

**UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO E INFORMÁTICA
CURSO DE TECNOLOGIA EM CIÊNCIAS DE DADOS**

IZAQUE NAZARENO DE MELO SOUZA

**COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE CARGA DE ENERGIA ELÉTRICA DOS
ANOS DE 2011 E 2021 DO SUBSISTEMA SUDESTE / CENTRO-OESTE
BRASILEIRO**

SÃO PAULO

2022

IZAQUE NAZARENO DE MELO SOUZA

**COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE CARGA DE ENERGIA ELÉTRICA DOS
ANOS DE 2011 E 2021 DO SUBSISTEMA SUDESTE / CENTRO-OESTE
BRASILEIRO**

Trabalho apresentado como requisito para obtenção de nota na disciplina Projeto Aplicado I do curso de Tecnologia em Ciências de Dados da Universidade Presbiteriana Mackenzie, ministrada pelo professor Leonardo Massayuki Takuno.

SÃO PAULO

2022

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar o perfil de consumo do subsistema sudeste / centro-oeste nos anos de 2011 e 2021. Para isso foi realizado uma análise exploratória de dados da demanda de energia elétrica para criação da curva de carga horária de cada ano. A análise investigou possíveis mudança de hábito no consumo de energia ao longo do dia, através de gráficos de linhas, e o crescimento da demanda de energia por meio de gráficos boxplot. Durante a análise do resultado, o consumo de energia durante o dia se manteve o mesmo para cada ano, em relação ao aumento do consumo, foi observado o crescimento do consumo no ano de 2021 em relação ao de 2011 ao analisar o posicionamento da mediana e dos quartis do gráfico boxplot. Aproveitando a metodologia utilizada para criar a curva de carga, foi verificado como eventos que afetam a rotina dos consumidores refletem na curva de carga, para isso foi analisado o primeiro jogo da Seleção brasileira na copa do mundo de 2022. Foi observado uma queda no consumo de energia elétrica em comparação ao mesmo período na semana anterior ao jogo.

Palavras-chave: Curva de carga. Análise exploratória de dados. Boxplot.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de gráfico de linha 2D.	17
Figure 2 - Exemplo de gráfico boxplot.	17
Figura 3 - Exemplo de curva de carga de energia.....	18
Figure 4 - Forma de disponibilização dos dados.	19
Figure 5 - Consumo de energia elétrica mensal.....	22
Figure 6 - Consumo de energia elétrica diário.....	23
Figura 7 - Curva de carga referente ao ano 2011.	23
Figura 8 - Curva de carga referente ao ano 2021.	24
Figura 9 - Unificação da curva de carga 2011 e 2021.....	24
Figura 10 - Análise do crescimento do consumo de energia.....	25
Figura 11 - Comparação da curva de carga no dia do jogo do Brasil.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados da Curva de carga horária do ano de 2021.....	20
Tabela 2 - Dicionário dos dados.....	20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO	16
2.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS	16
2.2.1 Gráfico de linhas 2D.....	16
2.2.2 Gráfico <i>boxplot</i>	17
3 BASE DE DADOS	19
3.1 OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO	19
4 RESULTADO E DISCUSSÃO	22
5 CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

Conhecer o perfil de consumo de energia elétrica tem se tornado, cada vez mais, uma estratégia para enfrentar problemas que vão desde a geração de energia até o consumo final dos clientes. O perfil de consumo auxilia o planejamento, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, através dele é possível realizar estudos de previsão de carga futuro (MILKE, 2019), detecção de furto de energia e implicações no faturamento das concessionárias de energia (PAULO, 2020).

Aliado a esse tema, a análise exploratória de dados é utilizada como ferramenta com o objetivo de explorar, investigar e aprender através de conjuntos de dados. Com essa técnica é possível encontrar anomalias em seus dados, como valores discrepantes ou observações incomuns, descobrir padrões, compreender relações potenciais entre variáveis e gerar questões ou hipóteses interessantes que podem ser testadas posteriormente usando métodos estatísticos mais formais.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise exploratória de dados da demanda de energia elétrica do subsistema sudeste / centro-oeste brasileiro nos anos de 2011 e 2021, verificando se houve mudanças no hábito de consumo de energia elétrica ao longo do dia. Para isso, será criada a curva de carga horária que representa o perfil de consumo da energia elétrica ao longo do dia. Além disso, será analisado o crescimento do consumo de energia elétrica através do gráfico boxplot, observado o deslocamento da mediana e dos quartis em relação do consumo de energia para cada ano.

Aproveitando a metodologia utilizada para criação da curva de carga, será verificado como o perfil de consumo de energia se comporta em eventos que alteram a rotina dos consumidores, com esse intuito, será verificado como o primeiro jogo da Seleção Brasileira na Copa do Mundo de 2022 alterou o perfil de carga.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO

Neste capítulo serão tratados os assuntos utilizados para o desenvolvimento das atividades e análise dos resultados. Inicialmente será abordado a análise exploratória de dados e a importância no pré-processamento dos dados para uma análise mais assertiva sobre o problema. Posteriormente será tratado sobre o consumo de carga elétrica ao longo do dia, o gráfico que representa esse comportamento, a curva de carga horária.

2.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS

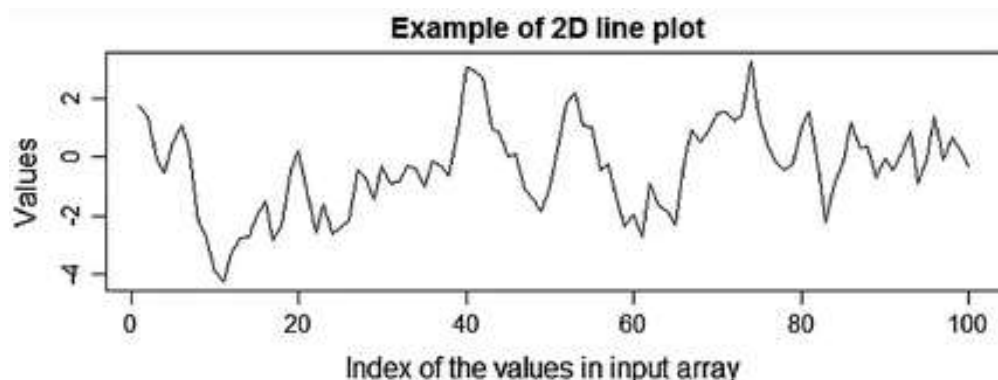
O principal objetivo da Análise Exploratória de Dados (EDA) é ajudar a analisar os dados antes de fazer qualquer suposição. Ele pode ajudar a identificar erros óbvios, bem como entender melhor os padrões nos dados, detectar outliers ou eventos anômalos, encontrar relações interessantes entre as variáveis. É uma etapa fundamental em qualquer análise de pesquisa, pode fornecer ferramentas para geração de hipóteses, visualizando e compreendendo os dados geralmente por meio de representação gráfica (KOMOROWSKI et al., 2016).

A maioria das técnicas EDA são de natureza gráfica com algumas técnicas quantitativas. A razão para a forte dependência de gráficos é que, por sua própria natureza, o principal papel do EDA é explorar, e os gráficos dão aos analistas um poder incomparável para fazer isso, enquanto estão prontos para obter informações sobre os dados. Dentre os gráficos mais recorrente, cita-se o gráfico de linha e o gráfico *boxplot* onde se consegue sintetizar boa parte das informações para análise do problema.

2.2.1 Gráfico de linhas 2D

Os gráficos de linha representam graficamente os valores de uma matriz no eixo y, em intervalos regulares no eixo x.

Figura 1 - Exemplo de gráfico de linha 2D.



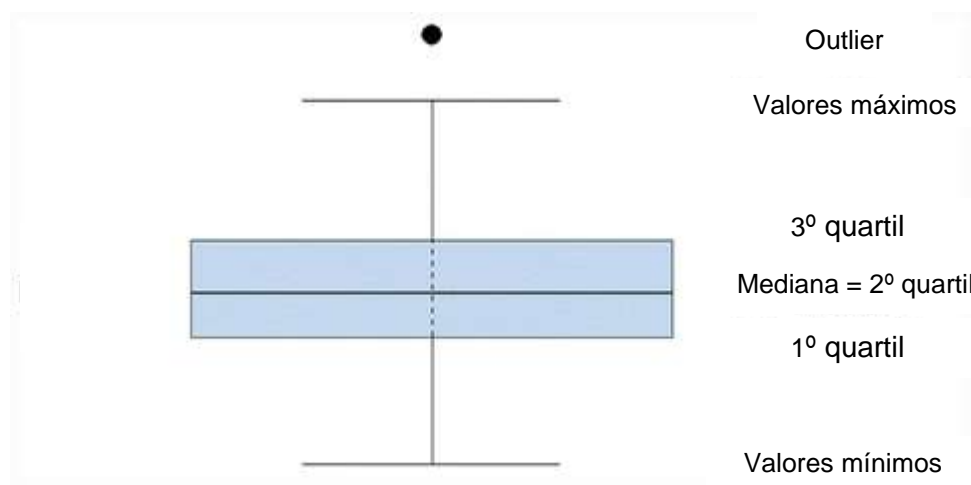
Fonte: KOMOROWSKI et al. (2016)

Estes tipos de gráficos são recomendados para representar conjuntos de dados em que uma das variáveis é contínua, como por exemplo o tempo, sempre apresentado no eixo das abscissas.

2.2.2 Gráfico *boxplot*

O diagrama de caixa, também conhecido como gráfico *boxplot*, é um gráfico formado por uma caixa, limitada por quartis, o qual concentra 50% dos dados observados dentro da caixa, sendo que a esquerda da borda inferior fica 25% dos dados e à direita da borda superior ficam os 25% restante. A mediana é representada por um risco dentro da caixa, e nas suas bordas inferior e superior posicionam-se, respectivamente, o 1º e o 3º quartil.

Figure 2 - Exemplo de gráfico *boxplot*.



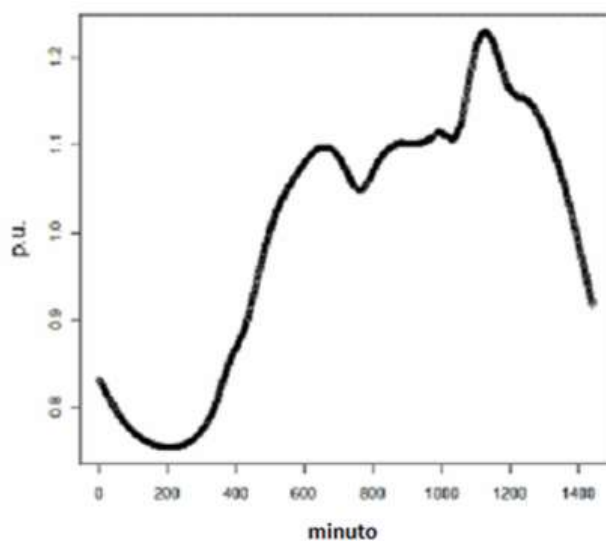
Fonte: KOMOROWSKI et al., adaptado (2016)

O comprimento da caixa é representado pela diferença entre os valores do 1º e do 3º quartil, chamado de amplitude interquartílica (IQR). *Boxplot* são uma excelente técnica de EDA porque dependem de estatísticas robustas como mediana, tendência central, simetria, inclinação e outliers (KOMOROWSKI et al., 2016).

2.3 CURVA DE CARGA

Curva de carga representa o perfil de consumo de energia elétrica em função do tempo de uma determinada região ou classe de consumidores (industrial, residencial, comercial, etc.) (OLIVEIRA, 2013). São um tipo de série temporal que representam a demanda de energia elétrica ao longo do dia, essas curvas pode ser discretizadas em pequenos intervalos, na ordem de minutos e em grandes intervalos, na ordem de horas.

Figura 3 - Exemplo de curva de carga de energia



Fonte: OLIVEIRA (2016)

Estas curvas são utilizadas pelas concessionárias de energia elétrica para realizar estudos de planejamento e operação do sistema de distribuição e transmissão de energia com objetivo de reduzir custos e melhorar a qualidade do serviço.

3 BASE DE DADOS

Neste tópico serão apresentadas as referências de aquisição dos dados, assim como a limitação de uso, período de coleta, o contexto gerado, informação da instituição de origem dos dados e quais os fenômenos ou problemas registrados. Os dados já coletados encontram-se no Github (<https://github.com/izaquenmsouza/PROJETO-APLICADO-I-MACKENZIE>).

3.1 OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO

Os dados provenientes para criação da curva de carga de energia são oriundos do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). A ONS, sob fiscalização e controle da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação de geração e transmissão de energia elétrica do sistema interligado brasileiro.

Os dados são considerados públicos, disponibilizados no portal de acesso à informação da empresa. Os registros disponibilizados datam do ano de 2000 até o ano corrente, separados em arquivos csv e xls para cada ano. Para desenvolvimento desse trabalho serão utilizados os arquivos referentes aos anos de 2011 e 2021 em csv.

Figure 4 - Forma de disponibilização dos dados.



Fonte: ONS (2022)

Os arquivos contêm dados do consumo de energia de cada subsistema brasileiro, seguindo as seguintes divisões adotada pelo sistema elétrico interligado: Norte, Nordeste, Sudeste / Centro-Oeste e Sul. O registro é realizado de forma diária e com discretização horária.

Para o desenvolvimento desse trabalho, serão utilizados os arquivos referentes aos anos de 2011 e 2021 do subsistema Sudeste / Centro-Oeste. Os dados não separam em classe de consumidores (residencial, industrial, comercial) apenas o consumo a cada hora do subsistema.

Tabela 1 - Dados da Curva de carga horária do ano de 2021.

Id_subsistema	nom_subsistema	din_instante	val_cargaenergiahmwmed
N	NORTE	01/01/2021 00:00:00	551180100000
NE	NORDESTE	01/01/2021 00:00:00	1034354000000
S	SUL	01/01/2021 00:00:00	906056698583
SE	SUDESTE	01/01/2021 00:00:00	3349835200000
N	NORTE	01/01/2021 01:00:00	547013300000
NE	NORDESTE	01/01/2021 01:00:00	1042816700000
S	SUL	01/01/2021 01:00:00	902019098754
SE	SUDESTE	01/01/2021 01:00:00	3318300599999

Fonte: Autor (2022)

O significado dos rótulos dos dados assim como as unidades de medidas e tipos de dados estão definidos da seguinte forma:

Tabela 2 - Dicionário dos dados

Descrição	Código	Tipo de Dado	Formato
Código do Subistema	id_subsistema	Texto	3 posições
Nome do Subistema	nom_subsistema	Texto	20 posições
Data de referência	din_instante	Datetime	YYYY-MM-DD HH:MM:SS
Valor da Carga de Energia, em MWmed	val_cargaenergiahmwmed	Float	-

Fonte: ONS, adaptado (2022)

De acordo com ONS (2022) todos os rótulos não permitem valores nulos e negativos, em relação a valores zerados, apenas o campo “Valor da Carga de

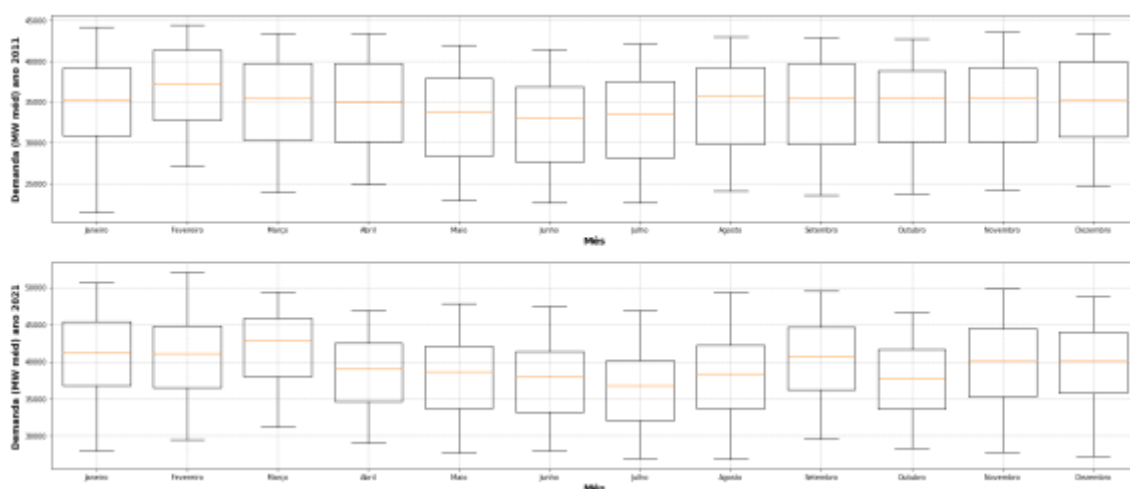
Energia, em MWmed” permite dados zerados devido a possibilidade de um apagão elétrico em algum subsistema durante um intervalo superior a uma hora.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Para manipulação dos dados e geração de gráficos foi utilizado linguagem de programação *Python*, desenvolvida através do ambiente interativo e colaborativo do *Google Colaboratory*. Após download dos arquivos referentes aos anos de 2011 e 2021, foi separada apenas os dados referentes ao subsistema Sudeste / Centro-Oeste, a base de dados foi unificada em um único *dataset*, não foi observado a presença de dados ausentes ou nulos.

Foi gerado um gráfico do consumo mensal ao longo do ano de 2011 e 2021 com o objetivo de verificar possíveis sazonalidades dos dados. Conforme Figura 5, observa-se a queda da mediana, 1º e o 2º quartil nos meses de maio, junho e julho em ambos os anos. Provavelmente essa diminuição é referente ao período de inverno, onde o consumo de energia é menor comparado as outras épocas do ano.

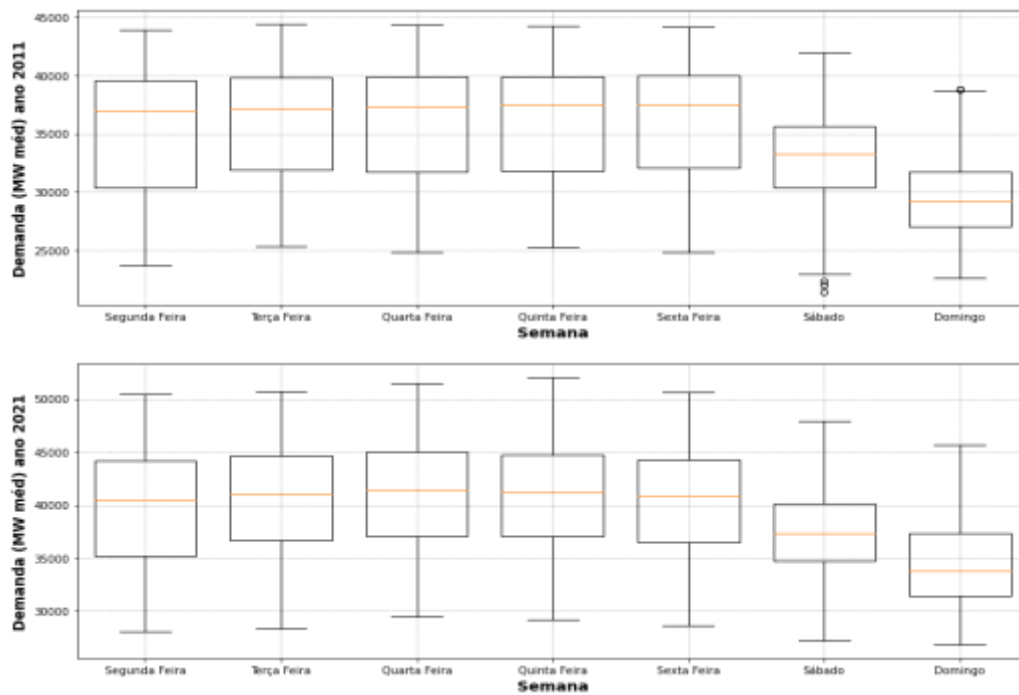
Figure 5 - Consumo de energia elétrica mensal.



Fonte: Autor (2022).

Do mesmo modo, foi verificado a sazonalidade dos dados ao agrupá-los por dia da semana. Como esperado, o consumo de energia é significativamente maior durante a semana do que nos finais de semana, em ambos os anos, conforme Figura 6.

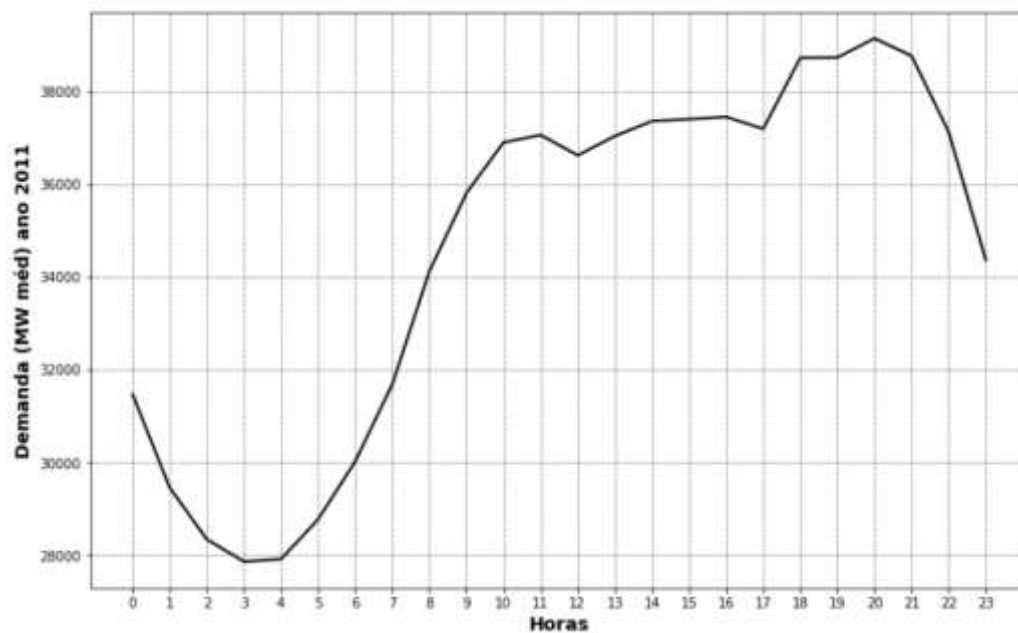
Figure 6 - Consumo de energia elétrica diário.



Fonte: Autor (2022).

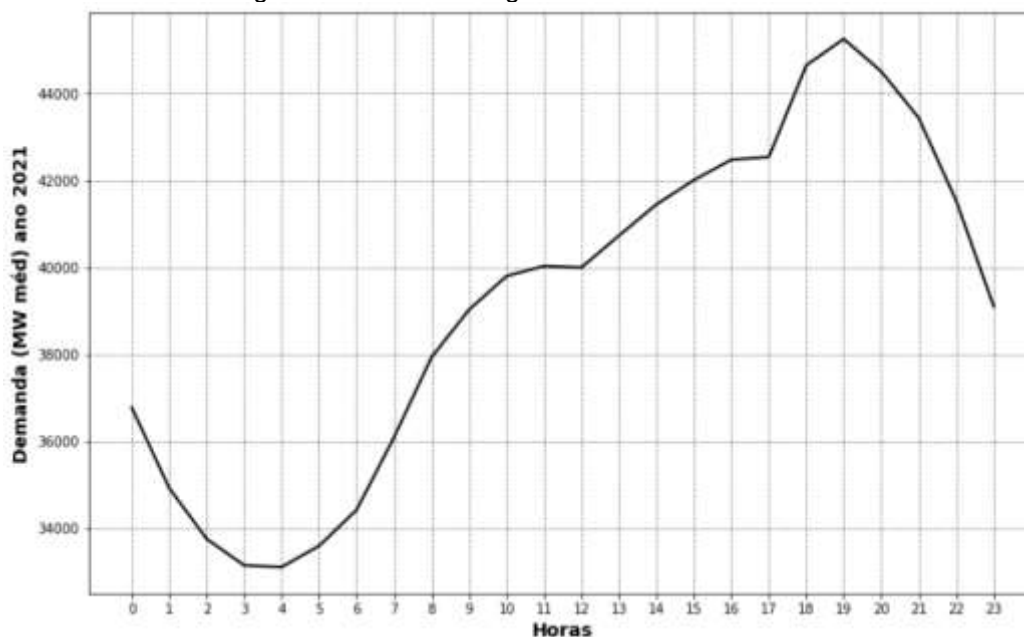
Para construir a curva de carga, foi agrupado os dados de acordo com o ano e hora, em seguida calculado a média do consumo.

Figura 7 - Curva de carga referente ao ano 2011.



Fonte: Autor (2022).

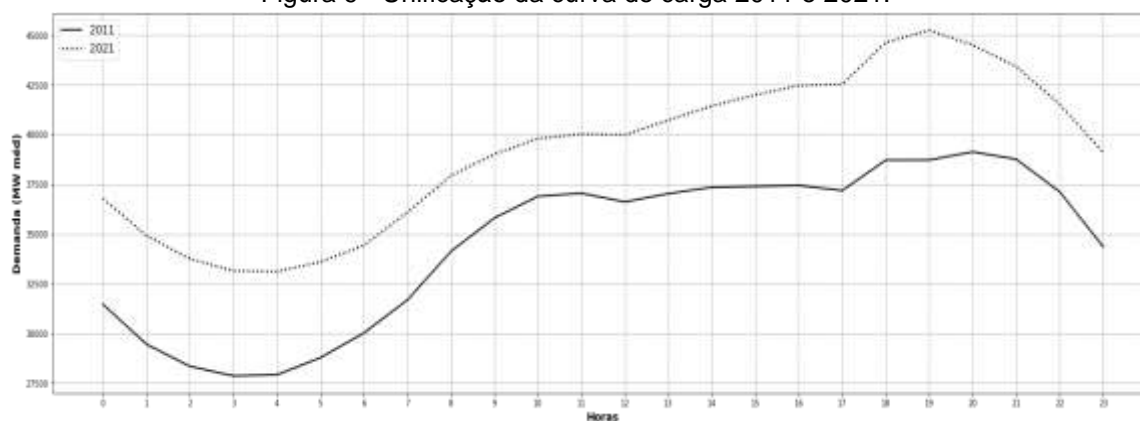
Figura 8 - Curva de carga referente ao ano 2021.



Fonte: Autor (2022).

Observando a Figura 7, percebemos o crescimento do consumo de energia no ano de 2011 a partir das 5h da manhã, chegando a um valor de pico as 20h. De maneira análogo, na Figura 8, observamos o crescimento do consumo no ano de 2021 a partir das 5h da manhã, chegando a um valor de pico as 19h.

Figura 9 - Unificação da curva de carga 2011 e 2021.

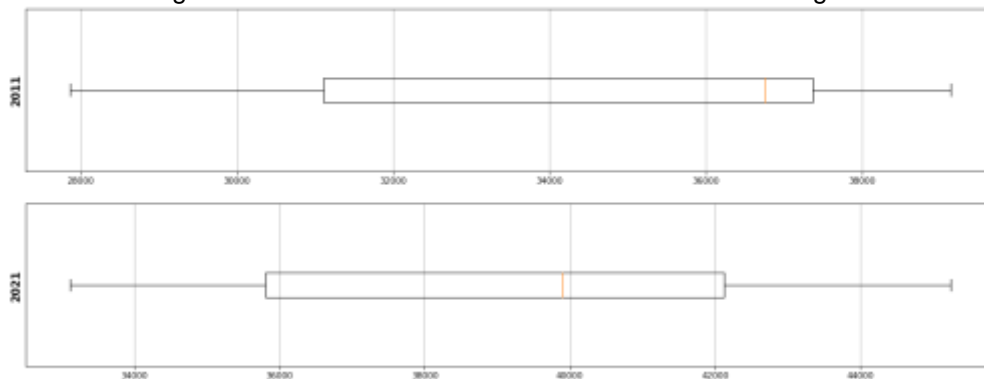


Fonte: Autor (2022).

Unificando os gráficos, Figura 9, percebemos que o perfil de consumo de energia permanece o mesmo ao longo do dia. O mais notável é o crescimento do consumo, no ano de 2011 as 6h é registrado um consumo de 30000 MW médio. No mesmo horário, em 2021 o registro é de aproximadamente 35000 MW

médio. Para verificar o crescimento do consumo entre os anos de 2011 e 2021 foi observado o deslocamento da mediana e dos quartis do gráfico *boxplot*.

Figura 10 - Análise do crescimento do consumo de energia.

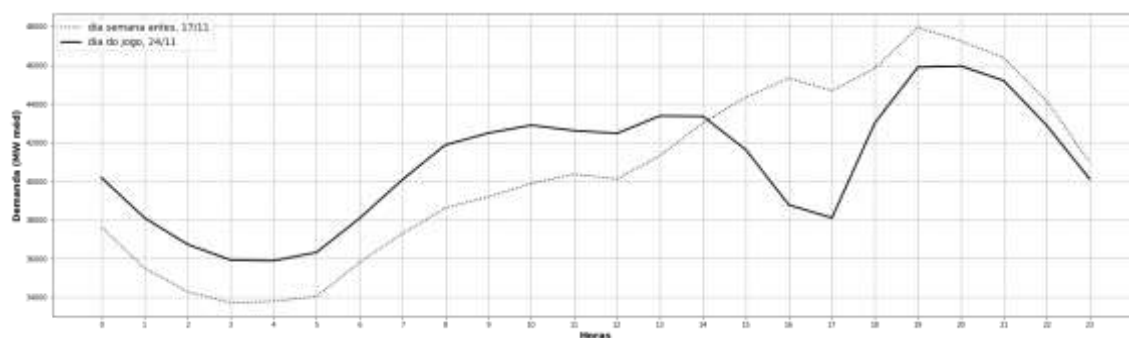


Fonte: Autor (2022).

Como esperado, o consumo de energia aumentou no ano de 2021 em relação a 2011. Ao observar a Figura 10, no ano de 2011 a mediana fica entre os intervalos de 36000 a 38000 MW médio, já para o ano de 2021 a mediana dos dados de consumo fica entre 38000 a 40000 MW médio. Outro ponto interessante ao observar a Figura 10, a caixa do boxplot do ano de 2011, que corresponde 50% dos dados de consumo do ano de 2011, se equiparam a quase todo o 1º quartil do ano de 2021 em relação a distribuição do consumo.

Aproveitando a metodologia utilizada para criar a curva de carga, será analisado a influência do primeiro jogo da Seleção Brasileira da Copa do Mundo 2022. Foi analisado dois dias, uma semana antes, quinta-feira 17/11/2022 e o dia do jogo, quinta-feira 24/11/2022.

Figura 11 - Comparação da curva de carga no dia do jogo do Brasil



Fonte: Autor (2022).

Conforme observado na Figura 11, no dia do jogo da Seleção Brasileira o consumo de energia começa a cair a partir das 14h. O jogo aconteceu as 16h, como o registro de consumo de energia é em relação ao subsistema e não as classes de consumidores (residencial, industrial, comercial, etc.) é provável que a queda abrupta 2h antes do evento ocorreu devido ao meio período de trabalho das indústrias e setores comerciais. Não podemos afirmar que o consumo de aproximadamente 38000 MW médio registrado no momento do jogo seja referente ao consumo residencial.

5 CONCLUSÃO

Após realizar o pré-processamento dos dados do consumo de energia elétrica do subsistema Sudeste / Centro-Oeste Brasileiro e criar a curva de carga horária do consumo de energia elétrica ao longo do dia do ano para os anos de 2011 e 2021, conclui-se que não aconteceu uma mudança no perfil de consumo em relação ao tempo (eixo x), apenas em relação ao crescimento do consumo de carga (eixo y), resultado esperado devido ao crescimento de 10 anos dos números de consumidores tanto residenciais quanto industriais.

Esse crescimento foi perceptível na visualização do gráfico de boxplot onde foi verificado a posição da mediana e dos quartis para cada ano de consumo, Figura 10. Até o 3º quartil do ano de 2011 a distribuição de consumo estava na faixa de 36000 a 38000 MW médio, já para o ano de 2021 essa faixa corresponde a metade do 2º quartil. Por último, foi mostrado que a curva de carga também pode ser utilizada para analisar eventos que alteram o perfil de consumo de energia elétrica. A análise foi aplicada no primeiro jogo da Seleção Brasileira na Copa do Mundo de 2022 para evidenciar-se a queda do consumo de energia elétrica horas antes do início do jogo.

REFERÊNCIAS

KOMOROWSKI, Matthieu et al. Exploratory Data Analysis. In: KOMOROWSKI, Matthieu et al. **Secondary Analysis of Electronic Health Records**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 185-203.

MILKE, T. F. **Metodologia para previsão de carga no horizonte de curto prazo utilizando redes neurais**. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

OLIVEIRA, L. A. A. **Tratamento de dados de curva de carga via análise de agrupamento e transformada Wavelets**. Tese (Doutorado em engenharia de sistemas e computação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ONS - DADOS ABERTOS. Disponível em: <<https://dados.ons.org.br/dataset/curva-carga>>. Acesso em: 28 nov. 2022.

PAULO, F. R. **Detecção de fraudes em unidades consumidoras não telemedidas com uso de técnicas de aprendizado de máquina**. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.