

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Participação da geração renovável no mercado de reservas de um sistema eléctrico

João Pedro Passagem dos Santos

Mestrado em Engenharia da Energia e Ambiente

Versão MIPD

Dissertação orientada por:
Professora Doutora Ana Estanqueiro
Doutor Hugo Algarvio

2023

Resumo

O resumo deve conter a informação relevante do trabalho. Uma frase de enquadramento (importância da dissertação), uma frase referente ao objetivo e método e uma frase final de conclusões.

Palavras chave: até 6 palavras diferentes do título e que ajudem a procurar assuntos relacionados (o equivalente aos # das redes sociais)

Abstract

Abstract should have the relevant information of the developed work. One sentence with the framework of the research. One sentence with the goal and method. One sentence with the main conclusions.

Keywords: up to six different from the title and helpful to find related subjects (like # in social media)

Agradecimentos

Opcional, embora no caso de dissertações que decorram no âmbito de projetos financiados por exemplo pela FCT ou programas Europeus devem ser mencionados aqui a referência e nome do projeto, e mais alguma informação de acordo com as regras de publicitação do projeto em questão.

Nome do Autor

Nomenclatura

Lista de siglas, acrónimos, abreviaturas e simbologia apresentadas por ordem alfabética.

Abreviaturas

(A/F)	Relação mássica ar/combustível
pme	Pressão média efectiva
vol	Volume

Siglas e acrónimos

ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
vRES	variable Renewable Energy Systems
MIBEL	Mercado Ibérico de Eletricidade
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
EDP	Eletricidade De Portugal
NREL	National Renewable Energy Laboratory

Simbologia

A	Área
η	Eficiência
p	Pressão
T	Temperatura

Índice

Resumo	i
Abstract	ii
Agradecimentos	iii
Nomenclatura	iv
List of Figures	vii
List of Tables	viii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos e perguntas de investigação	2
1.3 Organização do documento	2
2 Revisão bibliográfica	3
3 Contextos	4
3.1 Mercados de Sistema	4
3.2 MIBEL	4
4 Dados	5
4.1 Dados Utilizados	5
4.1.1 Aquisição dos Dados (depth 2)	5
4.2 Estudo dos dados	5
4.2.1 Correlações	6
4.2.1.1 Correlações entre atributos	6
4.2.1.2 Correlações Temporais	8
4.2.2 Agrupamento	9
4.3 Tratamento dos dados	11
4.4 Considerações adicionais	12
5 Architecturas de Modelos	13
5.1 Blocos	13
5.1.1 subsection Conv (depth 2)	13
5.1.2 subsection CNN (depth 2)	13
5.1.3 subsection LSTM (depth 2)	13

5.2	CNN	13
5.3	LSTM	13
5.3.1	subsection title (depth 2)	13
5.3.1.1	subsubsection title (depth 3)	13
5.4	Arquitetura	14
5.4.1	subsection title (depth 2)	14
5.5	Vanilla	14
5.6	Stacked	14
5.7	MultiHead	14
5.8	MultiTail	14
5.9	UNET	14
5.10	Considerações adicionais	14
6	Métodos	15
6.1	Modelos estatísticos	19
6.1.1	subsection ARIMA (depth 2)	19
6.1.2	subsubsection Gerador de dados (depth 2)	19
6.2	Forecat	19
6.2.1	subsection Construtor de modelos (depth 2)	19
6.2.2	subsubsection Gerador de dados (depth 2)	19
6.3	Forecat	20
6.3.1	subsection Construtor de modelos (depth 2)	20
6.3.2	subsubsection Gerador de dados (depth 2)	20
7	Resultados e discussão	21
8	Conclusões e sugestões futuras	22
6	Referências	23
A	Anexos	23

List of Figures

Figura 1.1 Deve aparecer por baixo da figura. Se a figura for feita pelo aluno não necessita de referência. Caso seja retirada de uma fonte bibliográfica deve ser pedida autorização para a sua reprodução/cópia. Caso seja retirada de um website <i>freevector</i> deve ser creditada de acordo com as regras estipuladas no mesmo. Por exemplo pode encontrar todos os ODS com reprodução livre em https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/	1
Figura 1.2 Exemplo de duas imagens numa figura.	2
Figura 4.1 Serie Temporal dos dados alvo	5
Figura 4.2 Janelas Temporais dos dados alvo	6
Figura 4.3 Frequência dos dados alvos	6
Figura 4.4 Correlação entre atributos	7
Figura 4.5 Valores de correlação entre atributos	8
Figura 4.6 Serie Temporal dos dados alvo	8
Figura 4.7 Serie Temporal dos dados alvo	9
Figura 4.8 Serie Temporal dos dados alvo	10
Figura 4.9 Histograma das classes	11
Figura 7.1 Exemplo de como considerar um gráfico	21
Figura A.1 Exemplo de como considerar um gráfico nos anexos.	23

List of Tables

Tabela 4.1 Cluster Limits	11
Tabela 6.1 Isto é um exemplo de uma tabela. Se fôr igual(copiada) a outro autor deve ser pedido autorização para reproduzir.	16
Tabela A.1 Isto é um exemplo de uma tabela. Se fôr igual(copiada) a outro autor deve ser pedido autorização para reproduzir.	23

Introdução

1.1 Enquadramento

Esta dissertação encontra-se no âmbito do projecto TradeRES, o qual estuda um sistema de mercado eléctricos que consiga dar resposta às necessidades da sociedade num sistema quase todo renovável. Tendo as características para se integrar nos ODS (ver Figura 1.1).

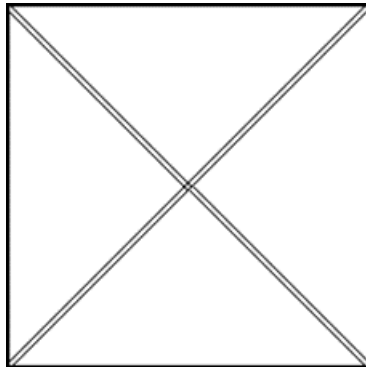
O estudo da acessibilidade das energias renováveis ao mercado vigente integra-se nos ODS nº7, Energia Renováveis e Acessíveis, indo directamente de encontro a um dos pontos deste objectivo: 7.2.1 Peso das energias renováveis no consumo total final de energia. Por meio deste objectivo, a participação das renováveis no mercado faz também cumprir, embora indirectamente, o objectivo nº8 Trabalho Digno e Crescimento Económico, através do ponto 8.4, onde é dada primazia à eficiência dos recursos globais no consumo e na produção. Indirectamente, pois, ao haver um melhor uso das renováveis, o uso de energias não limpas vai diminuir, melhorando a gestão de recursos, e baixando o consumo de recursos naturais não renováveis.

Por último podemos incluir o objectivo nº13, Acção Climática, no qual, referimos de novo a diminuição de consumo de recursos finitos, mas mais importante, a melhor gestão de recursos renováveis. Promovendo o planeamento e estratégias de combate a emissões de gases de efeito estufa.

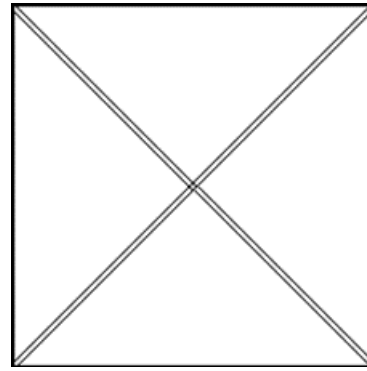


Figure 1.1: Deve aparecer por baixo da figura. Se a figura for feita pelo aluno não necessita de referência. Caso seja retirada de uma fonte bibliográfica deve ser pedida autorização para a sua reprodução/cópia. Caso seja retirada de um website *freevector* deve ser creditada de acordo com as regras estipuladas no mesmo. Por exemplo pode encontrar todos os ODS com reprodução livre em <https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/>

1. INTRODUÇÃO



(a) Explicar o que é Fig A



(b) Explicar o que é Fig B

Figure 1.2: Exemplo de duas imagens numa figura.

1.2 Objetivos e perguntas de investigação

Foram aprovadas a nível europeu (2020), medidas de alteração aos serviços de sistema, que serão seguidas pelos Estados-Membros. Nesta dissertação far-se-á a aplicação dessas medidas, identificando as melhorias face ao desenho actual e, avaliando se as novas medidas serão suficientes para assegurar a operação de um sistema eléctrico 100% renovável, eventualmente identificando acções adicionais que garantam a robustez e segurança do sistema eléctrico sem recurso a combustíveis fósseis.

- a) É positivo para as vRES participar no mercado de reserva?
- b) Como configurar essa participação para otimizar o lucro do ponto de vista das vRES?
- c) Essa participação é positiva para o sistema eléctrico num todo?

1.3 Organização do documento

Explicar a lógica da organização em termos do conteúdo de cada secção. Por exemplo, no capítulo 2 mostram-se os estudos referentes a. Na secção 1.2 mostra-se.. Na secção 1.1 apresentam-se .. Finalmente, no capítulo 8 são respondidas as perguntas de investigação, descrevem-se as limitações do estudo e recomendam-se .. para estudos futuros.

Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica deve recorrer a normas, livros, artigos científicos e, obrigatoriamente, deve indicar a bibliografia consultada de forma correta com recorrência a um reference manager. A maneira mais usual é adotar o sistema numerado por ordem de aparecimento do texto.

Isto é um exemplo de uma equação:

$$a = 1 \tag{2.1}$$

A tabela deve ter uma legenda por cima da mesma, tal como o exemplo em baixo. Se os valores da tabela não são calculados pelo autor e referem-se a valores de outros autores tem de constar as respetivas referências aos seus trabalhos.

Contextos

3.1 Mercados de Sistema

[Lopes2021] [Watson1984] [Schweppe1988] Foram aprovadas a nível europeu (2020), medidas de alteração aos serviços de sistema, que serão seguidas pelos Estados-Membros. Nesta dissertação far-se-á a aplicação dessas medidas, identificando as melhorias face ao desenho actual e, avaliando se as novas medidas serão suficientes para assegurar a operação de um sistema eléctrico 100% renovável, eventualmente identificando acções adicionais que garantam a robustez e segurança do sistema eléctrico sem recurso a combustíveis fósseis.

3.2 MIBEL

[Bessa2012] [Carneiro2016] [Fernandes2016] [Agostini2021] Foram aprovadas a nível europeu (2020), medidas de alteração aos serviços de sistema, que serão seguidas pelos Estados-Membros. Nesta dissertação far-se-á a aplicação dessas medidas, identificando as melhorias face ao desenho actual e, avaliando se as novas medidas serão suficientes para assegurar a operação de um sistema eléctrico 100% renovável, eventualmente identificando acções adicionais que garantam a robustez e segurança do sistema eléctrico sem recurso a combustíveis fósseis.

Dados

4.1 Dados Utilizados

Os dados em estudo são do mercado energético espanhol, retirados do site :
<https://www.esios.ree.es/es>

indicators	names	units
632	SecondaryReserveAllocationAUpward	MW
633	SecondaryReserveAllocationADownward	MW
680	UpwardUsedSecondaryReserveEnergy	MWh
681	DownwardUsedSecondaryReserveEnergy	MWh
1777	WindD+1DailyForecast	MWh
1779	PhotovoltaicD+1DailyForecast	MWh
1775	DemandD+1DailyForecast	MWh
10258	TotalBaseDailyOperatingSchedulePBFGeneration	MWh
14	BaseDailyOperatingSchedulePBFSolarPV	MWh
10073	BaseDailyOperatingSchedulePBFWind	MWh
10186	BaseDailyOperatingShedulePBFTotalBalanceInterconnections	MWh

4.1.1 Aquisição dos Dados

No ambito da automatização destes dados foi modificado o repositório ESIOS (ref) para ser usado como uma biblioteca de python, aberta, em pypi. Sendo uma ferramenta mais facilmente acessível para a extrair dados do mercado espanhol: <https://pypi.org/project/pyesios/>

4.2 Estudo dos dados

Os dados que proponho a prever são: "UpwardUsedSecondaryReserveEnergy",
"DownwardUsedSecondaryReserveEnergy"

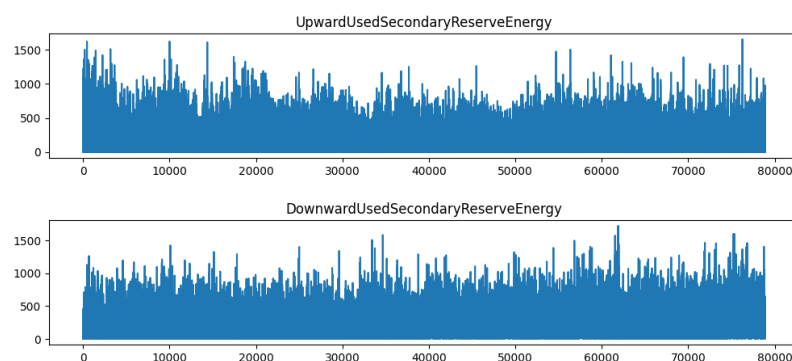


Figure 4.1: Serie Temporal dos dados alvo

4. DADOS

Para termos uma melhor percepção dos mesmos segue algumas janelas temporais mais pequenas.

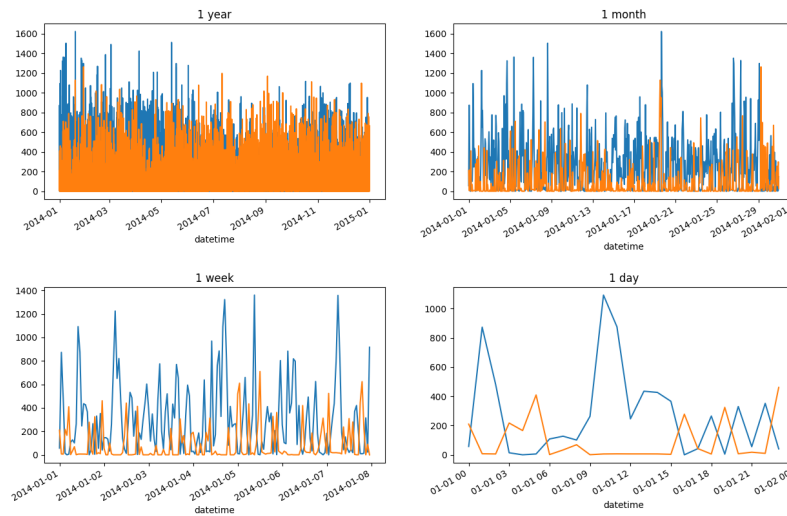


Figure 4.2: Janelas Temporais dos dados alvo

Estas mostram claramente que ambos os atributos mantêm um comportamento tanto discreto, como linear, isto é, que ou existe algum valor, ou é zero, e se existe valor este tem comportamento linear.

A distribuição destes dados é claramente exponencial. O que é importante para a escolha de alguns parametros no modelação

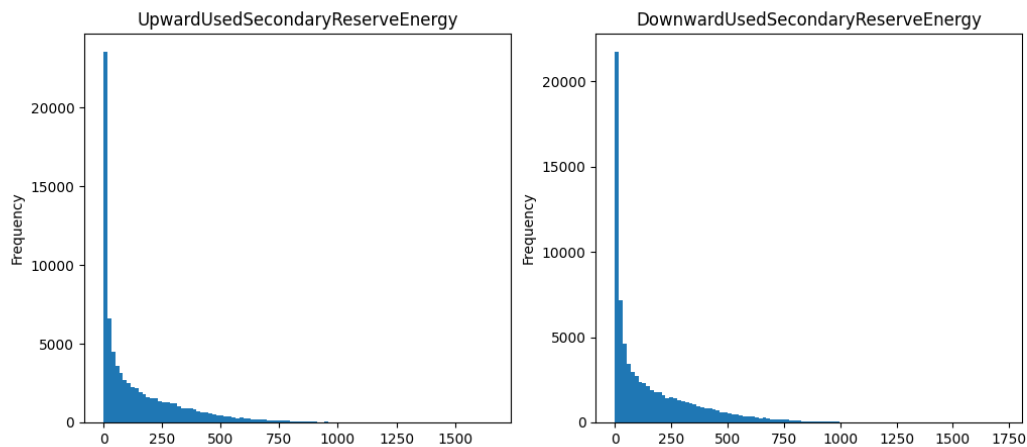


Figure 4.3: Frequência dos dados alvos

4.2.1 Correlações

4.2.1.1 Correlações entre atributos

Os modelos vão depender bastante de correlação entre variáveis. Nesta secção queremos tentar identificar se há visíveis relações entre as variáveis, e se há relações temporais visíveis nas colunas alvo.

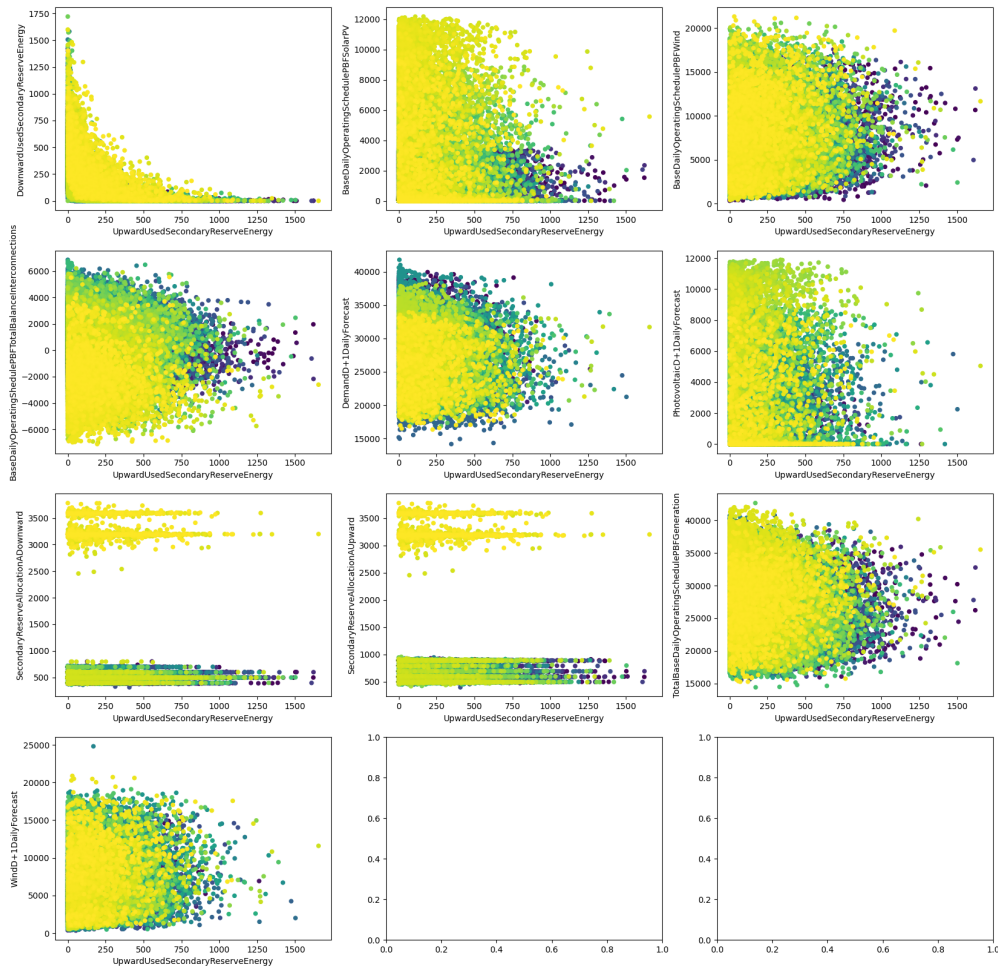


Figure 4.4: Correlação entre atributos

As correlações entre variáveis parecem muito escassas o que apresenta já que a previsão deste dados usando estas variáveis vai ser um problema difícil. Por norma é feito uma seleção de atributos baseado nestas correlações, eliminando assim os atributos que ajudam menos, ou até prejudicam os modelos. Segue os valores de correlação onde podemos ver numericamente que existe muito pouca correlação entre os atributos.

4. DADOS

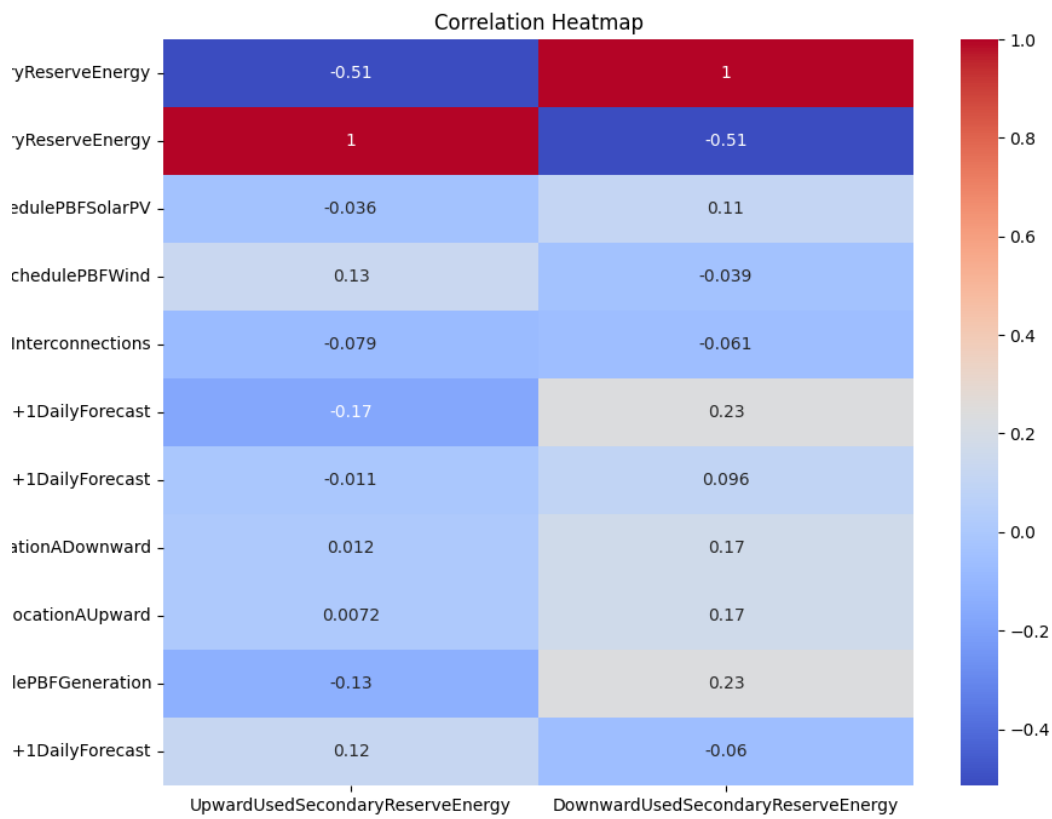


Figure 4.5: Valores de correlação entre atributos

4.2.1.2 Correlações Temporais

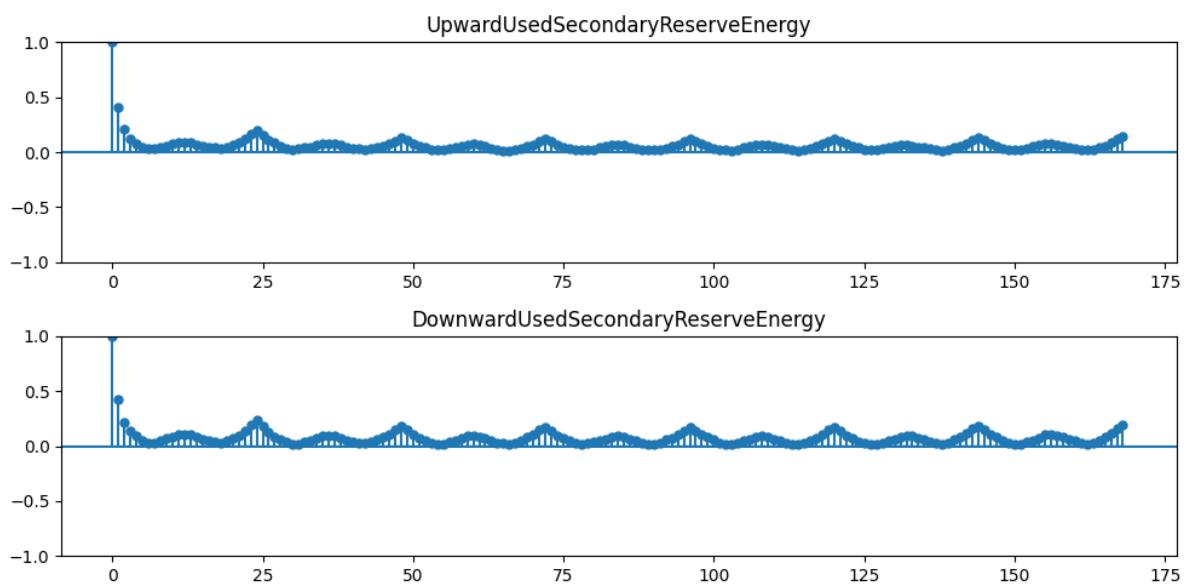


Figure 4.6: Serie Temporal dos dados alvo

A autocorrelação, em ambos os "targets", é mais forte nas 3 horas mais próximas, e nos pontos com diferença de 12 e 24 horas. É de notar que estes valores são baixos, prometendo já também uma baixa regressividade temporal. Outro ponto a denotar é que os objectos não têm um comportamento completamente linear, i.e., parece existir um comportamento discreto na questão ser alocado ou não esta reservas secundárias, e caso seja alocado, aí existir alguma linearidade. Logo qualquer tipo de modelação terá de resolver primeiramente este problema.

Estas relações mostram que em termos de atributos usados vai ser um desafio complicado para qualquer tipo de modelo.

No âmbito desta dissertação queremos verificar a qualidade das previsões usando estes mesmo atributos, logo, não será feita seleção dos mesmos.

A nível da relação temporal, a maior parte dos modelos que iremos testar aplica um janela na dimensão temporal, usando todos os valores nessa janela, e aplicando os pesos nessas distancias que mais se enquadram. Logo também não é relevante escolher apenas as distancias temporais com maior correlação, pois os modelos vão fazer essa pesagem.

4.2.2 Agrupamento

Uma das possibilidades na modelção será a utilização de grupo de valores, classes, em conjunto com a linearidade. Devido ao comportamento não exclusivamente linear (tenho de procurar um nome para isto) é também estudado as possíveis agregações (clustering) em que podemos dividir os valores em classe. Tendo por base que uma das classes é o valor zero, devido ao comportamento não linear desta série, vamos apenas testas quantos, e quais, as melhores classes em que podemos dividir os dados. É realizado o teste de silhoeta (ref) e o teste do cotovelo (ref), que se baseiam nos resultados de silhoeta do modelo GMM (ref) e nos valores de inercia do modelo K-Means (ref).

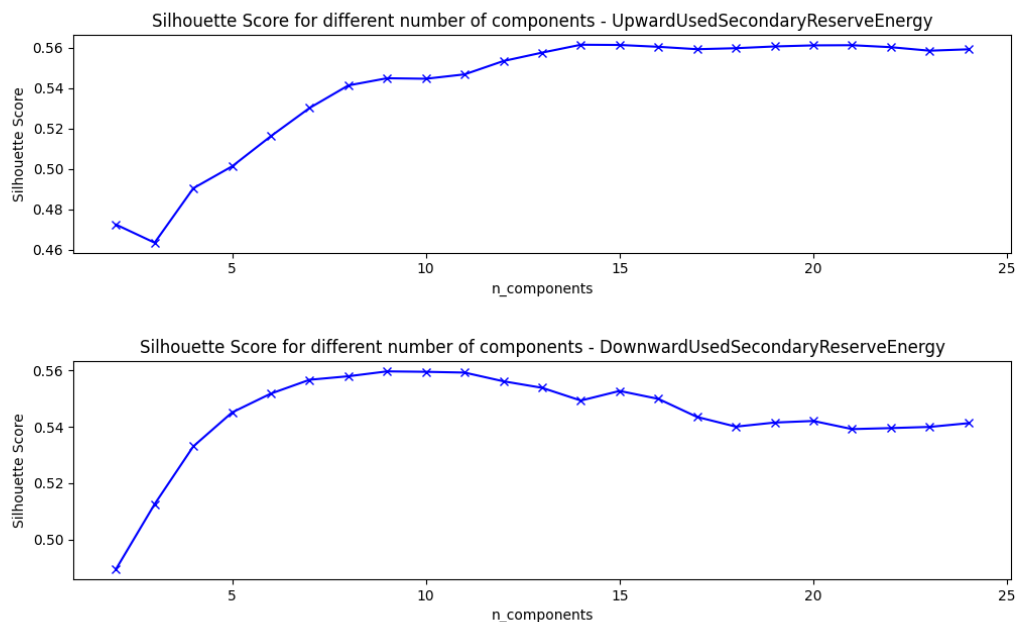


Figure 4.7: Serie Temporal dos dados alvo

4. DADOS

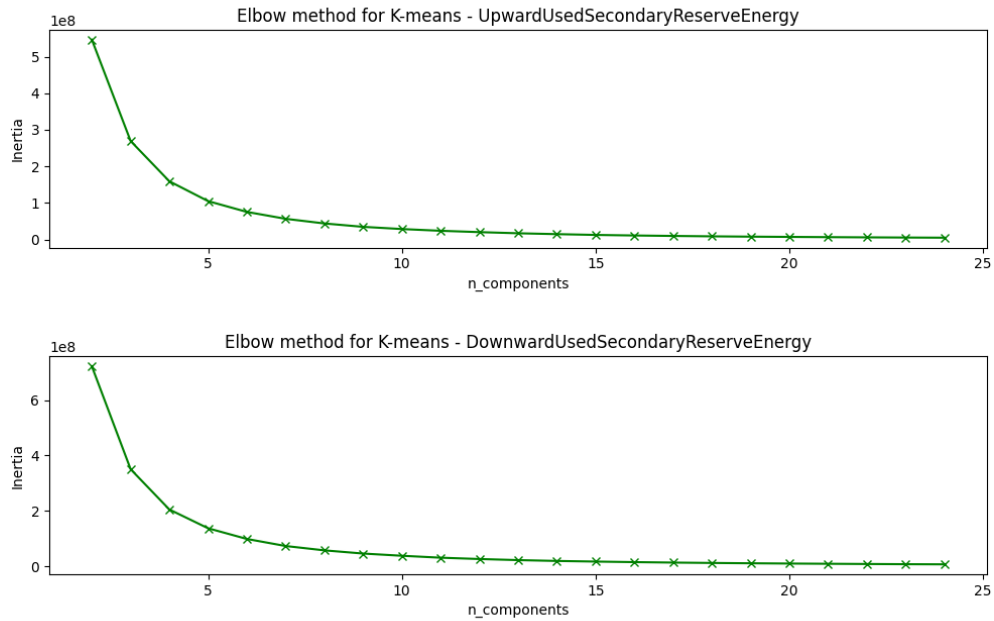


Figure 4.8: Serie Temporal dos dados alvo

Ambos os casos apontam um assintota na relação interna dos clusters, a partir de cerca de 5 clusters, sendo que o melhor valor dos verificados seria com 14 clusters em "UpwardUsedSecondaryReserveEnergy" e 9 em "DownwardUsedSecondaryReserveEnergy". Para a nossa questão, queremos algumas classes, mas quanto menos classes mais fácil será para os modelos correctamente identificar a que classe pertence. Logo para os valores apresentados, escolhemos 5 clusters, sendo que este já pode ser um numero elevado de classes, logo usemos 3 clusters se os modelos tiverem muuita dificuldade com 5. O método do cotovelo apresenta como numero ideal de clusters 4, mas sendo que K-Means é um metodo mais apropriado para distribuições normais, em que a distancia nos limites dos clusters não varia, deixamos apenas informativo.

O histograma das divisões pode ser visto em baixo. O valor é a sua própria classe para além das apresentadas.

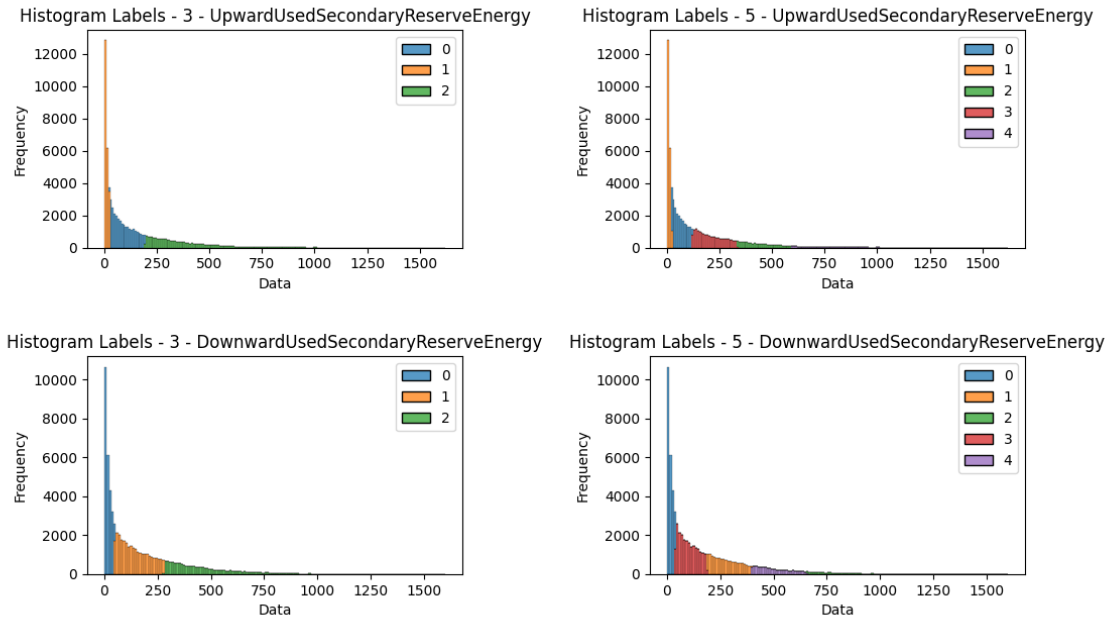


Figure 4.9: Histograma das classes

Os limites retirados são:

Atributo	Nº Clusters	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
UpwardUsedSecondaryReserveEnergy	3	26.2	"26.3-194.9"	195.0	
UpwardUsedSecondaryReserveEnergy	5	20.2	"20.3-119.2"	"119.3-331.9"	"332.0-592.0"
DownwardUsedSecondaryReserveEnergy	3	47.0	"47.1-281.9"	282.0	
DownwardUsedSecondaryReserveEnergy	5	38.9	"39.0-186.9"	"187.0-393.1"	"393.2-658.0"

4.3 Tratamento dos dados

Normalização A normalização foi deixada por ser aprendida nos modelos, sendo que todos têm como segunda camada, uma de normalização.

Limpeza

Podemos ver pelos graficos seguintes que a existem alguns outliers, sendo estes definidos como 3 desvios padrão de distância à média. Estes graficos mostram também que existe uma variação do que são os valores normais de cada atributo a nível temporal. Logo um método de limpeza não se poderia basear apenas numa definição geral de outliers, mas teria de ser feito em janelas temporais. Pelo mesmo argumento e visto que os outliers fazem parte do que queremos também descobrir, não é aplicada nenhum método de remoção dos mesmo, sendo os dados passados a cru para os modelos.

4. DADOS

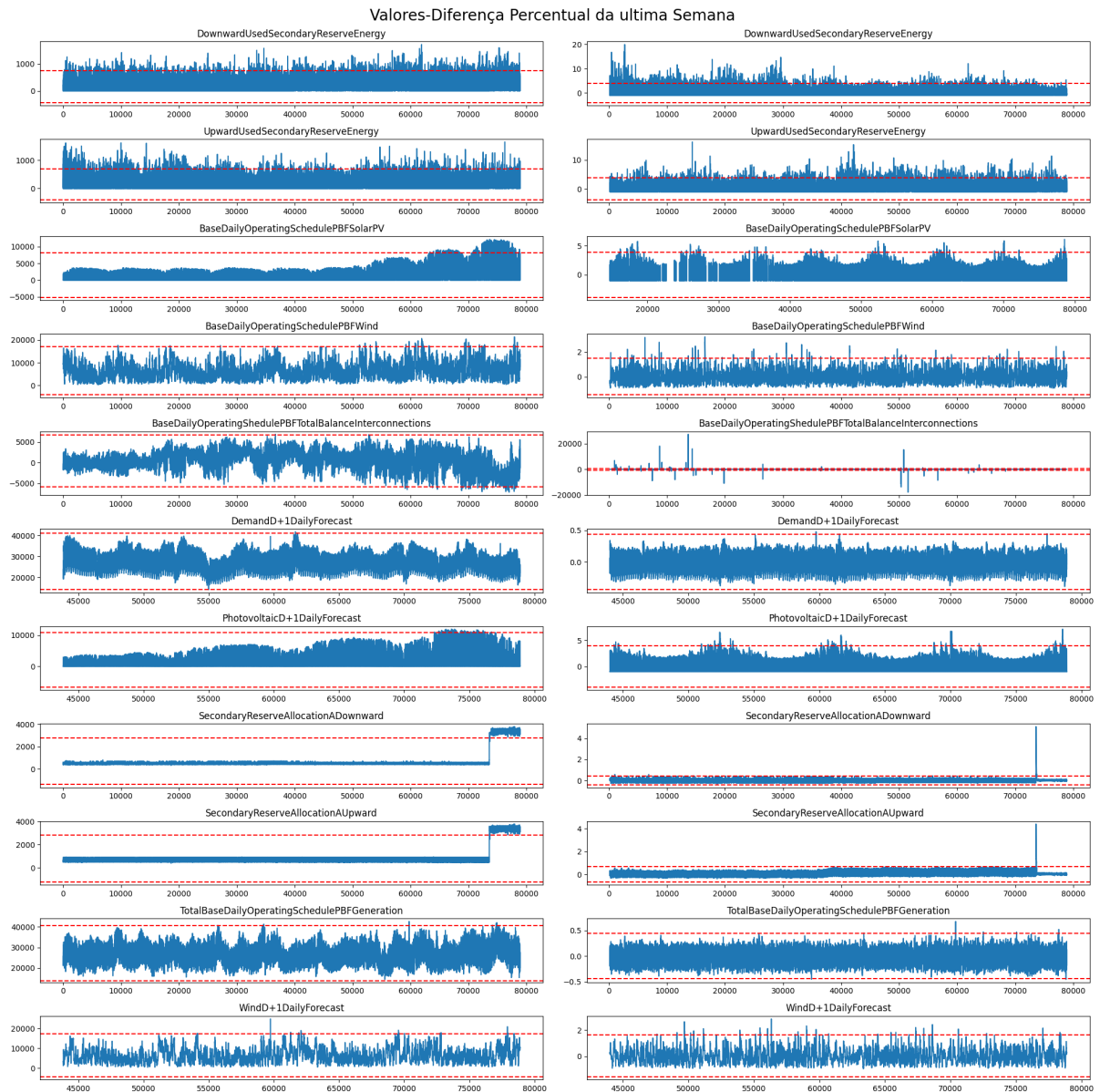


Figure 4.10: Outliers

Outra análise desta variação dos atributos a nível temporal leva-nos a que qualquer divisão dos dados para treino e teste deva levar as variações em consideração. Isto sendo que o treino deve ter representatividade de todas, ou maior parte, das condições diferentes. Visto estarmos a usar dados de 2014 a 2022, argumento até que podemos nem fazer divisão no treino, e usar como teste e validação dados de 2023.

Estudemos também o caso de dados em falta. Alguns destes atributos têm certas entradass vazias, e como podemos ver alguns não têm alguns anos inteiros. Como queremos usar o maximo de dados possiveis iremos usar tecnicas de imputing nesses dados. Podemos ver que temos dados em falta de varios anos, em três atributos, e um tem algumas horas esporadicas em falta nos primeiros anos.

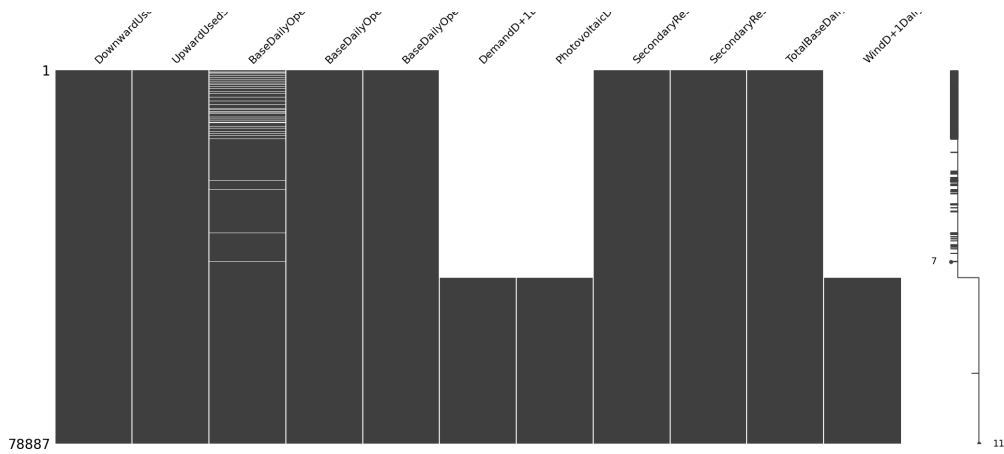


Figure 4.11: Outliers

Vamos aplicar o método experimental "IterativeImputer" [<https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.impute.IterativeImputer.html>] da biblioteca de python "sklearn". Este metodo é baseado nos trabalhos de (ref) <https://www.jstatsoft.org/article/view/v045i03> (ref) <https://www.jstor.org/stable/2984099>

Por ultimo foi adicionado ao dados mais atributos, sendo eles todos de cariz temporal. É adicionado atributos correspondentes à hora, ao dia do ano, ao dia da semana, ao dia do mês, mês, ano. TODO

4.4 Considerações adicionais

Talvez aqui uma secção para finalizar e mostrar algumas coisas

Arquiteturas de Modelos

Grande parte da literatura sobre previsões em modelos de aprendizagem apresenta as mesmas arquiteturas, sendo que são depois aprimoradas consoante os dados e o problema.

Apresento aqui as arquiteturas mais usadas em previsões, como também algumas usadas noutros ramos tentando prever a compatibilidade neste problema

5.1 Blocos

5.1.1 subsection Conv (depth 2)

Usada também as ideias de attention, residual e o que eu chamei broad

5.1.2 subsection CNN (depth 2)

5.1.3 subsection LSTM (depth 2)

5.2 CNN

dizer de onde veio
package para sacar

5.3 LSTM

5.3.1 subsection title (depth 2)

5.3.1.1 subsubsection title (depth 3)

distribuição
clustering deu cerca de 15 5 seria um bom número de clusters pelos estudos mas segundo o tipo de problema 3 + 1(zero) foi o ideal
autocorrelation periodissidade feature coleration

5.4 Arquitetura

5.4.1 subsection title (depth 2)

5.5 Vanilla

5.6 Stacked

5.7 MultiHead

5.8 MultiTail

5.9 UNET

Usado normalmente em modelção de imagem.

5.10 Considerações adicionais

Aqui e dizer que os modelos utilizados para teste sao as combinacoes deste blocos nestas aquiteturas.

Métodos

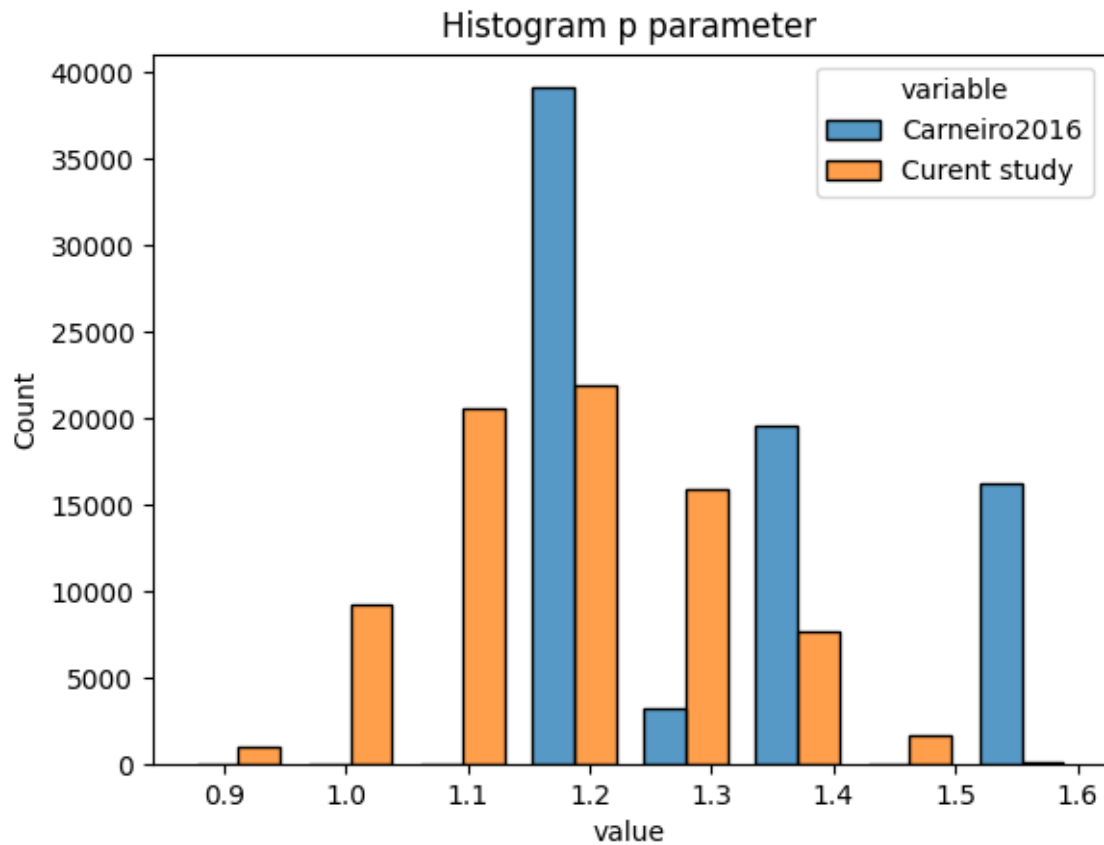
Para responder a primeira questão estudou-se o comportamento do parâmetro p na equação publicada pela ENTSO-E para a Banda de Regulação Secundária a Subir [CMVM2018]:

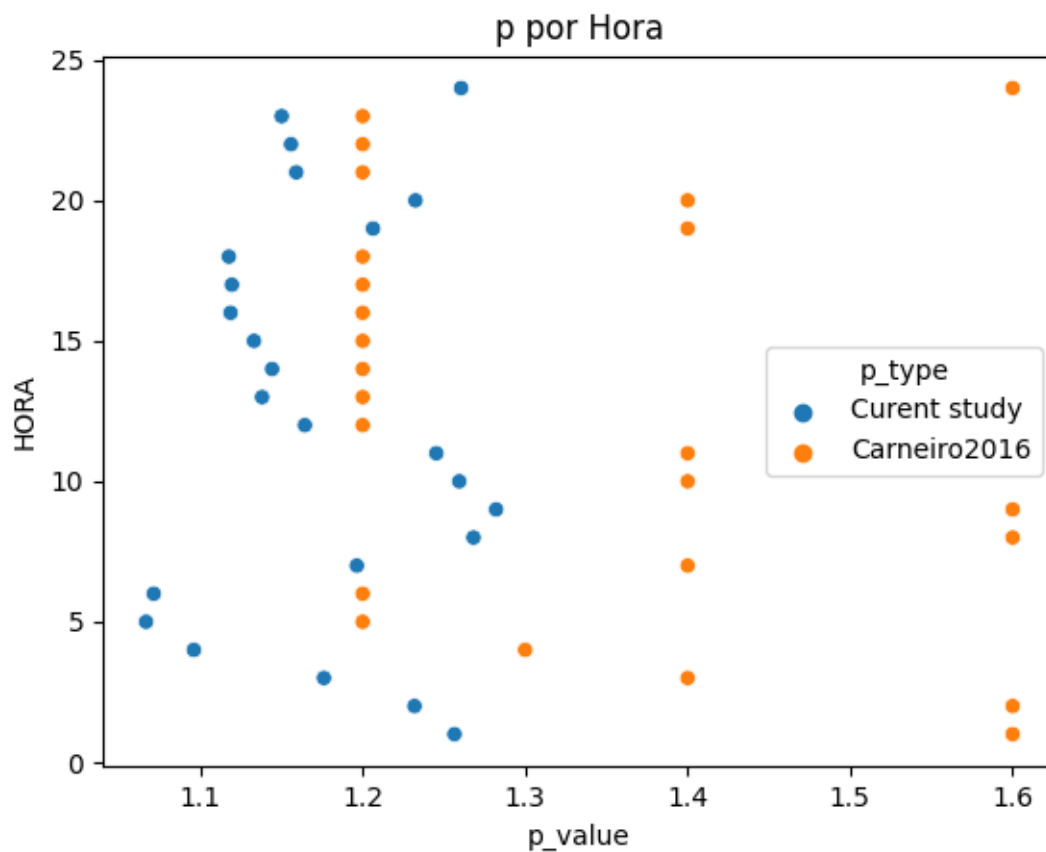
$$BRSSubir = p \times \sqrt{a \times Lmax + b^2} - b \quad (6.1)$$

TODO: explicação das variáveis

Aplicando os dados XXXX (dados históricos do mercado MIBEL),

Usando os dados XXXXX para o cálculo directo do parâmetro p e comparando com o mesmo parâmetro apresentado na tese de Célia Carneiro [Carneiro2016], temos a seguinte distribuição de valores:





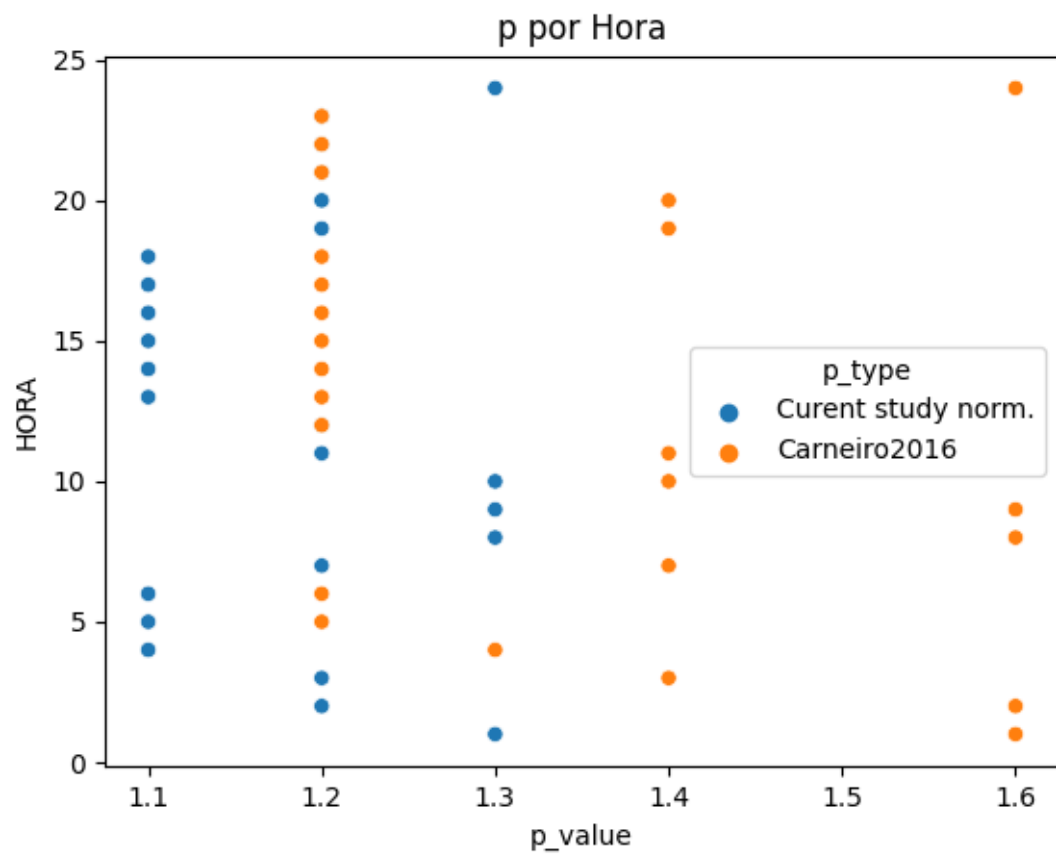
Verifica-se que não têm qualquer relação entre si.

Para a normalização deste parâmetro à Hora, estudou-se o erro entre a Banda a Subir calculada através das normalizações e a Banda a Subir disponível nos dados.

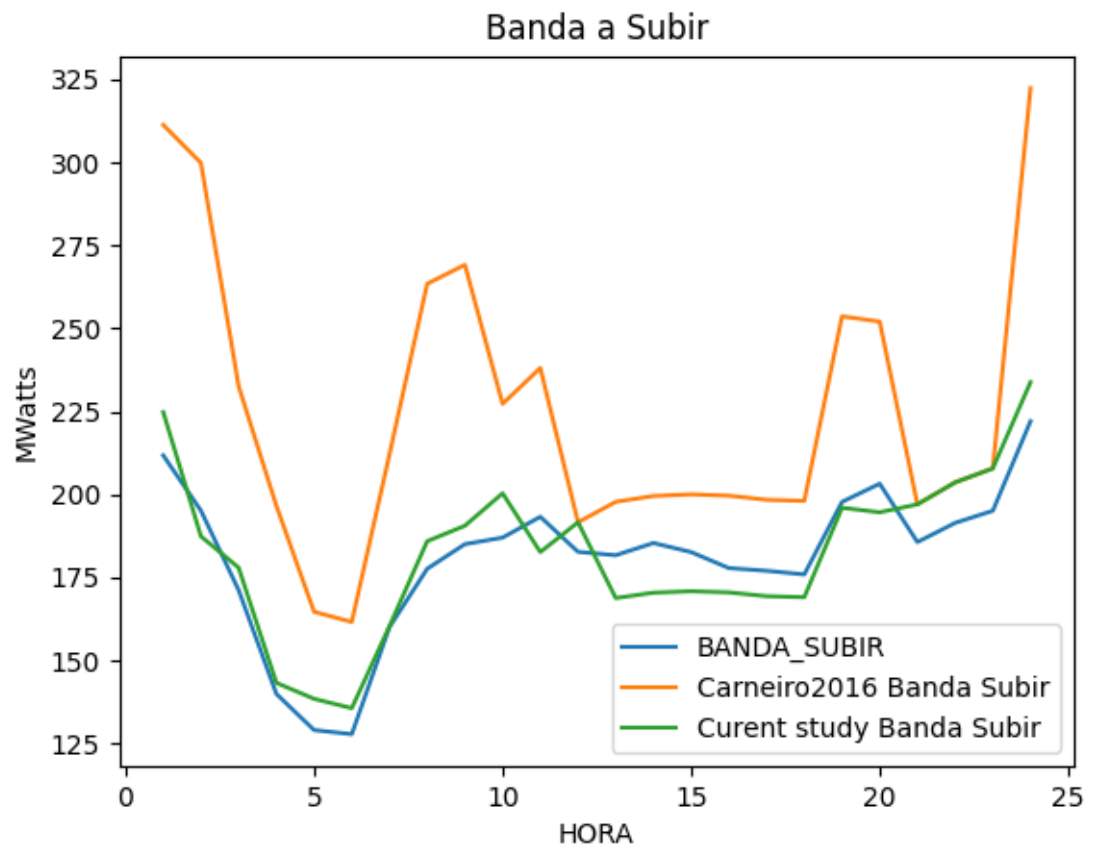
Table 6.1: Isto é um exemplo de uma tabela. Se fôr igual(copiada) a outro autor deve ser pedido autorização para reproduzir.

Normalização/Erro	MAE	RMSE	Mediana AE
media	23.03	29.15	19.04
mediana	22.95	29.14	18.93
media ponderada	23.39	29.57	19.28

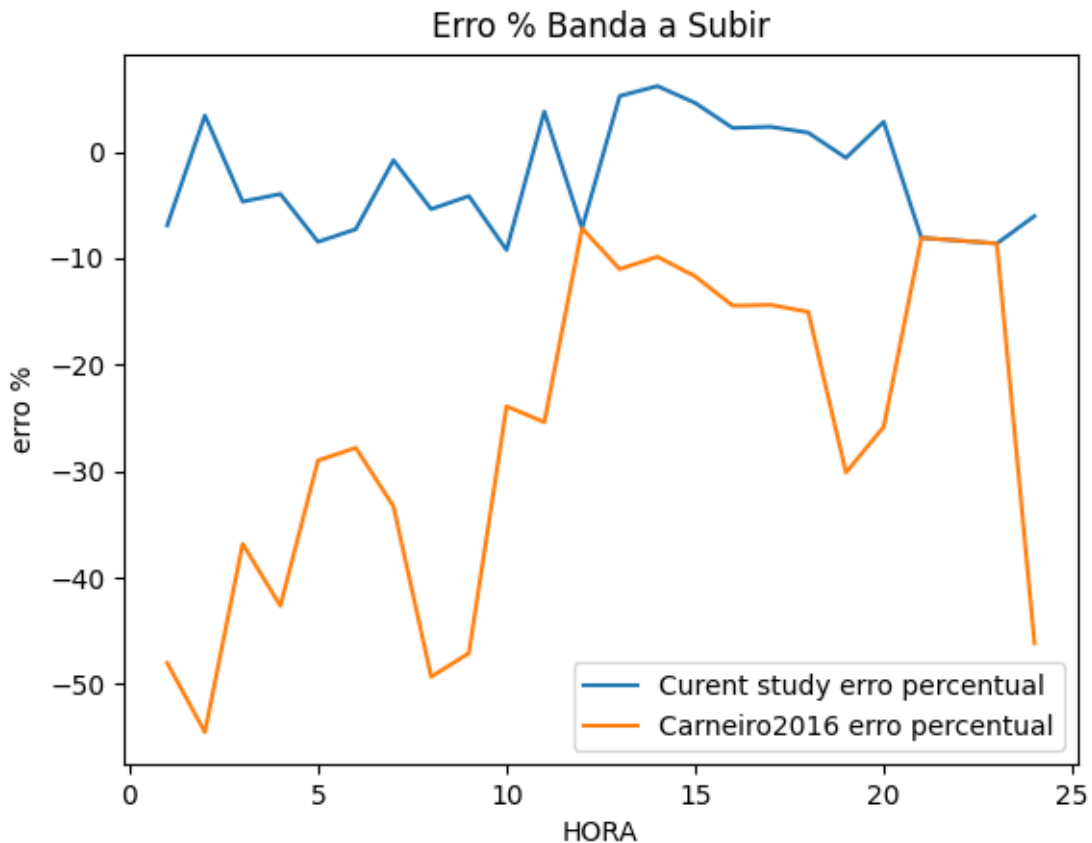
A normalização que traz erros mais baixos à Banda é a mediana. Comparando com os p [Carneiro2016]:



Podemos verificar que os valores não coincidem. Comparando as bandas calculadas:



Retiramos as médias dos erros percentuais e podemos observar em:



Que conclui que o p calculado agora tem uma prestação bastante mais perto da realidade. Onde cerca de 25% dos casos cai dentro da margem de erro de 5% na Banda. E na outra tese apenas 10% cai dentro dessa margem de erro.

Aqui descrever qual o método seguido para responder às perguntas de investigação, o método pode incluir o recurso a uma metodologia reconhecida internacionalmente e já publicada por exemplo numa norma ISO[fet_skaar_2006]. As figuras e tabelas colocadas devem ser sempre referidas no meio do texto tal como todas as referências que aparecem listadas no fim do documento.

6.1 Modelos estatísticos

6.1.1 subsection ARIMA (depth 2)

6.1.2 subsubsection Gerador de dados (depth 2)

distribuição
clustering

6.2 Forecat

6.2.1 subsection Construtor de modelos (depth 2)

6.2.2 subsubsection Gerador de dados (depth 2)

distribuição

clustering

6.3 Forecat

6.3.1 subsection Construtor de modelos (depth 2)

6.3.2 subsubsection Gerador de dados (depth 2)

distribuição

clustering

Resultados e discussão

Aqui devem constar gráficos e sua análise crítica e ligação com a secção 2 da revisão bibliográfica no sentido de comparar valores e discutir diferenças, por exemplo. A legenda dos gráficos deve seguir a das figuras, isto é, porque também são figuras.

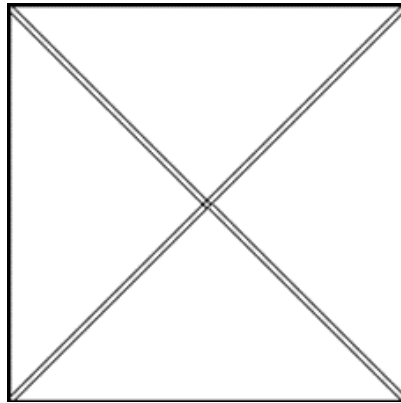


Figure 7.1: Exemplo de como considerar um gráfico

Conclusões e sugestões futuras

Aqui são dadas as respostas às perguntas de investigação formuladas na secção 1.2. Não fazer aqui a discussão dos resultados. Essa discussão deve ser feita no capítulo 7. Não esquecer de indicar sugestões futuras para que um colega possa dar continuidade ao trabalho desenvolvido.

Anexos

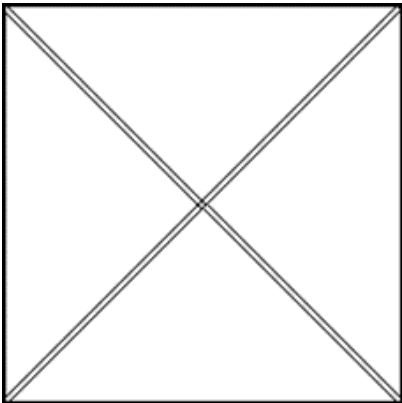


Figure A.1: Exemplo de como considerar um gráfico nos anexos.

Table A.1: Isto é um exemplo de uma tabela. Se fôr igual(copiada) a outro autor deve ser pedido autorização para reproduzir.

Title 1	Title 2	Title 3	Title 4
entry 1	data	data	data
	data	data	data
	data	data	data
entry 2	data	data	data
	data	data	data
entry 3	data	data	data
	data	data	data
	data	data	data
	data	data	data
entry 4	data	data	data