

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

**Estudo de Dependências Espaço-Temporais para
Caracterização de Recurso de Produção Eólica**

Luís Guilherme Amorim Vigário Silva

Versão Final

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Professor. Doutor. Cláudio Domingos Martins Monteiro

Julho de 2010

© Luís Guilherme Amorim Vigário Silva, 2010

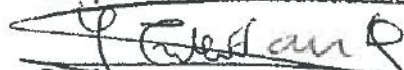
A Dissertação intitulada

“ESTUDO DE DEPENDÊNCIAS ESPACIO - TEMPORAIS PARA CARACTERIZAÇÃO DE RECURSO DE PRODUÇÃO EÓLICA”

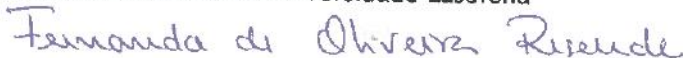
foi aprovada em provas realizadas em 21/Julho/2010

o júri

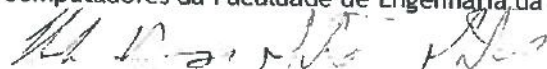
Presidente Professor Doutor José Eduardo Roque Neves dos Santos
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharias Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professora Doutora Fernanda de Oliveira Resende
Professora Auxiliar da Universidade Lusófona

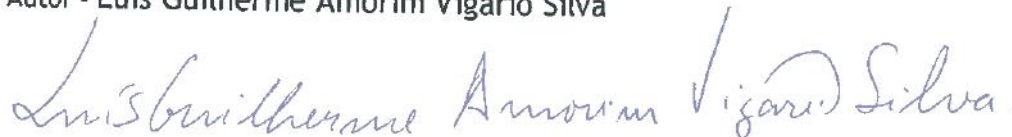


Professor Doutor Cláudio Domingos Martins Monteiro
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projecto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são correctamente citados.

Autor - Luís Guilherme Amorim Vigário Silva



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

Supportado por políticas de investimento em energias renováveis, o interesse nos recursos eólicos atingiu importância fulcral tanto a nível Europeu como Mundial. Para melhorar o aproveitamento dos recursos eólicos torna-se necessário o estudo aprofundado das características do vento para um dado local com potencial para exploração energética. Para um curto período de tempo de recolha de dados, existe uma grande incerteza quanto à viabilidade desses mesmos dados, para que o estudo seja significativo, pois pode ocorrer uma grande variação nos dados recolhidos, quando comparados com anos anteriores.

Assim, é primordial correlacionar pontos de medida no espaço e no tempo com métodos computacionais. No entanto, a previsão perde significado se o método de correlação não for fiável. Esta correlação pode ser efectuada recorrendo a séries de dados resultantes de reanálises de previsão, para além da correlação entre séries de medidas recolhidas nas torres de medida. O MCP (*Measure-Correlate-Prediction* - Previsão por Métodos de Correlação) é o termo para tal processo, normalmente baseado em métodos de regressão linear.

Nesta dissertação, pretende-se desenvolver metodologias MCP avançadas que agreguem múltiplas fontes de informação, utilizando técnicas de inteligência computacional, baseadas em redes neuronais.

Desta forma, são objecto de estudo na dissertação a optimização das ferramentas de análise e tratamento de dados, bem como a sua aplicabilidade; a implementação de melhorias quanto ao enquadramento temporal de recolha de dados, pesando a simultaneidade dos acontecimentos em cada uma das torres e, ainda, a inferência sobre aquele que será um grupo óptimo de torres eólicas numa determinada área geográfica, de forma a aumentar a viabilidade dos métodos aplicados.

Palavras-Chave: MCP, Correlação, Extrapolação

Abstract

Backed by investment policies on renewable energy, the wind resource has reached critical importance at both European and World level. To improve the use of wind resources, it becomes necessary to study in depth the characteristics of the wind for a given site with energy exploration potential. For a short period of data collection, there is great uncertainty about the feasibility of the data, so that the study has significance. Such occurs due to a wide range of data collected in comparison to previous years. It is therefore important to correlate measurement points in space and time with computational methods.

However, the prediction becomes meaningless if the correlation method is not reliable. The correlation can be made with data sets resulting from reanalysis and forecasting, as well as the correlation between sets of measurements collected in the measuring towers. The MCP (Measure-correlate-Prediction) is the term for such a process, usually based on linear regression methods.

This dissertation aims to develop methods that add to the advanced MCP multiple sources of information, using techniques of computational intelligence, based on neuronal networks.

This way, the subject of the dissertation is to study and optimize tools for analysis and processing of data and its applicability, the implementation of improvements in the time frame for collecting data, weighing the simultaneity of events in each tower; and also infer on what will be a good group of wind towers in a given geographical area, in order to increase the viability of the applied methods.

Key Words: MCP, Correlation, Extrapolation

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Cláudio Domingos Martins Monteiro o facto de ter acreditado em mim para desenvolver este trabalho, os seus conselhos e a sua preocupação.

À EDP Renováveis pela disponibilidade e vontade na elaboração da dissertação em ambiente empresarial no departamento de Avaliação Energética.

Ao Dr. Antonio Ruiz pela sua orientação, contribuição e opinião, disponibilidade e auxílio principalmente no que diz respeito à vontade de efectuar algo motivador, tanto para mim como para a empresa.

Aos meus amigos da EDP Renováveis que sempre se mostraram disponíveis e me acolheram na empresa, em especial ao Marcos Blanco Blanco, Rebeca de Pablo e Miguel Cordoba, que, sempre que necessário, deram a sua opinião e ajuda.

Ao Francisco Mesquita, ao Ricardo Neves, ao João Machado, à Marta Nilza, ao Tiago Valente Costa, ao Sérgio Vaz Lopes, ao André Miguel Lopes, ao Hélder Matos, ao Hugo Vasconcelos e a todos os que estiveram envolvidos no desenvolvimento deste trabalho e ao longo de todo o curso com a sua amizade, ajuda e opinião mas não foram mencionados agradeço também profundamente.

Ao meu irmão que sempre me apoiou, ajudou e incentivou ao longo de toda esta etapa académica, a força de me deu foi parte vital na conclusão deste trabalho e curso.

Por último, mas com papel principal, aos meus pais que me possibilitaram esta experiência na EDP Renováveis, por todo o esforço, todo o apoio e encorajamento ao longo destes anos de faculdade e me permitiram acabar um curso superior.

“Não tenhas pressa, mas não percas tempo”

José-Saramago (1922 - 2010)

“if the wind will not serve, take to the oars”

Provérbio Latino

Índice

Resumo	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice	xiii
Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas	xxi
Abreviaturas e Símbolos	xxiii
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Enquadramento da dissertação	1
1.2 - Problemática da dissertação	1
1.3 - Organização do documento.....	2
Capítulo 2	3
Revisão da literatura e Estado da arte.....	3
2.1 - Introdução	3
2.2 - O recurso eólico	3
2.3 - O uso de Redes Neurais.....	6
Capítulo 3	11
Metodologia.....	11
3.1 - Introdução	11
3.2 - Estudo inicial das torres de medida.....	11
3.2.1 - Análise das séries de velocidade de vento.....	11
3.2.2 - Distanciamento das torres de medida	18
3.2.3 - Orografia do terreno.....	21
3.3 - Tratamento de dados	24
3.3.1 - Selecção de dados.....	24
3.3.2 - Definição de conjuntos de dados	25
3.4 - Conclusões	26
Capítulo 4	27

Optimização da ferramenta (MCP com RN)	27
4.1 - Introdução	27
4.2 - Comparação RN com RL	27
4.2.1 - Velocidade do vento	27
4.2.2 - Direcção do vento	28
4.3 - Estudo para recomendação da estrutura e variáveis da Rede Neuronal.....	30
4.3.1 - Velocidade do vento	30
4.3.2 - Direcção do vento	33
4.4 - Conclusões.....	35
Capítulo 5	37
Optimização temporal do MCP	37
5.1 - Introdução	37
5.2 - Estudo dos meses necessários para o treino.....	37
5.2.1 - Ponto P: E92.....	37
5.2.1.a - Velocidade do vento	37
5.2.1.b - Direcção do vento	41
5.2.2 - Ponto P: E150	44
5.2.2.a - Velocidade do vento	44
5.2.2.b - Direcção do vento	47
5.2.3 - Ponto P: E154	50
5.2.3.a - Velocidade do vento	50
5.2.3.b - Direcção do vento	53
5.2.4 - Ponto P: E159	56
5.2.4.a - Velocidade do vento	56
5.2.4.b - Direcção do vento	59
5.2.5 - Ponto P: E810	62
5.2.5.a - Velocidade do vento	62
5.2.5.b - Direcção do vento	65
5.3 - Conclusão	68
Capítulo 6	69
Optimização geográfica do MCP.....	69
6.1 - Introdução	69
6.2 - Estudo da eficiência do MCP com a distância	69
6.2.1 - Velocidade de vento	71
6.2.2 - Direcção de vento	71
6.3 - Estudo da eficiência do MCP relativamente ao número de pontos	72
6.3.1 - Ponto P: E92.....	72
6.3.1.a - Velocidade de vento	73
6.3.1.b - Direcção de vento	74
6.3.2 - Ponto P: E150	74
6.3.2.a - Velocidade de vento	75
6.3.2.b - Direcção de vento	76
6.3.3 - Ponto P: E154	76
6.3.3.a - Velocidade de vento	77
6.3.3.b - Direcção de vento	78
6.3.4 - Ponto P: E159	78
6.3.4.a - Velocidade de vento	79
6.3.4.b - Direcção de vento	80
6.3.5 - Ponto P: E810	80
6.3.5.a - Velocidade de vento	81
6.3.5.b - Direcção de vento	81
6.4 - Estudo da eficiência do MCP quanto à posição dos pontos.....	82
Capítulo 7	87

Conclusões e Futuros Desenvolvimentos.....	87
7.1 - Conclusões	87
7.2 - Futuros Desenvolvimentos	88
Referências	89

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Comparação do método a partir de um longo período de dados com o de extrapolação	7
Figura 2.2 - Estrutura de uma rede neuronal com duas camadas	10
Figura 3.1 - Amostra das séries de velocidade de vento.....	12
Figura 3.2 - Amostra de falhas de dados, na torre E150.....	12
Figura 3.3 - Amostra de falhas de dados para a torre E92	13
Figura 3.4 - Amostra pormenorizada da falha na torre E92 da figura 3.3	13
Figura 3.5 - Amostra da dessincronização dos dados da torre E150 com os dados das restantes torres.....	13
Figura 3.6 - Amostra representativa de sincronização de dados entre toras as torres	14
Figura 3.7 - Amostra representativa das várias possibilidades nos conjuntos de dados.....	14
Figura 3.8 - Hsitograma dos indicadores.....	15
Figura 3.9 - Gráfico comparativo das séries real, suavizada uma hora e suavizada quatro horas.....	16
Figura 3.10 - Histogramas, a azul, e distribuições de <i>Weibull</i> , a vermelho, para série real...	17
Figura 3.11 - Histogramas e distribuições de <i>Weibull</i> para série suavizada uma hora	18
Figura 3.12 - Localização global do grupo principal de torres em estudo	19
Figura 3.13 - Pormenorização territorial do grupo principal de torres em estudo	19
Figura 3.14 - Alusão ao terreno das principais torres em estudo	20
Figura 3.15 - Alusão ao terreno da torre E92	21
Figura 3.16 - Alusão ao terreno da torre E150.....	22
Figura 3.17 - Alusão ao terreno da torre E154.....	22
Figura 3.18 - Alusão ao terreno da torre E159.....	23

Figura 3.19 - Alusão ao terreno da torre E810.....	23
Figura 3.20 - Localização da totalidade das torres	24
Figura 4.1 - Erro de velocidade para comparação RL e RN entre torres E92 e E159.....	28
Figura 4.2 - Erro de velocidade para comparação RL e RN entre torres E150 e E159	28
Figura 4.3 - Erro de direcção para comparação RL e RN entre torres E92 e E159	29
Figura 4.4 - Erro de direcção para comparação RL e RN entre torres E150 e E159	29
Figura 4.5 - Correlação entre as variáveis de velocidade de E92 e E150	30
Figura 4.6 - Erro da velocidade do MCP com série normal e com série em atraso entre E92 e E159	32
Figura 4.7 - Erro da velocidade do MCP com série normal e com série em atraso entre E150 e E159	33
Figura 4.8 - Erro da direcção do MCP com série normal e com série em atraso entre E92 e E159	34
Figura 4.9 - Erro da direcção do MCP com série normal e com série em atraso entre E150 e E159	35
Figura 5.1- Erro de MCP para velocidade para E92 com o ponto M E150	38
Figura 5.2 - Erro de MCP para velocidade para E92 com o ponto M E154.....	39
Figura 5.3 - Erro de MCP para velocidade para E92 com o ponto M E159.....	40
Figura 5.4 - Erro de MCP para velocidade para E92 com o ponto M E810.....	40
Figura 5.5 - Erro de MCP para direcção para E92 com o ponto M E150	42
Figura 5.6 - Erro de MCP para direcção para E92 com o ponto M E154	42
Figura 5.7 - Erro de MCP para direcção para E92 com o ponto M E159	43
Figura 5.8 - Erro de MCP para direcção para E92 com o ponto M E810	43
Figura 5.9 - Erro de MCP para velocidade para E150 com o ponto M E92.....	45
Figura 5.10 - Erro de MCP para velocidade para E150 com o ponto M E154.....	45
Figura 5.11 - Erro de MCP para velocidade para E150 com o ponto M E159.....	46
Figura 5.12 - Erro de MCP para velocidade para E150 com o ponto M E810.....	47
Figura 5.13 - Erro de MCP para direcção para E150 com o ponto M E92	48
Figura 5.14 - Erro de MCP para direcção para E150 com o ponto M E154	49
Figura 5.15 - Erro de MCP para direcção para E150 com o ponto M E159	49
Figura 5.16 - Erro de MCP para direcção para E150 com o ponto M E810	50
Figura 5.17 - Erro de MCP para velocidade para E154 com o ponto M E92	51

Figura 5.18 - Erro de MCP para velocidade para E154 com o ponto M E150.....	52
Figura 5.19 - Erro de MCP para velocidade para E154 com o ponto M E159.....	52
Figura 5.20 - Erro de MCP para velocidade para E154 com o ponto M E810.....	53
Figura 5.21 - Erro de MCP para direcção para E154 com o ponto M E92	54
Figura 5.22 - Erro de MCP para direcção para E154 com o ponto M E150	55
Figura 5.23 - Erro de MCP para direcção para E154 com o ponto M E159	55
Figura 5.24 - Erro de MCP para direcção para E154 com o ponto M E810	56
Figura 5.25 - Erro de MCP para velocidade para E159 com o ponto M E92	57
Figura 5.26 - Erro de MCP para velocidade para E159 com o ponto M E150.....	58
Figura 5.27 - Erro de MCP para velocidade para E159 com o ponto M E154.....	58
Figura 5.28 - Erro de MCP para velocidade para E159 com o ponto M E810.....	59
Figura 5.29 - Erro de MCP para direcção para E159 com o ponto M E92	60
Figura 5.30 - Erro de MCP para direcção para E159 com o ponto M E150	61
Figura 5.31 - Erro de MCP para direcção para E159 com o ponto M E154	61
Figura 5.32 - Erro de MCP para direcção para E159 com o ponto M E810	62
Figura 5.33 - Erro de MCP para velocidade para E810 com o ponto M E92	63
Figura 5.34 - Erro de MCP para velocidade para E810 com o ponto M E150.....	64
Figura 5.35 - Erro de MCP para velocidade para E810 com o ponto M E154.....	64
Figura 5.36 - Erro de MCP para velocidade para E810 com o ponto M E159.....	65
Figura 5.37 - Erro de MCP para direcção para E810 com o ponto M E92	66
Figura 5.38 - Erro de MCP para direcção para E810 com o ponto M E150	67
Figura 5.39 - Erro de MCP para direcção para E810 com o ponto M E154	67
Figura 5.40 - Erro de MCP para direcção para E810 com o ponto M E159	68
Figura 6.1 - Erro de velocidade para a torre E159 com a distância de pontos.....	71
Figura 6.2 - Erro de direcção para a torre E159 com a distância de pontos	72
Figura 6.3 - Erro de velocidade para a torre E92 em função do número de pontos.	73
Figura 6.4 - Erro de direcção para a torre E92 em função do número de pontos.	74
Figura 6.5 - Erro de velocidade para a torre E150 em função do número de pontos.	75
Figura 6.6 - Erro de direcção para a torre E510 em função do número de pontos.....	76
Figura 6.7 - Erro de velocidade para a torre E154 em função do número de pontos.	77

Figura 6.8 - Erro de direcção para a torre E154 em função do número de pontos.....	78
Figura 6.9 - Erro de velocidade para a torre E159 em função do número de pontos.	79
Figura 6.10 - Erro de direcção para a torre E159 em função do número de pontos.	80
Figura 6.11 - Erro de velocidade para a torre E810 em função do número de pontos.	81
Figura 6.12 - Erro de direcção para a torre E810 em função do número de pontos.	82
Figura 6.13 - Posição dos pontos segundo a rosa-dos-ventos	83
Figura 6.14 - Erro de velocidade para a torre E192 em função para a posição de pontos.....	84
Figura 6.15 - Erro de direcção para a torre E92 em função para a posição de pontos	85

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Distâncias entre todas as torres.....	20
Tabela 3.2 - Distancias entre as torres de maior importâncias para a dissertação.	21
Tabela 3.3 - Representação dos conjuntos de dados.....	26
Tabela 4.1 - Estudo das correlações entre as séries de velocidade de torres	31
Tabela 4.2 - Estudo das correlações entre as séries de velocidade de torres	31
Tabela 4.3 - Erros de velocidade com série normal e série em atraso entre as E92 e E159....	32
Tabela 4.4 - Erros de velocidade com série normal e série em atraso entre E150 e E159.....	33
Tabela 4.5 Erros de direcção com série normal e série em atraso entre as E92 e E159	34
Tabela 4.6 - Erros de direcção com série normal e série em atraso entre E150 e E159	34
Tabela 5.1 - MAE do MCP de velocidade de vento no ponto P E92 para vários pontos M	38
Tabela 5.2 - MAE do MCP de direcção de vento no ponto P E92 para vários pontos M	41
Tabela 5.3 - MAE do MCP de velocidade de vento no ponto P E150 para vários pontos M.....	44
Tabela 5.4 - MAE do MCP de direcção de vento no ponto P E150 para vários pontos M.....	48
Tabela 5.5 - MAE do MCP de velocidade de vento no ponto P E154 para vários pontos M.....	50
Tabela 5.6 - MAE do MCP de direcção de vento no ponto P E154 para vários pontos M.....	53
Tabela 5.7 - MAE do MCP de velocidade de vento no ponto P E159 para vários pontos M.....	57
Tabela 5.8 - MAE do MCP de direcção de vento no ponto P E159 para vários pontos M.....	60
Tabela 5.9 - MAE do MCP de velocidade de vento no ponto P E810 para vários pontos M.....	63
Tabela 5.10 MAE do MCP de direcção de vento no ponto P E810 para vários pontos M	66
Tabela 6.1 - definição dos conjuntos de 210 dias com toras as torres para a torre E159	70
Tabela 6.2 - Definição dos conjuntos de teste com todas as torres para a torre E159.....	70
Tabela 6.3 - Erro de velocidade e direcção para a torre E159 com a distância	70

Tabela 6.4 - Erros de velocidade e direcção para torre E92 quanto ao número de pontos.....	73
Tabela 6.5 - Erros de velocidade e direcção para torre E150 quanto ao número de pontos ...	75
Tabela 6.6 - Erros de velocidade e direcção para torre E154 quanto ao número de pontos ...	77
Tabela 6.7 - Erros de velocidade e direcção para torre E159 quanto ao número de pontos ...	79
Tabela 6.8 - Erros de velocidade e direcção para torre E810 quanto ao número de pontos ...	80
Tabela 6.9 - Erros de velocidade e direcção do vento para a torre E92 com posição de pontos.....	83

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

km	quilómetro
MAE	<i>Mean Absolute Error</i>
MCP	<i>Measure Correlate Predict</i>
NWP	<i>Numerical Weather Prediction</i>
RN	Redes Neurais
RL	Regressões Lineares
Ponto M	ponto a partir do qual se objectiva extrapolar
Ponto P	ponto para o qual se objectiva extrapolar
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
WASP	<i>Wind Atlas Analysis and Application Programme</i>

Lista de símbolos

I_i	indicador de confiança para a torre i
σ	desvio padrão de todas as torres para um dado j
d	modulo da diferença entre a média dos valores de velocidade e o próprio valor
$F(x, \alpha, \beta)$	distribuição cumulativa de <i>Weibull</i>
x	valor no qual se avalia a distribuição de <i>Weibull</i>
α, β	parâmetros da distribuição de <i>Weibull</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Enquadramento da dissertação

A avaliação do potencial de recurso de produção eólica, imprescindível para o planeamento da localização e projecto de novos parques eólicos, requer para análise a disponibilidade de longas séries temporais de velocidades e direcção do vento. As fontes de informação são usualmente medidas em torres de medida colocadas no local para esse efeito. Quando o período de medida destas torres é curto, é necessário proceder a ajustes espaço-temporais correlacionando, no espaço (entre diferentes locais com medidas) e no tempo (em períodos simultâneos), modelos de ajuste que podem ser baseados em inteligência computacional (redes neuronais, SVM, etc).

Para além da correlação entre medidas recolhidas nas torres, podem ainda ser correlacionadas séries resultantes de reanálises de previsão com modelos NWP (*Numerical Weather Prediction* - Previsão Numérica Meteorológica). Este procedimento designa-se habitualmente por MCP (*Measure-Correlate-Predict* - Previsão por Métodos de Correlação) sendo que, por norma, são baseados em métodos de regressão linear.

1.2 - Problemática da dissertação

O principal objectivo desta dissertação consiste em efectivar regras a serem implementadas para o MCP, na construção de um histórico de dados no estudo prévio à criação de um parque eólico, passível de viabilizar o local para instalação dessa infraestrutura.

Com o pequeno conjunto de dados recolhidos no local da futura instalação de um parque, em períodos inferiores a um ano, torna-se, por vezes, necessário relaciona-los com dados de outras torres de medida próximas. Por norma, estas correlações são efectuadas por

2 Introdução

intermédio de modelos matemáticos de regressão linear. Daí, esta dissertação visar o estudo do MCP aplicando uma modelização em Redes Neurais (RN) em detrimento de Regressões Lineares (RL).

Desta forma, serão estudadas regras que possam realizar a extrapolação dos dados. Para tal, analisou-se uma ferramenta bem como as suas variáveis, visando a optimização temporal traduzida em número de dados necessários, e ainda a optimização geográfica com o estudo de distâncias, localização geográfica e do número de pontos, isto é, torres, usadas na extrapolação.

1.3 - Organização do documento

Esta dissertação está organizada em sete capítulos, sendo este o capítulo introdutório.

No capítulo 2 é feita uma revisão da literatura e estado da arte, onde se faz uma alusão aos métodos passíveis de tratamento e estudo da problemática da dissertação.

O capítulo 3 tem o intuito de elucidar acerca da metodologia e estudo de dados que serão usados para o objectivo deste trabalho. Aqui, serão feitas análises rigorosas de séries de dados, abordando o seu tratamento, selecção e organização.

No quarto capítulo é realizado o estudo para a optimização da ferramenta para o MCP, para estabelecimento de uma regra quanto ao número de variáveis necessárias para efectivar a extrapolação. Aqui, é comparada a eficiência entre RL e de RN.

Passando ao capítulo 5, verifica-se qual o melhor conjunto de dados a nível temporal, de forma a encontrar uma tendência a ser tomada como regra para este tipo de problemas, com a ferramenta computacional RN.

O capítulo 6 engloba vários estudos na optimização geográfica do MCP, viabilizando uma regra a implementar com o uso de RN. Desta forma, é efectuado o estudo sobre a posição dos pontos de medida, analisando a variação no comportamento alterando o número de pontos de medida usados na optimização, alterando também as distâncias entre pontos de medida e, por fim, as suas posições geográficas.

No capítulo 7 é feita a exposição das conclusões retiradas do trabalho.

Esta dissertação é elaborada com dados pertencentes à EDP Renováveis, pelo que possui dados de estudo confidenciais. Assim, são mostrados apenas dados em gráficos e tabelas.

Capítulo 2

Revisão da literatura e Estado da arte

2.1 - Introdução

A avaliação dos recursos eólicos é uma tarefa crucial, se não a mais crucial, no desenvolvimento de um parque eólico.

Têm sido desenvolvidos e realizados estudos mais detalhados de avaliação do potencial eólico, com a finalidade de obtenção de uma melhor caracterização do recurso disponível para a obtenção de informação sobre a valia de uma área, fazendo as extrapolações, comparações e correlações necessárias no sentido da aproximação a dados equivalentes a longo termo.

Para tal, são utilizados dados recolhidos em outras estações para a análise ao pormenor da localização, dimensão e configuração do parque eólico, que permitem definir o tipo de aerogeradores, diâmetros do rotor ou alturas das torres [1].

Assim, há que ter, principalmente, atenção às condições de complexidade do vento, uma vez que podem pôr em causa o desempenho e integridade dos aerogeradores.

Existe a necessidade do desenvolvimento de técnicas de medição e modelos de simulação de vento, que aumentam significativamente a complexidade e especificidade da avaliação do recurso eólico.

Os métodos processuais para a obtenção de dados por extrapolações designam-se por MCP (*Measure Correlate Predict*).

2.2 - O recurso eólico

O vento é o movimento da atmosfera relativo ao planeta Terra em constante rotação, quando sujeito à acção de forças capazes de lhe induzir quantidade de movimento, devido às diferenças de temperatura provocadas pelo aquecimento diferenciado em zonas do globo.

Conhecer as características do vento, foi um dos objectivos dos navegantes portugueses, na era dos descobrimentos. Nessa altura já se tinha uma ideia de como se organizava a circulação global do vento no planeta [2].

Duas das principais características do vento são a sua velocidade e direcção, que variam frequentemente. Existem vários factores e variáveis que provocam estas mudanças, tais como a pressão, temperatura e humidade relativa, já que estão dependentes da massa volúmica do ar. Há ainda que ter em conta a orografia do terreno e a presença de obstáculos, que também provocam alterações significativas na velocidade e direcção do vento.

No entanto, vários são os problemas aquando a análise deste recurso tal como a turbulência, o perfil da vertical velocidade, declinações bruscas de vento e ocorrência extremas da velocidade de vento.

Contudo, a caracterização do regime de vento para a avaliação de recurso passa normalmente pela velocidade e direcção do vento e a sua variabilidade em várias escalas temporais [3].

Para situações de variações lentas do regime de vento, o seu estudo poderá ser feito através de distribuições estatísticas, tipo densidade de probabilidade, de modo a obter a probabilidade de a velocidade do vento ser maior ou igual a um determinado valor.

Para obter estas distribuições, são contadas o número de ocorrências de cada velocidade média e depois expressas em função do número de horas total do período de análise. Esse período de análise deverá ser um período alargado, idealmente 3 anos, de modo a registar as variações anuais existentes.

Sendo que os valores utilizados, velocidade média do vento, são discretos, os valores da densidade de probabilidade obtidos, indicam a probabilidade da velocidade do vento se encontrar entre dois valores.

O problema deste método consiste na definição da gama de valores existentes entre esses dois valores. Caso a gama seja demasiadamente pequena pode-se dar um peso demasiadamente grande a valores que ocorrem poucas vezes. Por outro lado, se for uma gama excessivamente grande poder-se-á não contabilizar dados importantes para a distribuição de velocidade obtido. Normalmente usa-se o valor de 1m/s para este valor, conhecido como classe de vento.

Este tipo de estudo ganha mais importância se for possível definir estas distribuições de probabilidade por uma expressão analítica. Uma das distribuições que assume mais importância neste momento é a função de densidade de probabilidade de Weibull.[3]

Para caracterizar correctamente o recurso eólico de um local, idealmente, deveriam ser usados medições feitas em vários pontos da zona envolvente do local e que se prolongassem durante alguns anos. Na prática devido a constrangimentos temporais e financeiros essa caracterização é feita utilizando registos de apenas um ponto e que se prolongam apenas durante um ano.

É necessário um período de 30 anos para caracterizar o clima de um determinado local, o que obviamente não é possível por períodos que se aproximem minimamente do referido. Porque a duração normal do desenvolvimento de um projecto eólico está entre os 3 e 5 anos. Assim as campanhas de medição estão limitadas a períodos usualmente curtos, 1 a 3 anos.

É habitual assumir-se que o desvio padrão de intensidade média do vento de um ano, face à média de longo termo (30 anos) é 6%

A medição do vento é feita recorrendo a instrumentação própria: anemómetros, usados para a medição da velocidade, e sensores de direcção, para obter dados da direcção para onde o vento sopra.

No entanto, existe uma vasta gama de aparelhos tais como sensores de perturbação de vento e de luz.

Contudo, há a necessidade de monitorização constante para verificação de avarias ou problemas de funcionamento, tanto por monitorização remota como presencial[2]

A instalação é, também, um factor importante. É executada consoante a orografia e rugosidade do terreno, em especial em terrenos de rugosidade elevada.

Também com o objectivo de os dados obtidos serem os mais próximos possíveis dos que se vão verificar numa futura implementação, as medições deverão ser feitas a uma altura próxima da altura a que vai ficar o cubo do rotor da turbina. Por outro lado, deverão ser feitas também medidas a 10 metros de altura, altura normalizada, de maneira a que seja possível estabelecer uma correlação dos dados obtidos com os dados meteorológicos existentes, assim como pode estimar o valor do comprimento característico da rugosidade do solo.

A altura de medição deve situar-se pelo menos a $2/3$ da altura do eixo do aerogerador, muitas vezes desconhecido na fase inicial.

Com o objectivo de obter os dados mais correctos possíveis, estes instrumentos deverão ser colocados num local onde sejam expostos a todas as direcções, por isso, num raio mínimo de dez vezes a sua altura não deverão existir obstáculos à passagem do vento. A calibragem e montagem dos sensores tem de ser cuidadosa, pois, podem causar incertezas, daí a colocação a distâncias mínimas. Exemplo, no caso do anemómetro colocado no topo, não pode existir obstáculo até 1,5 metros, com a excepção a pára-raios e sistemas de balizagem nocturna

Outro ponto a ter em conta na medição do vento é a frequência de amostragem utilizada nos sensores, que é dependente do uso desejado Além disso, para se obter as médias horárias da velocidade do vento dever-se-á utilizar as médias de intervalos de tempo de 10 minutos[3]

Para obter o perfil dos ventos num determinado local são registados em tabelas ou gráficos de frequência os dados de velocidade e direcção obtidos nas medições feitas no local. Normalmente é desenhada a conhecida rosa-dos-ventos.

Para caracterizar o regime de vento de um determinado local é necessário fazer campanhas de medição de vento para obter valores da velocidade e da direcção do vento

nesse local. Além das medições, normalmente, recorre-se a modelos físicos e numéricos que permitem fazer extrapolações sobre o regime de vento em locais onde não existem medidas.

A utilização de modelos físicos consiste na produção de um modelo da orografia do local colocando depois num túnel de vento de modo a reproduzir comportamentos de vento semelhantes aos existentes no local. Deste modo, é possível saber o comportamento do vento em diferentes sítios e diferentes alturas de modo a identificar problemas na circulação do vento naquele local.

Com o desenvolvimento dos computadores, passou a ser possível utilizar métodos numéricos, modelos de mesoescala, modelos lineares e modelos não lineares, para fazer a previsão do comportamento do vento. Com estes métodos, passou a ser possível usar os dados meteorológicos, quando existentes, ou recolher apenas uma pequena quantidade de dados tornando muito mais rápida a obtenção de resultados.

O modelo linear mais usado é o WAsP (*Wind Atlas Analysis and Application Programme*). Neste método é usado um conjunto de dados de um determinado local de referência, normalmente dados meteorológicos recolhidos num período alargado de tempo. Primeiramente, estes dados são filtrados de modo a retirar a influência da rugosidade, obstáculos e orografia, de modo a obter o escoamento livre do local. Numa segunda fase, é influência das características do local, assim como é corrigido para a altura da torre, de modo a obter-se um resultado mais real possível.

Um modelo não linear, ou CFD (*Computational Fluid Dynamics*), conhecido é denominado de WINDIE™, que são ideais para a avaliação das condições de vento complexo que podem apresentar riscos para a operação dos aerogeradores.

2.3 - O uso de Redes Neurais

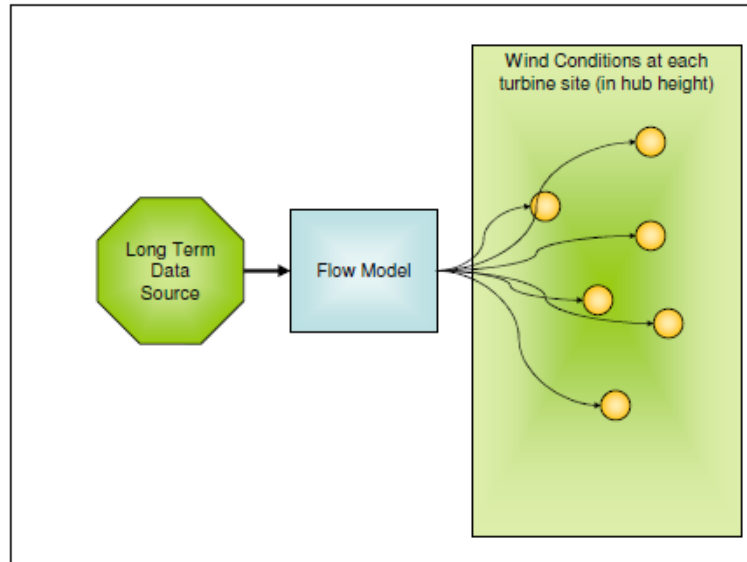
Para a determinação de potenciais ventos, em particular na fase de planeamento, frequentemente refere-se a um local perto das medições do vento. Usualmente estas medições são iniciadas durante o desenvolvimento do projecto. Normalmente, os períodos de medição disponíveis são curtos e tipicamente têm um intervalo de um ano.

Em seguida, estes resultados são convertidos com a ajuda de um modelo de fluxo para os locais e a altura das hélices das centrais eólicas planeadas (*WEC - Wind Energy plants*). Em alternativa, os dados, ao longo do tempo, do vento podem ser convertidos directamente para as localizações dos *WEC* com a ajuda de um modelo de fluxo.

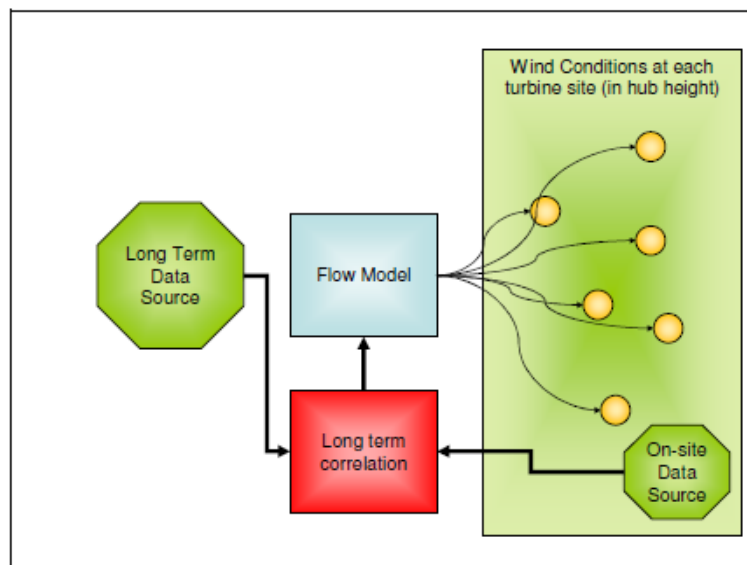
A vantagem do primeiro método mencionado é que quanto menor for a ligação dos dados à localização considerada, maior é a diminuição da precisão dos modelos de fluxo.

Por outro lado, os métodos utilizados para correlações de longo prazo são afectados substancialmente por inexactidões. De forma a obter uma estimativa fiável do potencial do vento, quando é usada uma localização curta, é necessário usar correlações de longo prazo de

alta qualidade como também uma significativa determinação das incertezas dos métodos usados. Isto é essencial para não perder a vantagem da precisão do modelo de fluxo obtido pelas medições do vento feitas no local considerado.



Determination of wind potential directly from a long term data source.



Determination of wind potential with on site measurement.

Figura 2.1 - Comparação do método a partir de um longo período de dados com o de extrapolação

Cada método para a correlação de longo prazo consiste em determinação de um mapa entre dados de longo prazo e os medidos na base do período de tempo simultaneamente disponíveis para ambos os conjuntos de dados, seguido da aplicação do mapa encontrado em

todo o período de dados a longo prazo. Por exemplo, um método comum é usar uma regressão linear. O mapa entre os dados a longo prazo l e os dados no local s é dado pela expressão:

$$s = m \times l + b \quad (2.1)$$

Normalmente, os parâmetros “ m ” e “ b ” são determinados para cada direcção do vento, separadamente. Os dados devem ser disponíveis como séries temporais. Este método assume uma pura relação linear entre ambos os conjuntos de dados.

Para situação mais complicadas as relações tipicamente contêm componentes não lineares e não podem ser descritas desta forma simples.

As necessidades básicas para determinar o mapa entre os conjuntos de dados podem ser reduzidas em reconhecimento a certas situações meteorológicas e condições do seu vento no local. No caso descrito realiza-se facilmente pelos dados do vento de uma estação de longo prazo perto do local considerado. Infelizmente, habitualmente esta estação não existe e neste caso a relação entre longo prazo e os dados no local podem ser mais complexos. A ideia deste novo método é utilizar redes neuronais para determinar o mapa e executar correlação de longo prazo.[4] Assim, pretende-se tirar vantagem das funcionalidades das redes neuronais como: a facilidade em reconhecer relações não lineares, pois, as redes neuronais são conhecidas por conseguirem reconhecer relações não lineares entre conjuntos de dados, especialmente aquelas que são esperadas para a tarefa actual, fazendo com que esta funcionalidade ajude para melhorar a correlação a longo prazo; a da facilidade em ter em conta dados passados, pois, certas arquitecturas de redes neuronais têm a possibilidade utilizar observações passadas, podendo ser útil por duas razões:

- Primeiro, se as medições a longo prazo e do local considerado estiverem localizadas longe uma da outra, os acontecimentos que ocorrem no local necessitam de tempo para prosseguir para outra localização, dependendo da direcção do vento. Para estas observações, obtidas ao mesmo tempo, não mostraram uma correlação real à presente.
- Segundo, para reconhecer uma certa situação meteorológica pode não ser suficiente fazer somente uma observação, o desenvolvimento após algumas observações a longo prazo podem ser mais enriquecidas de informação sobre o que esperar do local.

e; ainda, a facilidade em usar mais do que um dado de longo prazo, mesmo não sendo uma característica relevante das redes neuronais, pode-se esperar que estas redes, como as relações tornam-se mais complexas com o aumento de informação, são capazes de manusear mais informação. O método desenvolvido foi criado para arquitecturas de rede que têm a capacidade de manusear com mais de 4 fontes de informação a longo prazo.

Certamente, com o aumento de informação, a possibilidade de encontrar um mapa bom, fiável e estável entre as fontes de informação a longo prazo e as medições no local, se o método for capaz de dividir informação significativa a partir dos que não são necessários para o caso particular, mais uma vez pode depender da situação meteorológica actual. Assim, para certas condições pode ser necessário utilizar todas as fontes de informação disponíveis, enquanto noutros casos, bastará somente uma fonte. As redes neuronais devem ter a capacidade de tomar uma decisão neste tipo de situações.

É esperado ser útil uma combinação de todas estas capacidades para a tarefa presente, para tomar uma decisão sobre que estação usar se mais do que uma fonte de longo prazo estiver disponível.

Assim, é necessária a análise das medições sinópticas com correlações regionais para o local, a partir de informação de longo prazo.

Essencialmente, este tipo de informação é bom para correlações de longo prazo. O problema, especialmente em áreas remotas, é que as fontes de informação muitas vezes não estão disponíveis, os períodos de medição são curtos ou a base de dados é inconsistente devido às alterações dos instrumentos de medição, gravação ou de ambiente da estação.

Este conjunto de dados, especialmente de séries temporais, provenientes de qualquer modelo meteorológico, é geralmente indicado para cada ponto de grelha desses modelos.

Dependendo da resolução do modelo, a grande vantagem dessa informação é que está disponível muito perto do local.

É uma questão óbvia que a qualidade dos dados depende directamente da capacidade que o modelo usado tem para calcular as condições meteorológicas reais, e também como os dados têm sido introduzidos no modelo.

Os dados estão disponíveis desde 1948, no caso dos dados *NCAP/NCEP*. A resolução da grelha é bastante acentuada com 2,5 graus. Para a altura geográfica da Alemanha, isto significa um ponto de grelha de cerca de 200 km.

A grande vantagem deste conjunto de dados é a disponibilidade em termos mundiais. Assim, em princípio, a correlação a longo prazo pode ser realizada em cada local mundial, embora em cada caso particular, a consistência e a qualidade de dados tem de ser verificado minuciosamente.

O presente método foi especialmente desenvolvido para este conjunto de dados, pré-processados como *World Wind Atla.*[7] E tinha a possibilidade de incluir até quatro pontos de grelha de conjuntos de dados a longo prazo.

Redes neuronais tentam copiar a funcionalidade biológica dos neurónios mas de uma forma electrónica. A ideia básica é conectar diversos neurónios que realizam uma simples função como a identidade ou termos lineares simples com conexões ponderadas.

Em seguida, a rede é melhorada por ajustes dessas conexões. Muitas vezes são introduzidos parâmetros adicionais por cada neurónio. A arquitectura de rede usada nesta

aplicação é arquitectura para rede neuronal com duas camadas para *feedforward-backpropagation*.

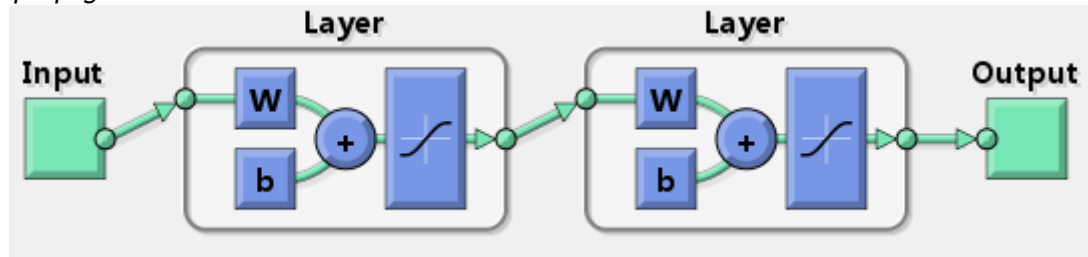


Figura 2.2 - Estrutura de uma rede neuronal com duas camadas

Outras arquitecturas, que incluem também estruturas recursivas, normalmente utilizam os resultados finais da rede como parte do vector de entrada, ainda não foram testadas.[5]

A principal característica das redes neurais é que, uma vez que estão criadas tem a capacidade de melhorar antes de estarem a produzir o resultado final. Após a criação, os pesos e os parâmetros são inicializados com os valores por defeito ou aleatoriamente. Depois, um conjunto de dados de melhoramento, compostos por entradas e saídas correspondentes são necessários para melhoramento de resultados.

Em seguida o melhoramento é realizado com vários algoritmos, ajustando os parâmetros da rede. Este é um processo iterativo e tipicamente são necessárias centenas de ciclos de melhoramento para ajustar os parâmetros da rede, para uma dada aplicação.

Um dos grandes problemas deste melhoramento é evitar a denominada sobre instalação de meios em palavras simples que a rede aproveita para reproduzir dados de entrada exactos, mas mais nenhum problema é verificado até ao fim. É simples entender que qualquer rede neuronal, similar a outras funções matemáticas, pode facilmente reproduzir qualquer resultado se houver suficientes parâmetros livres. Para esta aplicação são usadas duas aproximações diferentes para melhoramento dos algoritmos e técnicas de forma a evitar o excesso que foi testado até agora.

Para a comparação da performance de estudo, apesar não existe um modelo definido uma vez que não existe a adopção de um modelo normalizado, pode ser feito de diversas maneiras:

- Erro Médio (ME)
- Erro Médio Absoluto (MAE)
- Erro Médio Quadrático (MSE)
- Erro Médio Absoluto Percentual (MAPE).[6]

A avaliação nesta dissertação será feita através do erro MAE.

Capítulo 3

Metodologia

3.1 - Introdução

Este capítulo tem o intuito de verificar estudos das torres e respectivas séries de dados, tratamento e preparação de dados, definição de conjuntos.

Serão processados os dados de modo a se poder efectuar o estudo também com Redes Neurais, RN, sendo para tal efectuada a normalização dos dados das séries.

As leituras de dados foram efectuadas de 10 em 10 minutos, sendo um dia composto por 144 dados de medição.

3.2 - Estudo inicial das torres de medida

O estudo inicial das torres de medida foi elaborado para que se possa ter uma noção dos dados existentes. Assim, interessa fazer um estudo sobre a existência de erros ou falhas de medição por parte do anemómetro com uma análise cuidada das séries de velocidade de vento, o distanciamento das torres e sobre a geografia do terreno.

3.2.1 - Análise das séries de velocidade de vento

Este estudo foi, então, iniciado com uma análise rigorosa sobre as séries de dados. Após uma sincronização dos dados iniciais, que passou pela verificação de data e hora, traçaram-se os gráficos da velocidade do vento, da qual a figura 3.1 é exemplo. Na análise através dos dados das séries de velocidade e respectivos gráficos, pode-se verificar que os dados possuem falhas de medições, que poderão estar relacionadas com erros de leitura nas torres de medida ou ainda por correcção da série de dados, devido a erros ou falhas na leitura por parte do anemómetro, antes de os dados serem facultados.

12 Metodologia

A figura que se segue, figura 3.1, é uma amostra das séries de velocidade do vento, possuindo apenas os primeiros 3500 dados das séries de dados, de um conjunto de cerca de cem mil dados para a qual se efectuou este tipo de análise.

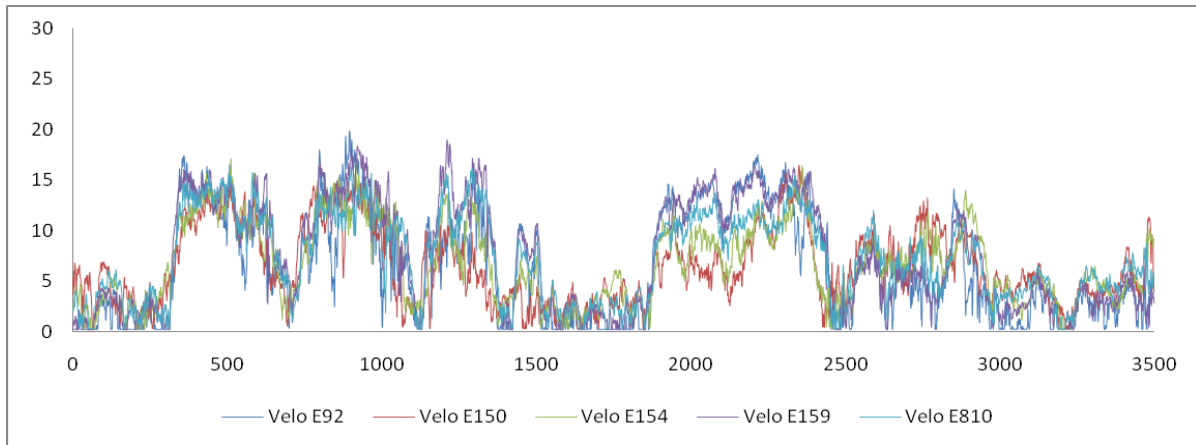


Figura 3.1 - Amostra das séries de velocidade de vento

Na figura 3.2 são visíveis falhas de medição na torre E150, a vermelho, de cerca de 60 dados, que representam cerca de meio-dia.

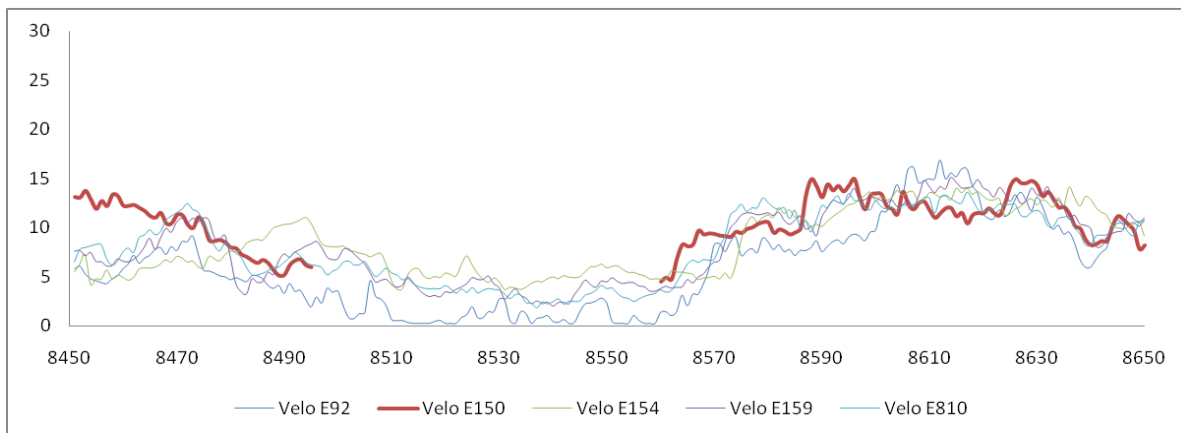


Figura 3.2 - Amostra de falhas de dados, na torre E150

A figura 3.3 é mais um exemplo de falhas de medição, por tratamento de dados prévio, ou por falha na leitura por parte do anemómetro. É visível a falha existente para a torre E92, a azul-escuro, para cerca de 700 dados na série.

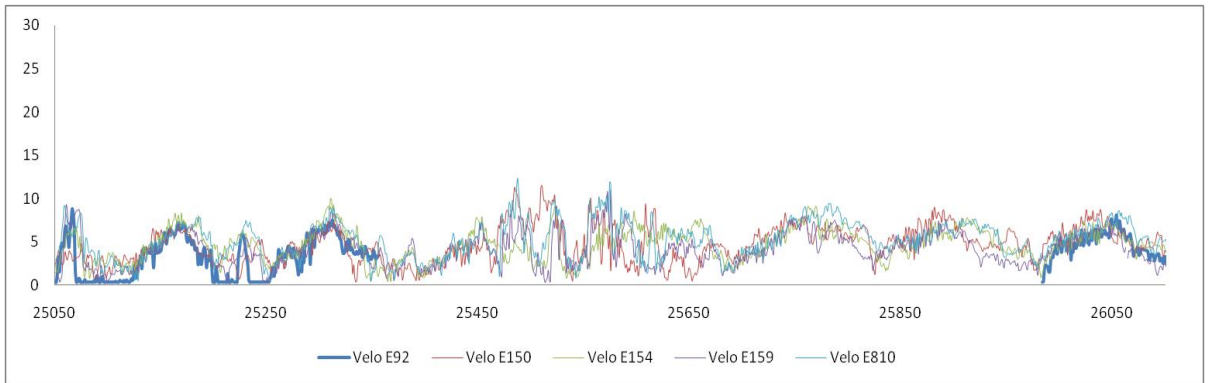


Figura 3.3 - Amostra de falhas de dados para a torre E92

A figura abaixo, figura 3.4, tem a amostra de dados da série de velocidade de vento da torre E92 referente à escala temporal da figura 3.3, figura anterior.

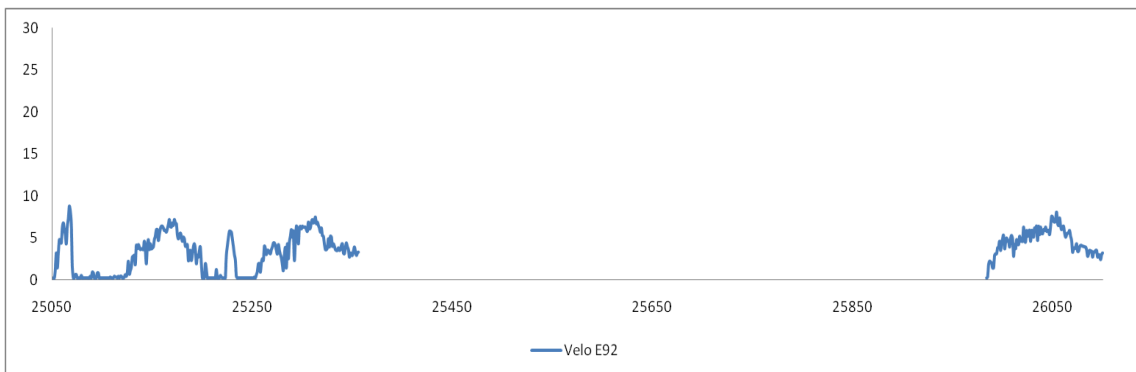


Figura 3.4 - Amostra pormenorizada de falha na torre E92 da figura 3.3

No entanto, a análise das séries de vento passa também por verificar a sincronização das mesmas. Na figura 3.5 mostra-se a existência de dessincronização das séries, como é visível entre os dados 9000 e 9050 e os dados 9150 e 9200.

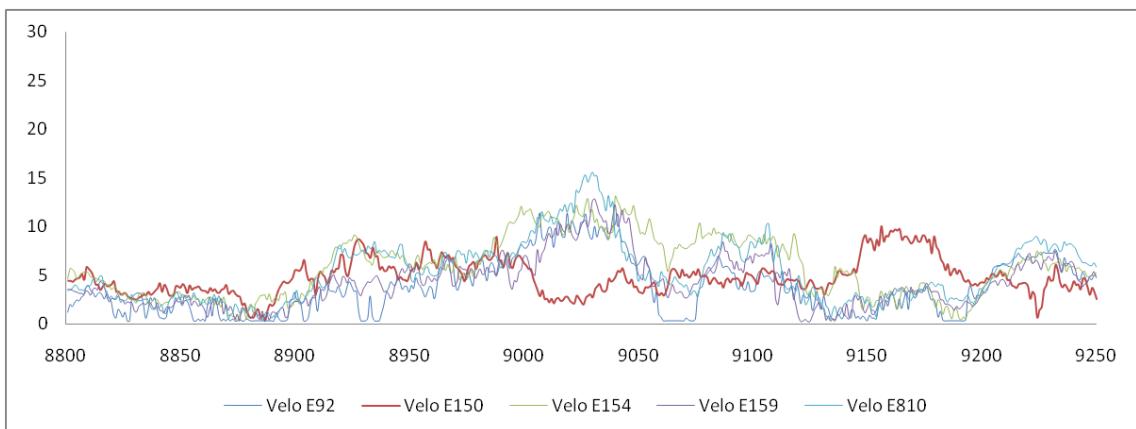


Figura 3.5 - Amostra da dessincronização dos dados da torre E150 com os dados das restantes torres

14 Metodologia

A figura 3.6 mostra que existe sincronização nos dados, adquiridos pelas torres de medida.

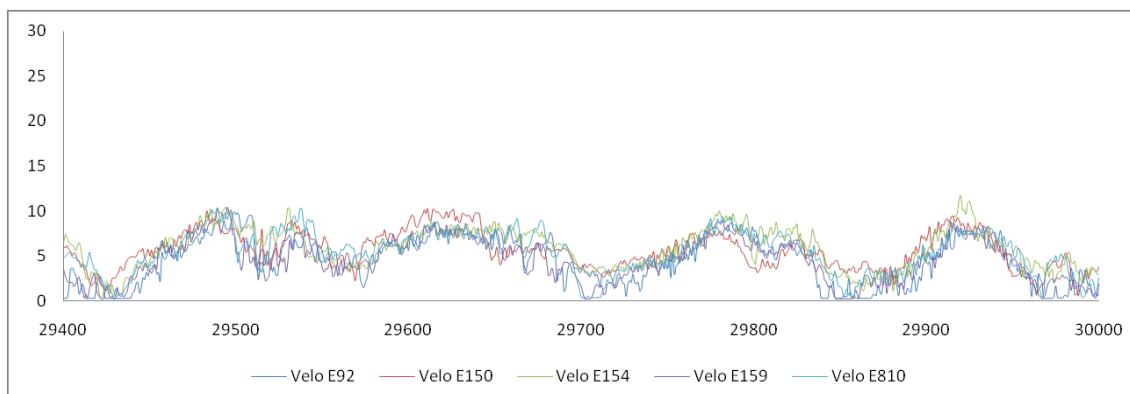


Figura 3.6 - Amostra representativa de sincronização de dados entre todas as torres

Assim, o estudo sobre a sincronização, erros e falhas de dados, são feitos para a totalidade de dados, para melhor se entender ao máximo os dados reais existentes. A figura 3.7 é um exemplo com os vários problemas encarados anteriormente.

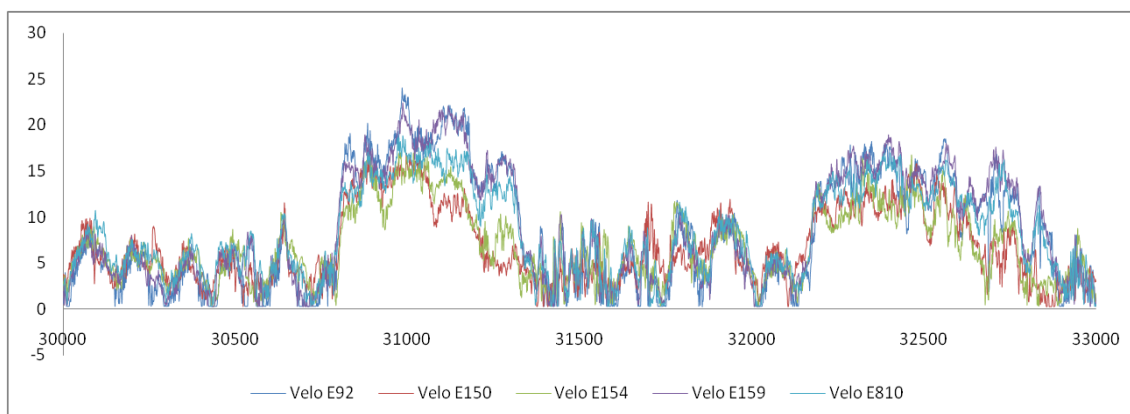


Figura 3.7 - Amostra representativa das várias possibilidades nos conjuntos de dados

A análise de dados por observação de gráficos demonstra que existem dados de torres que não são os mais viáveis, mesmo que correctos. Como exemplo são os dados da torre E150, que tem dados discrepantes dos dados das restantes variáveis, em diversas escalas temporais.

De seguida estudou-se a frequência de dados e respectivo histograma através de indicadores estatísticos, com a ocorrência de dados desses indicadores.

Para o cálculo dos indicadores de confiança para cada série de velocidade de vento foi usada a fórmula da equação 3.1:

$$I_i = \left(\frac{\sigma}{\sigma+d} \right)_j \quad (3.1)$$

para a torre i , o dado j , sendo que σ é o desvio padrão de todas as torres para o dado j e d é o módulo da diferença entre a média dos valores de velocidade para o dado j , das cinco torres em estudo, e o valor do mesmo dado j da torre i .

O gráfico representativo do histograma da quantidade de valores por indicador encontra-se na figura 3.8.

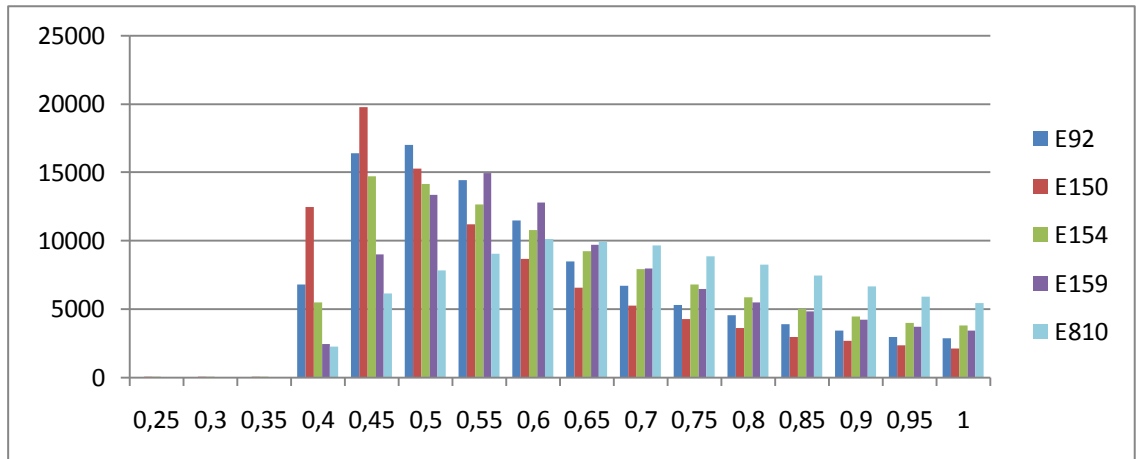


Figura 3.8 -Histograma da quantidade de valores por indicador

Por fim, estudou-se uma distribuição cumulativa de *Weibull* para os valores originais e depois com uma média de valores até uma hora.

A média de valores até uma hora tem o objectivo de suavizar as séries de dados, criando novas séries em que cada valor corresponde a uma média de uma hora da série real, de maneira a evitar saltos bruscos de dados. O objectivo é ver como interfere no cálculo da distribuição cumulativa de *Weibull*, com o intuito de ser aplicada em regressões.

Para o cálculo da distribuição de *Weibull* foi usada a ferramenta existente no Excel, para o qual a expressão é a seguinte:

$$F(x, \alpha, \beta) = 1 - e^{-(x/\beta)^\alpha} \quad (3.2)$$

onde “x” é o valor no qual se avalia a distribuição, “ α ” e “ β ” são parâmetros da distribuição.

Os parâmetros “ α ” e “ β ” da equação 3.2 são obtidos com o solver para o resultante do erro quadrático da diferença de *Weibull* com o valor do Histograma.

O cálculo da distribuição de *Weibull*, para a comparação das séries, tem o intuito de estudar o comportamento da curva resultante observando que esta aumenta na sua amplitude, enquanto o número de dados diminui nas extremidades do eixo das abcissas.

Assim, é mostrado um gráfico comparativo da série real e da série suavizada uma hora para a torre E150, usadas para as distribuições de *Weibull*, figura 3.9, contendo ainda uma série suavizada de quatro horas.

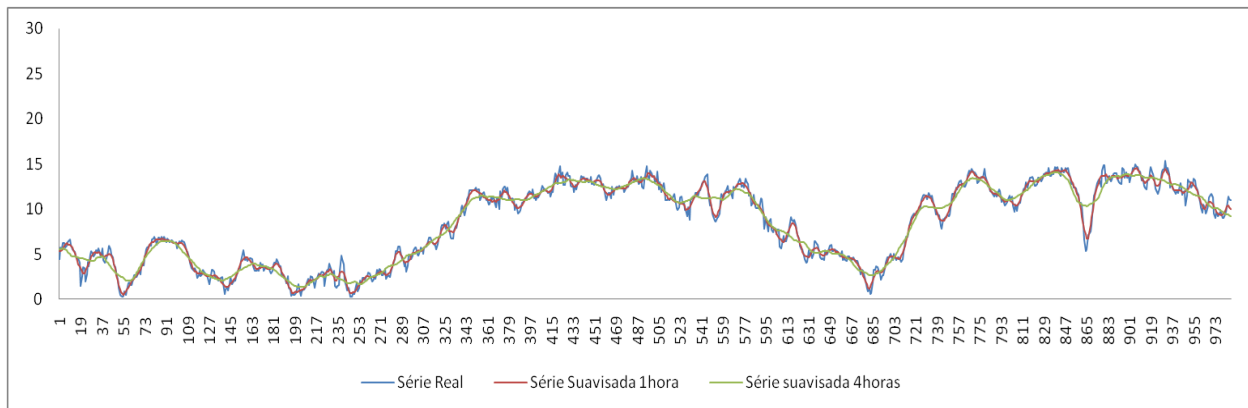


Figura 3.9 - Gráfico comparativo das séries real, suavizada uma hora e suavizada quatro horas

Na observação do gráfico da figura 3.9 nota-se que para a série de suavização em quatro horas existe uma perda de identidade comparativamente a série real. No entanto, no que diz respeito à comparação entre a série real e a série suavizada em uma hora, nota-se um seguimento correcto da série real por parte da série suavizada, atingindo muitas vezes os valores extremos da série real.

Esta suavização serviu para o estudo da distribuição de *Weibull* na tentativa de perceber de que maneira a discretização temporal influencia.

A figura 3.10 é representativa dos histogramas e das distribuições de *Weibull*, com séries reais, para as torres de medida em estudo.

Na figura 3.10 (a) apresentam-se dos resultados da distribuição de *Weibull* e Histograma para a torre E92.

A figura 3.10 (b) é relativa à torre E150.

A figura 3.10 (c) diz respeito à torre E154.

Para a torre E159 tem a ilustração (d) da figura 3.10.

A última ilustração, figura 3.10 (e), diz respeito aos resultados da distribuição de *Weibull* e ao Histograma da torre E810.

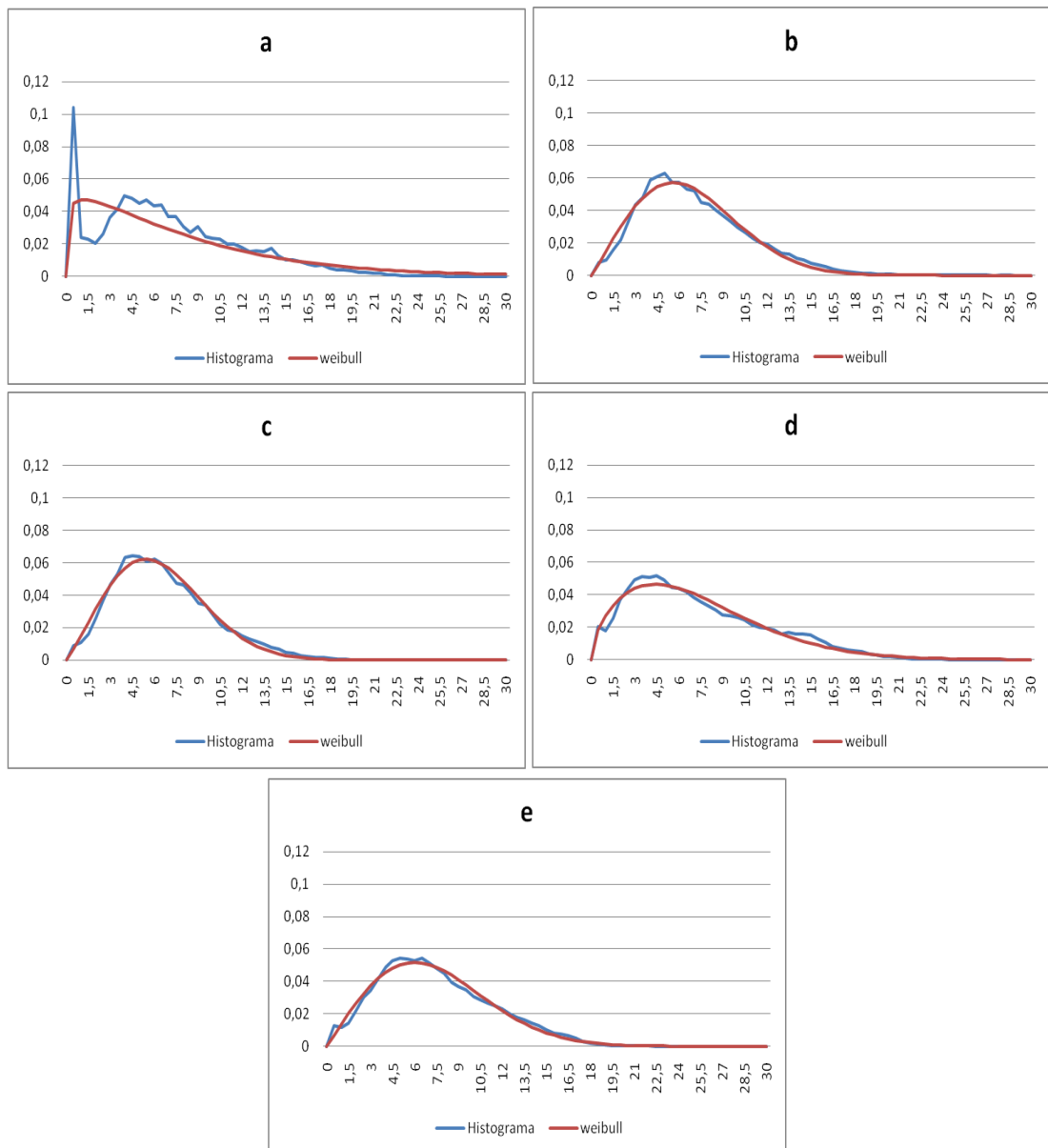


Figura 3.10 - Histogramas, a azul, e distribuições de *Weibull*, a vermelho, para série real.

Na figura 3.11 estão representados os histogramas e as distribuições de *Weibull*, para as séries suavizadas, para as torres a estudar.

A figura 3.11 (a) diz respeito a torre E92.

A figura 3.11 (b) é relativa à torre E150.

Na figura 3.11 (c) tem-se a representação para a torre E154.

A figura 3.11 (d) é da torre E159.

Por fim, na figura 3.11 (e) tem-se o resultado do histograma e da distribuição cumulativa da torre E810.

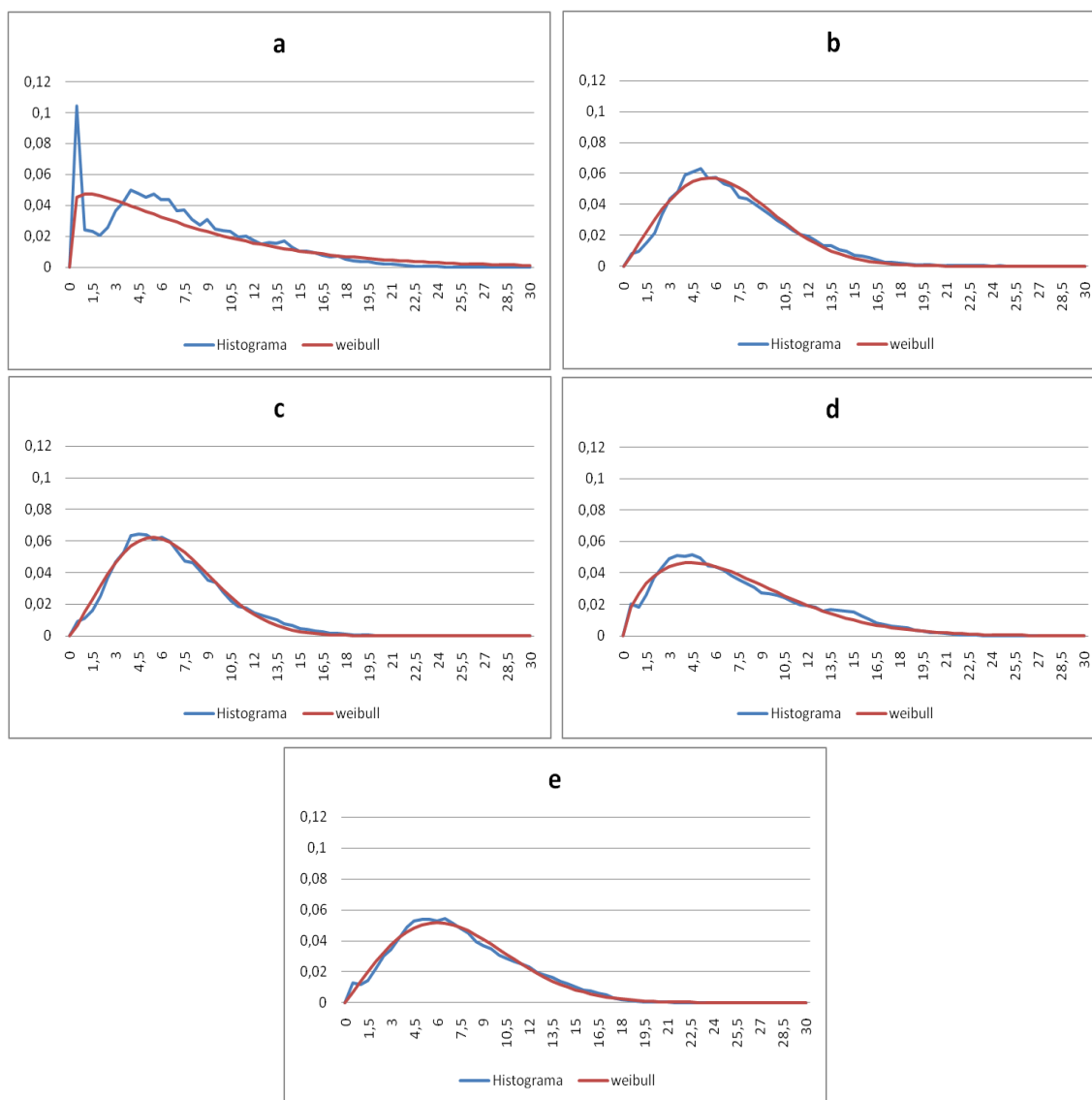


Figura 3.11 - Histogramas e distribuições de *Weibull* para série suavizada uma hora

Para os estudos acima foram usadas apenas as séries de valores de velocidade de vento.

No entanto, com a suavização da série de dados em uma hora não se verificam alterações tanto para os histogramas como para as distribuições de *Weibull*. Assim, não será tomada em conta esta série suavizada

3.2.2 - Distanciamento das torres de medida

Em paralelo, estudou-se o posicionamento das torres de medida tendo em conta a sua localização e o distanciamento entre elas.

O grupo de torres de principal estudo encontram-se numa zona entre a fronteira de Sevilha e Málaga, com o distanciamento máximo a rondar os 26 km. A figura 3.12 dá uma perspectiva da localização geral deste grupo de torres.



Figura 3.12 - Localização global do grupo principal de torres em estudo

A figura 3.13 é uma ilustração com maior pormenor, referente ao principal grupo de torres em estudo.



Figura 3.13 - Pormenorização territorial do grupo principal de torres em estudo

A figura seguinte, figura 3.14, ilustra a geografia do terreno, dando uma indicação do perfil da área das torres em estudo.



Figura 3.14 - Alusão ao terreno das principais torres em estudo

Quanto ao distanciamento, na tabela 3.1 estão inseridas, em quilómetros (km), as distâncias entre todas as torres de medida facultadas.

Tabela 3.1 - Distâncias entre todas as torres de medida

Torres	E11	E92	E121	E150	E154	E159	E510	E810
E11	-	125,00	41,13	108,25	130,50	128,90	418,00	128,40
E92	125,00	-	116,00	16,90	11,90	5,70	298,00	6,93
E121	41,13	116,00	-	101,74	118,40	121,45	414,26	121,70
E150	108,25	16,90	101,74	-	25,75	20,70	312,90	20,40
E154	130,50	11,90	118,40	25,75	-	14,70	296,60	16,70
E159	128,90	5,70	121,45	20,70	14,70	-	292,90	2,00
E510	418,00	298,00	414,26	312,90	296,60	292,90	-	292,70
E810	128,40	6,93	121,70	20,40	16,70	2,00	292,70	-

No entanto, como as torres que mais importam em todo o trabalho desta dissertação são as torres E92, E150, E154, E159 e E810, a tabela 3.2 mostra as distâncias entre elas, também em km.

Tabela 3.2 - Distâncias entre as torres de maior importância para a dissertação.

Torres	E92	E150	E154	E159	E810
E92	-	16,90	11,90	5,70	6,93
E150	16,90	-	25,75	20,70	20,40
E154	11,90	25,75	-	14,70	16,70
E159	5,70	20,70	14,70	-	2,00
E810	6,93	20,40	16,70	2,00	-

3.2.3 - Orografia do terreno

A torre E92, apresentada na figura 3.15, encontra-se num ligeiro planalto, percebendo-se que a partir de Norte existe algum relevo. No entanto, a toda a sua volta tem-se terreno plano.

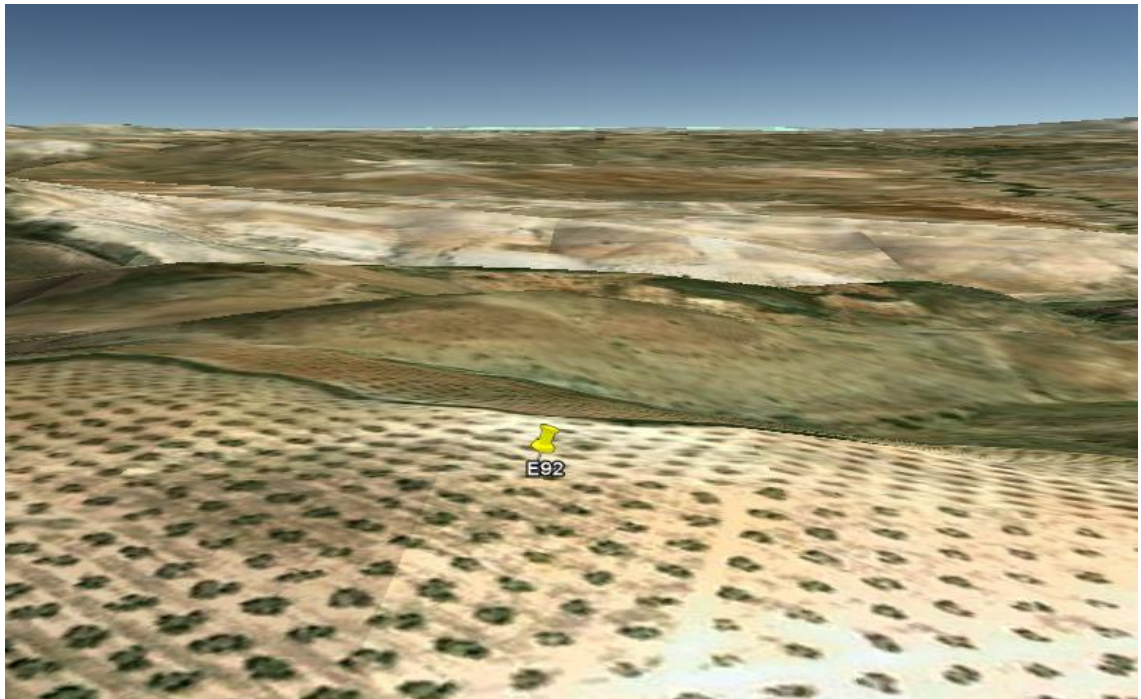


Figura 3.15 - Alusão ao terreno da torre E92

Para a torre E150, através da figura 3.16, nota-se que esta está colocada num monte, pertencente à Serra de Cañete. Este facto pode ter enorme importância nos valores da série de velocidade de vento para esta torre.



Figura 3.16 - Alusão ao terreno da torre E150

Pela apreciação da figura 3.17, retira-se que a torre E154 se encontra num planalto rugoso, sendo, contudo, uma ligeira rugosidade.

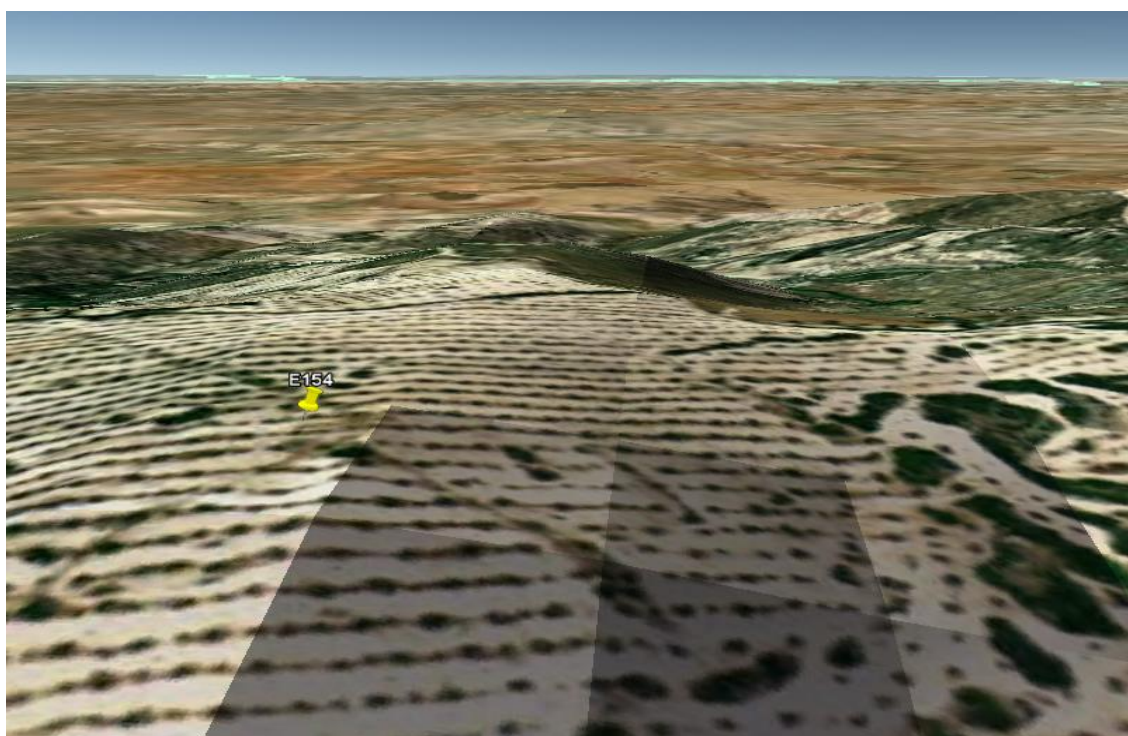


Figura 3.17 - Alusão ao terreno da torre E154

A torre E159 encontra-se no início de um planalto, como se comprovar pela figura 3.18 e mais adiante na figura 3.19. À sua volta existem terrenos de cultivo, que por sua vez reforçam a ideia de um terreno não muito acidentado.



Figura 3.18 - Alusão ao terreno da torre E159

A figura 3.19 é uma ilustração da geografia do terreno da torre E810, que se situa num planalto, com cultivo à sua volta. De notar a localização da torre E159 no lado esquerdo da ilustração.

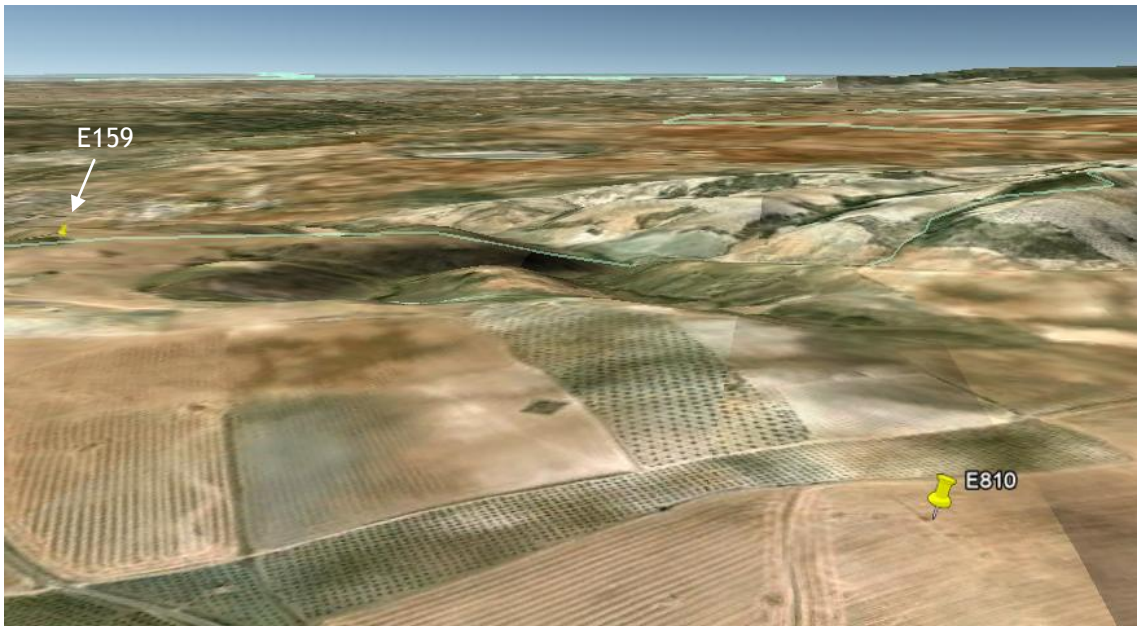


Figura 3.19 - Alusão ao terreno da torre E810

As figuras anteriores, sobre a geografia do terreno, são orientadas a norte, com a excepção da figura 3.16 que tem uma ligeira orientação a nordeste de forma a realçar o perfil do terreno em que está inserida.

A figura 3.20 demonstra a localização da totalidade de torres para uso no estudo desta dissertação. Para além do grupo já observado até ao momento, serão usadas as torres de medida E011, E121 e E510. Esta última está representada na figura no canto superior direito.

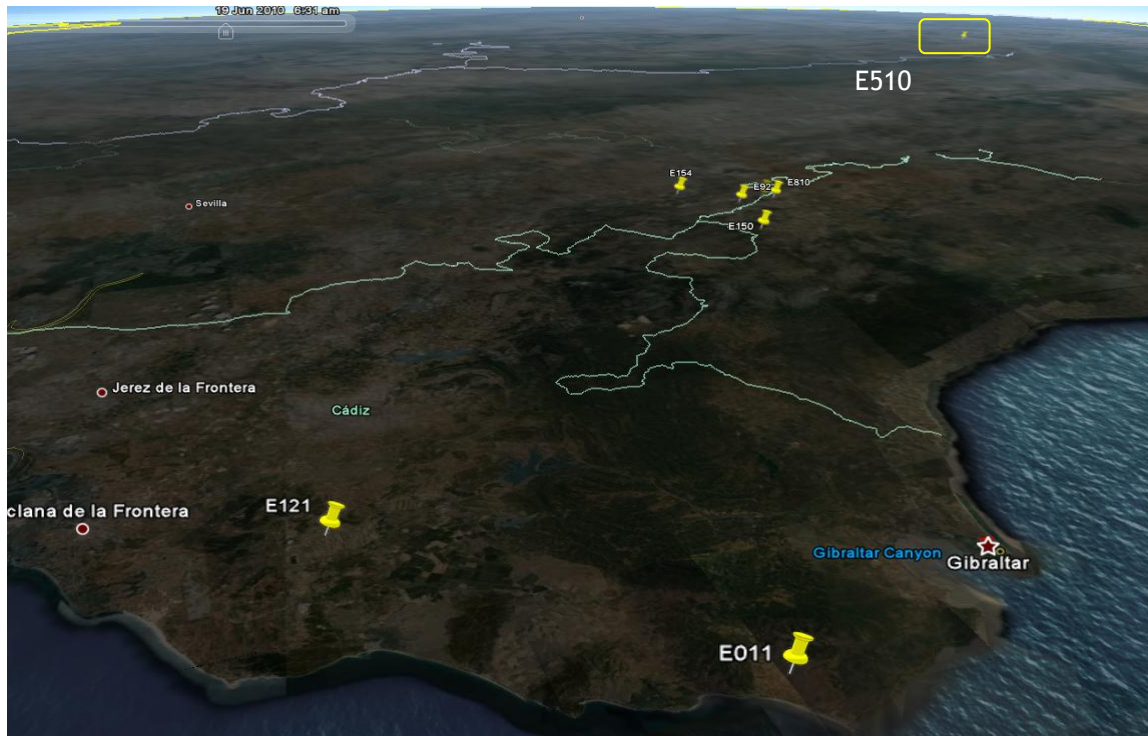


Figura 3.20 - Localização da totalidade das torres

É de salientar, também, a orografia, embora não analisadas afincadamente, das torres E011, E121 e E510.

A torre E011 está localizada em volta de montanha, muito próxima do Oceano Atlântico, junto ao Estreito de Gibraltar. Já a torre E121 encontra-se numa vasta área de planície, rodeada por terrenos agrícolas, a cerca de 15 km do oceano. A torre E510, a torre mais distante de todas elas, encontra-se no interior do País, Espanha, igualmente numa vasta área plana, envolta por terrenos agrícolas.

3.3 - Tratamento de dados

3.3.1 - Selecção de dados

O tratamento de dados baseou-se na selecção destes, definição de conjuntos de teste e treino, e normalização para as redes neuronais. De referir que as leituras são feitas de 10 em 10 minutos, que são então o intervalo mínimo existente nestes conjuntos de dados.

Inicialmente seleccionou-se os dados das séries reais. Esta selecção passou por retirar os dados de todas as séries para as quais em uma das torres, ou em várias, existisse uma falha de dados que podia ser de 10 minutos, várias horas ou ainda, a ronda, o equivalente a um mês. Este procedimento levou a uma redução no conjunto global dos dados.

No que diz respeito ao conjunto de dados com o qual se trabalhou, este é constituído por dois anos de dados que equivale a cerca de 450 dias para os conjuntos de treino e cerca de 130 dias para os conjuntos de testes. De referir que para o conjunto de dados, usou-se o equivalente a um máximo de 360 dias.

De seguida, retirou-se o máximo e mínimo valor de cada série, para velocidade de vento e para direcção de vento, e efectuou-se a normalização dos dados das variáveis de forma a colocar velocidade de vento e direcção de vento na mesma ordem de grandeza para o processamento em Redes Neurais.

Para tal foi utilizada a equação 3.3.

$$v_a = \frac{v_A - \min_A}{\max_A - \min_A} \times (\max_a - \min_a) + \min_a \quad (3.3)$$

onde:

- v_A - valor que o dado adquire em cada instante;
- v_a - valor que o dado toma quando normalizado;
- \max_A - o valor máximo da série;
- \min_A - o valor mínimo da série;
- \max_a - o valor máximo da série normalizada;
- \min_a - o valor mínimo da série normalizada.

3.3.2 - Definição de conjuntos de dados

O conjunto de treino é dividido em vários subconjuntos, por equivalência a número de dias. Os conjuntos estão, então, divididos desde o equivalente a 30 dias até aos 360 dias.

Os primeiros conjuntos até ao equivalente de 120 dias são compostos por adições de 15 dias de dados. A partir do conjunto equivalente a 120 dias, os conjuntos são compostos por adições de 30 dias. Para melhor compreensão, será apresentada uma tabela com as divisões.

A tabela 3.3 mostra a quantidade de dados existente, a data inicial e data final para cada conjunto de dias e, também, no conjunto de teste.

Tabela 3.3 - Representação dos conjuntos de dados

Conjunto de dias	Número de dados	Data (de)	Data (até)
30	4531	11-07-2006	11-08-2006
45	6543	27-06-2006	11-08-2006
60	8418	14-05-2006	11-08-2006
75	10573	29-04-2006	11-08-2006
90	12732	14-04-2006	11-08-2006
105	14735	30-03-2006	11-08-2006
120	16760	25-02-2006	11-08-2006
150	20815	12-12-2005	11-08-2006
180	25134	12-11-2005	11-08-2006
210	29451	13-10-2005	11-08-2006
240	33615	18-08-2005	11-08-2006
270	37934	19-07-2005	11-08-2006
300	42061	16-06-2005	11-08-2006
330	46377	17-05-2005	11-08-2006
360	50696	17-05-2005	11-08-2006
390	54858	02-03-1005	11-08-2006
420	59114	31-01-2005	11-08-2006
450	63407	01-01-2005	11-08-2006
Teste	19317	16-08-2006	31-12-2006

A análise da tabela 3.1 mostra que os conjuntos de dados correspondentes ao número de dias, não são iguais aos dias que se deveria ter. Para tal, basta verificar as datas, exemplo: quatro meses equivale aproximadamente a 120 dias, no entanto, o conjunto equivalente a 120 dias não corresponde a quatro meses mas sim a seis meses.

Apesar de a tabela possuir conjuntos até 450 dias, a continuidade do trabalho será realizada com o máximo de 360 dias.

3.4 - Conclusões

Pela apreciação global deste capítulo, é de salientar as falhas de dados existentes nas séries que podem levar a erros na execução do trabalho devido à discrepância de valores. É de ter em conta a relevância do perfil do terreno, visto que a rugosidade do terreno pode ter um papel importante no fluxo de ar.

A sincronização leva a uma redução de cerca de 22.600 dados, sendo que inicialmente se deveria ter 105.120 dados e para os dois anos de dados se obtém apenas 82.724 dados.

Capítulo 4

Optimização da ferramenta (MCP com RN)

4.1 - Introdução

O objectivo deste capítulo baseia-se na optimização da ferramenta a utilizar para o MCP. Deste modo, é efectuado o estudo para vários conjuntos de dados, previamente definidos, com simulações a partir de RL e RN comparativamente.

Num segundo ponto é feito o estudo da estrutura e variáveis a recomendar para a elaboração de simulações da rede neuronal a usar. Para tal, verifica-se as correlações para se poder compreender melhor a possibilidade de variáveis a usar.

Para este capítulo serão executados testes de correlações entre as torres E92 e E159, e ainda entre as torres E150 e E159, que possuem distâncias bastante diferentes.

4.2 - Comparação RN com RL

A comparação das Redes Neurais com as Regressões Lineares será feita para a velocidade do vento, como ponto principal de estudo, e de seguida apresentam-se os resultados para a direcção de vento, como erro médio absoluto (MAE).

4.2.1 - Velocidade do vento

Neste primeiro ponto, já com os conjuntos de dados elaborados, será realizada uma comparação entre as redes neuronais e as regressões lineares, para as variáveis velocidade e direcção de vento, com o objectivo de simular as mesmas variáveis. A comparação consiste, então, na avaliação do erro médio absoluto (MAE) para os dois métodos.

A figura 4.1 mostra os erros comparativos para correlações pelos dois métodos da torre E92 com a torre E159 para os conjuntos equivalentes de dias 120, 150, 180 e 210. À esquerda a simulação para a torre E92 e à direita a simulação para a torre E159.

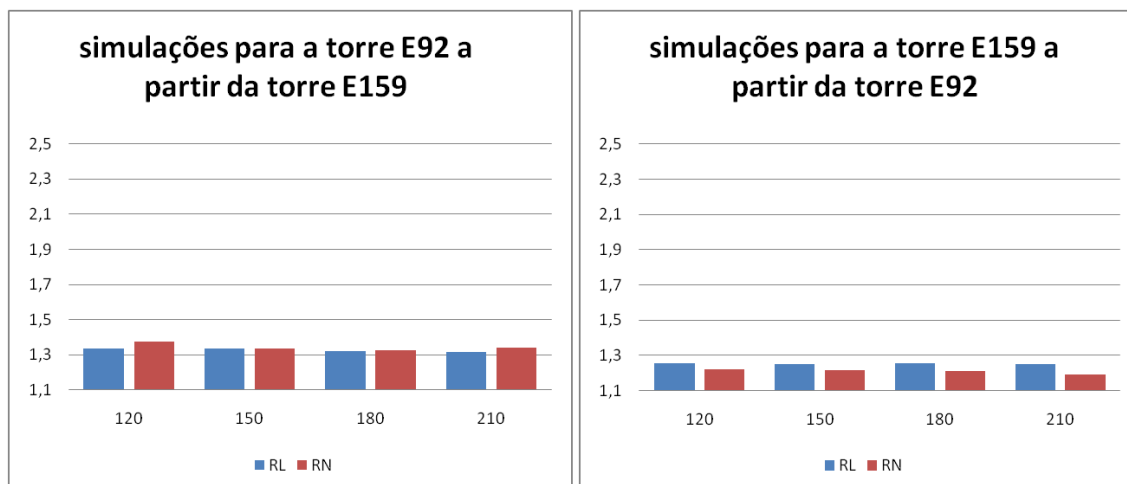


Figura 4.1 - Erro de velocidade para comparação RL e RN entre torres E92 e E159

A azul está representada a Regressão Linear e a vermelho a Rede Neuronal

Na figura 4.2 tem-se a comparação entre os dois métodos, para os mesmos conjuntos de dados, das torres E150 e E159. É apresentada à esquerda a simulação para a torre E150 e à direita a simulação para a torre E159.

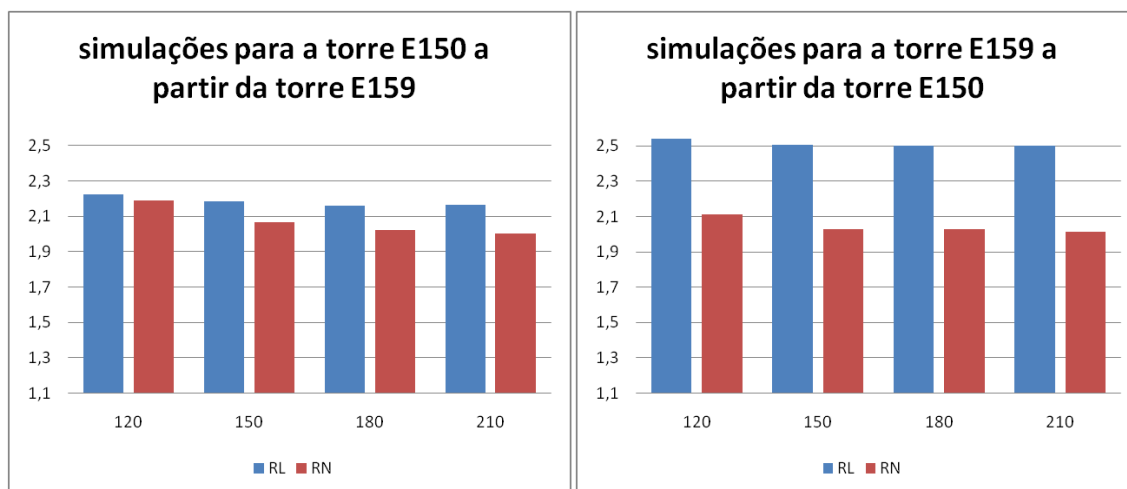


Figura 4.2 - Erro de velocidade para comparação RL e RN entre torres E150 e E159

Da observação dos resultados, é notória a vantagem no uso das redes neuronais em detrimento das regressões lineares, apesar de serem detectados, para a simulação da E92 a partir da torre E159, alguns instantes em que poderá ser mais vantajoso o uso de regressões lineares.

4.2.2 - Direcção do vento

Em analogia ao estudo de comparação da velocidade do vento, fez-se também o estudo quanto à direcção do vento.

Desta forma, a figura 4.3 representa os resultados obtidos da simulação para a torre E92, à esquerda, a partir da torre E159, e à direita para a E159 a partir da E92. A azul está representada a RL e a vermelho a RN, para cada conjunto.

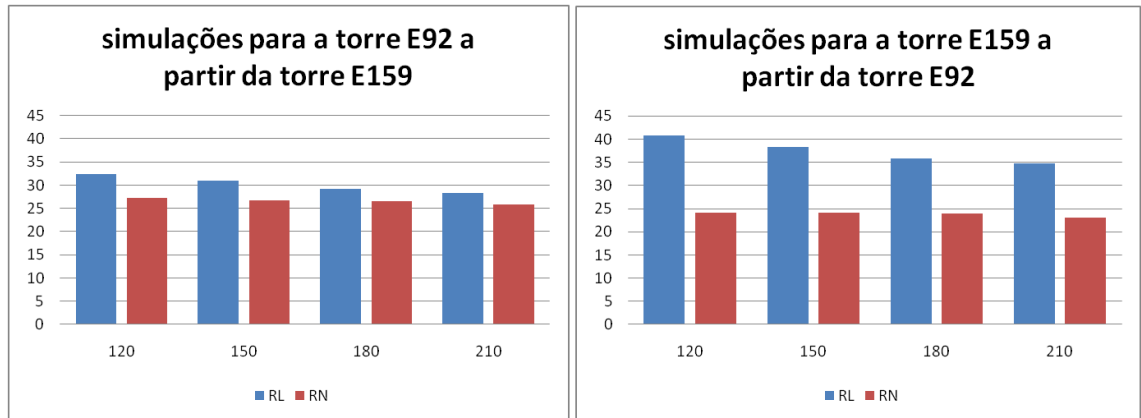


Figura 4.3 - Erro de direcção para comparação RL e RN entre torres E92 e E159

A figura 4.4 representa, então, os resultados obtidos da simulação para a torre E150, à esquerda, a partir da torre E159, e à direita para a E159 a partir da E150.

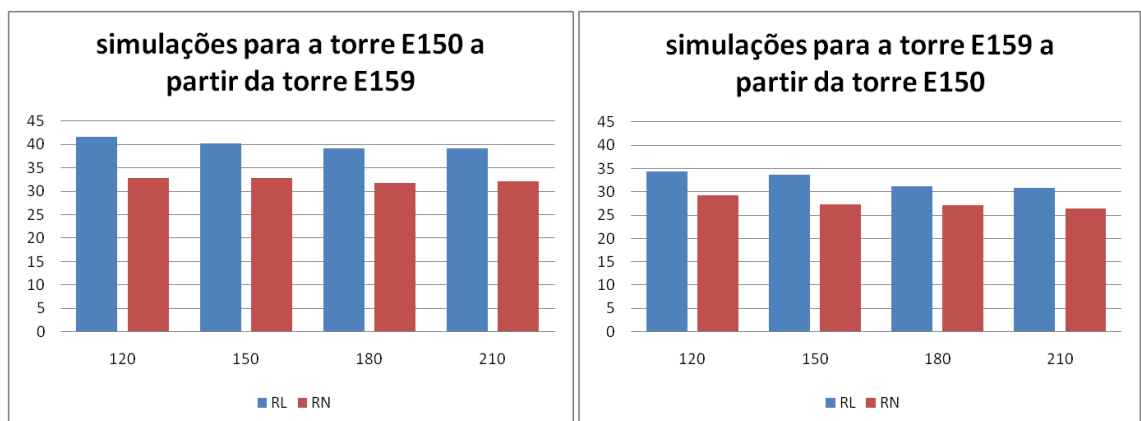


Figura 4.4 - Erro de direcção para comparação RL e RN entre torres E150 e E159

Também no que diz respeito à direcção do vento, os resultados obtidos demonstram a validade das redes neuronais em detrimento das regressões lineares.

Os estudos elaborados deste ponto em diante serão executados com redes neuronais.

4.3 - Estudo para recomendação da estrutura e variáveis da Rede Neuronal.

O estudo da estrutura e variáveis a recomendar para a rede neuronal baseia-se no estudo para a velocidade de vento. No entanto, serão mostrados resultados do MAE da direcção do vento.

4.3.1 - Velocidade do vento

Para a execução deste ponto do trabalho, efectuou-se um estudo da correlação através de um programa estatístico com o intuito de verificar a dependência existente entre as diversas torres em estudo. A figura 4.5 é um gráfico representativo da correlação entre as velocidades das torres E92 com a E150.

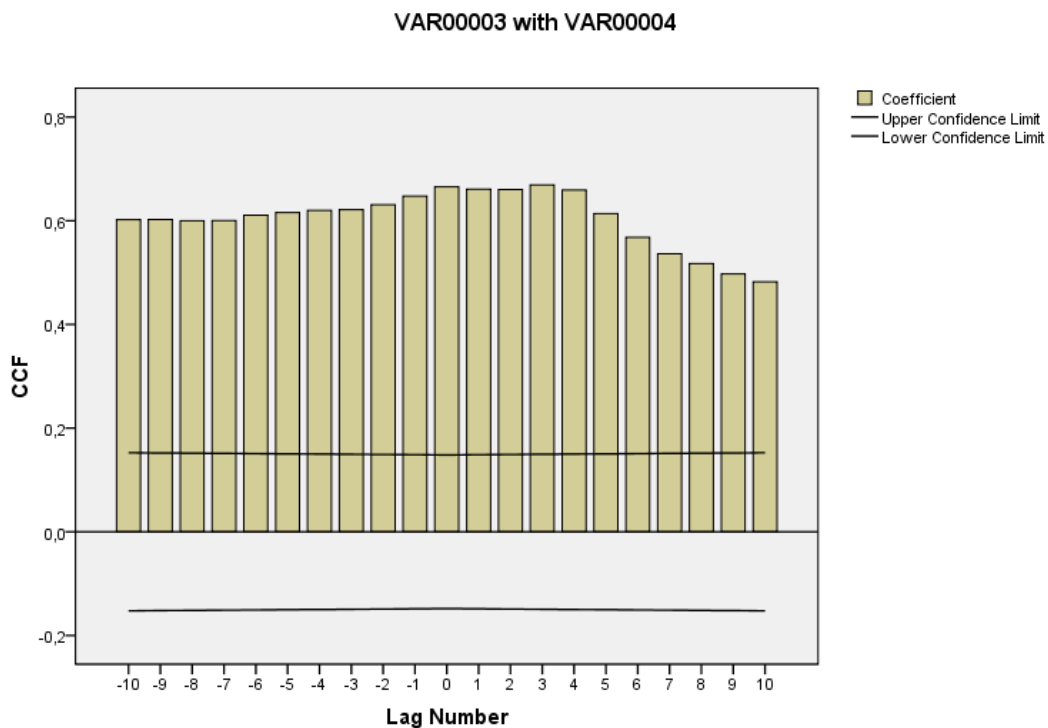


Figura 4.5 - Correlação entre as variáveis de velocidade de E92 e E150

No entanto, pelos resultados obtidos não se consegue definir variáveis a aplicar como regra. Desta maneira, foi efectuado o cálculo das correlações entre séries de velocidades do vento pela folha de cálculo do Excel. A partir das séries de velocidade de vento deslocou-se uma delas em espaços de 10 minutos sobre a série de velocidade de vento da outra torre, para cada correlação estudada, em atraso, ou em adiantamento, em espaços de 10 minutos cada, até se verificar qual dos deslocamentos temporais se obtêm melhores correlações.

Assim, foram retidas essas possíveis variáveis, efectuando-se de seguida testes de simulação para redes neuronais e para regressões lineares com as variáveis: velocidade do vento, velocidade do vento em deslocamento temporal com melhor correlação, e direcção do vento.

Os resultados obtidos para a correlação entre a torre E92 e as restantes quatro torres encontram-se na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Estudo das correlações entre as séries de velocidade de torres

Minutos	92-150	92-154	92-159	92-810
-60	0,6510	0,7537	0,9186	0,8840
-50	0,6551	0,7580	0,9244	0,8883
-40	0,6591	0,7619	0,9295	0,8919
-30	0,6619	0,7650	0,9331	0,8942
-20	0,6630	0,7669	0,9337	0,8939
-10	0,6627	0,7672	0,9318	0,8910
0	0,6614	0,7662	0,9282	0,8868
10	0,6597	0,7638	0,9237	0,8820
20	0,6577	0,7605	0,9187	0,8768
30	0,6554	0,7563	0,9133	0,8711
40	0,6532	0,7518	0,9072	0,8651
50	0,6509	0,7471	0,9005	0,8584
60	0,6484	0,7418	0,8936	0,8514

A tabela 4.3 apresenta os resultados entre as séries de velocidade de vento entre as restantes torres.

Tabela 4.2 - Estudo das correlações entre as séries de velocidade de torres

Minutos	150-154	150-159	150-810	154-159	154-810	159-810
-60	0,7780	0,6482	0,7157	0,7529	0,8034	0,9014
-50	0,7812	0,6503	0,7182	0,7574	0,8083	0,9084
-40	0,7840	0,6524	0,7202	0,7614	0,8123	0,9155
-30	0,7864	0,6540	0,7221	0,7645	0,8154	0,9227
-20	0,7882	0,6554	0,7230	0,7668	0,8172	0,9296
-10	0,7886	0,6560	0,7232	0,7674	0,8174	0,9360
0	0,7884	0,6555	0,7219	0,7666	0,8162	0,9390
10	0,7869	0,6537	0,7195	0,7649	0,8137	0,9357
20	0,7838	0,6512	0,7160	0,7624	0,8102	0,9284
30	0,7796	0,6480	0,7118	0,7591	0,8060	0,9202
40	0,7745	0,6441	0,7069	0,7553	0,8010	0,9118
50	0,7685	0,6399	0,7013	0,7509	0,7951	0,9033

60 | 0,7619 0,6356 0,6953 0,7462 0,7891 0,8949 |

Depois de uma análise aos resultados das correla es entre torres, retirou-se a variável de melhor correla o para fazer testes comparativos entre redes neuronais normal, com as duas variáveis velocidade de vento e direc o de vento, e redes neuronais com atraso, ou seja, com as variáveis velocidade de vento, velocidade de vento com deslocamento temporal e direc o de vento.

De seguida são apresentados os resultados comparativos de redes neuronais e redes neuronais com variável adicional da velocidade do vento deslocada temporalmente para as correla es entre as torres E92 e E159, e entre as torres E150 e E159.

A tabela 4.3 mostra os resultados das simula es da velocidade de vento das correla es entre as torres E92 e E159, para os dois casos já mencionados.

Tabela 4.3 - Erros de velocidade com série normal e série em atraso entre as E92 e E159

Dias	para 92 com 159		para 159 com 92	
	normal	com atraso	normal	com atraso
120	1,376961	1,36722	1,221072	1,208551
150	1,337288	1,325835	1,215519	1,203598
180	1,324241	1,288337	1,208893	1,153174
210	1,3411	1,298943	1,191699	1,150101

A figura 4.6   demonstrativa dos resultados da tabela 4.3, onde   esquerda se tem os resultados da simula o para a torre E92 a partir dos dados da E159, e do lado direito tem-se os resultados de simula o para a torre E159 a partir dos dados da E92. Na figura 4.6, os dados a azul são para os conjuntos de treino e teste sem a variável da velocidade de vento em deslocamento temporal, normal, e a vermelho já   inserida a variável de velocidade em atraso.

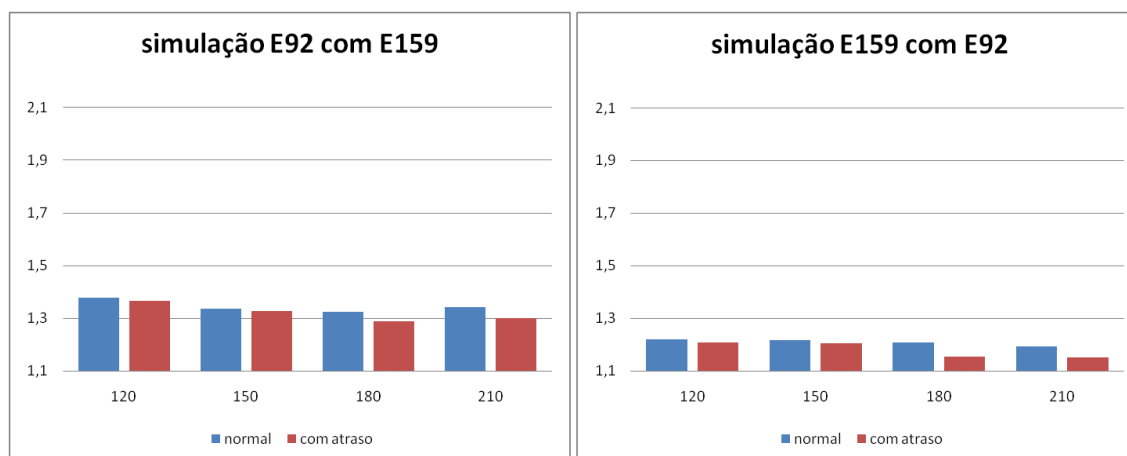


Figura 4.6 - Erro da velocidade do MCP com série normal e com série em atraso entre E92 e E159

Quanto às correlações entre a torre E150 e a E159, obtiveram-se os dados da tabela 4.4 para os casos de conjuntos normais e conjuntos com deslocamento temporal.

Tabela 4.4 - Erros de velocidade com série normal e série em atraso entre E150 e E159

Dias	para150 com159		para159 com150	
	normal	com atraso	normal	com atraso
120	2,188991	2,13335	2,109615	2,042833
150	2,066811	1,992492	2,029604	2,02369
180	2,023565	2,01571	2,027146	2,019438
210	2,003443	1,995275	2,011363	2,010052

Da tabela retiraram-se os gráficos referentes a estas simulações. Assim, a figura 4.7 testemunha à esquerda a correlação sem e com atraso para a torre E150 a partir da E159, sendo a azul, os para os conjuntos normais, e a vermelho os conjuntos com a variável adicional da velocidade em atraso.

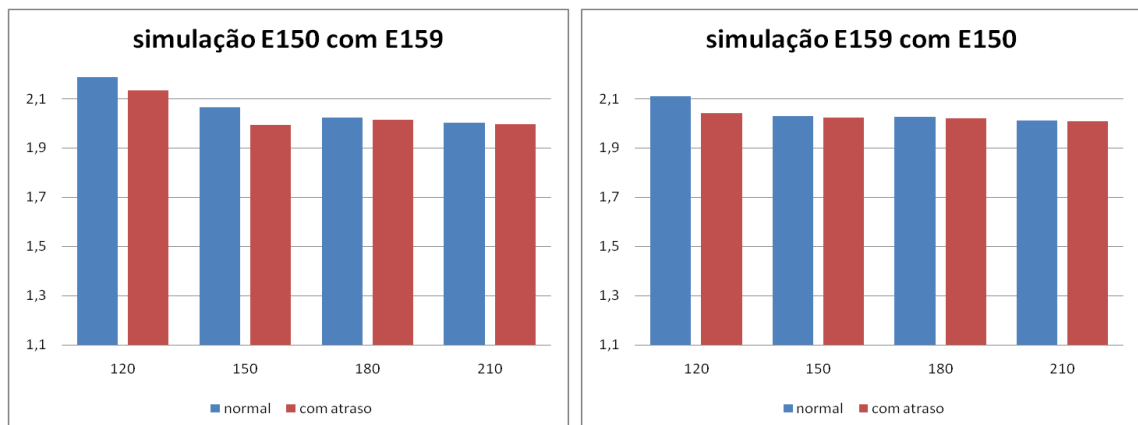


Figura 4.7 - Erro da velocidade do MCP com série normal e com série em atraso entre E150 e E159

4.3.2 - Direcção do vento

No que diz respeito à direcção do vento, são apresentados os resultados dos erros das simulações anteriores na tabela 4.5 para as correlações entre as torres E92 e E159, para a análise comparativa

Tabela 4.5 Erros de direcção com série normal e série em atraso entre as E92 e E159

Dias	para 92 com 159		para 159 com 92	
	normal	com atraso	normal	com atraso
120	27,1597	27,0736	24,1899	24,0971
150	26,7554	26,6246	24,0507	24,1145
180	26,5245	26,3484	24,0133	23,6767
210	25,8725	26,0961	23,0328	22,7662

A figura 4.8 tem à esquerda o gráfico representativo dos erros da direcção da simulação para a torre E92, e à direita o gráfico dos erros da simulação para a torre E159.

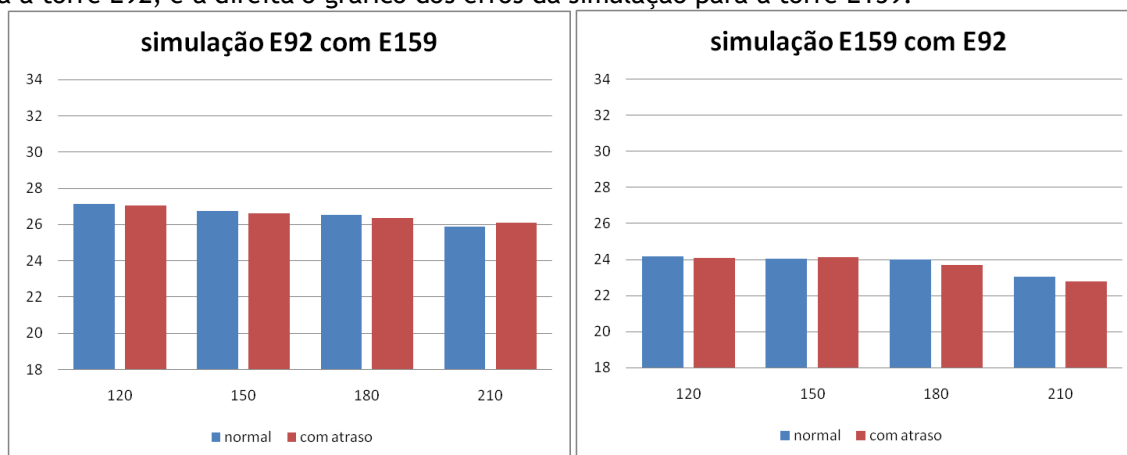


Figura 4.8 - Erro da direcção do MCP com série normal e com série em atraso entre E92 e E159

Na tabela 4.6 encontram-se os resultados dos erros da direcção para as correlações entre as torres E150 e E159.

Tabela 4.6 - Erros de direcção com série normal e série em atraso entre E150 e E159

Dias	para 150 com 159		para 159 com 150	
	normal	com atraso	normal	com atraso
120	32,8828	32,3542	29,2548	27,4206
150	32,7841	33,4056	27,2676	26,9088
180	31,7839	32,2798	27,1297	26,1473
210	32,1008	32,1582	26,3981	27,0067

A figura 4.9 tem à esquerda o gráfico representativo dos erros da direcção para a torre E150, e à direita o gráfico dos erros da simulação para a torre E159.

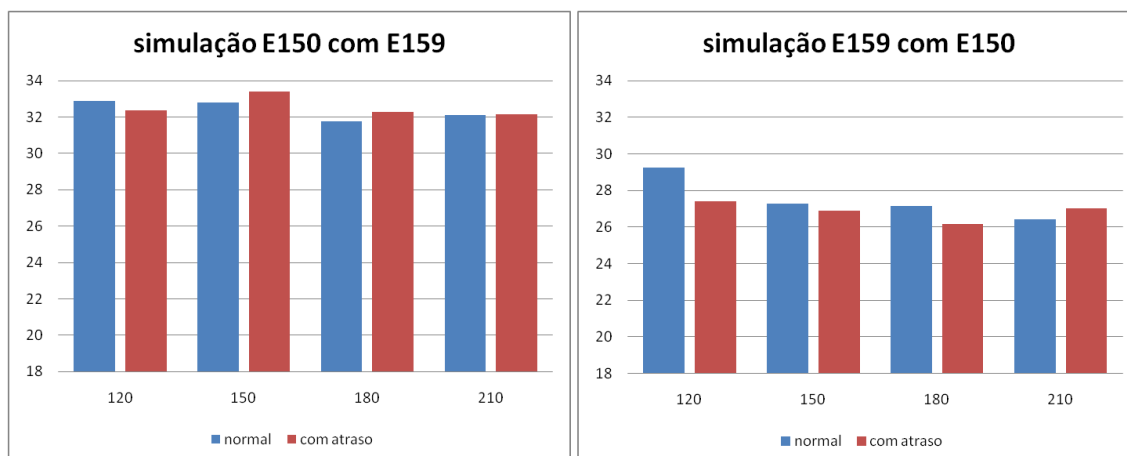


Figura 4.9 - Erro da direcção do MCP com série normal e com série em atraso entre E150 e E159

4.4 - Conclusões

No decorrer deste capítulo foram executados testes comparativos entre Redes Neurais e Regressões Lineares, entre testes com RN de variáveis normais, velocidade de vento e direcção de vento, e testes com RN com adição de uma variável resultante da melhor correlação com deslocamentos temporais.

Concluiu-se que as Redes Neurais são uma ferramenta mais forte para efectuar correlações para dados de vento, quando comparado com Regressões Lineares.

Conclui-se também que o uso da variável de atraso beneficia o desempenho das RN comparando com o desempenho das RN com séries reais. No entanto, é sabido que quantas mais variáveis se incluírem numa correlação menor será o erro, consequentemente, melhor o desempenho. Assim, a inclusão da variável de atraso não será considerada devido ao benefício da sua utilização ser reduzido.

Capítulo 5

Optimização temporal do MCP

5.1 - Introdução

Este capítulo tem como objectivo estudar a optimização temporal do MCP, verificando quantos meses e a quantidade de dados necessários para o treino da RN. Para tal, foram efectuados diversos testes com várias escalas temporais. Estes conjuntos dividem-se desde a quantidade de dados equivalente a 30 dias até aos 120 dias de 15 em 15 dias, e desde os 120 dias até aos 360 de 30 em 30 dias. A totalidade de dias varia, então de 30 a 360 dias, por equivalente em quantidade de dados.

Os testes são efectuados com vários pontos M para vários pontos P. Para cada ponto P tem-se quatro treinos e simulações correspondentes às restantes torres. A título de exemplo, numa previsão para a torre E92 tem-se as torres E150, E154, E159 e E810 na correlação.

Nestes testes são usados apenas duas variáveis de entrada para duas variáveis de saída: velocidade do vento e direcção do vento.

5.2 - Estudo dos meses necessários para o treino

5.2.1 - Ponto P: E92

De seguida são apresentados os resultados da simulação de velocidade de vento do MCP para o ponto P 92.

5.2.1.a - Velocidade do vento

Na tabela 5.1 são mostrados os resultados dos erros MAE das simulações de todas as escalas temporais para cada correlação de ponto M com o ponto P E92.

Tabela 5.1 - MAE do MCP de velocidade de vento no ponto P E92 para vários pontos M

Dias	E150	E154	E159	E810
30	1,860903	2,048729	1,736319	2,998248
45	1,884421	2,132505	1,722445	2,464213
60	1,931225	2,033834	1,84066	2,595532
75	1,928506	2,082914	1,817856	2,547925
90	1,924034	2,029222	1,815379	2,417798
105	1,932282	2,068313	1,839968	2,406786
120	1,897947	2,006764	1,833696	2,607964
150	1,908739	2,05382	1,810493	2,437083
180	1,84299	2,058731	1,768639	2,435779
210	1,854408	2,070449	1,75154	2,494956
240	1,821108	2,037584	1,749398	2,375374
270	1,849507	2,058451	1,728054	2,358388
300	1,845912	1,995155	1,746977	2,323088
330	1,824302	2,093299	1,682204	2,351185
360	1,814378	1,995301	1,711339	2,328302

Para melhor se compreender a tabela acima, foram elaborados gráficos representativos dos resultados dos erros MAE para as correlações com o ponto P E92

A figura 5.1, relativa a tabela anterior, é o gráfico das simulações para o ponto P E92 para o ponto

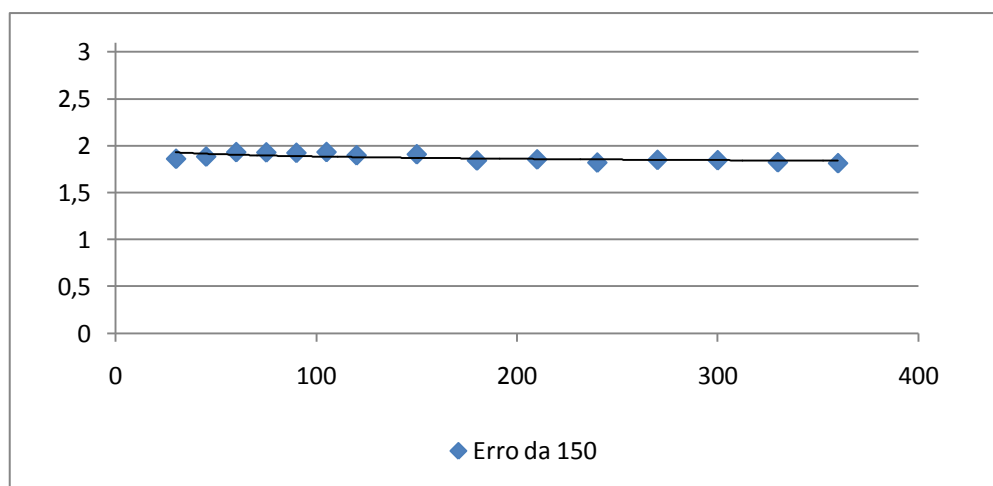


Figura 5.1- Erro de MCP para velocidade para E92 com o ponto M E150

A figura 5.1 diz respeito ao erro médio absoluto (MAE) entre a série real da torre E92 com os valores simulados a partir dos dados da torre E150 para os diversos espaços temporais, divididos em 15 conjuntos. Nota-se que o erro tem uma tendência de descida, para uma constante, correspondente a uma altura em que por mais dados que se introduzam no conjunto de treino não suscitará melhor efeito no resultado final.

Pelos resultados da tabela 5.1 consegue-se tirar que esta correlação tem uma validade, de conjunto de dados, a partir do equivalente a 240 dias.

Na figura 5.2 é apresentado o gráfico referente a correlação da torre E92 com o ponto M E154, que advém da variável E154 da tabela 5.1.

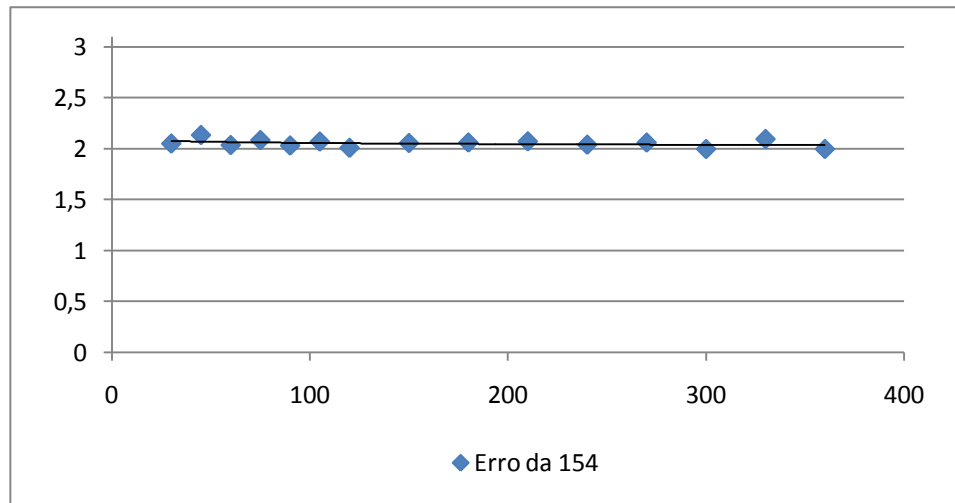


Figura 5.2 - Erro de MCP para velocidade para E92 com o ponto M E154

Quando esta correlação foi realizada com o ponto M E154, obtiveram-se os resultados da figura 5.2 onde tem uma convergência mais lenta, sendo que possui a melhor validade para o conjunto a partir de 300 dias, pois possui o menor erro, como se pode verificar pela tabela 5.1. No entanto, nota-se que a linha de tendência se encontra mais próximo de uma constante que a correlação com a torre E150, marcando a ideia de ser uma correlação para a qual não são necessários muitos dados para se obter uma boa correlação.

Os resultados dos erros da correlação do ponto M E159 com o ponto P E92 estão representados na figura 5.3. Este gráfico é baseado nos resultados da tabela 5.1 para a variável E159.

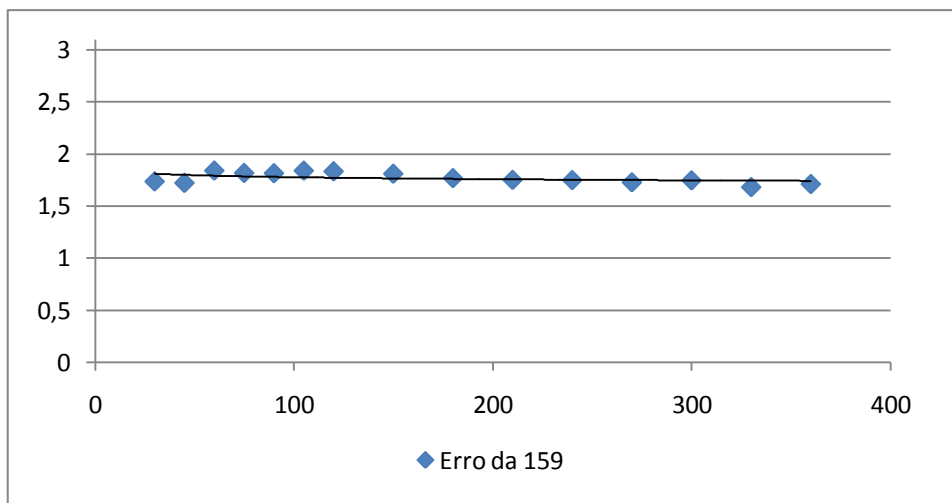


Figura 5.3 - Erro de MCP para velocidade para E92 com o ponto M E159

A figura 5.3 apresenta igualmente uma tendência para a proximidade de um valor constante, ou seja, derivada tender para zero. Os testes desta correlação, da torre E92 com a torre E159, é, também, comprovada com os valores apresentados na tabela 5.1, de onde se pode concluir sobre o melhor conjunto de dados de partida do treino desta correlação, sendo ele o conjunto equivalente a 300 dias.

Para a simulação da torre E92, tem-se por último a correlação com a torre E810, com a variável E810 na tabela 5.1. Assim, a figura 5.4 mostra o gráfico referente a esta correlação.

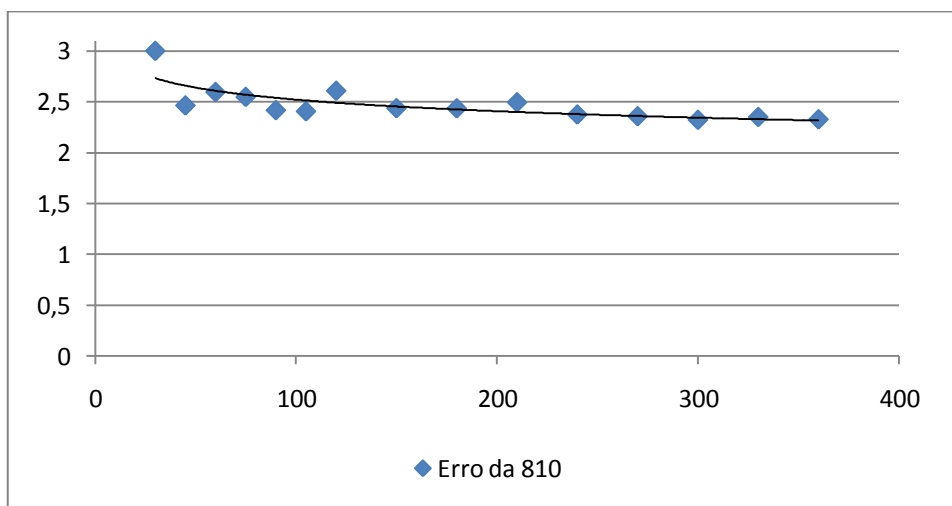


Figura 5.4 - Erro de MCP para velocidade para E92 com o ponto M E810

Para a torre E92, tem-se por fim a correlação com a torre E810. Esta correlação demonstra um erro com tendência claramente descendente, com o conjunto de dados para o treino desta a partir de 240 dias, sendo que a partir desse valor sofre ligeira oscilação.

É de salientar que a torre E92 encontra-se numa geografia do terreno idêntica da geografia da torre E159, junto ao início de um planalto, com alguma rugosidade a norte.

5.2.1.b - Direcção do vento

A tabela seguinte, tabela 5.2, apresenta os resultados das correlações referentes à variável direcção do vento para o ponto P E92. Os resultados apresentados representam, de igual modo, os erros médios absolutos para cada simulação, entre os dados reais e os simulados.

Este resultado pode dar uma ideia da amplitude dos ângulos na validação das simulações, mostrando assim a viabilidade no estudo do recurso eólico no que diz respeito à orientação dos aerogeradores e suas pás.

Tabela 5.2 - MAE do MCP de direcção de vento no ponto P E92 para vários pontos M

	150	154	159	810
30	35,0219	33,60709	27,22929	29,3852
45	36,4654	32,02948	26,73669	29,21685
60	40,87818	34,54753	29,09204	29,834
75	33,737	34,04641	29,22854	28,64296
90	33,90244	32,35289	27,78916	28,25055
105	32,02361	32,70948	27,81757	28,78133
120	31,46422	32,63133	27,4117	27,33498
150	31,96023	30,96204	27,00752	27,31474
180	32,52288	30,07327	26,78616	26,94104
210	31,6951	29,75763	26,15643	26,54804
240	31,19166	29,36362	26,9812	27,11197
270	31,26174	29,79986	27,12545	27,39543
300	32,15808	30,20808	27,76667	27,6042
330	32,12569	31,12356	29,09911	27,45871
360	32,49796	30,53832	27,84169	27,48951

A figura 5.5 apresenta os resultados do erro MAE referente à correlação da torre E92 com os dados de treino da torre E150.

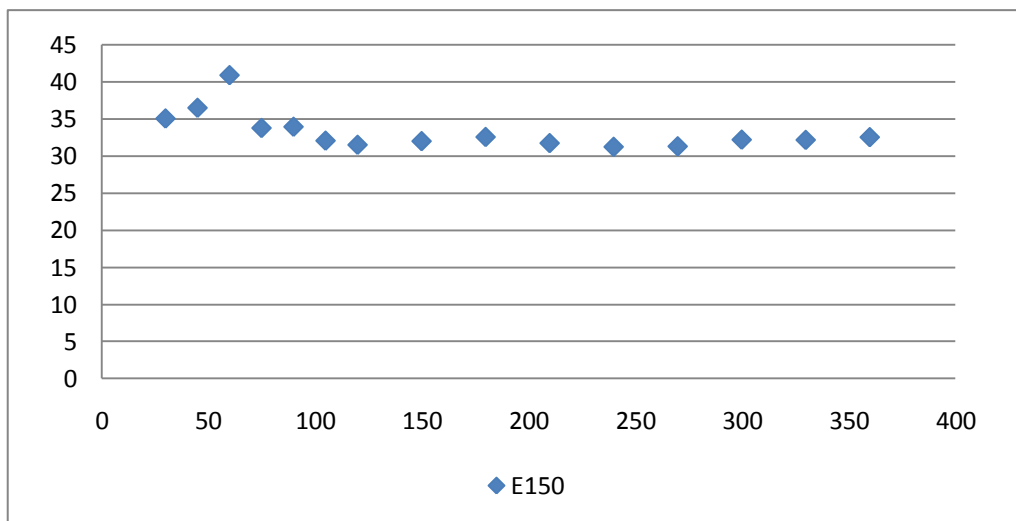


Figura 5.5 - Erro de MCP para direcção para E92 com o ponto M E150

Com o aumento de número de dias nos conjuntos de testes existe a tendência de o erro variar, pouco, em torno de uma certa amplitude angular.

Os resultados das simulações da direcção de vento entre o ponto P em questão e o ponto M E154 é apresentado na figura 5.6.

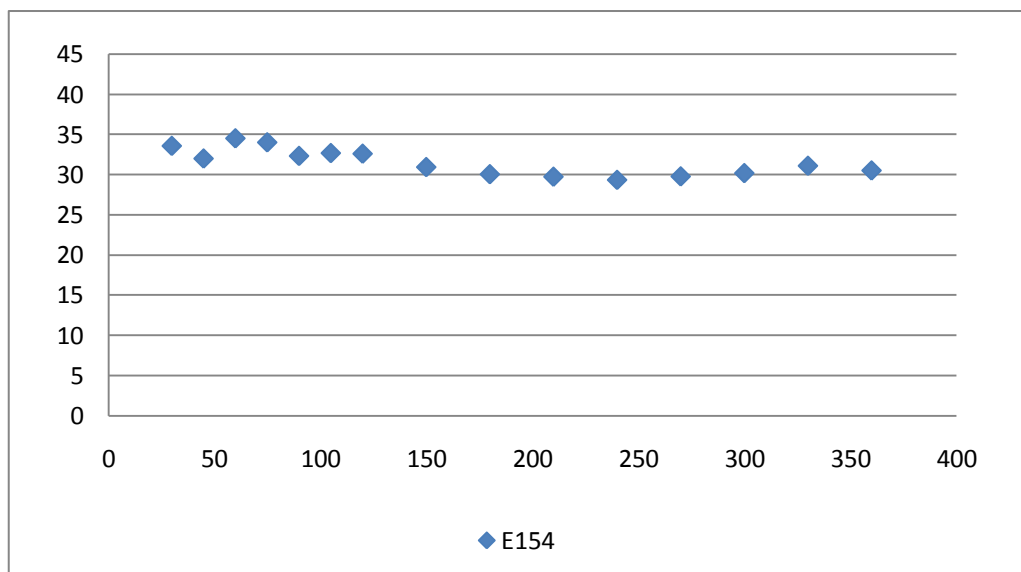


Figura 5.6 - Erro de MCP para direcção para E92 com o ponto M E154

A correlação para o ponto P com a torre E154 apresenta um erro menor quando comparado com a torre E150.

Relativamente à variável E159 da tabela 5.2, a figura 5.7 apresenta os seus resultados.

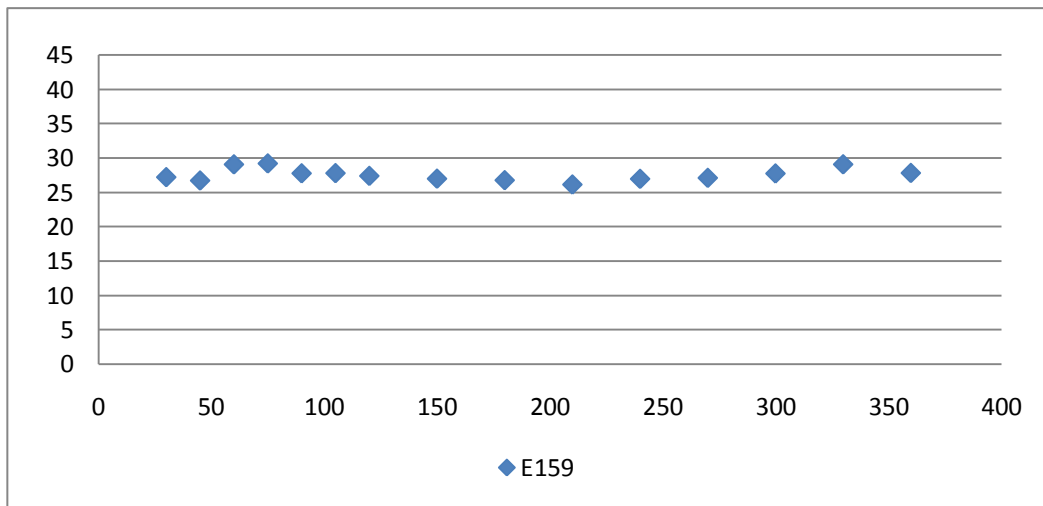


Figura 5.7 - Erro de MCP para direcção para E92 com o ponto M E159

Esta correlação mostra-se ainda melhor, no que à direcção de vento se refere, do que as correlações com as anteriores torres.

Por fim, os resultados referentes à direcção na correlação para o ponto P E92 com o ponto M E810 são apresentados na figura 5.8.

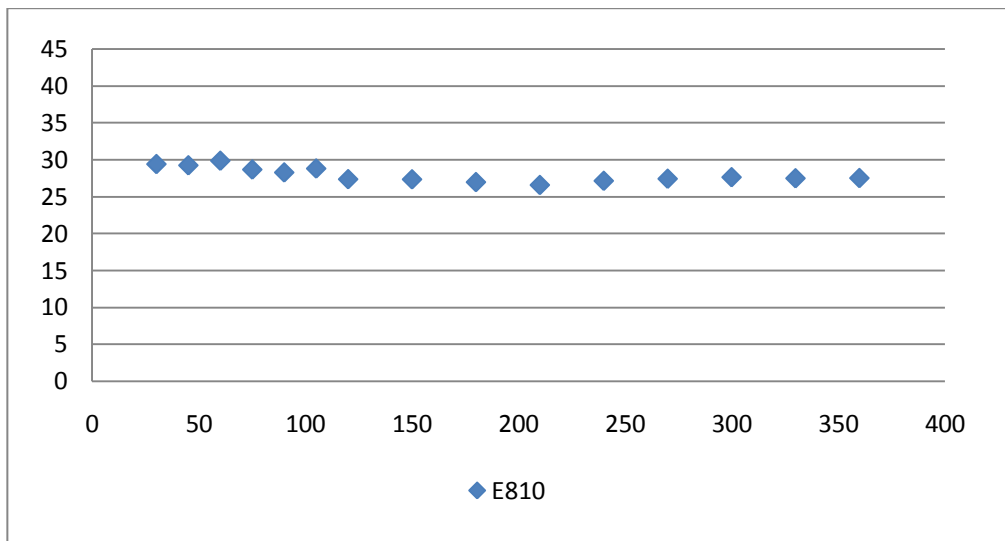


Figura 5.8 - Erro de MCP para direcção para E92 com o ponto M E810

Esta última correlação apresenta valores de erros para a direcção de vento muito próximos dos resultados alcançados para a torre E159.

5.2.2 - Ponto P: E150

Neste ponto P, as torres com funcionalidade de ponto M são as torres E92, E154, E159 e E810. Assim, são apresentados de seguida os resultados para as correlações referentes a este ponto P.

5.2.2.a - Velocidade do vento

Neste ponto são apresentados os resultados das correlações da velocidade do vento de MCP para o ponto P E150. De relembrar que os resultados apresentados se referem aos valores dos erros médios absolutos entre a série real e a série simulada.

Na tabela seguinte, tabela 5.3, encontram-se os erros para a torre E150. Tal como para o ponto 5.2.1, referente ao ponto P E92, as simulações foram efectuadas para os conjuntos de 30 a 360 dias. As variáveis usadas para mostrar os gráficos nas figuras seguintes estão denominadas como E92, E154, E159 e E810.

Tabela 5.3 - MAE do MCP de velocidade de vento no ponto P E150 para vários pontos M

	E92	E154	E159	E810
30	2,929816	2,190467	2,712598	2,780798
45	2,805135	2,216957	2,871081	2,697128
60	2,842517	2,226917	2,897499	2,756661
75	2,836439	2,184265	2,896118	2,674392
90	2,8267	2,149702	2,825674	2,672368
105	2,818856	2,158203	2,854988	2,693721
120	2,692002	2,088165	2,747538	2,569288
150	2,598468	2,062573	2,572297	2,498378
180	2,486231	2,069796	2,455005	2,311722
210	2,505247	2,042187	2,423662	2,36235
240	2,549905	2,081784	2,508788	2,403329
270	2,598178	2,1108	2,470043	2,449664
300	2,662849	2,085914	2,621541	2,509703
330	2,667182	2,108189	2,604109	2,455685
360	2,716463	2,119046	2,647614	2,564745

No gráfico que se segue vê-se a evolução do erro com os conjuntos de dias para a correlação do ponto M E92 com o ponto P E150.

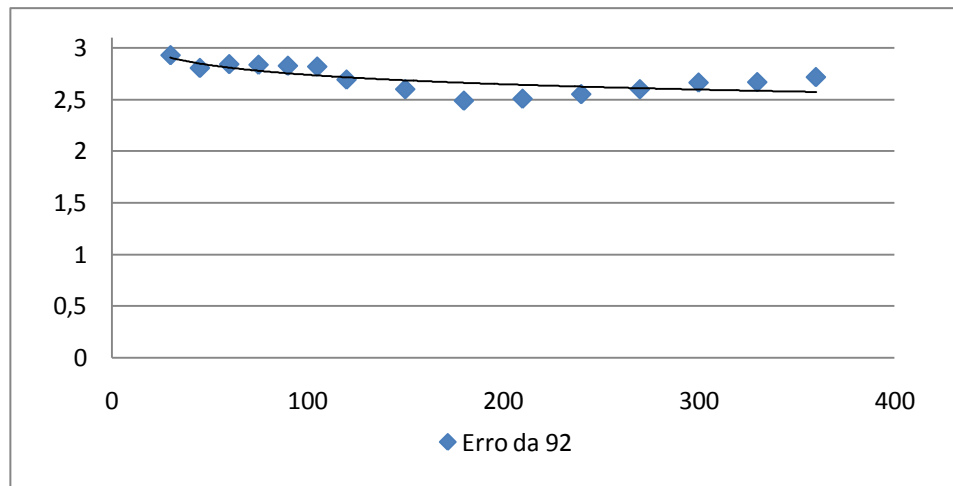


Figura 5.9 - Erro de MCP para velocidade para E150 com o ponto M E92

A figura 5.9, referente à correlação entre a torre E150 e a torre E92, tem uma tendência de descida, sendo que possui um aumento do erro, embora ligeiro, dos seus valores nos conjuntos finais de treino. Pode-se dizer então que o conjunto de 180 dias, com os registos na tabela 5.3, é o conjunto a partir do qual se torna viável efectuar o treino no estudo desta correlação.

O aumento nos valores dos erros para conjuntos equivalentes com maior número de dias poderá estar relacionado com os conjuntos de falhas de dados, como anteriormente estudado, ou ainda em erros de leitura. É de salientar também que a orografia do terreno, em que estão inseridas cada uma das torres, é diferente.

A figura 5.10 ilustra a correlação da torre E154 para o ponto P em estudo.

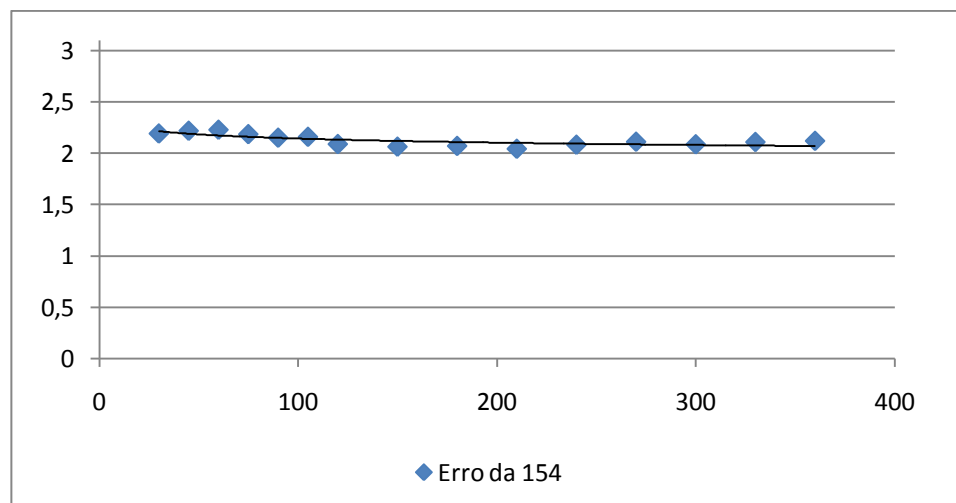


Figura 5.10 - Erro de MCP para velocidade para E150 com o ponto M E154

Para o ponto M E154, nota-se uma fase descendente mas com uma evolução mais ligeira que a anterior correlação. Por outro lado, é também o ponto M que melhor satisfaz a correlação, com o erro mais baixo, possuindo uma forte diferença para as outras torres em

correlação com este ponto, como se pode comprovar com os resultados na tabela 5.3. Esta correlação possui como conjunto ideal de partida para treinar a rede o conjunto equivalente a 210 dias, sendo assim o conjunto que torna viável a extrapolação destas duas torres.

Para a correlação entre as torres E92 e E159, a figura 5.11 ilustra a evolução dos erros MAE com a evolução dos dias.

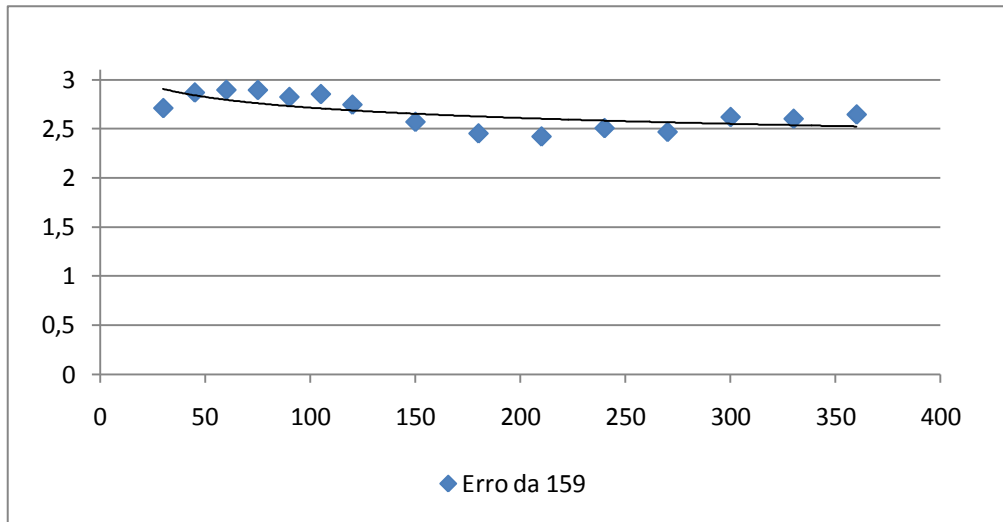


Figura 5.11 - Erro de MCP para velocidade para E150 com o ponto M E159

Apesar da tendência de descida acentuada, a correlação entre as torres E150 e E159 tem uma evolução do erro algo oscilante. Apesar de o erro aumentar para conjuntos acima de 300 dias, a variação dos seus valores é reduzida. Os erros de leitura e falhas de dados podem ser um factor importante nesta evolução de erros com a progressão de dias de treino.

Assim, o melhor conjunto para treino, com o intuito de viabilizar a correlação, será o conjunto de 180 dias, para o qual o erro tende a estabilizar.

A figura 5.12 é representativa dos erros na correlação da torre E810 para a torre E150, baseados na tabela 5.3.

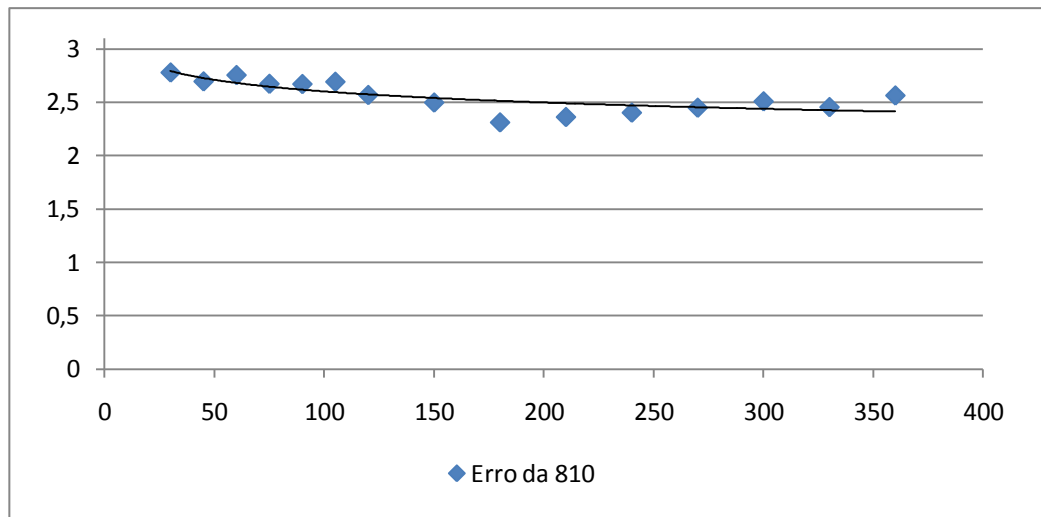


Figura 5.12 - Erro de MCP para velocidade para E150 com o ponto M E810

Pela observação do gráfico, verifica-se uma tendência de descida acentuada até ao conjunto equivalente a 180 dias. Porém, existe um aumento do erro a partir deste conjunto de dados, que só tende a estabilizar a partir do conjunto de 270 dias.

Não será, então, certo que o melhor conjunto de treino será para o conjunto de 180 dias, apesar do erro ser o menor para esta extrapolação. Assim, o conjunto de treino para a extrapolação terá viabilidade a partir do conjunto de 270 dias uma vez que a variação do erro a partir deste conjunto é baixa e em torno de uma constante de erro.

A melhor torre para a extrapolação para este ponto P é, portanto, a E154, que possui erros mais baixos ao longo de todos os conjuntos e estabiliza os erros rapidamente.

5.2.2.b - Direcção do vento

Na tabela seguinte, tabela 5.4, são apresentados os resultados das correlações referentes à variável direcção do vento para o ponto P E150. Os resultados representam, de igual modo, os erros médios absolutos para cada simulação, entre os dados reais e os simulados. Para cada uma das variáveis da tabela 5.4 seguem-se os gráficos representativos.

Tabela 5.4 - MAE do MCP de direcção de vento no ponto P E150 para vários pontos M

	E92	E154	E159	E810
30	33,2022	35,8898	31,6037	31,2617
45	33,5635	35,1000	33,6341	30,9649
60	34,3710	31,5728	34,3904	29,6352
75	32,9242	32,1790	34,0731	29,8784
90	33,3063	32,6275	33,1049	30,2520
105	32,7931	33,8777	33,5968	30,6434
120	32,4445	32,7977	32,8675	30,3927
150	33,0472	31,8284	32,8735	30,6759
180	34,2185	32,3229	31,8489	30,6754
210	34,0325	31,0787	32,1279	29,5361
240	33,0597	30,5454	32,3459	30,3421
270	34,3525	31,4949	33,1220	30,2781
300	33,6405	31,0059	32,9209	30,1230
330	34,5223	32,1801	32,8517	29,2296
360	34,0562	32,1393	32,8417	30,0546

A figura 5.13   a ilustra o da variável E92 da tabela 5.4 para a extrapola o direc o de vento na torre E150.

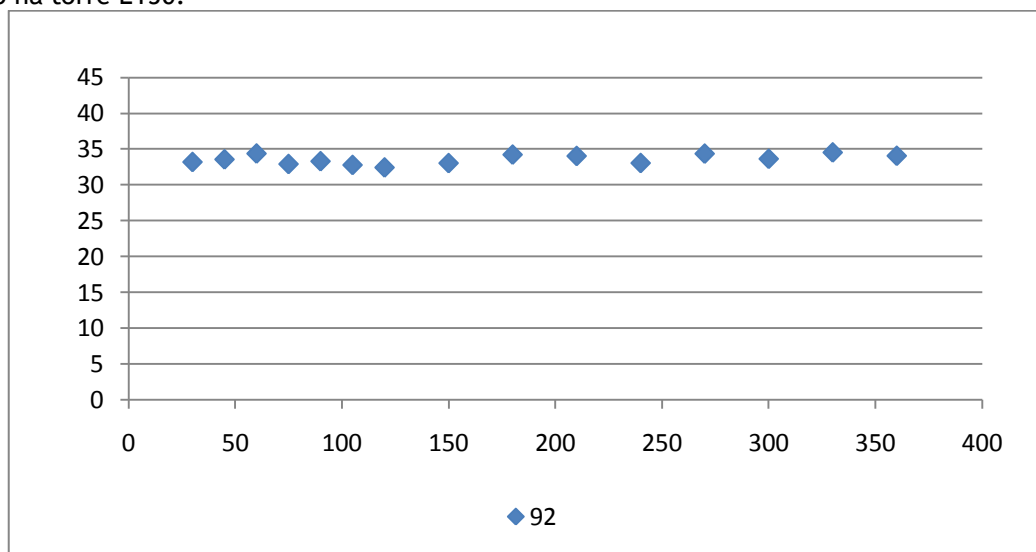


Figura 5.13 - Erro de MCP para direc o para E150 com o ponto M E92

  de notar uma varia o ligeira em torno de uma gama de valores.

Para a variável E154 da tabela 5.4 a figura 5.14 faz uma ilustra o.

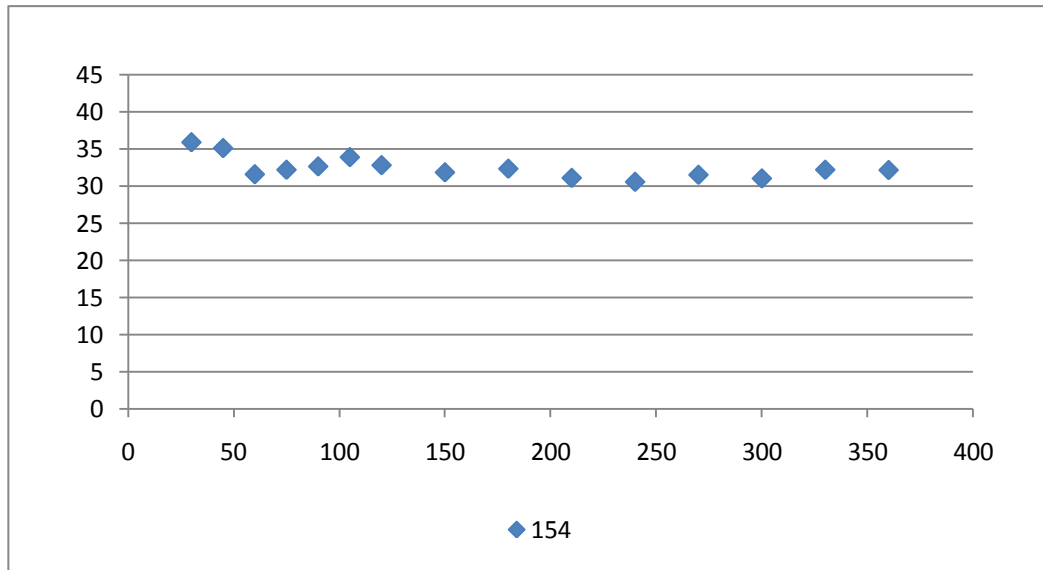


Figura 5.14 - Erro de MCP para direcção para E150 com o ponto M E154

Para a correlação entre as E150 e E154, no que diz respeito à direcção de vento, nota-se uma ligeira descida aproximando-se de um valor médio, variando ligeiramente em torno desse valor.

A figura 5.15 mostra os resultados de direcção de vento para a correlação da E159 com a E150.

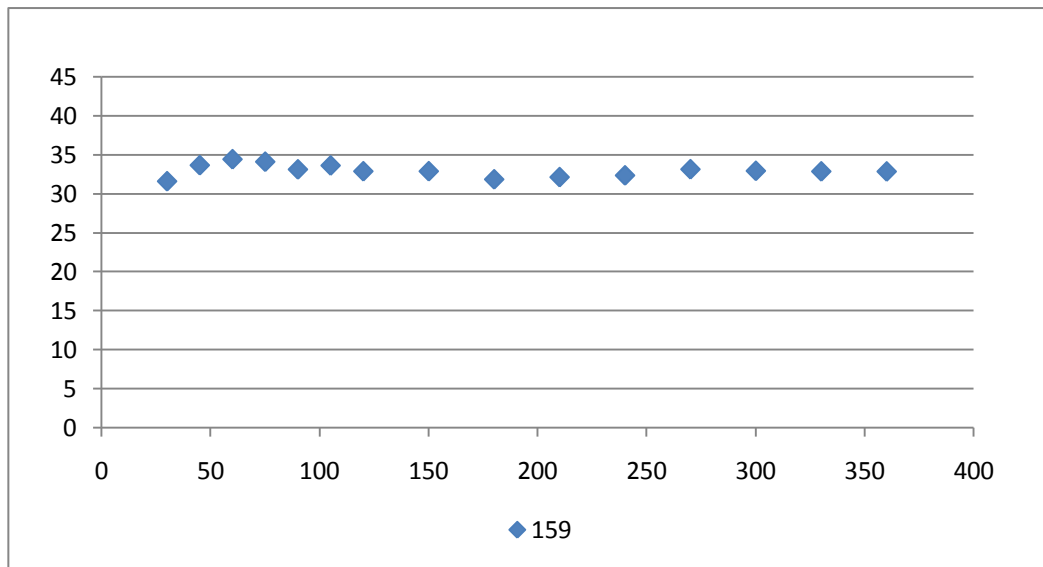


Figura 5.15 - Erro de MCP para direcção para E150 com o ponto M E159

Na correlação deste ponto P com o ponto M E159, a variação de erro vai diminuindo, tendendo para um valor estável.

A figura 5.16 apresenta os resultados da extrapolação da E810 para a E150.

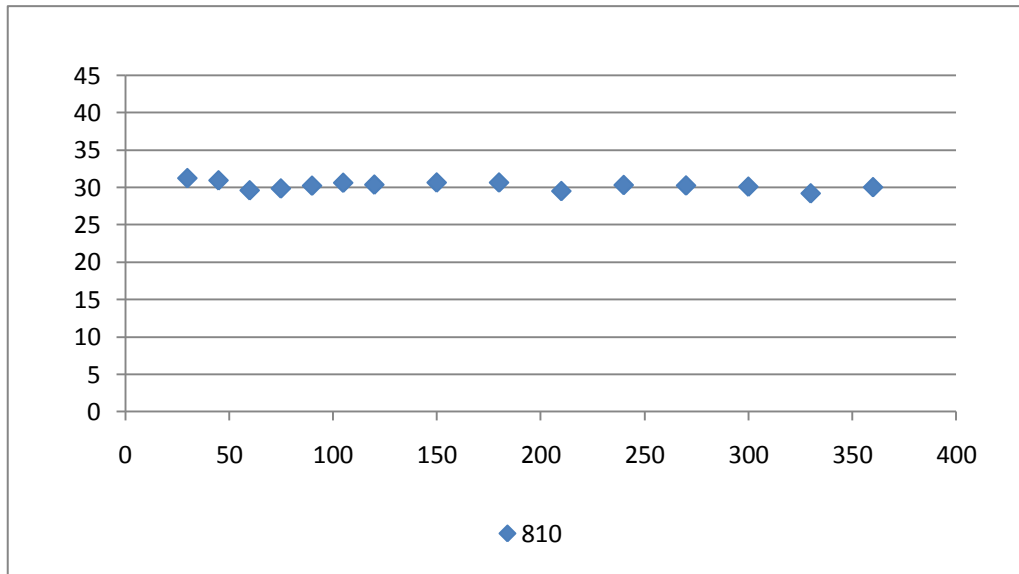


Figura 5.16 - Erro de MCP para direcção para E150 com o ponto M E810

Nota-se, da figura 5.16, uma variação em torno do valor de erro de 30 graus, mostrando uma estabilidade nos resultados.

A nível de direcção de vento a torre que melhor extrapola para a torre E150 é a torre E810, sendo que a nível de orografia estas duas torres diferenciam-se bastante, como foi visto no ponto 3.

5.2.3 - Ponto P: E154

Neste ponto P, as torres com funcionalidade de ponto M são as torres E92, E150, E159 e E810. Assim, são apresentados de seguida os resultados para as correlações referentes a este ponto P.

Esta torre encontra-se distanciada das outras com a distância mínima próximo dos 12 km.

5.2.3.a - Velocidade do vento

Os resultados seguintes são relativos a simulações da velocidade do vento com a torre E154 como ponto P.

Da tabela 5.5 abaixo, que mostra os erros de simulação relativos à correlação dos pontos M E92, E150, E159 e E810 com o ponto P em estudo, demonstra, desde logo, que o ponto M que tem melhor correlação para este ponto P é a torre E150, como se poderá verificar com uma análise aos gráficos correspondentes, pois possui os erros mais baixos nesta extrapolação.

Tabela 5.5 - MAE do MCP de velocidade de vento no ponto P E154 para vários pontos M

	92	150	159	810

30	2,345479	2,0576	2,308885	2,363256
45	2,180335	2,057776	2,342374	2,222011
60	2,507491	1,834365	2,454978	2,422337
75	2,30139	1,842665	2,316363	2,313378
90	2,322919	1,862868	2,358108	2,252703
105	2,302231	1,827007	2,190216	2,187854
120	2,201509	1,798029	2,241692	2,137303
150	2,146127	1,858372	2,10933	2,053817
180	2,02698	1,824676	2,007968	1,969227
210	2,015629	1,831587	2,031441	1,939765
240	2,03479	1,797523	2,055611	1,981615
270	2,048893	1,762103	2,047988	2,017023
300	2,148276	1,782788	2,028789	2,013195
330	2,148852	1,753564	2,071127	2,028452
360	2,19366	1,773049	2,065237	2,014114

As figuras seguintes mostram os gráficos destes resultados. É de salientar que esta torre é a torre que se encontra mais a norte do conjunto de torres em estudo.

A figura 5.17 mostra os resultados da correlação da torre E92 para a torre E154.

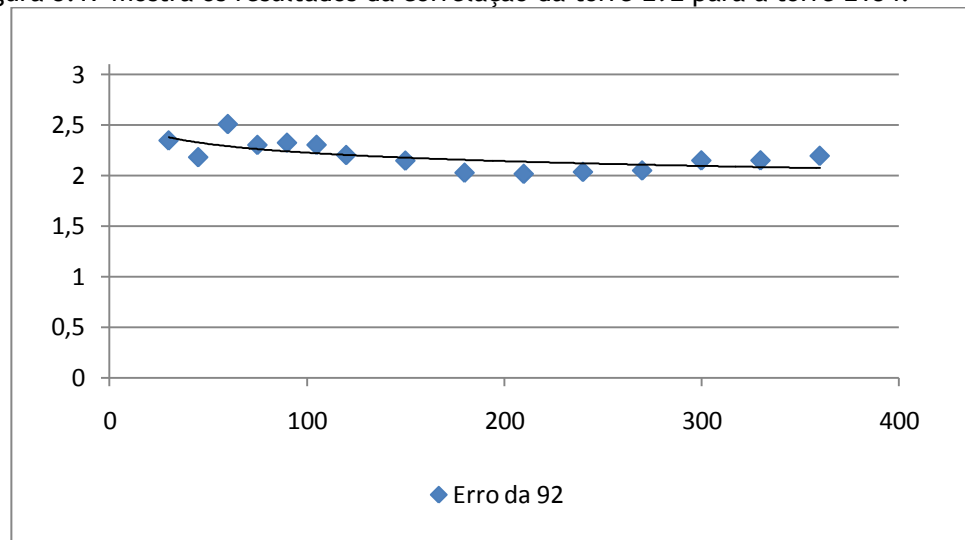


Figura 5.17 - Erro de MCP para velocidade para E154 com o ponto M E92

Para a correlação da torre de medida E92 para a torre de medida E154 nota-se uma tendência forte até à simulação para o conjunto de dados equivalente a 180 dias, a partir do qual o erro se mantém próximo de uma constante. Assim, esta correlação é viável a partir do conjunto de treino equivalente a 180, apesar do conjunto para melhor erro ser o conjunto de 210 dias.

Para a correlação entre as torres E154 e 150, E150 como ponto M, a figura 5.18 apresenta uma ilustração da evolução do erro com os dias.

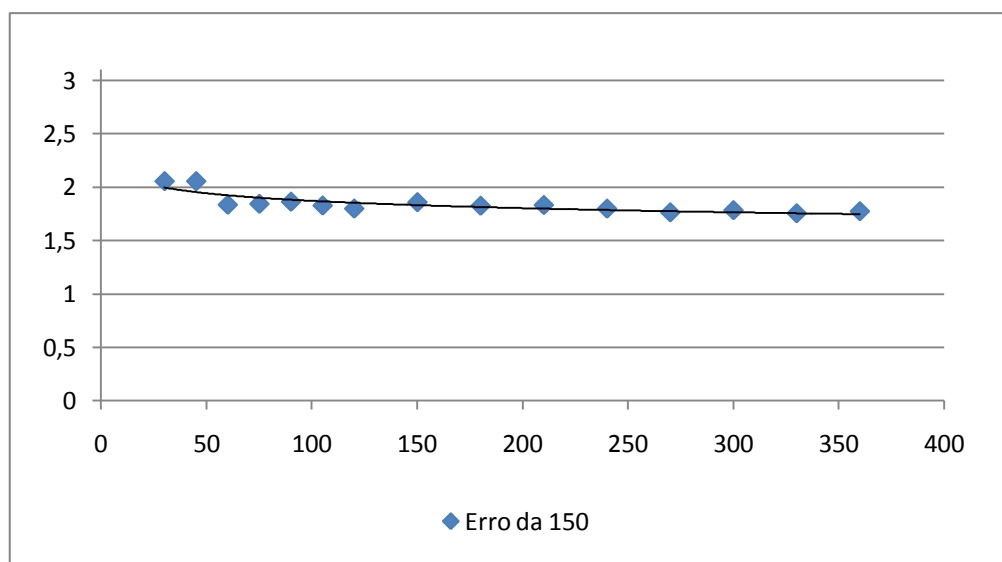


Figura 5.18 - Erro de MCP para velocidade para E154 com o ponto M E150

Pela análise do gráfico da figura 5.18 denota-se que possui bons erros a partir do conjunto equivalente a 120 dias. A partir deste conjunto a correla o tende a estabilizar. O menor erro por conjunto para esta correla o encontra-se, no entanto, para o conjunto de 330 dias, sendo que o conjunto de 270 dias apresenta já um resultado viável de extrapola o.

A torre E150 apresenta a melhor correla o possível para este ponto P E154, tal como foi verificado na tabela 5.5.

A figura 5.19   relativa   extrapola o da torre E159 para a torre E154.

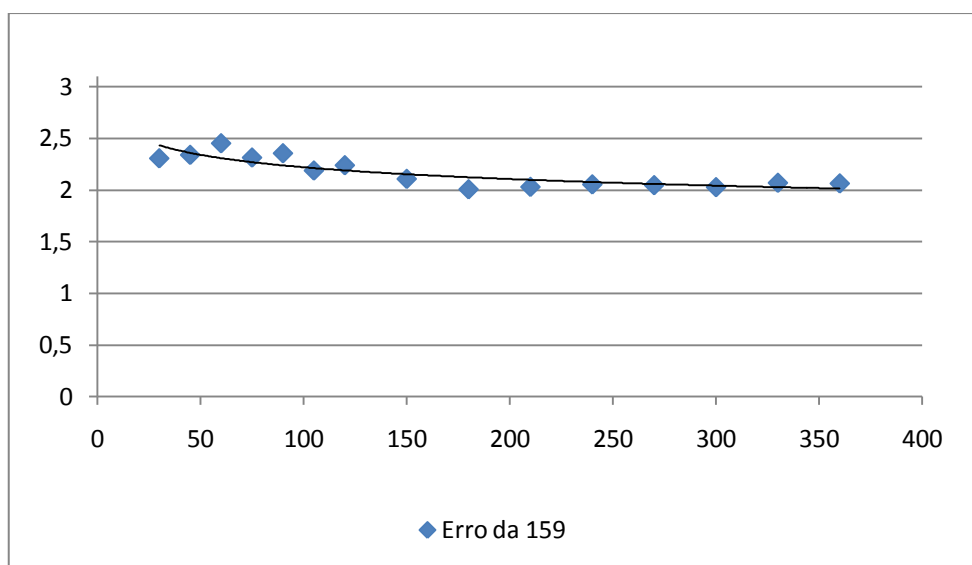


Figura 5.19 - Erro de MCP para velocidade para E154 com o ponto M E159

Pela figura 5.19, verifica-se que existe uma forte tendência de melhoramento de resultados, decréscimo dos erros, até estabilizar em torno de um valor.

Esta estabilidade torna-se evidente a partir do conjunto equivalente a 180 dias, que é, por sinal, o conjunto com melhor erro, viabilizando assim a extrapolação da torre E159 para a torre E150.

A figura que se segue, figura 5.20, é relativa à correlação da torre E810 para a torre E154.

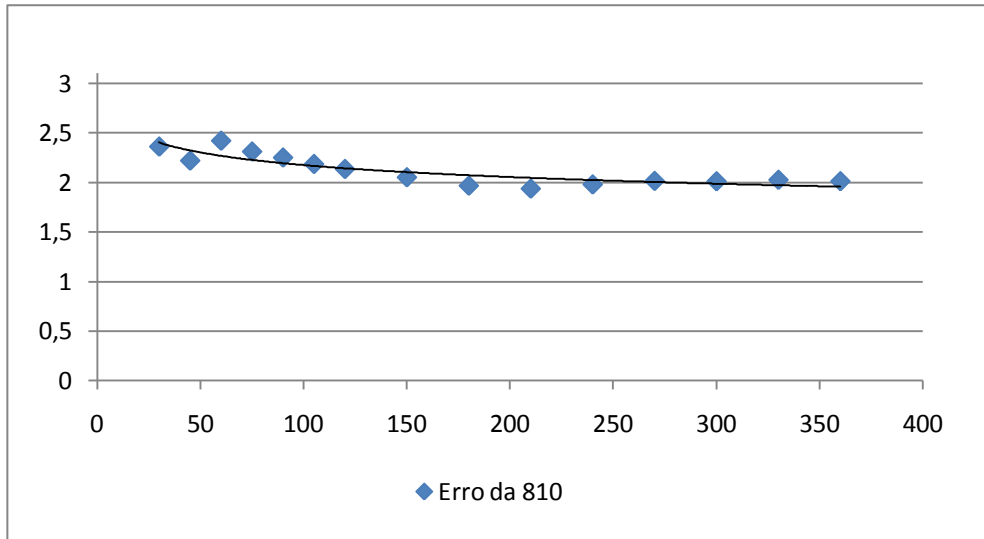


Figura 5.20 - Erro de MCP para velocidade para E154 com o ponto M E810

A correlação entre a torre E810 e a torre E154, como ponto P, tem idêntico desempenho ao resultante da torre E159, observável pelas figuras 5.19 e 5.20, respectivamente, com estabilização a partir de 180 dias. No entanto, o melhor conjunto para viabilizar a extrapolação para a torre E154 com a E810 sendo que o menor erro para a E810 se encontra no conjunto 210 dias.

Como acima mencionado, a correlação a partir do ponto M E150 é a que representa menores erros na correlação para o ponto E154. No entanto, a sua estabilidade dá-se a partir do conjunto de 270 dias, sendo que a partir dos 180 tem tendência a estabilizar. É, assim, a torre para viabiliza os resultados necessários para a extrapolação para a torre E154.

5.2.3.b - Direcção do vento

A tabela seguinte, tabela 5.6, apresenta os resultados do MAE para as correlações com o ponto P E154 quanto à direcção do vento.

Tabela 5.6 - MAE do MCP de direcção de vento no ponto P E154 para vários pontos M

	E92	E150	E159	E810
30	39,03666	36,4095	36,37155	34,13753

45	35,80545	35,01979	34,78343	36,9774
60	35,02723	35,96585	35,81331	34,00254
75	35,1401	32,79712	34,03975	31,20727
90	36,26368	33,13679	36,77802	32,84064
105	35,3638	31,97515	34,6712	33,16564
120	34,43683	32,07458	34,11829	31,82796
150	33,145	31,95483	33,91896	30,93523
180	34,25195	31,3272	32,86664	30,76627
210	32,40227	31,3272	32,64055	30,78052
240	34,08466	32,36155	32,7763	32,10839
270	34,39101	31,99616	33,51156	32,8983
300	33,67181	31,27197	33,06445	31,5284
330	33,30704	31,56799	33,58331	31,53526
360	33,33038	31,56799	34,2869	31,55795

A figura 5.21 diz respeito à correlação da torre E92 com a torre E154 para erros de simulação de direcção de vento.

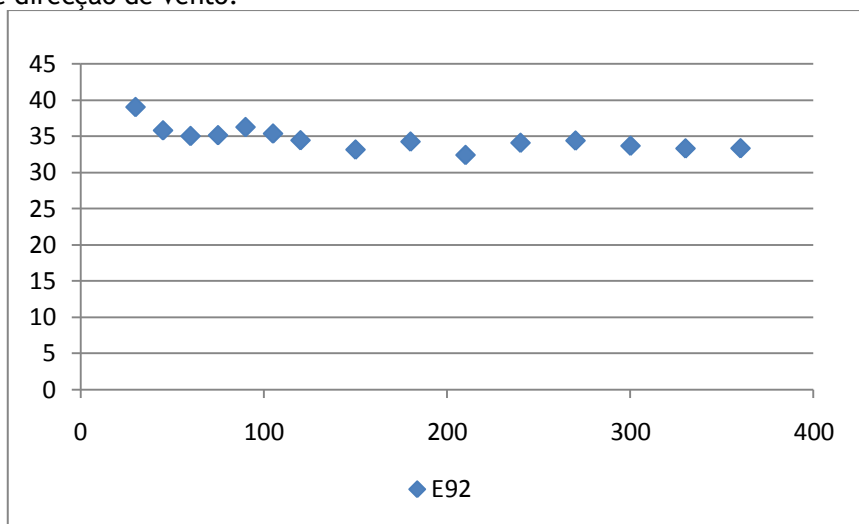


Figura 5.21 - Erro de MCP para direcção para E154 com o ponto M E92

Pela observação do gráfico, nota-se uma descida com o aumento do número de dados, até atingir uma banda de valores estável.

Para a correlação a partir da torre E150 a figura 5.22 faz uma ilustração.

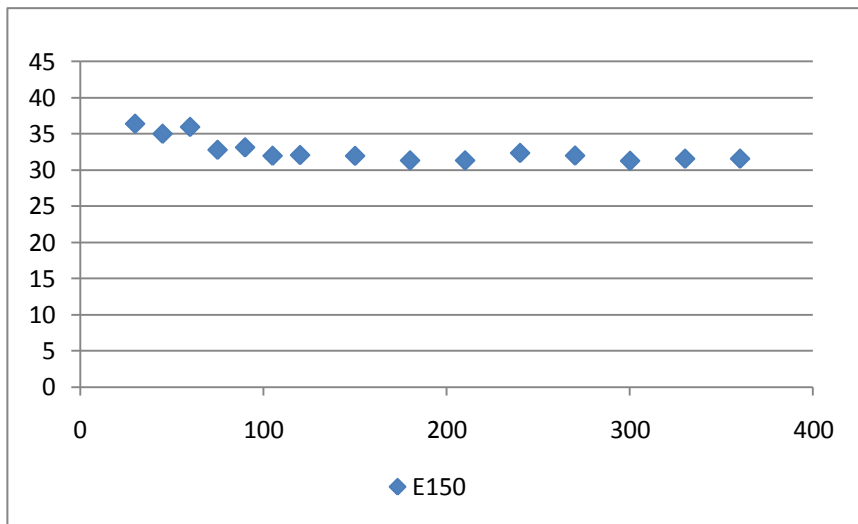


Figura 5.22 - Erro de MCP para direcção para E154 com o ponto M E150

De igual modo, esta correlação apresenta uma diminuição com a evolução de dias, estabilizando em torno de um valor constante a partir do conjunto equivalente a 140 dias.

Na figura 5.23 é apresentado o gráfico da evolução do erro com a torre E159 para esta extrapolação.

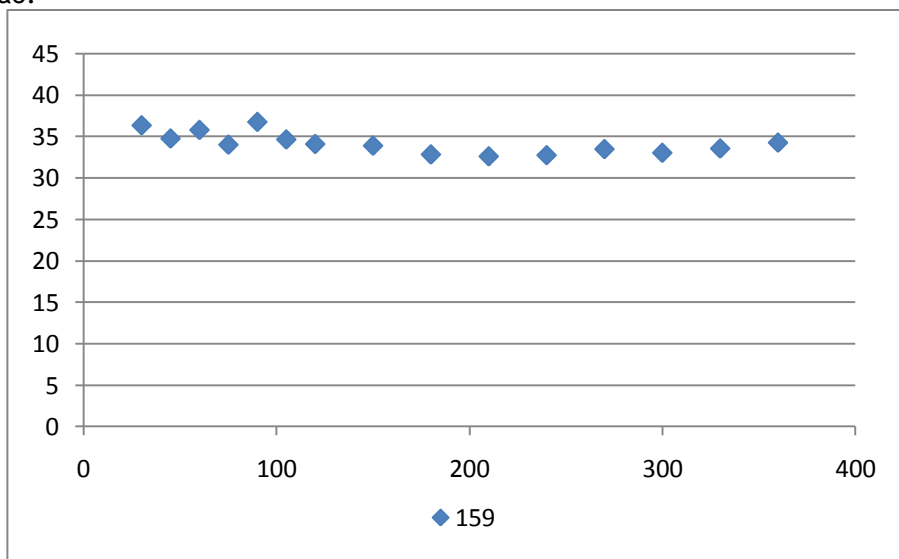


Figura 5.23 - Erro de MCP para direcção para E154 com o ponto M E159

Pela observação do gráfico, nota-se uma ligeira oscilação do erro para os dados iniciais, com uma tendência de descida, ligeira, estabilizando em volta de um valor constante.

Por fim, a figura 5.24 ilustra os erros da tabela 5.6 para a correlação da torre E810 com a torre do ponto P, E154.

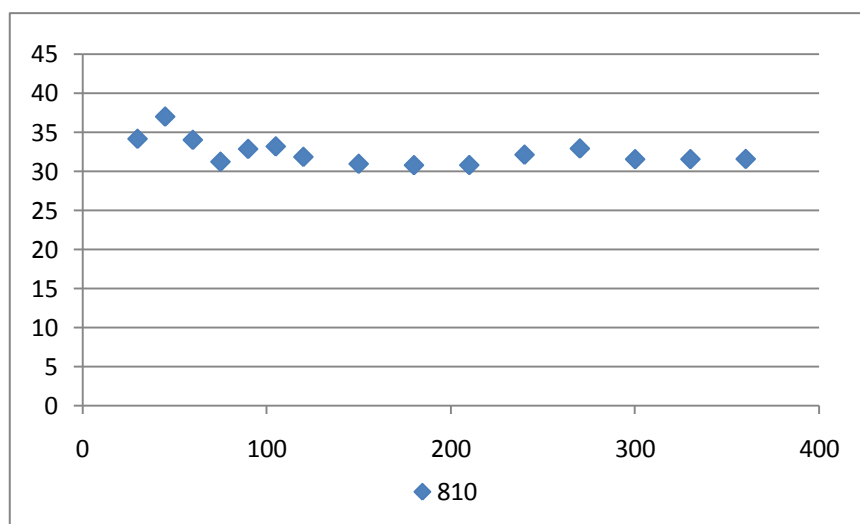


Figura 5.24 - Erro de MCP para direcção para E154 com o ponto M E810

A torre E810 possui uma variação para os valores do erro, sendo, no entanto, visível a tendência de descida para uma estabilidade.

De salientar que a torre E154 tem a melhor correlação a torre E150 pelos erros de velocidade de vento, que geograficamente se encontram bastante afastadas.

A extrapolação para torre E154   válida, então, com a torre E150 para valores da torre E150, a partir de um conjunto equivalente a 270 dias.

5.2.4 - Ponto P: E159

Neste ponto P, as torres com funcionalidade de ponto M são as torres E92, E150, E154 e E810. Assim, são apresentados de seguida os resultados para as correlações referentes a este ponto P

Esta torre encontra-se relativamente perto das torres E159 E92, por proximidade respectivamente.

5.2.4.a - Velocidade do vento

Os resultados provenientes das simulações dos diversos pontos M para o ponto P E159 não são suficientemente conclusivos quanto a tendências ou a melhores valores de erros tal como   mostrado na tabela 5.4 de resultados, ou ainda nos gráficos de resultados que ilustram as extrapolações para esta torre, E159.

Assim,   inviável indicar uma torre de medida como ponto M para a correlacionar na obtenção de resultados de simulação satisfatórios, tampouco definir o conjunto de dados para tal.

A tabela seguinte mostra os resultados das simulações dos diversos pontos M para este ponto P, E159.

Tabela 5.7 - MAE do MCP de velocidade de vento no ponto P E159 para vários pontos M

	92	150	154	810
30	1,621485	2,184528	1,823548	1,496668
45	1,625947	2,337996	1,898366	1,556767
60	1,501901	2,123347	1,840123	1,585127
75	1,530562	2,130597	1,881504	1,506006
90	1,567003	2,200681	1,784397	1,523336
105	1,561412	2,212875	1,853766	1,463588
120	1,530796	2,270798	1,940878	1,474057
150	1,529976	2,199707	1,779313	1,424197
180	1,532135	2,261006	2,138449	1,50884
210	1,572327	2,21427	1,812166	1,419379
240	1,596422	2,235649	1,803348	1,496671
270	1,572335	2,182756	1,80698	1,476102
300	1,584234	2,161328	1,929554	1,792636
330	1,561179	2,14479	1,786464	1,437956
360	1,568869	2,218786	1,807052	1,49217

De seguida são apresentados os gráficos com os resultados.

A figura 5.25 mostra os resultados da correlação da torre E92 para a torre E159.

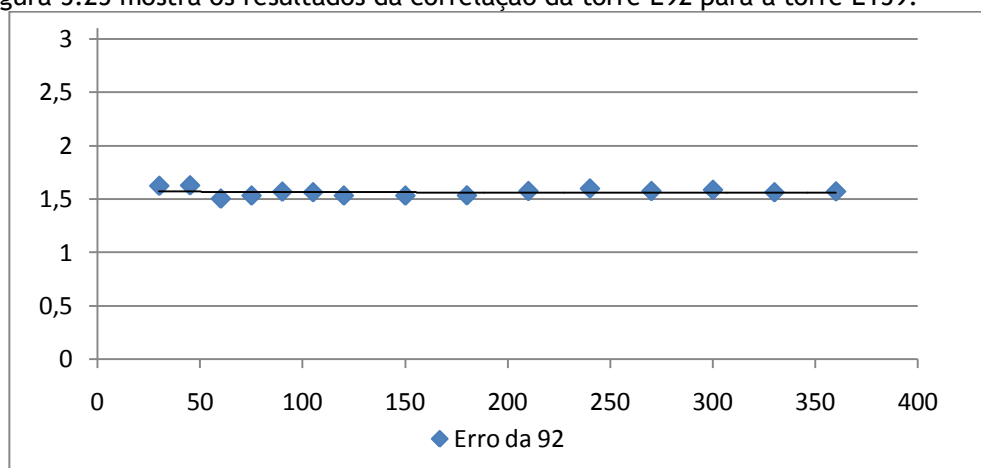


Figura 5.25 - Erro de MCP para velocidade para E159 com o ponto M E92

Esta correlação apresenta uma constante na evolução dos erros com os conjuntos de dias. Nota-se uma variação inicial, passando a estabilizar para os dados de 120 dias a 180, repetindo a partir de 210 dias. Porém, há uma estabilidade constante que impossibilita a selecção de um conjunto de dados certo para elaborar a extrapolação para a torre E159.

Apesar de não ser possível definir um conjunto de treino como regra para esta correlação, pode-se dizer que qualquer conjunto será uma possibilidade para o treino para esta extrapolação. No entanto, os conjuntos de 120 em diante seriam os mais aconselháveis devido à estabilidade que demonstram.

A figura 5.26 apresenta os resultados de simulação da torre E150 para a torre E159.

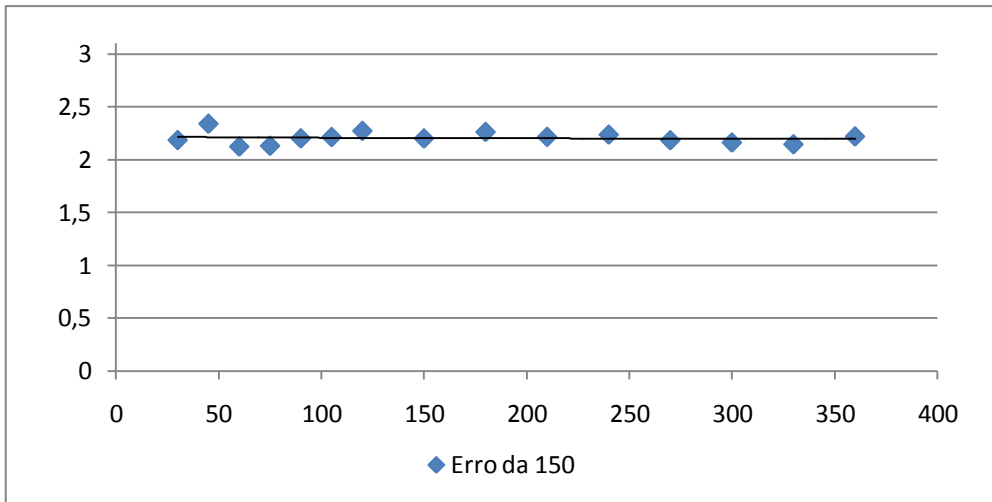


Figura 5.26 - Erro de MCP para velocidade para E159 com o ponto M E150

Da observação da figura 5.26 e de acordo com a tabela 5.7 verifica-se que existe uma descida nos erros para conjuntos superiores a 240 dias.

No que diz respeito a conjuntos anteriores, há uma constante oscilação nos erros, de onde se retira a inviabilidade na definição de um conjunto como regra. Deste modo, e tendo em conta o que ocorre a partir do conjunto 210, conclui-se que é viável esta extrapolação para conjuntos superiores a 270 dias, apesar de o menor erro existir para o conjunto 60 dias.

A figura que se segue, figura 5.27 é representativa dos erros de velocidade de vento da correlação da torre E154 com a torre E159.

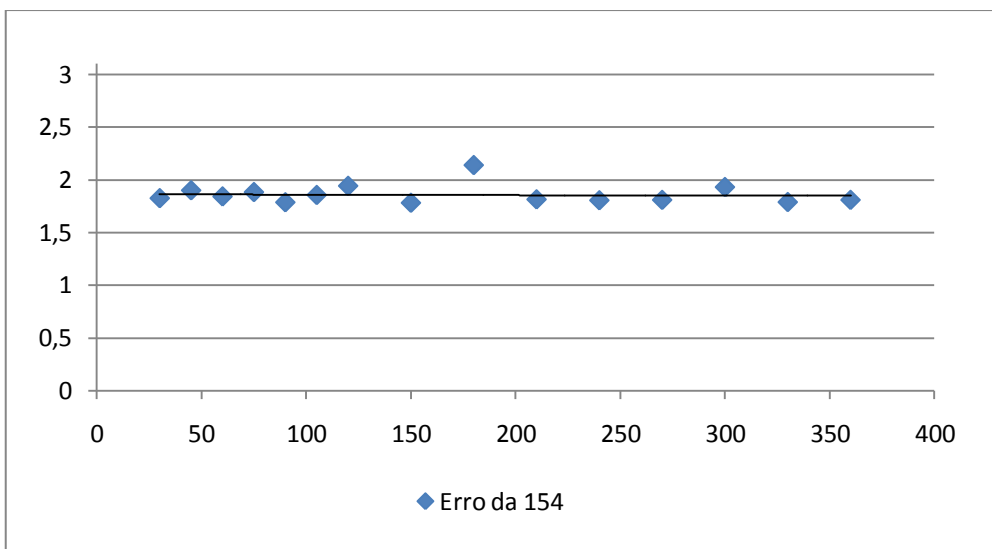


Figura 5.27 - Erro de MCP para velocidade para E159 com o ponto M E154

Nesta correlação é notória a discrepância do erro para o conjunto equivalente a 180 dias e para o erro de 300 dias. A variação dos erros ao longo de todos os resultados de esta correlação, encontram-se em evidência.

No entanto, a partir do conjunto de 210 dias em diante existe uma forte estabilidade. Apesar da dificuldade em definir um conjunto para a extrapolação, os resultados tornam-se credíveis para conjuntos superiores a 210 dias, com a excepção do conjunto de 300 dias.

Os resultados da correlação da torre E810 para a torre E159 estão apresentados no gráfico da figura 5.28

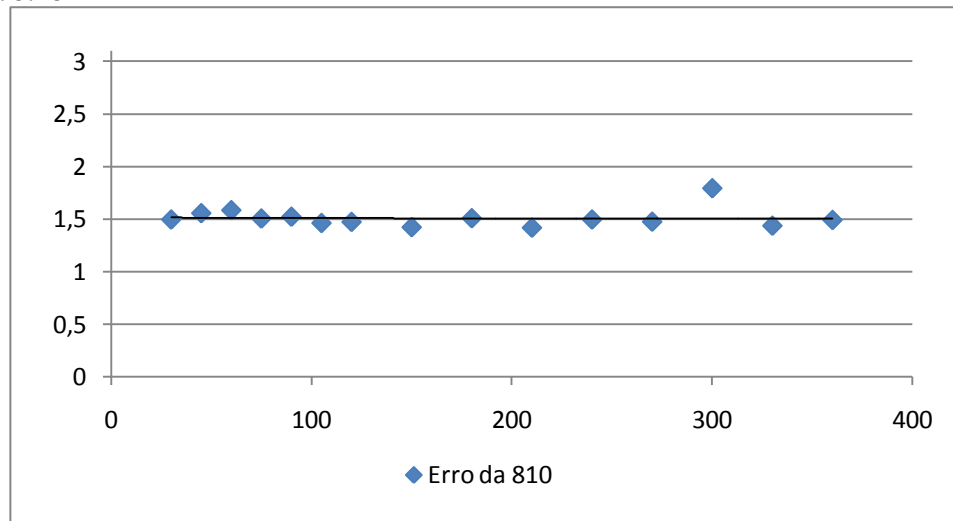


Figura 5.28 - Erro de MCP para velocidade para E159 com o ponto M E810

À semelhança da correlação com a torre E154, esta correlação possui muitas oscilações de erros. Embora os erros variem pouco, excepção para o resultado do conjunto para 300 dias, nota-se uma tendência a estabilizar a partir do conjunto de 240 dias.

É, no entanto, de salientar que os erros encontram-se em torno de um valor, levando a dizer que a diferença existente para a torre E810 é mínima e que possivelmente seria a torre indicada para efectivar a correlação, sendo que o conjunto de teste poderia ser a partir de conjuntos de dados equivalentes a 210 dias ou 240 dias, à excepção do conjunto de 300 dias. Note-se que os melhores erros são nas torres mais próximas da torre E159. A torre E150 situa-se num terreno com uma topologia bastante diferente, sendo esta a possui o maior erro.

A dificuldade em fazer uma boa extrapolação, com um comportamento visível melhor, poderá estar relacionada tanto com a proximidade de torre, como com erros de medição no anemómetro, de tal forma que influencie os conjuntos de treino, teste e objectivo da rede neuronal e respectivas influências nos pesos da rede.

5.2.4.b - Direcção do vento

A tabela seguinte, tabela 5.9 apresenta os resultados da direcção do vento, acompanhada por gráficos.

60 Optimização temporal do MCP

Tabela 5.8 - MAE do MCP de direc o de vento no ponto P E159 para vários pontos M

	E92	E150	E154	E810
30	25,59451	29,92335	30,78553	20,07914
45	22,94035	29,48622	30,4415	19,62246
60	25,21182	29,42543	30,64793	21,02586
75	23,90036	29,62126	31,3194	19,69565
90	24,27505	31,26749	29,75888	18,77351
105	25,17005	28,96105	33,54017	19,98088
120	24,06793	29,22959	32,03626	18,32824
150	23,93294	27,18219	28,7628	17,92797
180	23,89954	26,26778	30,76597	18,82428
210	22,93199	26,41016	28,91376	18,21544
240	25,98391	26,73422	29,7874	17,82953
270	24,05093	26,742	29,95554	18,26173
300	24,4904	26,93439	28,77451	18,90971
330	24,36889	26,97812	31,0735	18,51299
360	25,42542	28,20979	31,40619	18,38934

A figura 5.29 está relacionada com o erro de direc o a correla o da torre E92 para a torre E159.

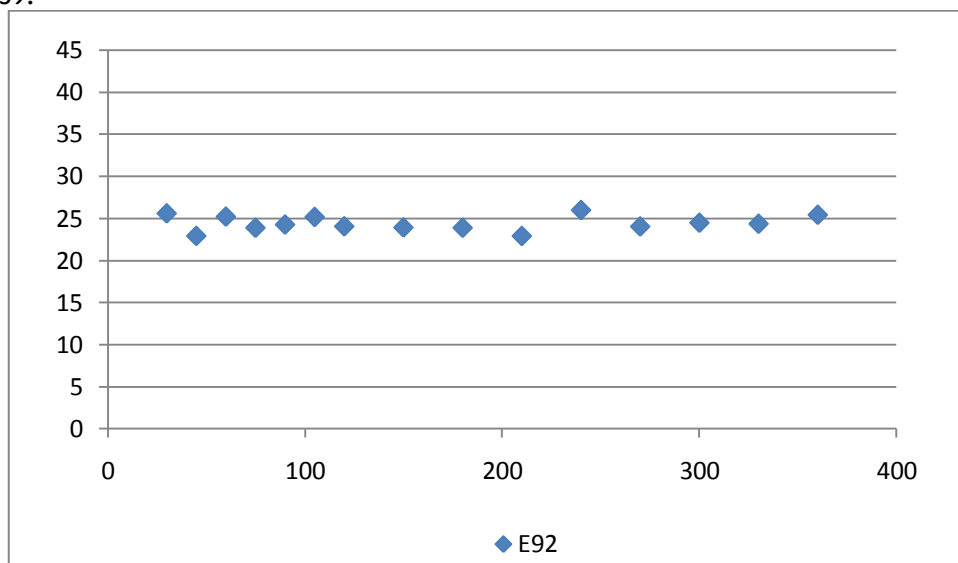


Figura 5.29 - Erro de MCP para direc o para E159 com o ponto M E92

Notam-se algumas varia es nos erros apresentados.

Para a correla o com a torre E150 a figura 5.30 faz a ilustra o para o erro de direc o de velocidade.

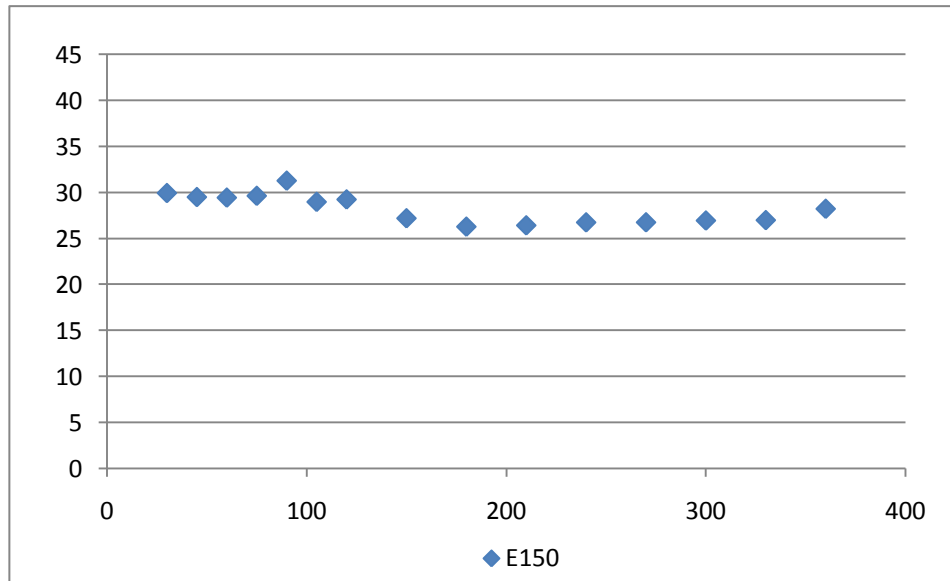


Figura 5.30 - Erro de MCP para direcção para E159 com o ponto M E150

Para esta correlação verifica-se uma tendência de descida, até ao conjunto equivalente a 180, a partir do qual tende a manter-se estável.

O gráfico da figura 5.31 apresenta os resultados da correlação, para a direcção de velocidade, da torre E154 com a torre E159.

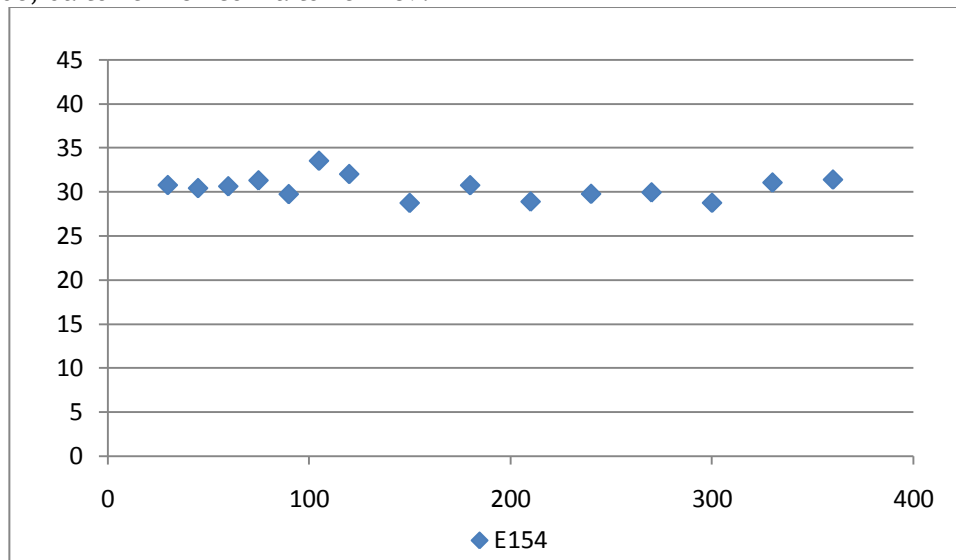


Figura 5.31 - Erro de MCP para direcção para E159 com o ponto M E154

A extrapolação da torre E154 para a torre E159 apresenta resultados de erros de velocidade oscilantes.

Finalmente, a figura 5.32 mostra a evolução do erro para a correlação da torre E810 para o ponto P, E159.

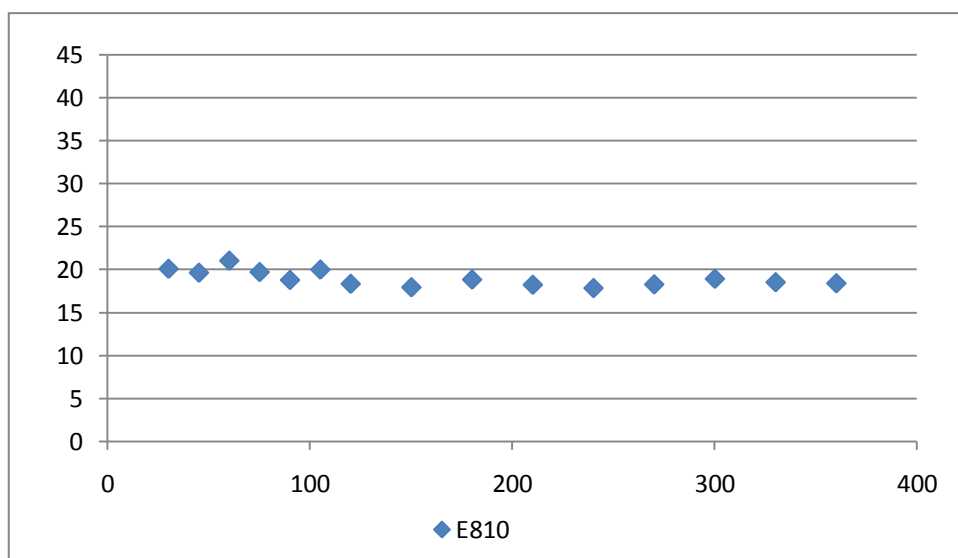


Figura 5.32 - Erro de MCP para direcção para E159 com o ponto M E810

Esta correlação apresenta uma tendência de descida do erro com o aumento de número de dias.

Mais uma vez, se verifica que para as torres mais próximas melhor os erros, ou seja, apresentam erros mais baixos.

5.2.5 - Ponto P: E810

Por fim, faz-se a análise com a torre E810 como ponto P. Deste modo, os pontos M para extrapolação são as torres E92, E150, E154 e E159.

5.2.5.a - Velocidade do vento

A partir de uma observação dos gráficos seguintes, nota-se que a correlação para a torre E810, ponto P, a partir dos vários pontos M, tem valores de simulação que permitem deixar algumas dúvidas sobre a eficiência no MCP.

Note-se que o distanciamento entre torre e a orografia do terreno são parte importante na interpretação dos resultados. Deste modo, salienta-se a proximidade com a torre E159, como a mais próxima, seguida da torre E92.

A tabela 5.9 mostra os resultados das simulações a partir dos vários pontos M para o ponto P E810.

Tabela 5.9 - MAE do MCP de velocidade de vento no ponto P E810 para vários pontos M

	E92	E150	E154	E159
30	1,790204	2,003806	1,808127	1,54172
45	1,771453	1,998729	1,85361	1,624233
60	1,706326	1,929467	1,79167	1,602001
75	1,700258	2,184028	1,83805	1,615839
90	1,737972	1,98339	1,758435	1,581991
105	1,728457	1,972991	1,78612	1,582446
120	1,707231	2,006315	1,776118	1,635407
150	1,67845	2,024508	1,726538	1,598247
180	1,666223	2,056459	1,832861	1,55341
210	1,654673	2,074793	1,726107	1,481414
240	1,699675	2,020934	1,773186	1,583162
270	1,697509	1,992591	1,820002	1,545222
300	1,671686	1,943959	1,814001	1,543373
330	1,707433	1,940201	1,683808	1,559746
360	1,678308	1,936447	1,730594	1,554547

Pela análise da tabela, a torre E159 é a que possui menores erros das correlações para o ponto P E810. No entanto, o estudo foi efectuado com o apoio das figuras ilustrativas.

A figura 5.33 é relativa a correlação da torre E92 para a torre E810.

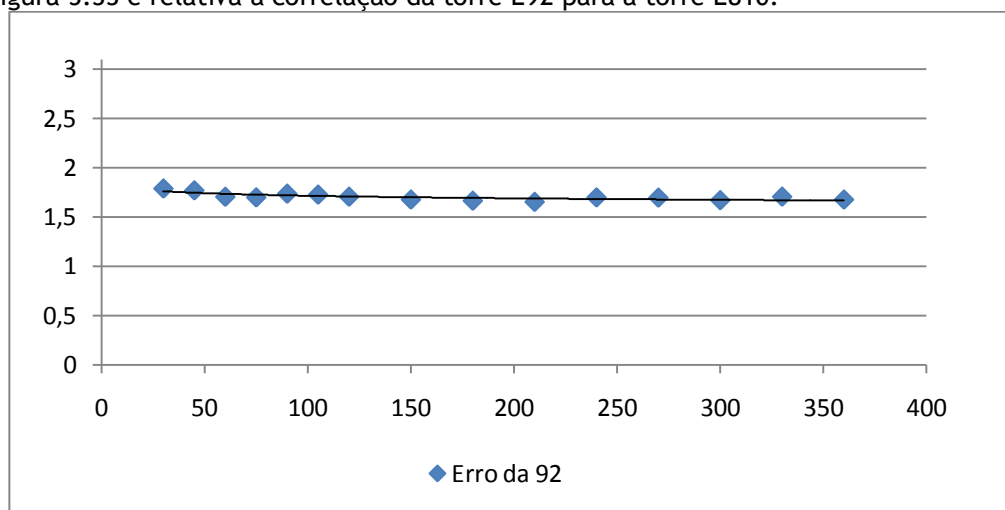


Figura 5.33 - Erro de MCP para velocidade para E810 com o ponto M E92

A correlação com a torre E92 apresenta uma linha de tendência dos erros MAE em estudo com uma ligeira descida para os primeiros conjuntos atingindo uma estabilidade a partir do conjunto 150 dias.

Apresenta, então, uma boa correlação, com um conjunto possível de se atribuir como regra o conjunto equivalente a 210 dias, sendo ele também o conjunto com menor erro.

A torre E92 exibe-se, inclusivamente, como uma das mais próximas da torre E810.

A próxima figura, figura 5.34, é relativa aos erros resultantes da correlação entre a torre E150 e a E810.

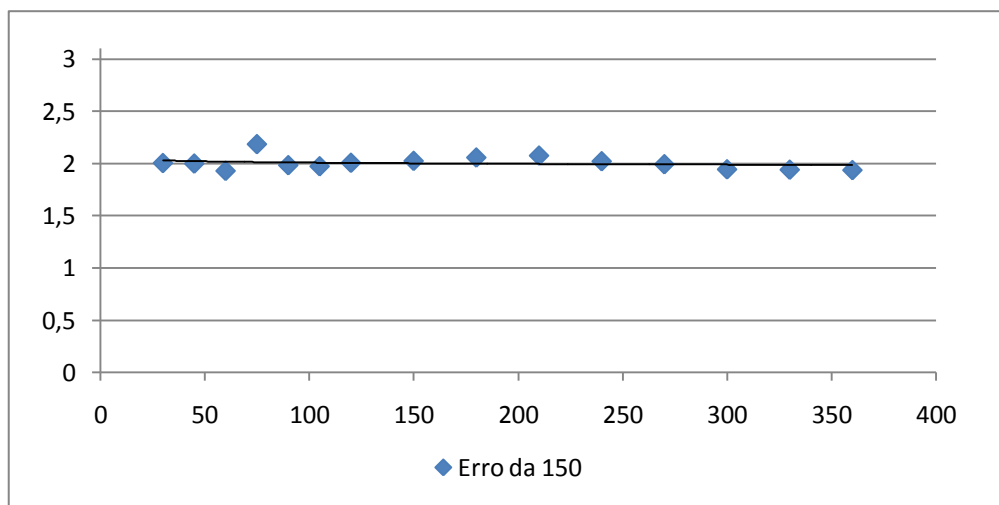


Figura 5.34 - Erro de MCP para velocidade para E810 com o ponto M E150

A extrapolação a partir da torre E150 tem oscilações do valor dos erros nos conjuntos iniciais. No entanto, a partir do conjunto 210 dias tem uma tendência de descida, estabilizando no conjunto equivalente a 300 dias. Assim, esta torre é viável para correlacionar com a E810 a partir do conjunto 300 dias.

De seguida, a correlação da torre E154 para a E810, com o gráfico representativo na figura 5.35.

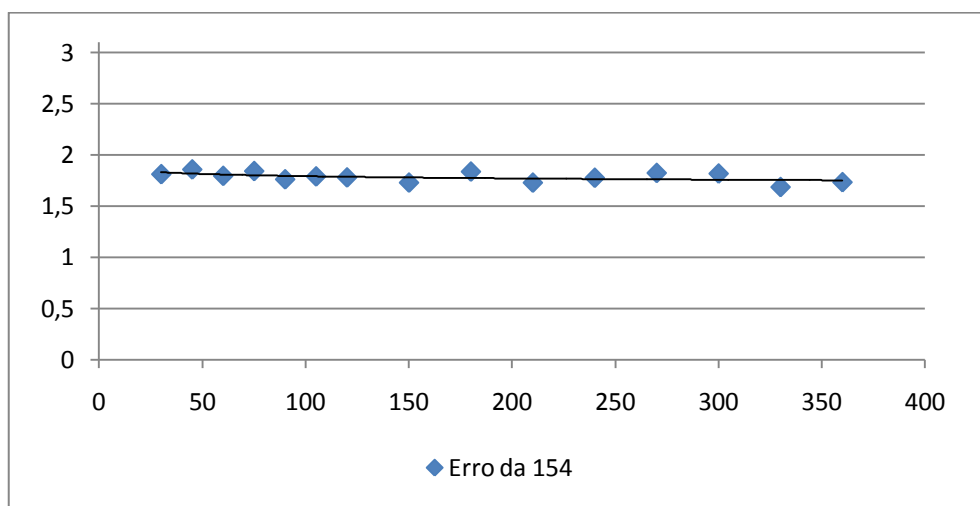


Figura 5.35 - Erro de MCP para velocidade para E810 com o ponto M E154

Esta correlação não confere viabilidade quanto a um conjunto de dados para treinar a rede neuronal desta extrapolação. Possui oscilações ao longo de todos os conjuntos de dados, suscitando algumas dúvidas no seu uso.

Para uma possível viabilidade desta correlação, seria necessário fazer mais testes com um maior conjunto de dados de treino para que melhor se entenda a evolução do erro.

A figura 5.36 possui o gráfico representativo dos erros de velocidade de vento para a correlação das torres E159 com a E810.

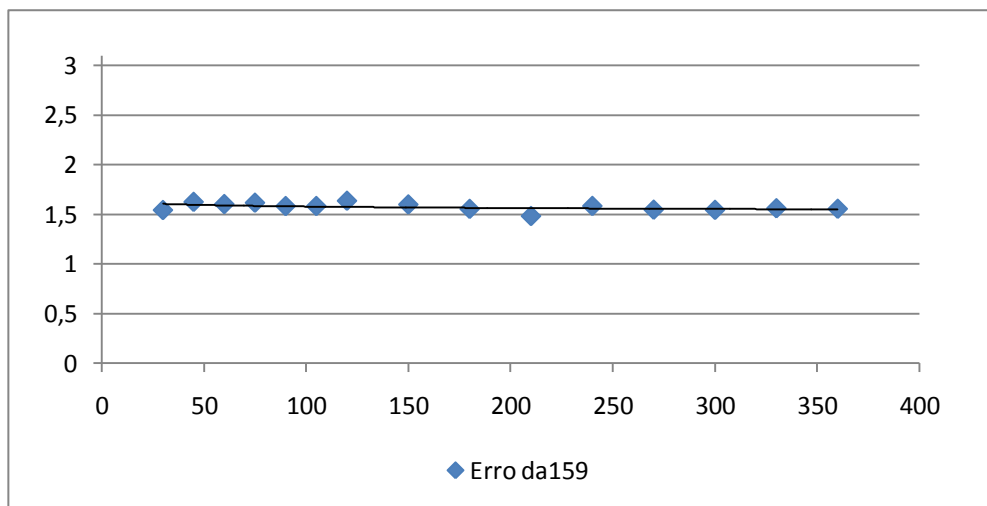


Figura 5.36 - Erro de MCP para velocidade para E810 com o ponto M E159

Pela observação do gráfico, é notório o erro mais baixo para o conjunto de 210 dias. Todavia, esta correlação mostra-se relativamente constante ao longo de todos os conjuntos de dados.

A partir do conjunto equivalente a 240 dias tende os valores do erro tendem a estabilizar, evitando oscilações, tão acentuadas como até ao conjunto de 210 dias.

A torre E159, por sua vez a mais próxima da torre E810, é a torre com menores erros, sendo, portanto, a torre mais viável para a extrapolação na torre E810, apresentando como conjunto inicial para regra de treino o conjunto de 270 dias, não sendo contudo o conjunto com menor erro.

De enfatizar a proximidade das torres E159, seguida da torre E92, quando comparadas com distancia para as torres E150 e E154.

5.2.5.b - Direcção do vento

A tabela seguinte apresenta os resultados da direcção do vento, acompanhada pelos gráficos das figuras 5.37, 5.38, 5.39 e 5.40.

Tabela 5.10 MAE do MCP de direcção de vento no ponto P E810 para vários pontos M

	E92	E150	E154	E159
30	23,09067	27,99261	33,57737	21,20755
45	23,79716	29,06976	33,04976	21,19198
60	25,28633	29,51854	30,82377	21,8436
75	24,60733	31,47827	31,13998	23,6823
90	24,92082	30,98317	30,23569	18,83393
105	24,62209	29,12984	29,64633	21,12953
120	23,35155	30,28355	32,58021	18,02772
150	24,02095	26,16995	29,5422	18,1652
180	23,64807	25,90035	27,03441	17,51295
210	24,09035	26,50451	28,28633	18,19784
240	24,41615	25,88662	29,4318	18,48618
270	24,2221	26,05131	28,82181	18,85286
300	24,00651	26,88412	29,65514	18,28189
330	24,39186	26,36405	30,66229	18,79203
360	24,74204	26,37941	30,16619	19,04682

A figura 5.37 apresenta os resultados de erro de direcção de vento da correlação do ponto M E92 para o ponto P E810.

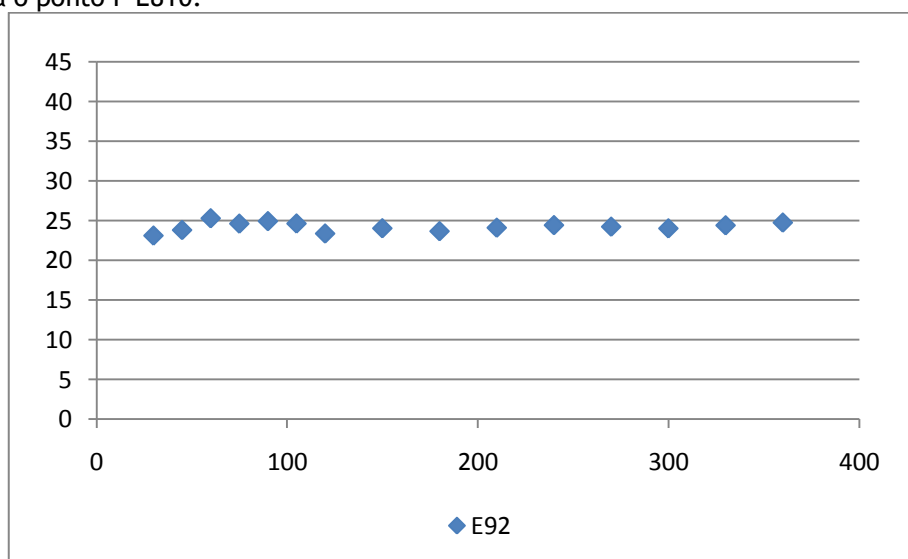


Figura 5.37 - Erro de MCP para direcção para E810 com o ponto M E92

Os resultados apresentados na figura 5.37 mostram uma tendência de estabilização de resultados, variando entre uma pequena gama de valores.

Na figura 5.38 tem-se a ilustração dos erros para a correlação com a torre E150.

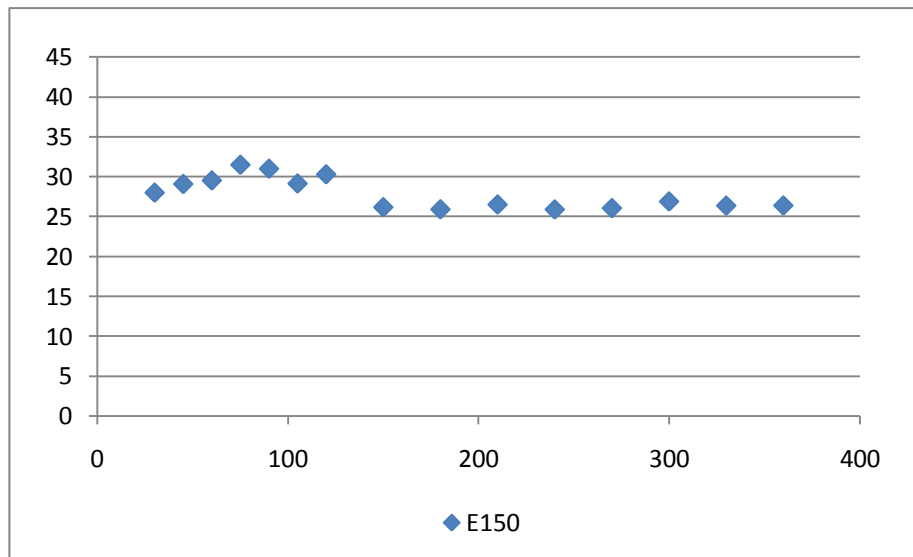


Figura 5.38 - Erro de MCP para direcção para E810 com o ponto M E150

Nota-se um decréscimo com o aumento de dados de treino, estabilizando em torno de uma constante.

Para a correlação entre a torre E154 e a torre E810, a figura 5.39 faz uma ilustração.

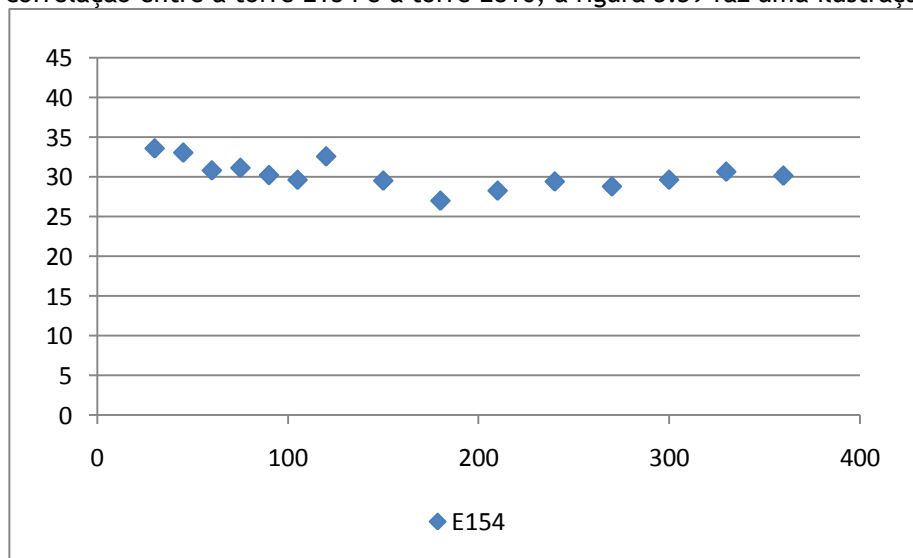


Figura 5.39 - Erro de MCP para direcção para E810 com o ponto M E154

Nesta correlação, os erros de direcção de vento apresentados têm fortes oscilações ao longo de todos os conjuntos de dados.

Apesar da descida inicial, os valores vão diminuindo e baixando sem regra definida.

Finalmente são apresentados os resultados para a torre que melhor correlação de velocidade de vento impõe na extrapolação para a E810. A figura 5.40 ilustra a evolução dos erros resultantes.

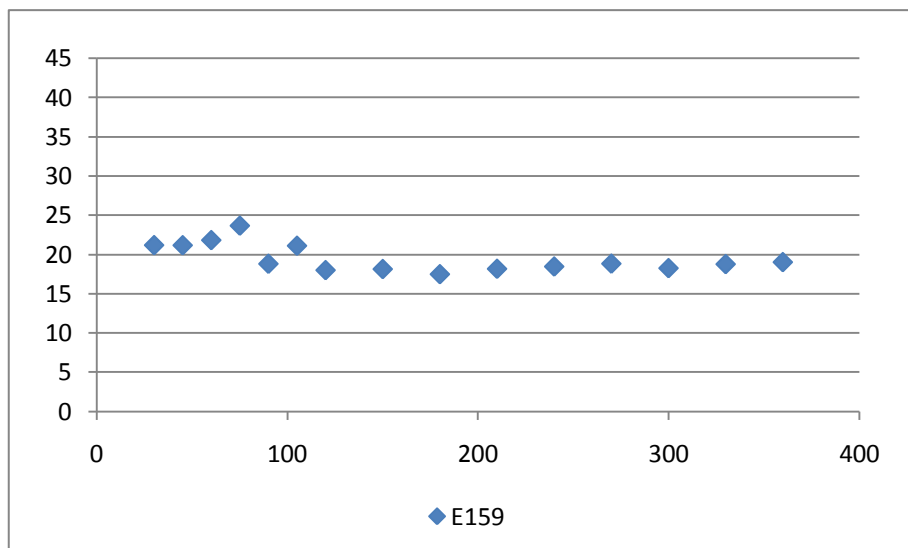


Figura 5.40 - Erro de MCP para direcção para E810 com o ponto M E159

No que diz respeito à direcção de vento, os resultados apresentados mostram uma tendência a estabilizar.

Esta correlação vem comprovar o que foi anteriormente dito para os resultados da velocidade do vento. Assim, os resultados da velocidade de vento comprovam que a torre ideal para uma extrapolação da torre E810 é a torre E159, que é a mais próxima.

5.3 - Conclusão

Este capítulo mostra que para cada torre existe uma torre ideal a partir da qual se pode extrapolar, podendo, contudo possível definir um conjunto de dados como uma regra a seguir para o treino da rede neuronal.

De salientar a importância do terreno em que estão inseridas as torres, devido ao fluxo do ar que por elas passam, da distância entre torres para correlacionar.

Os erros e as falhas de dados poder ter um contributo enorme para a obtenção do objectivo, uma vez que podem implicar muitas variações nos valores das extrapolações.

Seria ideal efectuar o estudo para dados sem falhas nas séries, de forma a proporcionar um melhor treino da RN, evitando assim as alternâncias bruscas de valores, que possam levar a um aumento do erro.

Capítulo 6

Optimização geográfica do MCP

6.1 - Introdução

O objectivo deste capítulo prende-se na verificação do MCP e sua dependência do número de pontos, da distância entre pontos M e P e da orientação dos pontos para a correlação.

Este capítulo é efectuado para conjuntos de treino com dados equivalentes a 210 dias e com uma escala temporal de 16 de Agosto a 31 de Dezembro de 2006 para os conjuntos de teste. No ponto 6.2 deste capítulo, isto pode implicar uma mudança nas escalas temporais em comparação com as originalmente tratadas.

No estudo da eficiência do MCP com a distância serão também utilizadas as torres E11, E121 e E510 que proporcionam uma distância muito superior ao núcleo de torres de estudo que foram usadas até então.

6.2 - Estudo da eficiência do MCP com a distância

O estudo da eficiência do MCP com a distância será efectuado com as séries de dados de velocidade e direcção de vento de todas as torres possíveis para estudo, com o ponto P, ponto para o qual se extrapola, a torre E159.

Como mencionado no início do capítulo, existem várias escalas temporais para os conjuntos de treino e várias quantidades de dados para os conjuntos de teste.

A tabela 6.1 mostra os conjuntos equivalentes a 210, através do número total de dados, trabalhados para a elaboração destas correlações.

Tabela 6.1 - definição dos conjuntos de 210 dias com toras as torres para a torre E159

210 dias	Número de dados	Data (de)	Data (até)
E011	29451	31-12-2005	11-08-2006
E092	29451	13-10-2005	11-08-2006
E121	29451	30-12-2005	11-08-2006
E150	29451	13-10-2005	11-08-2006
E154	29451	13-10-2005	11-08-2006
E510	29451	01-01-2006	11-08-2006
E810	29451	13-10-2005	11-08-2006

De notar que existe uma variação de datas, visto a sincronização inicial ter sido efectuada sem as torres E011, E121 e E510. Estas torres são utilizadas apenas neste ponto da dissertação.

Para os conjuntos de teste foram definidos como mostra a tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Definição dos conjuntos de teste com todas as torres para a torre E159

Teste	Número de dados	Data (de)	Data (até)
E011	18500	16-08-2006	31-12-2006
E092	19317	16-08-2006	31-12-2006
E121	15807	16-08-2006	31-12-2006
E150	19317	16-08-2006	31-12-2006
E154	19317	16-08-2006	31-12-2006
E510	19618	16-08-2006	31-12-2006
E810	19317	16-08-2006	31-12-2006

Para estes conjuntos é de frisar a diferença para o número de dados, visto se ter regido pela data e não pelo número de dados.

Os resultados obtidos para estas correlações são apresentados na tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Erro de velocidade e direcção para a torre E159 com a distância

E159	Erro de velocidade	Erro de direcção	Distância
E810	1,4194	18,2154	2,00
E092	1,5723	22,9320	5,70
E154	1,8122	28,9138	14,70
E150	2,2143	26,4102	20,70
E121	2,2086	141,6771	121,45
E011	2,8551	159,0268	128,90
E510	3,1571	151,3217	292,90

De seguida será feita a análise dos resultados para a velocidade de vento e para a direcção de vento.

6.2.1 - Velocidade de vento

A figura 6.1 ilustra o comportamento do erro da velocidade com a distância entre o ponto M e o ponto P.

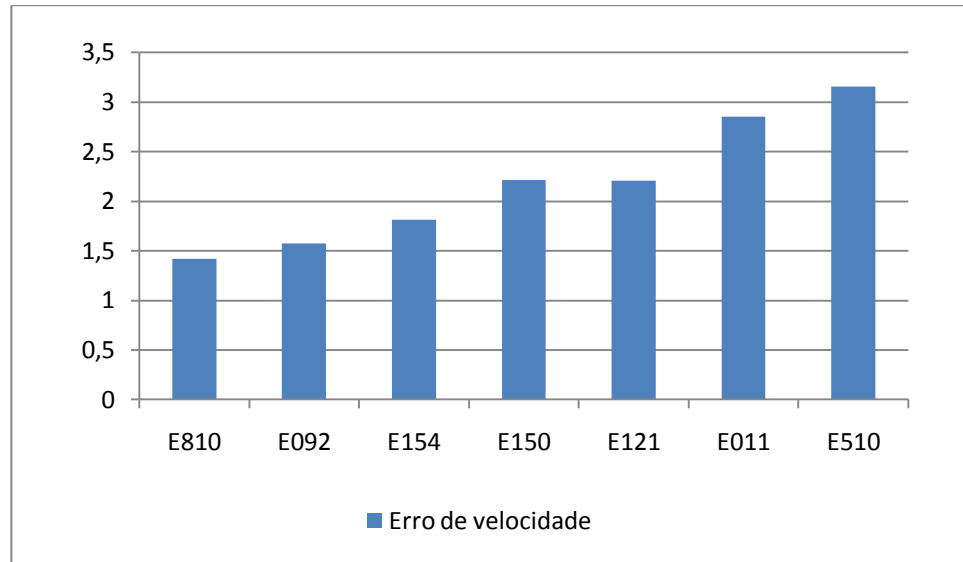


Figura 6.1 - Erro de velocidade para a torre E159 com a distância de pontos

Da análise da figura 6.1 conclui-se que, é norma o erro da velocidade de vento aumentar com a distância. No entanto, a torre E150 possui pior correlação quando comparada com a torre E121, em que as suas distancias ao ponto P são muito distintas.

Contudo, a torre E150 tem uma forte disparidade topográfica em relação à localização da torre E159, ao contrário da orografia que a torre E121 apresenta para a torre E159.

A título de comparação, a torre E011 encontra-se junto ao oceano envolto por uma montanha, e desta forma tem um erro muito superior para a torre E159 em relação ao resultante da torre E121, estando estas relativamente próximas.

6.2.2 - Direcção de vento

A figura 6.2 ilustra o comportamento do erro da direcção com a distância entre o ponto M e ponto P.

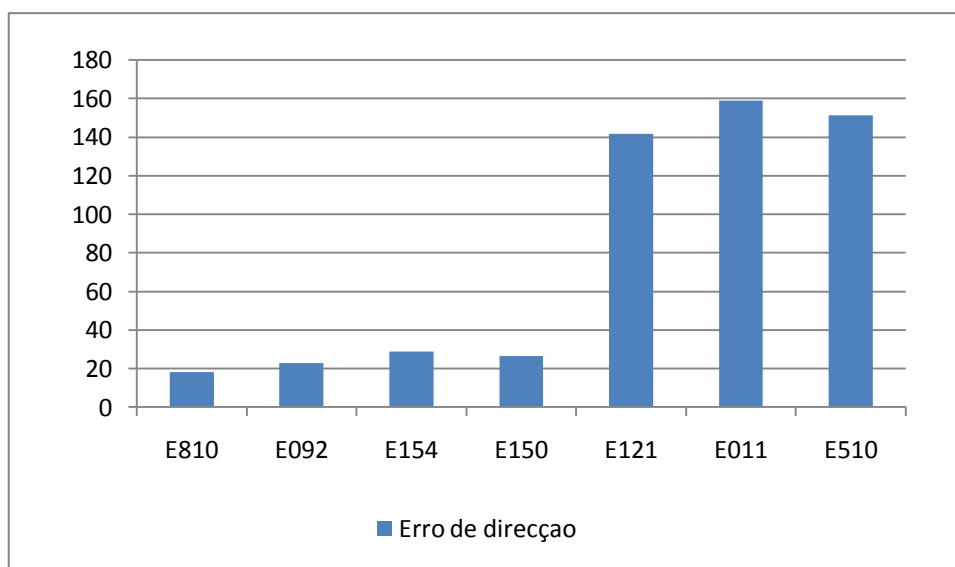


Figura 6.2 - Erro de direcção para a torre E159 com a distância de pontos

Com o estudo do erro de direcção a nível de distâncias é visível que esta influencia fortemente a correlação. As torres E011, E121 e E510 possuem um erro muito superior as restantes torres relativamente próxima.

Em conclusão, a distância é um factor importante para a correlação, evidenciando-se quando aliada à orografia de terreno.

6.3 - Estudo da eficiência do MCP relativamente ao número de pontos

Este estudo surge pela necessidade de determinar o número de pontos suficientes para viabilizar a extrapolação obtida para um determinado local. Dessa forma, conjugaram-se os dados para cada ponto da extrapolação, correlacionando-os com as várias combinações de torres disponíveis.

Foi determinado o impacto deste estudo para um período de 210 dias, utilizando as cinco principais torres consideradas para análise nesta dissertação. Os parâmetros analisados foram a velocidade do vento, bem com a sua direcção, daí o estudo estar dividido entre estes dois indicadores.

6.3.1 - Ponto P: E92

Para o ponto P E92 as correlações a efectuar foram realizadas com as torres E150, E154, E159 e E810.

A tabela 6.4 mostra os resultados obtidos, tanto para erros de velocidade como para erros de direcção na torre E92, para as diversas hipóteses de conjugação de torres.

Tabela 6.4 - Erros de velocidade e direcção para torre E92 quanto ao número de pontos

210 dias	Erro Velocidade E92	Erro Direcção E92
4 torres	1,674465212	23,52726586
E150.E154.E159	1,692021759	23,66513989
E150.E154.E810	1,731246277	25,37944214
E150.E159.E810	1,696386172	24,66609897
E154.E159.E810	1,708808146	22,72051305
E150.E154	1,993655648	27,77713414
E150.E159	1,734110628	24,7049504
E150.E810	1,773758831	25,84840733
E154.E159	1,743081508	23,72389391
E154.E810	1,757654021	24,28754691
E159.E810	1,770338553	25,15262242
E150	2,494956376	31,69510043
E154	2,070449195	29,7576334
E159	1,751540248	26,1564267
E810	1,854407735	26,54804261

De seguida serão efectuadas as análises para dos resultados para o erro de velocidade e para o erro de direcção referentes á tabela 6.1.

6.3.1.a - Velocidade de vento

A figura 6.3 representa os resultados com a correlação para os vários conjuntos de torres.

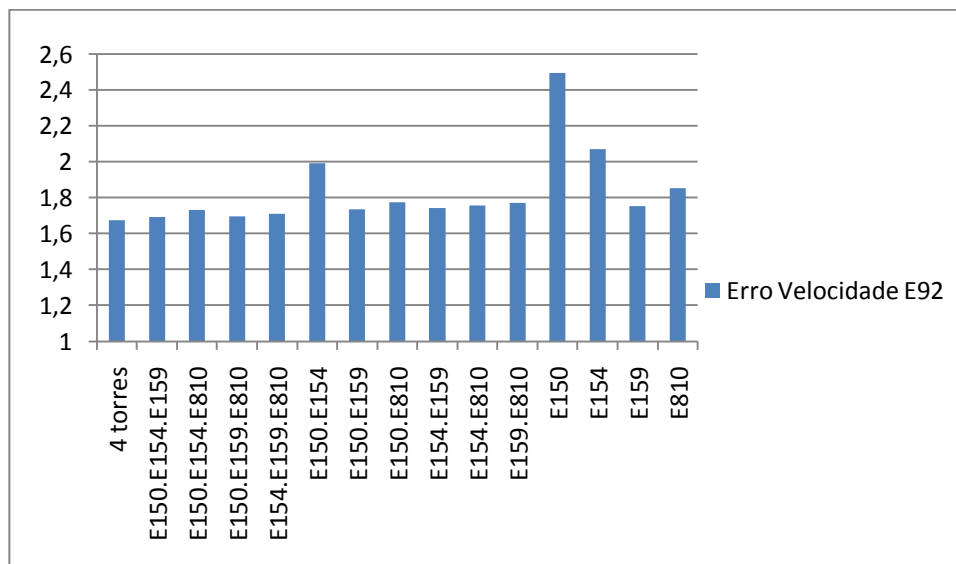


Figura 6.3 - Erro de velocidade para a torre E92 em função do número de pontos.

De notar que a torre E159 tem a melhor correlação, como torre simples, que por sua vez vai influenciar o resultado das correlações em que participa.

Como exemplo a correlação com a torre E150, que se demonstra a que tem pior correlação para torre simples.

Deste modo pode-se dizer, que para a torre E92 obtém-se melhores resultados com a inserção de mais torres na correlação, sendo que a correlação para 3 torres se torna um meio viável para a extrapolação pretendida.

Com o apoio da tabela 6.1 verifica-se que à medida que dados de mais torres são adicionados na correlação, melhor se torna o erro.

6.3.1.b - Direcção de vento

De seguida é feita uma análise para o erro de direcção para este ponto P.

A figura 6.4 ilustra os resultados das correlações efectuadas com os vários conjuntos de torres.

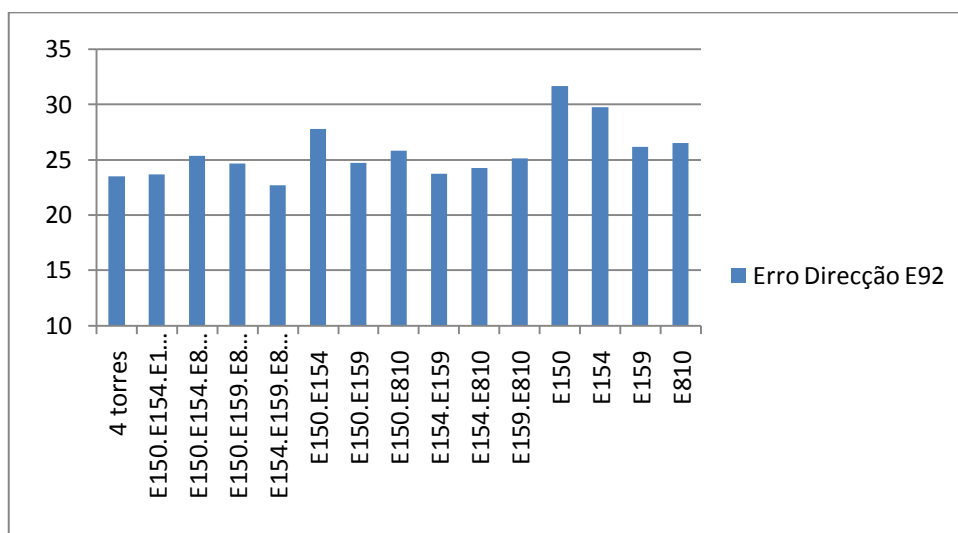


Figura 6.4 - Erro de direcção para a torre E92 em função do número de pontos.

Apesar de não mostrar o comportamento evidente do erro da velocidade de vento, nota-se que a participação da torre E159 nas várias correlações influencia o erro na extrapolação.

6.3.2 - Ponto P: E150

Para o ponto P E150 as correlações a efectuar foram realizadas com as torres E92, E154, E159 e E810.

Na tabela 6.5 são mostrados os resultados obtidos para erros de velocidade e para erros de direcção na torre E92, para as diversas hipóteses de conjugação de torres.

Tabela 6.5 - Erros de velocidade e direcção para torre E150 quanto ao número de pontos

210 dias	Erro Velocidade E150	Erro Direcção E150
4 torres	2,025512	28,03802
E92.E154.E159	2,023968	28,64989
E92.E154.E810	2,053293	28,87116
E92.E159.E810	2,43526	28,59762
E154.E159.E810	2,017861	27,43771
E92.E154	2,047651	28,67378
E92.E159	2,390725	30,11145
E92.E810	2,32021	28,12608
E154.E159	2,051449	29,41966
E154.E810	2,04435	27,73675
E159.E810	2,36837	29,82362
E92	2,505247	34,03251
E154	2,042187	31,07872
E159	2,423662	32,12794
E810	2,36235	29,53606

6.3.2.a - Velocidade de vento

A figura 6.5 apresenta os resultados do erro da velocidade de vento para o ponto P E150.

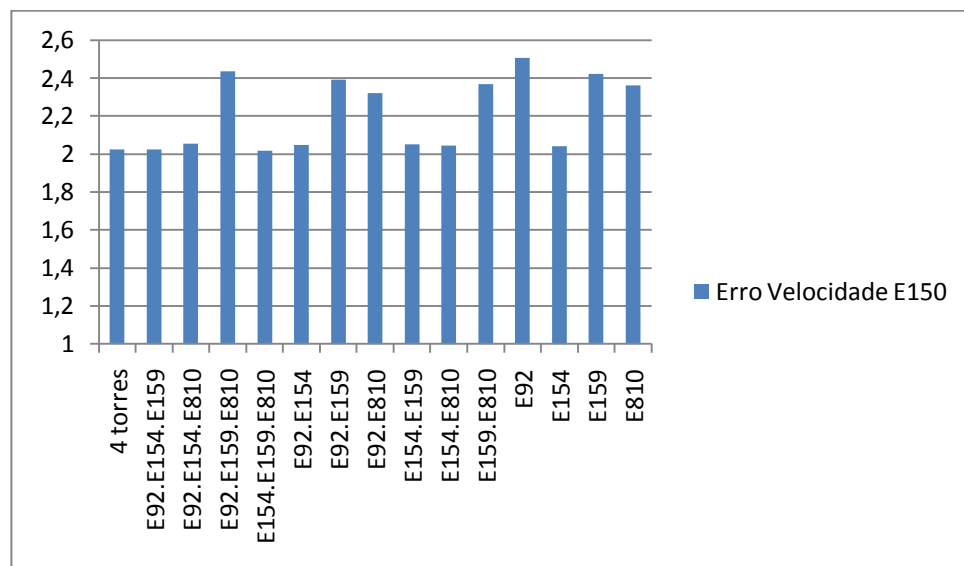


Figura 6.5 - Erro de velocidade para a torre E150 em função do número de pontos.

Pela apreciação da figura 6.5 nota-se que para correlações com torres simples a torre com menor erro é a torre E154. Esta torre, por sinal, influencia substancialmente as correlações de conjuntos de torres em que participa. No entanto, para o conjunto de quatro torres na correlação para a E150 o resultado do erro é superior a certos resultados de conjunto de três torres.

De notar que a torre E92 influencia negativamente o resultado das correlações em que participa.

No entanto, para esta torre, o uso da torre E54 efectiva uma extrapolação muito boa. Só é vantajoso maior número de torres para a correlação se a torre E154 for incluída, e apenas para conjuntos de três ou quatro torres.

Daqui se pode dizer que estes resultados não são interessantes mais torres na correlação para a torre E150, pois implica mais tempo no processo de treino da RN, em contrapartida com a melhoria dos erros.

6.3.2.b - Direcção de vento

De seguida, serão apresentados na figura 6.6 os resultados quanto ao erro de vento para este ponto P.

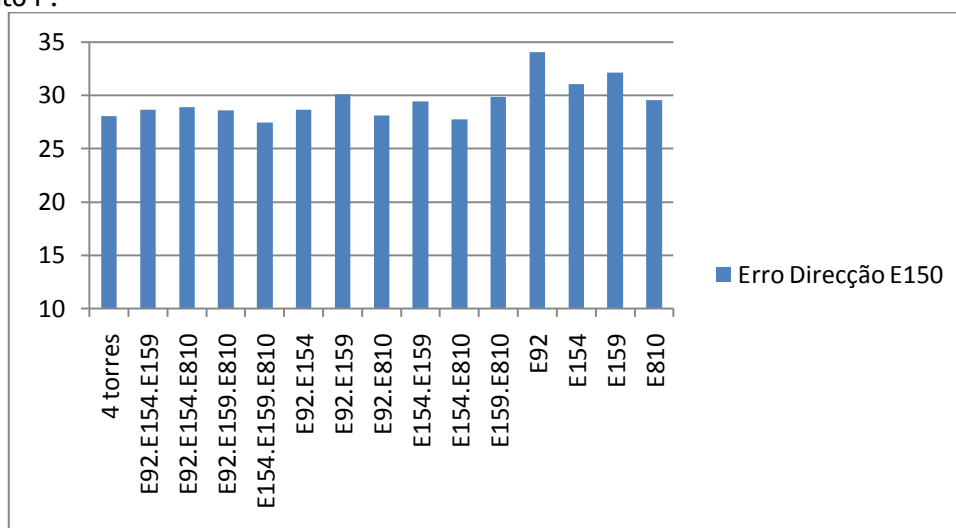


Figura 6.6 - Erro de direcção para a torre E510 em função do número de pontos.

Os resultados da direcção de vento não reflectem as conclusões da velocidade de vento. No entanto, serve para dar uma ideia do comportamento de vento quanto à sua direcção, para estas correlações.

6.3.3 - Ponto P: E154

Para o ponto P E154 a tabela 6.6 apresenta os resultados obtidos. As correlações são feitas com as torres E92, E150, E159 e E810, como torres simples ou conjuntos de torres.

Tabela 6.6 - Erros de velocidade e direcção para torre E154 quanto ao número de pontos

210 dias	Erro Velocidade E154	Erro Direcção E154
4 torres	1,756698	26,47801
E92.E150.E159	1,743105	26,4286
E92.E150.E810	1,792489	26,24931
E92.E159.E810	1,962481	28,45792
E150.E159.E810	1,685957	27,80113
E92.E150	1,719435	26,89539
E92.E159	2,036338	29,67905
E92.E810	1,917368	28,86043
E150.E159	1,705323	27,98693
E150.E810	1,738159	28,15968
E159.E810	1,876041	29,98536
E92	2,015629	32,40227
E150	1,831587	31,3272
E159	2,031441	32,64055
E810	1,939765	30,78052

6.3.3.a - Velocidade de vento

Na figura 6.7 são apresentados os resultados da correlação dos vários conjuntos de torres para o ponto P E154

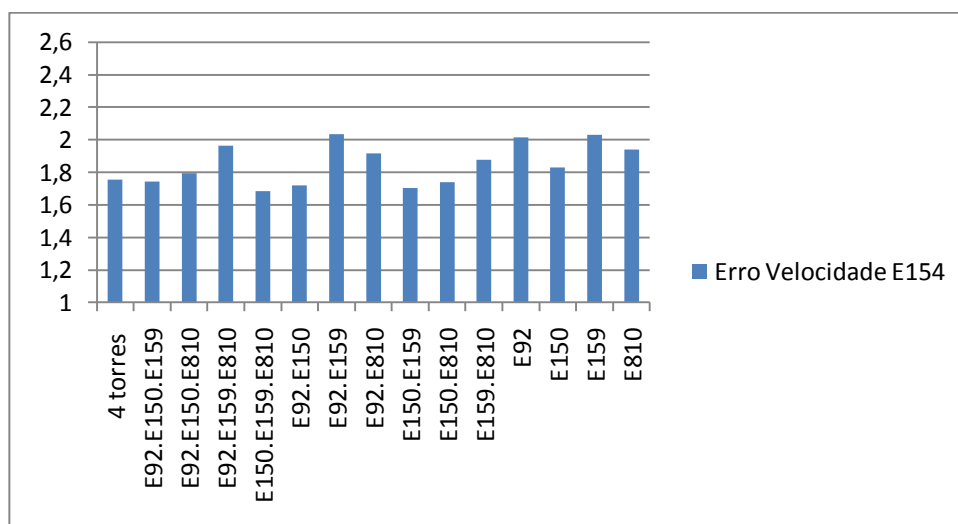


Figura 6.7 - Erro de velocidade para a torre E154 em função do número de pontos.

Para este ponto P, nota-se que a torre E150, melhor correlação com torre singular, tem forte influência nos resultados das restantes correlações.

À semelhança do estudado para o ponto P anterior, E150, em que a torre E154 procedia a uma melhor correlação, neste ponto a torre E150 traduz-se na melhor correlação de torre simples para este ponto P.

Contudo, apesar da evidente descida do erro com a participação da torre E150, esta melhor apenas na correlação com algumas das outras torres. A título de exemplo, a correlação com as quatro torres o comportamento da correlação é pior quando comparada com certas correlação a conjuntos de duas e três torres em que a torre E150 participa.

6.3.3.b - Direcção de vento

A figura 6.8 apresenta uma ilustração do comportamento dos erros para a direcção do vento a partir dos resultados da tabela 6.6.

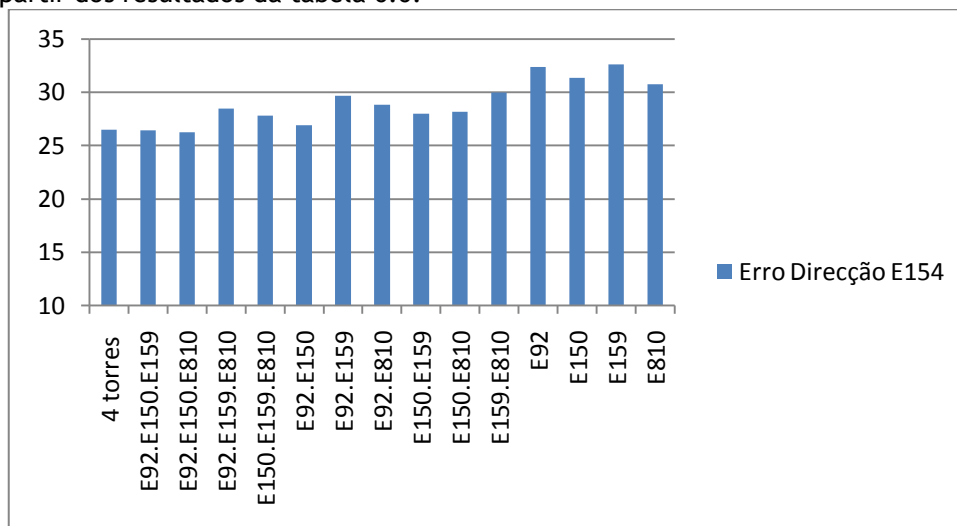


Figura 6.8 - Erro de direcção para a torre E154 em função do número de pontos.

No que diz respeito à direcção de vento, tem, neste conjunto de correlações, melhor comportamento do que para a velocidade de vento. No entanto, e apesar de igualmente necessário na avaliação do recurso eólico, esta componente não tem tamanha importância.

De salientar também a importância da torre E150, apesar de não ter o melhor erro para a correlação com torres simples.

6.3.4 - Ponto P: E159

Para o ponto P E154 a tabela 6.7 apresenta os resultados obtidos. As correlações são feitas com as torres E92, E150, E154 e E810, como torres simples ou conjuntos de torres.

Tabela 6.7 - Erros de velocidade e direcção para torre E159 quanto ao número de pontos

210 dias	Erro Velocidade E159	Erro Direcção E159
4 torres	1,382203	18,69483
E92.E150.E154	1,416916	21,05244
E92.E150.E810	1,41123	17,27405
E92.E154.E810	1,417394	17,55903
E150.E154.E810	1,425243	18,30796
E92.E150	1,48594	21,80586
E92.E154	1,426604	21,5529
E92.E810	1,418186	16,84107
E150.E154	1,737396	25,1042
E150.E810	1,514302	18,65753
E154.E810	1,423056	18,29648
E92	1,572327	22,93199
E150	2,21427	26,41016
E154	1,812166	28,91376
E810	1,419379	18,21544

6.3.4.a - Velocidade de vento

A figura 6.9 traduz os resultados da tabela 6.7 relativamente ao erro de velocidade da torre E159.

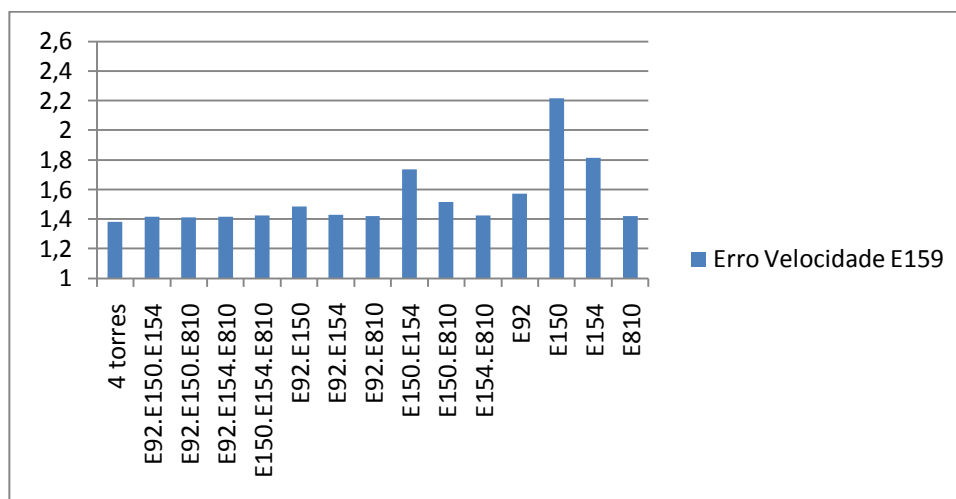


Figura 6.9 - Erro de velocidade para a torre E159 em função do número de pontos.

Da análise do gráfico, e apoio da tabela 6.7, retira-se a importância da torre E159 nas correlações a efectuar para este ponto P. Desta forma, os erros que se obtêm com a adição de mais uma torre na correlação tendem a diminuir, sendo o menor para quatro torres.

Conclui-se que para este ponto P o aumento de número de pontos M na correlação leva a uma diminuição do erro, essencialmente quando no conjunto está inserida a torre E810

6.3.4.b - Direcção de vento

Na figura 6.10 apresenta-se os resultados referentes ao erro de direcção para E159.

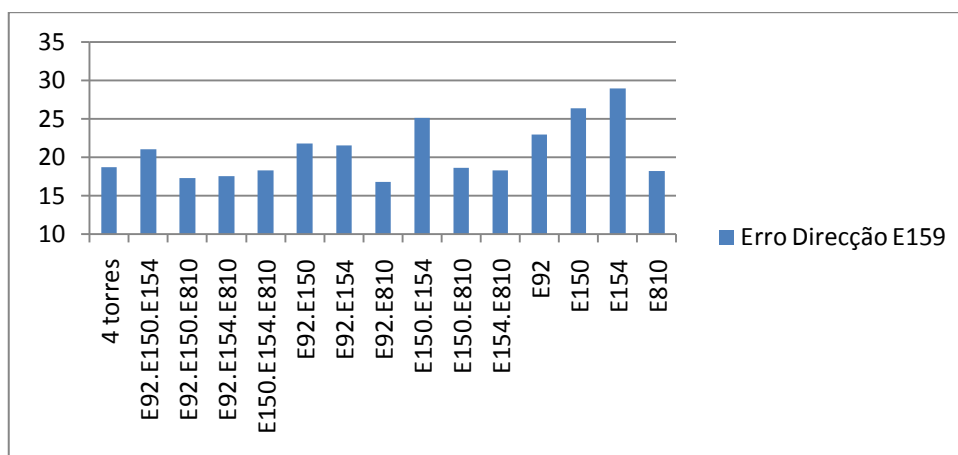


Figura 6.10 - Erro de direcção para a torre E159 em função do número de pontos.

Apesar de não se poder afirmar que quantas mais torres na correlação menor o erro de direcção na torre E159, devido a correlação com quatro torres,

6.3.5 - Ponto P: E810

Para o ponto P E810 as correlações a efectuar foram realizadas com as torres E92, E150, E154 e E159.

Na tabela 6.8 são mostrados os resultados obtidos para erros de velocidade e para erros de direcção na torre E810, para as diversas hipóteses de conjugação de torres.

Tabela 6.8 - Erros de velocidade e direcção para torre E810 quanto ao número de pontos

210 dias	Erro Velocidade E810	Erro Direcção E810
4 torres	1,416677	15,48815
E92.E150.E154	1,503395	19,86097
E92.E150.E159	1,426958	15,40982
E92.E154.E159	1,463247	16,35013
E150.E154.E159	1,456399	15,7253
E92.E150	1,591112	20,19523
E92.E154	1,530864	21,8818
E92.E159	1,536391	16,82802
E150.E154	1,708972	22,33496
E150.E159	1,431839	15,6159
E154.E159	1,483559	16,66786
E92	1,654673	24,09035
E150	2,074793	26,50451
E154	1,726107	28,28633
E159	1,481414	18,19784

6.3.5.a - Velocidade de vento

Na figura 6.11 serão apresentados os resultados referentes ao erro de velocidade para a torre E810.

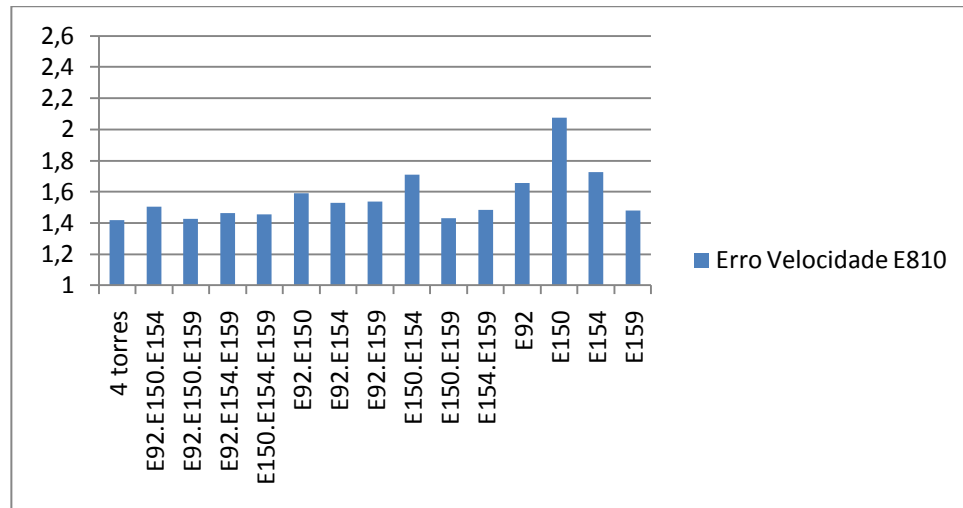


Figura 6.11 - Erro de velocidade para a torre E810 em função do número de pontos.

A melhor torre individual é a E159 para esta correlação. Em contrapartida, a torre E150 é a que tem pior correlação.

A torre E159 influencia o desempenho das correlações conjuntas em que participa, sendo que impõe um erro inferior nas suas correlações. De salientar o desempenho conjunto com a torre E150 possui melhores correlações, apesar da distância que lhes é associada.

Do estudo de pontos necessário para esta torre conclui-se que a adição de torres para a correlação é benéfica para todos os conjuntos possíveis, havendo, claro está, uns conjuntos que melhoram mais que outros.

6.3.5.b - Direcção de vento

A figura 6.12 é ilustração do comportamento do erro de direcção para a torre E810 quanto a número de pontos necessários para a correlação.

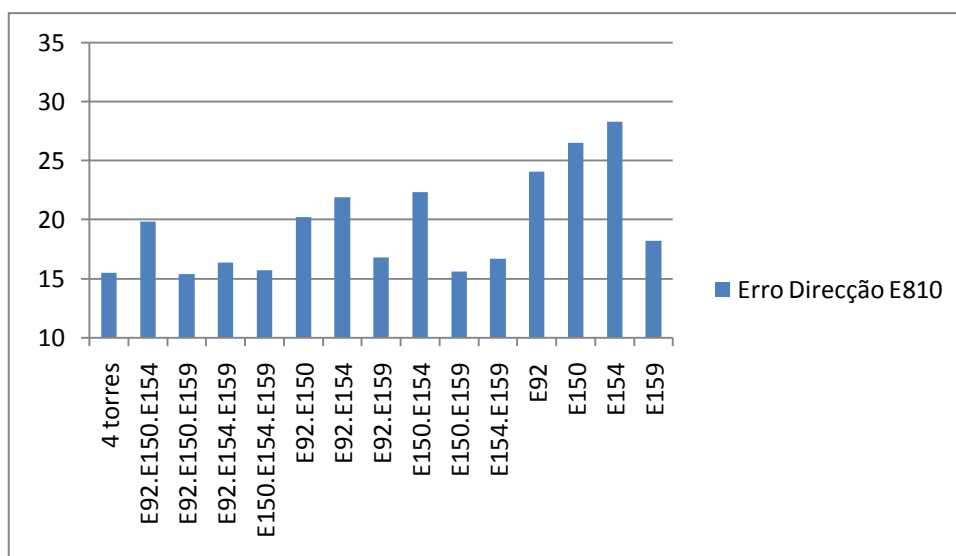


Figura 6.12 - Erro de direcção para a torre E810 em função do número de pontos.

Para a torre E810, os erros de direcção de vento resulta em constantes decréscimos, tendo em conta a existência de resultados para correlações com mais torres e maior erro.

Como conclusão, o estudo da eficiência com a quantidade de pontos nem sempre é favorável. Apesar de o erro baixar, conseqüente melhoria da correlação, com a adição de numero de pontos, esta melhoria pode não ser significativa em comparação resultados de torres mais simples, piorando por vezes. Assim, é necessário o estudo com séries sincronizadas e operando de preferência a partir de torres com melhor correlação.

6.4 - Estudo da eficiência do MCP quanto à posição dos pontos

Este ponto de trabalho tem o intuito de verificar se a posição geográfica tem alguma influência no resultado. Este estudo é feito com a torre mais central, a torre E92, como ponto P, para um conjunto de 210.

A figura 6.13 mostra a distribuição dos pontos com a orientação da rosa-dos-ventos.

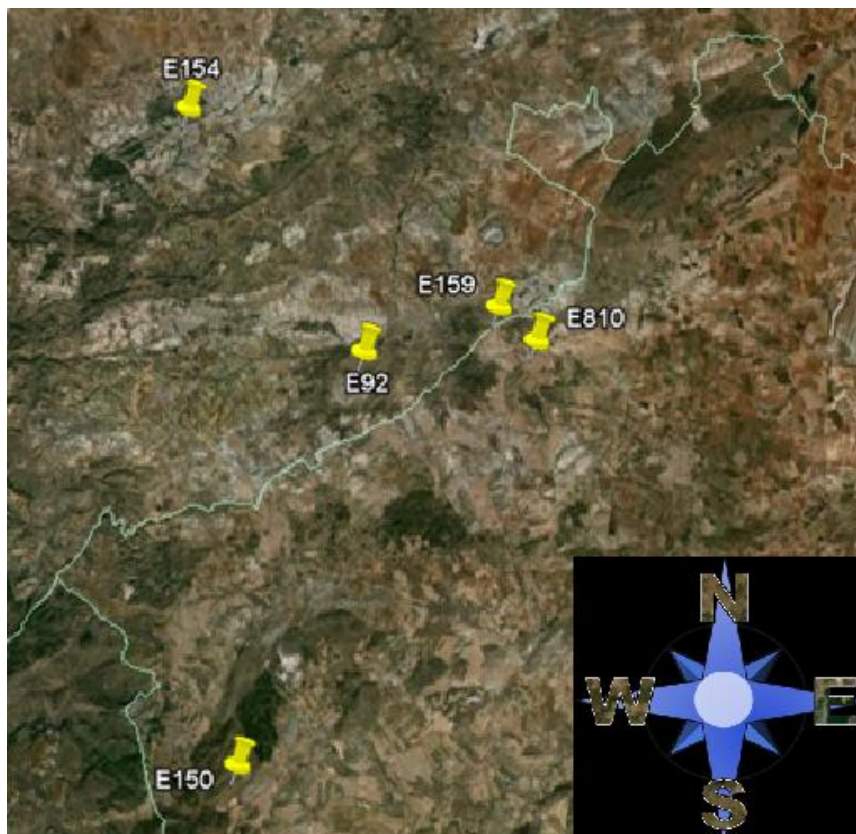


Figura 6.13 - Posição dos pontos segundo a rosa-dos-ventos

A imagem 6.13 mostra a localização geográfica entre as torres, tanto a nível de distâncias como de orientação geográfica. Deste modo, pode-se dizer que relativamente à torre E92 a torre E154 se encontra a Noroeste, a E150 a Su-sudoeste, as torres E159 e E810 a És-nordeste.

A tabela 6.9 possui os resultados da correlação da torre E92 com as outras torres.

Tabela 6.9 - Erros de velocidade e direcção do vento para a torre E92 com posição de pontos

210 dias	Erro Velocidade E92	Erro Direcção E92
E150.E154.E159	1,692021759	23,66513989
E150.E154.E810	1,731246277	25,37944214
E150.E159.E810	1,696386172	24,66609897
E154.E159.E810	1,708808146	22,72051305
E150.E154	1,993655648	27,77713414
E150.E159	1,734110628	24,7049504
E150.E810	1,773758831	25,84840733
E154.E159	1,743081508	23,72389391
E154.E810	1,757654021	24,28754691
E159.E810	1,770338553	25,15262242
E150	2,494956376	31,69510043
E154	2,070449195	29,7576334
E159	1,751540248	26,1564267

E810	1,854407735	26,54804261
------	-------------	-------------

Deste modo, a figura 6.14, baseada nos resultados do ponto 6.3.1 sem a rela o com as quatro torres, mostra a correla o com os vários pontos para a velocidade do vento.

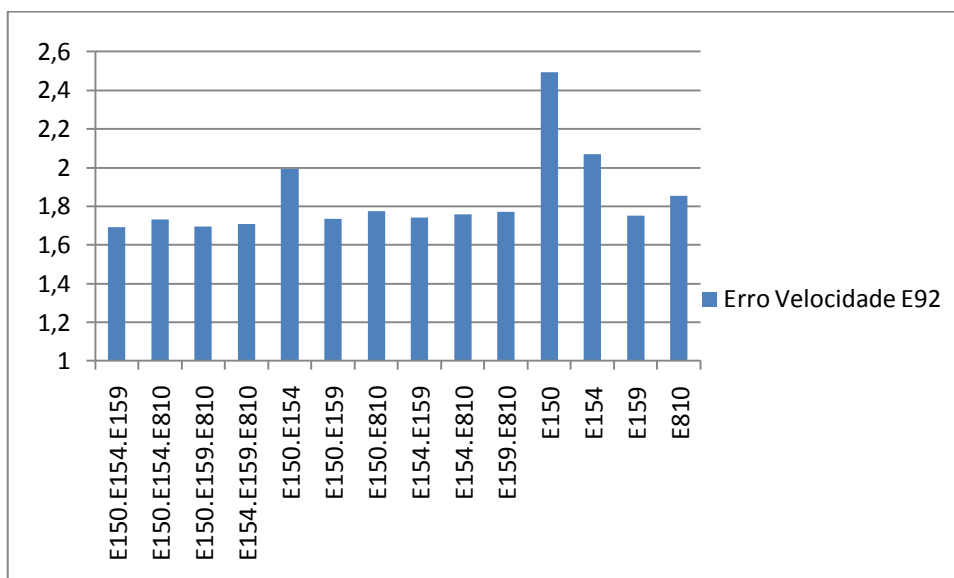


Figura 6.14 - Erro de velocidade para a torre E192 em fun o para a posi o de pontos

De notar que este desempenho pode variar muito com a distância e com a orografia do terreno.

A correla o para os pontos a Este possuem melhores resultados, a nível individual, que os pontos E150 e E154, a Nor-noroeste e Su-sudoeste, respectivamente. No entanto, os resultados são inferiores com ambas as torres do lado Este em compara o com outros resultados passíveis de incluir uma ou duas torres a Este.

Escolhendo apenas a análise de uma das duas torres a Este da torre E92, apenas para as torres E150, E154 e E159, nota-se a existência de melhorias do comportamento sempre que a torre E159 participa. Assim, a posi o Este   factor crucial.

Em correla o com pares de pontos, o comportamento melhora para resultados com direc es de Su-sudoeste e  s-nordeste, apesar de os resultados para correla es com torres individuais ser melhor com dados a Nor-noroeste em detrimento de Su-sudoeste.

A figura 6.15 mostra os resultados para o erro de direc o de velocidade.

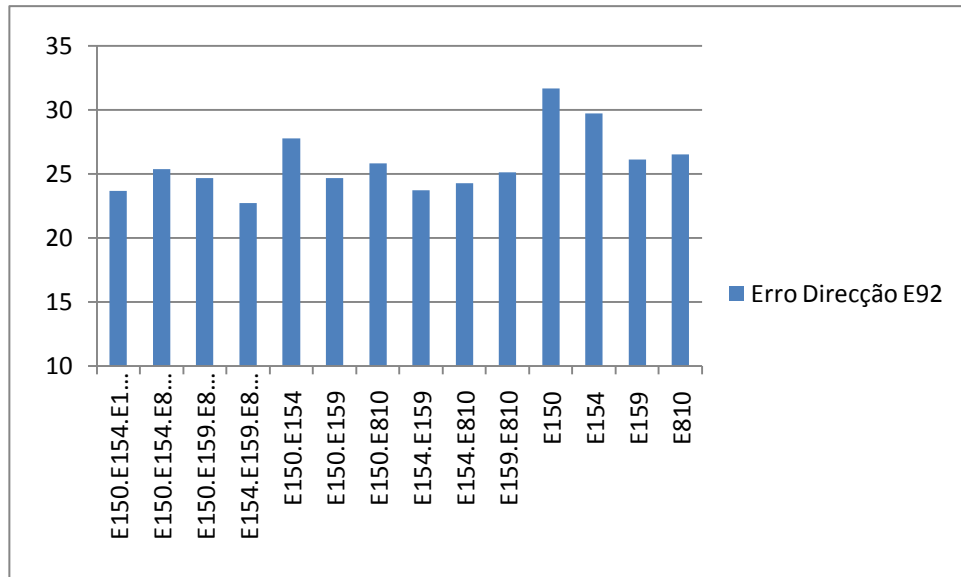


Figura 6.15 - Erro de direcção para a torre E92 em função para a posição de pontos

A nível de direcção de vento, os pontos a Este são melhores que os outros pontos existentes. No entanto, quando se trabalha com pares de torres para a correlação, nota-se melhorias quando engloba torres de este. No entanto, as melhorias não são tão positivas quando se inclui apenas as duas torres de Este.

Neste caso, é melhor incluir com a torre a Nor-nordeste que a torre a Su-sudoeste.

Capítulo 7

Conclusões e Futuros Desenvolvimentos

7.1 - Conclusões

O objectivo deste trabalho era otimizar a ferramenta a usar para o MCP, bem como a optimização temporal e a optimização geográfica no MCP.

A avaliação processual de estudo foi efectuada por intermédio do erro médio absoluto, comparando os resultados da simulação com os dados reais provenientes da EDP Renováveis, sendo estes dados confidenciais.

Os resultados apresentados mostram, por isso, apenas os resultados dos MAE e não valores de simulação ou reais.

O objectivo de otimizar a ferramenta a usar para o MCP divide-se em dois pontos importantes.

Inicialmente, este implicou o estudo comparativo da metodologia usando regressões lineares com metodologia usando redes neuronais. Assim, conclui-se que as RN são uma ferramenta mais poderosa para a resolução de problemas de MCP em detrimento das RL. Embora por vezes os resultados de RL acabassem por mostrar bons comportamentos, as RN mostraram que para torres relativamente distantes e com séries sincronizadas no comportamento imprevisível do vento ao longo em escala temporal para a velocidade de vento, estas possuem um comportamento muito melhor, com esta imagem a reflectir-se também no estudo da direcção do vento.

Em seguida surgiu o estudo das variáveis a aplicar nas correlações a efectuar com RN, para o qual efectuou um deslocamento da série de velocidade de uma torre sobre outra serie em espaços de 10 minutos, verificando qual a melhor correlação do atraso que seria usada para adição à série normal. Desta forma efectuou-se a comparação entre RN com séries normais e RN com a adição de uma série de melhor correlação. Esta melhoria não é substancial para se tornar regra o uso da variável adicional, uma vez que quantas mais

variáveis se introduzirem em correlações para a aplicabilidade em qualquer método para extrapolação se vai verificar uma melhoria do erro, ou seja, uma diminuição deste.

Assim, do capítulo 4 conclui-se que o uso de RN com as séries reais normais são a ferramenta a utilizar, pois, é melhor que RL, enquanto na comparação com RN com mais uma variável na série, embora possua maior erro, não é factor de consideração significativo quando comparado com o esforço computacional e complexidade adicional.

Na optimização de temporal do MCP, foi elaborado um estudo para a escala temporal a definir como regra. Concluiu-se que não se pode tornar uma regra de aplicabilidade para todas as torres, mas sim que cada uma das torres tem as suas características para a qual se pode tornar regra única e individual.

Assim, foi possível encontrar uma regra quanto ao número de dados necessários para o treino fiável de uma RN a usar e a qual a melhor torre a aplicar, sendo esta regra aplicável na extrapolação a uma única torre individual.

Para o capítulo 6, a optimização geográfica do MCP foi o objectivo. Este objectivo teve três pontos distintos em estudo.

O primeiro ponto do capítulo 6 é o estudo da eficiência do MCP quanto à distância. Concluiu-se assim que o comportamento do MCP para a velocidade de vento tende a piorar com a distancia, verificando-se uma franca diferença quanto a direcção do vento.

Para os dois pontos seguintes, eficiência quanto ao número de pontos e quanto à posição dos pontos, a análise dever ser feita em conjunto. Assim, concluiu-se do estudo que a necessidade dos pontos para a extrapolação varia, também este, de ponto para ponto, com uma posição benéfica de pontos a Este, para estas torres. Este número de pontos é influenciado pelas torres de que se pode usufruir. É necessária, então, uma análise para cada torre que se pretende estudar, e só de seguida possível efectuar uma regra para essa torre.

No entanto, é notória a influência da orografia e orografia do terreno, tendo em conta a disparidade que se pode encontrar e conseqüente disparidade no fluxo de ar.

Assim, e como conclusão geral, tira-se desta dissertação que há necessidade de um estudo individual para depois se poder colocar como regra tanto a nível geográfico como temporal, e o uso da ferramenta RN é melhor que a RL.

7.2 - Futuros Desenvolvimentos

Para trabalhos futuros fica o estudo do comportamento MCP com o perfil, níveis de leitura, com redes neuronais, que poder melhorar os resultados acima descritos e concluídos. Desta forma, o estudo com redes neuronais com variáveis dos vários níveis de leitura pode ajudar a perceber melhor o comportamento do vento ao nível dos aerogeradores, evitando reajuste de resultados para a altura do rotor destes.

Referências

- [1] Site do inegi. www.inegi.up.pt. Acesso a 24 de Abril de 2010.
- [2] Costa, Paulo. “Atlas do Potencial Eólico para Portugal Continental”, 2004.
- [3] C. Albrecht, M. Klesitz, “Long term correlations of wind measurements with neural networks”, Wind Power Asia Beijing, 2006.
- [4] Alexandre Lopes. “Produção e enquadramento Técnico-económico em Portugal”.2009.
- [5] Paulo Pinto. “Estado da Arte na Avaliação de Recursos Eólicos”.2010.
- [6] Elsa Ferraz. “Optimização de Estruturas e Modelos de Previsão de Produção Mini-Hídrica”.2010.
- [7] Costa, A., et al., A review on the young history of the wind power short-term prediction. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008. 12(6): p. 1725-1744.
- [8] Sander-Partner. Disponível em www.sander-partner.ch. Último acesso em 26/Junho/2010.