisão dos ajustes em relação aos valores originais, já que tais se deparam nas proximidades da linha central, ou seja, os dados são fidedignos ao padrão homocedásticos.

Gráfico 34 - Gráficos de resíduo do modelo ARIMA (2,2,3) do setor industrial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

4.3.3.4 Teste De Normalidade

Após realizada avaliação dos resíduos, tem-se a necessidade de confirmar se os resultados seguem uma distribuição normal, ou nomeado como teste de normalidade e, sua simulação foi executada pelo mesmo software, onde para este estudo foi analisado os resultados de três modelos diferentes, sendo eles: Anderson-Darling, Ryan-Joiner e Kolmogorov-Smirnov, permanecendo com um de confiança, ou um alfa α, de 95%, ou 5% de significância.

Em resumo, para o modelo de Anderson-Darling, a hipótese nula foi aceita quando o *p* valor foi maior do que $\alpha = 0{,}05$, já para o modelo de Ryan-Joiner, se observa o valor dado em RJ e, estando este valor entre 0,8 e 1 a hipótese também é aceita e, por fim, o teste de Kolmogorov-Smirnov, onde o meu valor-*p*, deve ser maior do que o nível de significância considerado neste modelo.

Todos os três testes possuem resultados assertivos, no entanto os testes de Anderson-Darling e de Kolmogorov-Smirnov, são fundamentados na função de distribuição empírica, sendo assim, idôneo para a detecção de desvios nas caudas da distribuição normal, já o teste de Ryan-Joiner, avalia a regressão e a correlação entre os dados.

A tabela 14, indica qual o resultado encontrado do valor de *p*, para o teste de Anderson-Darling, para os setores em estudo, onde se observa que o setor industrial, rejeita a hipótese nula.

Tabela 14 - Teste de Anderson-Darling para os setores comercial, residencial e industrial

Setor	Valor-*p*	Decisão
Comercial	0,162	Aceita a hipótese nula
Industrial	0,005	Rejeita a hipótese nula
Residencial	0,359	Aceita a hipótese nula

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Já na tabela 15, ao se observar os valores de RJ, que são referentes ao teste de Ryan-Joiner, percebe-se que todos os setores encontram valores com grande vicinalidade ao esperado, que são dados próximos ao valor de um, sendo assim, todos foram considerados assertivos para o teste de normalidade.

Tabela 15 - Teste de Ryan-Joiner para os setores comercial, residencial e industrial

Setor	RJ	Decisão
Comercial	0,987	Aceita a hipótese nula
Industrial	0,957	Aceita a hipótese nula
Residencial	0,989	Aceita a hipótese nula

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Por fim, o teste de Kolmogorov-Smirnov, mostra que apenas o setor industrial apresentou um valor inferior ao nível de significância estudado, sendo assim, de acordo com esta metodologia, sua hipótese foi rejeitada.

Tabela 16 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para os setores comercial, residencial e industrial

Setor	Valor-*p*	Decisão
Comercial	0,150	Aceita a hipótese nula
Industrial	0,010	Rejeita a hipótese nula
Residencial	0,150	Aceita a hipótese nula

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Conforme se observa no gráfico 34, a hipótese foi rejeitada para o setor industrial nos modelos de Anderson-Darling e de Kolmogorov-Smirnov, fica legível que ocorre oscilações na cauda da série temporal, porém no modelo de RJ todas as hipóteses são aceitas, o que elucida que o teste atendeu ao proposto.

Conclui-se, que para o teste de normalidade, a metodologia aplicada Ryan-Joiner, foi a escolhida para este estudo, pode-se constatar que todos os setores atenderam a acurácia esperada, logo, todos os setores apresentaram 95% de confiança de que seus resíduos são uma distribuição normal de parâmetros.

4.4 PREVISÕES DO SETORES

De acordo com a metodologia Box-Jenkins, utilizada neste estudo, foi desempenhado as etapas de, identificar os possíveis modelos para os setores comercial, industrial e residencial, em seguida executar a etapa de estimação dos parâmetros, com tais informações de posse para os testes, foi efetuada a terceira etapa de verificação dos dados e, por fim, com a constatação dos dados que atendem a todos os requisitos, a última etapa seria de previsão, onde se utilizou o modelo ARMA, para todos os setores comercial e residencial e o modelo ARIMA para o setor industrial.

Foi efetuada a simulação das previsões, em um período de 12 meses, com o objetivo de determinar o comportamento futuro da capacidade instalada em kW, dos setores comercial, industrial e residencial. Dado um intervalo de confiança de 95%, a Tabela 17 apresenta as previsões da capacidade instalada para os três setores.

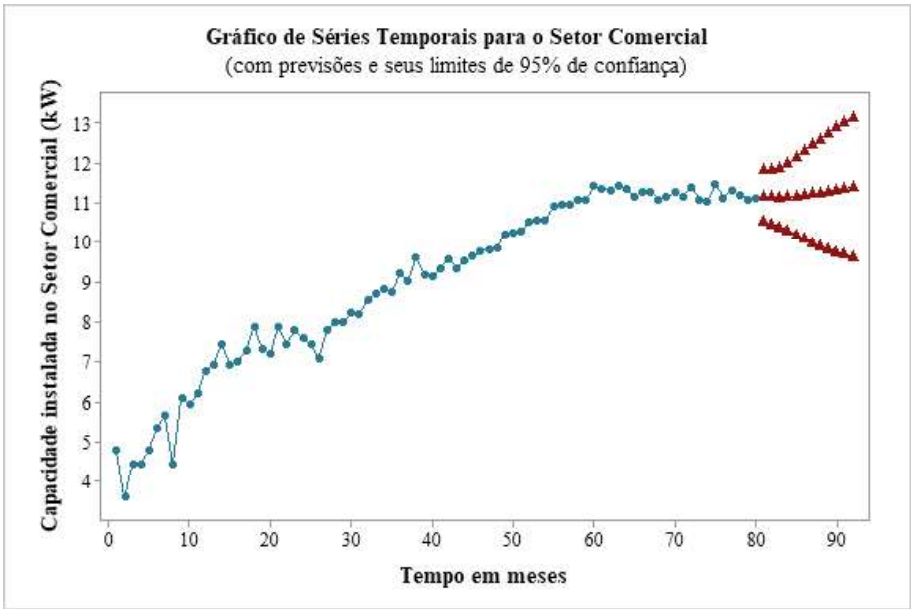
Tabela 17 - Previsões para a capacidade instalada nos próximos 12 meses para os setores comercial, industrial e residencial

Período	Previsão Comercial	Previsão Industrial	Previsão Residencial
1	11,1942	19147,8	11,7085
2	11,1609	21321,7	11,7127
3	11,1541	21505,9	11,7325
4	11,1638	20325,7	11,7513
5	11,1834	21013,8	11,7702
6	11,2092	22208,0	11,7890
7	11,2388	21862,1	11,8079
8	11,2708	21562,6	11,8268
9	11,3042	22404,6	11,8458
10	11,3387	22896,2	11,8648
11	11,3737	22629,2	11,8838
12	11,4092	22834,5	11,9028

Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Observa-se, contudo, que no setor comercial para os meses 2 e 3 tem-se um declínio no consumo de energia elétrica fotovoltaica, após esse período, mostra-se uma leve ascensão do setor mês a mês, sendo que tais valores representam um crescimento de 3 % em relação ao mesmo período passado e, suas projeções, dados em vermelho que descrevem as informações de previsão em um período de 12 meses, podem ser observadas no gráfico 35.

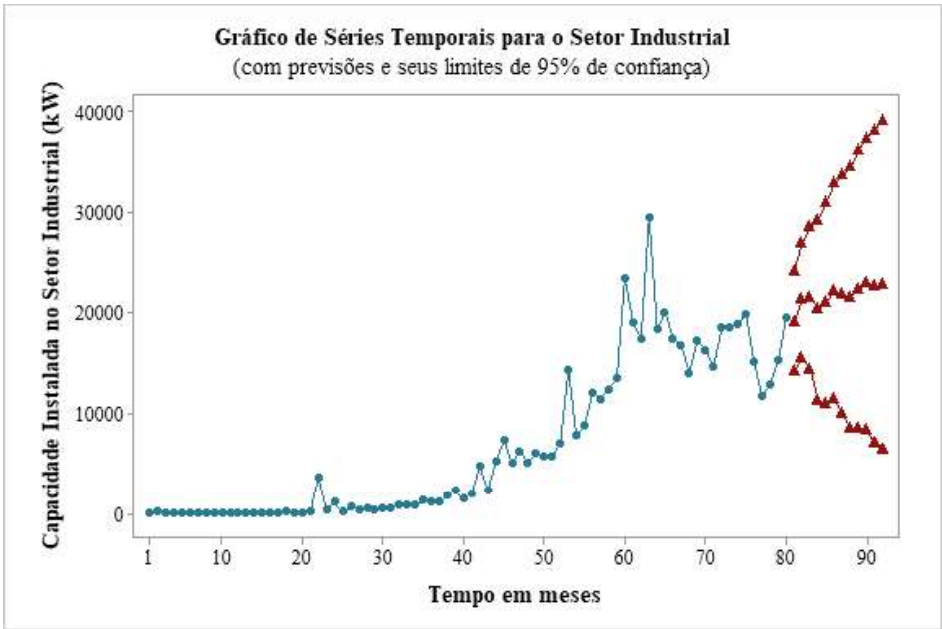
Gráfico 35 - Série histórica dos dados da capacidade instalada nos próximos 12 meses para o setor comercial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

No setor industrial, observa-se que ocorreu um pequeno crescimento e decaimento ao longo do período, ou seja, permanece mais em estabilidade ao longo dos 12 meses, sem grandes avanços de investimento no setor.

Gráfico 36 - Série histórica dos dados da capacidade instalada nos próximos 12 meses para o setor industrial

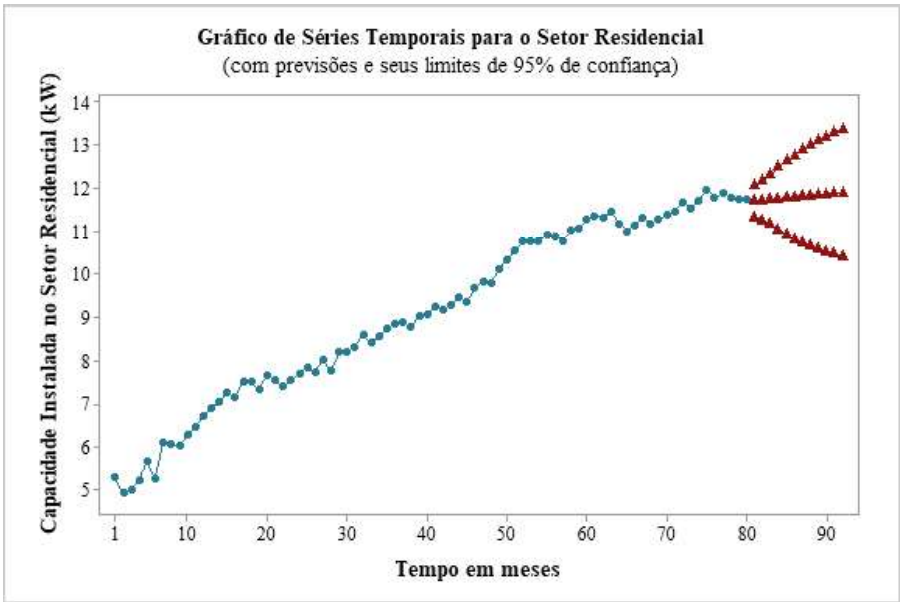


Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Por fim, o setor residencial foi o que representou crescimento em todos os períodos projetados, conquistou o dobro de crescimento em relação ao setor comercial, quando se observa o mesmo período, em torno de 6,43% em um ano, percebe-se assim, pelo gráfico 36,

sua tendência de ascendência, sendo que, de acordo com o relatado no capítulo 2 e, o setor com maior potencial de evolução e investimentos.

Gráfico 37 - Série histórica dos dados da capacidade instalada nos próximos 12 meses para o setor Residencial



Fonte: Da autora, a partir dos dados da ANEEL (2021).

Este capítulo, teve por objetivo avaliar os dados em estudos, efetuar os devidos ajustes e comparar se os resultados gerados são satisfatórios para a pesquisa deste trabalho, que teve como objetivo avaliar os setores comercial, industrial e residencial e observar quanto a capacidade instalada em suas futuras projeções.

4.5 ANALISE QUALITATIVA DAS INFORMAÇÕES

Os modelos oferecem suposições de fatores relevantes relacionados à tomada de decisão do consumidor de energia fotovoltaica, fatores econômicos provocados pela pandemia do COVID-19 e impactos ambientais do consumo de energia elétrico e, ademais, a renda nacional bruta que implica em uma relação intrínseca entre a entre economia e a demanda e oferta de eletricidade.

De acordo com dados econômicos, o setor comercial, se viu prejudicado na aquisição de alguns insumos base, mercadorias e demais, o que levou ao aumento de preços, tanto para o setor quanto para o consumidor. Tal fato, mostra que o crescimento deste setor quanto ao consumo de energia elétrica fotovoltaica foi leve, o que se justifica pelos novos dispêndios e pequenos investimentos nessa modalidade como modo de economia.

No setor industrial, já apresentava um crescimento quase que estável e bem inferior aos demais setores, apesar de empresas buscarem oferecer uma visão de sustentabilidade, seu objetivo principal não é o investimento em alternativas como a energia solar, apesar da economia que pode ser gerada para empresa, ademais projetos, como de investimentos em tecnologia se tornam mais viáveis e logo, a busca por alternativas sustentáveis não se torna primordial.

O setor residencial, que de acordo com as informações levantadas e os testes realizados, continua sendo o setor mais promissor quando o assunto é energia solar fotovoltaica. A pandemia fez com que as famílias ficassem mais tempo em casa, logo, aumento de consumo de energia elétrica e, assim, a busca por esse meio de geração de energia.

Mesmo diante de tal cenário, o setor já se apresentava como o mais promissor em crescimento, através das facilidades promovidas pelo setor, pelo governo e pela redução do investimento, que faz com que mais que dobre ano após ano a capacidade instalada do setor, visto também convergindo com maior conscientização da população.

Até o período de setembro de 2021, em estudo, observou-se que o Brasil vivencia uma das piores crises hídricas que tende a se prolongar até 2025. Outros fatores que também se justificam para o descontrole do sistema de energia elétrica, é o aumento das tarifas da conta de luz, a alta do dólar e aumento no valor dos combustíveis, ambas situações vivenciadas ao longo de 2021, além dos prejuízos que as concessionárias obtiveram ao longo da pandemia da COVID devido à falta de pagamento.

Apesar de se aparentar um prejuízo para todos os setores deste estudo, os fatores se apresentam como um pretexto favorável para o investimento em energia fotovoltaica no Brasil, já que deste modo, o setor possuindo condições financeiras, consegue-se efetuar a instalação e garantir energia elétrica a preço justo, acessível e com uma fonte limpa durante todo o ano, além do acúmulo de créditos para serem utilizados em outros momentos de necessidade.

Os benefícios atingem também a não dependência de hidrelétricas e por consequência a instalação de energia elétrica fotovoltaica acaba por não ser afetada pela crise hídrica além de, contribuir para uma menor utilização de termelétricas, lembrando-se que o Brasil é um dos países com o maior potencial de aproveitamento de fontes renováveis e limpas de energia e que pressupõe que se deve convergir com planos nacionais para instigação da implementação dos mesmos.

5. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento da capacidade instalada de energia fotovoltaica nos setores comercial, industrial e residencial, durante o período de janeiro de 2015 a agosto de 2021.De posse de tais dados foram determinados modelos matemáticos, a fim de gerar previsões da capacidade instalada dos três setores, para um período de 12 meses.

Em resumo, a metodologia inicial indicou que alguns modelos forneceriam os melhores parâmetros, os setores comercial e residencial, forneceram um modelo ARMA (1,6), mas conforme ajuste dos modelos o ideal foi o modelo ARMA (2,2) e o modelo ARMA (1,3), respectivamente. Já o modelo industrial, forneceu um modelo ARIMA (3,1,1), mas o que ofereceu a melhor representação, foi o modelo ARIMA (2,2,3).

Conclui-se assim, que a previsão esperada para o estudo, foi atingida de modo satisfatório, considerando os resultados estatísticos, uma vez que o modelo ajustado selecionado para o estudo das previsões, apresentou pequenos desvios em relação a série real e assim, entende-se como informações fidedignas para a execução de previsões.

Tais dados convergem, com as informações qualitativas coletadas e que foram empregadas para observar a tendência de crescimento afirmada pelos dados iniciais e, de acordo com as informações econômicas foi também, possível de observar que os setores mais propícios foram o setor comercial e ainda mais o setor residencial.

Sendo assim, empresas que se dedicam em ter empreendimentos voltados para energia solar assim, como políticas e leis, que possam favorecer a ampliação das instalações serão bem vistas no futuro próximo.

Aliás o Brasil possui em toda sua extensão vantagens da alta radiação, podendo a energia solar fotovoltaica se tornar uma alternativa benéfica para toda matriz energética, já que com isso, inibe a necessidade de ativação de termelétricas, empréstimo com outros países de energia e não fica dependente da energia hidrelétrica, que por vezes se encontram em situação de racionamento.

As vantagens do investimento em energia solar fotovoltaica são inúmeras, cabe assim, os devidos investimentos e incentivos do governo, junto a sociedade e empresas privadas para que amplifique sua utilização a âmbito nacional.

6. REFERÊNCIAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil e no mundo**. Disponível em: http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html. Acesso em: fev. 2021.

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Solar é ainda mais atrativa quando combinada com tecnologias de armazenamento**. Disponível em: https://www.absolar.org.br/noticia/solar-e-ainda-mais-atrativa-quando-combinada-com-tecnologias-de-armazenamento/. Acesso em: fev. 2021.

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Procura por energia solar cresce 45% durante a pandemia de Covid-19.** Disponível em: https://www.absolar.org.br/noticia/procura-por-energia-solar-cresce-45-durante-pandemia-de-covid-19/. Acesso em: jun. 2021.

ACKERMANN, Thomas; ANDERSSON, Göran; SÖDER, Lennart. **Distributed generation: a definition**. Electric Power Systems Research, v. 57, n. 3, p. 195–204, 20 abr. 2001.

AGÊNCIA BRASIL. **O Governo quer atrair investimentos para recuperar bacias hidrográficas**. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-11/governo-quer-atrair-investimentos-para-recuperar-bacias-hidrograficas. Acesso em: fev. 2021.

AGÊNCIA MINAS. **GDSolar anunciou investimentos de R$ 105 milhões em Minas Gerais**. Disponível em: http://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/gdsolar-anuncia-investimentos-de-r-105-mi-em-minas-gerais. Acesso em: fev. 2021.

ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid. 2019**. 75 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019.

AMARAL, Danilo. **História da Mecânica - O motor a vapor**. UFPB, 2010. Disponível em: http://www.demec.ufmg.br/port/d_online/diario/Ema078/historia%20do%20motor%20a%20vapor.pdf. Acesso em: fev. 2021.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf. Acesso em: fev. 2021.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjViLTllMjItN2E5MzBkN2ZlMzVkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9. Acesso em: Jun. 2021.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false. Acesso em: fev. 2021.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Leilão de energia garante investimento de R$ 11,2 bilhões**. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/leilao-de-energia-garante-investimento-de-r-11-2-bilhoes/656877?inheritRedirect=false. Acesso em: mar. 2021.

ASTRA SOLAR. **Geração distribuída no Brasil**. 2017. Disponível em: https://goo.gl/kvGoGv. Acesso em: fev. 2021.

BEZERRA, Filomena Nádia Rodrigues. **Sustentabilidade da matriz energética Brasileira**. 2016. 124 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Economia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural. Fortaleza - CE, 2016.

BHATTACHARYYA, Subhes. **Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance**. Springer, Dundee, 2011.

BLASZCZAK, Vinícius. **Análise de Eficiência de Painel Fotovoltaico com Sistema Tracker Seguidor Solar**. UFFS. Erechim.; 2017. Disponível em: https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/1695/1/BLASZCZAK.pdf. Acesso em: fev. 2021.

BNB - BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. Contratações FNE. BNB, 2020.

BRASIL. LEI Nº 5.764, DE 16 DE DEZEMBRO DE 1971. D**efine a Política Nacional de Cooperativismo, institui o regime jurídico das sociedades cooperativas, e dá outras providências**, Brasília, DF, dez 1971. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l5764.htm. Acesso em: fev. 2021.

BRASIL. LEI Nº 10.762, DE 11 DE NOVEMBRO DE 2003. **Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica, altera as Leis nºs 8.631, de 4 de março de 1993, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências.** Brasília, DF, nov 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.762.htm. Acesso em: fev. 2021.

BRASIL. LEI Nº 13.169, DE 6 DE OUTUBRO DE 2015. **Altera a Lei nº 7.689, de 15 de dezembro de 1988**, Brasília, DF, out 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13169.htm. Acesso em: fev. 2021.

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 1.911, DE 11 DE OUTUBRO DE 2019. **Regulamenta a apuração, a cobrança, a fiscalização, a arrecadação e a administração da Contribuição para o PIS/Pasep, da COFINS, da Contribuição para o PIS/Pasep-Importação e da COFINS-Importação**, Brasília, DF, out 2019. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-1.911-de-11-de-outubro-de-2019-221810934. Acesso em: fev. 2021.

BRASIL. MEDIDA PROVISÓRIA Nº 950, DE 8 DE ABRIL DE 2020. **Dispõe sobre medidas temporárias emergenciais destinadas ao setor elétrico para enfrentamento do estado de calamidade pública**, Brasília, DF, abr 2020. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/medida-provisoria-n-950-de-8-de-abril-de-2020-251768271. Acesso em: fev. 2021.

BRASIL. DECRETO Nº 7520. **Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "LUZ PARA TODOS", para o período de 2011 a 2014, e dá outras providências.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/decreto/d7520.htm. Acesso em: fev. 2021.

BRASIL. Resolução Normativa ANEEL n. 479, de 03 de abril de 2012 (Diário Oficial de 12 de abr. de 2012, p. 48). **Altera a Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, que estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada**, Brasília, DF, abr 2012. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf. Acesso em: mar. 2021.

BRASIL. Resolução Normativa ANEEL n. 482, de 17 de abril de 2012. **Altera as Resoluções Normativas n° 482, de 17 de abril de 2012 e nº 414, de 9 de setembro de 2010, e aprova revisão do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.**, Brasília, DF, abr 2012. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas. Acesso em: mar. 2021.

BRASIL. Resolução Normativa ANEEL n. 514, de 30 de outubro de 2012. **Estabelece as condições para a contratação de Cotas de Garantia Física de Energia e Potência, em observância ao disposto no Decreto nº 7.805, de 2012**. Brasília, DF, out 2012. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012514.pdf. Acesso em: mar. 2021.

BUENO, Rodrigo de Losso da Silveira. **Econometria de séries temporais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

CALDAS, Helder Henri Silva; MOISÉS, Antônio Luís Silva. **Geração Fotovoltaica Distribuída: Estudo de Caso para Consumidores Residenciais de Salvador – Ba**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.5, p. 164-180, 2016. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/rber/article/download/45270/pdf. Acesso em: jan. 2021.

CASTRO, Nivalde; CASTRO, Gabriel; FERREIRA, Daniel; TOMMASSO, Francesco; MORAIS, Rafael. **Impactos Sistêmicos da Micro e Minigeração Distribuída**. 79. ed. Rio de Janeiro: GESEL, UFRJ, 2018. p. 1-64.

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Disponível em: http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/inicio. Acesso em: fev. 2021.

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014. Disponível em: https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenhariasistemas-fotovoltaicos-2014.pdf. Acesso em: fev. 2021.

CNN - *Cable News Network*. **Energia solar cresce 70% no Brasil apesar da pandemia e espera um 2021 positivo.** Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/business/2021/01/16/energia-solar-cresce-70-no-brasil-apesar-da-pandemia-e-espera-2021-positivo. Acesso em: jun. 2021.

CRUZ, Daniel Tavares. **Micro e minigeração eólica e solar no Brasil: propostas para desenvolvimento do setor**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-04082015-153708/publico/Dissertacao_Daniel_Cruz.pdf. Acesso em: fev. 2021.

DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre; **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**: Texto para discussão. 2388. ed. Rio de Janeiro: IPEA, 2018. p. 1-42.

DUFFIE, John; BECKMAN, William. **Solar engineering of thermal processes**. 2 Ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.

ECONOTERM. **Aquecedor solar**. Disponível em: https://www.econoterm.com.br/solar-banho. Acesso em: fev. 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. 2019. Brasília: EPE, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuário%20Estatístico%20de%20Energia%20Elétrica%202020.pdf. Acesso em: jan. 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Covid-19**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-500/Balanco_Covid-19%20-rev.pdf. Acesso em: fev. 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço energético nacional 2020 (BEN)**. 2020. Brasília: EPE, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Expansão da Geração**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao.Acesso em: fev. 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. [S. l.], dez 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-510/Claro%20-%20Resenha%20Mensal%20-%20Dezembro(1).pdf. Acesso em: fev. 2021.

ÉPOCA NEGÓCIOS. O**s Emirados Árabes Unidos inauguram a maior fazenda solar do mundo**. Disponível em: https://epocanegocios.globo.com/Mundo/noticia/2019/07/emirados-arabes-unidos-inauguram-maior-fazenda-solar-do-mundo.html. Acesso em: fev. 2021.

ESTÁDIO MINEIRÃO. **Sustentabilidade**. Disponível em: http://estadiomineirao.com.br/o-mineirao/imprensa/sustentabilidade/. Acesso em: fev. 2021.

ETENE - Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. **Energia Solar**. Ano, 5. Nº 100. 2020. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/80223/6888946/110_Energia+Solar.pdf/da714c4b-2e47-825b-1bc6-6389432166f1. Acesso em: fev. 2021.

EXTRA. **A primeira cooperativa de energia solar do país será instalada no Morro da Babilônia.** Disponível em: https://extra.globo.com/economia/primeira-cooperativa-de-energia-solar-do-pais-sera-instalada-no-morro-da-babilonia-24697355.html. Acesso em: fev. 2021.

FGV – Fundação Getúlio Vargas. **Impactos do COVID-19 | Os efeitos do coronavírus no setor elétrico**. [S. l.], 8 abr. 2020. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/fgv-impactos-do-covid-19-os-efeitos-do-coronavirus-no-setor-eletrico. Acesso em: fev. 2021.

FUNDAJ – Fundação Joaquim Nabuco. **O Nordeste gera 85% da energia eólica do Brasil**. Disponível em: https://www.fundaj.gov.br/index.php/a-questao-energetica/10859-nordeste-gera-85-da-energia-eolica-do-brasil. Acesso em: fev. 2021.

GADELHA, Carlos Augusto Grabois. **Saúde e desenvolvimento: uma nova abordagem para uma nova política**. Rev. Saúde Pública, 2012; 46(Supl):5-8.

GOVERNO DO BRASIL. **Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira**. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira. Acesso em: fev. 2021.

GREENBRÁS. **Energia solar no mundo**: saiba quais são as 5 maiores usinas fotovoltaicas do planeta. [São Paulo], [2016]. Disponível em: http://greenbras.com/energiafotovoltaica/energia-solar-no-mundo-saiba-quais-sao-as-5-maiores-usinas-fotovoltaicas-doplaneta/. Acesso em: fev. 2021.

GREEN, Martin; EMERY, Keith; KING, David; IGARI, Sanekazu; WARTA, Wilhelm. **Solar Cell Efficiency Tables** (Version 16). Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 8, p. 377-384, 2000. Acesso em: fev. 2021.

GREEN CITY TIMES. **The 550 megawatt Topaz Solar Farm**. Disponível em: https://www.greencitytimes.com/the-550-megawatt-topaz-solar-plant/. Acesso em: fev. 2021.

GUJARATI, Damodar; PORTER, Dawn. **Econometria básica**. 5. ed. New York: AMGH, 2011. p. 1-918.

IBC COACHING. **Saiba o que é *mindset***. Disponível em: https://www.ibccoaching.com.br/portal/saiba-o-que-e-mindset/. Acesso em: fev. 2021.

IBERDROLA. **Usina fotovoltaica Nunez de Balboa**. Disponível em: https://www.iberdrola.com/quem-somos/linhas-negocio/projetos-emblematicos/usina-fotovoltaica-nunez-de-balboa. Acesso em: fev. 2021.

IEA - International Energy Agency (IEA). **Report IEA PVPS T1-31:2017/ 2018**. Disponível em: http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf. Acesso em: fev. 2021.

IEA - International Energy Agency (IEA)**. Energy Technology Perspectives 2020.** Disponível em: https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020. Acesso em: fev. 2021.

INDECO WEB. **Como funciona a energia geotérmica**. Disponível em: http://www.indecoweb.com.br/noticia/como-funciona-a-energia-geotermica.html. Acesso em: fev. 2021.

KAMAL, Wafik. **Solar Water Pumping: an analytical overview**. Engineering Journal of Qatar University. Qatar, v. 1, 1988. Disponível em:

http://qspace.qu.edu.qa/bitstream/handle/10576/7914/06-88-1-09-fulltext.pdf?sequence=3. Acesso em: jan. 2021.

LODI, Cristiane, 2011. **Perspectivas para a Geração de Energia Elétrica no Brasil Utilizando a Tecnologia Solar Térmica Concentrada**. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

MATOS, Orlando Carneiro de. **Econometria Básica: teoria e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

MATTOS, Gustavo Marques. **Estudo de Rendimento e Temperatura de Painéis Fotovoltaicos com Uso de Técnica de Concentração Solar**. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2016. Disponível em: http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017182.pdf. Acesso em: jan. 2021.

MERCADO LIVRE DE ENERGIA. **Mercado livre (ACL) x Mercado cativo (ACR)**. Disponível em: https://www.mercadolivredeenergia.com.br. Acesso em: jan. 2021.

MINITAB. **Insira seus dados para Análise de tendências.** Disponível em: https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/time-series/how-to/trend-analysis/perform-the-analysis/enter-your-data/. Acesso em: jun. 2021.

MME – Ministério de Minas e Energia; EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 (PDE)**. Brasília: MME/EPE, 2019. Acesso em: fev. 2021.

MONTALVÃO, Edmundo; FARIA, Ivan Dutra. **Energia Sustentável para Todos**. Boletim do Legislativo Nº 16, DE 2012. Senado Federal. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/242648/Boletim2012.16.pdf?sequence=1. Acesso em: fev 2021.

MORETTIN, Pedro Alberto. **Econometria financeira: um curso em séries temporais financeiras**. [S.l: s.n.], 2011.

NEVES, Cesar das; ROSSI, José W. **Econometria e Séries Temporais**: com aplicações à dados da economia brasileira. 1. ed. [S.I]: LTC, 2017. p. 1-682.

OCB/MT. **Entra em operação a primeira cooperativa de energia renovável do país**. Disponível em: https://www.ocbmt.coop.br. Acesso em: fev 2021.

OLIVEIRA, Thalles Rodrigues de. **Geração De Energia X Impacto Ambiental**. UEMG. Minas Gerais.; 2011. Disponível em: http://www.waltenomartins.com.br/tcc_2011_Thalles.pdf. Acesso em: fev 2021.

ONU – Organização das Nações Unidas. **"Não há tempo a perder", ONU renova apelo sobre urgência climática**. Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2020/09/1727422. Acesso em: jan. 2021.

ONU – Organização das Nações Unidas. **População mundial chegará a 9,7 bilhões em 2050, prevê a ONU**. Disponível em: https://g1.globo.com/mundo/noticia/2019/06/18/populacao-mundial-chegara-a-97-bilhoes-em-2050-preve-onu.ghtml. Acesso em: fev. 2021.

O GLOBO. **E agora, Brasil? Brasileiro deve pagar a conta da crise hídrica até 2025.** Disponível em: https://oglobo.globo.com/economia/e-agora-brasil-brasileiro-deve-pagar-conta-da-crise-hidrica-ate-2025-25210706?utm_source=globo.com&utm_medium=oglobo. Acesso em: set 2021.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, André Rodrigues; COSTA, Rodrigo Santos; LIMA, Francisco José Lopes de; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel Luna de; TIEPOLO, Gerson Máximo; PEREIRA, Silvia Vitorino; SOUZA, Jefferson Gonçalves de. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2a. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: http://labren.ccst. inpe.br/atlas_2017.html. Acesso em: fev. 2021.

PERFIL ENERGIA. **Geração solar**. Disponível em: https://perfilenergia.com.br/servicos/geracao-solar/. Acesso em: fev. 2021.

PIRAHY, Carla; PRIOLLI, Luís Fernando. **Impactos da Pandemia da COVID-19 no Setor Elétrico do Brasil e em Portugal**. Gesel, [S. l.], p. 1-5, 25 set. 2020. Disponível em: http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/07_priolli_2020_09_25.pdf. Acesso em: fev. 2021.

PORTAL SOLAR. C**enário pós pandemia traz muitas oportunidades para a energia solar, diz presidente do conselho da Absolar**. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/cenario-pos-pandemia-traz-muitas-oportunidades-para-a-energia-solar-diz-presidente-do-conselho-da-absolar.html. Acesso em: fev. 2021.

PORTAL SOLAR. **Energia solar e eólica juntas ultrapassam hidrelétricas em capacidade instalada no mundo**. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/energia-solar-e-eolica-juntas-ultrapassam-hidreletricas-em-capacidade-instalada-no-mundo.html. Acesso em: fev. 2021.

PORTAL SOLAR. **Geração distribuída de energia**. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html. Acesso em: fev. 2021.

PORTAL SOLAR. **Fontes de Energia Renovável**. Disponível em:https://www.portalsolar.com.br/fontes-de-energia-renovaveis.html. Acesso em: fev. 2021.

PORTAL SOLAR. **Fazendas de Energia Solar**. Disponível em:https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/usinas-de-energia-solar/fazendas-de-energia-solar.html. Acesso em: mar. 2021.

PORTAL SOLAR. **Cooperativas de energia solar e a geração da própria energia elétrica**. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/cooperativa-de-energia-solar-e-a-geracao-da-propria-energia-eletrica.html. Acesso em: mar. 2021.

PORTAL SOLAR. **Energia solar no Brasil**. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html. Acesso em: jun. 2021.

POKORNY, Michael. **An introduction to econometrics**. Nova York: Basil Blackwell, 1987. p. 343.

REVISTA PEGN. **Energia solar fotovoltaica supera 8GW e traz R$ 40 bilhões de investimentos ao Brasil**. Disponível em: https://revistapegn.globo.com/Noticias/noticia/2021/03/energia-solar-fotovoltaica-supera-8-gw-e-traz-r-40-bi-de-investimentos-ao-brasil.html. Acesso em: mar. 2021.

REVISTA PEGN. S**tartup quer ajudar residências e pequenos negócios a adotarem energia solar**. Disponível em: https://revistapegn.globo.com/Startups/noticia/2021/02/startup-quer-ajudar-residencias-e-pequenos-negocios-adotarem-energia-solar.html. Acesso em: mar. 2021.

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Sol de Minas**. Disponível em: http://www.desenvolvimento.mg.gov.br/application/projetos/projeto/1079. Acesso em: fev. 2021.

SILVEIRA, Paula Galbiatti. **Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira**. Revista Opinion Jurídica, Medellin, vol.17, n. 33, p. 123-147, set. 2017. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S169225302018000100123&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: fev. 2020.

STRANGUETO, Karina Maretti. **Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidroelétricas**. UNICAMP. Campinas-SP.; 2016. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/304920/1/Strangueto_KarinaMaretti_D.pdf. Acesso em: fev 2021.

USP – Universidade de São Paulo. **Energia das ondas no Brasil**. Disponível em: http://www.usp.br/portalbiossistemas/?p=7953#:~:text=Estima-se%20que%20os%208,capacidade%20total%20instalada%20no%20País. Acesso em: fev 2021.

VARELLA, Fabiana Karla de Oliveira Martins; CAVALIERO, Carla Kazue Nakao; SILVA, Ennio Peres da. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: incentivos regulatórios**. Revista Brasileira de Energia, Campinas, v. 14, n. 1, p.9-22, jun. 2008. Acesso em: fev 2021.

WALTER, Osvaldo Luiz. **Propostas para inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. 2012. 176 p. Disponível em: http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf. Acesso em: jan. 2021.

WILLEKE, Gerhard. **"The crystalline silicon solar cell: history, achievements and perspectives"**, Proceedings 19th EPVSEC (2004).

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 10 de Junho de 2022.

Priscila Azevedo
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

201649060
Matrícula

ASSINATURA

110.207.856-59
CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.