



Universidade Federal  
de Campina Grande

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

IAGO BATISTA OLIVEIRA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS IMPACTOS CAUSADOS PELA  
PANDEMIA DE COVID-19 NO SETOR ELÉTRICO  
BRASILEIRO**

Campina Grande, Paraíba.

Dezembro de 2020

IAGO BATISTA OLIVEIRA

ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS IMPACTOS CAUSADOS PELA PANDEMIA DE COVID-19 NO  
SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrotécnica

Jalberth Fernandes de Araújo, D. Sc.  
Orientador

Convidado

Campina Grande, Paraíba.

Dezembro de 2020

*Dedico a meus pais, Cláudia e  
Claudianor, base de todas minhas  
conquistas.*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus em primeiro lugar, pois sem Ele nada disso seria possível. Agradeço a Ele pela Sua criação e por minha fé, que me sustenta e guia pela jornada da vida. Também a Ele, agradeço oportunidade de ter em minha vida pessoas que me ajudaram tanto nesta caminhada.

A meus pais, Cláudia e Claudianor, que sempre fizeram tudo para me educar e que eu aproveitasse as oportunidades que a vida me dá, lhes dedico este trabalho junto a todo amor e gratidão. Também gostaria de agradecer a meus irmãos, Caio e Isaac, sempre amigos em todos os momentos da minha vida. Um agradecimento especial para uma pessoa que chegou mais recentemente, mas sempre me apoiou nessa jornada, Ivaneide (Dinha), te agradeço por sua companhia diária de todos os momentos. Em nome de minhas avós Maria Cícera (*in memoriam*) e Maria Alves, estendo o agradecimento a todos meus familiares.

Não posso esquecer dos amigos que a vida me deu. Aqueles que vem desde as primeiras séries do ensino até aqueles que conheci há menos tempo. Primeiro gostaria de agradecer aos amigos do movimento espírita, que o amor e o carinho sempre crescem a cada dia mais. Também aos amigos das Damas, principalmente aqueles que mantenho um contato quase diário mesmo anos depois de seguirmos caminhos diferentes na vida. Por último, meus amigos que que a graduação me deu, em especial os do 15.1 e da 'Eletrotécnica', sempre me ajudando e compartilhando cada segundo dessa luta comigo, digo: sem vocês, eu não chegaria aqui.

Agradeço aos grupos que me abriram os olhos para uma vida acadêmica mais humana: Ramo Estudantil IEEE UFCG e Litro de Luz. Serão guardados em meu coração, pois com eles aprendi e cresci como ser humano e profissional. Agradeço pela oportunidade de fazer parte dessa história e estarei sempre por perto para acompanhar e ajudar como possível. Nestes grupos, conheci pessoas incríveis que não tenho como citar uma em especial, mas sempre lembrarei de cada um que compartilhou um evento, uma gestão, uma reunião administrativa ou uma partida de uno comigo.

Finalmente, gostaria de agradecer a todos os professores que me guiaram nessa jornada. Em nome de Jalberth Fernandes - meu orientador não só neste trabalho, mas da minha jornada acadêmica; dedico aos meus educadores e espaços educacionais que passei.

*“O mais importante da vida não é a situação em que estamos, mas a direção para a qual nos movemos”*

Oliver Wendell Holmes

## RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma análise estatística dos impactos causados pela pandemia de COVID-19 no setor elétrico brasileiro. Para realizar a análise, foram utilizados dados oficiais do Ministério da Saúde do Brasil e do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). O banco de dados de Carga Horária (GWh), Energia Armazenada (GWh) e Custo Marginal Operacional (R\$/MWh) do setor elétrico e de novos casos semanais de COVID-19 no Brasil foram coletados para fazer uma análise estatística baseada no cálculo de correlação do coeficiente de Pearson. O cálculo foi realizado para diferentes janelas de tempo e de forma multivariada, que possibilita a análise do comportamento do setor elétrico durante a pandemia de COVID-19. Foi constatado que o impacto da pandemia tem características diferentes ao longo do tempo, que tem maior influência na carga no início do período epidemiológico e decai durante o período. Esse método de análise oferece um uso potencial para planejamento de respostas em caso de novos fenômenos de escala global.

Palavras-chave: Setor Elétrico, Pandemia de COVID-19, ONS, Coeficiente de Pearson, Banco de dados.

## ABSTRACT

In this paper it is presented a statistical analysis of the COVID-19 pandemic impacts in the brazilian electricity sector. To make this analysis, it was used official data from the Health Ministry of Brazil and from the Electrical System National Operator (ONS, abrev. in PT). The database of Charge per Hour (GWh), Storage Energy (GWh) and Marginal Operational Coast (R\$/MWh) of the electricity sector and the new weekly cases of COVID-19 in Brazil were collected to be analyzed statistically, based on the Pearson correlation coefficient. The calculus was made in different time windows and with multiple variables, enabling the analasys of the electricity sector behavior during the COVID-19 pandemic. With this, it was observed that the impact of the pandemic had different characteristics along the time, having more influence in the charge in the beginning of the pandemic and falling along the period. This method of analysis offers a potential use to plan answers in case of another worldwide impact phenomenon.

Keywords: Electricity Sector, Pandemic of COVID-19, ONS, Pearson coefficient, Database.

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OMS	Organização Mundial de Saúde
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
CMO	Custo Marginal Operacional
FMI	Fundo Monetário Internacional



# LISTA DE SÍMBOLOS

P	Coeficiente de correlação de Pearson
MWh	Mega Watt hora
GWh	Giga Watt hora
R\$	Reais

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de Carga média por hora ao longo de um dia no SIN. ....	14
Figura 2 - Modelo atual do sistema elétrico brasileiro. ....	16
Figura 3 - Matriz de energia elétrica gerada no Brasil. ....	17
Figura 4 - Janela inicial do Histórico de Operações do ONS. ....	18
Figura 5- Site oficial do Ministério da Saúde sobre a COVID-19. ....	20
Figura 6 – Metodologia para análise de impactos da pandemia COVID-19 no setor elétrico. ....	23
Figura 7 - Comparação de carga semanal 2018/2019 com 2019/2020. ....	30
Figura 8 - CMO médio do SIN de 2015 a 2020. ....	30
Figura 9 – CMO médio do SIN em 2020. ....	31
Figura 10 - Energia Armazena no SIN de 2015 a 2020. ....	32
Figura 11– Casos semanais de COVID-19 e carga do SIN, separados por bimestre. ....	38

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Interpretação do coeficiente de Pearson.....	22
Tabela 2 - Dados coletados do setor elétrico. ....	28
Tabela 3 – Hipóteses levantadas. ....	32
Tabela 4 - Etapas de cálculo de correlação. ....	35
Tabela 5– Correlação de carga ano a ano. ....	36
Tabela 6– Correlação de carga ano a ano na janela de tempo da COVID-19 no Brasil.....	37
Tabela 7 - Correlação da carga de energia elétrica em 2020 vs casos de COVID-19 no Brasil. ....	37
Tabela 8 - Correlação entre CMO e Energia Armazenada nos últimos anos. ....	38
Tabela 9 – Correlação entre CMO, Energia Armazenada e COVID-19 em 2020. ....	39
Tabela 10 - Análise das hipóteses levantadas. ....	40

# SUMÁRIO

1	Introdução .....	13
1.1	Objetivos .....	14
2	Fundamentação Teórica .....	15
2.1	Setor Elétrico Brasileiro .....	15
2.1.1	Histórico de Operação.....	17
2.2	Pandemia da COVID-19 .....	19
2.3	Correlação – Coeficiente de Pearson.....	21
3	Metodologia .....	23
3.1	Coleta de Dados .....	23
3.2	Pré-Processamento .....	24
3.3	Análise Preliminar .....	24
3.4	Levantamento de Hipóteses.....	25
3.5	Cálculos Estatísticos.....	26
3.6	Análise Final .....	26
4	Resultados.....	27
4.1	Banco de Dados COVID-19 e Setor Elétrico .....	27
4.2	Tratamento de Dados.....	29
4.3	Análise do Banco de Dados.....	29
4.4	Hipóteses Sobre o Impacto da COVID-19 no Setor Elétrico .....	32
4.5	Definição dos Cálculos do Coeficiente de Pearson .....	34
4.6	Resultados Finais e Análises .....	36
5	Conclusões .....	42
6	Trabalhos Futuros .....	43
	Referências .....	44

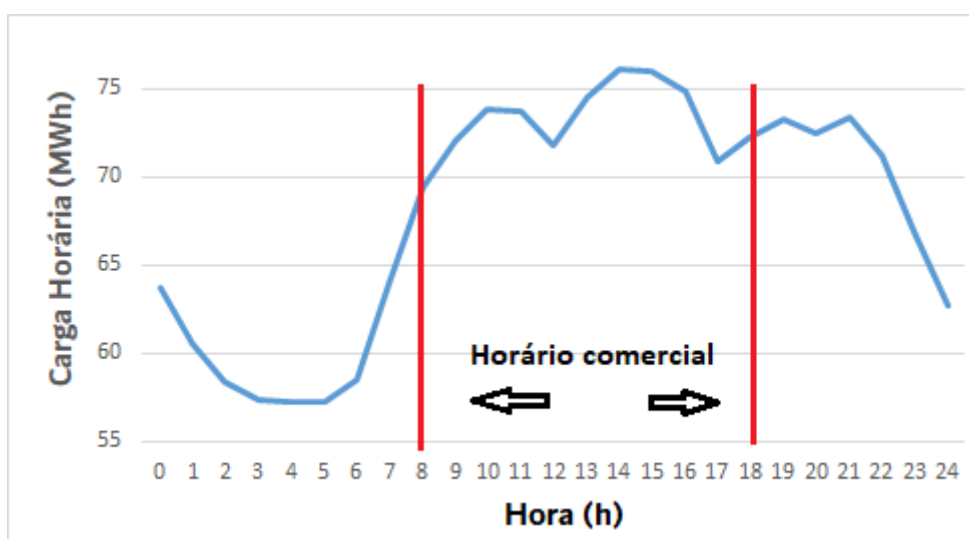
# 1 INTRODUÇÃO

No ano de 2020, o mundo passa por um momento complicado de saúde humanitária com impactos em vários aspectos do planeta: a pandemia da COVID-19. A doença respiratória causada pelo novo coronavírus (SARS-COV-2) trouxe impactos a níveis globais devido ao seu alto índice de contágio. Até o dia 26/10/2020, foram registrados 1.152.604 óbitos no mundo, segundo o levantamento da Organização Mundial de Saúde (2020) - abrev. OMS. Além dos óbitos, os impactos sentidos em todas as economias do mundo são relatados pelo próprio Fundo Monetário Internacional (2020) – abrev. FMI, que afirma que o PIB Global deve cair em 4,9% em 2020 devido à pandemia. Esses impactos são causados pela mudança de hábitos socioeconômicos, ligado ao distanciamento social, uma das principais medidas de contenção da doença recomendada pela OMS.

No Brasil, o cenário é um reflexo da situação mundial, mas com suas particularidades. Os impactos com relação a saúde pública até o dia 26/10/2020 são 157.134 óbitos e 5.394.128 casos confirmados, sendo um dos países mais afetados pela COVID-19. Devido a esta doença, existiu um impacto na economia nacional. Segundo o FMI (2020), é previsto uma queda de 5,4% no PIB brasileiro em 2020. Os principais impactos na economia nacional são causados pelo choque de demanda externa, junto ao choque de demanda interna aliado ao choque do preço do petróleo. Esses aspectos, causados principalmente por conta da mudança de comportamento socioeconômico da população, traz incertezas de investimentos e pagamentos, acarretando em impactos no setor de água e energia, assim como o de transporte (BANCO MUNDIAL, 2020).

A partir dessas informações, observa-se que o setor elétrico brasileiro sofreu impacto imediato por conta da modificação do comportamento socioeconômico. Desse modo, é importante ressaltar que o estudo prospectivo de carga do sistema elétrico leva em consideração fatores sociais e econômicos que refletem significativamente no consumo de energia (QUEIROZ, 2011). Para uma melhor visualização dessa consideração, pode ser visto a curva de carga de energia elétrica do SIN ao longo das horas de um dia, conforme apresentado na Figura 1. É possível observar que o aumento da carga acontece nos horários comerciais (8h às 18h) e de temperatura mais elevada (13h às 15h), ou seja, aumenta de acordo com o comportamento socioeconômico mais ativo.

Figura 1 - Curva de Carga média por hora ao longo de um dia no SIN.



Fonte: Adaptado de (ONS, 2020a).

Diante do exposto, a pandemia da COVID-19 traz impactos indiretos ao setor elétrico. Porém, o modo e a mensuração desse impacto só são analisáveis a partir da mineração estatística dos dados fornecidos pelos órgãos responsáveis pelos setores de saúde e elétrico, como Ministério da Saúde e ONS. Esta análise tem como objetivo esclarecer impactos dentro do setor elétrico como um todo e também particularidades destes impactos. A partir daí, novas medidas podem ser tomadas para redução de danos dentro da conjuntura atual e como prevenção a novos fenômenos de impacto global.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é analisar estatisticamente os impactos da pandemia da COVID-19 no setor elétrico brasileiro. Além do objetivo geral, tem-se como objetivos específicos aplicar o cálculo estatístico da correlação do coeficiente de Pearson para avaliar a relação entre os dados da COVID-19 e do setor elétrico; avaliar hipóteses da relação de diferentes famílias de dados do setor elétrico com a pandemia de COVID-19 e propor uma metodologia de análise estatística para variações entre comportamento de dados históricos e recentes de bancos de dados.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada a Fundamentação Teórica utilizada para a análise estatística dos impactos da pandemia da COVID-19 no setor elétrico brasileiro.

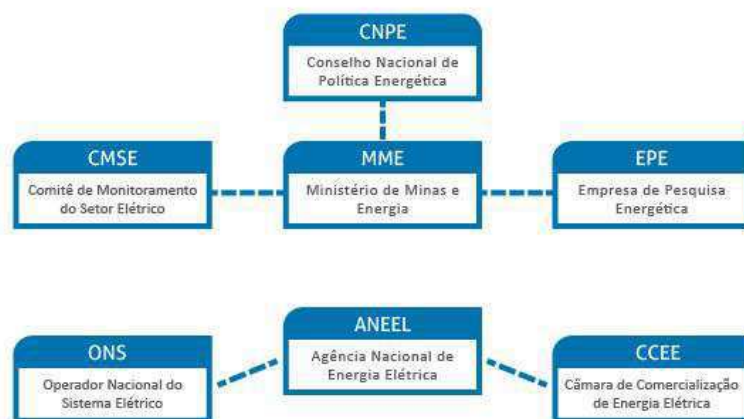
### 2.1 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

A energia elétrica é um insumo essencial à sociedade, indispensável ao desenvolvimento socioeconômico das nações. No Brasil, o Sistema Interligado Nacional (SIN) permite o trânsito de energia elétrica para 98% do mercado nacional, com apenas parte da região Norte sem ser atendido, sendo mais de 100.000 km de linhas de transmissão em todo o território brasileiro (ANEEL, 2020a).

A geração, transmissão e distribuição de energia elétrica são reguladas e coordenadas por órgãos públicos e privados que colaboram para que a energia elétrica chegue a população em geral, indústrias e prestadores de serviço. Entender a hierarquia e responsabilidade de cada instituição deste setor é essencial para uma busca assertiva por informações relacionadas a energia no Brasil.

É possível observar a hierarquia de instituições do sistema elétrico brasileiro na Figura 2. O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) é um órgão interministerial de assessoria da Presidência da República que visa garantir que insumos energéticos (Não exclusivo a energia elétrica) chegue em todo território nacional. Na escala da hierarquia das instituições, o Ministério de Minas e Energia (MME) vem logo abaixo, ao lado da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE). O MME é um órgão federal que implementa e formula políticas do setor energético como um todo, que conta com o auxílio da EPE e CMSE para elaboração de suas políticas.

Figura 2 - Modelo atual do sistema elétrico brasileiro.



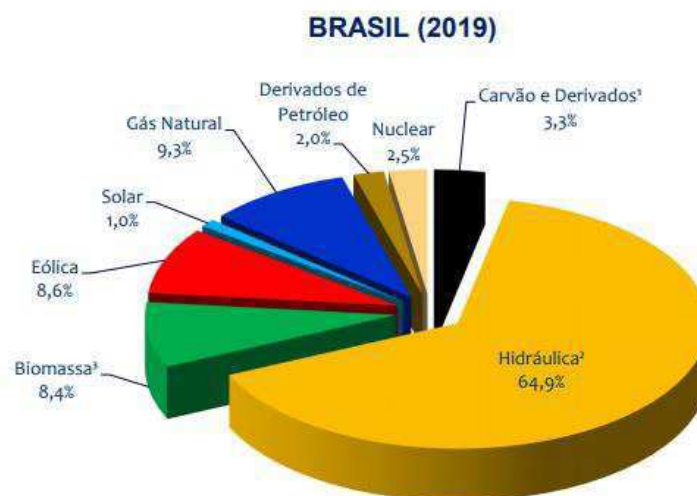
Fonte: (CCEE, 2020).

A EPE é o órgão vinculado ao Ministério de Minas e Energia que estuda e pesquisa sobre o setor energético com finalidade de planejamento do setor. Anualmente, elabora o Balanço Energético Nacional (BEN), relatório do setor energético geral, fazendo a análise energética em várias perspectivas e também comparando a anos anteriores. São apresentados dados de consumo, tipos de insumos e como é produzida a energia no Brasil com base em dados das instituições do setor elétrico. É interessante ressaltar que a matriz energética de geração de energia é uma das que mais conta com a participação de energias renováveis no mundo, contando com a participação de 65% de energia hidráulica, 8,4% de energia de biomassa, 8,6% de energia eólica e 1% de energia solar, como representado na Figura 3 (EPE, 2020). Além das instituições já relatadas, é interessante relatar o trabalho da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

A ANEEL é uma autarquia em regime especial vinculada ao MME. Como autarquia, é uma instituição autônoma e tem o papel fiscalizador e regulador das etapas de comercialização, geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. É o órgão que zela pela qualidade dos serviços e serve como conciliador dos interesses das empresas e consumidores finais a partir de debates e pesquisas (ANEEL, 2020b).



Figura 3 - Matriz de energia elétrica gerada no Brasil.



Fonte: (EPE, 2020).

Já a CCEE é uma associação civil sem fins lucrativos que trabalha na área da comercialização da energia elétrica. É responsável pela regulação e fiscalização de procedimentos de comercialização de energia elétrica tanto do Ambiente de Contratação Livre (ACL) como do Ambiente de Contratação Regulada (ACR), além de realizar leilões ligados a comercialização de energia elétrica, sob delegação da ANEEL (CCEE,2020b).

O ONS é uma empresa de direito privado sem fins lucrativos também associada a ANEEL e responsável por administrar a rede básica de transmissão de energia elétrica (acima de 230 kV) no Brasil, controlando a geração de energia elétrica do SIN. Por meio de estudos aprofundados e análises de dados, é de obrigação da empresa atender os requisitos de carga e garantir a confiabilidade de alimentação. O ONS divulga diariamente dados sobre a rede básica em seu site oficial, conta a colaboração com dados da CCEE para dar maior confiabilidade sobre o panorama da energia elétrica no Brasil. O histórico de operação do ONS tem um banco de dados bem robusto, tanto da carga e geração de energia, como também dados hidrológicos das bacias que alimentam o SIN (ONS, 2020a).

### 2.1.1 HISTÓRICO DE OPERAÇÃO

O Histórico de Operação é uma ferramenta de divulgação transparente e acessível do ONS. Esta ferramenta possibilita acesso rápido e livre aos usuários, por meio de

gráficos e tabelas que podem ser ajustados e comparados interativamente. Dessa maneira, o usuário é livre para analisar e estudar o sistema elétrico, para que faça suas próprias conclusões.

Na Figura 4, é possível observar a janela principal do Histórico de Operação encontrado no site do ONS. Pode ser observado como existe uma larga família de dados que pode ser analisada livremente, que possibilita uma visão mais ampla do sistema e não restrita a sinais de energia elétrica.

Figura 4 - Janela inicial do Histórico de Operações do ONS.



Fonte: (ONS, 2020a).

Das famílias apresentadas na Figura 4, as que contribuem para a análise direta do impacto no setor elétrico são as listadas abaixo (ONS, 2020b):

- **Carga de energia:** Carga equivalente à integral das cargas de demanda em um determinado período de tempo, frequentemente expressa em Mega-Watt-hora (MWh). Quando expressa em MW-médio, em uma determinada base de tempo, como, por exemplo, MW-médio em base anual, refere-se a uma unidade de energia convencional, expressa pelo valor médio da potência ativa que, multiplicada pelo intervalo de tempo considerado, define a energia ativa consumida nesse mesmo intervalo.

- **Energia armazenada:** Energia disponível em um sistema de reservatórios, calculada a partir da energia produzível pelo volume armazenado nos reservatórios em seus respectivos níveis operativos.
- **Custo Marginal de Operação:** Custo por unidade de energia produzida para atender a um acréscimo de carga no sistema.

Os dados podem ser amostrados a escolha de discretização de tempo por parte do usuário - dias, semanas operativas, meses ou anos. Além disso, o usuário pode escolher o nível de detalhamento de determinados dados (ex: carga de energia no subsistema Nordeste) e pode acessar os dados em formatos de imagens ou planilhas compatíveis com ferramentas computacionais para uso de tabela cruzada de dados, como o Microsoft Excel.

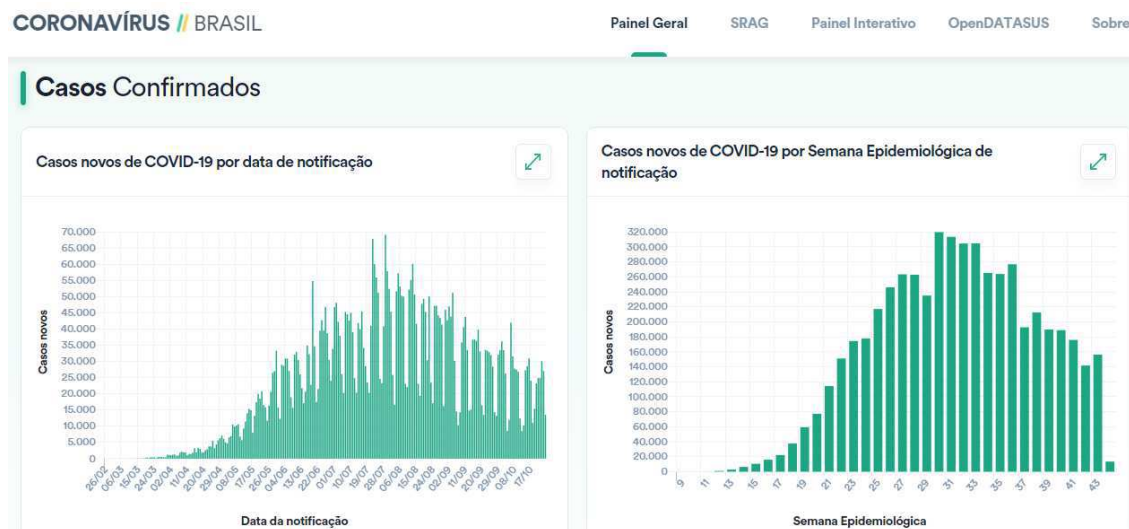
## 2.2 PANDEMIA DA COVID-19

A COVID-19 é uma doença infecciosa causada por um vírus, o SARS-COV-2. Este vírus faz parte da família coronavírus e foi identificada a primeira vez em Wuhan, China, em Dezembro de 2019. De acordo com a OMS, cerca de 80% dos pacientes com COVID-19 podem ser assintomáticos ou oligossintomáticos (poucos sintomas), e aproximadamente 20% dos casos detectados requer atendimento hospitalar por apresentarem dificuldade respiratória, dos quais aproximadamente 5% podem necessitar de suporte ventilatório (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020a).

A transmissão da COVID-19 de pessoa a pessoa ocorreu em diferentes países, e no dia 11/03/2020, a OMS classificou a doença como uma pandemia. Pandemia pode ser definida como uma doença infecciosa que se espalha entre populações numa grande região geográfica (e.g.: diversos países) (GREENBERG, 2005).

No Brasil, o primeiro caso da doença foi diagnosticado no dia 26/02/2020 em São Paulo, capital. Desde então, foram confirmados 157.134 óbitos e 5.394.128 casos no Brasil. O Ministério da Saúde criou um portal de informações exclusivo para a COVID-19, onde foi obtida a Figura 5 dos casos confirmados.

Figura 5– Site oficial do Ministério da Saúde sobre a COVID-19.



Fonte: Adaptado de (Ministério da Saúde, 2020b).

A medida que o número de casos diagnosticados e de mortes devido a COVID-19 aumentavam, as medidas restritivas e de contenção da doença impactaram o cotidiano da sociedade. Até a escrita deste trabalho, a OMS não reconhecia nenhum remédio ou vacina totalmente eficaz no tratamento da doença. Apesar disso, a OMS recomenda por meios oficiais, algumas medidas de prevenção de contágio:

- Lavar as mãos regularmente com água e sabão ou lave-as com um produto à base de álcool.
- Manter uma distância de pelo menos 1 metro entre você e as pessoas que tosse ou espirram.
- Evitar tocar em seu rosto.
- Cobrir a boca e o nariz ao tossir ou espirrar.
- Ficar em casa se não se sentir bem.
- Evitar fumar e outras atividades que enfraquecem os pulmões.
- Praticar o distanciamento físico evitando viagens desnecessárias e mantendo-se longe de grandes grupos de pessoas.

A última medida, de distanciamento social e proibição de aglomerações, gerou medidas como a restrição dos serviços do setor terciário, redução da mobilidade urbana e adesão ao teletrabalho (em inglês, *home office*). A partir disso, era esperado um impacto econômico na queda de investimentos, falta de pagamentos e incertezas em todos os setores da economia, que afetam diretamente o setor elétrico.

A mensuração da pandemia só é possível a partir da publicação dos dados de novos casos por meio do Ministério da Saúde. Para avaliação do impacto da pandemia no setor elétrico, além dos dados já citados, são necessários os dados do setor elétrico oferecidos pelo ONS. Juntos, esses dados podem ser correlacionados em uma ferramenta estatística que permite esta avaliação.

### 2.3 CORRELAÇÃO – COEFICIENTE DE PEARSON

Correlação é uma ferramenta estatística que dá a medida numérica adimensional de relação entre duas variáveis. O coeficiente de correlação mede o grau de associação que existe entre essas variáveis, que pode ser analisado de maneira de intensidade (forte, fraco) e proporção (diretamente, inversamente) (FIGUEREIDO FILHO, 2009).

O coeficiente de Pearson foi formulado como representação a correlação linear entre duas variáveis a partir da covariância delas (PEARSON, 1905). A fórmula que define este coeficiente é apresentada na Equação (1), para duas variáveis denominadas X e Y.

$$\rho = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Em que:

$\rho$ : coeficiente de correlação de Pearson

$x$ : amostra da variável X

$\bar{x}$ : valor médio da variável X

$y$ : amostra da variável Y

$\bar{y}$ : valor médio da variável Y

O coeficiente  $\rho$  varia no intervalo [-1,1]. Caso  $\rho > 0$ , as variáveis se associam positivamente ou proporcionalmente. Logo, quando X cresce, Y cresce – ou vice-versa. Caso  $\rho < 0$ , as variáveis se associam negativamente ou inversamente. Logo, quando X cresce, Y decresce – ou vice-versa.

Já a análise do módulo de  $\rho$  é variada de acordo com a área de estudo e resultados obtidos. Porém, é possível afirmar pela bibliografia que quanto mais próximo de 1 é o  $|\rho|$ , mais forte é a relação. A partir de Cohen (1998), Shikamura (2006) e Callegari-Jacques (2009) foi formulada a Tabela 1:

Tabela 1– Interpretação do coeficiente de Pearson.

<b>Coeficiente de Pearson</b>	<b>Interpretação</b>
<b><math>0 &lt;  \rho  &lt; 0,05</math></b>	Relação insignificante
<b><math>0,05 &lt;  \rho  &lt; 0,1</math></b>	Relação muito fraca
<b><math>0,1 &lt;  \rho  &lt; 0,35</math></b>	Relação fraca
<b><math>0,35 &lt;  \rho  &lt; 0,65</math></b>	Relação moderada
<b><math>0,65 &lt;  \rho  &lt; 0,9</math></b>	Relação forte
<b><math>0,9 &lt;  \rho  &lt; 1</math></b>	Relação muito forte

Fonte: Adaptado de (Cohen, 1998).

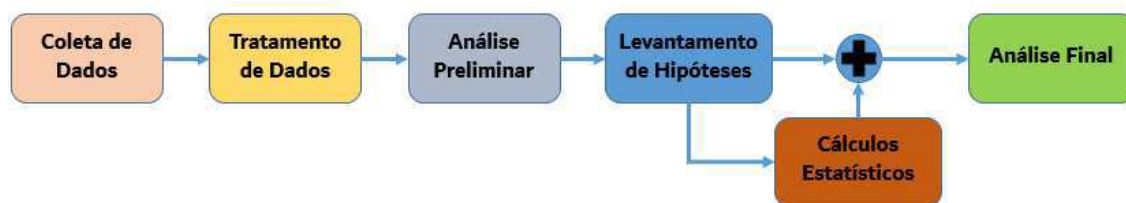
Essa ferramenta de cálculo permite avaliar a relação de variáveis independentemente de quais sejam as unidades de ambas. Isso é uma vantagem quando está analisando-se bancos de dados de naturezas distintas, como dados do setor elétrico e dados epidemiológicos. Além dessa vantagem, os dados não precisam ser necessariamente normalizados. Porém, é necessário ter cuidado com valores de ordens de grandeza muito distintas dentro das amostras da variável, pois isso altera o resultado de maneira considerável. Também é necessário que as variáveis tenham a mesma quantidade de amostras para utilizar este coeficiente.

A partir destas informações, é possível observar vantagens na utilização do coeficiente de Pearson para realizar a análise de dados qualitativa (forte, moderada ou fraca) e quantitativa ( $\rho$ ) dos impactos da pandemia da COVID-19 no setor elétrico, por meio do cálculo da correlação de dados.

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção é apresentada a metodologia adotada no presente trabalho, a qual se propõe a analisar a correlação de dados do setor elétrico e dados da COVID-19 no Brasil, para mensuração do impacto. A metodologia para esta análise é apresentada na Figura 6 por meio de um fluxograma, que começa na coleta dos dados dos órgãos responsáveis até análise final, a partir da análise de hipóteses e cálculos de correlação.

Figura 6 – Metodologia para análise de impactos da pandemia COVID-19 no setor elétrico.



Fonte: Autor.

A metodologia proposta é apresentada de maneira genérica para aplicação de análise de impactos em banco de dados. Na seção posterior, em Resultados, serão esclarecidos mais detalhes sobre a tomada de decisão dentro de cada etapa da Metodologia para este trabalho. A seguir, serão apresentados cada um dos itens do fluxograma de maneira mais ampla.

#### 3.1 COLETA DE DADOS

A coleta do banco de dados é a parte inicial do trabalho de análise de impactos. O banco de dados deve ser formado por variáveis fornecidas por fontes confiáveis que tragam informações concretas sobre a situação analisada. A escolha das variáveis a serem analisadas é subjetiva, mas, dentro da metodologia proposta, se dá preferência a variáveis quantitativas (numéricas) que podem ser mensuradas diretamente.

A informação que os dados trazem varia de acordo com as características das amostras das variáveis coletadas. Entre as características das variáveis, pode-se citar: tipo (ex: Giga-Watt-hora – abrev. GWh), modo de discretização (ex: tempo) e quantidade de amostras.

## 3.2 PRÉ-PROCESSAMENTO

Etapa intermediária entre a coleta de dados e análise preliminar. A partir dos dados, é preciso definir uma ferramenta de pré-processamento de dados para que o banco de dados seja analisado da maneira mais clara para o pesquisador, como a visualização de gráficos e automatização de cálculos.

Os passos seguidos do pré-processamento variam de acordo com os dados coletados e ferramentas utilizadas. É necessário definir as ferramentas de análise e ferramentas de cálculo para definir as etapas do pré-processamento. Dentro destas etapas, são elencadas algumas possibilidades:

- Compatibilidade/Conversão do formato de arquivos entre ferramentas
- Unificação da ferramenta de armazenamento de dados
- Preenchimento de campos vazios no banco de dados
- Necessidade de normalização de valores por questão da ferramenta de cálculo

Após o pré-processamento dos dados coletados, é realizada a análise destes dados.

## 3.3 ANÁLISE PRELIMINAR

Dentro da análise do preliminar, é feita a busca por variações do comportamento dos dados. Essa análise é a base de levantamento de hipóteses que irão ser feitas sobre o banco de dados. O método proposto para análise de impactos é dividido em duas fases: “Busca por Padrão” e “Busca por *Outliers*”. Essas fases podem ser realizadas por inspeção visual do gráfico e reforçadas por cálculos matemáticos.

A fase inicial é a “Busca por Padrão”, basicamente o estudo de onde se concentram a maior parte das informações ou se ao longo do tempo existe alguma mudança brusca de valores. A busca por valores máximos, mínimos e média podem ser úteis nesta análise. Além destes cálculos, podem ser criadas variáveis auxiliares para análise de dados, como a variação relativa entre amostras, descrita na Equação (2).



$$\Delta_n = \frac{|x_n - x_{n-1}|}{|x_n|} \quad (2)$$

Em que:

$\Delta_n$  : variação relativa entre amostras

$x$ : amostra da variável X

$n$ : índice da variável

Logo após é realizada a fase de “Busca por *Outliers*”. Esta fase é a busca *outliers* no banco de dados, ou seja, valores fora do padrão encontrado na fase anterior. O método de busca se assemelha ao anterior e, ao encontrar estes pontos fora do padrão, são levantadas hipóteses sobre este acontecimento tendo conhecimento a natureza das amostras. Além do próprio banco de dados analisado, também devem ser pontuados outros fatos ou fenômenos que podem influenciar nestas variáveis analisadas.

### 3.4 LEVANTAMENTO DE HIPÓTESES

O levantamento de hipóteses faz parte de todo processo de investigação científica. Inerentemente, o investigador faz levantamento de hipóteses e questionamentos e procura evidências para provar as hipóteses verdadeiras ou falsas. Existe também a possibilidade de não existir uma conclusão após o estudo, por falta de evidências que concretizem uma afirmação final.

Neste trabalho, as hipóteses são levantadas a partir da análise do banco de dados e do conhecimento de outros fenômenos/fatos importantes para cada variável. São levantadas hipóteses que relacionem pelo menos duas variáveis estudadas, a fim de entender a sua correlação. Para entender sua correlação e a causa do *outlier* no padrão das amostras, são levantados acontecimento histórico ou até reações físicas que causou um *outlier*, mas hipóteses são validadas por meio dos cálculos estatísticos.

### 3.5 CÁLCULOS ESTATÍSTICOS

A etapa de cálculos estatísticos é realizada baseada nas hipóteses levantadas. A partir das variáveis que envolvem cada hipótese, se realiza um cálculo que justifique a veracidade daquela hipótese ou não.

Na análise estatística deste trabalho, é utilizada a ferramenta do cálculo estatístico do coeficiente de correlação de Pearson. Esta ferramenta permite uma análise de impacto quantitativa e qualitativa para as diferentes variáveis de maneira multivariada. Para cada cálculo, são utilizados grupos com a mesma quantidade de amostras de duas variáveis distintas. Na Equação (3) é estabelecido o critério que uma hipótese H, que envolve duas variáveis X e Y, deve necessariamente gerar cálculos de correlação que envolvem estas mesmas variáveis.

$$H(X, Y) \rightarrow \rho(X, Y) \quad (3)$$

A escolha dos grupos se baseia nos padrões e *outliers* encontrados na Análise Preliminar. Com o resultado dos cálculos do coeficiente de Pearson, são analisadas as hipóteses novamente na etapa de Análise Final.

### 3.6 ANÁLISE FINAL

A análise final dos resultados é o momento de unir os resultados obtidos após uso da ferramenta estatística da Cálculos Estatísticos ao Levantamento de Hipóteses.

Existem 3 possibilidades de análise final para às hipóteses: verdadeira, falsa ou inconclusiva. Caso os dados estatísticos corroborem fortemente com a hipótese e a análise preliminar não indicar nenhum ponto de atenção sobre os dados, a hipótese é tida como verdadeira. Caso os dados estatísticos enfraquecem fortemente a hipótese, ela é tida como falsa. Já a para a hipótese ser tida como “inconclusiva”, os cálculos estatísticos podem corroborar ou enfraquecer a hipótese, mas a análise preliminar indica pontos de atenção importantes; o que indica a necessidade de mais cálculos para conclusão final.

## 4 RESULTADOS

Nesta seção são abordados os resultados obtidos após a aplicação da metodologia apresentada para analisar os impactos da pandemia da COVID-19 no setor elétrico brasileiro. Além dos resultados em si, são realizados alguns comentários acerca deles.

### 4.1 BANCO DE DADOS COVID-19 E SETOR ELÉTRICO

Os dados utilizados neste trabalho foram de duas naturezas: dados epidemiológicos e do setor elétrico. A partir destes dados, foi possível analisar a correlação de variações no comportamento do setor elétrico durante a pandemia da COVID-19.

Para os dados epidemiológicos, foram resgatados os dados disponibilizados pelo Ministério da Saúde até o dia 02/10/2020. Como a definição de pandemia é dado pelo contágio de pessoas, foi utilizado o dado de novos casos por semana epidemiológica no Brasil para mensuração da pandemia. A semana epidemiológica é contada de Domingo a Sábado, por convenção e serve de base temporal para controle de doenças. No Brasil, o primeiro caso de COVID-19 foi registrado na semana epidemiológica 9, a qual englobava o dia 26/02/2020, e a última semana analisada foi a 40, semana do dia 02/10/2020.

Já para os dados referentes ao setor elétrico, foram utilizados os dados presentes na página do Histórico de Operação do ONS. Foi proposta a análise da Carga Semanal, CMO e Energia Armazenada. Essas variáveis foram escolhidas por representarem diferentes partes do setor elétrico: Carga semanal diretamente relacionada ao modo que a energia foi consumida; CMO como o custo operacional foi afetado e a Energia Armazenada como foi afetado o armazenamento de energia elétrica nos reservatórios. Foi organizado o seguinte banco de dados do setor elétrico, apresentadas na Tabela 2. Além da família de dados, foi escolhido analisar o comportamento de cada variável em anos anteriores a pandemia e durante a pandemia, para concretizar os dados calculados (apresentados em seção posterior).

Tabela 2 - Dados coletados do setor elétrico.

<b>Variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Tempo Início</b>	<b>Tempo Final</b>	<b>Escala de tempo</b>
<b>Carga 2015</b>	GWh	01/01/2015	04/10/2015	Semana Operativa
<b>Carga 2016</b>	GWh	01/01/2016	03/10/2016	Semana Operativa
<b>Carga 2017</b>	GWh	01/01/2017	02/10/2017	Semana Operativa
<b>Carga 2018</b>	GWh	01/01/2018	05/10/2018	Semana Operativa
<b>Carga 2019</b>	GWh	01/01/2019	03/10/2019	Semana Operativa
<b>Carga 2020</b>	GWh	01/01/2020	02/10/2020	Semana Operativa
<b>Energia Armazenada</b>	GWh	01/01/2015	02/10/2020	Semana Operativa
<b>Custo Marginal de Operação</b>	R\$/MWh	01/01/2015	02/10/2020	Semana Operativa

Fonte: Adaptado de ONS (2020b).

A semana operativa foi a escala de tempo escolhida para o banco de dados. Isso foi realizado baseado na equivalência com a semana epidemiológica do setor de saúde para o setor elétrico. A convenção do setor é que a semana operativa começa no sábado e termina na sexta-feira. Foi utilizada esta escala de tempo para que os dados pudessem ter a mesma escala de tempo dos dados epidemiológicos.

Além da atenção com a dimensão das variáveis, também foi escolhida a análise a partir de 2015, pois foi quando o ONS consolidou valores de carga do SIN no Histórico de Operação (ONS, 2020b).

É interessante ressaltar que as tabelas oferecidas tanto pelo Ministério da Saúde como também pelo ONS precisaram passar por um tratamento antes de serem utilizadas, pois estavam em formato incompatível para cálculos diretos.

## 4.2 TRATAMENTO DE DADOS

Todo o processo de tratamento de dados e cálculos foi realizado por meio do *Microsoft Excel 2016*.

Na planilha geral de casos de COVID-19 no Brasil, foi necessário o uso de filtros e funções de operações matemáticas para organizar os dados em planilha a parte com os dados das semanas epidemiológicas.

Já para os dados do ONS, houveram outros problemas: variáveis em diagonal e números em formatação diferente. Foi realizada uma rotina computacional para alinhar automaticamente as variáveis em colunas e também realizar a mudança da formatação em português – divide milhar por “.” (ponto) e decimais em “,” (vírgula) – para o padrão Excel – não divide milhar e decimais em “.” (vírgula).

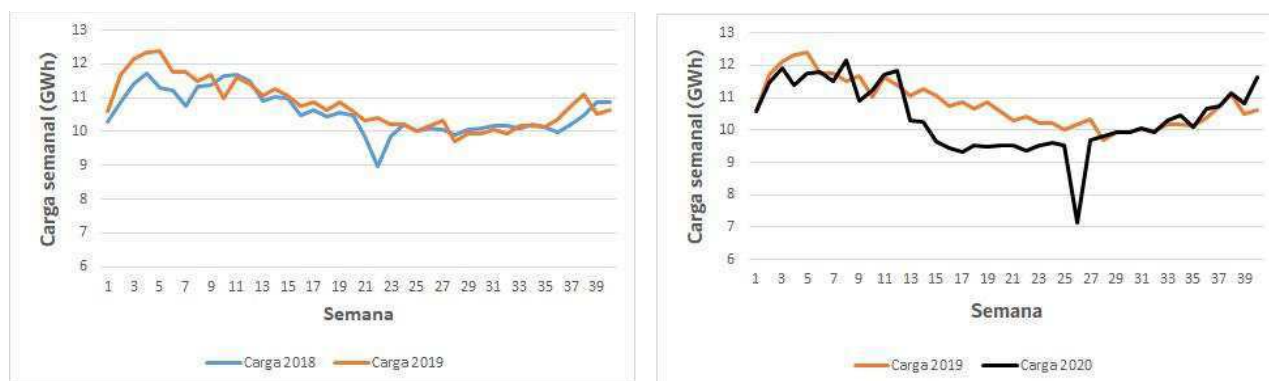
Esta padronização no banco de dados permitiu realizar uma análise por gráficos de maneira mais clara, que possibilita o direcionamento para realização do cálculo do coeficiente de Pearson.

## 4.3 ANÁLISE DO BANCO DE DADOS

Dentro da análise do banco de dados, foi feita a busca por variações do comportamento dos escolhidos do setor elétrico. Esta busca foi realizada por meio de análise visual dos gráficos dos dados e cálculos básicos à procura de informações úteis para serem levantadas hipóteses que justifiquem os cálculos avançados realizados.

Logo, foi realizada a inspeção nos dados de carga média semanal no banco de dados desde de 2015. Foi notado que as cargas eram muito semelhantes a anos anteriores, mas em 2020 houve um comportamento diferente no segundo semestre. Para melhor visualização deste comportamento, é possível observar na Figura 7, como os gráficos de carga mensal de 2018 se assemelha a 2019, mas, de 2019 para 2020, existe um distanciamento notável das curvas a partir da semana 11 até a semana 27.

Figura 7 - Comparação de carga semanal 2018/2019 com 2019/2020.

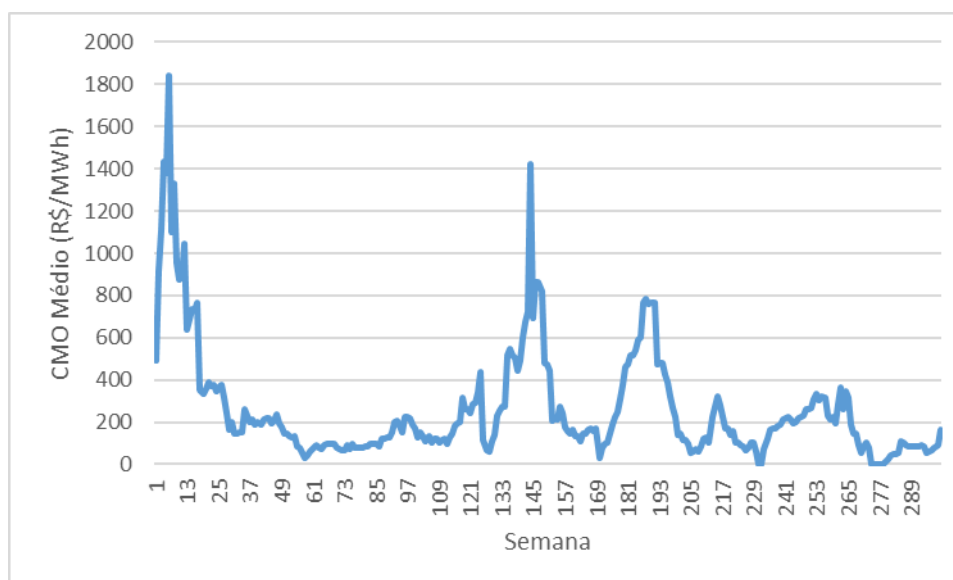


Fonte: Adaptado de ONS (2020b).

O período desta mudança é coincidente ao período do início da pandemia da COVID-19, o que indica uma possível relação entre os fatos. Neste mesmo período, ocorreu a maior queda de carga dos últimos 5 anos de uma semana em relação a outra (25<sup>a</sup> e 26<sup>a</sup> de 2020), com uma variação relativa de -25%.

Além da carga temporal, foi possível observar uma mudança no comportamento do CMO médio do setor elétrico brasileiro. Na Figura 8, é representado o CMO médio de 2015 a 2020.

Figura 8 - CMO médio do SIN de 2015 a 2020.

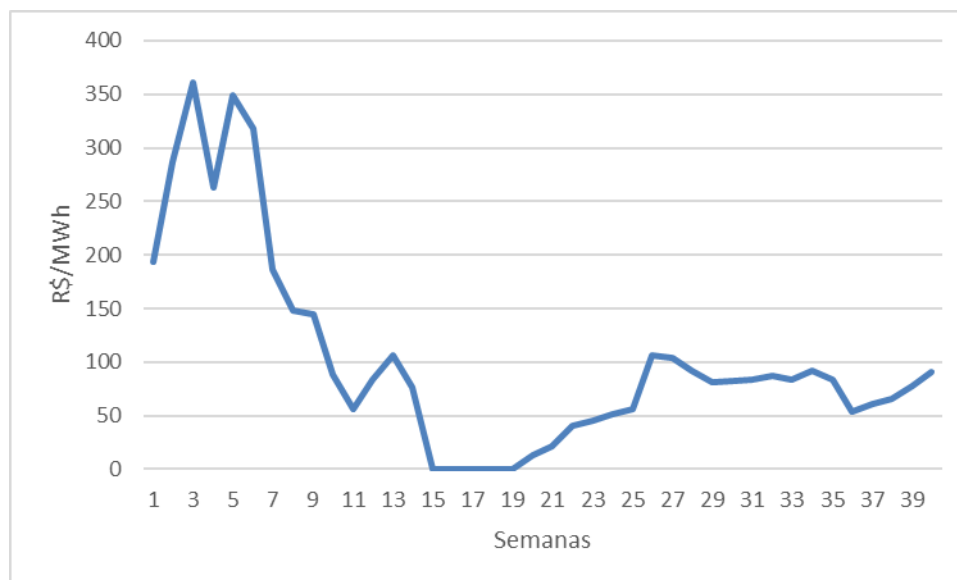


Fonte: Adaptado de ONS (2020b).

É possível observar que ao longo dos anos, o valor tem uma tendência de queda, porém, o único momento que o CMO é praticamente zerado por 4 semanas operativas

seguidas (15 a 19) é durante a pandemia da COVID-19 (após a 9ª semana), como destacado na Figura 9.

Figura 9 – CMO médio do SIN em 2020.

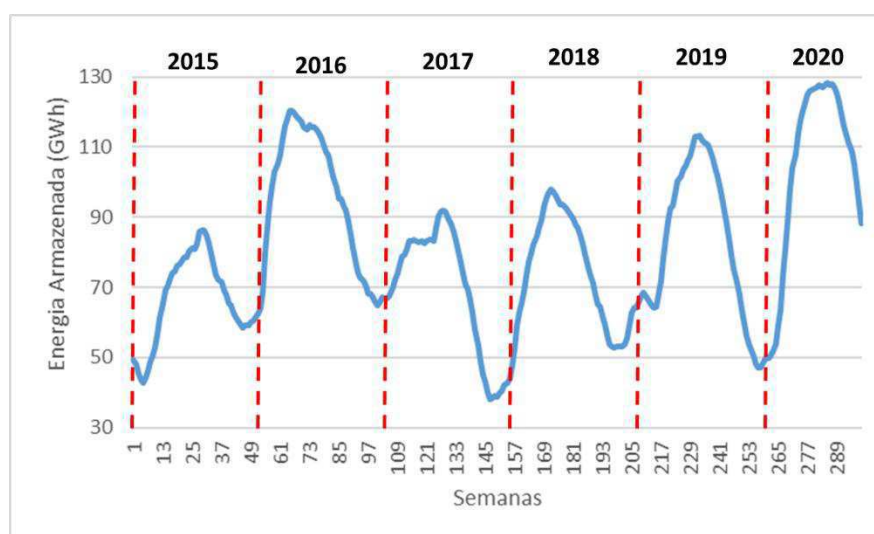


Fonte: Adaptado de ONS (2020b).

Apesar da coincidência de tempo da ocorrência do CMO zerar, é necessário analisar algum outro fator que podem influenciar nesta variável, o que se torna um ponto de atenção. Como o setor elétrico brasileiro tem 2/3 de sua matriz geradora é hidrelétrica, é esperado que quanto mais se tenha disponibilidade de energia dos reservatórios, mais barato o custo de geração de energia para o setor. Na Figura 10, é mostrado a energia armazenado nos reservatórios brasileiros ligados ao ONS e é possível identificar um padrão ano a ano de alta energia armazenada no período de março a junho o pico.

É interessante notar que o pico de Energia Armazenada em 2020 chega a seu pico mais alto dos últimos 6 anos, observado também na mesma época da pandemia da COVID-19. Apesar disso, também é necessário ressaltar que não foram coletados dados hidrológicos/pluviométricos neste banco de dados. Estes dados podem ser necessários para uma visualização mais precisa da real causa desta alta.

Figura 10 - Energia Armazena no SIN de 2015 a 2020.



Fonte: Adaptado de ONS (2020b).

#### 4.4 HIPÓTESES SOBRE O IMPACTO DA COVID-19 NO SETOR ELÉTRICO

A partir das análises preliminares do banco de dados após pré-processamento, pode ser observado padrões de acontecimentos ciclos nas variáveis e comportamentos inesperados durante a foram levantadas as seguintes hipóteses, apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Hipóteses levantadas.

Número indicador	Hipótese
<b>I</b>	A carga do ano posterior é <u>fortemente</u> relacionada com a do ano anterior, com tendência a poucas variações ano a ano
<b>II</b>	A carga de cada semestre do ano posterior é <u>fortemente</u> relacionada com a equivalente do ano anterior, com tendência a poucas variações ano a ano
<b>III</b>	A propagação COVID-19 impactou <u>negativamente</u> no setor elétrico, pois mudou alterou o padrão de carga



<b>IV</b>	A propagação COVID-19 impactou de <u>diferentes formas</u> o setor elétrico em escalas de tempo menores
<b>V</b>	A Energia Armazenada está relacionada <u>forte ou moderadamente</u> com o CMO, pois com mais nível de água nos reservatórios, mais barato o CMO
<b>VI</b>	O CMO de 2020 foi impactado pela pandemia da COVID-19
<b>VII</b>	A relação de CMO e Energia armazenada foi <u>alterada</u> em 2020 por conta da COVID-19
<b>VIII</b>	A relação entre Energia Armazenada e COVID-19 pode ser <u>forte</u> , pois podemos ter mais Energia Armazenada por uma diminuição de carga causada pela pandemia.
<b>IX</b>	A Carga em 2020 pode estar <u>fortemente</u> relacionada ao CMO, com a diminuição de carga, podemos diminuir o custo para energia adicional
<b>X</b>	A Carga em 2020 pode estar <u>fortemente</u> relacionada com a Energia Armazenada; com a diminuição da carga, mais energia está armazenada nos reservatórios.

Fonte: Autor.

As hipóteses levantadas, foram a base para formulação dos cálculos estatísticos e posteriores resultados.

## 4.5 DEFINIÇÃO DOS CÁLCULOS DO COEFICIENTE DE PEARSON

A etapa de cálculos estatísticos foi realizada com a finalidade de aplicar a ferramenta estatística proposta (coeficiente de correlação de Pearson) para validar ou não as hipóteses levantadas dentro da análise do banco de dados. Para cada hipótese, existe uma etapa de cálculo.

Primeiramente, foi realizada a correlação de dados de cargas médias semanais dos últimos seis anos. O cálculo da correlação foi feito de “Ano seguinte vs. Ano anterior” (ex: 2016 vs. 2015). Não foram utilizados os dados das 52 semanas de 2015 a 2019, para que a análise fosse equivalente com 2020 (ano corrente na escrita deste trabalho), analisando o intervalo da semana 1 a 40.

Após isso, foi realizado o cálculo de correlação dos mesmos dados, mas observando a correlação do comportamento trimestral da carga de “Semestre X Ano seguinte vs. Semestre X Ano anterior” (ex: 1º Semestre 2016 vs. 1º Semestre 2015). Era esperado que o padrão de correlação fosse forte nestas duas primeiras etapas de cálculos, mas com correlação menor entre 2019 e 2020.

A próxima etapa seria incluir uma análise de correlação entre a carga e os novos casos semanais de COVID-19 no Brasil. Era esperado que a medida que os casos aumentassem, a carga diminuísse, gerando uma correlação negativa. Porém, foi analisado na inspeção do banco de dados, um comportamento de carga em 2020 parecido com 2019 e isso pode significar um coeficiente de correlação diferente entre carga e casos de COVID-19 em janelas de tempo menores. Por isso, foi também realizada a análise bimestral dos dados durante a pandemia.

Já para o CMO e Energia Armazenada, foi realizado um cálculo de coeficiente de correlação dos dados de ambos desde de 2015 a 2020. Este resultado seria comparado com o mesmo cálculo, mas analisado na janela de tempo da COVID-19 (9ª a 40ª semana). Caso houvesse uma diminuição nessa relação, poderíamos relacionar como uma consequência da pandemia. Para afirmar isso, foi calculada a correlação de casos da COVID-19 com CMO e Energia Armazenada.

Por fim, foi realizado o cálculo de correlação da carga com CMO e Energia Armazenada para fazer uma comparação com a etapa anterior. A carga poderia influenciar mais no CMO e Energia Armazenada do que a COVID-19 necessariamente e isso poderia ser mostrado a partir do coeficiente de correlação de Pearson.

Em resumo, as etapas de cálculo são apresentadas na Tabela 4 e correspondem as hipóteses levantadas na seção anterior. Cada grupo de variáveis foi amostrada de maneira igual para poder ser realizado o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson.

Tabela 4 - Etapas de cálculo de correlação.

<b>Etapa</b>	<b>Variável 1</b>	<b>Variável 2</b>	<b>Quantidade de amostras</b>	<b>Escala de tempo</b>
<b>I</b>	Carga Ano Anterior	Carga Ano Seguinte	40	Semana
<b>II</b>	Carga Semestre Ano Anterior	Carga Semestre Ano Seguinte	13	Semana
<b>III</b>	Carga 2020	Casos COVID-19	31	Semana
<b>IV</b>	Carga 2020 Bimestre	Casos COVID-19 Bimestre	8	Semana
<b>V</b>	CMO	Energia Armazenada	300	Semana
<b>VI</b>	CMO 2020	Energia Armazenada 2020	31	Semana
<b>VII</b>	Casos COVID-19	CMO 2020	31	Semana
<b>VIII</b>	Casos COVID-19	Energia Armazenada 2020	31	Semana
<b>IX</b>	Carga 2020	CMO 2020	31	Semana
<b>X</b>	Carga 2020	Energia Armazenada 2020	31	Semana

Fonte: Autor.

É interessante ressaltar que para as Etapas I e II foram realizados os cálculos de 5 coeficientes de correlação. Já para a Etapa IV foram 3 cálculos de coeficiente de correlação. Nas demais etapas, foram realizados 1 cálculo para cada. Totalizando 20 coeficientes de Pearson calculados.

Por meio dos cálculos realizados, foram obtidos os resultados e observadas as conclusões sobre impactos da pandemia da COVID-19 no setor elétrico brasileiro. Desta maneira, foi possível analisar tanto o cenário geral dos impactos em diferentes áreas do setor elétrico, como também analisar o impacto em escalas de tempo menores, para cenários específicos.

## 4.6 RESULTADOS FINAIS E ANÁLISES

Foi realizado o cálculo de correlação do coeficiente de Pearson da carga de energia de anos anteriores vs. anos posteriores de 2015 a 2020, como apresentado na Tabela 5. Como o ano de 2020 ainda acontece durante a escrita deste trabalho, foram realizados os cálculos para os 3 primeiros trimestres de cada ano para a equivalência da análise do coeficiente de correlação.

Tabela 5– Correlação de carga ano a ano.

<b>Ano A vs. Ano B</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b>Classificação</b>
<b>2015 vs 2016</b>	0,770	Positivamente Forte
<b>2016 vs 2017</b>	0,737	Positivamente Forte
<b>2017 vs 2018</b>	0,807	Positivamente Forte
<b>2018 vs 2019</b>	0,817	Positivamente Forte
<b>2019 vs 2020</b>	0,690	Positivamente Forte

Fonte: Autor.

É possível observar que, apesar de permanecer uma correlação forte, a relação entre carga de 2019 vs 2020 é a mais fraca dos últimos 5 anos. Isso corrobora com a hipótese I.

Para analisar a janela de tempo a partir do surgimento da COVID-19 no Brasil, é mostrado na Tabela 6 um cálculo análogo a partir da 14ª semana de cada ano até a 40ª semana, que se equivale a 1 semestre do ano.

Tabela 6– Correlação de carga ano a ano na janela de tempo da COVID-19 no Brasil.

<b>Ano A vs. Ano B</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b>Classificação</b>
<b>2015 vs 2016</b>	0,774	Positivamente Forte
<b>2016 vs 2017</b>	0,631	Positivamente Moderada
<b>2017 vs 2018</b>	0,623	Positivamente Moderada
<b>2018 vs 2019</b>	0,654	Positivamente Forte
<b>2019 vs 2020</b>	0,219	Positivamente Fraca

Fonte: Autor.

A variação nessa janela de tempo demonstra uma forte mudança na carga em 2020 neste semestre, diferentemente dos últimos 5 anos que a análise é muito similar independentemente da janela de tempo analisada. A mudança na tendência da carga semanal indica que existe uma diversificação no padrão dentro do setor elétrico durante a janela de tempo da COVID-19 em 2020, que indica um provável impacto correlacionado as mudanças socioeconômicas causadas pela pandemia. A hipótese II é validada, pois é notada a tendência de correlação forte ano a ano.

Para validar essa observação, foi calculada a correlação da carga semanal do SIN com os novos casos de COVID-19 no Brasil. Os resultados são apresentados na Tabela 7.

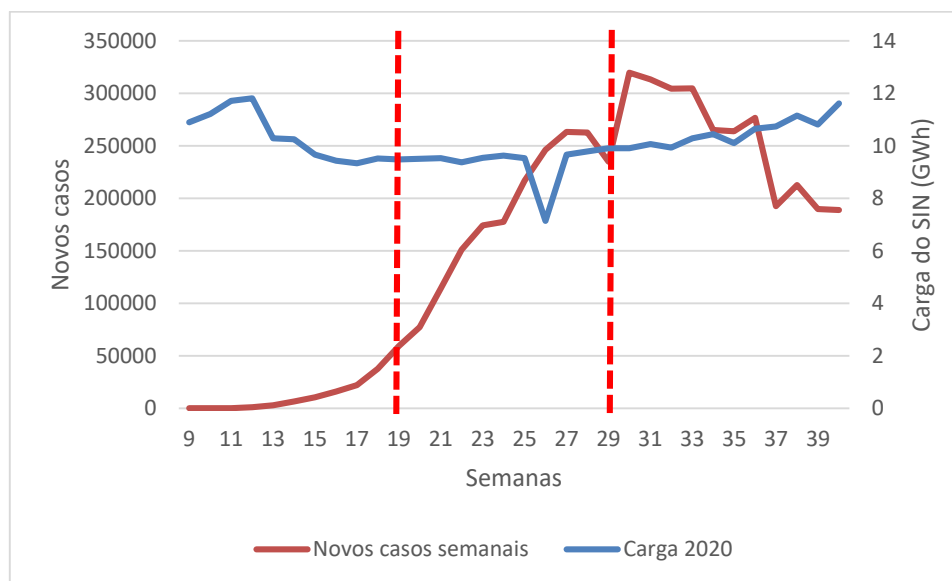
Tabela 7 - Correlação da carga de energia elétrica em 2020 vs casos de COVID-19 no Brasil.

<b>Janela de tempo</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b>Classificação</b>
<b>9ª a 40ª semana</b>	- 0,183	Negativamente Fraca
<b>1º bimestre</b>	- 0,765	Negativamente Forte
<b>2º bimestre</b>	- 0,240	Negativamente Fraca
<b>3º bimestre</b>	- 0,755	Negativamente Forte

Fonte: Autor.

Todos os resultados apresentados representam uma tendência oposta da pandemia da COVID-19 e Carga Semanal do SIN. Na análise de todo período, é classificada a relação como fraca, mas apenas no segundo bimestre também é possível classificar a relação como fraca. Na Figura 11, pode ser visto que no primeiro bimestre, a tendência de casos era crescente e de carga decrescente, o que gera a correlação negativa forte. Já no segundo bimestre a carga tem tendência a estabilizar e os casos crescem exponencialmente, o que causa correlação fraca. No terceiro bimestre, tem-se o número de casos com tendência a queda e a carga com tendência de crescimento, o que causa uma nova correlação negativa forte, mas totalmente oposta a primeira.

Figura 11– Casos semanais de COVID-19 e carga do SIN, separados por bimestre.



Fonte: Autor.

É possível observar que a partir do segundo bimestre, existiu uma retomada das atividades socioeconômicas como reabertura das atividades do setor de serviços com os cuidados sanitários como limite de pessoas dentro de determinados locais, obrigatoriedade do uso de máscara e presença de álcool-gel nos estabelecimentos. Neste mesmo período, ocorreu a maior queda de carga dos últimos 5 anos de uma semana em relação a outra (25-26), com uma variação de -25%. O fato das variações do comportamento dos dados não seguirem um padrão (seja diretamente ou inversamente proporcional), faz com que ao longo do tempo a sua correlação diminua. As hipóteses III e IV são validadas com estes resultados.

Além das análises de carga e COVID-19, foi notado o comportamento de queda brusca do CMO e um pico de Energia Armazenada durante o período da pandemia. A partir dos dados de CMO médio e Energia Armazenada no SIN, foi calculada a correlação entre eles desde 2015 até a data de coleta de dados. A Tabela 8 representa o resultado obtido.

Tabela 8 - Correlação entre CMO e Energia Armazenada nos últimos anos.

Janela de tempo	$\rho$	Classificação
300 semanas	- 0,542	Negativamente Moderada

Fonte: Autor.

Este resultado era esperado, pois a matriz energética é predominantemente hidráulica e quanto mais energia em seus reservatórios, menor custo ou dependência para

gerar mais energia de outras matrizes para suprir a carga de energia. Não era esperado um resultado forte, pois a fonte hidrelétrica representa cerca de 2/3 da matriz energética, logo, era esperado que o valor menor ou igual -0,667, o que valida a hipótese V.

A partir dessa relação, foram feitos cálculos para a janela de tempo da COVID-19. Foi calculada a correlação também para os dados de contágio da doença e da carga no sistema. Obtendo-se resultados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Correlação entre CMO, Energia Armazenada e COVID-19 em 2020.

Variáveis	$\rho$	Classificação
<b>COVID-19 vs CMO</b>	0,547	Positivamente Moderada
<b>COVID-19 vs Energia Armazenada</b>	0,119	Positivamente Fraca
<b>CMO vs Carga 2020</b>	0,244	Positivamente Fraca
<b>Energia Armazenada vs Carga 2020</b>	- 0,755	Negativamente Forte
<b>CMO vs Energia Armazenada</b>	- 0,309	Negativamente Fraca

Fonte: Autor.

Deste modo, é possível observar uma queda na relação entre Energia Armazenada e CMO diminui, sendo classificada como fraca. Esta observação contribui para validar a hipótese VII, porém a diferença de outros fatores, como a correlação da COVID-19 com CMO, não permite afirmar com certeza a sua veracidade. Desse resultado também se conclui que a hipótese VI é parcialmente verdadeira / inconclusiva.

Já para a análise de correlação da Energia Armazenada com dados da COVID-19, o resultado é contrário ao esperado. Sendo a correlação entre os dados fraca, a hipótese VIII é falsa. Dentro da mesma linha de raciocínio para analisar os dados de CMO 2020 e Energia Armazenada 2020, a hipótese IX também é falsa.

Um resultado que se mostrou promissor foi o cálculo do coeficiente de correlação da Carga 2020 com a Energia Armazenada. Junto a correlação forte, é possível afirmar que a hipótese X é verdadeira. Porém, a análise de dados hidrológicos junto a esses dados é ideal para que se tome uma decisão definitiva para tal conclusão, como relatado na análise preliminar. Casos os níveis hidrológicos das bacias que alimentam os reservatórios não estivessem fortemente relacionados com a energia armazenada, a possibilidade desta afirmação ser verdadeira seria maior. Neste, o correto é afirmar que a hipótese é verdadeira em partes, mas não conclusiva.

A partir destes resultados, são revistas as hipóteses levantadas e analisadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Análise das hipóteses levantadas.

<b>Número indicador</b>	<b>Hipótese</b>	<b>Análise</b>
<b>I</b>	A carga do ano posterior é <u>fortemente</u> relacionada com a do ano anterior, com tendência a poucas variações ano a ano	Verdadeira
<b>II</b>	A carga de cada semestre do ano posterior é relacionada com a equivalente do ano anterior, com tendência a poucas variações ano a ano	Verdadeira
<b>III</b>	A propagação COVID-19 impactou <u>negativamente</u> no setor elétrico, pois mudou alterou o padrão de carga	Verdadeira
<b>IV</b>	A propagação COVID-19 impactou de <u>diferentes formas</u> o setor elétrico em escalas de tempo menores	Verdadeira
<b>V</b>	A Energia Armazenada está relacionada <u>forte ou moderadamente</u> com o CMO, pois com mais nível de água nos reservatórios, mais barato o CMO	Verdadeira
<b>VI</b>	O CMO de 2020 foi impactado pela pandemia da COVID-19	Inconclusiva



<b>VII</b>	A relação de CMO e Energia armazenada foi <u>alterada</u> em 2020 por conta da COVID-19	Inconclusiva
<b>VIII</b>	A relação entre Energia Armazenada e COVID-19 pode ser <u>forte</u> , pois podemos ter mais Energia Armazenada por uma diminuição de carga causada pela pandemia.	Falsa
<b>IX</b>	A Carga em 2020 pode estar <u>fortemente</u> relacionada ao CMO, com a diminuição de carga, podemos diminuir o custo para energia adicional	Falsa
<b>X</b>	A Carga em 2020 pode estar <u>fortemente</u> relacionada com a Energia Armazenada; com a diminuição da carga, mais energia está armazenada nos reservatórios.	Inconclusiva

Fonte: Autor.

As hipóteses verificadas por meio da análise estatística do coeficiente de correlação de Pearson são o resultado final da metodologia de análise de impacto proposta. A partir das hipóteses é possível retirar informações concretas sobre o impacto da pandemia da COVID-19 no setor elétrico brasileiro de maneira geral e também de maneira particular, na análise de diferentes cenários. Estas informações confirmam expectativas e reduzem incertezas com relação ao impacto da pandemia no setor elétrico, por meio de uma análise geral da situação, como também possibilita a análise de cenários específicos. Dessa maneira, órgãos e instituições do setor elétrico podem aplicar esta metodologia para análise de impacto e planejar melhor suas respostas em outros cenários semelhantes.

## 5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma análise dos impactos da COVID-19 no setor elétrico brasileiro de maneira quantitativa e qualitativa. Foi possível observar que o impacto geral da pandemia é negativo para na carga do setor elétrico, com mais força no início da pandemia, mas desde do segundo bimestre de pandemia, a tendência é de que a correlação entre o carga e novos casos da doença enfraqueça. O impacto em outras partes do setor elétrico também foi sentido, mas é necessária uma análise mais profunda para que se confirmem mais hipóteses.

O uso do coeficiente de correlação de Pearson se mostrou eficaz para a análise, pois permitiu quantificar a diferença da relação histórica de dados do setor elétrico e a relação atual. Além da quantificação, a análise qualitativa auxilia na análise de hipóteses relacionadas aos impactos reais do setor elétrico no período da pandemia.

Por fim, a metodologia de análise proposta se mostrou de factível e plausível com resultados concretos. A aplicação da metodologia com um banco de dados maior, pode permitir ainda mais afirmações sobre o impacto da pandemia da COVID-19 no setor elétrico, mas também pode ser utilizada em situações de mensuração de impacto de cenários semelhantes – como outros fenômenos de impacto global. Entender as características do impacto pode prevenir erros de tomada de decisão e gerar respostas mais eficazes em outros cenários semelhantes.

## 6 TRABALHOS FUTUROS

A proposta para trabalhos futuros é buscar alinhar a metodologia com algoritmos de inteligência artificial para tomada de decisão automática a partir da análise de impactos dos dados. Além disso, seria viável analisar o nível dos reservatórios (oferecido pelo ONS) e calcular a correlação com as variáveis CMO, Energia Armazenada e casos de COVID-19 neste período de tempo. Por último, a busca por métodos estatísticos alternativos para análise deste mesmo banco de dados para corroborar com os resultados e conclusões apresentadas é uma outra proposta de trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. 2020a. **Como funciona o Setor Elétrico Brasileiro?**. Disponível em <[https://www.aneel.gov.br/home?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_returnToFullPageURL=%2F&\\_101\\_assetEntryId=14476909&\\_101\\_type=content&\\_101\\_groupId=654800&\\_101\\_urlTitle=faq&inheritRedirect=true](https://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F&_101_assetEntryId=14476909&_101_type=content&_101_groupId=654800&_101_urlTitle=faq&inheritRedirect=true)> Acessado em 10/11/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. 2020b. **A ANEEL**. Página Inicial. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/a-aneel>> Acessado em: 09/11/2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. 2020. **Coronavírus Brasil**. Disponível em <<https://covid.saude.gov.br/>> Acessado em: 04/10/2020.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. 2020a. **Onde atuamos - Com quem se relaciona?**. Disponível em <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/com\\_quem\\_se\\_relaciona?\\_afLoop=496094918103578&\\_adf.ctrl-state=2yawbbb4u\\_1#!%40%40%3F\\_afLoop%3D496094918103578%26\\_adf.ctrl-state%3D2yawbbb4u\\_5](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/com_quem_se_relaciona?_afLoop=496094918103578&_adf.ctrl-state=2yawbbb4u_1#!%40%40%3F_afLoop%3D496094918103578%26_adf.ctrl-state%3D2yawbbb4u_5)> Acessado em: 24/10/2020.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. 2020b. **Razão de Ser. A CCEE**. Disponível em <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/quem-somos/razao-de-ser?\\_adf.ctrl-state=11gh81ac03\\_59&\\_afLoop=497050942062862#!](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/quem-somos/razao-de-ser?_adf.ctrl-state=11gh81ac03_59&_afLoop=497050942062862#!)> Acessado em 10/11/2020.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Tradução. [s.l.] Artmed Editora, 2009.

COHEN, Jacob. 1988. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ, Erlbaum.

FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. Relatório de Perspectiva Econômica Mundial. **“A long and difficult ascent”**. Outubro de 2020. Disponível em:

<<https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/09/30/world-economic-outlook-october-2020>> Acessado em: 04/11/2020.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre da. **Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)**. 2009.

GREENBERG, Raymond S.; DANIELS, Stephen R.; FLANDERS, W. Dana; Eley, JOHN WILLIAM; Boring, III, John R (2005). **Epidemiologia Clínica** 3ª ed. Porto Alegre: Artmed. p. 18. ISBN 85-363-0159-7

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Histórico de Operação. **Curva de Carga Horária**. 2020a. Disponível em <[http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/curva\\_carga\\_horaria.aspx](http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/curva_carga_horaria.aspx)> Acessado em 28/10/2020.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Histórico de Operação**. Página Inicial. 2020b. Disponível em <<http://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao4>> Acessado em: 24/10/2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **COVID-19 International Dashboard**. 2020. Disponível em: <[https://covid19.who.int/?gclid=Cj0KCQjw59n8BRD2ARIsAAmgPmIPBxU6Nckbe9NkqFmnufeUIMeL2BF4JUxGrkKyhgJ-X0\\_-8xLVROUaAk5rEALw\\_wcB](https://covid19.who.int/?gclid=Cj0KCQjw59n8BRD2ARIsAAmgPmIPBxU6Nckbe9NkqFmnufeUIMeL2BF4JUxGrkKyhgJ-X0_-8xLVROUaAk5rEALw_wcB)> Acessado em: 24/10/2020.

QUEIROZ, P.V.S.D.E. **Mensuração do consumo de energia elétrica: algoritmo para detecção de potenciais usuários da termoacumulação como alternativa para o deslocamento de carga**. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2011.

PEARSON, Karl. **On the general theory of skew correlation and non-linear regression**. Dulau and Company, 1905.

SHIMAKURA, S.E. **Coeficiente de determinação**. 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/>>. Acessado em: 27 de outubro de 2020.