



UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

Aluno: Thiago Chiara Karraz

Monografia:

**UMA ANÁLISE DE RISCO DAS MAIORES EMPRESAS DO SETOR ELÉTRICO  
DURANTE O PERÍODO DA PANDEMIA**

Rio de Janeiro  
2023

Thiago Chiara Karraz

Monografia:

**UMA ANÁLISE DE RISCO DAS MAIORES EMPRESAS DO SETOR ELÉTRICO  
DURANTE O PERÍODO DA PANDEMIA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Economia da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
como exigência para obtenção do título de  
Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Professor Doutor Ary Vieira Barradas

Rio de Janeiro

2023

## CIP - Catalogação na Publicação

C18a Chiara Karraz, Thiago  
Chiara Karraz, Thiago  
UMA ANÁLISE DE RISCO DAS MAIORES EMPRESAS DO  
SETOR ELÉTRICO DURANTE O PERÍODO DA PANDEMIA /  
Thiago Chiara Karraz. -- Rio de Janeiro, 2023.  
36 f.

Orientador: Ary Vieira Barradas.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto  
de Economia, Bacharel em Ciências Econômicas, 2023.

1. Análise de Risco. 2. Setor Elétrico. 3.  
Séries Temporais. I. Vieira Barradas, Ary, orient.  
II. Título.

THIAGO CHIARA KARRAZ

UMA ANÁLISE DE RISCO DAS MAIORES EMPRESAS DO SETOR ELÉTRICO DURANTE O  
PERÍODO DA PANDEMIA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Instituto de Economia da Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, como requisito para a obtenção do  
título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Rio de Janeiro, 17/01/2023.

---

ARY VIEIRA BARRADAS - Presidente

Professor Dr. do Instituto de Economia da UFRJ

---

RUBENS ROSENTAL

Mestre em Engenharia de Produção pela COPPE/UFRJ

---

PEDRO JAMES FRIAS HEMSLEY

Professor Dr. do Instituto de Economia da UFRJ

## RESUMO

Este trabalho de monografia de final de curso busca fazer uma análise de risco das empresas mais representativas do setor elétrico brasileiro, durante o período da pandemia. Para isso, foram selecionadas as empresas cujo valor de mercado ultrapassasse os 30 bilhões de reais, como medidos pelo *Google Finance*. Para se fazer a análise de risco das ações, foram usadas as medidas de *Rolling Volatility* e *Rolling Correlation*, que são a volatilidade e a correlação medidas pelos 22 últimos retornos das ações, de forma a apresentar tendências temporais do setor, capturando características dinâmicas do mercado. Para isso, foram calculados processos ARIMA a partir das séries temporais das correlações dos retornos das ações com o Ibovespa. Os retornos foram calculados a partir dos preços de fechamento diário das ações, que foram obtidas do site Yahoo Finanças, entre as datas de 02 de janeiro 2020 e 24 de outubro 2022 e o tratamento dos dados, a análise e a modelagem das séries foram conduzidas no software Rstudio. O estudo mostra que, todas as ações analisadas possuíram médias estáveis, sem apresentar tendência, como demonstrado pelo teste de raiz unitária das séries. Ademais, foi encontrado que os modelos estatísticos de séries temporais possibilitaram uma boa previsão da série de correlação no curto prazo, embora a qualidade da previsão decaia rapidamente conforme se aumenta seu horizonte. Também foi constatado que, apesar de a empresa Engie Brasil apresentar o menor índice de correlação na segunda metade do período, ela não apresentou um retorno atrativo, sendo superado pelo Ibovespa (índice da bolsa de valores de São Paulo, frequentemente usado como uma aproximação para o mercado acionário brasileiro). Dessa forma, conclui-se que houve um pico de volatilidade das ações analisadas logo no impacto inicial da pandemia, assim como para o mercado acionário como um todo, medido pelo Ibovespa. Também observou-se que, mesmo após o impacto da pandemia, as séries de correlação dos ativos com o Ibovespa não apresentaram mudança perceptível de tendência, como pode ser inferido pelo teste de raiz unitária sobre as séries.

**Palavras-chave:** Risco; retorno; correlação; setor elétrico; pandemia; gestão de portfólio; modelagem de séries temporais.

## ABSTRACT

This undergraduate thesis work seeks to make a risk analysis of the most representative stocks of the Brazilian electrical industry, during the pandemic period. In order to do this, the stocks were selected based on their market capitalization, as measured by Google Finance. The risk analysis was conducted using the measures of rolling volatility and rolling correlation, which are the volatility and correlation of the last 22 daily returns, these measures were chosen to capture the sector's trend over time, capturing the dynamics of the market. For this, ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Averages) processes were used to model the behavior of the correlation between the stock and the Ibovespa returns. The returns were calculated using the daily closing prices of the stocks, which were extracted from the website *Yahoo Finanças*, between 02 of January 2020 and 24 of October 2022 and data treatment, analysis and modelling were conducted in the software Rstudio. The study shows that all the analyzed shares had stable averages, without trend, as demonstrated by the series unit root test. Furthermore, it was found that the statistical models of the time series enabled a good forecast of the correlation series in the short term, although the quality of the forecast rapidly declines as its horizon increases. It was also found that, although EGIE3 presented the lowest correlation coefficient on the second half of the sample, it did not have an attractive return, lagging behind the benchmark, Ibovespa (the São Paulo stock exchange index, frequently used as a proxy to the behavior of the Brazilian stock market). Thus, it is concluded that there was a peak in volatility of the stocks analyzed right after the initial impact of the pandemic, as well as for the stock market as a whole, as measured by the Ibovespa. It was also observed that, even after the impact of the pandemic, the correlation series of the assets with the Ibovespa did not show a noticeable change in trend, as could be inferred by the unit root test on the series.

**Keywords:** Risk; return; correlation; electrical sector; pandemic; portfolio management; time series modelling.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Retornos diários da CPFL Energia.....	22
Figura 2 – Volatilidade em 22 dias da CPFL Energia e do índice Ibovespa.....	23
Figura 3 – Correlação entre retornos em 22 dias da CPFL Energia com o Ibovespa.....	23
Figura 4 – ACF e PACF da CPFE3.....	24
Figura 5 – Previsão 10 passos a frete do modelo CPFE3.....	24
Figura 6 – Retornos diários da Equatorial Energia.....	25
Figura 7 – Volatilidade em 22 dias da EQTL3 e do índice Ibovespa.....	26
Figura 8 – Correlação entre retornos em 22 dias da EQTL3 com o Ibovespa.....	26
Figura 9 – ACF e PACF da EQTL3.....	27
Figura 10 – Previsão 10 passos a frete do modelo EQTL3.....	27
Figura 11 – Retornos diários da Engie Brasil Energia.....	28
Figura 12 – Volatilidade em 22 dias da EGIE3 e do índice Ibovespa.....	28
Figura 13 – Correlação entre retornos em 22 dias da EGIE3 com o Ibovespa.....	29
Figura 14 – ACF e PACF da EGIE3.....	29
Figura 15 – Previsão 10 passos a frete do modelo EGIE3.....	30
Figura 16 – Retornos diários da Eletrobras.....	30
Figura 17 – Volatilidade em 22 dias da Eletrobras e do índice Ibovespa.....	31
Figura 18 – Correlação entre retornos em 22 dias da Eletrobras com o Ibovespa.....	31
Figura 19 – ACF e PACF da ELET3.....	32
Figura 20 – Previsão 10 passos a frete do modelo ELET3.....	32

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	09
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	10
<b>3. O SETOR E AS EMPRESAS.....</b>	11
3.1.1. GERAÇÃO.....	14
3.1.2. TRANSMIÇÃO.....	15
3.1.4. DISTRIBUIÇÃO.....	16
3.2.1. ENGIE BRASIL ENERGIA.....	17
3.2.2. EQUATORIAL ENERGIA.....	17
3.2.3. CPFL ENERGIA.....	17
3.2.4. ELETROBRAS.....	17
<b>4. MÉTODO.....</b>	18
<b>5. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	21
<b>6. RESULTADOS.....</b>	22
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	33
<b>8. APÊNDICE.....</b>	35
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	36

## 1. Introdução

A volatilidade dos retornos dos ativos é amplamente usada como medida de risco de determinado investimento financeiro. O risco, juntamente com o retorno esperado do ativo em questão, constituem as duas principais métricas a serem inferidas quando se deseja decidir sobre um investimento. Ademais, desde o artigo seminal *Portfolio Selection* (Markowitz, 1952), sabe-se que a diversificação constitui uma medida importante de forma a minimizar o risco dado um nível de retorno esperado ou desejado. Isso porque, dependendo do grau de correlação dos retornos dos ativos em uma cesta, quando se incluem ativos que possuem grau de correlação próximo de zero, o retorno do portfólio será a média do retorno dos ativos, mas o risco diminuirá substancialmente. O risco é geralmente medido como o desvio padrão de uma série histórica de retornos de um ativo. O grau de eficiência da diversificação entre ativos pode ser medido através do coeficiente de correlação entre eles. O coeficiente de correlação mede o grau de dependência linear entre duas variáveis, dados os seus movimentos históricos. Dessa forma, quanto mais próximo de 1 for o coeficiente de correlação, mais aproximadamente as duas variáveis analisadas se movem na mesma direção, quanto mais perto de -1 for o coeficiente, mais as variáveis se moverão em direções opostas. Nesse sentido, o ideal para propósitos de diversificação seria montar um portfólio em cujos ativos tenham coeficientes de correlação próximos de zero, evitando o risco de contágio – i.e., evitando que um fator possa afetar o retorno de diversos ativos negativamente.

O presente estudo almeja usar as medidas mencionadas para fazer uma análise de risco das quatro maiores empresas do setor elétrico listadas na B3, a CPFL Energia (CPFE3), a Engie Brasil Energia (EGIE3), a Equatorial Energia (EQTL3) e a Eletrobras (ELET3), comparando-as ao índice representativo da bolsa brasileira, Ibovespa, entre o período que vai de 02/01/2020 até 24/10/2022. Dessa forma, pretende-se analisar o comportamento do setor durante um período marcado por picos de volatilidade no mercado financeiro brasileiro e mundial. Os dados dos preços dos ativos foram obtidos do site Yahoo Finanças.

Segundo dados da IEA (International Energy Agency), no ano de 2021, o Brasil figurou como o oitavo maior consumidor de energia elétrica no mundo, com 2,2% da eletricidade consumida globalmente. Muito embora o consumo per capita seja apenas o 55º maior do mundo. Algumas das empresas do setor configuraram como importantes empresas no mercado de ações nacional,

sendo muito capitalizadas – i.e., que conseguem financiamento em larga escala à partir do mercado de capitais, vendendo as seus títulos de ações ou de dívida – e distribuindo grandes dividendos. Além disso, o setor é atraente por ser considerado de menor risco, uma vez que a demanda por energia é pouco elástica (Souza et al, 2021) e as concessões de distribuição, transmissão e de usinas para geração são feitas por longos períodos.

A próxima seção irá expor os objetivos, gerais e específicos, que são objetos deste trabalho. A seção 3 irá fazer uma breve análise do setor sob foco, seus subsetores, o seu marco institucional, o órgão regulador, os riscos a que está exposta a atividade do setor e fará um breve resumo do histórico e dos segmentos de atuação das empresas que serão analisadas. Em seguida, a seção 4 irá explicar o método e a lógica por trás da análise, assim como fazer uma breve explicação das métricas utilizadas e as suas propriedades. A seção 5 irá fazer um breve apanhado da literatura sobre o tema do risco no mercado de ações, relacionando-a a este estudo. A seção 6 irá expor os resultados encontrados à partir da análise conduzida e, por fim, a seção 7 extrairá as conclusões que podem ser inferidas a partir deste trabalho.

## **2.Objetivos**

O objetivo geral com o presente estudo é fazer uma análise de risco das principais empresas do setor elétrico brasileiro de janeiro de 2020 até outubro de 2022, de modo a observar o comportamento das séries de correlação dos retornos do ativo com os retornos do índice Bovespa, com o intuito de se identificar possíveis tendências.

O setor de energia elétrica foi escolhido por representar alta importância para a economia do país, uma vez que todo processo produtivo utiliza eletricidade de alguma forma. Ademais, o tema da privatização da Eletrobras não só jogou luz sobre o setor como também reacendeu o debate sobre setores de importância primordial para a economia e a necessidade ou não de sua privatização, externalidades e bens públicos de um lado, e subsídios, tamanho e atuação do governo na economia e falta de eficiência econômica do outro. Outro fator que torna o setor de interesse público são as ocasionais crises de energia elétrica que o país viveu. Esse debate perpassa o tema de nossa matriz geradora e de como ela é, em grande medida, dependente do volume de água em nossos rios, o que nos deixa reféns de meses com pouca chuva. Tema este que ganha importância em consonância com o debate sobre mudanças climáticas, que poderão tornar eventos climáticos extremos, como grandes secas, mais frequentes. Por fim, cabe ressaltar as boas perspectivas para o setor. Apesar da infraestrutura e dos altos níveis de

investimento, a volta das atividades com a continuidade da gradual reabertura fará com que a demanda aumente rapidamente, o que já pôde ser observado em 2021, com o consumo de energia crescendo 4,6% no ano, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em seu anuário estatístico de energia elétrica de 2022. Essa situação poderá render um período de lucro extraordinário para as empresas, até que os investimentos em aumento da capacidade produtiva tenham se normalizado.

Como objetivos específicos, se deseja inferir futuras tendências no comportamento dos retornos em relação ao benchmark, o Ibovespa, buscando identificar se as ações estão se tornando mais ou menos correlacionadas ao longo do tempo. Ademais, deseja-se identificar quais ações dessas empresas constituem boas diversificadoras de portfólio, observando-se o seu risco e retorno históricos para diferentes janelas de tempo. Por fim, pretende-se observar os padrões de volatilidade adotados pelos ativos durante e no pós-pandemia.

### **3. O Setor e As Empresas**

Em geral, o setor elétrico é muito apreciado por investidores de perfil mais conservador que desejam adentrar na bolsa de valores, assim como por investidores que buscam por um setor perene, com previsibilidade de receitas, em prol de receber dividendos e valores razoáveis.

Em virtude da relativa previsibilidade de receitas que as companhias do setor elétrico possuem e do fato de que muitas delas possuem um grande porte, muitas vezes parte significativa do lucro de tais empresas é distribuído ao acionista em forma de proventos (dividendos ou juros sobre capital próprio). Consequentemente, o elevado *payout* (parcela do lucro líquido paga em dividendos) torna tais empresas atrativas aos investidores que desejam auferir renda passiva com relativa periodicidade. Este aspecto também facilita a capacidade de endividamento destas companhias, que suportam níveis de endividamento maiores que o mercado como um todo, dado o seu lucro operacional.

O ONS (Operador Nacional do Sistema) é o órgão responsável pela coordenação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas instalados do país sob a regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que é a autoridade reguladora nacional de eletricidade do Brasil, gerenciando a geração, transmissão e distribuição de eletricidade em todo o país. A ANEEL, em conjunto com o MME (Ministério de Minas e Energia), supervisiona os leilões anuais de

energia do Brasil, nos quais as empresas licitam para fornecer capacidade de geração à rede nacional. O sistema elétrico brasileiro é interligado por cabos de transmissão, que ligam as usinas espalhadas pelo país. A interconexão dos sistemas elétricos, por meio da malha transmissora, propicia a transferência de energia entre subsistemas, permite a obtenção de ganhos sinérgicos e explora a diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias. A integração dos recursos de geração e transmissão permite o atendimento ao mercado com segurança e economicidade. Este gerenciamento é possível graças ao MRE (Mecanismo de Rebalanceamento de Energia), através do qual as usinas com produção de energia acima do esperado ou contratado podem transmitir este excesso para usinas que produziram menos energia. Quando a demanda por energia excede a capacidade produtiva do sistema hidrelétrico, as geradoras usam as usinas termelétricas, que produzem energia mais cara.

O ONS também regula a oferta de energia do sistema fornecida pelas usinas. O Operador diz quais comportas das usinas deverão ficar abertas ou fechadas. Ele faz isso porque os níveis de reservatórios devem ser manuseados de forma a preservar as bacias hidrográficas, de modo que os níveis das bacias não fiquem baixos o suficiente para prejudicar a capacidade de fornecimento de energia da usina, garantindo o fornecimento de energia de maneira sustentável no longo prazo. Esse sistema de fechamento de comportas é feito em usinas que possuem a característica de despachabilidade, i.e., estas usinas podem escolher quando produzir ou não a sua energia. Exemplos de fontes de energia despacháveis são as termelétricas e as hidrelétricas, uma vez que a primeira apenas produz energia quando se usam os seus insumos – sejam eles óleo, carvão, gás natural ou até mesmo urânio no caso da energia nuclear – e a segunda apenas produz energia quando as comportas estão abertas, permitindo a passagem de água e gerando energia mecânica. O mesmo não ocorre com matrizes eólicas ou solares, que produzem energia sempre que houver vento e insolação. Este sistema apenas é possível graças ao SIN, que interliga as diferentes usinas e centros consumidores de eletricidade do país, através das torres de transmissão, possibilitando a transferência geográfica da energia produzida.

Quanto à comercialização de energia, ela é regulada pela CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica). Este mercado pode ser dividido em dois subgrupos, o primeiro é o ACL (Ambiente de Contratação Livre), onde ocorrem as vendas em varejo. As transações neste mercado são bilaterais e há maior liberdade para a estipulação dos preços nos contratos. O segundo mercado se trata do ACR (Ambiente de Contratação Regulada), onde os preços das contratações são regulados por fórmulas estipuladas pela ANEEL, este mercado afeta

principalmente as distribuidoras de energia, que são as mais sujeitas à regulação dos preços. Diferentemente do ACL, os contratos no ACR não são, em sua maioria, bilaterais. Ele é marcado por grandes leilões em que as empresas devem vencer licitações para adquirir a possibilidade de explorar o mercado.

O fato de os preços serem regulados pela ANEEL, faz com que eles sejam distorcidos em relação ao preço de equilíbrio (Ozorio, 2015). Entretanto, o segmento de distribuição é um mercado que possui características de monopólio natural e a eficiência é provocada e determinada pelo órgão regulador (ANEEL), por intermédio de definições de regras, parâmetros operacionais e para composição de preço da energia visando à modicidade tarifária.

Por fim, estudos identificaram alguns fatores causais da demanda por energia elétrica. No âmbito microeconômico, Platchkov e Pollitt, em artigo publicado em 2011, mostraram que a elasticidade-preço e a elasticidade-renda da demanda por eletricidade é estatisticamente diferente de zero. Neste estudo também se notou que a elasticidade é significativamente maior no longo prazo, o que demonstra que consumidores de energia elétrica possuem dificuldade de substituí-la em um curto espaço de tempo. Outro importante driver do consumo de energia é o preço relativo de bens intensivos em uso de energia. Portanto, quanto maior vantagem comparativa em se produzir produtos intensivos em relação a outros bens – i.e., quanto menor for o seu custo de oportunidade de se produzir estes bens – maior será a demanda de energia. Fatores demográficos também foram observados como sendo importantes efeitos causais pela demanda por energia, de modo que quanto maior for a população do país, e quanto maior a parcela dessa população estiver na faixa etária de trabalho, maior também será a demanda por energia. Vale ressaltar que os fatores demográficos acima citados afetam apenas o consumo bruto de eletricidade. Outro fator que afeta a demanda é o poder de compra. A lista de países que possuem o maior consumo per capita de energia elétrica evidencia este fato, como pode ser visto na tabela abaixo, que possui os 10 países que mais consumiram eletricidade no ano de 2021 na sua primeira coluna e o seu respectivo consumo per capita, em KW/h, na segunda coluna:

Islândia	51,0
Noruega	23,2
Finlândia	14,7
Canadá	14,5

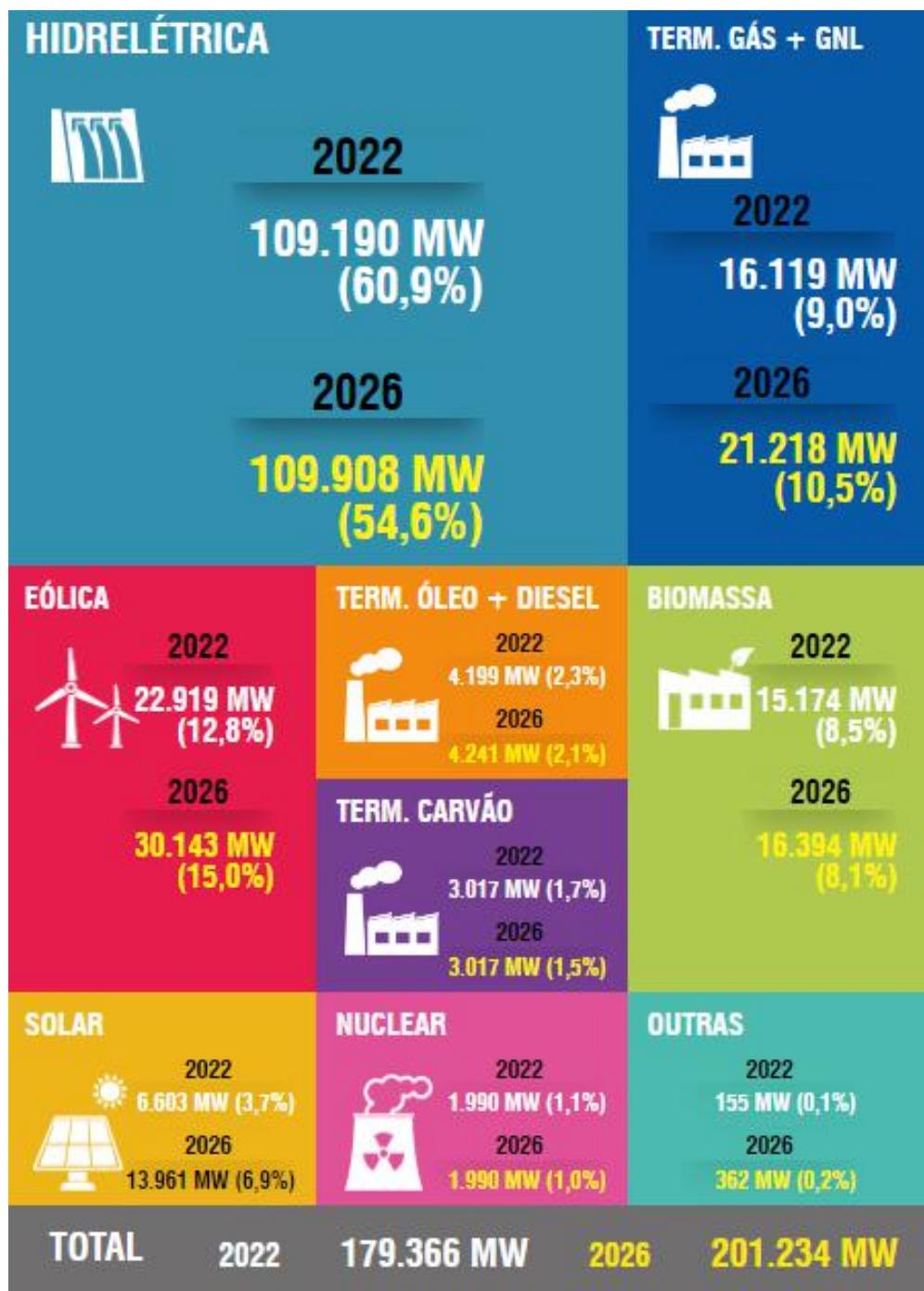
Estados Unidos	13
Suécia	12,3
Luxemburgo	12
Taiwan	11,4
Coreia do Sul	11
Austrália	10,3

**Fonte:** IEA Atlas of Energy - 2022

### 3.1.1. Geração de Energia Elétrica

O setor elétrico compreende todas as etapas que a energia elétrica leva até chegar ao consumidor final. Nesse sentido, o primeiro processo na cadeia produtiva é a própria geração da energia. Nesta etapa, as empresas conseguem concessões de usinas elétricas via concessões ou vencendo licitações e devem explorá-las de modo a vender a energia produzida para empresas de transmissão de energia, ou até mesmo para grandes consumidores (que podem optar por comprar diretamente dos geradores para diminuir os custos). Essas usinas podem ou não ser de propriedade da empresa, de acordo o tipo de energia e com o contrato estabelecido. Vale ressaltar também que as empresas geradoras podem deter os demais processos da cadeia energética, como transmissão, distribuição e comercialização ou vender a energia para que outras companhias façam isso.

As empresas inseridas neste segmento do setor estão expostas ao risco climático, que pode afetar a produção das empresas, comprimindo a receita e os lucros. Um exemplo de como fatores climáticos podem afetar os lucros destas empresas pôde ser observado por ocasião da crise hídrica de 2021. Em que a maior seca dos últimos 91 anos no país, segundo o Ministério de Minas e Energia, fez com que a produção de energia hidrelétrica – que é a principal fonte de energia do país, conforme pode ser observado na imagem abaixo – caísse drasticamente, gerando o perigo de falta de energia em regiões do país. Vale ressaltar também que a matriz elétrica vem, em grande medida, de fontes renováveis, com a energia hidrelétrica contribuindo para mais de 60% da energia produzida no país, a eólica contribuindo com aproximadamente 12% e a solar com sua parcela de contribuição prevista para quase dobrar até 2026.



Fonte: ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) - 2022

### 3.1.2. Transmissão de Energia Elétrica

O segmento de transmissão da energia segue ao da geração. Ele é composto pelas empresas que operacionalizam as linhas de alta tensão e de longas distâncias, que conduzem a energia até as

companhias responsáveis por distribuí-la aos consumidores finais ou até clientes individuais de grande porte. O Brasil tem, em 2021, mais de 145 mil km de linhas de transmissão. Todas elas são organizadas conforme o Sistema Interligado Nacional (SIN). Quando a energia chega aos centros urbanos, ela é recebida pelas subestações de rebaixamento, que vão reduzir a tensão com o objetivo de realizar a distribuição da energia para os consumidores das cidades próximas.

Este segmento é mais previsível e o menos exposto a riscos. As empresas que normalmente trabalham essas linhas acertam as concessões por várias décadas a fim de oferecer o serviço. Ademais, tais concessões são feitas por leilões em que a empresa paga para explorar e fazer a manutenção das linhas. Então, quanto mais linhas a transmissora tiver, mais ela vai receber, independentemente da quantidade de energia que passar pelos seus cabos. Por fim, vale mencionar que, além das empresas desse segmento possuírem alta previsibilidade de receita, esta é, em geral, indexada por um índice de inflação, o que torna essas empresas atraentes em cenários inflacionários.

### **3.1.3. Distribuição de Energia Elétrica**

Por fim, o segmento de distribuição trata de fazer a energia passar dos cabos de transmissão para as casas dos consumidores finais. Para isso, a voltagem é diminuída para 127 ou 220 volts através de transformadores.

As empresas inseridas neste subsetor são as que lidam com mais riscos. Primeiramente, há o risco de inadimplência do consumidor final, risco este que é completamente incorrido pelas distribuidoras, uma vez que elas lidam com o consumidor enquanto que as receitas das transmissoras e geradoras já estão garantidas. Essas empresas também lidam com o risco regulatório, uma vez que as distribuidoras não podem constituir suas próprias políticas tarifárias, que são diretamente sujeitas à regulamentação da ANEEL, sendo que essas políticas são revistas pela agência trimestralmente e estão sujeitas a ajustes anuais. Desse modo, existe o risco de o preço ser fixado abaixo do preço de mercado, o que poderá afetar negativamente a lucratividade das empresas inseridas neste subsetor.

### **3.2.1. Engie Brasil Energia (EGIE3)**

A Engie possui atuação principalmente no segmento de geração de energia, sendo a maior produtora independente de energia do mundo. Possuindo usinas hidrelétricas e termelétricas em 13 estados – Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Rondônia, Bahia, Tocantins, Maranhão, Ceará e Rio Grande do Norte. A Engie também atua no segmento de transmissão através de seus braços, a ENGIE Transmissão de Energia Participações e a Transmissora de Energia Gralha Azul.

### **3.2.2. Equatorial Energia (EQTL3)**

Fundada em 1999, o Grupo Equatorial é a primeira empresa multi-utilities do país. No setor elétrico, ela atua principalmente no subsetor de distribuição de energia, através de suas 6 concessionárias – nos estados do Maranhão, Pará, Piauí, Alagoas, Rio Grande do Sul e Amapá – atendendo cerca de 10 milhões de pessoas nessas regiões. No segmento de transmissão, a Equatorial adquiriu, em 2016, oito lotes de linhas de transmissão leiloados que deram origem à Equatorial Transmissão. Além destes lotes, a empresa possui 100% do capital da Intesa (Integração Transmissora de Energia S.A.) em 2018. No segmento de geração, a Equatorial possui controle acionário da Enova Instalação e Manutenção e concluiu o processo de aquisição da Echoenergia em fevereiro de 2022, entrando no mercado de energia renovável.

### **3.2.3. CPFL Energia (CPFE3)**

A empresa nasceu em 16 de novembro de 1912, sob o nome de Companhia Paulista de Força e Luz, a partir da fusão de quatro companhias (Empresa Força e Luz de Botucatu, Empresa Força e Luz de São Manoel, Empresa Força e Luz de Agudos-Pederneiras e Companhia Elétrica do Oeste de São Paulo). A CPFL Energia é a segunda maior empresa no segmento de distribuição de energia, com 14% de participação no mercado em volume de energia vendida, atuando nos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Paraná, atendendo 10,2 milhões de pessoas. No segmento de geração, o grupo atua através das empresas CPFL Renováveis, líder em produção de energia renovável no país e CPFL Geração, se colocando como a terceira maior produtora de energia privada do país. No segmento de transmissão, a CPFL possui atuação nos estados de São Paulo, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Ceará.

### **3.2.4. Eletrobras (ELET3)**

A Eletrobras (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.) é uma empresa brasileira de capital aberto que atua como uma holding, dividida em geração, transmissão e distribuição, criada em 1962 inicialmente como uma Estatal, para coordenar todas as empresas do setor elétrico. Responsável por 23% do total da capacidade de geração do país, sendo 97% dessa capacidade renovável, a Eletrobras tem capacidade instalada de 50.515 megawatts e 164 usinas – 36 hidrelétricas e 128 térmicas, sendo duas termonucleares. Possui mais de 74 mil quilômetros de linhas de transmissão, o que corresponde a 40,2% do total nacional. A empresa também promove o uso eficiente da energia e o combate ao desperdício por intermédio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCCEL).

Aqui vale mencionar também que a empresa foi oficialmente privatizada em 14 de junho de 2022. O projeto se fez a partir da descotização das usinas, que agora podem comercializar a energia a preço de mercado e não precisam fixá-la abaixo e o objetivo foi de reduzir a participação da União na empresa de 60% para algo menor que 45% do capital social. A privatização gerou R\$ 67 bilhões, sendo que R\$ 10 bilhões foram destinados à revitalização das bacias hidrográficas – de modo a evitar novas crises hídricas que afetem o fornecimento de energia elétrica – R\$ 32 bilhões destinados à redução de tarifas – sendo pago à CDE (Conta de Desenvolvimento Energético), que é um fundo destinado à amortização de custos nas tarifas de energia elétrica – e R\$ 25 bilhões foram destinados ao Tesouro Nacional, como receita do processo de capitalização. O processo de privatização exclui a usina de Itaipu e a Eletronuclear, que passarão a ser geridas pela ENBpar, empresa estatal criada pelo governo federal que passou a funcionar em 04 de janeiro de 2022.

#### **4. Método**

As ações foram escolhidas com base em sua relevância no mercado brasileiro e a sua capitalização. Dessa forma, foram analisadas somente as ações do setor elétrico que estão no índice Ibovespa e com capitalização de mercado acima de 30 bilhões de reais, conforme pode ser visto na tabela abaixo:

Eletrobras	R\$ 107.512.364.460
CPFL Energia	R\$ 36.436.734.394
Engie Brasil Energia	R\$ 31.127.643.000

Equatorial Energia	R\$ 30.977.949.562
--------------------	--------------------

**Fonte:** Google Finance

Os dados foram coletados do site Yahoo Finanças do período que vai de 02/01/2020 até 24/10/2022, totalizando 699 pontos amostrais. Para o cálculo dos retornos das ações e do Ibovespa, foi usado o preço de fechamento diário. A fórmula para o cálculo do retorno foi:

$$R_t = P_t / P_{t-1} - 1$$

Em que  $R_t$  é o retorno no dia  $t$  e  $P_t$  e  $P_{t-1}$  são os preços nas datas  $t$  e  $t - 1$ , respectivamente. Totalizando 698 amostras de retornos diários. Para o cálculo da volatilidade, foi usado o desvio padrão amostral para os 22 últimos retornos diários, conforme a fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{22} (X_i - \bar{X})^2}{21}}$$

Em que  $s$  é o desvio padrão para 22 amostras de retornos diários,  $X_i$  é o  $i$ -ésimo retorno da amostra e  $\bar{X}$  é a média dos 22 retornos, o que totaliza 677 amostras de volatilidade. Para o cálculo da correlação ao longo do tempo entre o retorno das ações e do Ibovespa, foi usada a correlação para os últimos 22 dias, igualmente totalizando 677 pontos amostrais. A fórmula matemática do cálculo da correlação é:

$$r(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{s_X \cdot s_Y} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{22} (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{21}}{s_X \cdot s_Y} = \frac{\sum_{i=1}^{22} (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{22} (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^{22} (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Em que  $r(X, Y)$  é o coeficiente de correlação entre X e Y e mede o grau de correlação linear entre as variáveis,  $s_X$  e  $s_Y$  são os desvios-padrão das variáveis X e Y e  $Cov(X, Y)$  é a covariância entre as variáveis. Vale notar que quando  $X = Y$ , a fórmula do coeficiente de correlação fica

$Var(X)/Var(\bar{X}) = 1$ . O coeficiente de correlação, portanto, varia de -1, quando as variáveis se movem em direções opostas, a +1, quando elas se movem identicamente. Quanto mais perto de 0 for a correlação entre as variáveis, melhor elas serão combinadas para a diversificação saudável do portfólio.

Para se testar a estacionariedade das séries obtidas da correlação rolante, se utilizou o teste de raiz unitária de Dickey-Fuller Aumentado (ADF). O ADF é um teste de hipótese cuja  $H_0$  é de que há uma raiz unitária na série temporal analisada enquanto que a hipótese alternativa é a ausência de raiz unitária, i.e., que se trata de uma série estacionária. Portanto, a hipótese nula pode ser rejeitada para dado nível de significância.

Para se modelar as séries de correlação das ações com o Ibovespa, se analisou as funções de autocorrelação e de autocorrelação parcial – ACF e PACF. A função de autocorrelação é o gráfico da autocorrelação contra a defasagem, ou seja, ela identifica o nível de correlação de uma variável com os seus próprios valores defasados. Ela é usada para identificar se um processo é MA(q) ou AR(p). A correlação de um processo MA se torna zero em sua defasagem q enquanto que o de um processo AR(1) possui um decaimento exponencial. Processos ARMA possuem gráficos de diferentes formas. Os parâmetros escolhidos foram os que minimizaram o critério de informação de Akaike (AIC), que é dado pela equação:

$$AIC(p, q) = \ln \hat{\sigma}^2 + n \frac{2}{T}$$

Em que  $\hat{\sigma}^2$  é a variância estimada dos resíduos, n é igual a  $p + q$ , que são os parâmetros de defasagem dos modelos AR e MA, respectivamente, e T é o número de amostras disponíveis na série. O critério de informação é usado de forma a balancear o aumento de regressores de um modelo com a redução dos erros associada a este aumento. Dessa forma, ele penaliza a adição de mais variáveis, de modo a evitar o sobreajuste do modelo aos dados. Portanto, se utiliza o modelo que minimize a função AIC( $p, q$ ). Um exemplo de código usado para as análises descritas acima no Rstudio é demonstrado e exposto no apêndice, para o ativo CPFE3, o mesmo código foi usado para se analisar as demais séries. Para se descobrir qual modelo se usar, se começou analisando os modelos mais simples e aumentando a sua complexidade ao mudar os parâmetros da função Arima. O modelo que minimizasse a função AIC foi escolhido.

## 5. Revisão da Literatura

Malz (2001) usou análise de volatilidade para analisar ações durante cenários de estresse, durante a crise monetária europeia de 1992-1993 e a crise da Ásia que foi de 1997-1999. Os achados indicam que a volatilidade observada é uma boa previsora da volatilidade no futuro próximo. Acka (2016) estudou os efeitos da crise global e os *spillovers* que a crise teve em países emergentes, observando que a crise prejudicou a eficiência da diversificação para a diminuição de risco de portfólio. Schwert (2011) também analisou as bolsas de diversos países durante cenários de estresse usando retornos mensais entre 1802 e 2010, retornos diários entre 1885 e 2010 e retornos intradiários do período que vai de 1982 a 2010, constatando que tende a haver picos de volatilidade em períodos de crise, o que será constatado também neste trabalho.

Estudos de impacto da pandemia sobre os retornos dos ativos também têm sido prolíferos. Bhattacharje e Anupam (2022) estudaram os impactos de choques (entendidos por eles como fluxos de informações) na volatilidade de diferentes mercados de ações durante a pandemia. A evidência sugere que os mercados desenvolvidos no Pacífico e Europa, assim como os países do BRIC, os mercados emergentes na Ásia, Europa, e América Latina e os mercados de fronteira asiáticos estão expostos à volatilidade assimétrica como resposta aos choques, enquanto que a América do Norte e os mercados de fronteira africanos estão associados a respostas simétricas de volatilidade. Também foi observado que a resposta de volatilidade aos choques não foi uniforme em diferentes regiões e variou de acordo com a magnitude e o sinal do choque.

Albulescu (2020) investiga empiricamente os efeitos do aumento das taxas de mortalidade sobre a volatilidade das bolsas americanas, encontrando resultados robustos para diferentes especificações do modelo. Os achados sugerem que o prolongamento da pandemia do coronavírus é uma importante fonte de volatilidade, constituindo um desafio para a atividade de gestão de risco. Achados similares foram obtidos por Onali (2021). Modelos estatísticos avançados encontraram evidências empíricas de que a pandemia afetou negativamente o retorno de bolsas americanas, italiana e francesa e afetou positivamente os retornos do VIX, um índice que mede a volatilidade das bolsas.

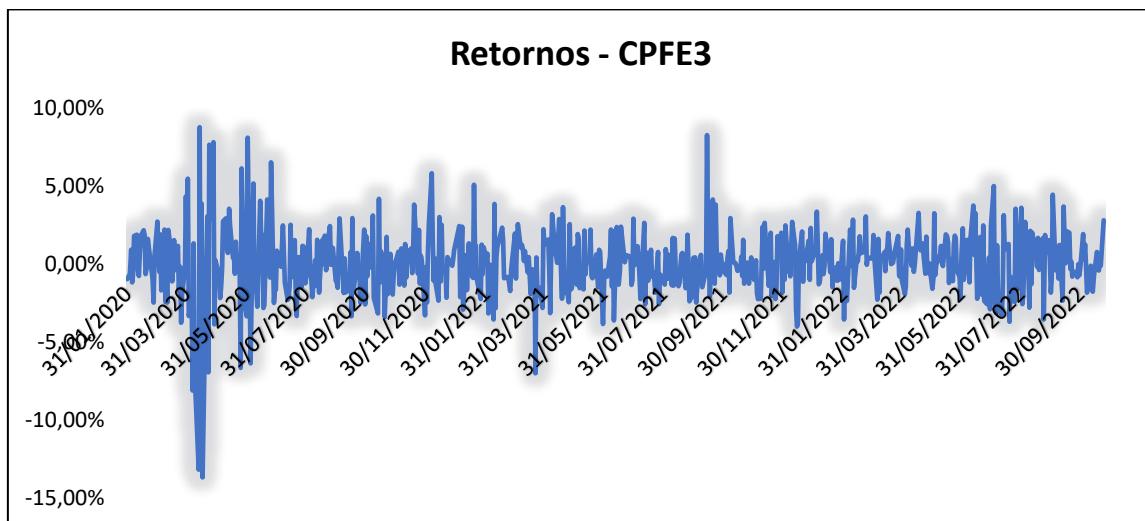
Baek (2020) analisou o impacto da covid-19 sobre o mercado americano, observando que notícias ruins produziam efeitos de magnitude maior que as positivas, demonstrando assimetria nos retornos. O autor também analisou diversos setores da economia e constatou que o risco não sistemático aumentou em todos os setores, embora não de maneira uniforme.

## 6. Resultados

Nesta seção será feita a análise de cada empresa no período. Primeiro se explorará o comportamento dos retornos diários e da volatilidade rolante. Após isso se seguirá à análise da correlação rolante, ao se fazer o teste da raiz unitária e ao se testar a sua modelagem por modelos ARIMA. A qualidade do ajuste dos modelos é testada ao final, por meio do teste ADF sobre os seus resíduos.

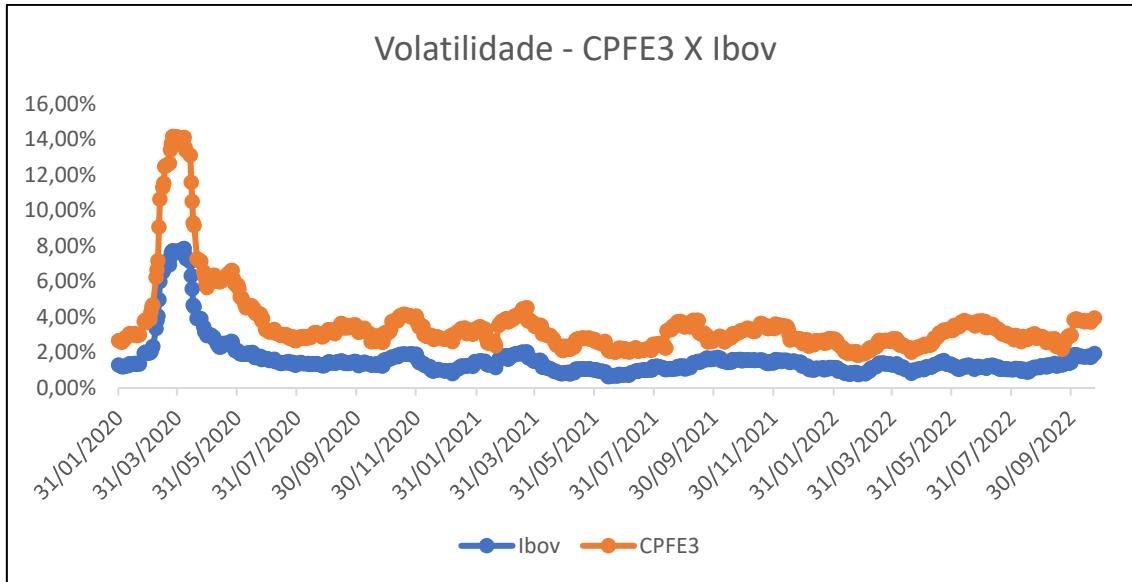
### **CPFE3:**

Conforme observado na figura 1, os retornos diários da CPFL Energia apresentam períodos de maior e menor volatilidade entre as datas em análise, variando ao redor da média de 0,07%, possuindo retorno máximo de 8,79% e mínimo de -13,67% durante o período analisado.



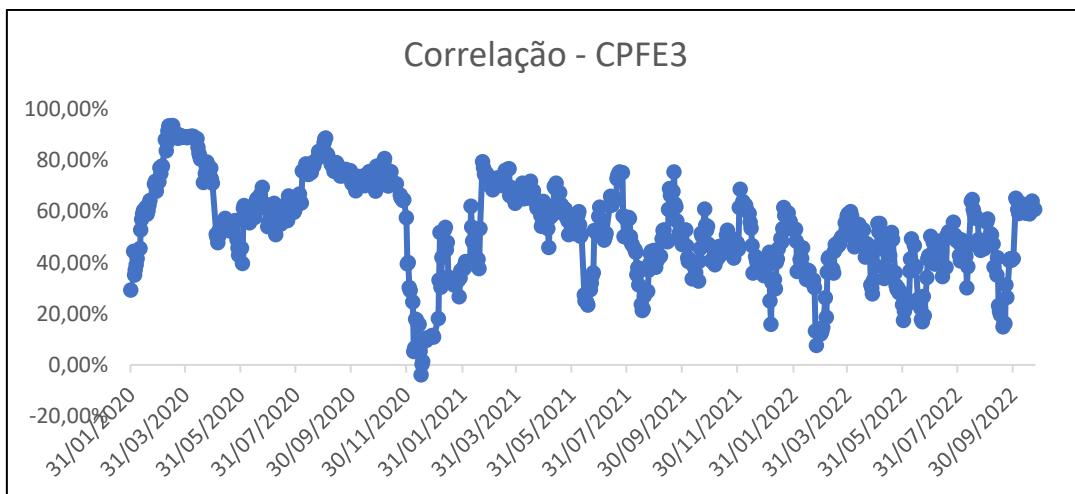
**Figura 1:** Retornos diários da CPFL Energia.

A figura 2 abaixo compara a volatilidade – medida com o desvio padrão dos retornos para 22 dias úteis – das ações da CPFL com o Ibovespa. Como pode ser visto, o ápice da volatilidade acontece no início da pandemia da covid-19, no começo do ano de 2020, atingindo níveis parecidos com os das duas ações analisadas anteriormente.

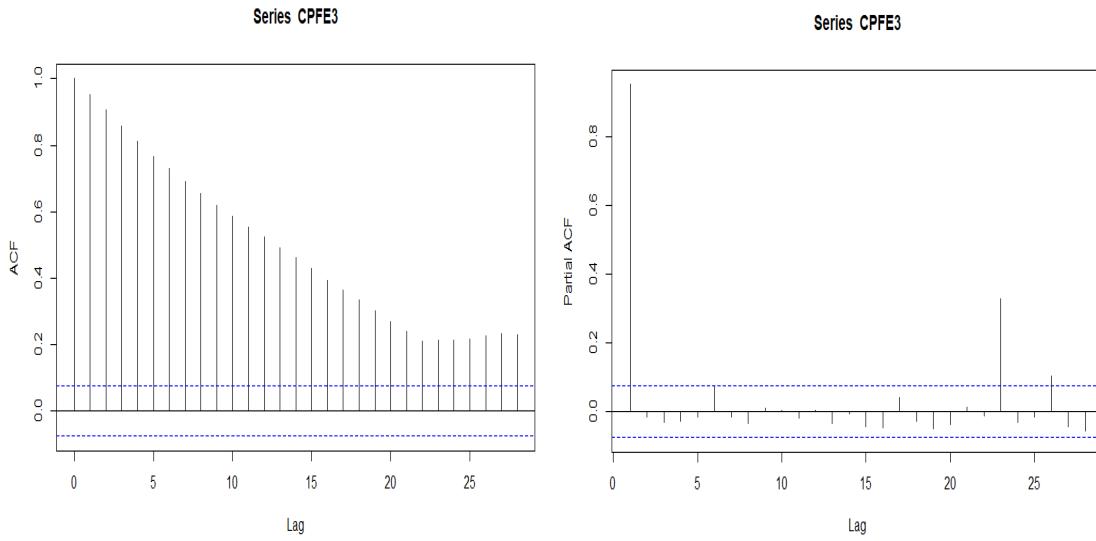


**Figura 2:** Volatilidade em 22 dias da CPFL Energia e do índice Ibovespa.

A figura 3 abaixo mostra a correlação dos retornos de 22 dias da CPFE3 com os retornos do Ibovespa. A correlação teve média de 53,39% durante o período analisado. Aplicando-se o teste de ADF sobre os dados da correlação, obtém-se o valor de -4,5865, que é bastante abaixo do valor de corte de 10% de significância – que é de -3,1378, fornecendo um p-valor de abaixo de 1%. Portanto H<sub>0</sub>, que é a hipótese de presença de raiz unitária, pode ser rejeitada, com um alto nível de significância, não havendo necessidade de diferenciação da série.

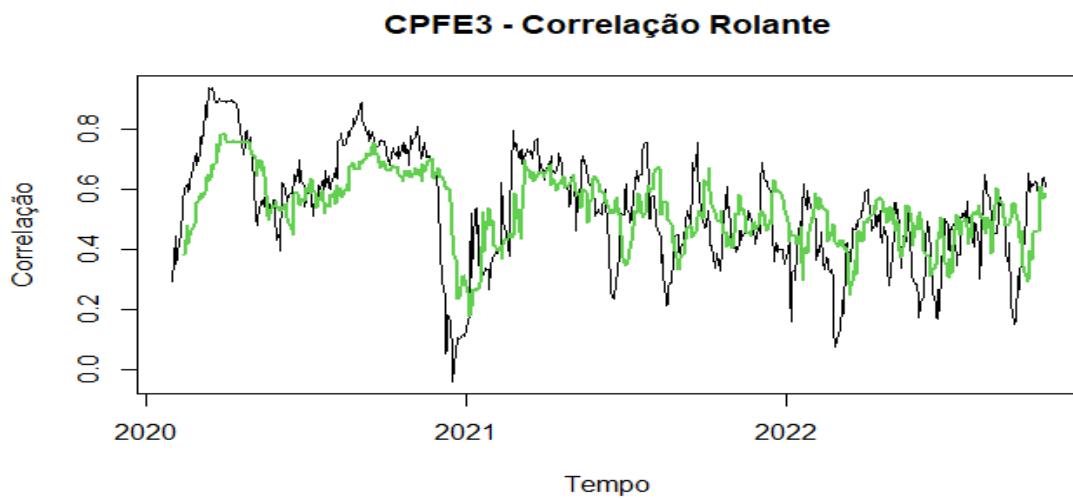


**Figura 3:** Correlação entre retornos em 22 dias da CPFL Energia com o Ibovespa



**Figura 4:** ACF e PACF da correlação rolante da CPFE3 com o Ibovespa.

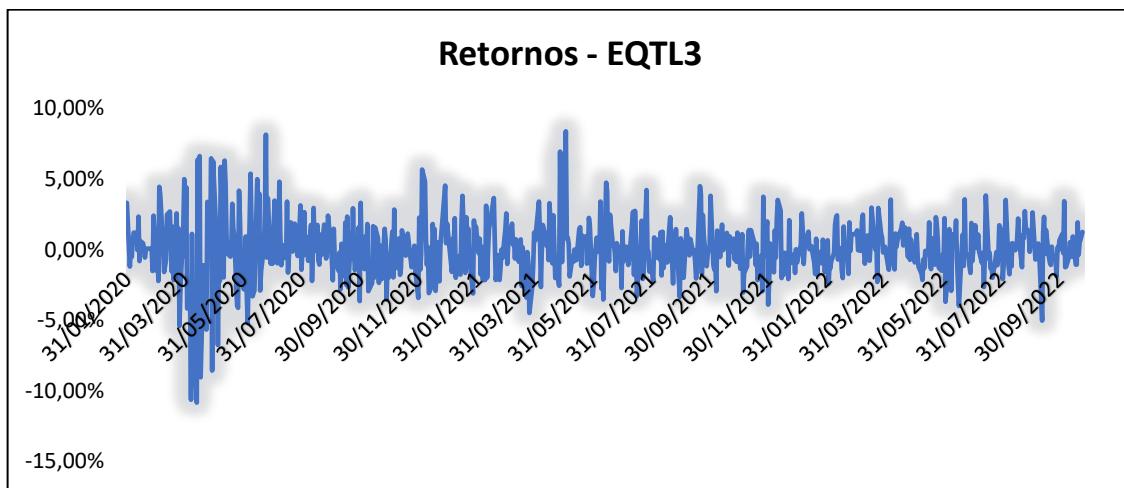
A função de autocorrelação da série apresenta um decaimento rápido de início e a função de autocorrelação parcial apresenta apenas uma defasagem significativa, o que sugere uma modelagem do tipo AR(1). Essa modelagem também é a escolhida pelo critério de Akaike, que obteve o valor de -2008,86 sob esta modelagem. Isso pode ser confirmado ao se fazer o teste ADF sobre os resíduos do modelo, que obteve o valor de -8,849, possuindo um p-valor próximo de zero. As previsões obtidas pelo modelo se mostram satisfatórias no curto prazo, com correlação de 0,9538958 com os valores reais da série de correlação. Embora a qualidade da previsão piore conforme o horizonte de tempo previsto aumente, convergindo para a média da série, como se é esperado dos modelos ARIMA.



**Figura 5:** Série original (preto) e série do modelo (verde), prevista 10 passos à frente.

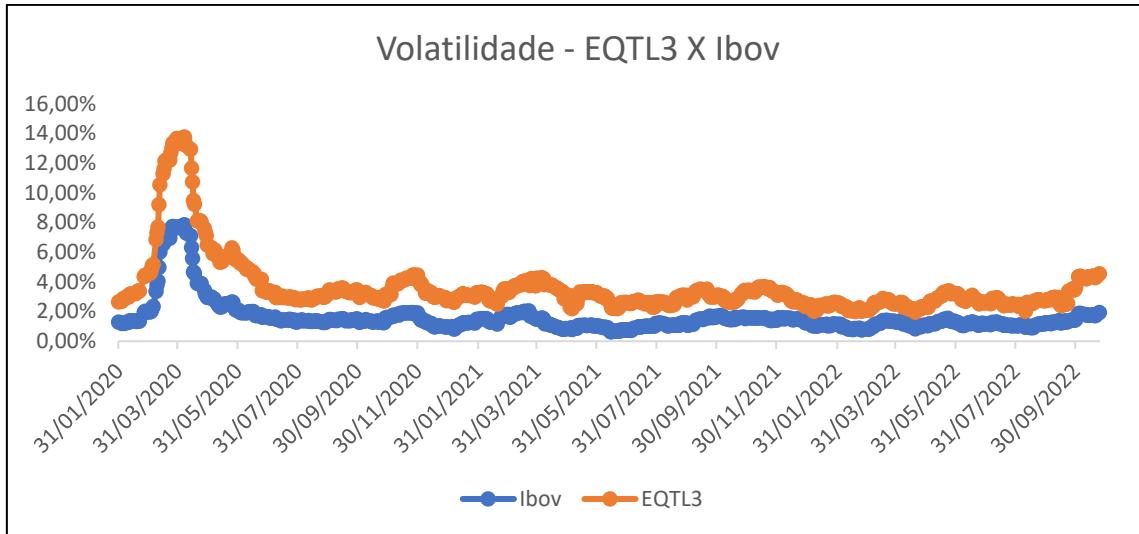
### EQTL3:

Conforme observado na figura 6, os retornos diários da Equatorial Energia apresentam períodos de maior e menor volatilidade entre as datas de 31/12/2019 a 24/10/2022, variando ao redor da média de 0,06%, possuindo retorno máximo de 8,39% e mínimo de -10,84% durante o período analisado.



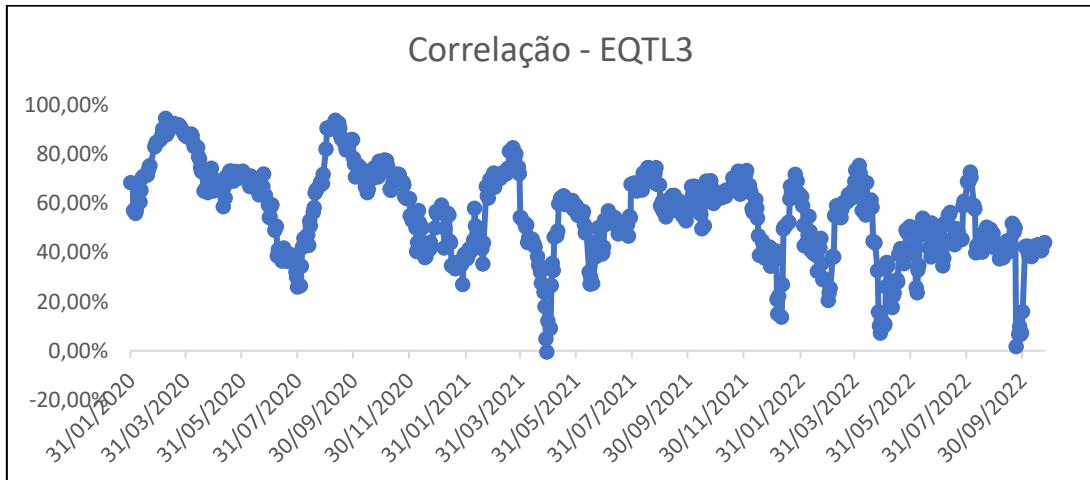
**Figura 6:** Retornos diários da Equatorial Energia.

A figura 7 abaixo compara a volatilidade – medida como o desvio padrão dos retornos para 22 dias úteis – das ações da Equatorial com o Ibovespa. Como era de se esperar, a volatilidade da ação está sempre acima da do índice, uma vez que o índice é composto por uma cesta de ações, cada uma com um peso associado, o que faz a sua volatilidade diminuir. Como pode ser visto, o ápice da volatilidade acontece no início da pandemia da covid-19, no começo do ano de 2020.

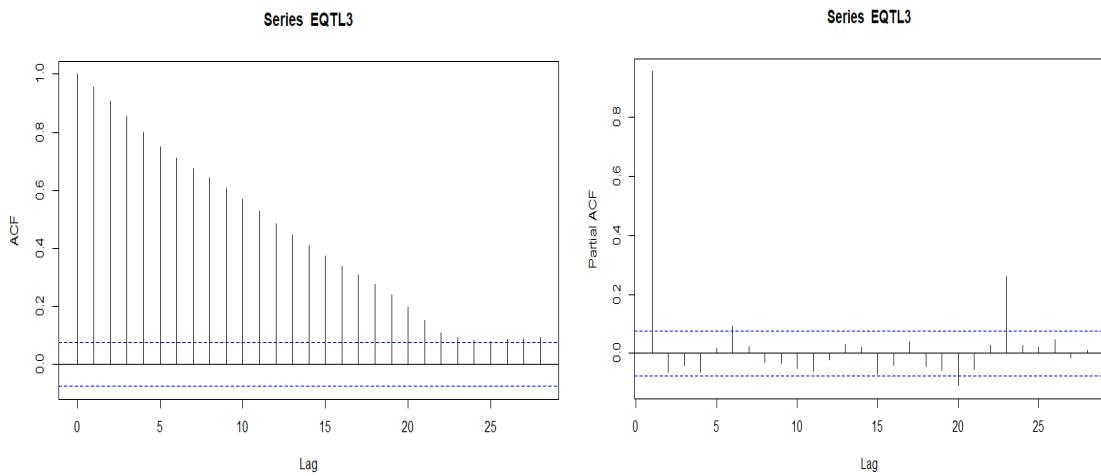


**Figura 7:** Volatilidade em 22 dias da Equatorial Energia e do índice Ibovespa.

A figura 8 representa a correlação dos retornos de 22 dias da EQTL3 com os retornos do Ibovespa. A correlação teve média de 56,10% durante o período analisado. Aplicando-se o teste de ADF sobre os dados da correlação, obtém-se o valor de -4.6822, fornecendo um p-valor abaixo de 1%. Portanto H<sub>0</sub> pode ser rejeitada, com um alto nível de significância, não havendo necessidade de diferenciação da série, pois ela é considerada estacionária.

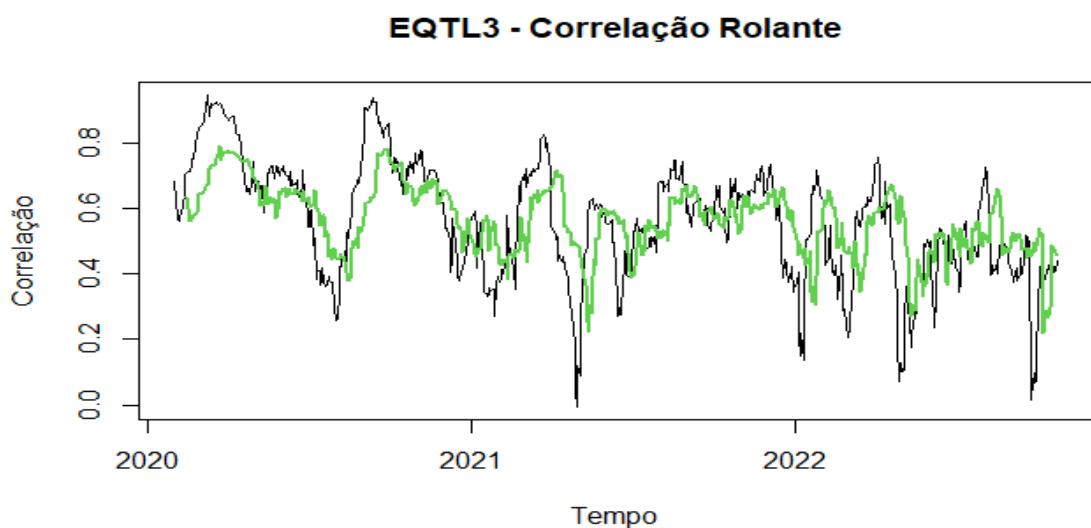


**Figura 8:** Correlação entre retornos em 22 dias da Equatorial Energia com o Ibovespa



**Figura 9:** ACF e PACF da correlação rolante da EQTL3 com o Ibovespa.

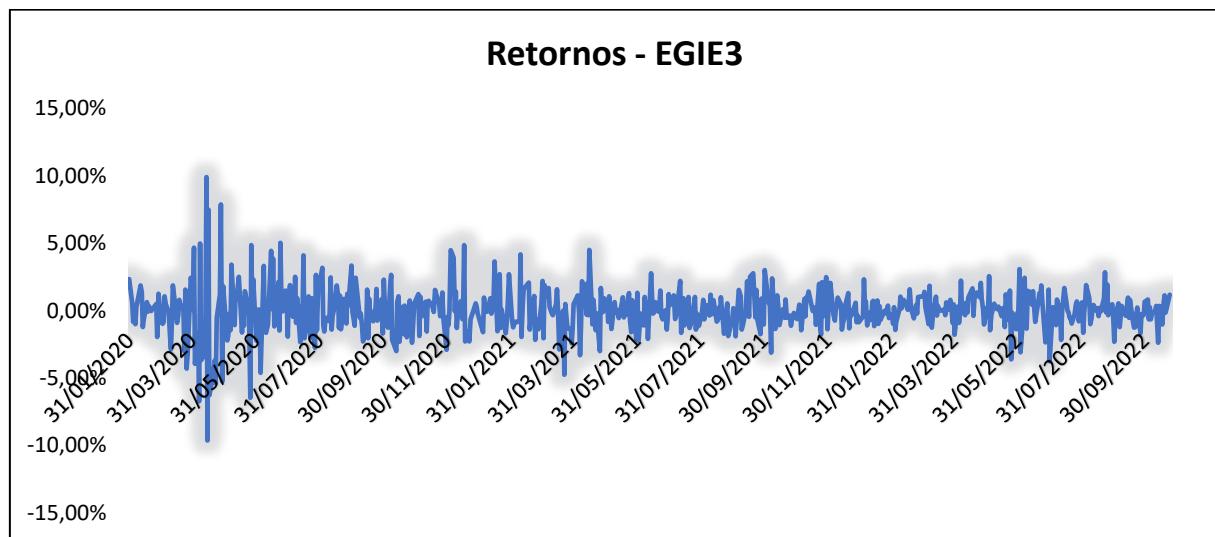
O modelo escolhido pelo AIC para a série de correlação da EQTL3 é um ARMA(1,1), embora a diferença entre os dois modelos tenha sido pequena, -2057.39 para o AR(1) e -2058.43 para o modelo ARMA(1,1). Também é válido mencionar que o critério de informação bayesiano (BIC), que é conhecido por ser mais parcimonioso que o AIC, pois penaliza mais a inclusão de novas variáveis, escolhe o modelo AR(1), possuindo valor de -2043.83 para este e de -2040.35 para o ARMA(1,1). O teste ADF para os resíduos do modelo escolhido pelo AIC retorna o valor de -8.4715, o que indica que o modelo está bem especificado, sendo os resíduos estacionários. As previsões obtidas pelo modelo se mostram satisfatórias no curto prazo, com correlação de 0.9551795 com os valores reais da série de correlação.



**Figura 10:** Série original (preto) e série do modelo (verde), prevista 10 passos à frente.

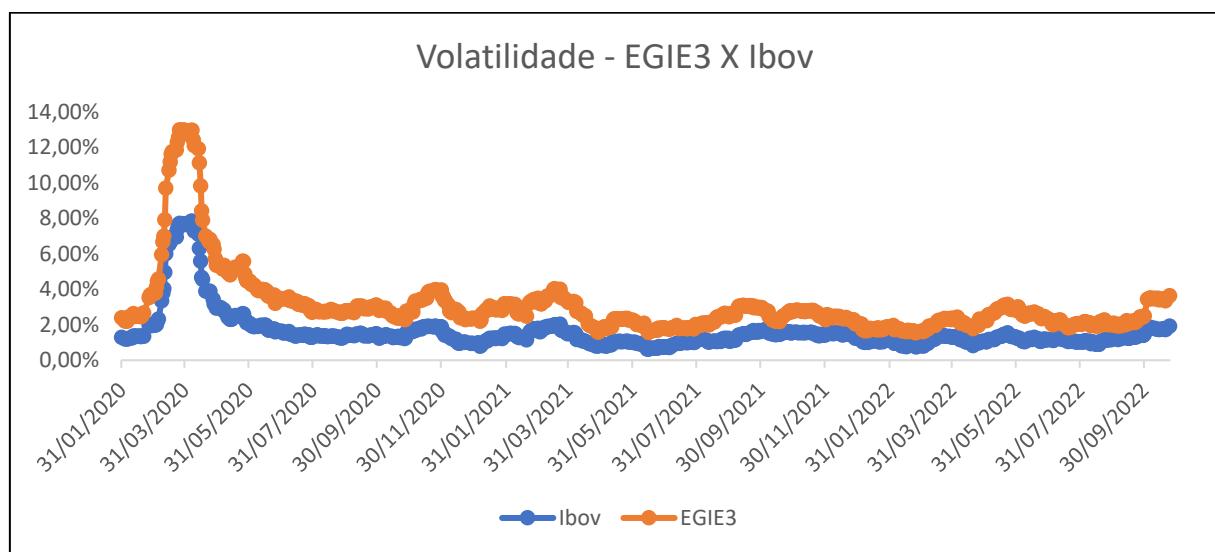
### EGIE3:

Conforme observado na figura 11, os retornos diários da Engie Brasil Energia apresentam períodos de maior e menor volatilidade entre as datas em análise, variando ao redor da média de 0,00%, possuindo retorno máximo de 9,92% e mínimo de -9,63% durante o período analisado.



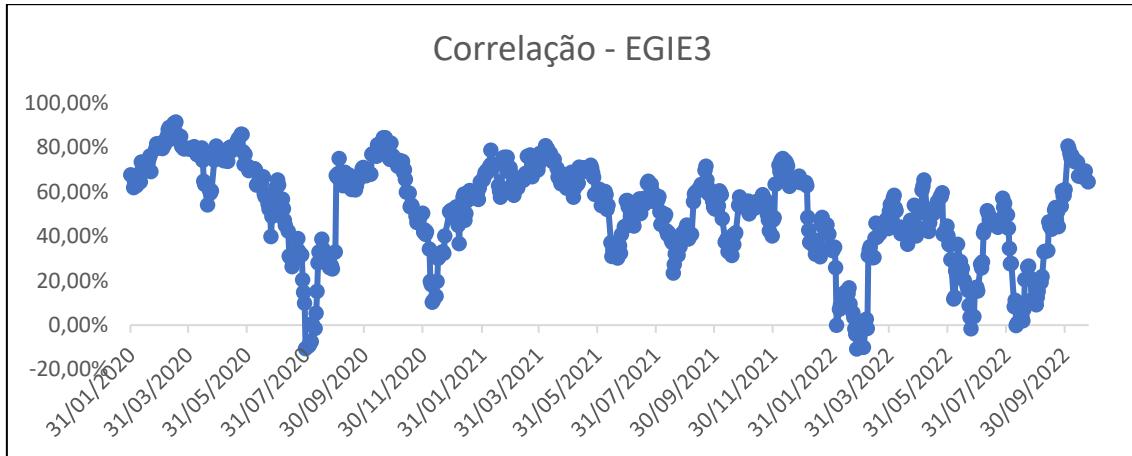
**Figura 11:** Retornos diários da Engie Brasil Energia.

A figura 12 abaixo compara a volatilidade – medida com o desvio padrão dos retornos para 22 dias úteis – das ações da Engie Brasil com o Ibovespa. Como pode ser visto, seus movimentos são parecidos aos da Equatorial e do Ibovespa.

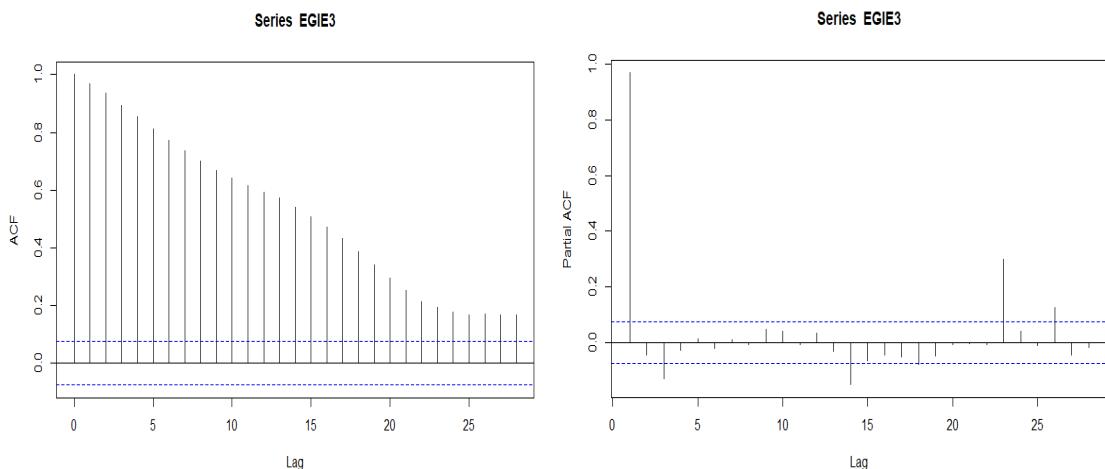


**Figura 12:** Volatilidade em 22 dias da Engie Brasil Energia e do índice Ibovespa.

A figura 13 abaixo representa a correlação dos retornos de 22 dias da EGIE3 com os retornos do Ibovespa. A correlação teve média de 52,03% durante o período analisado. Aplicando-se o teste de ADF sobre os dados da correlação, obtém-se o valor de -3.7885, fornecendo um p-valor de 0.01957, aproximadamente 2%. Portanto H0 pode ser rejeitada, com um alto nível de significância, não havendo necessidade de diferenciação da série, pois ela é considerada estacionária.



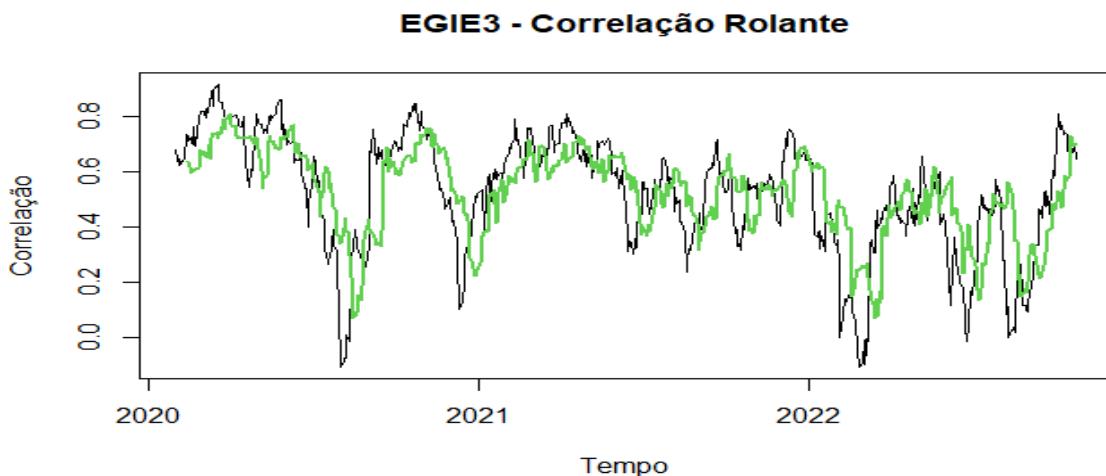
**Figura 13:** Correlação entre retornos em 22 dias da Engie Brasil Energia com o Ibovespa



**Figura 14:** ACF e PACF da correlação rolante da EGIE3 com o Ibovespa.

Novamente, as ACF e PACF sugerem um processo AR(1). Essa modelagem também é a escolhida pelo critério de Akaike, que obteve o valor de -2040.7 sob esta modelagem. Isso pode ser confirmado ao se fazer o teste ADF sobre os resíduos do modelo, que obteve o valor de -9.4385, possuindo um p-valor próximo de zero. As previsões obtidas pelo modelo se mostram

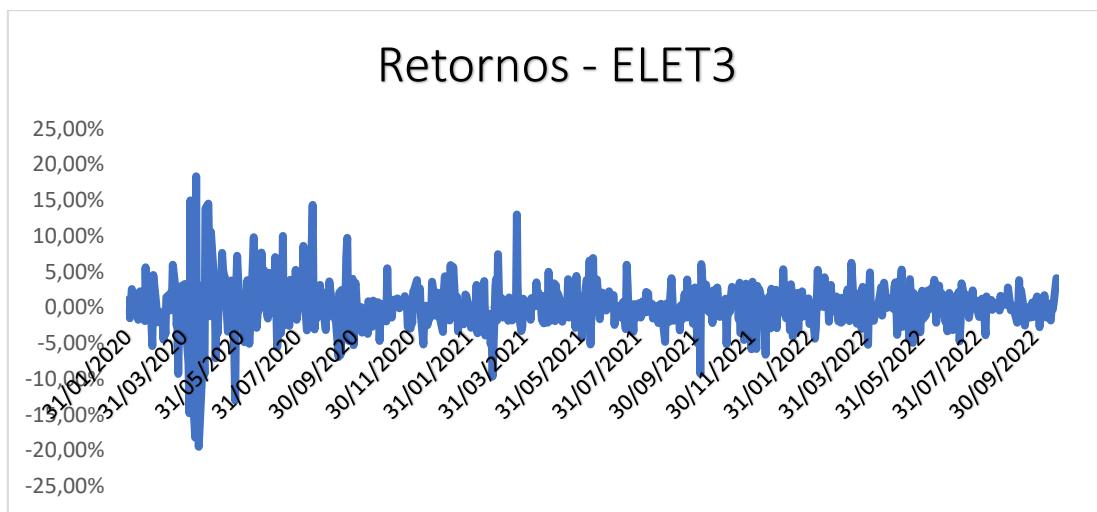
satisfatórias no curto prazo, com correlação de 0.9687328 com os valores reais da série de correlação.



**Figura 15:** Série original (preto) e série do modelo (verde), prevista 10 passos à frente.

### ELET3:

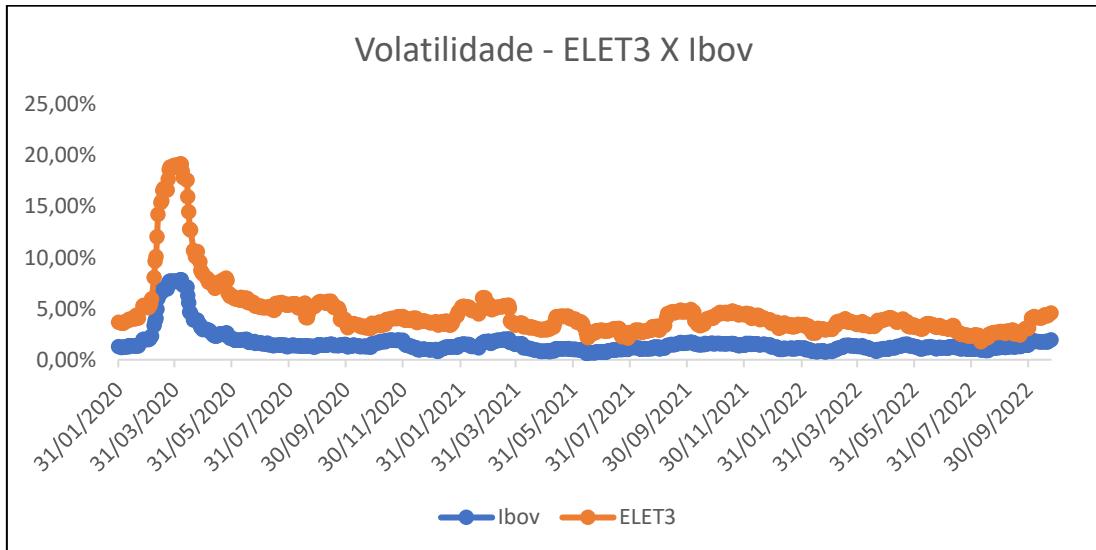
Conforme observado na figura 16, os retornos diários da Eletrobras apresentam períodos de maior e menor volatilidade entre as datas em análise, variando ao redor da média de 0,12%, possuindo retorno máximo de 18,34% e mínimo de -19,51% durante o período analisado.



**Figura 16:** Retornos diários da Eletrobras.

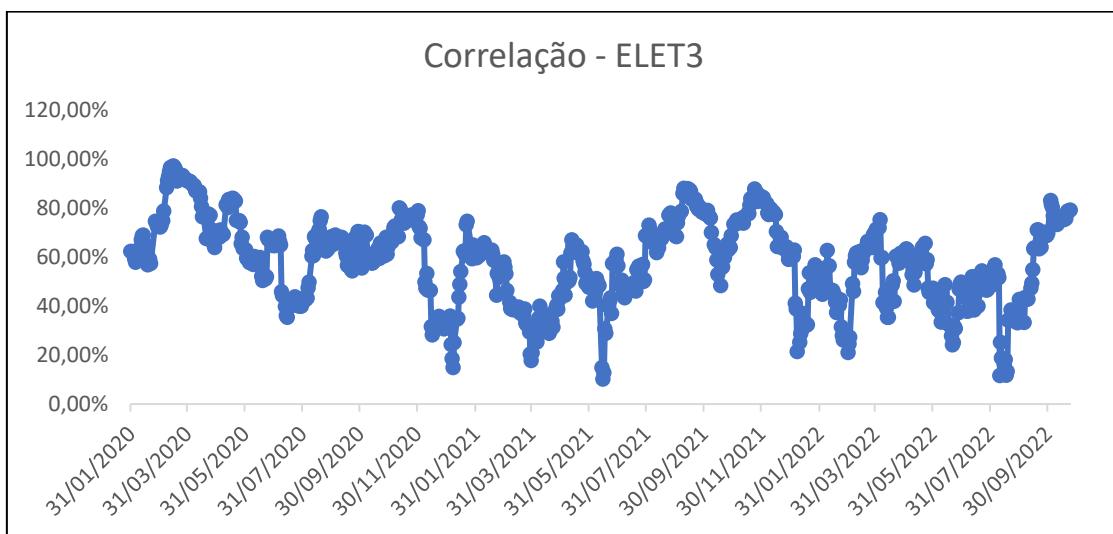
A figura 17 abaixo compara a volatilidade – medida com o desvio padrão dos retornos para 22 dias úteis – das ações da Eletrobras com o Ibovespa. Como as outras ações, o ápice da volatilidade acontece no início da pandemia da covid-19, no começo do ano de 2020.

Entretanto, a volatilidade da ELET3 se apresentou maior que a de outras empresas do setor, o que é esperado pela teoria de finanças, uma vez que o seu retorno no período também foi maior.

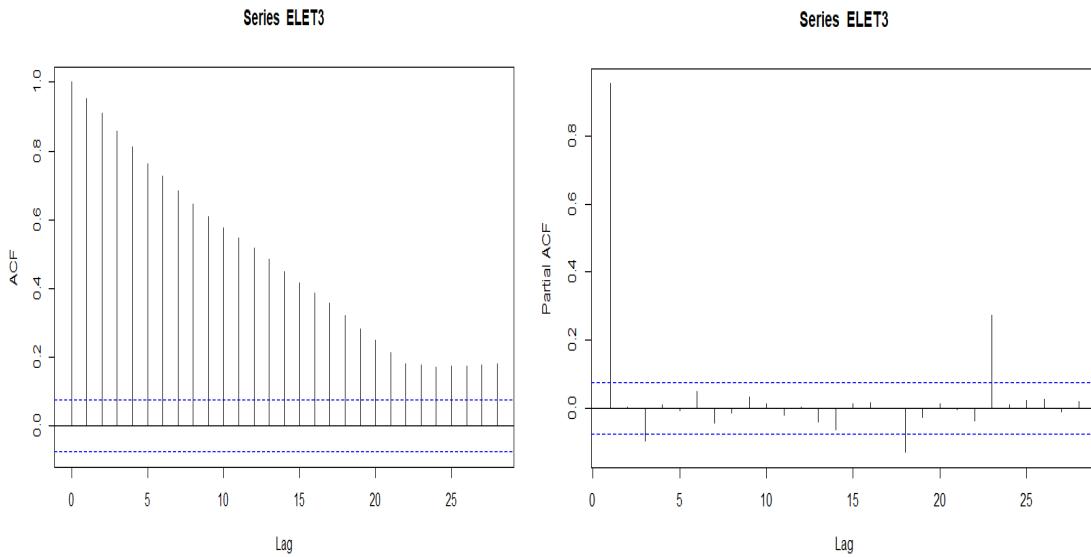


**Figura 17:** Volatilidade em 22 dias da Eletrobras e do índice Ibovespa.

A figura 18 representa a correlação dos retornos de 22 dias da ELET3 com os retornos do Ibovespa. A correlação teve média de 58,40 durante o período analisado. Aplicando-se o teste de ADF sobre os dados da correlação, obtém-se o valor de -3,792, que é abaixo do valor de corte de 10% de significância – que é de -3,1378, fornecendo um p-valor de 0,0194, aproximadamente 2%. Portanto H0 pode ser rejeitada, com um alto nível de significância, não havendo necessidade de diferenciação da série, pois ela é considerada estacionária.

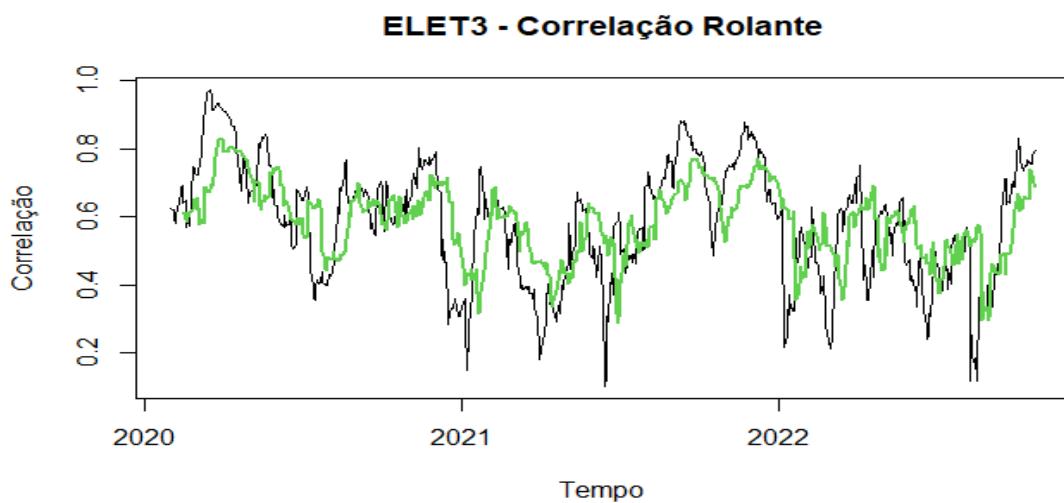


**Figura 18:** Correlação entre retornos em 22 dias da Eletrobras com o Ibovespa.



**Figura 19:** ACF e PACF da correlação rolante da ELET3 com o Ibovespa.

Novamente, a função de autocorrelação da série apresenta um decaimento rápido de início e a função de autocorrelação parcial apresenta apenas uma defasagem significativa, o que sugere uma modelagem do tipo AR(1). Essa modelagem também é a escolhida pelo critério de Akaike, que obteve o valor de -2081,14 sob esta modelagem. Isso pode ser confirmado ao se fazer o teste ADF sobre os resíduos do modelo, que obteve o valor de -8.8656, possuindo um p-valor próximo de zero. As previsões obtidas pelo modelo se mostram satisfatórias no curto prazo, com correlação de 0.9542496 com os valores reais da série de correlação.



**Figura 20:** Série original (preto) e série do modelo (verde), prevista 10 passos à frente.

## 7. Conclusão

Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento dos retornos das ações das 4 maiores empresas do setor de energia elétrica incluídas no índice Ibovespa – EGIE3, EQTL3, CPFE3 e ELET3. Dessa forma, foram analisadas a volatilidade dos retornos, medida como o desvio-padrão de 22 dias destes, assim como a sua correlação dos retornos com os do índice Ibovespa ao longo do tempo. Para se estudar a correlação das ações com o Ibovespa ao longo do tempo se usou modelagem de séries temporais univariadas e lineares, os modelos ARIMA(p,d,q). A volatilidade, assim como o retorno dos ativos, constituem os dois indicadores mais importantes para a decisão de alocação de recursos quando se deseja construir um portfólio eficiente.

A análise mostrou que a ação que obteve menor volatilidade ao longo do período foi a EGIE3. A Engie Brasil Energia também apresentou a maior queda do coeficiente de correlação dos retornos ao longo do tempo, ficando com uma média de apenas 42,76% no segundo período da análise. Entretanto, os retornos da ação da empresa deixaram a desejar, apresentando uma média 0,00% de retorno no período analisado. No ano de 2022, a EGIE3 apresentou um retorno de apenas 3,71% até o dia 24 de outubro, abaixo mesmo do Ibovespa, que apresentou retorno anual de 11,63%. Isso mostra que, ao se fazer a decisão de alocação, deve se olhar sempre o risco com o retorno. Durante o mesmo período, as ações da Equatorial Energia (EQTL3) e CPFL Energia (CPFE3) apresentaram, igualmente, queda no coeficiente de correlação com o Ibovespa e retornos superiores.

A modelagem da correlação rolante das ações com o benchmark mostrou que todas as séries são estacionárias, sem necessidade de integração para se usar modelos ARMA. Foi observado, portanto, que as séries podem ser previstas no curto prazo com alto grau de confiabilidade, sendo que modelos simples forneceram ótimas previsões, com boa correlação com os dados reais, sugerindo que há a possibilidade de modelar a eficiência da diversificação do ativo no portfólio no tempo, assim como a sua tendência futura. Também pode-se observar que a Equatorial Energia foi a única ação cuja série temporal da correlação possuiu um componente de média móvel, sinalizando que termos estocásticos passados deixam uma lembrança relevante no processo, muito embora o critério de informação tenha tido uma pequena melhora com o acréscimo do termo e critérios mais parcimoniosos, como o Bayesiano (BIC) tenham mantido o componente de média móvel de fora da modelagem.

Dito isto, mais estudos sobre o setor e suas futuras tendências devem ser efetuados, usando modelos estatísticos que capturem melhor as características da volatilidade dos retornos – como

a heteroscedasticidade – e em períodos de tempo maiores, com o objetivo de extrair conclusões mais assertivas. Desse modo, poderá se inferir de maneira mais fidedigna as tendências e os novos parâmetros que o setor de energia elétrica brasileiro enfrentará no futuro.

## 8. Apêndice – Código para a Análise

```

# CARREGANDO OS PACOTES QUE SERÃO USADOS
library(urca)
library(forecast)
library(readxl)
library(tseries)
library(sarima)
library(stats)
library(zoo)

#IMPORTANDO OS DADOS
monografia ← read_excel("C:/Users/thiag/OneDrive/Área de Trabalho/Thiago/Monografia.xlsx",
                         sheet = "Monografia")

#DEFININDO AS VARIÁVEIS
CPFE3 ← as.ts(as.numeric(unlist(monografia[23:700,5])))
CPFE3
ELET3 ← as.numeric(unlist(monografia[23:700,9]))
ELET3
EGIE3 ← as.numeric(unlist(monografia[23:700,13]))
EGIE3
EQTL3 ← as.numeric(unlist(monografia[23:700,17]))
EQTL3

#FAZENDO OS TESTES DE RAIZ UNIARIA
adf.test(CPFE3)
adf.test(ELET3)
adf.test(EGIE3)
adf.test(EQTL3)

#VISUALIZANDO OS DADOS
ts.plot(CPFE3) #VISUALIZAÇÃO DA SÉRIE
acf(CPFE3) # GRÁFICO DA FUNÇÃO DE AUTOCORRELAÇÃO
pacf(CPFE3) #GRÁFICO DA FUNÇÃO DE AUTOCORREÇÃO PARCIAL

# TREINANDO E TESTANDO O MODELO
fit ← Arima(CPFE3, order = c(1,0,0)) #TREINANDO MODELO AR(1)
fit #VISUALIZANDO O MODELO
acf(fit$residuals) # FUNÇÃO DE AUTOCORRELAÇÃO E DOS RESÍDUOS DO MODELO
pacf(fit$residuals) # FUNÇÃO DE AUTOCORRELAÇÃO PARCIAL DOS RESÍDUOS DO MODELO
adf.test(fit$residuals) # TESTE DE RAIZ UNITÁRIA DOS RESÍDUOS DO MODELO
cor(CPFE3, fit$fitted) # CORRELAÇÃO DO MODELO COM OS DADOS REAIS

# GRÁFICO DOS DADOS CONTRA A PREVISÃO DO MODELO 10 PASSOS À FRENTE
plot(CPFE3, type = 'l')
lines(fitted(fit, h = 10), col = 3, lwd = 2)

```

## 9. Referências Bibliográficas

- AKCA, Kübra; OZTURK, Serda Selin. The effect of 2008 crisis on the volatility spillovers among six major markets. **International Review of Finance**, v. 16, n. 1, p. 169-178, 2016.
- ALBULESCU, C. T. (2020). COVID-19 and the United States financial markets'volatility. **Finance Research Letters**, 38, 161699. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101699>
- ANEEL. ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em <https://www.gov.br/aneel/pt-br>. Acesso em 19 de nov. de 2022
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA 2022. [S. l.], 12 jan. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20-%20Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202022.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2023.
- BACELLAR, Roberto Ramos; GONÇALVES, Oksandro Osdival. REGULAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO: ENTRE MONOPÓLIOS E LIBERDADE DE CONTRATAÇÃO. **Revista de Direito Brasileira**, p. 342-357, 10 dez. 2021.
- BAEK, Seungho; MOHANTY, Sunil K.; GLAMBOSKY, Mina. COVID-19 and stock market volatility: An industry level analysis. **Finance research letters**, v. 37, p. 101748, 2020.
- BHATTACHARJEE, Nayanjyoti; DE, Anupam. Black Swan Event and The Stock Market Volatility Response to Shocks in Developed, Emerging, Frontier and the BRIC Markets:: Lessons from the COVID-19 Pandemic. **Brazilian Business Review**, [S. l.], p. 492-507, 01 set. 2022.
- BODIE, Zvi; KANE, Alex; J. MARCUS, Alan. **Investimentos**. 2016.
- BUENO, Rodrigo de Losso da Silveira. **Econometria de Séries Temporais**. 2. ed. 2020.
- DAMODAR, N. Gujarati; DAWN, C. Porter. **Econometria Básica**. 2011.
- DAZA, Erick Fernando Boeck. ANÁLISE DA REGULAÇÃO ECONÔMICA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO. **PPG Economia**, p. 1-90, 24 fev. 2014.
- EIA. Eia, Independent Statistics and Analysis, U.S. Energy Information Administration. Disponível em <https://www.eia.gov/international/overview/country/BRA>. Acesso em: 24 de out. de 2022.

ELETROBRAS. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Home.aspx>. Acesso em: 18 jan. 2023.

EQUATORIAL Energia. Disponível em: <https://www.equatorialenergia.com.br/>. Acesso em: 18 jan. 2023.

**GLOBAL ENERGY MONITOR WIKI.** Disponível em [https://www.gem.wiki/Perfil\\_energ%C3%A9tico\\_%E2%80%93\\_Brasil#cite\\_note-10-1](https://www.gem.wiki/Perfil_energ%C3%A9tico_%E2%80%93_Brasil#cite_note-10-1). Acesso em 26 de out. de 2022.

HOFFMANN, Rodolfo. **Estatística para Economistas**. 2006.

HOME | CPFL. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br/>. Acesso em: 18 jan. 2023.

HOME - ENGIE Brasil. Disponível em: <https://www.engie.com.br/>. Acesso em: 18 jan. 2023.

IEA Energy Atlas. [S. l.], 2 abr. 2023. Disponível em: <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/-1118783123/1>. Acesso em: 18 jan. 2023.

LUCENA AIUBE, Fernando Antonio. **Modelos Quantitativos em Finanças: com enfoque em commodities**. 2013.

MALZ, Allan M. Financial crises, implied volatility and stress testing. **Riskmetrics group, New York**, 2001.

MARKOWITZ, Harry. Portfolio Selection. **The Journal of Finance**, [S. l.], p. 77-91, 14 mar. 1952.

NIELSEN, Aileen. **Análise Prática de Séries Temporais: Predição com Estatística e Aprendizado de Máquina**. 1. ed. 2021.

ONALI, Enrico, COVID-19 and Stock Market Volatility (May 28, 2020). Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3571453> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3571453>

**ONS**. NOS Operador Nacional do Sistema. Disponível em <http://www.ons.org.br/>. Acesso em 10 de nov. de 2022.

OZORIO, Luiz de Magalhães. Análise do Desempenho Econômico Financeiro de Distribuidoras de Energia Elétrica no Brasil. **GESEL**, p. 1-71, 3 dez. 2015.

PLATCHKOV, Laura M.; POLLITT, Michael G. The Economics of Energy (and Electricity) Demand. **UNIVERSITY OF CAMBRIDGE - ELECTRICITY POLICY RESEARCH GROUP**, p. 1-37, 18 abr. 2011.

POMBEIRO GOMES, João Paulo; MILANO FALCÃO VIEIRA, Marcelo. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. **FGV - EBAPE**, [S. l.], p. 295-321, 2 abr. 2009.

ROSSETI, Nara; MEIRELLES, Jorge Luis Faria; VALLE, Maurício Ribeiro do. ANÁLISE COMPARATIVA DA VOLATILIDADE DAS AÇÕES DE EMPRESAS DO SETOR SUCROALCOOLEIRO COM O IBOVESPA. **Nucleus**, [S. l.], p. 139-160, 28 ago. 2008. Disponível em: <https://www.nucleus.feitoverava.com.br/index.php/nucleus>. Acesso em: 30 out. 2022.

SCHWERT, G. William. Stock volatility during the recent financial crisis. **European Financial Management**, v. 17, n. 5, p. 789-805, 2011.

SOUZA, João Gabriel de Moraes. ELASTICIDADES PREÇO E RENDA DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA DOMICILIAR NO BRASIL. **Texto para Discussão**, [S. l.], p. 1-42, 21 out. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10880>. Acesso em: 18 jan. 2023.