

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente

Modelos estatísticos de previsão do ozono troposférico na região de Lisboa e Vale do Tejo

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil de Gestão de Sistemas Ambientais

Por: Lara Aleluia da Silva Reis

Sob a orientação: Professor Doutor Francisco Ferreira

Lisboa

Março 2008

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço ao Professor Francisco Ferreira pelo apoio e tempo dispendidos nesta orientação.

Em segundo lugar agradeço à Filipa Marques pela disponibilidade e apoio concedidos e pelo fornecimento dos dados essenciais à realização deste trabalho.

Quero, também, agradecer à minha família, em especial aos meus pais e ao meu irmão o apoio, afecto e paciência com que sempre me trataram.

Agradeço aos meus amigos de curso pelas horas de descontração, divertimento e cansaço que partilhámos juntos. Agradeço, ainda, o apoio dos meus amigos de Évora, em especial ao João e ao Luís. Realço também a paciência e tolerância demonstrada pelos meus amigos do NNT (Novo Núcleo Teatro).

Resumo

A previsão das concentrações de ozono troposférico é importante devido aos impactos deste poluente na saúde humana e na vegetação. Neste contexto, o objectivo principal deste trabalho é a previsão de ozono na região de Lisboa e Vale do Tejo, através de métodos estatísticos com base em dados horários do próprio dia, para cada estação. A previsão foi dividida entre avaliação instantânea (previsão baseada em dados momentâneos) recorrendo a árvores de regressão, e previsão horária para um período horário de previsão específico (13:00 -17:00 horas UTC) utilizando modelos de regressão linear. A Avaliação instantânea foi dividida entre análise espacial e análise meteorológica e de precursores. Foram utilizadas séries temporais de dados de 2000 a 2005. No caso da previsão horária utilizaram-se, na fase de validação, dados de 2006.

Concluiu-se que, para a avaliação instantânea, a análise espacial apresenta melhores resultados do que a meteorológica. Os modelos de regressão elaborados, para a previsão horária apresentam bons resultados na fase de treino, mas os índices de performance demonstram resultados menos bons na fase de validação. No geral, estes podem ser considerados bons a explicar o comportamento do ozono, contudo menos rigorosos na previsão de excedências. Foi constatada a existência de uma tendência geral para um decréscimo do coeficiente de determinação e um aumento do erro padrão ao longo do período de previsão. Assim os coeficientes de determinação mais elevados e os erros padrão menores verificam-se às 13:00 e o contrário verifica-se às 17:00 horas UTC.

Abstract

The prediction of tropospheric ozone concentrations is very important due to the negative impacts of ozone on human health and on ecosystems. Therefore, the main aim of this work is the prediction of ozone concentrations in Lisbon and Tagus valley region, through statistical methods based on data from the day of prediction, for each station. The prediction has been divided into instantaneous evaluation (based on data from the moment) using decision trees prediction, and hourly prediction for a specific time period (13:00 -17:00 hour UTC) using linear regression models. Instantaneous prediction has been divided into spatial analysis and into meteorological and precursor analysis. Time series from 2000 to 2005 have been used. In the case of hourly prediction data from the year 2006 has been used, for validation.

It has been concluded that, for instantaneous prediction, spatial analysis show better results than meteorological analysis. The constructed regression models for the hourly prediction present good results for the training stage. In general, it can be considered that models performed well describing ozone concentration behavior, although they show less rigour when it comes to predict exceedences. A trend of decreasing in the determination coefficient and an increasing of the standard error through the prediction interval has been found. Thus the higher determination coefficients and the lower standard errors were found for 13:00 hour models and the reverse for 17:00 hours UTC.

Índice

Agradecimentos.....	1
Resumo	3
Abstract.....	5
Índice	7
Índice de Figuras	11
Índice de Tabelas.....	13
1 Introdução	19
1.1 Contextualização do estudo.....	19
1.2 Objectivos	20
2 Caracterização geral do poluente ozono.....	21
2.1 Formação do ozono troposférico	22
2.1.1 Precursores.....	22
2.1.2 Indicadores de poluição fotoquímica.....	29
2.2 Condições favoráveis à formação de ozono	29
2.3 Efeitos do ozono	34
2.3.1 Efeitos do ozono na saúde humana.....	34
2.3.2 Efeitos do ozono na vegetação e nos ecossistemas.....	37
2.3.3 Efeitos do ozono nos materiais	37
2.4 Monitorização.....	38
2.4.1 Métodos activos	38
2.4.2 Métodos passivos	39
2.5 Enquadramento legal.....	41
2.6 Avaliação histórica dos episódios de ozono em Portugal	43
3 Caracterização da área em estudo	47
3.1 Características demográficas.....	47

3.2	Características topográficas e geográficas	49
3.3	Fontes de emissão de precursores	51
4	Estudos já realizados para a região de Lisboa e Vale do Tejo	55
4.1	Previsão da qualidade do ar.....	55
5	Metodologia.....	59
5.1	Rede de monitorização de qualidade do ar da região de Lisboa e Vale do Tejo.....	59
5.2	Amostra de dados	62
5.2.1	Eficiência das estações.....	62
5.3	Seleção de variáveis	63
5.3.1	Cálculo de variáveis auxiliares	64
5.4	Definição do valor de excedência.....	65
5.5	Análise das relações entre as concentrações de ozono das diferentes estações.....	65
5.6	Avaliação instantânea dos níveis de ozono	66
5.7	Previsão horária	69
5.7.1	Fase de treino	71
5.7.2	Fase de validação	76
5.8	Fluxograma	77
6	Apresentação e análise dos resultados.....	79
6.1	Matrizes de correlação	79
6.2	Avaliação instantânea dos níveis de ozono	86
6.2.1	Análise espacial	87
6.2.2	Redução do intervalo horário (análise espacial).....	97
6.2.3	Análise meteorológica e de precursores	106
6.2.4	Redução do intervalo horário (análise meteorológica e de precursores)	115
6.3	Previsão horária	123
6.3.1	Fase de treino	123
6.3.2	Fase de validação	132
7	Conclusões.....	139

7.1	Limitações do estudo	141
7.2	Desenvolvimentos futuros.....	142
	Referências bibliográficas.....	143
	Anexos.....	149
	Anexo I. Caracterização meteorológica e sinóptica do período temporal do estudo.....	151
	Anexo II. Matrizes de correlação.....	163
	Anexo III. Árvores de regressão.....	171
	Anexo IV. Modelos de Regressão Linear.....	211
	Anexo V. Tabelas de capacidade de previsão de excedência.....	251
	Anexo VI. Gráficos da fase de validação (casos específicos).....	255

Índice de Figuras

Figura 2.1 Representação esquemática dos mecanismos de formação e degradação do ozono. (Adaptado de Monson <i>et al.</i> ,2001). Em que O3P é um singlete no estado fundamental.	28
Figura 2.2 Perfil típico horário do ozono CST (sigla inglesa para <i>Central Standard Time</i>) (Boubel <i>et al.</i> , 1994).....	34
Figura 3.1 Enquadramento das Aglomerações e zonas relativamente à Área Metropolitana de Lisboa e Portugal Continental.	48
Figura 3.2 Principais indústrias e vias de tráfego da região de LVT.	54
Figura 5.1 Distribuição das estações de monitorização da qualidade do ar nas aglomerações da área da CCDR-LVT. Retirado de CCDR-LVT, 2006.	60
Figura 5.2 Média da radiação solar global das estações de ozono do período de estudo.....	68
Figura 5.3 Excedências dos valores de ozono no período de 2000 a 2005.....	70
Figura 5.4 Fluxograma da metodologia utilizada.	78
Figura 6.1 r de Pearson para correlações dos dados horários das concentrações de ozono entre as estações.	80
Figura 6.2 r de Pearson para correlações dos dados horários das concentrações de ozono entre as estações, para a época do ozono.	81
Figura 6.3 r de Pearson para correlações das concentrações máximas diárias de ozono entre as estações.	82
Figura 6.4 r de Pearson para correlações das concentrações máximas diárias de ozono entre as estações, para a época do ozono.	83
Figura 6.5 r de Pearson para correlações das concentrações médias diárias de ozono entre as estações.	84
Figura 6.6 r de Pearson para correlações das concentrações médias diárias de ozono entre as estações, para a época do ozono.	85
Figura 6.7 r de Pearson para correlações da frequência de excedências do valor 160µg/m ³ ozono entre as estações.....	86

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 COV cuja medição é recomendada na legislação.....	23
Tabela 2.2 Rácios indicadores de poluição fotoquímica (Sillman, 1995).....	29
Tabela 2.3 Consequências na saúde em função das alterações na concentração de ozono (OMS, 2000).....	35
Tabela 2.4 Efeitos do ozono em função das concentrações de ozono (adaptado de EPA, 2006).....	36
Tabela 2.5 Valores alvo para a protecção da saúde humana e da vegetação.....	42
Tabela 2.6 Objectivos a longo prazo para a protecção de saúde humana e da vegetação.....	43
Tabela 2.7 Limiar de informação e de alerta para o ozono.....	43
Tabela 2.8 Excedências horárias em Portugal nos anos de 2003, 2004, 2005 e 2006 (AEA).....	44
Tabela 2.9 Excedências do OLP em Portugal nos anos de 2004, 2005 e 2006 (EAE).....	45
Tabela 3.1 Características das Zonas da região de LVT (DGA e DCEA, 2001).....	49
Tabela 5.1 Tipologia e data de entrada em funcionamento das estações de LVT.....	61
Tabela 5.2 Eficiência das estações.....	63
Tabela 5.3 Variáveis meteorológicas.....	64
Tabela 5.4 Informação sobre os dados do período de estudo (2000-2005).....	65
Tabela 6.1 Informação da árvore de regressão da estação de Alfragide/ Amadora.....	88
Tabela 6.2 Informação da árvore de regressão da estação de Arcos.....	88
Tabela 6.3 Informação da árvore de regressão da estação de Beato.....	89
Tabela 6.4 Informação da árvore de regressão da estação de Camarinha.....	89
Tabela 6.5 Informação da árvore de regressão da estação de Chamusca.....	90
Tabela 6.6 Informação da árvore de regressão da estação de Entrecampos.....	91
Tabela 6.7 Informação da árvore de regressão da estação de Escavadeira.....	91
Tabela 6.8 Informação da árvore de regressão da estação de Hospital Velho.....	92
Tabela 6.9 Informação da árvore de regressão da estação de Laranjeiro.....	92
Tabela 6.10 Informação da árvore de regressão da estação de Loures.....	93
Tabela 6.11 Informação da árvore de regressão da estação de Mem-Martins.....	93
Tabela 6.12 Informação da árvore de regressão da estação de Odivelas.....	94
Tabela 6.13 Informação da árvore de regressão da estação de Olivais.....	94
Tabela 6.14 Informação da árvore de regressão da estação de Paio Pires.....	95
Tabela 6.15 Informação da árvore de regressão da estação de Quinta do Marquês.....	95
Tabela 6.16 Informação da árvore de regressão da estação de Reboleira.....	96

Tabela 6.17 Informação da árvore de regressão da estação de Restelo.....	96
Tabela 6.18 Informação da árvore de regressão da estação de Alfragide/ Amadora (redução do intervalo horário).	97
Tabela 6.19 Informação da árvore de regressão da estação de Arcos (redução do intervalo horário)..	98
Tabela 6.20 Informação da árvore de regressão da estação de Beato (redução do intervalo horário)..	98
Tabela 6.21 Informação da árvore de regressão da estação de Camarinha (redução do intervalo horário).....	99
Tabela 6.22 Informação da árvore de regressão da estação de Chamusca (redução do intervalo horário).....	99
Tabela 6.23 Informação da árvore de regressão da estação de Entrecampos (redução do intervalo horário).....	100
Tabela 6.24 Informação da árvore de regressão da estação de Escavadeira (redução do intervalo horário).....	100
Tabela 6.25 Informação da árvore de regressão da estação de Hospital Velho (redução do intervalo horário).....	101
Tabela 6.26 Informação da árvore de regressão da estação do Laranjeiro (redução do intervalo horário).....	101
Tabela 6.27 Informação da árvore de regressão da estação de Loures (redução do intervalo horário).	102
Tabela 6.28 Informação da árvore de regressão da estação de Mem-Martins (redução do intervalo horário).....	102
Tabela 6.29 Informação da árvore de regressão da estação de Odivelas (redução do intervalo horário).	103
Tabela 6.30 Informação da árvore de regressão da estação de Olivais (redução do intervalo horário).	103
Tabela 6.31 Informação da árvore de regressão da estação de Paio Pires (redução do intervalo horário).....	103
Tabela 6.32 Informação da árvore de regressão da estação de Quinta do Marquês (redução do intervalo horário).	104
Tabela 6.33 Informação da árvore de regressão da estação de Reboleira (redução do intervalo horário).	105
Tabela 6.34 Informação da árvore de regressão da estação de Restelo (redução do intervalo horário).	105
Tabela 6.35 Informação da árvore de regressão da estação de Alfragide/ Amadora.....	107

Tabela 6.36 Informação da árvore de regressão da estação de Arcos.....	107
Tabela 6.37 Informação da árvore de regressão da estação de Beato.	108
Tabela 6.38 Informação da árvore de regressão da estação de Camarinha.	108
Tabela 6.39 Informação da árvore de regressão da estação de Chamusca.....	109
Tabela 6.40 Informação da árvore de regressão da estação de Entrecampos.....	109
Tabela 6.41 Informação da árvore de regressão da estação de Escavadeira.	110
Tabela 6.42 Informação da árvore de regressão da estação de Hospital Velho.....	110
Tabela 6.43 Informação da árvore de regressão da estação de Laranjeiro.....	111
Tabela 6.44 Informação da árvore de regressão da estação de Loures.....	111
Tabela 6.45 Informação da árvore de regressão da estação de Mem-Marins.....	112
Tabela 6.46 Informação da árvore de regressão da estação de Odivelas.....	112
Tabela 6.47 Informação da árvore de regressão da estação de Olivais.....	113
Tabela 6.48 Informação da árvore de regressão da estação de Paio Pires.....	113
Tabela 6.49 Informação da árvore de regressão da estação de Quinta do marquês.	114
Tabela 6.50 Informação da árvore de regressão da estação de Reboleira.....	114
Tabela 6.51 Informação da árvore de regressão da estação de Restelo.....	115
Tabela 6.52 Informação da árvore de regressão da estação de Alfragide/ Amadora (redução do intervalo horário).....	116
Tabela 6.53 Informação da árvore de regressão da estação de Arcos (redução do intervalo horário). 116	
Tabela 6.54 Informação da árvore de regressão da estação de Beato (redução do intervalo horário). 117	
Tabela 6.55 Informação da árvore de regressão da estação de Camarinha (redução do intervalo horário).	117
Tabela 6.56 Informação da árvore de regressão da estação de Chamusca (redução do intervalo horário).	117
Tabela 6.57 Informação da árvore de regressão da estação de Entrecampos (redução do intervalo horário).	118
Tabela 6.58 Informação da árvore de regressão da estação de Escavadeira (redução do intervalo horário).	118
Tabela 6.59 Informação da árvore de regressão da estação de Hospital Velho (redução do intervalo horário).	119
Tabela 6.60 Informação da árvore de regressão da estação de Laranjeiro (redução do intervalo horário).	119
Tabela 6.61 Informação da árvore de regressão da estação de Loures (redução do intervalo horário).	120

Tabela 6.62 Informação da árvore de regressão da estação de Mem-Marins (redução do intervalo horário).....	120
Tabela 6.63 Informação da árvore de regressão da estação de Odivelas (redução do intervalo horário).	120
Tabela 6.64 Informação da árvore de regressão da estação de Olivais (redução do intervalo horário).	121
Tabela 6.65 Informação da árvore de regressão da estação de Paio Pires (redução do intervalo horário).....	121
Tabela 6.66 Informação da árvore de regressão da estação de Quinta do Marquês (redução do intervalo horário).	121
Tabela 6.67 Informação da árvore de regressão da estação de Reboleira (redução do intervalo horário).	122
Tabela 6.68 Informação da árvore de regressão da estação de Restelo (redução do intervalo horário)	122
Tabela 6.69 Índices de performance dos modelos de previsão horária na fase de previsão.	124
Tabela 6.70 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Alfragide/ Amadora.	125
Tabela 6.71 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Arcos.	125
Tabela 6.72 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Beato.....	126
Tabela 6.73 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Camarinha.....	126
Tabela 6.74 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Chamusca.....	127
Tabela 6.75 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Escavadeira	127
Tabela 6.76 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Hospital Velho	128
Tabela 6.77 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Laranjeiro	128
Tabela 6.78 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Loures	129

Tabela 6.79 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Mem-Martins.....	129
Tabela 6.80 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Odivelas.....	129
Tabela 6.81 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Olivais.....	130
Tabela 6.82 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Paio Pires.....	130
Tabela 6.83 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Quinta do Marquês.....	131
Tabela 6.84 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Reboleira.....	131
Tabela 6.85 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Restelo.....	132
Tabela 6.86 R^2 para a fase de treino e validação.....	133
Tabela 6.87 MBE para a fase de validação.....	134
Tabela 6.88 MAE para a fase de treino e validação.....	135
Tabela 6.89 RMSE para a fase de treino e validação.....	136
Tabela 6.90 d_2 para a fase de treino e validação.....	136

1 Introdução

1.1 Contextualização do estudo

A poluição atmosférica é hoje em dia um problema preocupante à escala mundial. As actividades humanas provocaram alterações na composição da atmosfera urbana, facto que tem consequências na saúde humana e nos ecossistemas, causando também danos nos materiais e monumentos. Actualmente existe uma preocupação crescente, não só entre a comunidade científica, mas também da população em geral, com a poluição fotoquímica e com as partículas. O ozono é um poluente fotoquímico que contribui significativamente para a degradação da qualidade do ar ambiente, principalmente no Verão (Barros, 1999; Borrego *et al.*, 2000, Neto *et al.*, 2004). O ozono sendo um forte oxidante, é nocivo à saúde humana e tem efeitos negativos na vegetação e nos materiais.

Lisboa é uma cidade da Europa do Sul, frequentemente afectada na Primavera e no Verão, por episódios de poluição fotoquímica. A região de Lisboa e Vale do Tejo (LVT) é um importante centro urbano e industrial, e apresenta graves problemas de poluição atmosférica característicos das emissões de diversos poluentes próprios dos grandes aglomerados urbanos e industriais. A topografia e disposição da própria cidade juntamente com o clima típico desta região reúnem condições propícias à ocorrência de episódios de poluição fotoquímica.

Neste sentido a União Europeia tem vindo a publicar legislação com o objectivo de proteger a saúde humana e de informar e alertar a população, caso necessário. A legislação acelerou assim, a necessidade de previsão da qualidade do ar, e do ozono neste caso específico. A finalidade destas leis é fornecer uma base diária que disponibiliza ao público em geral e às autoridades, informação sobre o ar ambiente e que funcione como suporte à tomada de decisão para planos e programas estratégicos de redução das emissões e melhoria da qualidade do ar. A Directiva Europeia relativa ao ozono troposférico - Directiva 2002/3/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Fevereiro transposta para ordem jurídica interna pelo Decreto-Lei nº 320/2003, de 20 de Dezembro - enfatiza a necessidade de desenvolver modelos de previsão. Deste modo o desenvolvimento de ferramentas de previsão das concentrações de ozono é bastante útil no sentido em que permite avisar a população com alguma antecedência a fim de evitar ou minimizar danos na saúde.

As concentrações de ozono são muito difíceis de modelar devido às complexas interacções entre os seus precursores e os factores meteorológicos (Borrego *et al.*, 2003). Vários estudos têm vindo a ser realizados com o objectivo de prever a qualidade do ar, e mais especificamente as concentrações de ozono. Actualmente existem dois sistemas de previsão da qualidade do ar, disponíveis *on-line* pela,

actual Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Um dos sistemas de previsão da qualidade do ar a nível nacional foi desenvolvido pela Universidade de Aveiro, e baseia-se em modelos numéricos determinísticos (http://www2.dao.ua.pt/gemac/previsao_qar). O segundo baseia-se em modelos estatísticos, e foi desenvolvido pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL) com o objectivo de previsão da qualidade do ar nas cidades de Lisboa e Porto (<http://www.prevqualar.org>).

Neste contexto, este trabalho é um contributo no sentido de um melhor entendimento das relações espaciais do ozono na região de Lisboa e Vale do Tejo bem como, na previsão diária das concentrações de ozono e na sua relação com os parâmetros meteorológicos. Este estudo, constitui uma inovação pois a previsão de ozono é horária, baseada em dados horários do próprio dia, para cada uma das estações que monitorizam ozono na região em estudo.

1.2 Objectivos

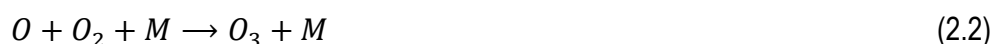
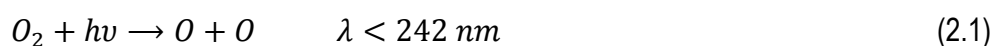
O objectivo principal deste trabalho é a previsão do ozono troposférico na região de Lisboa e Vale do Tejo, utilizando métodos estatísticos com base em dados horários do próprio dia para cada estação de monitorização da qualidade do ar. Com isto pretende-se:

- Compreender o comportamento do ozono troposférico nesta região e perceber as variáveis que influenciam mais significativamente as suas concentrações.
- Estudar as correlações espaciais entre as estações
- Analisar a relação entre as concentrações de ozono e as variáveis meteorológicas.
- Prever as concentrações horárias de ozono, com vista a possível antecipação de episódios de excedência.

2 Caracterização geral do poluente ozono

O ozono é um gás incolor nas condições normais (no estado líquido é azul escuro), cujas moléculas são formadas por três átomos de oxigénio, existindo em pequena percentagem no ar que respiramos (Pereira, 1999). A maior parte do ozono encontra-se na estratosfera, cerca de 90%, a uma altitude entre os 15 a 50 km, com uma forte concentração a cerca de 25 km, constituindo aí o que se convencionou chamar de “camada de ozono”. Na estratosfera tem um papel muito importante, pois absorve a radiação solar ultravioleta no intervalo de 240 a 320 nm, protegendo assim a superfície terrestre da radiação potencialmente nociva (Olivié, 2005).

O ozono é formado através da fotólise da molécula de oxigénio (O_2) (Chapman, 1930). As reacções fotoquímicas ocorrem como resultado de um estado de excitação que envolve processos de quebra de ligações ou de formação de iões, como é o caso da fotodissociação do O_2 , responsável pela maior parte do oxigénio atómico presente na atmosfera (Manahan, 1997). As equações 2.1 e 2.2 esquematizam a formação de O_3 estratosférico.



Em que M representa N_2 , O_2 ou outra molécula capaz de absorver o excesso de energia vibracional que permita a estabilização do O_3 e hv é a energia do fóton (radiação solar) necessária para que a reacção ocorra (Alvin-Ferraz *et al.*, 2005).

Na troposfera o seu papel é bastante diferente, o O_3 deixa de ter um papel protector e passa a ser um poluente tóxico e nocivo para os seres humanos e plantas. O ozono é um poluente secundário (Yu *et al.*, 2006) complexo que, como referido anteriormente, resulta da interacção de elevados níveis de radiação solar com substâncias precursoras (óxidos de azoto (NO_x), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (COV)) comportando-se como agente protector na estratosfera e prejudicial na troposfera. O ozono troposférico é o constituinte principal do *smog* fotoquímico. O *smog* fotoquímico é um fenómeno, principalmente local e regional, caracterizado pela presença de oxidantes, vapores irritantes, e partículas que ocorrem em áreas urbanas onde a combinação de emissões de poluentes e condições atmosféricas é apropriada para a sua formação (Manahan, 1997). O *smog* fotoquímico é perceptível pelo aparecimento de uma névoa que se forma alguns metros acima da superfície do solo (APA, 2007).

O ozono é também considerado um gás de efeito de estufa (Kondratyev *et al.*, 2000, Syri *et al.*, 2001; Wang *et al.*, 2003; Pastor-Bárceñas *et al.*, 2004; Alvin-Ferraz *et al.*, 2005). Este poluente tem um poder de absorção centrado na banda do 9.6 μm da janela atmosférica, o que faz do ozono um gás de efeito de estufa, particularmente na camada superior da troposfera onde a temperatura é mais baixa (Lacis *et al.*, 1990). A janela atmosférica é a região espectral (8 a 12 μm) onde a radiação terrestre se propaga para o espaço por causa da sua fraca absorção nesta região do espectro. Os gases com fortes propriedades de absorção nesta região espectral aprisionam com relativa eficiência a radiação terrestre (Olivié, 2005). O Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC, sigla inglesa) estima que o ozono troposférico acrescenta $0.35 \pm 0.15 \text{ Wm}^{-2}$ de forçamento radiativo de um total de 2.45 Wm^{-2} (EPA, 2006). Hansen *et al.* (2001) actualizaram o valor para $0.50 \pm 0.2 \text{ Wm}^{-2}$. No entanto, o papel mais importante do ozono troposférico no clima é o seu efeito á escala regional, nas proximidades das fontes dos seus precursores.

2.1 Formação do ozono troposférico

O âmbito deste trabalho incide no comportamento do ozono troposférico, pelo que esta introdução consistirá sobretudo nos processos de formação deste poluente ao nível da troposfera. A troposfera é a camada mais baixa da atmosfera e estende-se desde a superfície terrestre até um mínimo de 8 km nos pólos e um máximo de 16 km no equador. Na troposfera o ozono pode ser produzido pelo ciclo dos óxidos de azoto (NO_x) ou pode ser transportado da camada inferior da estratosfera através da tropopausa e por processos a altas e médias latitudes, para a parte superior da troposfera (Olivié, 2005 e Auger *et al.* 2006).

2.1.1 Precursores

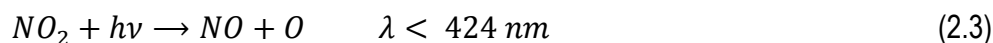
Consideram-se como substâncias precursoras de ozono as substâncias que contribuem para a formação de ozono troposférico.

A oxidação do metano (CH_4), dos hidrocarbonetos não metânicos (NMHCs) e do monóxido de carbono (CO) na presença de NO_x pode levar à formação de grandes concentrações de ozono (Fishman *et al.*, 1978). Os NO_x são a soma do NO e do NO_2 e Compostos Orgânicos Voláteis (COV) são todos os compostos orgânicos de origem antropogénica e biogénica, com exclusão do metano, que possam produzir oxidantes fotoquímicos por reacção com óxidos de azoto em presença da luz solar. Os COV cuja medição é recomendada pela legislação (Decreto-Lei 320/2003) encontram-se na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 COV cuja medição é recomendada na legislação.

Compostos Orgânicos Voláteis	
Etano	n-hexano
Etileno	i-hexano
Acetileno	n-heptano
Propano	n-octano
Propeno	i-octano
n-butano	Benzeno
i-butano	Tolueno
1-buteno	Etilbenzeno
trans-2-buteno	m+p-xileno
cis-2-buteno	o-xileno
1,3-butadieno	1,2,4-trimetilbenzeno
n-pentano	1,2,3-trimetilbenzeno
i-pentano	1,3,5-trimetilbenzeno
1-penteno	Formaldeído
2-penteno	Hidrocarbonetos totais
Isopreno	não metânicos

A reacção chave na formação de ozono troposférico é a fotodissociação do NO_2 :



A formação do ozono resulta da combinação do O, resultante da fotólise do NO_2 (ver (2.3)), com o oxigénio molecular (ver (2.2)). O ciclo $\text{NO}_x\text{-O}_3$ fica completo com a regeneração do NO_2 .



Os NO_x podem provir de diversas fontes. Normalmente são emitidos pelo tráfego e pelas indústrias mas podem também ser emitidos por solos fertilizados. Estudos demonstram que os NO_x provenientes da agricultura não contribuem significativamente para a formação de ozono na região de LVT em relação as outras fontes, pois a agricultura não tem um grande peso nesta região em relação a outros tipos de actividade (Moussiopoulos *et al.*, 2003).

As emissões de óxidos de azoto pelo tráfego estão relacionadas com a velocidade dos veículos. As grandes emissões de NO_x são verificadas a velocidades maiores, nas grandes vias rodoviárias onde os limites de velocidade são mais elevados. Para velocidades mais baixas, características dos densos centros urbanos, os veículos emitem grandes quantidades de COV e de CO (Toll *et al.*, 1999). No

entanto, o número de veículos nos centros urbanos pode compensar este facto, como demonstra um estudo realizado na cidade de Barcelona (Moussiopoulos *et al.*, 2003).

Em ambientes pouco poluídos o ozono é produzido na presença de radiação solar, através da fotólise do dióxido de azoto (NO₂), ver (2.3), que produz um átomo do Oxigénio que vai reagir com o oxigénio molecular (O₂) para originar O₃ (ver (2.2)). O ozono formado rapidamente reage com o NO para regenerar NO₂, ver (2.4).

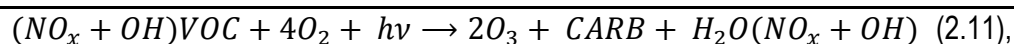
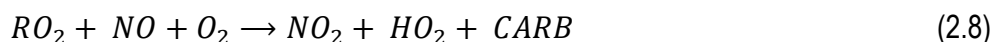
Na ausência de outros oxidantes químicos (radicais livres) que perturbem este ciclo, o O₃ atinge um equilíbrio fotoestacionário entre o NO, NO₂ e O₃, sem formação efectiva de ozono. A concentração de O₃ será proporcional ao rácio $\frac{[NO_2]}{[NO]}$. Nestes ambientes, quando o rácio $\frac{[NO]}{[O_3]}$ é significativamente elevado, os radicais hidroperóxido (HO₂) e metilperóxido (CH₃O₂), que são produtos intermediários da oxidação do CO e do CH₄, podem estar presentes e contribuir para a formação de ozono, através da formação de precursores (NO₂):



Nas zonas rurais o NO_x é, normalmente, o poluente responsável pela formação de ozono. Os NO_x e os COV competem pelo radical hidroxilo (OH), radical muito reactivo. Quando o rácio $\frac{[VOC]}{[NO_2]}$ é elevado, para concentrações baixas de NO_x - típicas de áreas rurais - o radical OH tende a reagir principalmente com os COV, gerando radicais e acelerando a produção de O₃. A reacção OH-COV produz radicais peróxil e não implica o consumo de OH (ver (2.11)). O OH é regenerado e o NO₂ produzido na reacção entre os radicais peróxil e o NO (ver (2.8)) é sujeito a fotólise para produzir ozono. Assim a produção de ozono varia linearmente com a concentração de NO_x e é independente dos hidrocarbonetos, isto é um aumento na concentração de NO_x leva a um aumento na concentração de O₃. A este regime dá-se o nome de regime NO_x-limitado. Na periferia das áreas urbanas e nas áreas situadas a jusante das mesmas, as emissões locais de NO_x são mais baixas e a formação, geralmente, predomina em relação à degradação verificando-se elevados níveis de O₃ (Olivié, 2005).

Nas áreas urbanas, ambientes poluídos, a presença de COV perturba o equilíbrio natural do NO_x- O₃ permitindo caminhos alternativos para a oxidação do NO a NO₂ sem consumo de O₃ (Figura 2.1). Os mecanismos de oxidação dos COV são induzidos pelo radical OH durante o dia e á noite pelo NO₃, originando os radicais HO₂ e RO₂. As equações 2.5 e 2.6 demonstram que estes radicais são capazes

de oxidar o NO a NO₂, evitando a degradação do ozono pelo NO (ver (2.4)) (Alvin-Ferraz *et al.*,2005). As reacções que envolvem os COV podem ser descritas pelas equações seguintes:



em que CARB pode representar um cetona ou um grupo carbonilo. Estes ciclos estão esquematizados na Figura 2.1.

Nas áreas urbanas, ambientes poluídos, os COV são um factor limitante na formação de ozono. Nestas áreas a concentração de NO_x é elevada, logo o rácio $\frac{[VOC]}{[NO_2]}$ é baixo. Neste caso o regime é COV-limitado porque reacção do radical OH com o NO_x tende a predominar (2.12) e o OH deixa de estar tão disponível para o ciclo oxidativo dos COV retardando a produção de radicais.



Neste caso o NO não vai ser consumido pelos radicais formados na oxidação dos COV e vai reagir com o ozono regenerando NO₂, retardando assim a produção de ozono (Monson *et al.*,2001). Tal significa que, em ambientes poluídos, um aumento de NO_x conduz a uma diminuição na concentração de ozono porque a formação de ozono é normalmente ultrapassada pela depleção originada pelas concentrações locais de NO_x. Posto isto, nas áreas urbanas a concentração de O₃ pode ser inferior em relação às áreas rurais devido as emissões de NO (Leeuw *et al.*, 2001). Assim, um aumento na concentração do COV aumenta sempre a concentração de O₃ mas, um aumento de NO_x nem sempre significa num aumento da concentração de ozono. (Seinfeld *et al.*, 1998; Barros, 1999; Guicherit *et al.*, 2000; Sadanga *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2005). Para a mesma quantidade de óxidos de azoto uma fonte espacialmente diluída conduz a maiores concentrações de ozono do que uma fonte concentrada. A formação de ozono tem tendência a aumentar com o transporte porque este é dispersivo e dilui os NO_x (Olivié, 2005), daí se verificarem concentrações mais elevadas longe dos centros urbanos.

A atmosfera é um sistema dinâmico, onde os gases e partículas entram, sofrem transformações e saem. Assim o ozono e os seus precursores podem ser removidos da troposfera por variadas vias. O principal sumidouro de NO_x de dia é a oxidação a ácido nítrico (HNO₃), ver (2.12).

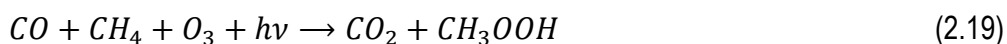
À noite o consumo de NO_x dá-se através das seguintes equações:



O ácido nítrico é muito solúvel na água e portanto é facilmente retirado por precipitação (deposição húmida).

O NO_x pode também ser removido, pela sua transformação em peroxiacetil nitrato (PAN), no entanto os PAN são pouco solúveis em água, mas podem ser transportados a longas distâncias e regenerar NO₂ por deposição térmica. Este é um bom mecanismo de transporte de NO_x pela troposfera (Olivié, 2005).

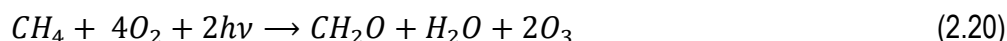
A degradação do ozono pode ocorrer de forma química, fotoquímica ou por deposição seca. A degradação fotoquímica pode ser explicada pela equação 2.1. As principais equações do processo de degradação do ozono são as seguintes:



Em que O(¹D) é um radical electronicamente excitado (Monson *et al.*, 2001).

Os hidrocarbonetos não metânicos correspondem aos compostos orgânicos voláteis. Os COV juntamente com o CO e NO_x são considerados precursores de ozono que juntamente com radiação solar de comprimento de onda inferior a 424 nm originam ozono (Olivié, 2005).

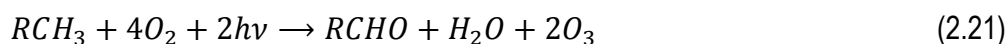
O metano pode, através da sua oxidação, levar á formação de ozono, no entanto a legislação referente ao ozono não recomenda a sua monitorização. O CH₄ é o mais simples de todos os hidrocarbonetos. As fontes antropogénicas contribuem em mais do dobro das concentrações de metano em relação as fontes naturais. O CH₄ está presente na atmosfera em abundância, e como tem um tempo de vida longo encontra-se uniformemente distribuído pela troposfera. A equação total do ciclo de formação do O₃ envolvendo o metano é:



Os COV podem provir de fontes biogénicas ou antropogénicas, como o tráfego e indústria. Podem ser emitidos por refinarias, petroquímicas, veículos, evaporação de combustíveis bem como do uso de solventes e tintas, produtos de protecção de superfícies, aerossóis, produtos de limpeza para metais e lavandarias (Serpa, 2003).

A emissão de COV de origem biogénica é maior quando a intensidade da radiação solar e a temperatura do ar são elevadas. Em Portugal, na região de Lisboa e Vale do Tejo (LVT), no entanto, a contribuição dos COV biogénicos na produção de ozono não é significativa em relação a outras fontes (Moussiopoulos *et al.*, 2003).

Os Hidrocarbonetos não metânicos (HCNM) podem ser emitidos por uma vasta quantidade de fontes antropogénicas e naturais, embora cerca de 75% sejam provenientes de fontes naturais (Olivie, 2005). A equação geral do ciclo de formação de O₃ com HCNM é:



em que RCH₃ é a abreviatura de HCNM, RCHO são os produtos do grupo carbonilo e R é um fragmento orgânico.

O CO é um composto inodoro e incolor e encontra-se globalmente distribuído, é emitido pelos veículos (fundamentalmente os veículos sem catalisador) e pelas indústrias. É principalmente produzido pela oxidação de hidrocarbonetos através da combustão incompleta da biomassa e de combustíveis fósseis. A formação fotoquímica de O₃ na presença de este poluente é traduzida pela seguinte equação geral:



Na atmosfera livre ou na camada limite oceânica a produção de O₃ é dominada pela oxidação de CH₄ e CO (ver (2.20) e (2.22), respectivamente).

A Figura 2.1 é uma representação esquemática dos ciclos mais importantes, a cima explicados, que podem levar á formação de ozono. O ciclo começa e acaba no O₃ fazendo valer a premissa de que “basta um pouco de ozono para formar muito ozono” (Monson *et al.*, 2001).

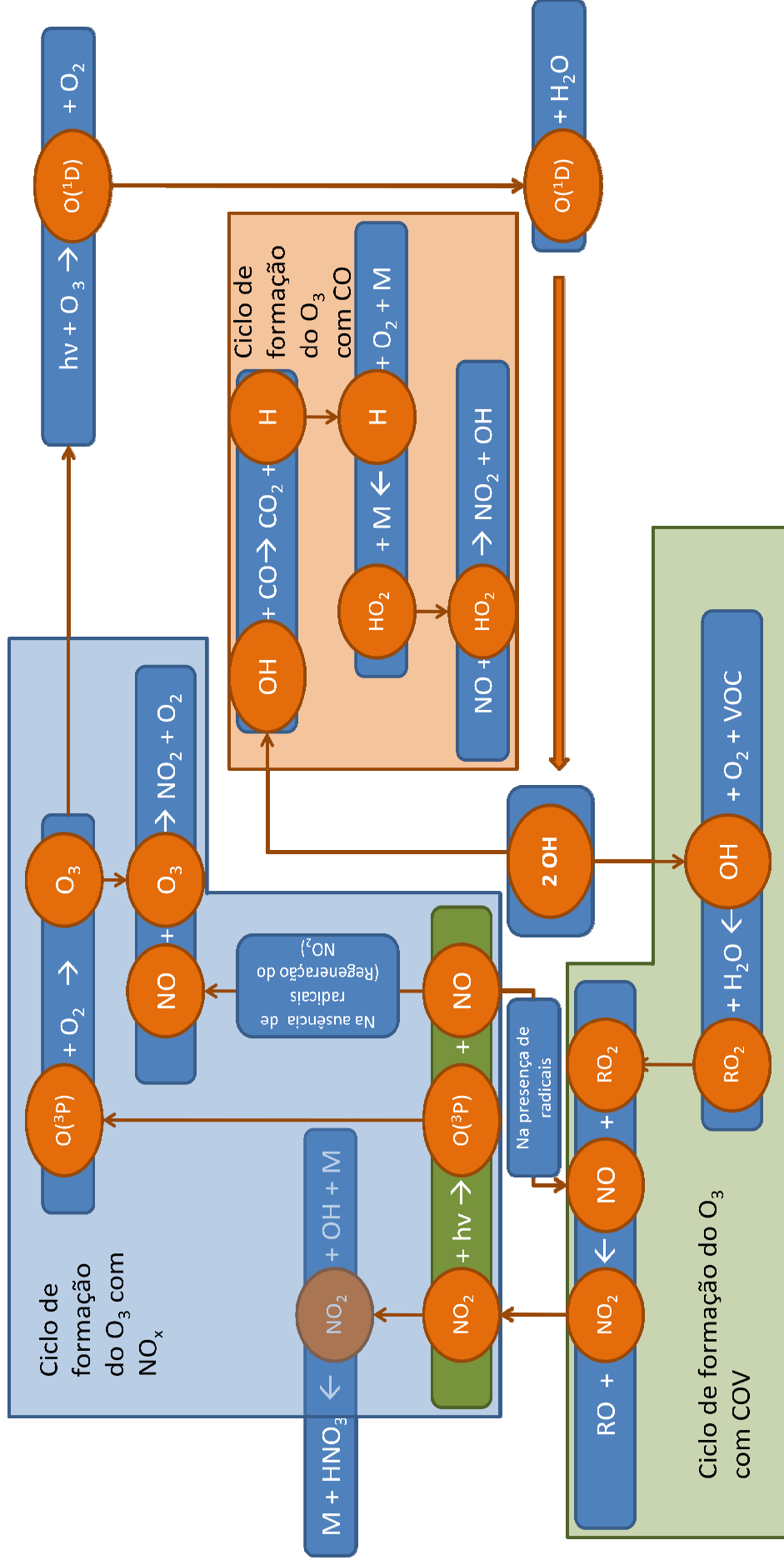


Figura 2.1 Representação esquemática dos mecanismos de formação e degradação do ozônio. (Adaptado de Monson et al., 2001). Em que $O(^3P)$ é um singlete no estado fundamental.

2.1.2 Indicadores de poluição fotoquímica

A formação do ozono pode dar-se em regime COV ou NO_x sensitivo ou limitante. O regime COV sensitivo, ou NO_x saturado, é caracterizado por um aumento na concentração de O₃ aquando de um aumento de COV ou por um decréscimo de O₃ quando há um aumento de NO_x. Quando o regime é NO_x sensitivo, um aumento na concentração de NO_x provoca um aumento de O₃. A concentração de ozono na troposfera não depende só das condições meteorológicas e das concentrações absolutas de COV e NO_x mas também dos seus rácios. Rácios entre COV e NO_x no intervalo de 4:1 a 10:1 são favoráveis á formação de grandes concentrações de ozono (OMS, 2000).

As relações entre os produtos de oxidação podem ser usadas para determinar o regime de formação de ozono. Sillman (1995) propôs alguns rácios como indicadores (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 Rácios indicadores de poluição fotoquímica (Sillman, 1995).

Rácios	NO _x Sensitivo	COV Sensitivo
$\frac{H_2O_2}{HNO_3}$	Valores elevados	Valores baixos
$\frac{O_3}{NO_z}$ (NO _z representa a soma dos produtos de oxidação)	Valores elevados	Valores baixos

Estes indicadores ajudam a definir o regime de formação do ozono sendo por isso importantes no apoio á definição de estratégias de controlo de emissões mais eficientes. Sillman (1999) considera que é difícil definir um limite preciso para a transição entre os regimes e que por isso se deve considerar uma área de transição ampla.

2.2 Condições favoráveis à formação de ozono

O ozono é um poluente oxidante sendo o principal constituinte da poluição fotoquímica. Esta está relacionada com a complexa formação de oxidantes químicos sob a influência de forte radiação solar (Moussiopoulos *et al.*, 2003).

A formação e destruição do ozono depende as emissões, concentrações, e rácios dos precursores (VOC's, NO_x, CO), e da intensidade da radiação solar. A radiação solar influencia os processos químicos na atmosfera interagindo com moléculas que agem como fotoreceptores. Nas situações de *smog* fotoquímico os fotoreceptores são os aldeídos, o NO₂, o ácido nitroso (HNO₂) e o ozono. Da fotodissociação formam-se os radicais livres que são fragmentos neutros de moléculas estáveis e são muito reactivos (Boubel *et al.*, 1994).

Segundo Abdollahian *et al.* (2005) as condições meteorológicas favoráveis á formação de ozono são: atmosfera muito estável, radiação solar muito intensa, altura da camada limite de mistura vertical baixa, porque caso contrário as reacções químicas entre os poluentes são dispersas e o ozono não se forma. O valor da temperatura do ar é muito importante pois acelera as reacções químicas do processo de formação de ozono que leva algumas horas até estar completo.

A energia solar é essencial no processo de fotodissociação. Assim as reacções estão dependentes do comprimento de onda da radiação solar, que dever ser tal que os fotões tenham energia suficiente para iniciarem um processo de fotodissociação. No caso da fotodissociação do ozono, o comprimento de onda da radiação deve ser inferior a 242 nm, a fotodissociação do NO₂ não requer tanta energia e para que a reacção se dê o comprimento de onda deverá ser inferior a 424 nm.

Vários estudos internacionais demonstram que a circulação de brisa marítima pode influenciar as concentrações locais de ozono. (McElroy *et al.*, 1986; Bornstein *et al.*, 1993; Seaman *et al.*, 1998; Cheng, 2002; Boucouvala *et al.*, 2003; Evtugina *et al.*, 2006). Em Portugal, Evtugina *et al.*, (2006) constatou o mesmo facto. Apresentou resultados de dois estudos sobre a produção de poluição fotoquímica em condições de brisa marítima na costa Oeste portuguesa. Nesse estudo foram usados perfis verticais de ozono e de COV que foram recolhidos durante períodos de brisa. Foi constatado que as brisas marítimas têm um papel importante na formação de ozono na costa Oeste de Portugal principalmente durante o dia verificando-se um aumento das concentrações de ozono na presença da brisa marítima.

O efeito dos aerossóis na concentração dos oxidantes na atmosfera precisa de ser mais estudado. No entanto, para além do seu impacto directo na saúde humana por via respiratória os aerossóis têm um efeito secundário na concentração, tempo de vida e comportamento químico dos compostos de enxofre, azoto e carbono (Moussiopoulos *et al.*, 2003).

Um exemplo do efeito secundário dos aerossóis é a formação de ácido nitroso (HNO₂) na presença de NO₂, água e partículas (reacção heterogénea). O OHNO é uma importante fonte de OH, nas primeiras horas do dia. O OHNO degrada-se por fotólise, a sua formação dá-se durante a noite e com o nascer do sol fotoliza originando OH e NO. Por outro lado, os aerossóis de sais marinhos são uma fonte de cloro. Os átomos do cloro são extremamente reactivos com os hidrocarbonetos, sendo cinco vezes mais reactivos que o OH. Em zonas marítimas o radical de cloro é dominante no início da produção fotoquímica durante as primeiras horas do dia e o OH no resto do dia.

É ainda de considerar o efeito dos aerossóis de sulfato de alumínio que participam em reacções com o radical OH contribuindo para a produção de NO₂ que em última análise leva à formação de ozono.

Por outro lado a fotólise do NO₂ depende do fluxo espectral actínico (radiação solar) que por sua vez depende das condições ópticas locais. Os aerossóis podem aumentar ou diminuir o fluxo actínico

dependendo da sua capacidade de difundir ou absorver a radiação ultravioleta (UV). As partículas que difundem a radiação UV na camada limite de mistura aceleram os processos de formação do *smog* fotoquímico. Por outro lado os aerossóis que absorvem a radiação solar, como as poeiras minerais e a fuligem, inibem os processos fotoquímicos (Moussiopoulos *et al.*, 2003). Carmichael (1999) verificou que os aerossóis absorventes reduzem cerca de 70% os níveis de ozono em ambientes poluídos. O efeito dos aerossóis difusores pode aumentar as concentrações de ozono dependendo da estação do ano, da concentração de NO_x, da emissão de HCNM e da temperatura. Na baixa troposfera a produção de ozono é mais sensível aos aerossóis urbanos, seguidos pelos aerossóis rurais, os do deserto e os marítimos.

Um estudo de Miranda *et al.* (2004) sobre a influência dos incêndios nos níveis de ozono na Área Metropolitana de Lisboa, evidencia que os fogos florestais contribuem para degradação da qualidade do ar em Lisboa e nomeadamente para o aumento dos níveis de ozono troposférico. As substâncias libertadas contêm, entre outros poluentes, substâncias precursoras de ozono. O fumo proveniente dos fogos florestais inclui quantidades substanciais de dióxido de carbono, metano, óxidos de azoto, amónia, partículas, COV e dióxido de enxofre (Valente *et al.*, 2007). O Relatório de previsão da qualidade do ar -Verão de 2005 do Instituto do Ambiente e da Universidade de Aveiro verificou que os dias de ultrapassagens do limiar de informação ao público “são praticamente coincidentes com dias de incêndios florestais, indicando uma provável relação entre estes dois fenómenos” (UA e IA, 2006). De acordo com uma equipa internacional de 15 cientistas os fogos florestais que devastaram parte do Oeste da Alasca e do Oeste do Canada em 2004, provocaram um aumento nos níveis de ozono em Houston, no Texas (Morris *et al.*, 2006)

O transporte do ozono e dos precursores é outro factor importante quando se analisa o comportamento do ozono. O tempo de vida do ozono e dos seus precursores na troposfera é suficiente para que a poluição possa ser transportada a centenas a milhares de quilómetros. Este transporte a longas distâncias provoca concentrações elevadas de ozono longe das fontes (Leew *et al.*, 2001), provocando problemas de poluição transfronteiriça.

Os episódios de ozono representam um grande problema nas cidades europeias do Sul, onde são característicos os períodos prolongados de sol e calor durante o Verão. Nestas condições o ozono pode formar-se rapidamente e elevadas concentrações de O₃ podem ser sentidas durante vários dias na periferia dos grandes centros urbanos, causando problemas graves de poluição. Nos países nórdicos o problema não é tão grave, visto que a formação de ozono é mais lenta pois as condições meteorológicas são menos favoráveis á sua formação (Moussiopoulos *et al.*, 2003).

Nos países da Europa do Sul as excedências de ozono começam a verificar-se a partir de Abril. A estação do ano mais preocupante, em termos de poluição fotoquímica é o Verão porque está

associado a elevados níveis de radiação solar, temperaturas do ar altas, vento fraco, anticiclones, grande estabilidade (baixa altura da camada de mistura), humidade relativa a meio do dia baixa e circulações de mesoescala (sobretudo brisas do mar e da terra). No entanto, nas outras estações do ano também é possível que a situação meteorológica conduza à formação de episódios de poluição fotoquímica (Moussiopoulos *et al.*, 2003).

Nos países do Sul da Europa a circulação atmosférica é principalmente afectada por dois sistemas sinópticos de larga escala: o anticiclone dos Açores e por uma depressão de origem térmica da Ásia. Esta combinação provoca ventos etésios, isto é uma circulação semi-persistente de vento que sopra de norte sobre no mediterrâneo oriental, sobretudo na zona do mar Egeu. A intensidade destes ventos depende da intensidade e posição dos dois sistemas. Nas situações em que os ventos etésios são fortes há mistura vertical e difusão dos poluentes e os níveis de poluição são, normalmente, mais baixos. Por outro lado, quando os ventos etésios são fracos as circulações locais prevalecem devido as diferenças térmicas. Circulações de mesoescala, como as baixas Ibéricas, podem também surgir devido á presença destes dois sistemas sinópticos influenciando os fluxos regionais. As baixas ibéricas geram células de movimento vertical intenso na península (Carvalho *et al.*, 2006). Diferenças de pressão entre a costa atlântica de Portugal e a península Arábica podem desenvolver-se gerando um movimento das massas de ar para Este. No entanto a relação entre a poluição e as condições sinópticas também depende da topografia de cada local (Gangoiti *et al.*, 2001).

No Inverno são mais características as depressões que provocam vários padrões de circulação no sul da Europa. Embora no inverno não sejam tão frequentes grandes concentrações de ozono, estas podem acontecer. A advecção de ar quente proveniente do Sul, por exemplo, conduz geralmente a situações de estabilidade atmosférica e elevados níveis de concentração de ozono fazem-se sentir. Esta situação é comum também na presença de anticiclones que prevalecem na região, causando situações de muita estabilidade e conseqüente baixas taxas de mistura. O contrário verifica-se na presença de ventos fortes provenientes do norte que dispersam os poluentes (Moussiopoulos *et al.*, 2003).

Na bacia Oeste do Mediterrâneo a situação sinóptica é normalmente determinada pela presença do anticiclone dos Açores que se estende em crista sobre o norte da península Ibérica e sul de França. No Verão a alta dos Açores estende-se sobre o Atlântico até em direcção a França (Moussiopoulos *et al.*, 2003).

O anticiclone dos Açores é responsável pela maior parte das excedências verificadas em Portugal. Este estende-se em crista sobre a península Ibérica promovendo uma circulação muito quente e seca sobre Portugal. As condições do tempo caracterizam-se por valores de pressão ao nível do mar ligeiramente superiores á média, gradientes de pressão á superfície muito fracos, ventos fracos na

troposfera, céu limpo, temperaturas máximas elevadas e taxas de precipitação muito baixas. Situações de insolação forte favorecem o desenvolvimento de circulações de mesoescala e potencia a produção fotoquímica. No entanto também têm sido observados episódios de ozono, em Portugal na presença de sistemas de baixas pressões de origem térmica influenciando o desenvolvimento de bisea marítima, comum na península Ibérica durante o Verão (Borrego *et al.*, 1994).

Os episódios mais graves de poluição fotoquímica acontecem na presença de grandes sistemas sinópticos estáveis associados a circulações de mesoescala que se tornam importantes mecanismos de dispersão.

O ozono para além de ter um comportamento sazonal também apresenta ciclos semanais e diários. O comportamento semanal do ozono pode variar conforme seja um dia de semana ou fim-de-semana. O chamado efeito de fim-de-semana no ozono consiste numa tendência, em algumas zonas, para o aumento das concentrações de ozono ao fim-de-semana (Brönnimann *et al.* 1997; Jenkin *et al.*, 2002; Qin *et al.*, 2004). Este efeito tem vindo a ser reportado nas grandes áreas metropolitanas dos Estados Unidos e um pouco por todo o mundo (Cleveland *et al.*, 1974; Pont *et al.*, 2001). Em Portugal Ferreira *et al.* (2004) constatou que o ozono apresenta um comportamento inverso ao do tráfego, levando a concentrações maiores de ozono nas manhãs ao fim-de-semana devido á diferença de tráfego que se faz notar ao fim-de-semana. Este efeito ainda não foi bem explicado mas já foram apresentadas várias hipóteses (California Air Resources Board, 2001; Heuss *et al.*, 2003):

- Regime COV-sensitivo combinado com a diminuição das emissões de NO_x;
- Diferenças temporais nas emissões nas diferentes tipologias de dia.
- Transporte do ozono e dos seus precursores na sexta-Feira e no sábado.
- Aumento das emissões no fim-de-semana

O ciclo típico diário do ozono está representado na Figura 2.2. De uma forma geral há sempre um decréscimo das suas concentrações á noite, independentemente da altura do ano (Finlayson- Pitts *et al.*, 2000). Durante o Inverno e o Outono as concentrações de ozono durante a noite mantêm-se relativamente constantes devido á estabilidade da atmosfera. Na Primavera e sobretudo no Verão as concentrações de ozono tendem a decrescer durante a noite. No Verão a formação de ozono é mais intensa e o processo de degradação de ozono demora mais tempo. De manhã o NO proveniente do tráfego vai reagir com o ozono restante da noite anterior e vai produzir NO₂. Este fenómeno provoca um pequeno decréscimo no início da manhã. Nesta altura a concentração de NO₂ é mais elevada do que a de NO levando á produção de ozono. É ainda de acrescentar que o aquecimento da superfície terrestre quebra a inversão térmica formada á noite aumentando a mistura dos gases e favorecendo os processos fotoquímicos. Deve ainda referir-se que as brisas podem trazer ozono adicional de outras zonas acrescentando ozono que não foi produzido *in situ*. A concentração máxima diária de ozono

ocorre, normalmente, à tarde. Na Primavera e no Verão as concentrações têm tendência a manterem-se elevadas durante algumas horas (Adame *et al.*, 2007). Depois do pico de ozono, o NO proveniente da segunda hora de ponta consome o O₃, é nesta altura também que se começa a fazer sentir a brisa da terra que pode arrastar os poluentes em direcção ao mar.

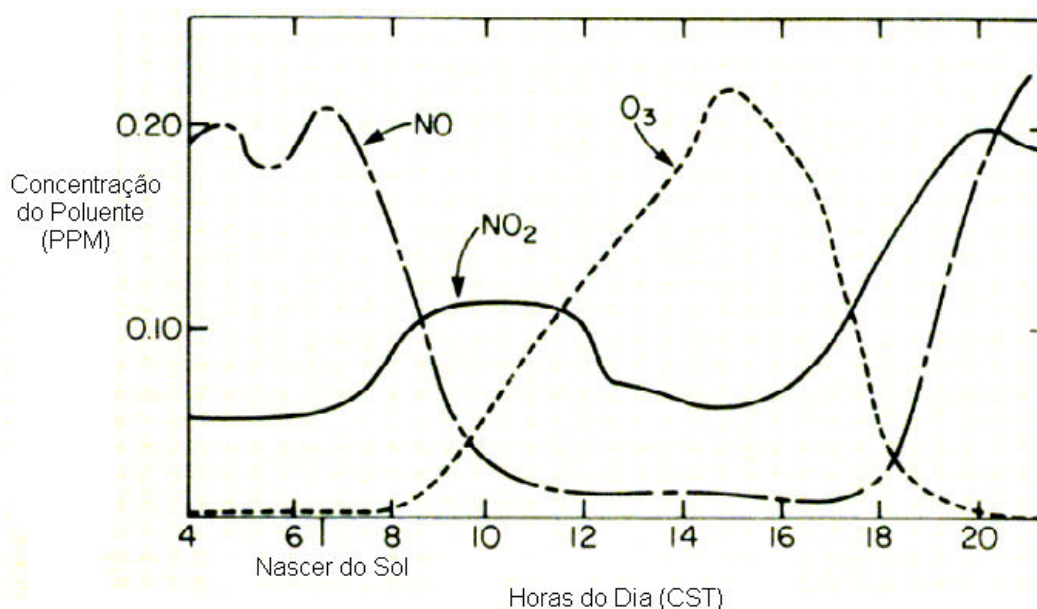


Figura 2.2 Perfil típico horário do ozono CST (sigla inglesa para *Central Standard Time*) (Bouhel *et al.*, 1994).

2.3 Efeitos do ozono

As doenças humanas relacionadas com a poluição atmosférica devem-se à inalação de poluentes que se encontram no ar ambiente em concentrações superiores às da atmosfera natural. O ozono troposférico é um poluente atmosférico secundário com fortes características oxidantes e, como tal, pode reagir com uma grande variedade de componentes celulares e materiais biológicos. A sua presença no ar ambiente afecta tanto os seres humanos como a vegetação e os animais.

2.3.1 Efeitos do ozono na saúde humana

A poluição atmosférica está, normalmente, relacionada com o agravamento de estados de doença pré-existentes, estando também associada a sintomas que se fazem sentir no imediato ou, quando a exposição é frequente a doenças crónicas. A toxicidade do ozono aumenta com o aumento das concentrações e da actividade respiratória durante a exposição (OMS, 2000).

A Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) enumera uma variedade de problemas que podem decorrer da exposição ao ozono troposférico, como dores no peito, tosse, irritação na garganta e congestão pulmonar, bem como o agravamento de bronquites, enfisemas, asma, diminuição da função pulmonar, inflamação do revestimento dos pulmões e irritação nos olhos (Manahan, 1997;

Ferraz *et al.*,2005; EPA, 2006). Quando a exposição é prolongada as lesões podem ser irreversíveis, como lesões graves no tecido pulmonar.

A irritação nos pulmões pode causar inflamação dos tecidos como se fosse provocada por uma queimadura solar. Actividades no exterior ou exercício físico em zonas com elevados níveis de ozono agravam a asma, provocam tosse, dores quando se respira profundamente e dificuldades em respirar. A exposição frequente provoca danos nos pulmões, reduz a função pulmonar e aumenta a susceptibilidade a doenças respiratórias, como a pneumonia e bronquites (EPA, 2006). A exposição ao ozono tem sido associada ao aumento das admissões de nos hospitais por causas respiratórias e agravamento da asma (OMS, 2000).

Dados epidemiológicos mostram uma relação entre os efeitos na saúde e a concentração do pico diário de ozono. Esta relação é descrita na Tabela 2.3, aumentos a curto prazo das concentrações de ozono estão relacionados com o aumento dos sintomas respiratórios e com um acréscimo no número de admissões hospitalares por doença respiratória tanto em pessoas saudáveis como em asmáticos (OMS, 2000).

Tabela 2.3 Consequências na saúde em função das alterações na concentração de ozono (OMS, 2000).

Consequências na saúde	Diferença na concentração do ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Tempo médio de 1 hora	Tempo médio de 8 horas
Agravamento dos sintomas entre os adultos asmáticos em actividade normal (%)		
25%	200	100
50 %	400	200
100%	800	300
Aumento das admissões hospitalares por doença respiratória (%)		
5%	30	25
10%	60	50
20%	120	100

Pessoas que são mais sensíveis ao ozono pertencem aos chamados grupos de risco. Nestes grupos incluem-se as crianças e adultos que têm uma vida activa no exterior e pessoas com doenças respiratórias, como a asma. Os efeitos da poluição provocada pelo ozono troposférico têm consequências mais graves nos grupos de risco.

As crianças activas são consideradas um grupo de risco porque, normalmente passam grande parte do verão no exterior, as crianças têm também mais probabilidade de ter problemas de asma. Os adultos activos que fazem exercício ou trabalham vigorosamente no exterior têm uma exposição maior ao ozono. As pessoas com doenças respiratórias têm tendência a sentir os sintomas mais cedo e para níveis mais baixos de ozono. Existem pessoas com uma invulgar sensibilidade ao ozono, não tendo ainda sido encontradas razões para explicar tal facto. Essas pessoas são mais susceptíveis ao ozono

do que a maior parte da população, e sentem os seus efeitos para concentrações mais baixas. No geral o aumento das concentrações de ozono leva a um aumento no número de pessoas que sentem os efeitos do ozono troposférico e a um agravamento dos danos (EPA, 2006).

O ozono pode também causar lesões sem que para isso existam sintomas. Pessoas que vivam em áreas onde os níveis de ozono são frequentemente elevados podem deixar de sentir os sintomas com o tempo, especialmente quando as concentrações de ozono se mantêm elevadas por muitos dias (EPA, 2006).

A EPA definiu limiares de danos para a população em função das concentrações de ozono (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 Efeitos do ozono em função das concentrações de ozono (adaptado de EPA, 2006).

Concentração de ozono no ar ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Índice descritor da qualidade do ar	Efeitos na população
0-126	Boa	Sem efeitos
127-165	Moderada	Pessoas com maior sensibilidade ao ozono podem sentir efeitos na respiração resultantes da exposição prolongada durante exercício físico no exterior.
166-204	Perigoso para os grupos de risco	Redução da função pulmonar que pode causar desconforto ao respirar. Sintomas respiratórios, como tosse ou dor ao respirar profundamente, podem ser sentidos pelos grupos de risco.
205-243	Perigoso	Os grupos de risco podem sentir agravamento dos sintomas acima referidos, com estes níveis de ozono todas as pessoas podem sentir efeitos na respiração.
244-791	Muito perigoso	Membros do grupo de risco sentem intensamente o agravamento dos sintomas e a respiração é débil. Metade das pessoas expostas sofrerão redução da função pulmonar. Um quinto sofrerá uma grave redução na função pulmonar. Cerca de 10 a 15% da população sentirão os efeitos dos sintomas respiratórios, como tosse e dor ao respirar profundamente. Pessoas com asma ou problemas respiratórios serão seriamente afectadas, podendo os efeitos levar ao aumento de medicação e á procura de atendimento nas urgências.

2.3.2 Efeitos do ozono na vegetação e nos ecossistemas

A poluição atmosférica não é apenas prejudicial à saúde humana, ela tem efeitos negativos nas plantas e ecossistemas provocando danos e lesões. O ozono afecta principalmente as folhas mais velhas provocando manchas descoloradas, queda prematura das folhas, pigmentação e, no caso das coníferas (por exemplo *Pinus alepensis* existente na Serra da Arrábida) (<http://www.qualar.org>), as pontas das agulhas ficam castanhas e com necroses. Algumas espécies, como o espinafre, o tomate e as sementes de leguminosas, são especialmente sensíveis (Boubel *et al.*, 1994).

O ozono troposférico está relacionado com a redução da capacidade, das plantas sensíveis ao ozono, para produzir e armazenar energia reduzindo as taxas de crescimento (Pereira, 1999). Os efeitos deste poluente têm sido associados também ao aumento da susceptibilidade a doenças, insectos e outros poluentes, competição e condições meteorológicas adversas. Anualmente, o ozono pode causar danos económicos em resultado de culturas perdidas pois provoca uma redução na produtividade das colheitas e no crescimento das florestas levando, em última análise, a um impacto negativo na biodiversidade dos ecossistemas. As montanhas San Bernardino a noroeste de Los Angeles, na California, sofreram uma alteração na composição da vegetação e na susceptibilidade às pestes provocada por oxidantes fotoquímicos (Boubel *et al.*, 1994). A vegetação urbana, os parques nacionais, e as áreas de recreio podem sofrer danos na aparência devido a danos nas folhas das árvores e arbustos.

2.3.3 Efeitos do ozono nos materiais

Os materiais também podem ser afectados pelas elevadas concentrações de ozono no ar ambiente. O ozono e os outros oxidantes químicos reagem com os materiais diminuindo o seu tempo útil de vida e alterando a sua aparência estética. Materiais como os elastómeros (moléculas orgânicas insaturadas de cadeia comprida, por exemplo a borracha), fibras e tintas são susceptíveis ao ozono. A borracha é especialmente sensível ao ozono. Este quebra a dupla ligação carbono-carbono, conferindo-lhe um aspecto quebradiço e diminuindo a sua elasticidade. O ozono pode afectar os têxteis de maneira semelhante à da borracha. No geral, as fibras sintéticas são menos afectadas do que as fibras naturais, de qualquer maneira a contribuição do ozono para a degradação dos têxteis não é considerada significativa (EPA, 1996). O ozono provoca o esbatimento das cores nos têxteis, a rapidez com que a cor desaparece depende da natureza química da fibra. As moléculas de ozono quebram os anéis aromáticos dos corantes, oxidando-os (EPA, 1996). O facto de as tintas serem afectadas pelo ozono, leva a que existam recomendações para os limites de ozono em museus, livrarias e arquivos. O limite recomendado nestes espaços é de aproximadamente 20-25.5 $\mu\text{g m}^{-3}$. O ozono está também associado com a corrosão dos metais (Perreira, 1999), pois juntamente com outros poluentes aumenta a corrosão no aço, no zinco, no cobre, no alumínio e no bronze (Leeuw, 2000).

2.4 Monitorização

A medição e monitorização de poluentes são essenciais para cumprir as exigências que as directivas europeias de qualidade do ar impõem. Neste sentido torna-se importante estabelecer metodologias comuns para a avaliação das concentrações de ozono e das substâncias precursoras de ozono. Em Portugal, o ozono é monitorizado, desde o princípio da última década, pela rede de monitorização nacional (monitorização em contínuo).

O método de referência para a análise do ozono, estipulado na legislação pelo Decreto-Lei nº 320/2003, é a fotometria de ultravioleta (ISO 13964:1998 - Qualidade do ar - Determinação de ozono no ar ambiente - Método fotométrico no ultravioleta). Para calibração encontra-se descrito o fotómetro UV de referência (ISO 13964:1998). O Comité Europeu de Normalização (CEN) encontra-se a desenvolver este método. Após a publicação da respectiva norma, o método e as técnicas nele descritas constituirão o método de referência e de calibração. Pode ser utilizado qualquer outro método desde que se demonstre que os resultados são equivalentes aos do método acima referido.

O método de referência aplicável aos óxidos de azoto é especificado no Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril. Na secção II, do documento referido é descrito que o método de referência para a determinação da concentração em massa de óxidos de azoto é o método automático por quimiluminescência, no entanto qualquer outro método poderá ser utilizado desde que se possa demonstrar que os resultados são equivalentes aos do método acima referido.

Alguns dos métodos activos e passivos existentes serão explicados nos subcapítulos seguintes.

2.4.1 Métodos activos

O método mais comum para medir o ozono é baseado na quimiluminescência. A reacção do ozono com o etileno gera produtos electronicamente excitados, estes libertam luz, num processo de fluorescência. Os principais componentes necessários à medição do ozono são uma fonte de etileno, uma entrada para o ar ambiente, uma câmara de reacção, um fotomultiplicador e um circuito processador de sinal. A taxa a que a luz é recebida no fotomultiplicador está dependente das concentrações de etileno e ozono, se a concentração de etileno for muito superior à concentração de ozono a ser medida então a luz emitida será somente proporcional à concentração de ozono.

Na rede de monitorização de LVT o método de medição do ozono no ar ambiente em contínuo baseia-se na absorção de luz ultravioleta pelas moléculas de ozono, seguindo-se a aplicação dos princípios da norma ISO 13964:1998 e do Anexo VIII da Directiva 2002/3/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. Tratando-se de um método de referência. As medições situam-se na gama de medida do equipamento que normalmente situa-se entre 0 a 1000 ppb. O princípio deste método consiste na redução que a intensidade de um feixe de luz ultravioleta (UV) sofre depois de atravessar uma amostra de ar, que entra através de uma câmara de absorção. O comprimento de onda do feixe de luz UV

corresponde ao espectro de absorção das moléculas de ozono. O espectro de absorção do ozono atinge um valor máximo para um comprimento de onda de aproximadamente 254 nm. A determinação da concentração de ozono é feita através da equação de *Beer-Lambert*, em que a concentração de ozono é função da atenuação da intensidade da luz solar, da distância percorrida pela luz ultravioleta e do respectivo comprimento de onda (environment S.A., 2002):

$$\frac{I}{I_0} = e^{(-acd)} \quad (2.23),$$

em que I é a intensidade da luz após a absorção, I_0 é a intensidade inicial da luz UV, a é o coeficiente específico de absorção do ozono para o comprimento de onda de 254 nm, c é a concentração de ozono em ppm e d é o comprimento total do percurso óptico em cm. O ozono é removido da amostra de ar através de um conversor catalítico. Esta separação é feita para evitar interferências na determinação do ozono que possam ser causadas pela presença de gases que absorvam no mesmo comprimento de onda que o ozono, por diferenças de temperatura ou por instabilidades na lâmpada de UV. Este processo permite que o equipamento funcione em dois ciclos de medição, ciclo alternado ou em paralelo, medindo a amostra de ar ambiente com ozono e sem ozono, sendo que a amostra sem ozono serve de referência (environment S.A., 2002).

O principal método utilizado na medição de óxidos de azoto, é baseado em quimiluminescência. Este método determina directamente as concentrações de NO e NO_x e através da diferença entre os dois obtêm-se a concentração de NO₂. O equipamento permite medir a luz emitida pela reacção quimiluminescente do NO com o O₃, sendo o O₃ fornecido em grandes concentrações, a luz remanescente é proporcional á concentração de NO. O equipamento possui dois caminhos para admissão de ar, um para medir o NO e outro para o NO_x. O fluxo de ar para o NO contém, uma corrente de ar que contém NO, um fluxo de O₃ proveniente do gerador de O₃, uma câmara de reacção, um tubo fotomultiplicador e um circuito processador de sinal. O caminho para o NO_x é semelhante mas possui adicionalmente um convertor para reduzir o NO₂ a NO.

2.4.2 Métodos passivos

Os dados disponíveis mostram que, durante os meses da Primavera e do Verão, as concentrações de O₃ atingem frequentemente valores potencialmente fitotóxicos nalguns locais. Contudo, a maioria das estações de monitorização situa-se predominantemente em zonas urbanas do litoral, existindo ainda pouca informação sobre as concentrações do poluente em zonas rurais. Isto é de particular importância, pois existem dados que indicam que em Portugal as concentrações de O₃ nas zonas rurais do interior atingem valores mais elevados do que aqueles registados nas zonas urbanas do litoral

(DGA, 2001). Neste contexto o uso de métodos de passivos torna-se bastante importante na monitorização do ozono a nível nacional.

Os métodos passivos são mais simples e baratos que os métodos activos, porque não requerem electricidade (Tang *et al.*, 2000). Fornecem uma indicação das concentrações de poluentes numa escala de tempo de semanas ou meses.

Os amostradores passivos devem o seu nome ao facto de não envolverem a bombagem de ar. O fluxo de ar nestes aparelhos é controlado por processos físicos, como a difusão e permeabilidade. Estes devem ser calibrados através de métodos conhecidos, de preferência medidores em contínuo. Contudo, estes métodos têm a desvantagem de depender da taxa a que o ar se move sobre a superfície colectora (Geyh, 1999). Posto isto, no geral, a utilização destes analisadores no exterior é mais difícil do que no interior dos edifícios, devido às variações de temperatura, humidade relativa, velocidade e direcção do vento, chuva, neve e poeiras.

Existem dois tipos de amostradores passivos, amostradores de difusão e de permeabilidade. Nos primeiros a difusão é determinada ao longo de uma coluna estática de ar e os processos de difusão podem ser calculados segundo a primeira lei de Fick desde que o coeficiente de difusão seja conhecido, para muitos poluentes este parâmetro pode ser encontrado na literatura. A lei de Fick relaciona a massa de ar que passa na amostra com o gradiente de concentração, o tempo de exposição e a área do amostrador exposta ao ar poluído (Hangartner *et al.*, 1996).

Os tubos de difusão são os aparelhos mais usados neste tipo de métodos. O tubo de difusão é revestido por um filtro de fibra de vidro no fundo do tubo que é fechado. A difusão do ozono é feita de acordo com o coeficiente de difusão que se estabelece entre a concentração zero na superfície do filtro, e a concentração ambiente na abertura do tubo. A fibra de vidro é coberta por uma solução de DPE em ácido acético. O ozono reage com o DPE, que sofre uma clivagem da qual resulta um aldeído que pode ser determinado por espectrofotometria no laboratório pelo método do MBTH a 442 nm.

Existem três tipos de amostradores de difusão, o tubo longitudinal, o radial e o *badge* (Gerboles *et al.*, 2005).

Os tubos longitudinais, recolhem os poluentes para um material absorvente por difusão molecular ao longo de um tubo inerte. O aparelho consiste num tubo, que pode ou não estar fechado por uma membrana, e que pode ser instalado numa caixa protectora.

Nos amostradores radiais os poluentes difundem-se através de uma membrana porosa para uma câmara onde são aprisionados.

Os amostradores do tipo *badge* têm grande área de secção e um comprimento do fluxo de difusão curto. Geralmente são mais sensíveis aos poluentes mas também são mais sensíveis á velocidade do vento e às poeiras, problema que se coloca, principalmente, nas medições no exterior.

Nos amostradores passivos de permeabilidade, o tamanho dos poros da membrana determina a permeabilidade. A taxa de permeabilidade é determinada experimentalmente (Hangartner *et al.*, 1996). Neste caso a coluna de ar é substituída por uma membrana permeável e a difusão do gás através da membrana permeável também pode ser traduzida pela primeira lei de Fick. Estes amostradores também possuem um filtro de fibra de vidro quem tem as mesma funções que nos amostradores de difusão.

Os métodos passivos também incluem o uso bioindicadores. A biomonitorização de ozono é feita através de plantas que exibem sintomas foliares distintivos, numa resposta específica à exposição ao O₃. Esta abordagem é simples e de baixo custo. A fitotoxicidade do O₃ é estimada a partir da percentagem da área foliar danificada pelo poluente. O tabaco Bel W3 é sensível ao O₃ e tem sido usado em estudos de biomonitorização de ozono (Ribas *et al.*, 2003).

A detecção remota é outro dos métodos passivos de monitorização de ozono. A detecção de ozono troposférico á escala regional é uma das prioridades dos objectivos do satélite Aura (Levelt *et al.*, 2006). A cobertura global do ozono é fornecida por satélites com sensores ópticos e de microondas, mas estes não fornecem medições com uma grande resolução espacial e são particularmente limitados na troposfera. *Vertical profiling Differential Absorption Lidars (DIAL)*, têm boa capacidade de resolução. Medições autónomas do DIAL foram efectuadas com sucesso por uma aeronave de elevada altitude (LASE – *Lidar Atmospheric Sensing Experiment*) (Campbell *et al.*, 1996).

2.5 Enquadramento legal

A qualidade do ar atmosférico é, hoje em dia, um factor com um peso relevante nos padrões de qualidade de vida com grande influência na saúde humana. Neste contexto a União Europeia (UE) tem vindo a legislar limites para as concentrações dos poluentes atmosféricos, no sentido de prevenir os efeitos nocivos dos poluentes. Relativamente ao ozono está publicada a Directiva 2002/3/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Fevereiro, que revogou desde 9 de Setembro a Directiva Comunitária 92/72/CEE do Conselho, de 21 de Setembro.

O Decreto-Lei nº 320/2003, de 20 de Dezembro, transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva 2002/3/CE, revogando a Portaria nº623/96, de 31 de Outubro. Este Drecreto-Lei estabelece:

- a) “Objectivos a longo prazo, valores alvo, um limiar de alerta e um limiar de informação ao público para as concentrações de ozono no ar ambiente, com vista a evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e no ambiente em geral;
- b) Métodos e critérios comuns para avaliar as concentrações de ozono e, se adequado, de substâncias precursoras de ozono (óxidos de azoto e compostos orgânicos voláteis) no ar ambiente;

c) Critérios para a recolha de dados adequados sobre os teores de ozono no ar ambiente e para a sua disponibilização ao público.”

Neste diploma são definidos dois novos parâmetros para protecção da saúde humana e da vegetação.

Segundo o Decreto-Lei acima referido define-se como «valor alvo» o nível fixado com o objectivo, a longo prazo, de evitar efeitos nocivos para a saúde humana e ou o ambiente na sua globalidade, a alcançar, na medida do possível, no decurso de um período determinado. De acordo com o mesmo considera-se «Objectivo a longo prazo», a concentração no ar ambiente de ozono abaixo da qual, de acordo com os conhecimentos científicos actuais, é improvável a ocorrência de efeitos nocivos directos na saúde humana e ou no ambiente em geral. Este objectivo deve ser atingido a longo prazo, salvo quando tal não seja exequível através de medidas proporcionadas, com o intuito de proteger de forma eficaz a saúde humana e o ambiente.

Os valores alvo para a protecção da saúde humana e da vegetação, a atingir até 2010, encontram-se descritos na Tabela 2.5. Define-se AOT40 como a soma [expressa em ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h] das diferenças entre as concentrações horárias de ozono superiores a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (= 40 partes por bilião) e o valor $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, num determinado período, utilizando apenas os dados horários obtidos diariamente entre as 8 e as 20 horas (hora da Europa Central).

Tabela 2.5 Valores alvo para a protecção da saúde humana e da vegetação.

	Parâmetro	Valor Alvo para 2010
Valor alvo para protecção da saúde humana	Valor máximo das médias octo-horárias do dia.	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ — valor a não exceder em mais de 25 dias por ano civil, calculados em média em relação a três anos.
Valor alvo para protecção da vegetação.	AOT40 calculado com base em valores horários medidos de Maio a Julho (inclusive).	$18\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ — calculados em média em relação a cinco anos (c).

Os objectivos a longo prazo para a protecção da saúde humana e da vegetação, para 2020 são apresentados na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 Objectivos a longo prazo para a protecção de saúde humana e da vegetação.

	Parâmetro	Objectivos de longo prazo
Objectivo a longo prazo para protecção da saúde humana	Valor máximo da média diária octo-horária num ano civil	120 µg/m ³
Objectivo a longo prazo para protecção da vegetação.	AOT40 calculado com base em valores horários medidos de Maio a Julho (inclusive).	6 000 µg/m ³ .h

O limiar de informação e de alerta para o ozono encontram-se na Tabela 2.7. Sendo que o diploma acima referido define como «Limiar de informação», o nível acima do qual uma exposição de curta duração acarreta riscos para a saúde humana de grupos particularmente sensíveis da população e a partir do qual é necessária a divulgação de informação horária actualizada. O Decreto estabelece também a definição de «Limiar de alerta» como o nível de poluentes na atmosfera acima do qual uma exposição de curta duração apresenta riscos para a saúde humana e a partir do qual devem ser adoptadas medidas imediatas, segundo as condições fixadas no mesmo diploma. Planos de curto prazo devem ser postos em acção sempre que qualquer um destes parâmetros sejam ultrapassados durante três horas consecutivas.

Tabela 2.7 Limiar de informação e de alerta para o ozono.

	Parâmetro	Objectivos a longo prazo
Limiar de informação	Média Horária	180 µg/m ³
Limiar de Alerta	Média Horária	240 µg/m ³

No desenvolvimento dos objectivos traçados no Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho, que define o regime geral da gestão da qualidade do ar ambiente, o Decreto-Lei nº 320/2003, atribui às Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) territorialmente competentes, a responsabilidade da monitorização da qualidade do ar na área da sua jurisdição, bem como da divulgação da ocorrência de situações de excedência dos limiares legislados às autoridades competentes e ao público em geral.

Estabelece, ainda, que as informações relativas aos níveis de ozono no ar ambiente, deverão ser disponibilizadas ao público e organizações interessadas, pelo menos, diariamente e, quando adequado e viável, de hora a hora.

2.6 Avaliação histórica dos episódios de ozono em Portugal

Os níveis de ozono registados nos países europeus do Sul têm sido particularmente elevados nos últimos anos. O ozono é um dos poluentes que contribui significativamente para a degradação da

qualidade do ar ambiente. Este tem um papel importante na qualidade do ar de Lisboa devido as características climáticas que se verificam na região, principalmente durante o verão. (Ferreira *et al.*,2004).

O problema do ozono troposférico não é recente, o relatório sobre a poluição atmosférica de 1997 da Agência Europeia do Ambiente (AEA) já referia que o valor limite para a protecção humana da EU, até então estipulado em 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (média de oito horas), foi substancialmente excedido em Portugal. Verificou-se que 80% da população urbana estava exposta a valores excessivos pelo menos uma vez por ano.

Segundo o relatório técnico da AEA referente ao verão de 2003, Portugal excedeu o limiar de alerta que tinha sido estabelecido pela directiva comunitária de 2002, relativa ao ozono troposférico. Em 2004 (AEA, 2005) Portugal surge entre os países onde se registaram excedências do limiar de informação, valores superiores ao limiar de alerta e excedência do objectivo de longo prazo para a protecção humana. Segundo os relatórios técnicos da AEA, no verão de 2005, Portugal foi o país onde se registou a concentração média horária (361 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mais elevada de toda a Europa, registada na estação de fundo Lamas de Olo. Nesse ano Portugal excedeu o valor alvo para a protecção humana, excedeu frequentemente o limiar de informação e o limiar de alerta. No ano de 2006 registaram-se em Portugal concentrações horárias com valores entre os 300 e 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Portugal voltou a registar muitas excedências ao limiar de informação e do valor alvo, registando-se concentrações superiores ao limiar de alerta (AEA, 2007).

Os dados das excedências do limiar de informação (LInf) e do Limiar de alerta (LAlerta) portuguesas, entre os anos de 2003 a 2006, encontram-se na Tabela 2.8. Na Tabela 2.9 encontra-se os dados referentes ao período de 2004 a 2006 mas para as ultrapassagens do Objectivo de longo prazo (OLP). Os dados foram recolhidos dos relatórios técnicos da AEA.

Tabela 2.8 Excedências horárias em Portugal nos anos de 2003, 2004, 2005 e 2006 (AEA).

Ano	Nº de estações	Estações com pelo menos uma excedência do LInf			Nº de dias com pelo menos uma excedência do LInf	Nº de dias com pelo menos uma excedência do LAlerta	Concentração máxima observada ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		Nº	%	% (LInf +LAlerta)			
2003	42	30	71	23		297	
2004	46	33	72	15	6	315	
2005	52	42	81	19	25	361	
2006	54	41	76	27	13	323	

Tabela 2.9 Excedências do OLP em Portugal nos anos de 2004, 2005 e 2006 (EAE).

Ano	Nºde estações	Estações com pelo menos uma excedência do OLP		Nº de dias com pelo menos uma excedência do OLP	Concentração máxima observada (µg/m³)	
		Nº	%			
2004	46	44	96	113	216	
2005	52	49	94	144	288	
2006	54	46	85	127	222	

3 Caracterização da área em estudo

Este trabalho tem como área de estudo a região de LVT. Assim, torna-se importante contextualizar a situação de Lisboa tanto em termos demográficos como também climatéricos e em termos das actividades existentes na cidade que sejam emissoras de precursores de ozono.

3.1 Características demográficas

Lisboa, sendo a capital de Portugal é também o maior centro urbano do país e um importante centro industrial.

De acordo com o Recenseamento Geral à População realizado pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), no ano de 2001 residiam na Área Metropolitana de Lisboa (AML) cerca de 2,7 milhões de habitantes. O que significa que aproximadamente um quarto da população nacional ocupa cerca de 3,5 % da área do território continental Português. A Tabela 3.1 apresenta as características demográficas da região de LVT por zonas e aglomerações. Segundo o Decreto-Lei 276/99, de 23 de Julho, entende-se por zona a “área geográfica de características homogéneas, em termos de qualidade do ar, ocupação do solo e densidade populacional” e por aglomeração a “zona caracterizada por um número de habitantes superior a 250.000 ou em que a população seja igual ou fique aquém de tal número de habitantes, desde que não inferior a 50.000, sendo a densidade populacional superior a 500 hab/km²”. As zonas e aglomerações encontram-se na Figura 3.1.

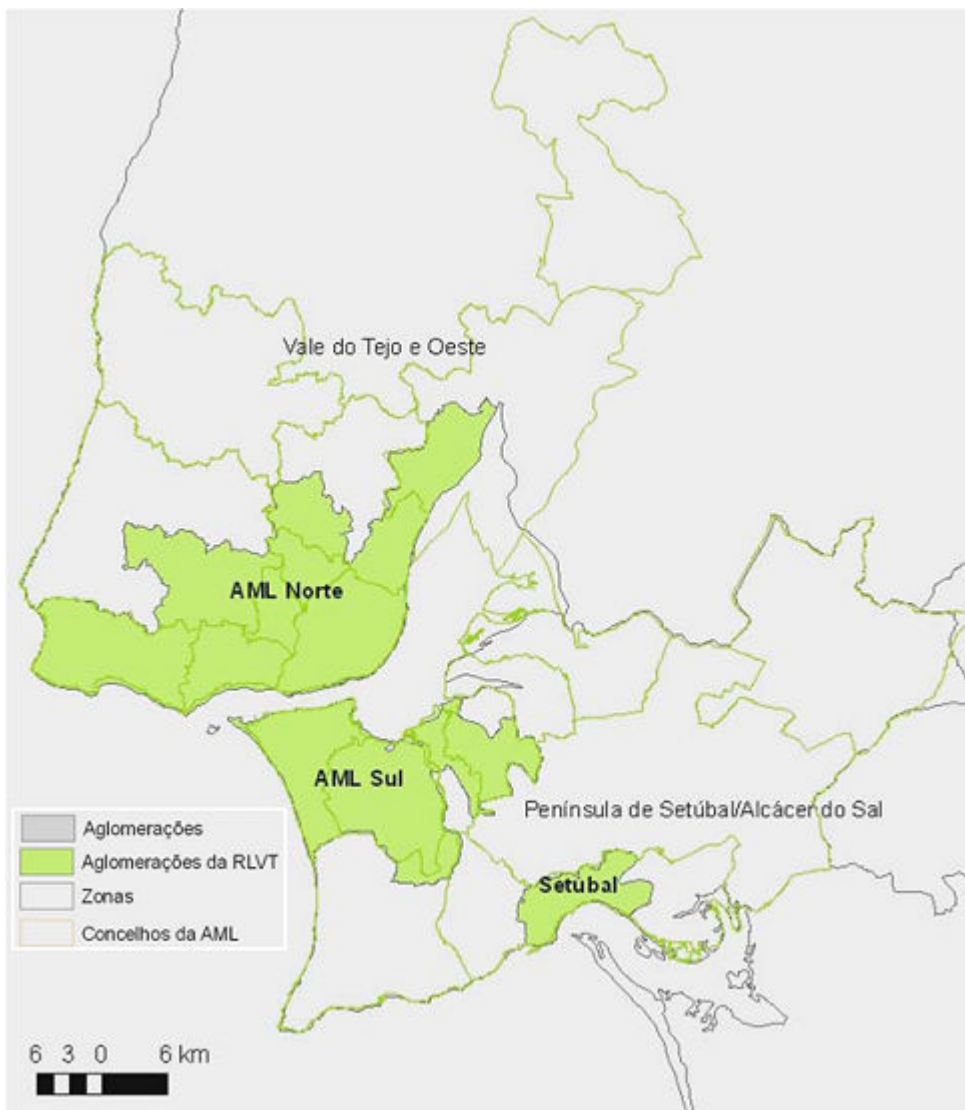


Figura 3.1 Enquadramento das Aglomerações e zonas relativamente à Área Metropolitana de Lisboa e Portugal Continental.

Tabela 3.1 Características das Zonas da região de LVT (DGA e DCEA, 2001).

Zona	Área (km ²)	População Residente (hab)	Densidade populacional (hab /km ²)
Vale do Tejo e Oeste	9 645	910 014	94,3
AML Norte	482	1 740 288	3 607,9
AML Sul	217	422 436	1 943,4
Setúbal	51	85 289	1 682,2
Península de Setúbal /Alcácer do Sal	2 698	147 280	54,6

3.2 Características topográficas e geográficas

A grande Lisboa é um exemplo de uma região com elevados níveis emissão de poluentes e com grandes problemas de poluição fotoquímica. As características geográficas e topográficas de Lisboa conferem-lhe um complexo sistema de fluxos e transporte de massas de ar. Lisboa está situada numa zona costeira associada a circulações de mesoescala (brisa do mar e da terra) e apresenta uma disposição espacial complexa condicionada pela topografia da zona, com colinas que atingem mais de 400 metros acima do nível do mar (Montejunto, 666 m; e Sintra, 528 m).

A cidade apresenta uma orografia complexa, constituída a Sul pela serras da Arrábida e do Louro e pelas colinas de Almada, a Norte pela serra de Monsanto, e pela presença um eixo de serras que se estende na direcção de SW-NE, desde a serra de Sintra até à serra de Montejunto. Lisboa sofre ainda a influência provocada pela proximidade com o Oceano Atlântico, pela presença do estuário do Tejo e pela presença a Sul do estuário do Sado. Estas características, juntamente com a própria disposição da cidade conferem-lhe um clima local muito próprio (Ferreira, 1965).

As características climáticas de Lisboa permitem o desenvolvimento de fluxos de mesoescala, como a brisa marítima e terrestre e circulações anabáticas (fluxo de ar ascendente ao longo de uma colina) e catabáticas (fluxo de ar descendente ao longo de uma colina). A brisa do mar faz-se sentir junto à costa começa no fim da manhã, por um vento vindo do mar, que atinge o máximo no princípio da tarde e desaparece ao anoitecer. A causa fundamental do movimento do ar é a diferença de temperatura entre as superfícies da terra, que está mais quente do que o mar durante o dia, ao princípio da tarde se acentuam fazendo com que o gradiente de pressão local entre o mar e a terra se torne mais intenso, podendo o efeito da brisa marítima, fazer-se sentir segundo uma direcção mais próxima da paralela à costa. À noite estas brisas sopram da terra para o mar, nas camadas inferiores, resultado de um arrefecimento, por irradiação, mais acentuada na superfície da terra do que no mar, esta brisa é denominada como a brisa terrestre (<http://www.qualar.org>).

O desenvolvimento destas circulações é dominado pela influência do anticiclone dos Açores. Na região de Lisboa as circulações de mesoescala são, no geral, reforçadas por uma circulação sinóptica de Norte-Noroeste associada ao anticiclone dos Açores, que promove uma forte brisa marítima.

A costa portuguesa tem uma orientação Norte-Sul o que significa que a brisa marítima está fortemente dependente da direcção e intensidade da situação sinóptica. Quando a influência sinóptica provem do Norte, a brisa marítima começa cedo e com maior intensidade. Por outro lado quando a influência sinóptica provem de Este-Nordeste a brisa marítima, circulação é essencialmente de Oeste-Noroeste, é retardada e atenuada (Barros et. al., 2003).

A situação sinóptica mais frequente no Verão na Península Ibérica é caracterizada por uma ligeira subida na pressão ao nível do mar e um quase inexistente gradiente de pressão na superfície. Este gradiente é sentido em quase 70% dos dias de Verão e está associado a situações de vento fraco, céu limpo, elevadas temperaturas máximas e fracas taxas de precipitação. Nestas condições a forte insolação promove o desenvolvimento de circulações de mesoescala associadas á orografia local (ventos anabáticos e catabáticos) ao mesmo tempo que as diferenças de temperatura entre o mar e a terra favorecem o desenvolvimento de brisas. Lisboa tem uma média da temperatura máxima do ar durante o Verão da ordem de 30°C enquanto a média da temperatura da água no Oceano Atlântico durante o verão é de 16°C, o que representa um grande potencial para o desenvolvimento de brisas do mar e da terra (Barros et. al., 2003).

Barros et. al. (2003) estudou a influência das circulações de mesoescala na região de Lisboa e descreveu o perfil diário de ozono para esta região. Constatou que durante as primeiras horas do dia até as 7:00 UTC o O₃ é degradado pelas emissões de NO, principalmente provocadas pelo tráfego rodoviário, resultando num aumento do NO₂. Ao mesmo tempo a brisa terrestre, reforçada pelos movimentos catabáticos transportam o O₃ e os seus precursores para o rio Tejo. Durante a tarde um fluxo divergente pode acontecer sobre o estuário do Tejo e uma brisa do mar a abranger poucos quilómetros na direcção de Lisboa. Estabelece-se uma leve zona de estagnação a Oeste, próxima de Sintra e da boca do estuário do Tejo. Parte dos precursores de ozono emitidos durante a hora de ponta da manhã é retido nessa área de estagnação e a outra parte é transportada em direcção ao mar. Nas horas seguintes os precursores e a intensificação da radiação solar promovem o aumento dos processos fotoquímicos e dos movimentos de mesoescala que aceleram a produção de O₃. A meio do dia a pluma de O₃, influenciada pela brisa do mar estende-se para a costa Sul de Lisboa. Nesta altura do dia as concentrações dos precursores diminuem por causa da produção fotoquímica. Cerca das 17:00 UTC uma forte circulação proveniente do mar ao longo de quase toda a costa é observada. Esta brisa marítima, reforçada pela circulação sinóptica de Norte-Noroeste, é responsável pelo transporte horizontal, ao longo da faixa terrestre costeira, das massas de ar com elevadas concentrações de

ozono que se formaram na zona de estagnação entre Sintra e a boca do estuário do Tejo. Depois do pôr do sol, os processos fotoquímicos cessam, a concentração do ozono decresce e a brisa do mar dá lugar à brisa da terra.

Em Lisboa, nas circulações de brisa marítima, a dimensão vertical destes processos de mesoescala é suave e não tem um papel determinante na dispersão dos poluentes. A circulação dominante em Lisboa consiste no transporte horizontal do O₃ em direcção a Sudeste à tarde (Barros et. al., 2003). Mais à frente apresentam-se, em resumo, alguns estudos realizados sobre o comportamento do ozono em Portugal, com especial incidência na região de LVT.

3.3 Fontes de emissão de precursores

Como já foi referido anteriormente o ozono é um poluente secundário, logo a sua formação depende de outros poluentes como os NO_x e COV, que são emitidos principalmente pela indústria e tráfego. Assim considerou-se importante a enumeração das principais indústrias da região bem como, as características do tráfego. As principais indústrias e via de tráfego encontram-se assinaladas na Figura 3.2.

As fontes estacionárias existentes em LVT contribuem para as concentrações dos precursores de ozono verificadas na região. De seguida apresentam-se algumas das indústrias mais importantes da região (baseado em dados da CCDR-LVT, 2006).

Existem três grandes unidades produtoras de electricidade na região de LVT, são elas: a Central do Ribatejo (nova Central do Carregado) e de Setúbal pertencentes à Energias de Portugal (EDP), e a central termo-eléctrica do Pêgo da TEJO Energia. Para além destas grandes unidades, é de assinalar ainda a presença da EDP do Barreiro, uma unidade de co-geração a fuel-óleo, que produz energia eléctrica e vapor. Em Alhandra é de realçar a existência da ENERGIN, uma unidade de co-geração a gás natural que iniciou a sua actividade em 2002. As indústrias de produção de electricidade e vapor são responsáveis pela emissão de poluentes atmosféricos, entre os quais NO_x, que são precursores de ozono.

A produção de cimento e clínquer também tem peso na emissão de precursores de ozono para a atmosfera pois para além das partículas, é também responsável pelas emissões provenientes do combustível usado no forno, que incluem a emissão de CO, COV e NO_x (precursores de ozono). Na região em estudo existem duas unidades de produção de clínquer, em Alhandra (pertencente à CIMPOR) e em Outão (pertencente à SECIL).

A produção de pasta de papel e papel está relacionada com a emissão de poluentes provenientes da queima nas caldeiras. Em Setúbal é de assinalar a presença da unidade de produção de papel via kraft (método ao sulfato) (PORTUCEL) e de uma unidade de produção via bissulfito em Constância

(Companhia de Celulose do Caima, SA). Regista-se ainda a presença de seis unidades de produção de papel e cartão. As unidades de produção de pasta de papel são responsáveis por emissões de combustão de SO_x, NO_x, COV e partículas, sendo que os COV e NO_x têm um papel essencial na formação de ozono troposférico.

Em relação á produção de química inorgânica de base e de fertilizantes assinala-se a presença de três unidades da Adubos de Portugal (ADP) em Alverca, Lavradio e Setúbal. Este tipo de indústrias é responsável pela emissão de uma grande variedade de poluentes atmosféricos, entre os quais o NO_x que tem especial interesse no âmbito deste trabalho visto que é um precursor de ozono.

Existem ainda fábricas de fosfato dicálcico e de Sulfato de Alumínio da QUIMITÉCNICA no Lavradio.

A Produção de detergentes na unidade da LEVER em Sacavém é responsável pelas emissões de combustão em caldeiras, torres de atomização e despoeiradores.

Realça-se ainda a existência de uma unidade industrial de produção de derivados de essências de Eucalipto, da terebentina e Aromáticos Sintéticos da SOCIDESTILDA, de duas unidades de produção de pesticidas: HERBEX e BAYER e uma unidade de produção de velas de estearina, PROMOL. Estas indústrias envolvem combustão em caldeiras e como tal são responsáveis pelas emissões de gases daí provenientes.

A VALORSUL, situada em S. João da Talha, tem um papel importante na incineração Resíduos Sólidos Urbanos e também contribui para a emissão de gases precursores.

Nesta região considera-se ainda relevante a presença de cinco unidades de produção de materiais de construção, duas unidades de cerâmica decorativa, uma unidade de produção de vidro.

Existem seis unidades de produção de rações para animais, três unidades de moagem e produção de farinhas e duas unidades de torrefação com emissões provenientes de geradores de vapor, caldeiras, arrefecedores, recepção do grão, limpeza, moagem, armazenamento, condicionamento térmico, granuladores, torrador, despacho e aspiração central.

Em relação á indústria metalúrgica existem, na região de LVT, 12 unidades, com actividades que compreendem a fusão de peças em aço, a produção de aço laminado, perfis e tubos, a extrusão de alumínio, a lacagem, a anodização, a soldadura e a produção de moldes. Considerou-se também a existência de unidades de fabrico de carroçarias metálicas, construção e a reparação naval.

Localizam-se nesta região três unidades de extracção e refinação de óleos alimentares. A IBEROL, a TAGOL e FIMA.

A produção de Tintas é outra actividade com relevância em termos de emissões atmosféricas. As emissões resultantes da produção de tintas provêm de cinco unidades.

Foram identificadas 17 unidades de produção gráfica e de Impressão. Este sector emite COVNM resultantes da libertação dos solventes contidos nas tintas.

Outras unidades consideradas como fontes pontuais individualizadas foram, uma unidade farmacêutica (caldeiras, secadores, forno de queimas e perdas de compostos orgânicos voláteis), uma unidade de refinação de açúcar (caldeiras), quatro unidades de processamento de polímeros, duas unidades de equipamentos eléctricos e duas unidades de produção de cabos eléctricos.

Em relação ao tráfego rodoviário existente na AML, Ferreira (2000) constatou que os transportes rodoviários são a maior fonte de poluição. Também Barros (1999) e Borrego *et al.* (2000) identificaram a poluição fotoquímica como um dos principais problemas de qualidade do ar em Lisboa e concluíram que está fortemente relacionado como as emissões de tráfego.

A Área Metropolitana de Lisboa, é constituída por 18 concelhos, possuindo estruturas rodoviárias de circulação importantes que apresentam um intenso fluxo de tráfego automóvel. Segundo as estimativas efectuadas a partir dos registos do IEP e da BRISA, no ano 2000, cerca de 622 mil veículos cruzavam diariamente as fronteiras de Lisboa nos 10 principais pontos de comunicação. A Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL) realizou várias campanhas sobre o parque automóvel de Lisboa e constatou que 85% dos veículos eram ligeiros de passageiros e que cerca de 95 % das viaturas tinham até 20 anos de idade sendo que aproximadamente 70% tinham menos de 10 anos. A gasolina é o combustível mais utilizado, sendo que cerca de 60% dos veículos utilizam este combustível e 39% utilizam gasóleo. As principais vias rodoviárias de acesso á cidade de Lisboa são: A01, A02, A05, A08, A09, A12, A15, EN10, EN117, IC19, CRIL-IC17, IC22, IC16, Marginal, EN3, IC2, EN10 e EN378 (assinaladas na Figura 3.1).

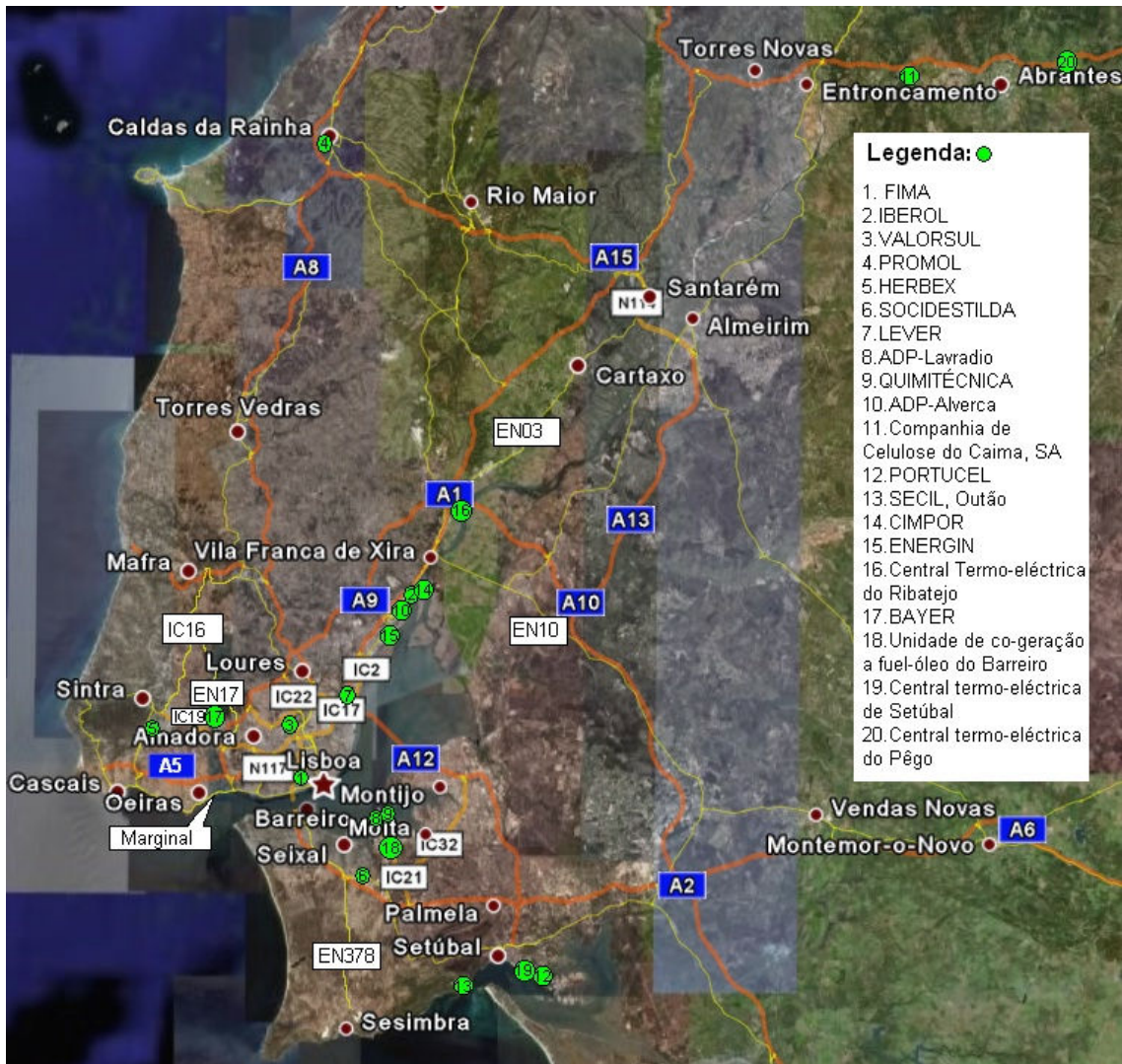


Figura 3.2 Principais indústrias e vias de tráfego da região de LVT.

4 Estudos já realizados para a região de Lisboa e Vale do Tejo

Como já foi referido anteriormente, Lisboa é o maior centro urbano do país e apresenta graves problemas de poluição de diferente natureza, tal facto faz com que a cidade se torne um interessante caso de estudo. Até ao momento já foram efectuados vários estudos sobre o ozono troposférico nesta região, alguns dos quais são descritos abaixo.

A campanha experimental LisbEx abrangeu a grande área de Lisboa, e consistiu em duas campanhas de verão em 1996 e 1997, dedicada á investigação dos efeitos da circulação no transporte de poluentes e na avaliação de modelos. O estudo foi realizado entre os dias 8 e 18 de Julho de 1996 e 1997 e integrou todas as estações de monitorização da zona em estudo existentes até á altura e também algumas estações móveis. Os resultados destas campanhas seguem os padrões esperados para esta zona. As concentrações mais elevadas foram registadas nas estações mais afastadas das fontes, o que seria de esperar visto que o ozono é degradado pelo NO_x, poluente característico de zonas com tráfego denso. O padrão diurno registado também é o perfil típico da formação de *smog* fotoquímico. Observações feitas na região de LVT demonstram que a área urbana é influenciada por um regime COV sensível, e NO_x sensível na área rural envolvente (Moussiopoulos *et al.*, 2003).

4.1 Previsão da qualidade do ar

O Instituto do Ambiente (IA), actual Agência Portuguesa (APA) tem vindo a promover o desenvolvimento de dois modelos de previsão da qualidade do ar. Um dos projectos, baseado em modelos estatísticos, tem sido desenvolvido com Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL) para a APA, em colaboração com o *South Coast Air Quality Management District*, com o apoio do Instituto de Meteorologia (IM), e das Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional. O Outro, baseado num modelo numérico determinístico, desenvolvido pelo Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro (UA), em colaboração com a *École Polytechnique de Paris*. Uma explicação mais detalhada dos dois modelos é apresentada de seguida.

A Universidade de Aveiro e a APA desenvolveram um sistema de previsão da qualidade do ar. A aplicação deste sistema, a Portugal Continental, foi iniciada durante o Verão de 2005, em fase experimental, permitindo fornecer e divulgar, através de uma página na *internet*, os níveis máximos esperados de ozono e óxidos de azoto, para o dia corrente e os dois dias seguintes. Os resultados são apresentados em forma de índice para cada poluente (de acordo com o índice de qualidade do ar - IQAr) com cinco cores, sendo que o vermelho corresponde á qualidade do ar má e o verde claro

correspondente a muito boa. A classificação de “Fraca” e “Má” qualidade do ar equivale, no caso do ozono, a ultrapassagens do limite de informação e alerta ao público, respectivamente. O sistema de previsão da qualidade do ar, seleccionado e desenvolvido, é um sistema de modelação numérico determinístico, que inclui informação meteorológica, de emissões e química para estimar a poluição atmosférica num tempo futuro. A avaliação do sistema de previsão, por comparação com os valores de concentração medidos, revelou um bom desempenho na estimativa dos picos de concentração e da sua evolução diária.

A FCT-UNL desenvolveu um modelo estatístico de previsão da qualidade do ar, também disponível ao público através da *internet* que utiliza o mesmo índice de qualidade do ar. No estudo de Neto *et al.* (2004) são apresentados os trabalhos que têm vindo a ser efectuados para atingir um conhecimento mais profundo da relação entre a qualidade do ar e a meteorologia na região de Lisboa, mais precisamente no que se refere ao ozono e às partículas de diâmetro inferior a 10 µm (PM10), incidindo fundamentalmente sobre o O₃. As simulações iniciais foram realizadas com base em cinco anos de dados (1998-2002) e incluíam algumas variáveis meteorológicas (dados da estação de Lisboa, Gago Coutinho) e concentrações de poluentes medidos nas estações da rede de qualidade do ar. Obtiveram-se modelos de regressão linear múltipla para algumas estações em diferentes períodos do ano. Posteriormente o período de dados utilizado foi diminuído para dois anos (2001-2002) e foram acrescentadas algumas variáveis. O objectivo final, desse estudo é a previsão da qualidade do ar usando métodos estatísticos (análise de regressão linear múltipla (RLM) e regressão em árvore (CART)). Desta análise resultou numa melhor compreensão de cada uma das situações meteorológicas e de qualidade do ar, permitindo, já nesta fase, uma previsão com considerável fiabilidade em muitos dos cenários identificados. Noutro estudo de Ferreira *et al.* (2004), realizado pela mesma equipa, foram efectuadas várias campanhas com tubos de difusão, com o objectivo de complementar as estações de monitorização e de analisar os padrões de distribuição sobre diferentes condições meteorológicas. Foram realizadas duas campanhas a nível nacional e duas a nível regional durante uma semana. Simultaneamente foram utilizados cinco anos de dados da rede oficial de monitorização de qualidade do ar para estabelecer relações com vários parâmetros meteorológicos. O estudo recaiu, principalmente, na interpretação dos picos de ozono, tendo para tal sido efectuadas várias análises estatísticas. Os resultados da monitorização passiva demonstram que nas zonas longe do litoral, onde não há rede de monitorização, os valores de ozono são muito elevados. Os resultados da análise estatística efectuada, para a região de Lisboa, demonstraram correlações muito fortes entre a temperatura e os níveis de ozono. Dando continuidade aos trabalhos que tinham vindo a ser realizados foi apresentado outro estudo (Neto *et al.*, 2005a), que apresentou mais uma abordagem estatística baseada numa análise detalhada dos aspectos meteorológicos e de qualidade do ar. Este

estudo veio no seguimento do anterior cujo objectivo final é o desenvolvimento de uma previsão diária da qualidade do ar, baseada nos poluentes ozono e PM10, para a região de Lisboa. Foi usada a mesma série de dados e a mesma abordagem estatística baseada em RLM e CART e os resultados mostraram uma boa capacidade de previsão das concentrações médias diárias para as PM10 e para as médias máximas horárias de ozono para o dia seguinte. No seguimento destes estudos, no mesmo ano foi apresentado mais um estudo (Neto *et al.*, 2005b), baseado na utilização de modelos de regressão linear múltipla desenvolvidos no quadro duma estrutura em árvore, que revelou resultados muito satisfatórios. A variância explicada pelos modelos é superior a 72%, permitindo a sua aplicação em termos de previsão. A aplicação dos modelos num período de tempo diferente do usado para o estabelecimento das regressões revelou correlações inferiores, no entanto suficientemente significativas para demonstrar a robustez da metodologia aplicada. Um estudo final, (Neto *et al.*, 2005c) conclui que o uso de modelos estatísticos baseados na análise de RLM e CART são capazes de prever com sucesso as médias horárias de PM10 e as médias máximas horárias de ozono, constatou também que os modelos permitem uma melhor compreensão do papel das várias variáveis e das suas relações.

5 Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho, foi baseada em métodos estatísticos de previsão. Esta metodologia foi aplicada às estações de monitorização da qualidade do ar da região de LVT. Para tal foi escolhida uma série de dados horários que pudesse ser representativa do comportamento das concentrações de ozono. As variáveis utilizadas foram seleccionadas com base em relações de causalidade com as concentrações de ozono. A descrição pormenorizada da metodologia será apresentada nos subcapítulos seguintes.

5.1 Rede de monitorização de qualidade do ar da região de Lisboa e Vale do Tejo.

A rede de monitorização de qualidade do ar da região de Lisboa e Vale do Tejo é gerida pela CCDR-LVT e permite acompanhar permanentemente as concentrações de diferentes poluentes atmosféricos.

A Região de LVT é constituída por cinco zonas e três *aglomerações* por onde se distribuem as diferentes tipologias de estações. As aglomerações constituintes da região são a Área Metropolitana de Lisboa Norte (AML Norte), a Área Metropolitana de Lisboa Sul (AML Sul) e Setúbal que pertencem á assim designada Área Metropolitana de Lisboa (AML) (área assinalada na Figura 5.1).

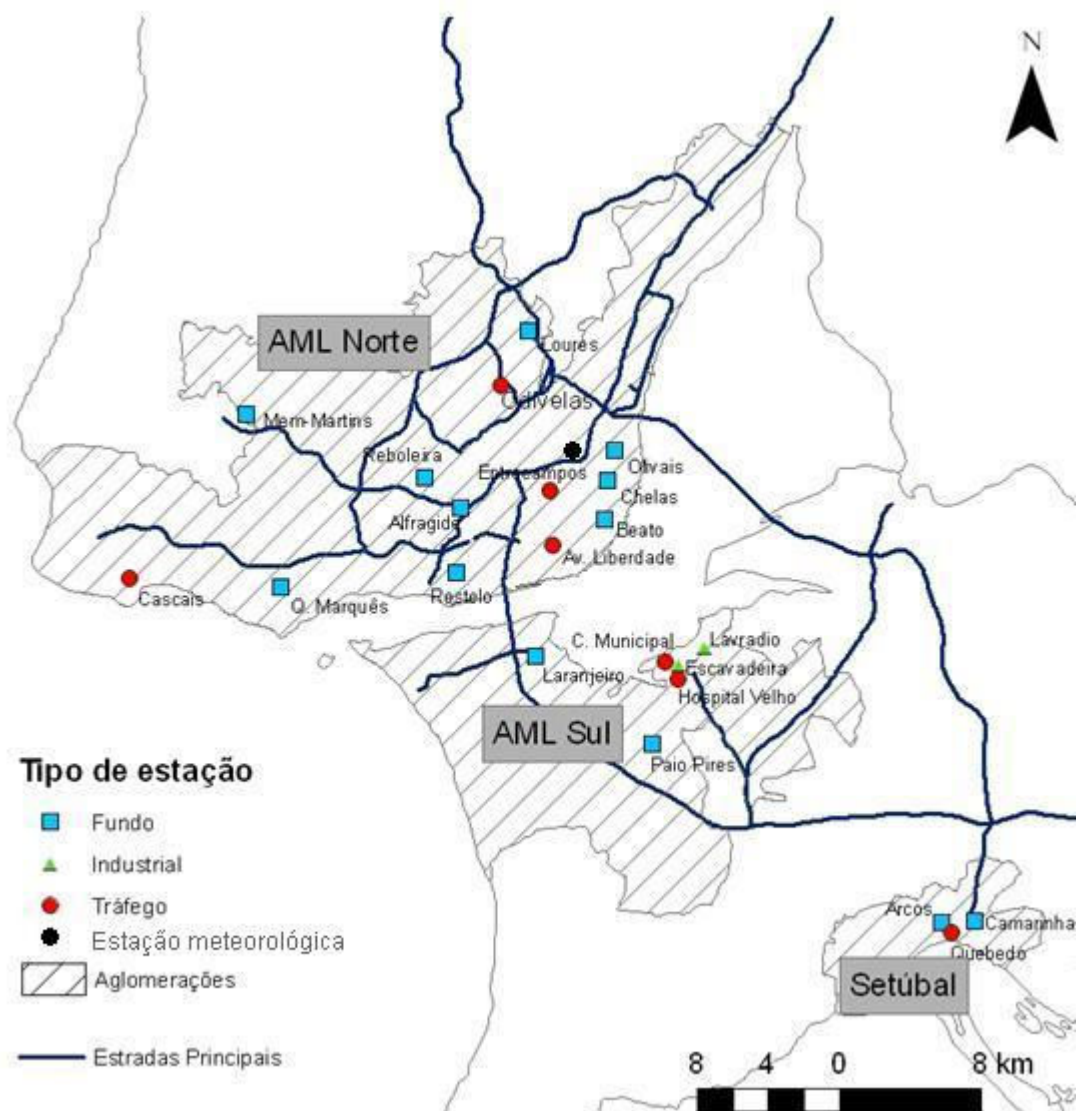


Figura 5.1 Distribuição das estações de monitorização da qualidade do ar nas aglomerações da área da CCDR-LVT. Retirado de CCDR-LVT, 2006.

A aglomeração da AML Norte inclui nove estações de fundo e cinco de tráfego; na aglomeração da AML Sul existem duas estações de tráfego, duas industriais e duas de fundo; a aglomeração de Setúbal dispõe de três estações a operar desde 2002, sendo que duas são de fundo e uma é de tráfego.

Para além das estações representadas na Figura 5.1 existe ainda a estação da Chamusca, pertencente à zona de Vale do Tejo e Oeste. Esta é uma estação de fundo rural regional que se encontra a mais de 10 km das principais fontes de emissão. Permite avaliar a exposição da população à poluição atmosférica de fundo, particularmente à poluição fotoquímica à escala regional.

As redes de monitorização encontram-se geograficamente associadas à existência de grande fontes poluidoras (centrais térmicas, cimenteiras, indústria química, etc.) ou a grandes centros urbanos e industriais (Serpa, 2003). Esta distribuição desequilibrada das estações de monitorização pode limitar as conclusões dos estudos efectuados visto que uma estação pode servir áreas de dimensões muito

variadas. No que diz respeito ao ozono, poluente de fundo, só existe uma estação rural de fundo, a estação da Chamusca. Para uma melhor compreensão do comportamento espacial do ozono seria desejável uma distribuição mais justa.

Neste trabalho apenas foram analisadas as estações da região de LVT que monitorizam ozono troposférico, que ao todo constituem 18 estações. Estas encontram-se na Tabela 5.1, bem como a data de entrada em funcionamento.

Tabela 5.1 Tipologia e data de entrada em funcionamento das estações de LVT.

Zona	Estação	Tipo de estação		Data de entrada em funcionamento
		Ambiente	Influência	
Vale do Tejo e Oeste	Chamusca	Rural	Fundo	1-11-2002
AML Norte	Alfragide/Amadora	Urbana	Fundo	01-01-1998
	Reboleira	Urbana	Fundo	06-02-2001
	Beato	Urbana	Fundo	13-09-1998
	Entrecampos	Urbana	Tráfego	01-03-1992
	Olivais	Urbana	Fundo	26-02-2002
	Restelo	Urbana	Fundo	14-02-2002
	Loures	Urbana	Fundo	1-6-2001
	Odivelas	Urbana	Tráfego	1-12-2003
	Quinta do Marquês	Urbana	Fundo	1-9-2002
	Mem-Martins	Urbana	Fundo	19-10-2002
AML Sul	Laranjeiro	Urbana	Fundo	12-1-2001
	Escavadeira	Urbana	Industrial	1-9-2001
	Hospital Velho	Urbana	Tráfego	01-05-1988 (encerrou a 22-01-2007)
	Lavradio	Urbana	Industrial	01-11-1998 (deixou de monitorizar ozono a 31-12-2001)
Setúbal	Paio Pires	Suburbana	Fundo	01-09-2000
	Arcos	Urbana	Fundo	5-4-2002
	Camarinha	Urbana	Fundo	1-10-2002

A estação de Hospital Velho encerrou e em sua substituição entrou em funcionamento outra estação em Alto Seixalinho no dia 02-02-2007.

Para além das medições de ozono foram também utilizados os dados horários de NO e NO₂ das estações descritas, visto que estes são precursores de ozono.

Dado que a formação do ozono depende das condições meteorológicas, foram utilizados dados da estação meteorológica de Lisboa, situada na Avenida Gago Coutinho, pertencente ao Instituto do Ambiente (Figura 5.1).

5.2 Amostra de dados

Para este trabalho seleccionou-se uma série de dados correspondentes a seis anos, relativos ao período de 2000 a 2005 para a fase de treino. Na fase de validação, na previsão horária, foi utilizada uma série de 30 dados, escolhidos aleatoriamente entre Abril e Setembro, no ano de 2006.

As concentrações do ozono troposférico apresentam um comportamento sazonal ao longo do ano, sendo os níveis de ozono mais elevados registados no Verão. A amostra de dados foi reduzida para um período de seis meses, que compreende os meses de Abril a Setembro de cada ano. Estes foram os meses em que se verificava pelo menos uma excedência ao valor $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Eder *et al.* (2005) considera estes meses como a “época do O_3 ” e utiliza o mesmo período temporal no seu estudo. Este é também o período temporal usado por Gabusi *et al.* (2002) e pela AEA nos relatórios técnicos de poluição do ar por ozono.

Estes são os meses em que as concentrações de ozono atingem valores mais preocupantes, pois as condições meteorológicas são mais favoráveis á formação de ozono troposférico.

5.2.1 Eficiência das estações

Foi calculada a eficiência da medição do ozono de cada um das estações, em relação ao período de funcionamento e ao período temporal do estudo. Para o cálculo da eficiência em relação ao período de funcionamento, contabilizou-se o número de horas desde a entrada em funcionamento da estação até ao final da série de dados do período de treino (31-12-2005). A eficiência em relação ao período de estudo foi calculada contabilizando o número de horas do intervalo temporal de 2000-2005. As fórmulas de cálculo das eficiências respeitantes ao período de funcionamento (PF) e ao período de estudo (PE) são as seguintes:

$$Eficiência_{pf} = \frac{N^\circ \text{ de valores horários registados}}{N^\circ \text{ de horas desde a entrada em funcionamento}} \times 100 \quad (5.1)$$

$$Eficiência_{pe} = \frac{N^\circ \text{ de valores horários registados}}{N^\circ \text{ de horas desde o ano 2000}} \times 100 \quad (5.2)$$

As eficiências por estação são apresentadas na Tabela 5.2. A estação do Lavradio foi excluída deste estudo visto que deixou de monitorizar ozono no final de 2001 e que a série de dados válidos é muito pequena. O número de estações utilizadas no estudo passou assim a ser 17.

A estação de Hospital Velho encerrou no ano de 2007 deste modo a previsão horária futura não pode ser comparável com dados reais, excepto através de campanhas móveis. No entanto, esta estação não foi excluída do estudo porque a estação foi encerrada durante a realização deste trabalho. Contudo, a previsão do ozono em Hospital Velho é mais um factor que pode ajudar na compreensão do comportamento do ozono na região de LVT.

Tabela 5.2 Eficiência das estações.

Estação	Eficiência das estações (em relação ao período de funcionamento)	Eficiência das estações (em relação ao período do estudo)
Chamusca	98.3	51.88
Alfragide/Amadora	94.66	78.86
Reboleira	97.65	65.09
Beato	98.52	98.52
Entrecampos	72.68	72.68
Olivais	98.16	62.92
Restelo	93.09	60.18
Loures	97.74	65.14
Odivelas	93.53	31.19
Quinta do Marquês	99.76	55.43
Mem-Martins	98.33	53.2
Laranjeiro	82.48	68.15
Escavadeira	93.89	62.29
Hospital Velho	95.89	95.89
Lavradio	29.45	29.45
Paio Pires	93.09	84.27
Arcos	96.83	58.33
Camarinha	59.63	31.11

5.3 Seleção de variáveis

Como foi referido anteriormente a formação do ozono resulta de interacções complexas entre os seus precursores e condições meteorológicas. Posto isto, seleccionaram-se as variáveis de entrada com base na coerência das relações físicas e químicas entre estas e o ozono. Assim foram utilizadas como variáveis de entrada os dados horários das concentrações NO e NO₂ de cada estação, visto que são precursores de ozono. Situações de radiação solar muito intensa, atmosfera muito estável e temperatura do ar elevada são propícias á formação de ozono assim foram incluídas nas variáveis de entrada os valores horários de temperatura do ar, da humidade relativa, da direcção e velocidade do

vento e da radiação solar. Na Tabela 5.3 encontram-se discriminadas com mais detalhe as variáveis introduzidas.

Tabela 5.3 Variáveis meteorológicas.

Abreviatura	Descrição
T_INST	Temperatura instantânea do ar a 1,5m
T_MED	Temperatura média do ar a 1,5m
T_MAX	Temperatura máxima do ar a 1,5m
T_MIN	Temperatura mínima do ar a 1,5m
HR_INS	Humidade relativa instantânea
HR_MED	Humidade relativa média
HR_MAX	Humidade relativa máxima
HR_MIN	Humidade relativa mínima
DD_INS	Rumo do vento nos últimos 10 minutos
DD_PRE	Rumo predominante do vento
DD_FFX	Rumo do vento máximo
FF_INS	Intensidade do vento nos últimos 10 minutos
FF_MED	Intensidade média do vento
FF_MAX	Intensidade máxima instantânea do vento
RAD	Radiação (Kj/m ²)

5.3.1 Cálculo de variáveis auxiliares

Com o objectivo de melhorar a compreensão do comportamento do ozono na região em estudo, foram elaboradas novas variáveis que pudessem vir a trazer uma mais-valia á análise das concentrações de ozono. Na fase de análise através do CART, na tentativa de prever as concentrações instantaneamente, foi experimentada a introdução, para além das variáveis já referidas, da variação horária das variáveis, isto é a diferença entre a variável à hora x e à hora $x-1$. A variação horária é importante pois é uma medida da velocidade de alteração das variáveis. Foram construídas séries de dados com a variação horária das variáveis meteorológicas. A diferença horária não foi utilizada na análise espacial visto que o objectivo era prever instantaneamente o ozono e para o cálculo da diferença é necessária a concentração instantânea. Foram também incluídas as concentrações de ozono, e de NO_x do dia anterior.

Na tentativa de previsão antecipada de excedências através do CART, foram incluídas as variáveis acima descritas mas referentes a horas específicas anteriores á hora das excedências. Isto é, as excedências registadas à hora x eram previstas com base nas variáveis meteorológicas a todas as horas até à hora $x-1$ da primeira excedência registada. No entanto como será explicado mais à frente, esta abordagem foi abandonada.

Para a previsão através dos modelos de regressão linear, escolheu-se um período horário de previsão, explicado com detalhe no ponto 5.7, e para cada hora de previsão foram consideradas todas as variáveis das 08:00 às 11:00 horas UTC e as várias diferenças horárias das 08:00 às 11:00 horas UTC. As diferenças horárias fornecem informação sobre a taxa de formação de ozono nas diferentes estações e sobre a evolução das variáveis meteorológicas. Calculou-se, também, para esta análise a média e máxima horária das concentrações de ozono do dia anterior.

5.4 Definição do valor de excedência

A análise da Tabela 5.4 revela um número muito reduzido de excedências do Limiar de informação ao público. Visto que o número era muito reduzido, em comparação com os dados utilizados, estabeleceu-se como excedência o valor de 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 5.4 Informação sobre os dados do período de estudo (2000-2005).

Estação	Excedência			
	Linf	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Média	Desvio Padrão
Paio Pires	43	93	44.01	30.68
Entrecampos	0	5	35.59	25.40
Beato	21	85	49.92	29.27
Hospital Velho	25	60	37.67	26.75
Laranjeiro	6	31	45.26	27.57
Alfragide/Amadora	13	39	54.11	30.09
Reboleira	18	52	54.78	29.50
Mem-Martins	23	107	65.61	27.80
Chamusca	106	223	70.51	27.91
Escavadeira	17	45	45.18	27.93
Quinta do Marquês	12	47	59.27	28.06
Loures	23	73	51.00	31.30
Camarinha	20	67	60.77	29.72
Restelo	18	43	55.14	28.30
Olivais	11	47	47.76	30.02
Arcos	39	95	58.13	31.19
Odivelas	6	25	55.38	29.02

5.5 Análise das relações entre as concentrações de ozono das diferentes estações

Para uma melhor compreensão do comportamento espacial do ozono na região de LVT, bem como um melhor conhecimento das relações entre as concentrações nas diferentes estações de monitorização foram utilizadas matrizes de correlações de Pearson. Elaboraram-se matrizes de correlação com os dados horários de ozono, as máximas e médias diárias e a frequência de

excedências. Os dados horários fornecem informação acerca das relações entre os perfis de comportamento horário das estações. As médias diárias proporcionam conhecimento acerca de relações entre os valores médios diários das diferentes estações. As máximas diárias apresentam informação sobre a relação entre os valores dos picos diários de ozono. A frequência de excedência pode ser útil na percepção sobre a relação de simultaneidade de ocorrência de episódios de excedência.

Para tal foram calculados os máximos diários de ozono, as médias diárias e a frequência de excedências. Para os máximos diários, médias diárias e dados horários de ozono as correlações foram calculadas para dois períodos de tempo diferentes. O período de estudo completo é a considerada época do ozono, que compreende apenas os meses de Abril a Setembro. No caso da frequência de excedências, foram introduzidos os dados horários em que ocorreu pelo menos uma excedência numa estação, a ocorrência de excedência foi assinalada como um e a não ocorrência como zero.

O coeficiente de correlação de Pearson mede associações lineares, varia entre -1 e 1 e é independente das escalas em que as variáveis se apresentam. Uma correlação de zero significa que nenhuma das variáveis pode ser prevista usando a outra através de um equação linear, uma correlação de um indica que as variáveis podem ser perfeitamente previstas através de uma função linear, uma correlação de -1 significa o mesmo mas neste caso o declive da função será negativo. A equação do coeficiente de correlação de Pearson (r) é a seguinte (Lohninger, 1999):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5.3)$$

Para o cálculo das matrizes de correlação foi utilizado o programa SPSS 15.0 (sigla inglesa para *Statistical Package for the Social Sciences*). Foi seleccionado o modo de exclusão *pairwise*, em que os dados das diferentes variáveis são analisados par a par. Deste modo, foi utilizado o maior número de dados possíveis para o cálculo do r . No cálculo do teste de significância foi utilizado o modo *two-tailed*, porque a direcção da correlação era desconhecida. Os valores cujo resultado do teste de significância era superior a 0.05 foram ignorados do estudo.

5.6 Avaliação instantânea dos níveis de ozono

Na segunda fase deste trabalho foram utilizadas árvores de regressão linear (CART). Para tal utilizou-se programa de estatística SYSTAT 12. As árvores de regressão tornaram-se populares alternativas à regressão, análise discriminante e outros procedimentos baseados em modelos algébricos, nas últimas duas décadas.

Foram utilizadas árvores de regressão binárias, estas começam com um nó e vão-se dividindo em dois ramos cada um com outro nó que se divide novamente em dois e assim sucessivamente. Cada nó representa um conjunto de dados com uma determinada característica comum. O CART utiliza um algoritmo que funciona por divisão passo-a-passo. Este começa no primeiro grupo de dados analisa todos os n dados do preditor e todas as $n-1$ possibilidades de dividir o grupo em dois. Para cada possibilidade calcula dentro do grupo de dados a soma dos quadrados das diferenças relativamente média do grupo da variável dependente, e de todas as possibilidades escolhe a que melhor representa a contribuição do preditor. Repete este procedimento para todos os preditores e escolhe o preditor com a menor soma de quadrados. A divisão continua até que os dados em cada grupo sejam suficientemente uniformes (EPA, 1999).

A leitura da árvore efectua-se verificando todas as condições por ramificação até se chegar o último ramo. A leitura começa na primeira ramificação, se o valor da variável que está descrita na ramificação satisfizer a condição então a leitura segue por esse ramo, caso contrário segue pelo outro ramo. Este procedimento repete-se até ao último ramo da árvore.

Este método de previsão foi também utilizado pela EPA e por Neto *et al.* (2005a, 2005b, 2005c). Utilizaram-se as árvores de regressão para uma compreensão mais completa das variáveis que melhor descrevem as concentrações de ozono para cada estação. Para a análise no CART os dados foram organizados separando a análise espacial, relativa às concentrações de ozono registadas em cada estação, e análise meteorológica e de precursores, que inclui os dados de NO e NO₂ e todos os dados meteorológicos horários dos dias de excedência. Foram construídas as árvores de regressão linear com os dados horários dos dias de excedências e apenas com os dados das 09:00 às 18:00 horas UTC dos mesmos dias de excedência porque equivalem às horas de maior radiação solar global (Figura 5.2).

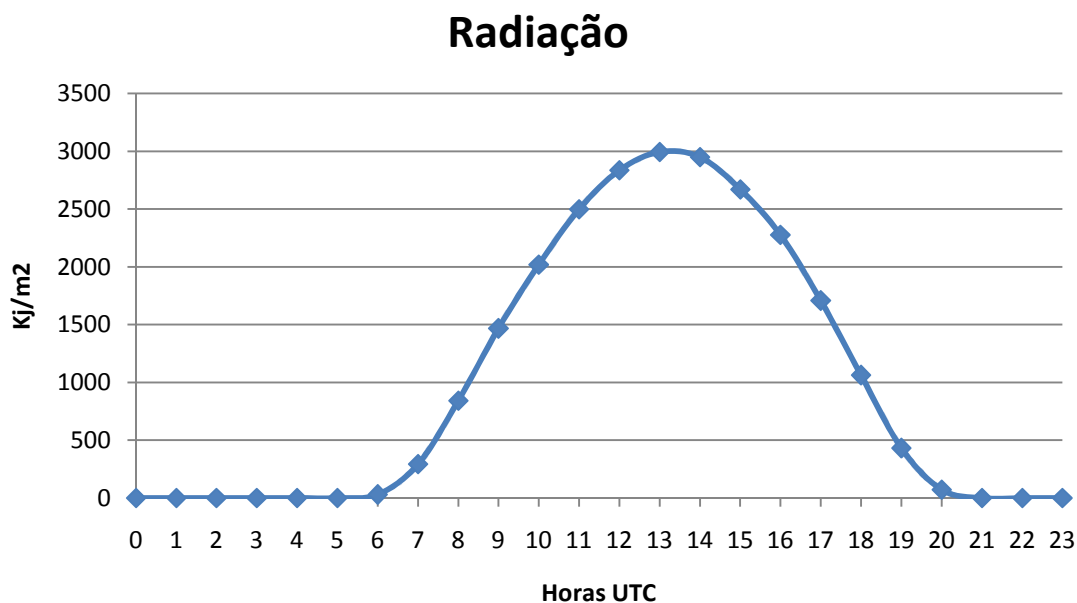


Figura 5.2 Média da radiação solar global das estações de ozono do período de estudo.

Os resultados foram analisados de acordo com o PRE (sigla inglesa para *Proportion of Reduction in Error*, Redução proporcional do erro) e o desvio padrão tendo em conta o número de dados utilizados para a construção das árvores.

O CART elimina os dados de modo *Listwise*, o que significa que basta que uma das variáveis falhe um valor para que a linha de valores dessa observação seja eliminada. Foram eliminadas variáveis de entrada que obrigavam à eliminação de muitos dados, tentou-se que a construção das árvores se baseasse pelo menos em 100 observações. O objectivo de aplicação desta metodologia foi poder prever ultrapassagens do nível estabelecido acima como excedência, isto é sendo as variáveis predictoras de cada uma das árvores conhecidas nesse instante é possível prever a ocorrência de excedência nesse momento e compreender melhor quais são as variáveis mais determinantes na ocorrência de excedências, nas diferentes estações.

O ajustamento da árvore é descrito pelo PRE que é equivalente ao coeficiente de determinação (R^2). Com o objectivo de abrir um pouco mais a árvore para encontrar mais preditores, novas relações entre as variáveis e encontrar pelo menos um ramo que definisse uma situação de ultrapassagem do valor de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, foram feitas várias experiências diminuindo o PRE mínimo permitido para cada divisão da árvore e o índice mínimo de divisão. O valor mais baixo das restrições de abertura da árvore foi de 0.01 para o PRE mínimo permitido para cada divisão da árvore, de 0.01 para o índice mínimo de divisão e 5 para o número mínimo de dados permitidos no final de cada ramo, o que permitiu mais divisões e como tal mais variáveis foram implicadas.

As árvores de regressão foram também exploradas com o objectivo de antevição de excedências. Para tal, foram organizados os dados das excedências em função de várias variáveis a horas

anteriores á da excedência. No entanto o baixo número de excedências e o elevado número de valores não existentes nas séries de dados não permite á ferramenta CART computar as árvores de regressão. Mesmo com o nível de excedência em $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para obter mais horas de excedências o problema persistiu. Posto isto, este método foi abandonado.

5.7 Previsão horária

Para resolver o problema do escasso número de excedências e valores não existentes, foi definido um intervalo horário específico para previsão do ozono. Estas horas foram definidas de acordo com a frequência de excedências. Assim utilizaram-se todos os dados de Abril a Setembro do período de estudo e não apenas os dados dos dias de excedências.

O princípio geral foi encontrar um modelo de previsão para as horas do dia mais problemáticas em termos de excedências com base nos dados da manhã desse mesmo dia.

Assim, foram contabilizadas as excedências da série de dados do período de estudo, para cada hora, verificou-se que o intervalo de horas com um maior número de excedências era o período das 13:00 as 17:00 horas UTC (Figura 5.3), que corresponde em horário de Verão português ao período de tempo das 14.00 até as 18:00 horas. Sendo que este intervalo de tempo corresponde a 70.70% das excedências ao valor de $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ e a 75.25% das excedências ao limiar de informação (Linf) ao público, como se pode verificar através da Figura 5.3. Note-se que estas são também as horas que apresentam mais de 100 excedências do valor $160\mu\text{g}/\text{m}^3$. Períodos parecidos foram encontrados para Sevilha, em Espanha, por Adame *et al.* (2007), que verificou que como a formação fotoquímica é mais eficiente cerca de uma a duas horas depois do máximo da radiação solar as concentrações de ozono são mais elevadas nestas horas. Como a previsão começa às 13:00 horas, estabeleceu-se duas horas como tempo para a previsão e foram utilizados para a construção dos modelos os dados entre as 08:00 e 11:00 horas UTC.

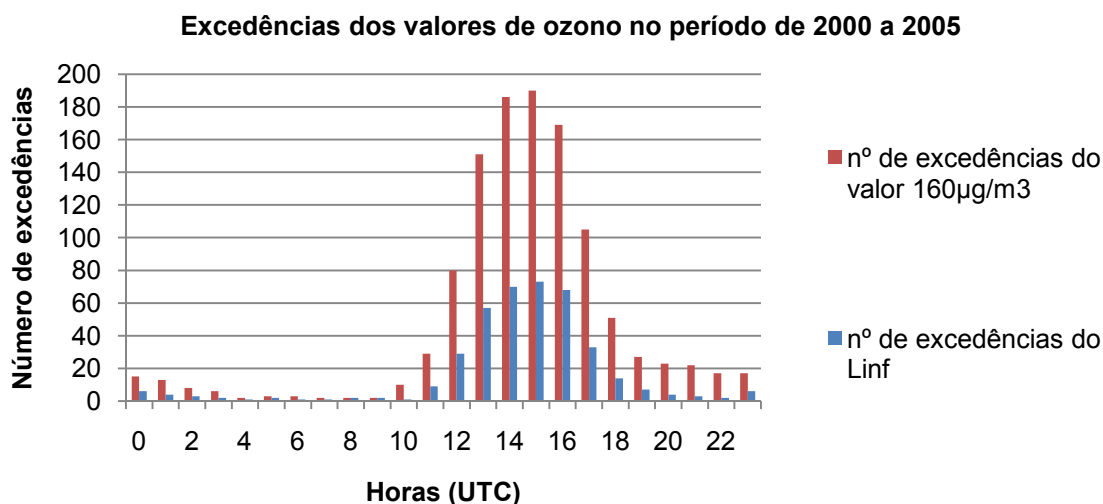


Figura 5.3 Excedências dos valores de ozono no período de 2000 a 2005.

Para poder prever o ozono a cada uma das horas específicas foram utilizados modelos de regressão linear, em que a variável dependente era o ozono a cada uma das horas de previsão e as variáveis independentes eram colocadas em função de um intervalo horário anterior às horas usadas para previsão. Assim, foram introduzidas todas as variáveis das 08:00 às 11:00 horas UTC e as várias diferenças horárias das 08:00 às 11:00 horas UTC. Estas diferenças horárias são importantes pois fornecem informação sobre a evolução temporal das variáveis.

Não foram elaborados modelos para a estação de Entrecampos visto que nos seis anos do período de estudo apenas em três dias se verificaram excedências do valor de 160µg/m³ e nenhuma ao limiar de informação ao público.

A existência de um elevado número de variáveis de entrada, levou à realização de uma análise de componentes principais, método também utilizado por Ferreira *et al.* (2004) e Sousa *et al.* (2005 e 2007). Foi utilizada uma matriz de correlação visto que as variáveis não têm as mesmas unidades e ordens de grandeza. No entanto, este procedimento revelou-se inconclusivo visto que não foi possível definir grupos de variáveis.

A regressão linear múltipla é um método estatístico que pode ser utilizado para prever concentrações locais de ozono troposférico. Este método foi já usado por Abdollahian *et al.* (2005) e por Sousa *et al.*, (2006a 2006b) nos seus estudos sobre previsão de concentrações dos níveis de ozono na cidade do Porto. A análise de regressão linear é um dos métodos mais usados para descobrir relações entre variáveis e construir modelos matemáticos a partir de dados observados (Abdollahian *et al.*, 2005). O objectivo deste método é prever ou descrever a variável dependente em função de um determinado número de variáveis independentes.

A variável dependente (y) pode relacionar-se com k variáveis independentes. A equação geral de um modelo de regressão linear múltipla é a seguinte:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \epsilon_i \quad (5.4)$$

Em que o β representa os coeficientes de regressão e ϵ o erro aleatório. Para a estimação dos parâmetros do modelo assume-se que os termos do erro (ϵ_i) sejam normalmente e independentemente distribuídos tenham média igual a zero e variância σ^2 (Montgomery *et. al.*, 2003).

A previsão horária recorrendo à RLM foi dividida em duas fases, a fase de treino e fase de validação, descritas nos subcapítulos seguintes com mais detalhe.

5.7.1 Fase de treino

A análise de regressão linear foi efectuada com a ajuda do programa SPSS. De seguida apresentam-se os parâmetros que foram calculados.

Os vector $\hat{\beta}$ dos declives ($\hat{\beta}_i$) e da constante ($\hat{\beta}_0$) dos modelos de regressão linear múltipla foi calculado através da seguinte equação, que resulta da minimização do ϵ_i^2 (Montgomery *et. al.*, 2003).

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (5.5),$$

Em que \mathbf{X} é a matriz dos x_{ik} (com x_{i0} igual a um para qualquer i) e \mathbf{X}' é a respectiva matriz transposta.

Os erros padrão da constante (β_0) e dos declives (β_i) foram estimados, respectivamente, da seguinte forma (Montgomery *et. al.*, 2003):

$$se(\hat{\beta}_j) = \sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}} \quad j=0,1,2,\dots,k \quad (5.6),$$

onde C_{jj} são os elementos diagonais da matriz $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$.

O erro padrão estimado é uma medida útil da precisão da estimação dos coeficientes de regressão. Para uma melhor avaliação da qualidade de previsão do modelo o R^2 foi analisado em conjunto com o erro padrão estimado.

Foi efectuada o teste aos valores estimados da constante e dos declives para analisar a sua significância.

Foi testada a hipótese nula do β_j ser igual a zero. Neste teste, não rejeitar a hipótese nula significa que a variável pode ser eliminada do modelo.

$$H_0: \beta_j = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0$$

Foi realizado o teste à hipótese nula através do cálculo do teste- t :

$$t_0 = \frac{\hat{\beta}_j}{se(\hat{\beta}_j)} \quad (5.7),$$

em que $se(\hat{\beta}_j)$ é o desvio padrão dos $\hat{\beta}_j$. Rejeitou-se a hipótese nula, ou seja considerou-se que a variável era útil para o modelo, quando os valores de t_0 se situassem fora do intervalo $]-2;2[$, que corresponde a um nível de significância $\alpha=0.05$, isto é, rejeita-se a hipótese nula se $|t_0| > t_{0.05/2, n-p}$, em que $t_{0.05/2, n-p}$ é um valor tabelado. No entanto, a significância dos testes foi avaliada através do valor do P . O valor do P é a probabilidade do teste estatístico tomar um valor que é no mínimo tão extremo quanto o valor observado para a estatística, quando a hipótese nula é verdadeira. Assim o valor de P fornece muita informação sobre o peso das evidências contra a hipótese nula. Por definição o valor de P é o nível de significância mínimo que levaria à rejeição da hipótese nula, ou por outras palavras será o nível mais baixo de α a que os dados continuariam a ser significativos (Montgomery *et. al.*, 2003).

O valor de P calcula-se da seguinte forma:

$$2[1-\Phi(|z_0|)] \quad (5.8),$$

para um teste *two-tailed*, em que $\Phi(z_0)$ é a função de distribuição normal cumulativa

Foi rejeitada a hipótese nula sempre que o valor de P era inferior a 0.05. Ou seja, rejeitaram-se todas as variáveis que apresentem um valor de P superior a 0.05.

Não rejeitar a hipótese nula é equivalente a concluir que a variável associada ao declive β_j não está linearmente relacionada com a variável dependente (Montgomery *et. al.*, 2003).

Mesmo nos casos em que o valor de P foi superior a 0.05 para a constante, esta foi incluída na equação dos modelos. Segundo Montgomery *et. al.* (2003) é comum na utilização de regressões lineares múltiplas que os declives estimados sejam mais precisos do que a constante.

Para além destes testes, foi efectuado o teste da significância da regressão. Este teste determina se existe uma relação linear entre a variável dependente e o subconjunto de variáveis (x_1, x_2, \dots, x_k) .

A significância da regressão é normalmente apresentada sob a forma de uma tabela de análise de variância (ANOVA). A ANOVA pode ser identificada como sendo a soma dos quadrados total corrigida (SS_T) representada na equação seguinte (Montgomery *et. al.*, 2003):

$$SS_T = SS_R + SS_E \quad (5.9),$$

sendo que SS_R é a soma dos quadrados da regressão e SS_E é a soma dos quadrados do erro, respectivamente. A SS_T tem $n-1$ graus de liberdade, SS_R tem k e a SS_E tem $n-p$ (sendo p o número de parâmetros da regressão). As somas dos quadrados a dividir pelo número de graus de liberdade é igual à média dos quadrados. Assim MS_R e MS_E são a média dos quadrados da regressão e do erro, respectivamente (Montgomery *et. al.*, 2003).

Foi testada a hipótese nula, contra a hipótese não nula.

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0, \text{ para pelo menos um } j.$$

A rejeição de H_0 implica que pelo menos uma das variáveis x contribui significativamente para o modelo.

O teste estatístico para a hipótese nula calcula-se da seguinte forma (Montgomery *et. al.*, 2003):

$$f_0 = \frac{\frac{SS_R}{k}}{\frac{SS_E}{(n-p)}} = \frac{MS_R}{MS_E} \quad (5.10)$$

Rejeita-se H_0 se $|f_0| > f_{0.05, k, n-p}$, em que $f_{0.05, k, n-p}$ se encontra tabelado. No entanto utilizou-se o valor P para testar a hipótese nula. Rejeita-se a hipótese nula se o valor de P for inferior a 0.05.

Foram calculados índices de performance dos modelos. A descrição detalhada dos índices será explicada de seguida.

O coeficiente de determinação (R^2) (ver (5.11)) é normalmente usado para julgar a adequabilidade do modelo de regressão. O R^2 varia de zero a um e aumenta sempre que se adiciona mais uma variável ao modelo, o que não significa que o modelo melhore. Só significará se a soma dos quadrados dos erros do novo modelo for reduzida para uma quantidade igual à média dos quadrados dos erros, caso contrário o novo modelo terá uma média dos quadrados dos erros maior do que o antigo por causa da perda de um grau de liberdade nos erros. Um valor de R^2 elevado não significa que será bom a prever, por isso é necessário analisar outros parâmetros (Montgomery *et. al.*, 2003).

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \quad (5.11)$$

Visto que o R^2 aumenta sempre com a adição de uma variável, analisou-se também o R^2 ajustado (R_{adj}^2) (5.12).

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{\frac{SSE}{(n-p)}}{\frac{SST}{(n-1)}} \quad (5.12)$$

Como o numerador é a média dos quadrados do erro e o denominador é uma constante, o R_{adj}^2 só irá aumentar se a nova variável reduzir a média dos quadrados do erro. O R_{adj}^2 é útil para evitar problemas de *overfitting*, isto é a inclusão de variáveis que não são úteis (Montgomery *et. al.*, 2003).

Como já foi referido assume-se que os erros são aleatórios e comportam-se como variáveis aleatórias não correlacionadas com média de zero e variância constante.

Assim, chama-se residual á diferença ente o valor real da variável dependente e o valor estimado, o residual descreve o erro no ajustamento ao modelo de uma observação i . A soma dos quadrados dos residuais é normalmente chamada de soma dos quadrados dos erros.

Calcularam-se os residuais normalizados, através da equação:

$$d_i = \frac{e_i}{\sqrt{\hat{\sigma}^2}} \quad (5.13)$$

Se os erros estiverem normalmente distribuídos, aproximadamente 95% dos residuais normalizados deve encontrar-se entre o intervalo de -2 a 2. Os residuais que se encontrem muito longe deste intervalo indicam a presença de *outliers* (Montgomery *et. al.*, 2003). Neste estudo foram considerados *outliers* os dados que se encontravam fora do intervalo [-3S, 3S]. Verificou-se que o desvio padrão dos valores estimados e dos residuais normalizados correspondia a um e que a média era zero.

Para verificar se existia correlação entre os residuais, foi efectuado, também, o teste de Durbin-Watson, este é utilizado para detectar a existência de primeira ordem de autocorrelação nos residuais. Calcula-se através da equação seguinte:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (\hat{e}_t - \hat{e}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n \hat{e}_t^2} \quad (5.14)$$

O valor de DW varia entre zero e quatro, em que zero corresponde a uma autocorrelação positiva perfeita, e quatro a uma autocorrelação negativa perfeita nos residuais, o valor ideal de DW seria dois (Abdollahian *et al.*, 2005).

A selecção de variáveis, foi feita através do método *Forward* visto haver um grande número de variáveis. A selecção *Forward* é um método de selecção passo-a-passo em que as variáveis vão sendo adicionadas sequencialmente no modelo. A primeira variável a ser adiciona à equação é aquela que possui a maior correlação, quer seja positiva ou negativa, com a variável dependente. A variável entra

apenas se satisfizer o critério de entrada. Depois da primeira variável entrar, a variável com maior correlação parcial é a próxima a ser adicionada, o procedimento pára quando deixarem de existir variáveis que satisfaçam o critério de entrada (SPSS Help topic, 2006). O critério de entrada escolhido foi o da probabilidade de F , neste caso a variável entra no modelo se o nível de significância do seu valor de F for menor que o valor de entrada e é removida se o nível de significância foi maior que o valor de remoção. O valor de entrada foi definido em 0.05 e o valor de remoção em 0.10.

Aplicou-se este método para as cinco horas de previsão das 16 estações de monitorização, e utilizou-se o modo *Listwise* para eliminação de dados. Retiraram-se das variáveis de entrada todas as variáveis com dados das estações de Camarinha e Odivelas, pois a reduzida quantidade de dados fornecidos por estas, apenas cerca de 30% em relação ao período de estudo (ver Tabela 5.2), impossibilitava a análise, visto que com modo *Listwise* basta que uma das variáveis falhe um valor para que a linha de valores dessa observação seja eliminada. No entanto também foram construídos modelos para essas duas estações.

O método *forward* apresentava vários modelos, desde o modelo com apenas a primeira variável até ao modelo que continha todas as variáveis até à última a entrar. A escolha do modelo foi efectuada segundo os seguintes critérios:

- O teste do F á regressão linear apresentava um valor de P inferior a 0.05, pelo que se rejeita a hipótese nula.
- O R^2_{adj} aumentou.
- O aumento do R^2 foi no mínimo de 0.03.
- As variáveis do modelo foram excluídas se o valor do P de alguma delas não é inferior a 0.05 (não se rejeita a hipótese nula). Estas foram eliminadas pela ordem atribuída no método *forward* até que todas elas tenham um valor de P inferior a 0.05. Ou retirando directamente do modelo as variáveis cuja hipótese nula não é rejeitada. A escolha entre estas duas opções de eliminação das variáveis foi realizada escolhendo a opção que obteve o melhor R^2 sem que a diferença do número de variáveis fosse superior a quatro.
 - Se o R^2 do modelo é de 0.85, então considera-se um modelo robusto para previsão e não se retiram *outliers*, visto que são desejáveis pois podem representar excedências.
- Retiram-se *outliers* para tentar atingir um R^2 de 0.75, valor a partir do qual se considera um modelo robusto para estimação.
- Só se retiram *outliers* se os Betas (coeficiente normalizado, calculados pelo programa) aumentarem.

- (Houve, no entanto algumas exceções. Para o modelo das 14:00 horas da estação de Escavadeira e às 16:00 horas do modelo de Loures em que os betas não aumentaram mas para se atingir um R² de 0.75 retiram-se ainda assim os *outliers*. Para as 14:00 horas da estação de Arcos, também foram retirados *outliers* para a obtenção de um R² de 0.70. Também no modelo de Odivelas às 13:00 horas não se cumpriu o pressuposto acima indicado pois a diferença entre os R² era de 0.26 e nenhum dos *outliers* retirados era um excedência. A condição também não foi cumprida para a estação do Restelo às 17 horas pois o R² era baixo e apenas se retirou um *outlier*.
- Se ao retirar *outliers*, mesmo que o Beta aumente se a diferença no R² não fosse de 0.01 não se retiravam.
- Se os modelos dão R² menores que 0.50, tentou-se retirar outliers até chegar ao patamar dos 0.50.

5.7.2 Fase de validação

Na fase de validação, foram seleccionados aleatoriamente, através da ferramenta do SPSS, *Select random numbers*, 30 dias distintos do intervalo de meses de Abril a Setembro do ano 2006, para cada estação.

Foram calculados para ambas as fases, validação e treino, os seguintes índices de performance R (coeficiente de correlação), R² (coeficiente de determinação, já explicado anteriormente), MBE (Mean bias error, erro associado ao desvio da média), MAE (Média do erro absoluto), RMSE (Raiz quadrada da média do desvio padrão), d₂ (índice de concordância). Estes foram também os índices usados por Sousa *et. al.*(2006). As equações dos índices são as seguintes:

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}} \quad (5.15)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i) \quad (5.16)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i| \quad (5.17)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (5.18)$$

$$d_2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{y}_i - y_i| + |y_i - \bar{y}_i|)^2} \quad (5.19)$$

O R fornece uma medida da variabilidade reproduzida no modelo.

O MBE indica se as concentrações foram sub (caso seja negativo) ou sobrestimadas (Sousa et. al., 2006 e Li et al. 2006).

O MAE mede os desvios entre os dados observados e estimados no sentido absoluto do valor, esta medida é menos sensível aos *outliers* do que o RMSE.

RMSE mede a diferença entre o valor estimado e o valor observado de forma quadrática, sendo muito sensível a *outliers*. Se o modelo descrever de modo preciso o ruído dos dados então este índice deve ser semelhante ao valor do desvio padrão do ruído (Janssen et al. 1995).

O índice de concordância é adimensional, variando de 0 a 1, em que o zero significa nenhuma concordância e o 1 significa concordância perfeita. Este índice pode ser visto como sendo o índice normalizado da média dos quadrados do erro. Sendo normalizado pela variabilidade das previsões e observações sobre média observada. No entanto, não deve ser utilizado sempre que os dados estimados e observados possam ter resultados de sinais opostos (Janssen et al. 1995).

Contabilizou-se ainda o número de excedências previstas certas, o número de falsos alarmes, e o número de excedências não previstas, para cada estação a cada hora de previsão (Anexo V).

5.8 Fluxograma

A metodologia acima apresentada neste trabalho encontra-se resumida e esquematicamente representada na Figura 5.4.

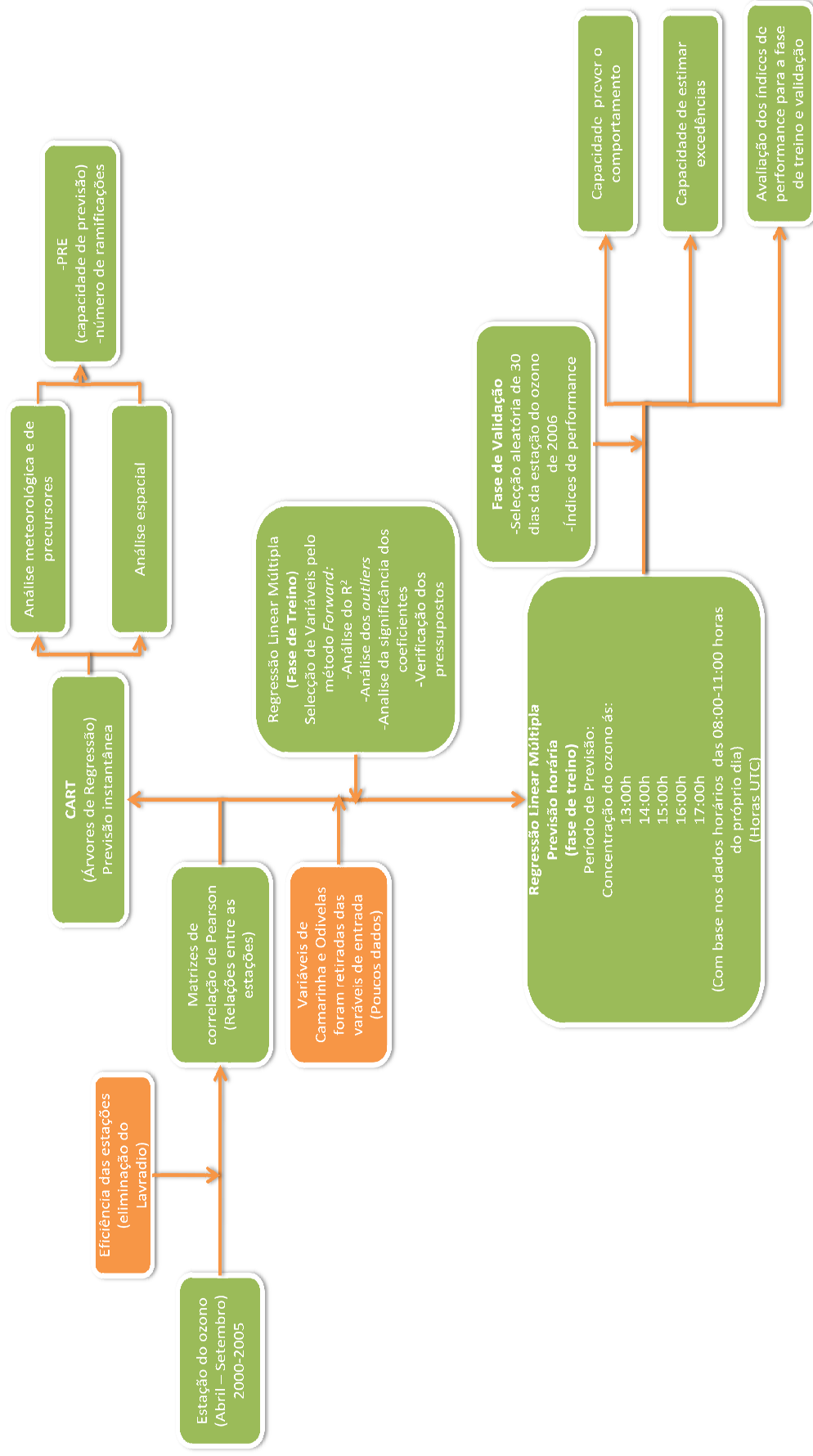


Figura 5.4 Fluxograma da metodologia utilizada.

6 Apresentação e análise dos resultados

Apresentam-se neste capítulo os resultados das matrizes de correlação, da análise em árvores de regressão e da aplicação dos modelos de regressão linear múltipla para previsão das concentrações de ozono. Inclui-se juntamente com os resultados a análise dos mesmos.

6.1 Matrizes de correlação

As correlações foram apresentadas em mapas para a interpretação espacial ser facilitada. Os valores do coeficiente de correlação de Pearson (r) são apresentados em intervalos para uma melhor visualização dos resultados. Não foram esquematizadas todas as correlações possíveis para não comprometer a leitura gráfica dos resultados. Assim apresentam-se as correlações com as estações mais próximas e as mais elevadas. No entanto, as matrizes de correlações completas são apresentadas no Anexo II. As estações da Chamusca e de Entrecampos não se encontram representadas no mapa, por questões de interpretação gráfica. A estação da chamusca está muito distanciada do centro de Lisboa e encontra-se fora do alcance do mapa. A estação de Entrecampos não foi incluída pois apresentava, no geral, correlações baixas.

As correlações de Pearson dos dados horários de ozono apresentam valores elevados. A análise dos da Figura 6.1 revelou que a proximidade entre estações nem sempre implica, em relação às concentrações horárias de ozono, a maior correlação. Como é o caso das correlações entre as estações de Paio Pires e Hospital Velho, Alfragide/ Amadora e Reboleira, Alfragide/ Amadora e Restelo e Alfragide/ Amadora e Quinta do Marquês. Noutros casos como é o caso da correlação entre Hospital Velho e Escavadeira, Arcos e Camarinha, Beato e Olivais, e Loures e Odivelas as correlações mais fortes verificam-se com as estações mais próximas. A estação de Alfragide/ Amadora é a estação que apresenta correlações mais fracas com todas as estações na sua proximidade na AML Norte. Verificou-se que, de uma forma geral, as correlações são mais fortes na margem norte do rio Tejo. É nessa margem onde existem mais estações e onde estas se encontram espacialmente mais distribuídas pela área.

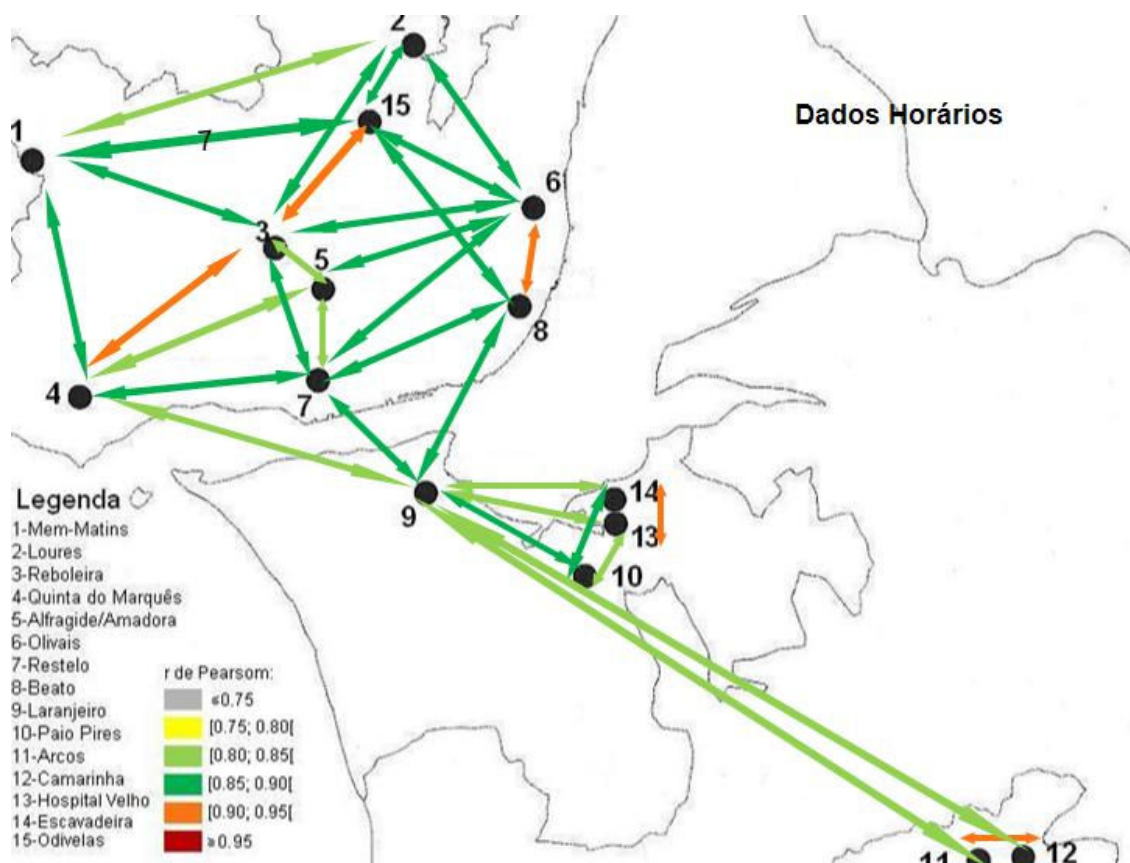


Figura 6.1 r de Pearson para correlações dos dados horários das concentrações de ozono entre as estações.

Ao incluir apenas os dados da época do ozono constatou-se que, no geral, as correlações diminuem (Figura 6.2). Isto deve-se, provavelmente, ao facto dos seis meses fora da época do ozono apresentarem valores muito baixos em toda a região. Assim, o comportamento do ozono no período excluído é muito parecido pois as condições meteorológicas não são favoráveis á formação de ozono. Posto isto, esses seis meses encontram-se, possivelmente, muito correlacionados visto que, praticamente, não existe formação de ozono. No entanto, verifica-se que os pares de estações com correlações mais elevadas, bem como com as mais baixas mantêm-se. Os pares de estações com correlações mais elevadas continuam, assim a ser entre Beato e Olivais e Arcos e Camarinha.

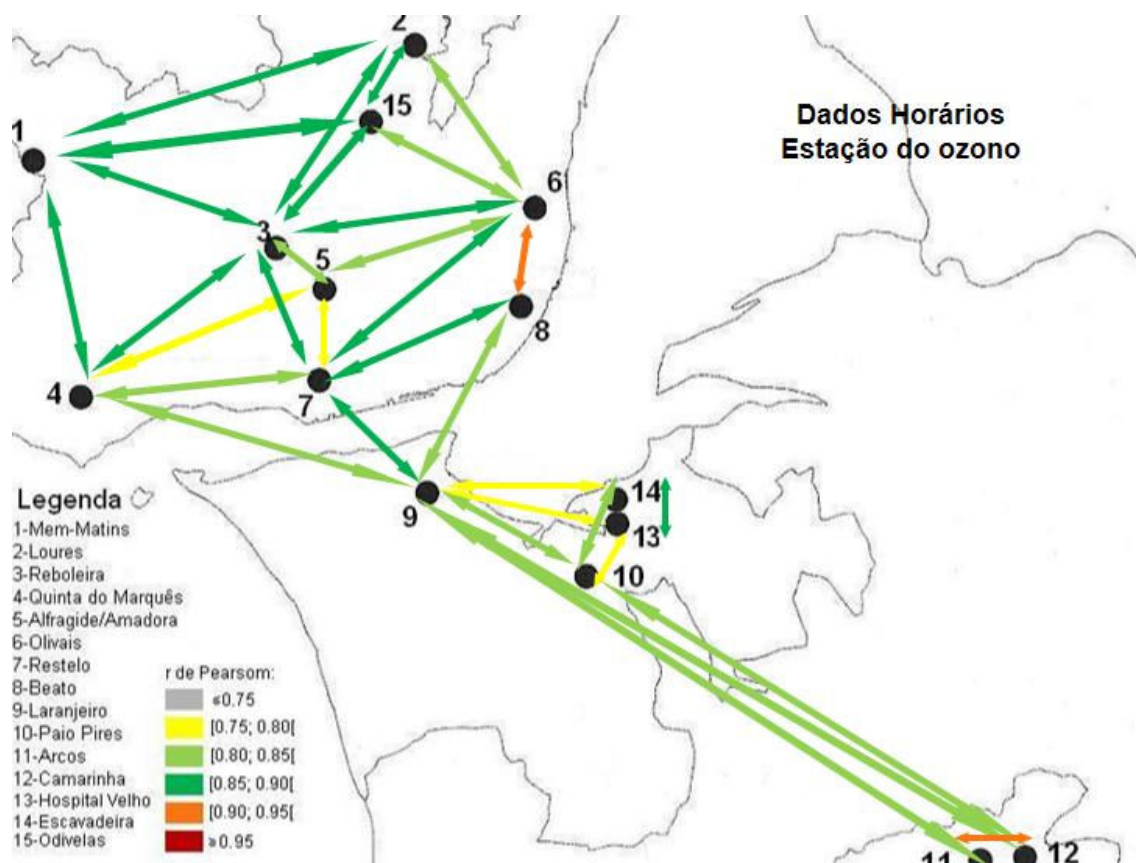


Figura 6.2 r de Pearson para correlações dos dados horários das concentrações de ozono entre as estações, para a época do ozono.

A análise das concentrações máximas diárias revelou correlações, na globalidade, mais elevadas do que as dos dados horários (Figura 6.3). O que significa que os valores dos picos diários, têm uma correlação muito elevada entre estações, e que provavelmente a ocorrência de episódios de concentrações elevadas é um fenómeno comum à maioria das estações. As correlações entre Odivelas e Loures e Odivelas e Reboleira e Beato Olivais continuam muito elevadas. Odivelas continua a ser a estação que apresenta correlações mais elevadas. As correlações mais fracas verificam-se, novamente, entre as estações de Alfragide/ Amadora e Restelo e Hospital Velho e Paio Pires.

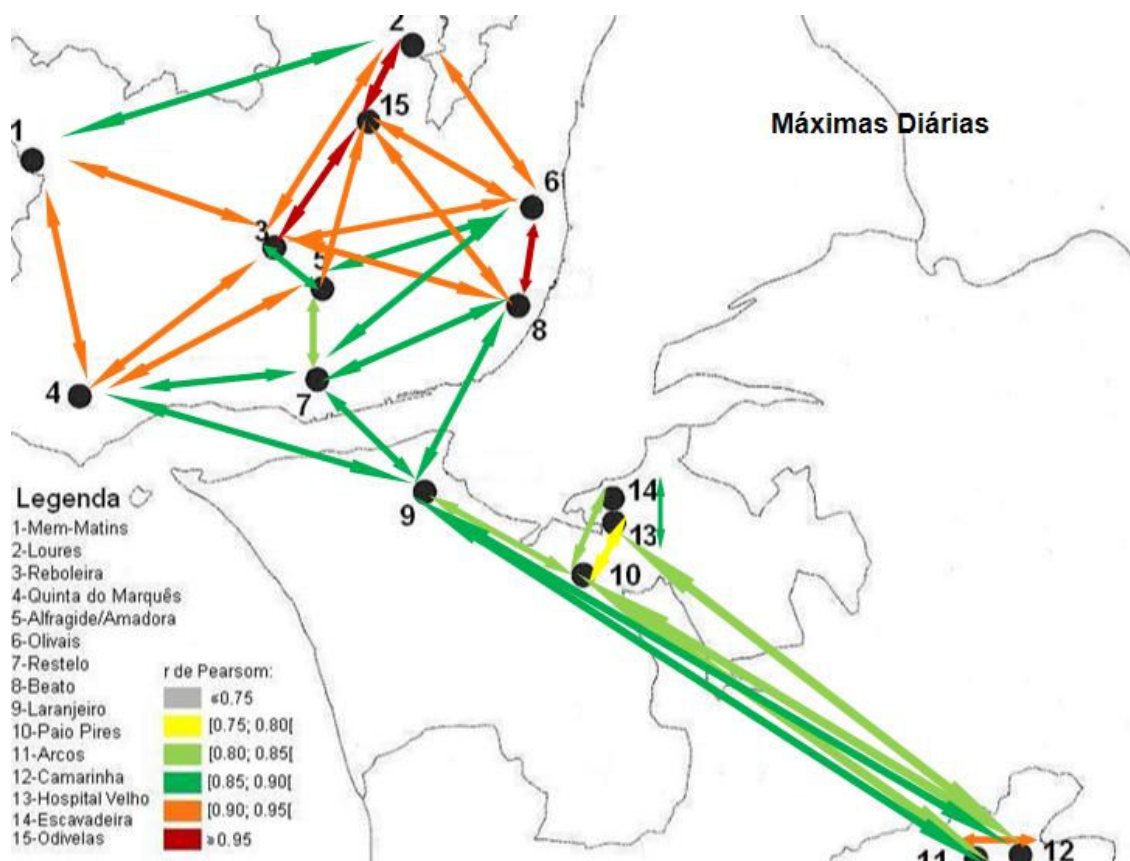


Figura 6.3 r de Pearson para correlações das concentrações máximas diárias de ozono entre as estações.

Através da Figura 6.4 verifica-se que as correlações diminuem, no geral, à semelhança do que tinha acontecido também com os dados horários quando se diminuía o período de análise. Mantêm-se, porém, os pares de correlações identificados anteriormente.

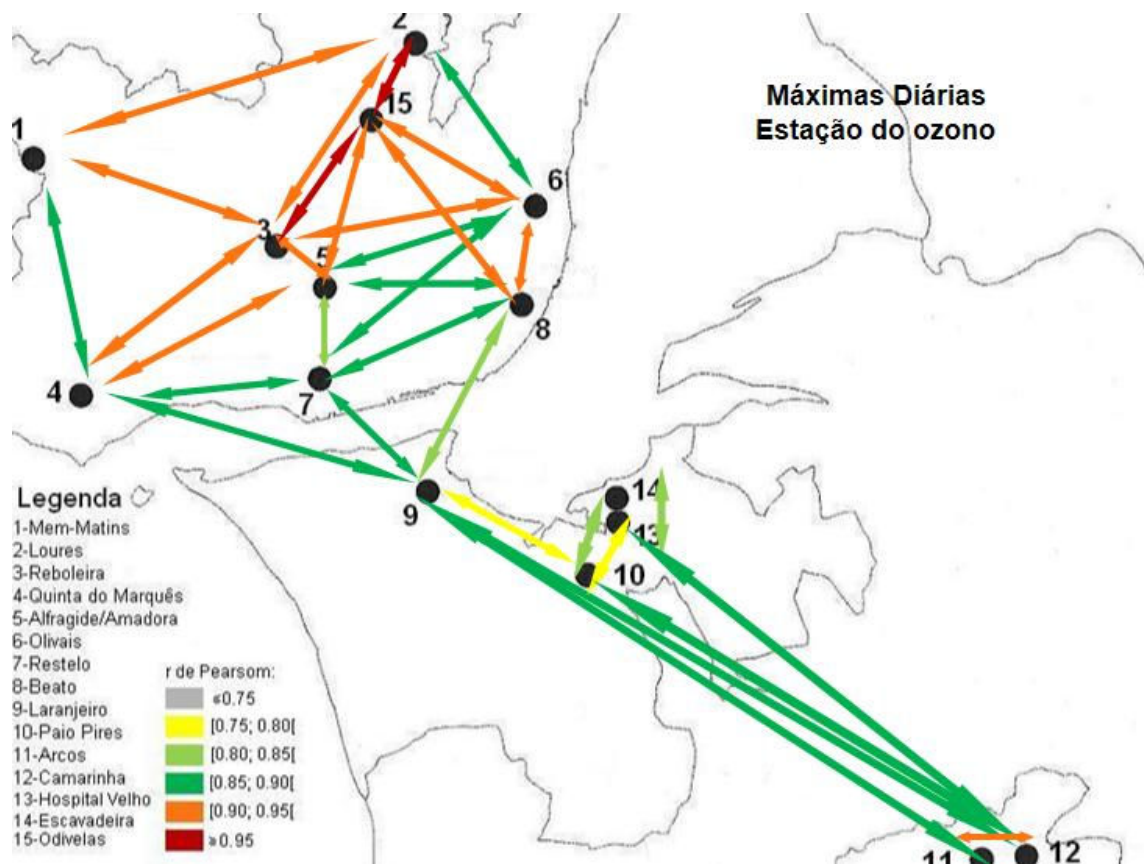


Figura 6.4 r de Pearson para correlações das concentrações máximas diárias de ozono entre as estações, para a época do ozono.

As correlações das médias diárias em relação às máximas diárias do mesmo período de tempo não variam muito. Os padrões da distribuição espacial das correlações são semelhantes aos analisados anteriormente. A estação de Odivelas continua a ser a estação que apresenta maiores correlações e Hospital Velho e Alfragide/ Amadora e Escavadeira as estações com correlações mais baixas (Figura 6.5).

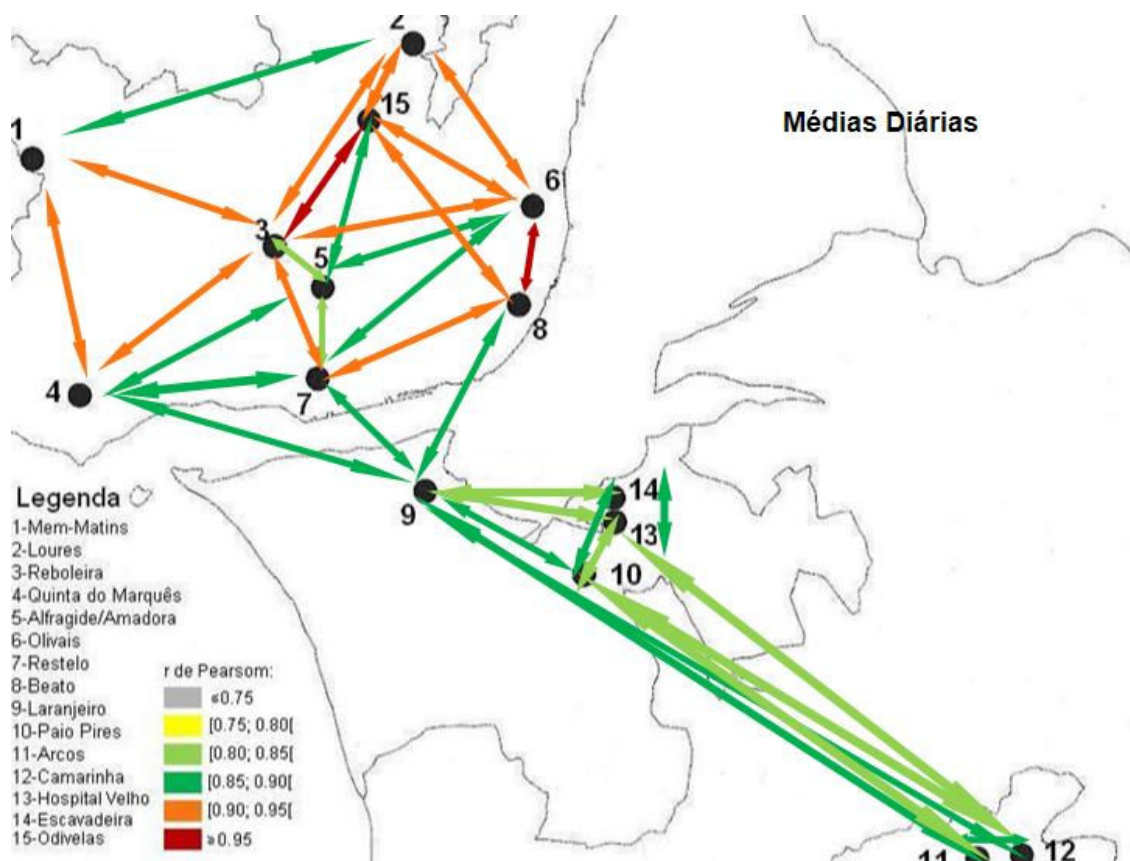


Figura 6.5 r de Pearson para correlações das concentrações médias diárias de ozono entre as estações.

Ao encurtar o período de análise, mais uma vez, verificou-se que a correlações decrescem de uma forma geral (Figura 6.6), embora a tendência geral das concentrações permaneça semelhante.

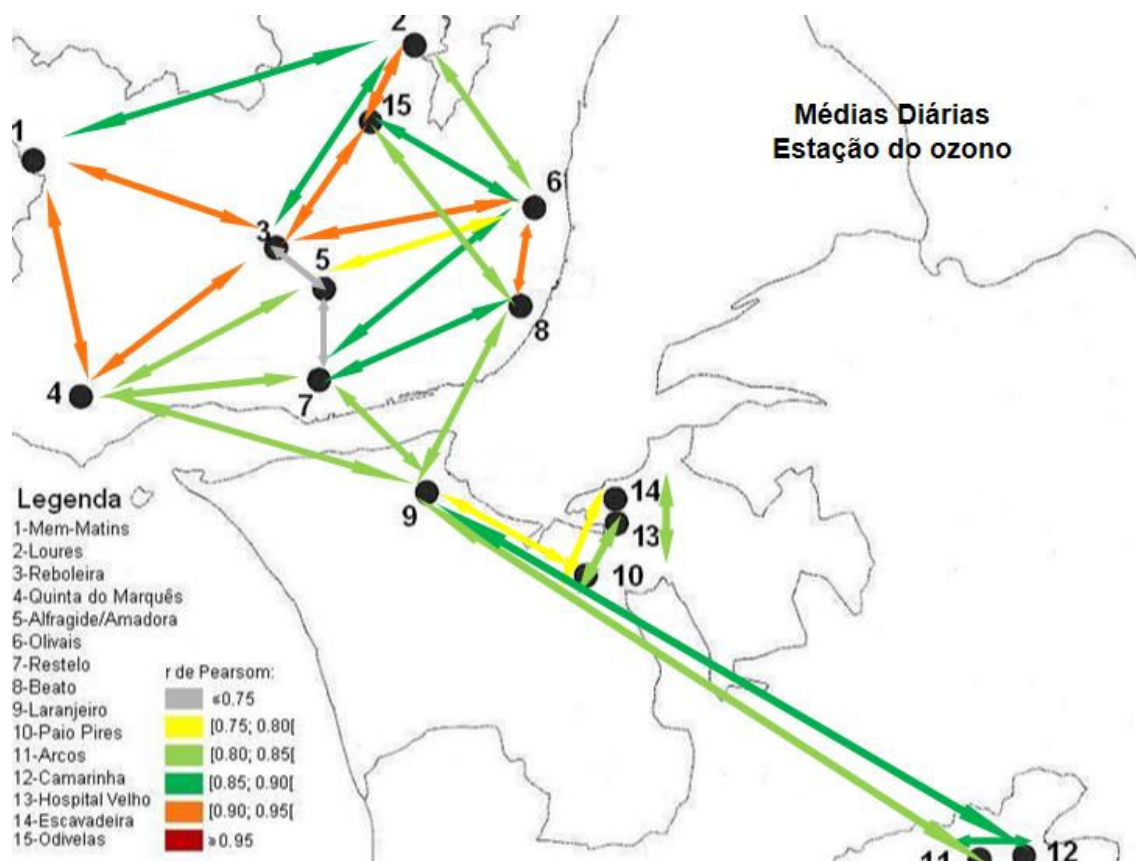


Figura 6.6 r de Pearson para correlações das concentrações médias diárias de ozono entre as estações, para a época do ozono.

Em relação à frequência de excedências verificou-se que todas as correlações são muito baixas, pelo que não é possível retirar conclusões concretas. No entanto é perceptível, através da Figura 6.7, que as correlações seguem, no geral, a tendência das correlações já analisadas. Os pares de correlações mantêm-se.

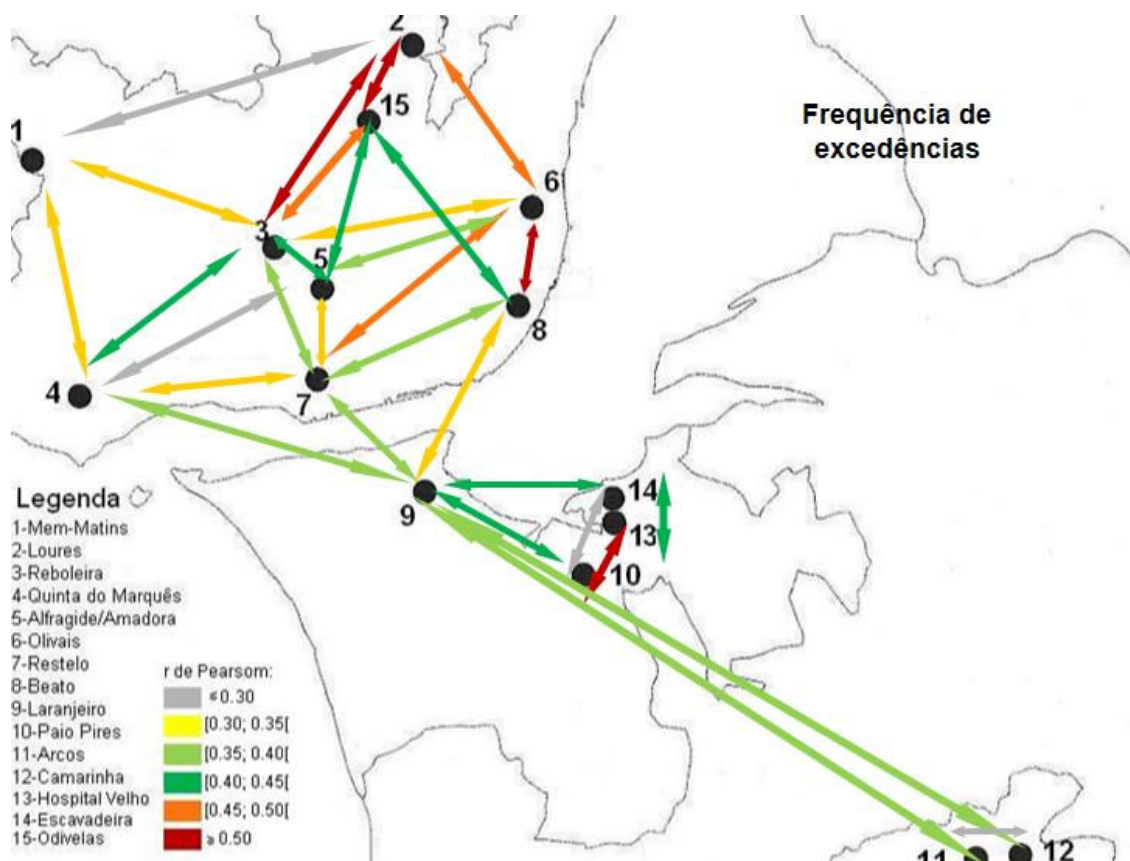


Figura 6.7 r de Pearson para correlações da frequência de excedências do valor $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ ozono entre as estações.

De forma genérica, as correlações são bastante elevadas, excepto no caso da frequência de excedências, o que anuncia que provavelmente se obterão boas relações lineares com base nos dados de outras estações. As correlações diminuem quando o período de análise utilizado é apenas a estação de ozono. No entanto, este é o período de mais interesse, visto que é nele que se verificam grandes concentrações de ozono e portanto é também quando a concentração de ozono apresenta grandes variações diárias, tornando a previsão mais difícil.

A Aglomeração da AML Norte, apresenta no geral correlações mais elevadas entre as estações do que a AML Sul. No entanto, é de notar que a AML Sul tem um menor número de estações e não se encontram espacialmente bem distribuídas.

A estação de Odivelas, estação mais recente, apresenta correlações elevadas com a maioria das estações, contudo apresenta menos dados. A estação da Chamusca exhibe correlações mais baixas que as verificadas nas aglomerações. Tal pode acontecer devido à grande distância a que esta se encontra das aglomerações e ao facto de ser a única estação rural de fundo.

6.2 Avaliação instantânea dos níveis de ozono

A análise de árvores de regressão foi dividida em análise espacial e meteorológica. A análise espacial permite prever as concentrações de ozono em cada estação mediante o conhecimento das concentrações das estações vizinhas, informação que pode ser útil no caso de falhas das estações.

Esta análise é útil para conhecimento das variáveis que determinam a ocorrência de situações de excedência, em cada estação. As árvores de regressão finais encontram-se no Anexo III.

6.2.1 Análise espacial

Para a análise espacial foi utilizado como número mínimo permitido no final de cada ramo o valor cinco, visto que o número de observações utilizado na construção das árvores era baixo. Outra razão foi a de que um dos objectivos era a previsão de excedências e o número de excedências é baixo relativamente ao número de observações totais. Assim, este foi o número que permitiu a construção de árvores com ramos que indicassem ocorrência de excedência. Tentou-se que o número mínimo de dados utilizados na construção da árvore fosse de 100, para tal foi, por vezes, necessário excluir variáveis.

A análise dos resultados das árvores é apresentada, de seguida, por estação.

A árvore final da estação de Alfragide/ Amadora (Tabela 6.1) apresenta muitos ramos, no entanto foi necessária uma maior divisão para que a árvore pudesse prever excedências. A existência de demasiadas ramificações pode atrasar e dificultar o processo de previsão visto que é utilizado um grande número de variáveis. Com um número maior de variáveis é mais provável que os dados de uma estação preditora possam não existir, impossibilitando a previsão. Das estações utilizadas na árvore apenas as estações de Reboleira, Olivais e Beato estão fortemente relacionadas e espacialmente próximas, as restantes são estações de fundo espacialmente mais afastadas e com correlações de Pearson menores. É de salientar, contudo que os ramos referentes às concentrações mais elevadas utilizaram a estação de Hospital Velho, na margem Sul, e da Chamusca, estação rural de fundo, ambas muito afastadas da estação de Alfragide/ Amadora. Contudo, neste caso a estação da Chamusca apresenta um comportamento contrário. Isto é, só ocorrerá excedência se os valores de ozono na Chamusca forem baixos. O PRE é superior a 0.75 no entanto, o número de variáveis utilizadas é também elevado. O PRE aumenta com a adição de novos ramos, assim o elevado valor de PRE deve-se, também, ao número de variáveis encontrado.

Tabela 6.1 Informação da árvore de regressão da estação de Alfragide/ Amadora.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Alfragide/ Amadora	389	161	Reboleira(2)	0.785	0.01	0.01	5	Odivelas Laranjeiro Camarinha
			Hospital velho(2)					
			Olivais(2)					
			Beato(1)					
			Arcos(1)					
Chamusca(1)								

A árvore referente às concentrações instantâneas da estação de Arcos (Tabela 6.2) só numa das ramificações é que não escolhe a estação de Camarinha como variável preditora. Camarinha é a estação mais próxima de Arcos e com maiores correlações de Pearson. A outra variável preditora é Mem-Martins, uma estação de fundo que se encontra muito longe. Foi necessária a permissão de índices de divisão menores para a obtenção de ramos indicativos de excedências. O PRE encontrado é muito elevado, superior a 0.85 que é o valor a partir do qual se considera que se pode utilizar o modelo para previsão.

Tabela 6.2 Informação da árvore de regressão da estação de Arcos.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Arcos	507	418	Camarinha(6) Mem-Martins(1)	0.896	0.01	0.01	5	Odivelas Laranjeiro

Para a estação do Beato (Tabela 6.3) foi necessária a exclusão de cinco estações para que o número de dados utilizados na construção da árvore fosse pelo menos 100. Ainda assim os dados utilizados

são muito inferiores à quantidade de dados excluídos. Obteve-se uma árvore baseada nas concentrações das estações dos Olivais e Loures. A estação de Olivais é espacialmente próxima do Beato, e estas estão fortemente correlacionadas. Loures encontra-se um pouco mais longe dos Olivais, sendo a estação que foi utilizada no ramo relativo às concentrações mais elevadas.

Tabela 6.3 Informação da árvore de regressão da estação de Beato.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Beato	747	165	Olivais(2)	0.870	0.05	0.05	5	Mem-Martins Chamusca Escavadeira Quinta do Marquês Odivelas
			Loures(1)					

A estação de Camarinha utiliza as concentrações da estação de Arcos (Tabela 6.4) para a previsão dos níveis de ozono. Como já foi referido estas estações apresentam correlações de Pearson muito elevadas e encontram-se muito próximas. A obtenção de ramos relativos a excedências foi conseguida sem abrir muito a árvore.

Tabela 6.4 Informação da árvore de regressão da estação de Camarinha

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas(Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Camarinha	332	292	Arcos(3)	0.851	0.05	0.05	5	Odivelas Laranjeiro

A estação da Chamusca (Tabela 6.5) apresentou um PRE inferior a 0.75. Tal facto pode ser explicado pela grande distância a que se encontra esta estação das restantes e pelas relativamente baixas correlações de Pearson. No entanto, não foi necessário baixar os valores das restrições de abertura da árvore para se obter um ramo que previsse excedências. Sendo esta uma estação rural de fundo Isto

deve-se, provavelmente ao elevado número de excedências e às elevadas concentrações de ozono troposférico registadas nesta estação. As estações escolhidas como variáveis predictoras são todas estações de fundo.

Tabela 6.5 Informação da árvore de regressão da estação de Chamusca.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Chamusca	668	412	Loures(1) Paio Pires(1) Arcos(1)	0.641	0.05	0.05	5	Odivelas Laranjeiro

A estação de Entrecampos (Tabela 6.6), sendo uma estação de tráfego apresenta muito poucas excedências pelo que poucos dados foram utilizados na construção da árvore de regressão e não foi possível obter-se uma árvore que previsse excedências. As duas estações usadas para a previsão encontram-se espacialmente próximas de Entrecampos. No entanto a estação de Alfragide/ amadora apresenta valores de correlação relativamente baixos com Entrecampos.

Tabela 6.6 Informação da árvore de regressão da estação de Entrecampos.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Entrecampos	32	40	Beato(1) Alfragide/ Amadora(1)	0.860	0.05	0.05	5	Odivelas Laranjeiro

A árvore de regressão da estação de Escavadeira serve-se da estação de Hospital velho (Tabela 6.7) para a previsão de ozono. Esta é a que está melhor correlacionada e mais próxima da estação de Escavadeira.

Tabela 6.7 Informação da árvore de regressão da estação de Escavadeira.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Escavadeira	188	245	Hospital velho(3)	0.775	0.05	0.05	5	Odivelas Laranjeiro Olivais Entrecampos

Como se pode verificar através da Tabela 6.8, Hospital Velho utiliza duas estações próximas (Paio Pires e Escavadeira) e com quem apresenta correlações elevadas. Usa, ainda, a estação do Beato, estação de fundo, para a divisão do ramo correspondente às concentrações mais elevadas.

Tabela 6.8 Informação da árvore de regressão da estação de Hospital Velho.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Hospital Velho	407	217	Escavadeira(1) Beato(1) Paio Pires(1)	0.860	0.05	0.05	5	Odivelas Laranjeiro

A árvore da estação do Laranjeiro (Tabela 6.9) baseou-se num número muito pequeno de observações. No entanto, para ser possível a utilização de um número considerável de dados (pelo menos 100 observações) teriam que ser eliminadas das variáveis de entrada 11 variáveis, entre as quais a estação de Loures, estação utilizada a árvore final. Assim abdicou-se do número de observações em função de um maior número de variáveis de entrada. A estação de Paio Pires apresenta maiores correlações com o Laranjeiro e encontra-se mais próxima deste. No entanto, a Estação que determina a divisão da árvore correspondente a uma excedência é Loures que apresenta uma maior correlação de Pearson com as máximas horárias.

Tabela 6.9 Informação da árvore de regressão da estação de Laranjeiro.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Laranjeiro	301	61	Loures(2) Paio Pires(1)	0.840	0.05	0.05	5	Camarinha Restelo Olivais

O PRE para a antevisão das concentrações de ozono em Loures é superior a 0.85, no entanto a árvore possui muitos ramos (Tabela 6.10). A árvore utiliza sobretudo a estação da Reboleira para a previsão, estação com a qual está fortemente correlacionada e da qual é próxima. As estações da Chamusca e Paio Pires estão muito afastadas de Loures. Mem-Martins encontra-se perto e apresenta grandes correlações de Pearson com a estação de Loures.

Tabela 6.10 Informação da árvore de regressão da estação de Loures.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
			Reboleira(4)					
			Chamusca(1)					
Loures	375	225	Mem-Martins(1)	0.878	0.01	0.01	5	Odivelas Laranjeiro
			Paio Pires(1)					

Como se pode ver através da Tabela 6.11 o PRE da árvore de Mem-Martins é muito elevado. Esta estação encontra-se próximo de Loures, de Quinta do marquês e de Reboleira e suas correlações com estas estações são elevadas. A estação de Arcos encontra-se mais afastada e apresenta correlações menores. Neste caso só ocorrerá excedência se as concentrações em Arcos não excederem os $214\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 6.11 Informação da árvore de regressão da estação de Mem-Martins

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
			Loures(3)					
Mem-Martins	585	183	Quinta do Marquês(2)	0.842	0.02	0.02	5	Odivelas Laranjeiro
			Reboleira(1)					
			Arcos(1)					

Das estações utilizadas na árvore de regressão de Odivelas apenas a estação de Quinta do Marquês está espacialmente afastada de Odivelas embora todas as estações apresentem grandes correlações de Pearson (Tabela 6.12). A estação que determina as concentrações mais elevadas é a estação da Reboleira. Salienta-se o facto de a árvore apresentar muitas ramificações.

Tabela 6.12 Informação da árvore de regressão da estação de Odivelas.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aument o mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Odivelas	108	108	Reboleira(3) Quinta do Marquês(1) Loures(1) Beato(1)	0.924	0.01	0.01	5	Arcos Olivais Camarinha Entrecampos

Verifica-se através da (Tabela 6.13) que apenas a estação do Beato foi escolhida para previsão de ozono na estação dos Olivais. As estações de Olivais e Beato estão fortemente correlacionadas e encontra-se muito próximas. O PRE obtido é muito elevado considerando que a árvore apresenta poucas ramificações.

Tabela 6.13 Informação da árvore de regressão da estação de Olivais.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizada (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Olivais	246	186	Beato(3)	0.931	0.05	0.05	5	Odivelas Laranjeiro

Os resultados apresentados na Tabela 6.14 mostram um PRE elevado para a estação de Paio Pires. Esta estação apresenta, no geral, correlações menores em relação às estações da margem Norte. A estação de Hospital Velho está perto de Paio Pires e apresenta boas correlações. Note-se que o Laranjeiro também apresenta correlações elevadas com Paio Pires no entanto esta estação foi excluída visto que eliminava muitos dados. Repare-se que para a ocorrência de uma excedência nesta estação tem que ocorrer uma excedência em Hospital Velho.

Tabela 6.14 Informação da árvore de regressão da estação de Paio Pires.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Paio Pires	606	258	Hospital velho(3)	0.813	0.05	0.05	5	Laranjeiro Odivelas

No caso da estação da Quinta do Marquês o PRE encontrado é considerado robusto para estimação (Tabela 6.15). Todas as estações escolhidas apresentam grandes correlações com a estação e apenas Loures está espacialmente distante.

Tabela 6.15 Informação da árvore de regressão da estação de Quinta do Marquês.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Quinta do Marquês	323	181	Reboleira(1) Loures(1) Restelo(1)	0.778	0.05	0.05	5	Odivelas Laranjeiro

A Tabela 6.16 mostra bons resultados pois o PRE revela que a árvore é robusta para previsão. Loures e Restelo encontram-se relativamente perto da Reboleira e apresentam boas correlações de Pearson. Paio Pires está longe da Reboleira e apresenta correlações fracas com esta, no entanto esta é a estação que determina a ocorrência de excedências. Esta árvore apresenta um bom PRE com poucas ramificações. Salienta-se que apesar da estação da Reboleira estar muito correlacionada com a estação de Alfragide/ Amadora esta não foi seleccionada como variável preditora.

Tabela 6.16 Informação da árvore de regressão da estação de Reboleira.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Reboleira	345	135	Restelo(1) Paio Pires(1) Loures(1)	0.858	0.05	0.05	5	Odivelas Laranjeiro

A Tabela 6.17, referente ao Restelo, revela um valor muito alto do PRE, logo a árvore é adequada para prever as concentrações de ozono. Paio Pires encontra-se afastado do Restelo e tem correlações menores que as restantes estações predictoras. Loures também é longe do Restelo contudo as correlações entre Loures e Restelo são elevadas. A estação que determina a excedência é Quinta do Marquês, uma estação mais litoral.

Tabela 6.17 Informação da árvore de regressão da estação de Restelo.

Estação	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis Utilizadas (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó	Variáveis excluídas
Restelo	401	127	Paio Pires(1) Laranjeiro(1) Alfragide/ Amadora(1) Quinta do Marquês(2) Loures(1)	0.932	0.01	0.01	5	Odivelas Camarinha

Em suma, constatou-se que as estações mais utilizadas para previsão foram Quinta do Marquês, Loures e Reboleira. Estas estações apresetem elevados valores de r com as restantes estações. Verifica-se que nem sempre o critério da proximidade e das elevadas correlações de Pearson significa

que a variável seja escolhida para a árvore. Apurou-se que existia um elevado número de excedências que eram previstas com base em estações espacialmente distanciadas. Como foi o caso das estações de Alfragide/ Amadora, Laranjeiro, Reboleira e Hospital Velho. Tal pode estar relacionado com o facto destas quatro estações se situarem do centro da AML, zona muito poluída onde os valores registados são mais reduzidos que na periferia. Assim só se registará um excedência se as concentrações na periferia já forem muito elevadas, ou seja um episódio de ozono generalizado em toda a área.

Salienta-se também que os PRE das árvores obtidas são muito elevados, sendo que onze são superiores a 0.85. Apenas a estação da Chamusca apresenta um PRE inferior a 0.75.

6.2.2 Redução do intervalo horário (análise espacial)

Como explicado anteriormente, foi reduzido o intervalo horário de observações para obter valores mais extremos. Esta metodologia implicou uma redução no número de dados utilizados na construção das árvores.

Os resultados e sua análise são apresentados para cada uma das estações.

A redução do período temporal, no caso da estação de Alfragide/ Amadora gerou um PRE maior, e observou-se uma pequena redução no número de divisões da árvore (Tabela 6.18). Hospital Velho é a única estação comum nas duas árvores. As duas estações da AML Sul apresentam correlações baixas com a Alfragide/ Amadora. No entanto, é a estação de Hospital Velho que define a ocorrência de excedências, esta estação também já estava presente no ramo que definia a excedência na árvore anterior.

Tabela 6.18 Informação da árvore de regressão da estação de Alfragide/ Amadora (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Alfragide/ Amadora	162	58	Quinta do Marquês(2) Paio Pires(1) Hospital Velho(2) Restelo(1)	0.887	0.02	0.02	5

A estação de Arcos deixou de utilizar a estação de Mem-Martins, utilizando sempre a estação mais próxima, Camarinha, para previsão. O PRE diminuiu embora tenha reduzido, em muito, o número de ramificações da árvore (Tabela 6.19).

Tabela 6.19 Informação da árvore de regressão da estação de Arcos (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	(Nº PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Arcos	211	159	Camarinha(3)	0.796	0.05	0.05	5

No caso da estação do Beato o número de dados utilizados na construção da árvore é muito pouco representativo (Tabela 6.20). Contudo, denota-se uma pequena redução no PRE e a manutenção da estação dos Olivais como estação preditora. A excedência passa assim a ser prevista pela estação de Olivais e não de Loures.

Tabela 6.20 Informação da árvore de regressão da estação de Beato (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Beato	361	19	Olivais(2)	0.82	0.05	0.05	5

No caso da estação de Camarinha verifica-se que Arcos mantêm-se como estação preditora mas o PRE diminui (Tabela 6.21).

Tabela 6.21 Informação da árvore de regressão da estação de Camarinha (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis(N° de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Camarinha	155	105	Arcos(2)	0.81	0.05	0.05	5

Na estação da Chamusca, o PRE diminui, baixou-se o nível das restrições de abertura para que o PRE fosse superior a 0.50 (Tabela 6.22). Apenas Arcos se mantém, como variável preditora. As estações dos Olivais e de Alfragide/Amadora não se encontram muito correlacionadas com a Chamusca, no entanto as correlações das máximas diárias são mais elevadas do que as das médias diárias e horárias, facto que pode justificar a troca de variáveis visto que este período horário corresponde ao período de maiores concentrações. Existem quatro estações que definem situações de excedência, são elas Quinta do Marquês, Loures, Alfragide/ Amadora e Olivais. A estação que anteriormente definia a excedência, Paio Pires, deixou de estar incluída.

Tabela 6.22 Informação da árvore de regressão da estação de Chamusca (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (N° de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
			Olivais(2)				
			Loures (2)				
			Arcos(1)				
Chamusca	299	151	Alfragide/ Amadora(1)	0.612	0.02	0.02	5
			Quinta do Marquês(1)				

Como já tinha sido referido anteriormente a estação de Entrecampos, sendo uma estação de tráfego, tem muito poucas excedências. Por esta razão a construção da árvore foi baseada um número muito reduzido de dados (Tabela 6.23). No entanto, verificou-se que se mantém a estação de Alfragide/ Amadora.

Tabela 6.23 Informação da árvore de regressão da estação de Entrecampos (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis(N° de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Entrecampos	16	14	Alfragide/ Amadora(1)	0.757	0.05	0.05	5

Em relação à estação da Escavadeira constatou-se que a estrutura da árvore de regressão da estação de Escavadeira se mantém embora o PRE tenha sofrido uma pequena redução (Tabela 6.24).

Tabela 6.24 Informação da árvore de regressão da estação de Escavadeira (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (N° de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Escavadeira	89	91	Hospital velho(3)	0.75	0.05	0.05	5

No caso da estação de Hospital Velho constatou-se que o PRE diminui um pouco, o número de ramificações mantém-se mas a estação do Beato foi trocada pela estação dos Olivais (Tabela 6.25). O Beato e os Olivais estão fortemente correlacionados entre si, contudo não apresentam correlações elevadas com a estação de Hospital Velho. A estação que divide o ramo da ocorrência de excedência é Paio Pires.

Tabela 6.25 Informação da árvore de regressão da estação de Hospital Velho (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Olivais(1)							
Hospital Velho	181	79	Escavadeira (1) Paio Pires(1)	0.808	0.05	0.05	5

O problema do reduzido número de observações utilizadas na construção da árvore do Laranjeiro (Tabela 6.26) persiste, contudo o PRE aumenta, apesar dos valores das restrições baixarem. Salva-se no entanto que 21 observações é um número pouco representativo. Verificou-se, ainda, um acréscimo de uma variável e a não utilização da estação de Loures. Quinta do Marquês passa a ser a estação que determina a ocorrência ou não de excedência.

Tabela 6.26 Informação da árvore de regressão da estação do Laranjeiro (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Loures(1)							
Laranjeiro	129	21	Hospital Velho(1) Quinta do Marquês(1)	0.918	0.02	0.02	5

Verificou-se um decréscimo no número de ramificações da árvore da estação de Loures apesar da diminuição do PRE (Tabela 6.27). Mesmo assim o valor do PRE é razoável. Apenas a estação de Paio Pires continua a ser utilizada na previsão. Loures apresenta correlações mais elevadas com os Olivais do que com as restantes estações seleccionadas. A estação dos Olivais é aquela que define o ramo da

excedência, ao invés da Reboleira. Assim para que ocorra uma excedência em Loures a concentração de ozono nos Olivais tem de ser elevada.

Tabela 6.27 Informação da árvore de regressão da estação de Loures (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis(Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
			Paio Pires(1)				
Loures	170	80	Alfragide/ Amadora(1) Olivais(1)	0.746	0.05	0.05	5

Verificou-se que o número de divisões da árvore de Mem-Martins diminuiu significativamente, também devido ao aumento dos níveis de restrições de divisão da árvore (Tabela 6.28). A estação do Restelo, que não estava presente na outra árvore, apresenta correlações com a estação de Mem-Martins mais fracas do que as outras variáveis escolhidas, no entanto é a variável que determina a ocorrência de excedência.

Tabela 6.28 Informação da árvore de regressão da estação de Mem-Martins (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis(Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
			Quinta do Marquês(1)				
Mem-Martins	245	66	Reboleira(1) Restelo(1)	0.767	0.05	0.05	5

A redução de período horário levou à redução das ramificações da árvore de regressão de Odivelas, passando esta a ter apenas uma variável preditora. (Tabela 6.29) Contudo o número de dados utilizados na elaboração da árvore é muito reduzido, pelo que a representatividade dos resultados é baixa. A estação seleccionada foi Paio Pires, que substitui a Reboleira na previsão de excedências.

Tabela 6.29 Informação da árvore de regressão da estação de Odivelas (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Odivelas	52	38	Paio Pires(2)	0.863	0.05	0.05	5

Constatou-se que a árvore da estação dos Olivais manteve a mesma estrutura e o mesmo valor de previsão de excedência. A diminuição do PRE é muito pequena (Tabela 6.30).

Tabela 6.30 Informação da árvore de regressão da estação de Olivais (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Olivais	114	66	Beato(3)	0.92	0.05	0.05	5

À semelhança do que acontece com a estação dos Olivais, a árvore de regressão de Paio Pires mantém a mesma estrutura mas, neste caso, é inserida uma variável nova, a estação de Alfragide/ Amadora (Tabela 6.31). Apesar de Alfragide/ Amadora apresentar correlações muito baixas com a estação de Paio Pires, esta foi escolhida como estação preditora, contudo Hospital Velho continua a ser a estação que determina a ramificação relativa à excedência. O PRE aumenta pouco.

Tabela 6.31 Informação da árvore de regressão da estação de Paio Pires (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Paio Pires	262	96	Hospital velho(2) Alfragide/ Amadora(1)	0.832	0.05	0.05	5

Constatou-se que o número de ramificações não muda, porém apenas das variáveis seleccionadas apenas o Restelo se mantém. As outras variáveis utilizadas para previsão apresentam correlações elevadas com a estação de Quinta do Marquês principalmente em relação às máximas diárias. Contudo o Restelo continua a ser a variável que define a excedência. O PRE mantém-se praticamente igual (Tabela 6.32).

Tabela 6.32 Informação da árvore de regressão da estação de Quinta do Marquês (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Quinta do Marquês	146	64	Mem-Martins(1) Paio Pires(1) Restelo(1)	0.774	0.05	0.05	5

Na estação da Reboleira, verificou-se que todas as variáveis mudaram, apesar de o número de ramificações permanecer igual (Tabela 6.33). As estações escolhidas localizam-se todas na proximidade da estação da Reboleira, e apresentam boas correlações com esta. O PRE sofreu um pequeno aumento, salienta-se no entanto o reduzido número de dados utilizados na construção da árvore. O Beato substitui a estação de Paio Pires na previsão de situações de ultrapassagem do valor definido como excedência.

Tabela 6.33 Informação da árvore de regressão da estação de Reboleira (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Reboleira	156	44	Quinta do Marquês(1) Beato(1) Alfragide/ Amadora(1)	0.891	0.05	0.05	5

Os resultados relativos à árvore de regressão do Restelo encontram-se na Tabela 6.34. Verificou-se que o número de ramificações reduziu substancialmente, não sendo para isso necessário baixar o nível de restrições de abertura da árvore, e o número de variáveis diminuiu. É de notar a entrada de uma nova variável, a estação da Reboleira que para além de se encontrar perto da estação está fortemente correlacionada com esta. O PRE diminuiu mas o número de ramificações também. O número de dados excluídos é alto em comparação com o número de dados utilizados. Quinta do Marquês continua a ser a estação usada na previsão de excedências.

Tabela 6.34 Informação da árvore de regressão da estação de Restelo (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Restelo	173	47	Quinta do Marquês(2) Reboleira(1)	0.852	0.05	0.05	5

Verificou-se que o PRE diminuiu na globalidade das estações, apenas seis árvores de regressão apresentaram valores de PRE superiores a 0.85. A chamusca continua a ser a estação com PRE mais reduzido, sendo a única que apresenta um PRE inferior a 0.75. As estações mais utilizadas foram as estações de Quinta do Marquês, Alfragide/ Amadora e Paio Pires. Em apenas oito das estações as variáveis que determinam as situações de excedência se mantiveram as mesmas. As árvores são no geral menos complexas o que facilita a previsão.

6.2.3 Análise meteorológica e de precursores

A avaliação instantânea com base nos dados meteorológicos, é útil na medida em que não depende dos dados sobre ozono e baseia-se apenas nos dados fornecidos por uma estação, a estação meteorológica da Avenida Gago Coutinho.

Para esta análise não foi necessária a exclusão de variáveis de entrada. Na tentativa de tornar os resultados mais fiáveis, foi, sempre que possível, aumentado o número de observações permitidas no final de cada nó visto que o programa excluía menos dados e portanto mais dados foram utilizados na construção das árvores.

A apresentação e análise dos resultados para cada estação são apresentadas em seguida.

As variáveis relativas à árvore de regressão da estação de Alfragide/ Amadora encontram-se na Tabela 6.35. O NO₂ e a humidade relativa e a intensidade do vento apresentam variações inversas às concentrações de ozono. A relação inversa do NO₂ com o ozono é explicada pelo consumo de ozono que se verifica aquando da oxidação do NO a NO₂. Um elevado valor de humidade relativa pode indicar a presença de nuvens e portanto menores valores de radiação. Em relação á intensidade do vento, quanto maior for menor é a estabilidade atmosférica necessária para que as reacções químicas ocorram. A temperatura por outro lado tem uma relação directa com a concentração de ozono. Temperaturas elevadas relacionam-se habitualmente, elevados valores de radiação solar e portanto altos níveis de produção fotoquímica.

O PRE da árvore final é bom, salvaguarda-se porém que o número de ramificações da árvore é elevado.

Verificou-se que para que ocorra uma excedência é necessário que as concentrações de NO₂ sejam inferiores a 89µg/m³, a humidade relativa máxima não pode ser superior a 35% e a intensidade do vento não seja elevada.

Tabela 6.35 Informação da árvore de regressão da estação de Alfragide/ Amadora.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Alfragide/ Amadora	349	179	T_INST(1)	0.864	0.01	0.01	5
			NO2(4)				
			NO2-1(1)				
			FF_MAX(1)				
			HR_MAX(1)				

Na estação de Arcos a árvore apresenta um valor de PRE baixo, contudo ainda acima de 0.50 (Tabela 6.36). Este é um valor baixo sobretudo considerando que a árvore tem um elevado número de ramificações. Nesta estação a ocorrência de excedência requer temperaturas elevadas e baixas concentrações de NO₂.

Tabela 6.36 Informação da árvore de regressão da estação de Arcos.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Arcos	102	786	T_MIN(1)	0.573	0.02	0.02	20
			O3-1(2)				
			NO2(2)				
			Rad(1)				
			T_MAX(1)				
			HR_MIN(1)				

No caso da estação do Beato a árvore revelou um PRE aceitável (Tabela 6.37), contudo o número de ramificações é considerado elevado e foi necessário baixar os níveis de restrições de abertura da árvore para que se pudesse obter uma ramificação indicadora de excedência. As condições determinantes para a ocorrência de excedência são a radiação, temperatura e concentração de ozono no dia anterior elevadas. A inclusão da concentração de ozono do dia anterior como variável de

entrada, pode indicar que os episódios de elevadas concentrações de ozono na zona do Beato tendem a durar mais de um dia, isto pode ser devido ao facto do Beato se situar muito próximo do estuário do Tejo, pelo que pode sofrer influência de brisas que aprisionem os poluentes na zona do estuário e que estes voltem trazidos na brisa do dia seguinte.

Tabela 6.37 Informação da árvore de regressão da estação de Beato.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Beato	438	474	Rad(1)	0.751	0.01	0.01	20
			O3-1(1)				
			FF_MED(1)				
			NO2(2)				
			NO(1)				
			DIF_RAD(1)				
			T_INST(1)				

Em relação à estação de Camarinha verificou-se que o PRE é baixo mesmo com um elevado número de ramificações (Tabela 6.38). As variáveis determinantes para que se dê uma excedência são temperaturas elevadas, baixos valores de NO₂ e a diferença horária do rumo do vento máximo. A estação de Camarinha pertence à aglomeração de Setúbal, pelo que a introdução da diferença horária do rumo do vento na árvore, pode estar relacionada com o tempo de dispersão de poluentes da AML Norte e Sul até Setúbal.

Tabela 6.38 Informação da árvore de regressão da estação de Camarinha.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Camarinha	96	528	T_Max(1)	0.686	0.01	0.01	20
			NO2(2)				
			O3-1(1)				
			T_MED(1)				
			Dif_DD_FX(1)				
			DD_FFX(1)				

A árvore de regressão para a Chamusca apresenta um PRE muito baixo, embora ainda acima de 0.50, no entanto o número de ramificações é baixo e o nível de restrição de abertura da árvore também (Tabela 6.39). Nesta estação a condição de ocorrência de excedência é determinada por elevadas temperaturas máximas e por concentrações do dia anterior elevadas. A utilização da concentração do dia anterior pode ser indicativo de que os episódios de ozono nesta estação prolongam-se durante dias. Tal facto pode ser justificado pelas pequenas concentrações de NO_x na região da Chamusca logo o ozono não é tão rapidamente consumido á noite e acumula-se para o dia seguinte.

Tabela 6.39 Informação da árvore de regressão da estação de Chamusca.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Chamusca	100	980	T _{max} (1) O3-1(2)	0.515	0.05	0.05	20

A estação de Entrecampos apresenta um PRE elevado baseado, contudo, em apenas 48 dados (Tabela 6.40). Experimentou-se baixar a restrições de abertura da árvore ao máximo mas não foi possível obter uma ramificação que revelasse um valor de excedência. As concentrações mais elevadas são previstas em função a intensidade máxima do vento, da temperatura instantânea e da direcção do vento.

Tabela 6.40 Informação da árvore de regressão da estação de Entrecampos.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Entrecampos	24	48	FF_MAX(1) NO2_1(1) T_INST(1) DD_INS(1) NO2(2)	0.89	0.02	0.02	5

Constatou-se que a estação da Escavadeira tem um PRE aceitável, no entanto ainda abaixo dos 0.75 (Tabela 6.41). Foi necessário baixar a permissão de índices de divisão para que se pudesse atingir um

patamar de excedência. Verificou-se que as condições de excedência são em função de elevados valores de radiação e temperatura e de baixas concentrações de NO. Esta última condição é devida a reacção de oxidação do NO que conduz ao consumo de ozono.

Tabela 6.41 Informação da árvore de regressão da estação de Escavadeira.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Escavadeira	13	419	Rad(1)	0.717	0.01	0.01	20
			FF_INS(1)				
			O31(1)				
			T_MIN(1)				
			NO2(1)				
			HR_MAX(1)				
			NO(1)				

O PRE da árvore de regressão da estação de Hospital Velho é razoável embora não atinja o valor de 0.75 (Tabela 6.42). As condições para a excedência são a radiação e temperatura mínima.

Tabela 6.42 Informação da árvore de regressão da estação de Hospital Velho

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Hospital Velho	46	578	RAD(2)	0.734	0.02	0.02	20
			T_MIN(1)				
			DIF_RAD(1)				
			NO2(1)				

No caso da estação do Laranjeiro mesmo baixando os níveis de restrição de abertura da árvore não foi possível obter uma ramificação que previsse um valor de excedência (Tabela 6.43). Optou-se por escolher a árvore menos ramificada que ainda assim apresenta um valor máximo de concentração de

147 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Elevados valores de radiação e humidade relativa instantânea baixa originam neste caso concentrações elevadas de ozono.

Tabela 6.43 Informação da árvore de regressão da estação de Laranjeiro.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Laranjeiro	198	162	Rad(1) HR_INS(1) FF_MED(1)	0.743	0.05	0.05	5

A árvore referente à estação de Loures apresenta um PRE aceitável, no entanto não chega ao patamar considerado para estimação (Tabela 6.44). A excedência é definida pelo ozono do dia anterior, pela radiação, e baixos valores de intensidade do vento e valores altos de NO.

Tabela 6.44 Informação da árvore de regressão da estação de Loures.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Loures	99	501	O3_1(1) NO2(1) RAD(1) DIF_RAD(1) FF_MAX(1) HR_INS NO2_1 NO	0.708	0.02	0.02	10

A avaliação instantânea dos níveis de ozono para a estação de Mem-Martins apresenta um PRE baixo, mesmo apresentando seis ramificações (Tabela 6.45). As excedências são definidas pela temperatura instantânea e pela concentração de ozono do dia anterior.

Tabela 6.45 Informação da árvore de regressão da estação de Mem-Marins.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Mem-Martins	47	457	T_INST(1)	0.657	0.02	0.02	5
			NO(1)				
			NO2(2)				
			NO2_DIF(1)				
			O3-1(1)				

Os resultados da árvore de regressão de Odivelas revelaram um PRE baixo (Tabela 6.46). As excedências são definidas pela intensidade do vento, pela humidade relativa máxima e pelo NO.

Tabela 6.46 Informação da árvore de regressão da estação de Odivelas.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Odivelas	4	212	FF_MAX(1)	0.659	0.02	0.02	5
			HR_MAX(1)				
			NO2(1)				
			NO(1)				
			T_INST(1)				

Considera-se que a árvore de regressão dos Olivais tem um bom PRE para estimação de valores (Tabela 6.47). As variáveis que definem a excedência são a radiação e a concentração de ozono do dia anterior. Facto que pode indicar que elevadas concentrações se podem prolongar de um dia para o outro, isto acontece também na estação do Beato que se situa perto dos Olivais.

Tabela 6.47 Informação da árvore de regressão da estação de Olivais.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Olivais	85	347	Rad(1) FF_MAX(1) NO2(1) O31(1) NO(1)	0.763	0.02	0.02	20

Analisando o PRE da árvore de regressão correspondente á estação de Paio Pires, verifica-se que é aceitável para estimação, no entanto a árvore apresenta nove divisões (Tabela 6.48). As variáveis que determinam situações de excedência são a radiação, a diferença horária da radiação e a concentração do ozono do dia anterior.

Tabela 6.48 Informação da árvore de regressão da estação de Paio Pires.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Paio Pires	251	613	Rad(2) dif_rad(2) O3-1(3) NO(1) FF_MED(1)	0.749	0.01	0.01	20

Em relação á estação de Quinta do Marquês verificou-se que o PRE é aceitável, contudo a árvore tem 10 ramificações (Tabela 6.49). A excedência é definida pela temperatura instantânea, pela radiação, pela humidade relativa, e pela concentração de ozono do dia anterior.

Tabela 6.49 Informação da árvore de regressão da estação de Quinta do marquês.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis(N° de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Quinta do Marquês	48	456	T_INST(1)	0.709	0.01	0.01	20
			NO(1)				
			NO2(1)				
			O3-1(2)				
			NO2_DIF(1)				
			Rad(1)				
			HR_MAX(1)				
			NO2-1(1)				

No caso da Reboleira, o PRE da árvore considera-se bom para estimação, no entanto a árvore apresenta muitas ramificações (Tabela 6.50). Não foi possível atingir um patamar de excedência, o valor mais elevado de concentração de ozono é 155.5 µg/m³. As concentrações elevadas são determinadas apenas pelas concentrações de ozono do dia anterior.

Tabela 6.50 Informação da árvore de regressão da estação de Reboleira.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (N° de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Reboleira	140	340	O3-1(3)	0.749	0.01	0.01	20
			NO2(1)				
			Rad(1)				
			HR_INS(1)				
			NO2_DIF(1)				

O PRE da estação do Restelo é aceitável para estimação (Tabela 6.51). Nesta estação as variáveis que determinam a ocorrência de uma excedência são a temperatura, a radiação, e a concentração de ozono do dia anterior.

Tabela 6.51 Informação da árvore de regressão da estação de Restelo.

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Restelo	163	365	T_MED(1) FF_MAX(1) NO2(1) Rad(1) NO(1)	0.746	0.02	0.02	20

A análise meteorológica relevou que a previsão de ozono obtém piores resultados com base nos dados meteorológicos e de precursores do que com base nas concentrações de ozono das estações vizinhas. Tal pode estar relacionado com o facto de na análise espacial a variável dependente ter a mesma natureza que as variáveis independentes. Esta é também a razão pela qual variável “concentração de ozono no dia anterior”(O3-1) é uma das variáveis mais escolhidas para a construção das árvores de regressão.

Os PRE obtidos foram, na globalidade, mais baixos. Apenas duas estações, Arcos e Entrecampos, apresentam valores de PRE superiores a 0.85. Salvuaguarda-se no entanto que o valor obtido na estação de Entrecampos se baseou num número muito reduzido de dados. Para além destas duas apenas mais duas obtiveram valores superiores a 0.75, foram elas a estação do Beato e dos Olivais. Constatou-se que cinco das árvores construídas possuem um valor de PRE inferior a 0.70.

As árvores apresentam, de forma geral, estruturas muito ramificadas. A radiação e as concentrações dos precursores são, para além da concentração de ozono no dia anterior, as variáveis mais vezes utilizadas na construção das árvores de regressão.

Na maioria das vezes em que as concentrações de precursores era escolhida verificava-se que para que para as concentrações de ozono serem elevadas as concentrações dos precursores tinham que ser baixas. No entanto, nas estações de Loures, Mem-Martins, Odivelas, Paio Pires, Quinta do Marquês e Restelo verifica-se que grandes concentrações de NO_x originam elevados valores de ozono. Este facto pode ser indicativo de que estas estações apresentam um regime NO_x-limitado típico de zonas rurais. Estas estações encontram-se perto das periferias da AML.

6.2.4 Redução do intervalo horário (análise meteorológica e de precursores)

À semelhança do que tinha sido feito para a análise espacial, também foi reduzido o intervalo horário de observações para não incluir valores de ozono muito baixos de ozono. Esta metodologia implicou uma redução no número de dados utilizados na construção das árvores.

Os resultados e sua análise são apresentados para cada uma das estações e as árvores encontram-se no Anexo III.

Na estação de Alfragide/ Amadora a variável de determina a excedência continua a ser a intensidade do vento mas, neste caso, passou a ser a intensidade máxima em vez da instantânea (Tabela 6.52). O PRE aumentou ligeiramente, contudo a quantidade de dados utilizados diminuiu bastante.

Tabela 6.52 Informação da árvore de regressão da estação de Alfragide/ Amadora (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
			DIF_RAD(2)				
			NO(1)				
Alfragide/ Amadora	150	70	FF_MAX(1)	0.88	0.02	0.02	5
			T_INST(1)				
			NO_1(1)				
			FF_INS(1)				

No que diz respeito à árvore da estação de Arcos verifica-se que apesar da grande diminuição no número de ramificações o PRE apresenta um valor semelhante, superior a 0.50 embora seja considerado baixo (Tabela 6.53). A variável que define a situação de excedência é a temperatura mínima.

Tabela 6.53 Informação da árvore de regressão da estação de Arcos (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
			DIF_RAD(1)				
			NO(1)				
Arcos	52	318	T_INST(1)	0.53	0.05	0.05	20
			O3_1(1)				
			T_MIN(1)				

O PRE da estação do Beato diminuiu significativamente (Tabela 6.54). A variável que define a excedência mudou, e passou a ser o ozono do dia anterior, que também estava presente na outra árvore.

Tabela 6.54 Informação da árvore de regressão da estação de Beato (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Beato	189	191	DIF_RAD(1) RAD(1) O3_1(1) NO (1)	0.57	0.02	0.02	20

Em relação á estação de Camarinha o PRE diminuiu (Tabela 6.55). Nesta árvore existem dois ramos que identificam situações de excedência, no entanto a variável que define a concentração mais elevada mantêm-se. A outra situação de excedência é determinada pela temperatura máxima.

Tabela 6.55 Informação da árvore de regressão da estação de Camarinha (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Camarinha	43	217	T_MED(1) O3_1(1) NO(1) NO2(1) DIF_DD_FX(1) T_MAX(1)	0.59	0.02	0.02	20

O valor de PRE obtido para a Chamusca mantêm-se aproximadamente igual, mas a árvore apresenta mais ramificações (Tabela 6.56). A concentração do ozono do dia anterior continua a determinar uma situação de excedência. A árvore originou um ramo que determina uma situação de ultrapassagem ao limiar de informação ao público que é definida pela direcção instantânea do vento.

Tabela 6.56 Informação da árvore de regressão da estação de Chamusca (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Chamusca	51	399	T_MIN(1) T_MED(1) O3_1(2) DD_INS(1)	0.50	0.02	0.02	20

No que respeita à árvore da estação de Entrecampos verificou-se uma redução no PRE, mas também uma redução no número de ramificações (Tabela 6.57). Não foi possível obter uma ramificação que definisse uma excedência, no entanto o ramo com a concentração mais alta define concentrações mais elevadas do que na árvore efectuada com o intervalo horário completo. Salienta-se, no entanto, que o número de dados utilizados na construção da árvore é muito reduzido.

Tabela 6.57 Informação da árvore de regressão da estação de Entrecampos (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Entrecampos	10	20	DIF_RAD(1) DD_FFX(1) DIF_T_MAX(1)	0.75	0.02	0.02	5

No caso da Escavadeira verificou-se uma diminuição no número de ramificações apesar do grande decréscimo no valor do PRE (Tabela 6.58). A variável que define a situação de excedência deixa de ser o NO e passa a ser a concentração de ozono do dia anterior.

Tabela 6.58 Informação da árvore de regressão da estação de Escavadeira (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Escavadeira	10	170	O3_1(2) NO(1) T_INST(1)	0.52	0.02	0.02	20

Em relação à estação de Hospital Velho o PRE diminui, mas o número de ramificações mantêm-se (Tabela 6.59). A variável que define a excedência não é a mesma, passando a ser a intensidade instantânea do vento.

Tabela 6.59 Informação da árvore de regressão da estação de Hospital Velho (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Hospital Velho	22	238	T_MIN(1) NO(3) FF_INS(1)	0.61	0.05	0.05	20

Em relação à estação do Laranjeiro foi necessário permitir um pequeno número de dados no final de cada ramo para que se obtivesse um ramo que determinasse um valor de excedência (Tabela 6.60). A árvore apresenta uma estrutura complexa, com muitas ramificações contudo com um PRE mais elevado e superior a 0.85. As variáveis que conduzem a ultrapassagens são o NO₂ e a humidade relativa instantânea. No entanto a árvore indica que para que se registem valores da ordem de 179µg/m³ a humidade relativa deve ser superior a 30%. Tal facto contraria a relação normalmente atribuída ao comportamento do ozono com a humidade relativa. Salvaguarda-se que são utilizados poucos dados na construção da árvore.

Tabela 6.60 Informação da árvore de regressão da estação de Laranjeiro (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Laranjeiro	84	66	O3_1(1) DD_INS(1) T_INST(2) DIF_RAD(1) NO(1) NO2_1(1) HR_INS(1)	0.86	0.02	0.02	5

Os resultados da estação de Loures revelaram um decréscimo no valor de PRE (Tabela 6.61). A estrutura da árvore sofreu algumas alterações, no entanto a redução no número de ramificações é pequena. As variáveis que determinam situações de excedências são a intensidade do vento e a concentração de NO₂ do dia anterior.

Tabela 6.61 Informação da árvore de regressão da estação de Loures (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Loures	39	211	DIF_RAD(1) RAD(2) HR_INS(1) HR_MED(1) FF_MAX(1) NO2_1(1)	0.86	0.01	0.01	20

O valor do PRE da árvore de Mem-Martins diminuiu, e a variável que determina a excedência é a concentração de NO₂ (Tabelas 6.62). Para que ocorra excedência é necessário que a concentração de NO₂ seja elevada indicando que esta estação pode ter um regime NO_x-sensitivo.

Tabela 6.62 Informação da árvore de regressão da estação de Mem-Martins (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Mem-Martins	95	225	DIF_RAD(1) O3_1(1) HR_INS(1) T_INST(1) NO2(1)	0.56	0.02	0.02	20

O PRE da estação de Odivelas aumentou, e a estrutura da árvore permaneceu semelhante (Tabela 6.63). A variável referente à situação de excedência é a mesma, reforçando a possibilidade de esta estação ser NO_x-sensitiva.

Tabela 6.63 Informação da árvore de regressão da estação de Odivelas (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Odivelas	2	88	HR_MED(1) NO(2) FF_MAX(1)	0.72	0.05	0.05	10

No caso da estação dos Olivais o PRE diminui, e a árvore apresenta menos uma ramificação (Tabela 6.64). A variável que determina a excedência é a concentração de NO do dia anterior.

Tabela 6.64 Informação da árvore de regressão da estação de Olivais (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Olivais	39	141	RAD(1) NO(1) T_INST(1) NO_1(1)	0.68	0.02	0.02	20

O PRE da árvore de da estação de Paio Pires diminui significativamente, no entanto a árvore apresenta uma estrutura menos complexa com um maior número de ramificações (Tabela 6.65). O ramo que caracteriza a situação de excedência continua a ser definido pela mesma variável.

Tabela 6.65 Informação da árvore de regressão da estação de Paio Pires (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Paio Pires	109	251	DIF_RAD(1) RAD(1) O3_1(1)	0.56	0.05	0.05	20

No caso da estação de Quinta do Marquês o PRE diminuiu significativamente, no entanto a estrutura da árvore é mais simples (Tabela 6.66). A variável que determina a excedência deixou de ser a concentração de ozono do dia anterior e passou a ser a temperatura máxima.

Tabela 6.66 Informação da árvore de regressão da estação de Quinta do Marquês (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Quinta do Marquês	22	188	DIF_RAD(1) HR_MAX(1) T_MAX(1)	0.58	0.05	0.05	10

O valor de PRE da estação da Reboleira diminuiu consideravelmente mas o número de ramificações é menor (Tabela 6.67). Na árvore anterior não foi possível atingir um patamar de excedência, no entanto com a redução do intervalo horário esse objectivo foi conseguido. Isto deve-se ao facto de os dados incluídos na construção destas árvores corresponderem a concentrações mais elevadas. A variável que determina a excedência é a radiação.

Tabela 6.67 Informação da árvore de regressão da estação de Reboleira (redução do intervalo horário).

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Reboleira	59	141	HR_MED(1) O3_1(1) RAD(2)	0.57	0.02	0.02	20

O PRE da árvore da estação do Restelo diminuiu à semelhança do que acontece na maioria das outras estações (Tabela 6.68). A variável que define a excedência mantém-se a concentração do ozono no dia anterior.

Tabela 6.68 Informação da árvore de regressão da estação de Restelo (redução do intervalo horário)

Estações	Dados Excluídos	Dados Utilizados	Variáveis (Nº de vezes)	PRE	Índice mínimo de divisão	Aumento mínimo do PRE	Número menor de dados permitidos no final de cada nó
Restelo	72	148	T_MED(1) HR_MED(1) O3_1(1)	0.65	0.05	0.05	20

No geral, e à semelhança do que acontece na análise espacial, a redução do intervalo horário conduz a uma diminuição no valor do PRE e a um aumento das concentrações máximas previstas. Verificou-se também que na globalidade a estrutura das árvores é menos complexa comparando com as árvores obtidas referentes ao intervalo horário completo. A concentração de ozono do dia anterior foi a variável mais utilizada, tal como tinha acontecido na análise anterior. Verificou-se que elevadas concentrações de NO_x se traduzem em grandes concentrações de ozono nas estações de Camarinha, Hospital Velho, Mem-Martins e Odivelas. Sendo que para as duas últimas esta relação já se verificava anteriormente apoiando a hipótese de que estas estações podem obedecer a um regime NO_x-limitado.

6.3 Previsão horária

A previsão horária foi dividida em duas fases, a fase de treino e a fase de validação. Ambas as fases são apresentadas neste capítulo em detalhe. Toda a informação sobre os modelos é apresentada no anexo IV.

6.3.1 Fase de treino

Através da Tabela 6.69 constatou-se que dos modelos finais encontrados o que apresenta um R^2 mais pequeno é do modelo de Alfragide/ Amadora para as 17:00 horas. Para os restantes modelos, à excepção de Camarinha às 17:00 horas (que tem um R^2 de aproximadamente 0.50), obtiveram-se modelos com R^2 superiores a 0.50). Verificou-se que o modelo com um coeficiente de determinação mais elevado foi o de Loures às 13:00 horas, que apenas com três variáveis obteve um R^2 de 0.91. O número máximo de variáveis foi onze.

Dos 80 modelos finais, 46 obtiveram R^2 superiores a 0.75 e como tal consideram-se robustos para estimação. Apenas cinco modelos apresentam R^2 inferior 0.60 e seis superiores ou iguais a 0.85, considerados robustos para previsão.

Apesar dos coeficientes de determinação serem razoáveis os erros padrão são, no geral, elevados, razão pela qual os modelos seguem razoavelmente bem o comportamento das concentrações de ozono mas apresentem resultados mais fracos na previsão de excedências.

Verificou-se que a maioria dos modelos apresenta valores de DW ligeiramente inferior a dois, indicando a possibilidade da existência de autocorrelação positiva nos residuais, embora a grande maioria dos valores possa ser arredondado para dois. Existem no entanto alguns casos em que o valor é mais próximo de um, como nos casos de: Alfragide/ Amadora às 13:00, 16:00 e 17:00; do Beato às 14:00; de Camarinha às 17:00; de Hospital Velho às 16:00; do Laranjeiro às 17:00 de Mem-Martins às 16:00; de Paio Pires às 14:00 e 15:00 e do Restelo às 16:00 e 17:00 horas (Anexo IV).

Verifica-se que ao longo do período de previsão há uma tendência para o aumento do erro padrão e para a diminuição do R^2 . Tal facto deve-se ao desfasamento horário ente a hora de previsão e os dados matinais em que se baseiam as previsões. No entanto, verificam-se casos de excepção como é por exemplo o caso da estação do Beato.

Tabela 6.69 Índices de performance dos modelos de previsão horária na fase de previsão.

	Coeficientes de Determinação (R ²)							Nº de variáveis							Erro Padrão							Nº de dados Usados						
	13h	14h	15h	16h	17h	13h	14h	15h	16h	17h	13h	14h	15h	16h	17h	13h	14h	15h	16h	17h	13h	14h	15h	16h	17h			
Alfragide/Amadora	0.85	0.76	0.75	0.61	0.46	4	5	5	3	5	9.15	11.82	11.92	15.37	18.03	474	414	494	600	615								
Arcos	0.84	0.75	0.72	0.72	0.71	5	7	8	5	9	10.74	12.81	13.72	16.37	14.57	536	430	417	575	312								
Beato	0.81	0.77	0.77	0.80	0.64	4	3	7	9	2	11.29	12.50	12.47	11.64	14.64	490	477	377	339	492								
Loures	0.91	0.81	0.81	0.78	0.70	3	4	7	11	9	8.08	11.49	11.15	12.25	13.55	671	472	437	412	474								
Laranjeiro	0.79	0.79	0.76	0.78	0.63	6	5	4	9	8	11.35	11.48	12.63	11.84	14.09	294	189	335	269	393								
Hospital Velho	0.77	0.69	0.61	0.65	0.71	5	6	6	5	5	14.10	16.59	17.20	19.00	15.96	425	409	322	374	584								
Escavadeira	0.81	0.70	0.60	0.60	0.59	3	5	5	5	4	13.31	14.42	17.74	17.54	17.62	413	319	319	472	588								
Quinta do Marqués	0.83	0.84	0.80	0.76	0.71	5	5	7	7	5	10.38	10.24	11.09	12.29	12.72	441	455	408	497	516								
Paio Pires	0.79	0.76	0.78	0.84	0.66	7	5	5	7	5	10.32	14.06	13.26	13.88	15.78	242	359	416	449	387								
Olivais	0.83	0.80	0.77	0.72	0.66	4	5	6	7	6	10.79	11.97	11.41	12.65	13.38	486	428	429	431	449								
Reboleira	0.87	0.77	0.76	0.77	0.68	4	3	4	8	5	9.17	11.65	12.36	11.67	14.19	502	495	432	579	481								
Mem-Martins	0.88	0.79	0.65	0.54	0.65	3	3	3	2	3	8.58	11.45	15.30	17.74	15.18	473	460	479	500	499								
Restelo	0.88	0.84	0.78	0.58	0.68	3	3	6	5	10	9.30	11.11	13.12	17.43	14.23	470	463	458	384	216								
Odivelas	0.89	0.84	0.76	0.73	0.66	4	4	4	6	7	8.13	9.60	11.82	13.39	13.22	328	316	313	313	250								
Camarinha	0.78	0.67	0.63	0.66	0.50	3	3	6	4	2	11.73	14.41	15.88	15.96	19.39	330	317	291	317	332								
Chamusca	0.85	0.80	0.77	0.75	0.72	2	3	4	3	3	11.34	12.61	13.99	14.25	16.04	499	410	468	453	474								

Os modelos finais de regressão linear para cada estação encontram-se descritos nas tabelas 6.70-6.85.

A estação de Alfragide/ Amadora foi a estação que obteve um R² mais pequeno, para o modelo referente às 17:00 horas, contudo este não foi o erro padrão mais elevado (Tabela 6.69). O Modelo das 13:00 horas, considera-se robusto para previsão, e os modelos correspondentes às 14:00 e 15:00 horas são modelos robustos para estimação. Os modelos referentes às duas últimas horas do período horário de previsão incluíram mais observações na construção dos modelos.

Tabela 6.70 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Alfragide/ Amadora.

		Alfragide/ Amadora		
O3_13	=	-1.58 + 0.28 * M-Mts_11 + 0.31 * NO2_11	+ 0.49 * A/A_DIF10-11	+ 0.65 * A/A_11
O3_14	=	0.39 + 0.63 * M-Mts_11 -0.37 * Rest_9	+ 0.25 * Arcs_11 + 0.20 * Escavd_D10-11	+ 0.39 * A/A_11
O3_15	=	24.54 + 0.19 * Arcs_11 + 0.55 * QMs_D10-11	+ 0.56 * Lours_11 -2.13 * DD_PRE_11	+ 0.15 * Escavd_D10-11
O3_16	=	34.78 + 0.15 * Arcs_11	-2.91 * DD_PRE_11	+ 0.61 * Lours_11
O3_17	=	74.42 + 0.16 * Rest_9 -1.34 * DD_PRE_8	+ 0.51 * Lours_11 -1.60 * DD_PRE_11	-1.73 * T_MIN_8

Os resultados obtidos para a estação de Arcos foram bastante bons, visto que todos os coeficientes de determinação foram superiores a 0.70 (Tabela 6.69). Porém, o modelo referente às 17:00 horas, utiliza nove variáveis mas possui erro padrão menor do que o modelo referente às 16:00 horas. Verificou-se que os modelos referentes às 13:00 e 14:00 horas são robustos para previsão e para estimação respectivamente.

Tabela 6.71 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Arcos.

		Arcos		
O3_13	=	5.49 + 0.77 * Arcs_11 + 0.50 * NO2_11	+ 0.23 * Entcamp_11 + 2.34 * D_T_min_10	+ 0.19 * HV_D10-11
O3_14	=	20.76 + 0.12 * Lours_9 + 0.36 * HV_D10-11 + 2.49 * T_MIN_11	+ 0.18 * Cham_11 + 0.35 * NO2_11	+ 0.57 * Arcs_11 -3.16 * T_MIN_8
O3_15	=	63.94 + 0.44 * Arcs_11 + 0.43 * Beato_D10-11 + 1.78 * DD_PRE_8	+ 0.23 * Cham_11 + 0.27 * NO2_11 -0.31 * HR_INS_9	+ 0.58 * HV_D10-11 -1.45 * T_MIN_8
O3_16	=	13.04 + 0.61 * Arcs_8 + 0.65 * Beato_D10-11	-0.58 * A/A_10 + 7.30 * D_T_Med_8	+ 0.88 * Lours_11
O3_17	=	72.90 + 0.27 * M-Mts_11 + 0.40 * Arcs_11 + 0.34 * NO2_11	-0.02 * DD_INS_11 -0.24 * Rest_10 -1.40 * T_MIN_8	+ 0.34 * Lours_11 + 0.32 * HV_D10-11 -0.35 * HR_MED_8

Em relação à estação do Beato os resultados mostram que os modelos correspondentes às três primeiras horas do período de previsão são aceitáveis para estimação visto que apresentam coeficientes de determinação superiores a 0.75 (Tabela 6.69). O erro padrão não sofre aumentos bruscos de hora para hora à semelhança do que acontece em outras estações.

Tabela 6.72 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Beato.

Beato								
O3_13	=	7.09	+	0.87 * Beato_11	+	0.33 * HV_D10-11	+	0.50 * QMs_D10-11
				+ 0.38 * NO2_11				
O3_14	=	9.34	+	0.26 * Cham_11	+	0.59 * Lours_11	+	0.83 * QMs_D10-11
O3_15	=	9.07	+	0.70 * QMs_D10-11	+	0.15 * Cham_11	+	0.62 * Lours_11
				+ 0.28 * Escavd_D10-11	+	0.18 * Arcs_11	+	-0.15 * Rest_10
				- 3.13 * D_FF_med_11				
O3_16	=	22.88	+	0.29 * Rest_9	+	0.50 * Lours_11	+	0.15 * Arcs_11
				+ 0.46 * Beato_11	+	0.20 * HV_D10-11	+	0.67 * M-Mts_D10-11
				+ 0.53 * Cham_D10-11	-0.98 * T_MIN_8	+	0.51 * D_HR_Med_11	
O3_17	=	12.25	+	0.75 * Lours_11	+	1.24 * M-Mts_D10-11		

Os modelos de regressão linear elaborados para a estação de Camarinha apresentam valores de R² baixos (Tabela 6.69). Apenas o modelo referente às 13:00 horas é considerado adequado para estimação. Os erros padrão também são, na generalidade, elevados comparativamente com as restantes estações, sendo que o erro padrão do modelo das 17:00 horas é o mais elevado comparativamente com o das outras estações. No entanto, Camarinha é uma das estações com uma baixa eficiência de medição, podendo esta falta de dados mascarar potenciais variáveis que poderiam ser úteis na construção do modelo.

Tabela 6.73 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Camarinha.

Camarinha								
O3_13	=	12.85	+	0.84 * Cmrnh_11	+	0.28 * HV_D10-11	+	0.54 * NO2_11
O3_14	=	18.12	+	0.28 * HV_D10-11	+	0.72 * Arcs_11	+	0.96 * NO2_11
O3_15	=	25.39	+	0.33 * Arcs_8	+	0.37 * HV_11	+	0.31 * Escavd_D8-11
				+ 0.64 * Reb_D10-11	+	0.78 * NO2_11	-1.82 * D_FF_Max_10	
O3_16	=	24.66	+	0.59 * HV_11	+	1.28 * QMs_D10-11	+	0.72 * NO2_11
				+ 0.01 * D_Rad_8				
O3_17	=	35.08	+	1.16 * AI/A_D10-11	+	0.59 * HV_11		

Os resultados da aplicação de RLM à estação da Chamusca apresentaram bons resultados (Tabela 6.69). Todos os modelos construídos apresentam R² superiores a 0.70. O modelo referente às 13:00 horas considera-se robusto para previsão e os modelos que compreendem o período das 14:00 às

16:00 horas apresentam coeficientes de correlação considerados bons para estimação. Os erros padrão não são muito elevados comparativamente com o quadro geral de erros padrão registados.

Tabela 6.74 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Chamusca.

Chamusca														
O3_13	=	14.47	+	0.91	*	Cham_11	+	0.59	*	Cham_D10-11				
O3_14	=	16.42	+	0.89	*	Cham_11	+	1.36	*	NO2_11	+	0.24	*	Rest_D10-11
O3_15	=	30.94	+	0.80	*	Cham_11	+	1.01	*	NO2_9	+	0.36	*	Al/A_D10-11
				-1.07	*	FF_MAX_11								
O3_16	=	19.39	+	0.80	*	Cham_11	+	0.41	*	M-Mts_D8-11	+	0.95	*	NO2_9
O3_17	=	24.87	+	0.79	*	Cham_11	+	0.51	*	M-Mts_D8-11	-	0.03	*	DD_INS_11

Os coeficientes de determinação obtidos para a estação da Escavadeira são baixos, à excepção do R² relativo ao modelo das 13:00 horas (Tabela 6.69). Apenas este último foi considerado robusto para estimação. Verificou-se, ainda, que os erros padrão estimados são muito elevados, principalmente os referentes às três últimas horas do período de previsão.

Tabela 6.75 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Escavadeira

Escavadeira														
O3_13	=	5.61	+	0.92	*	Escavd_11	+	0.72	*	Laranj_D10-11	+	0.41	*	PP_D10-11
O3_14	=	8.80		-0.31	*	Olvs_10	+	0.55	*	Escavd_11	+	0.58	*	Lours_11
				+ 0.63	*	Cham_D10-11	+	0.56	*	Laranj_D10-11				
O3_15	=	42.27	+	0.23	*	M-Mts_8	+	0.48	*	Escavd_11	+	0.58	*	Laranj_D10-11
				+ 0.46	*	PP_D10-11		-3.93	*	DD_PRE_11				
O3_16	=	35.93	+	0.15	*	Arcs_8	+	0.59	*	Escavd_11	+	0.32	*	Cham_D10-11
				+ 0.49	*	Al/A_D10-11	+	-3.55	*	DD_PRE_11				
O3_17	=	27.16	+	0.80	*	Escavd_11		-0.27	*	HV_D8-11	+	0.49	*	Al/A_D10-11
				-2.61	*	DD_PRE_8								

Os resultados da análise dos coeficientes de determinação para a estação de Hospital Velho revelaram que estes são baixos (Tabela 6.69). Apenas o modelo relativo à primeira hora do período de previsão é considerado robusto para previsão. Verificou-se uma subida do R² no modelo das 17:00 horas, que contraria a tendência geral de um decréscimo no R² ao longo do período de previsão. Os erros padrão são muito elevados, tal como acontece na estação de Escavadeira. Estas estações situam-se perto uma da outra e parecem apresentar dificuldades de previsão semelhantes, indicando que a área onde se situam pode estar a sofrer influência de algum factor não descrito por nenhuma das variáveis de entrada.

Tabela 6.76 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Hospital Velho

Hospital Velho													
O3_13 =	6.29	+	0.92	*	HV_11	+	0.76	*	Rest_D10-11	+	0.53	*	M-Mts_D10-11
O3_14 =	-7.02	+	0.33	*	HV_11	+	0.74	*	Rest_D10-11	-	3.95	*	D_FF_INS_11
O3_15 =	49.45	+	0.18	*	Cham_11	+	0.49	*	Lours_11	+	0.30	*	HV_D10-11
O3_16 =	-2.86	+	0.70	*	HV_8	+	0.37	*	Lours_11	+	0.67	*	Escavd_D10-11
O3_17 =	22.12	+	0.48	*	Lours_11	+	0.86	*	HV_8	-	0.36	*	Rest_10

Os resultados do R^2 , para a estação do Laranjeiro, são muito bons, os modelos referentes às quatro primeiras horas do período de previsão são robustos para estimação (Tabela 6.69). As duas últimas horas do período de previsão incluem um elevado número de variáveis. Os erros padrão são, na generalidade, baixos relativamente às outras estações. Contudo, verifica-se que, comparativamente com as outras estações, o número de dados utilizados é inferior.

Tabela 6.77 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Laranjeiro

Laranjeiro													
O3_13 =	2.98	+	0.20	*	Arcs_8	+	0.25	*	Cham_11	+	0.42	*	M-Mts_11
O3_14 =	14.11	+	0.19	*	Cham_11	+	0.62	*	Lours_11	+	0.98	*	QMs_D10-11
O3_15 =	8.13	+	0.20	*	Cham_11	+	0.62	*	Lours_11	+	0.38	*	AI/A_D10-11
O3_16 =	18.71	-	0.32	*	Rest_10	+	0.67	*	Lours_11	+	0.26	*	Arcs_11
O3_17 =	23.13	+	0.29	*	Arcs_8	+	0.42	*	Entcamp_8	+	0.16	*	Lours_11

Os resultados obtidos para a estação de Loures foram muito bons. Os cinco modelos elaborados apresentam valores de R^2 superiores ou iguais a 0.70 (Tabela 6.69). O modelo das 13:00 horas considera-se robusto para previsão, e os modelos das 14:00 às 16:00 horas são robustos para estimação. No entanto, salvaguarda-se que o modelo referente às 16 horas inclui onze variáveis. Os erros padrão são baixos comparativamente com a globalidade das estações.

Tabela 6.78 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Loures

Loures						
O3_13	=	0.58	+	0.95 * Lours_11	+	0.41 * Reb_D10-11 + 0.70 * NO2_11
O3_14	=	13.19	+	0.64 * M-Mts_11 - 0.70 * T_MIN_8	+	0.30 * Cham_11 + 0.75 * AI/A_D10-11
O3_15	=	9.71	+	0.22 * Arcs_8 + 0.81 * M-Mts_11 + 0.08 * Med-1	-0.51 * Reb_10 + 0.55 * AI/A_D10-11	+ 0.25 * Lours_10 + 0.58 * Beato_D10-11
O3_16	=	96.05	+	0.46 * M-Mts_11 + 0.31 * Beato_D8-11 + 0.26 * QMs_D10-11 - 0.17 * NO2_9	+ 0.18 * Cham_11 + 0.60 * AI/A_D10-11 - 1.66 * T_MIN_8 - 1.48 * DD_PRE_11	-0.26 * AI/A_D8-11 + 0.12 * HV_D10-11 - 0.45 * HR_MAX_8
O3_17	=	45.96	+	0.15 * AI/A_8 - 0.27 * AI/A_10 + 0.70 * QMs_D10-11	-0.13 * Escavd_10 + 0.13 * Cham_11 - 1.11 * T_MIN_8	+ 0.38 * Lours_10 + 0.50 * Beato_11 - 1.56 * DD_PRE_11

Constatou-se que todos os modelos elaborados para a estação de Mem-Martins utilizam um número de variáveis inferior à média de todos os modelos (Tabela 6.69). O estudo dos resultados demonstrou que o modelo das 13:00 horas pode ser utilizado para previsão e que o das 14:00 horas é um modelo robusto para estimação. Os restantes obtiveram valores baixos de R². Na última hora de previsão o R² aumenta em comparação com o R² das 16:00 horas, contrariando a tendência geral verificada.

Tabela 6.79 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Mem-Martins

Mem-Martins						
O3_13	=	2.66	+	0.97 * M-Mts_11	+	0.41 * NO2_8 - 1.28 * D_FF_Max_10
O3_14	=	8.04	+	0.88 * M-Mts_11	+	0.35 * NO2_8 + 0.15 * Beato_D8-11
O3_15	=	30.64	+	0.71 * Beato_9	+	0.57 * Reb_D8-11 + 1.04 * M-Mts_D10-11
O3_16	=	34.84	+	0.66 * Beato_9	+	0.70 * Reb_D8-11
O3_17	=	19.22	+	-0.46 * Reb_8	+	0.40 * Beato_9 + 0.84 * M-Mts_11

Odivelas tem uma baixa eficiência de medição, e como tal o número de dados utilizado na construção dos modelos é inferior aos restantes (Tabela 6.69). Os coeficientes de regressão são, no geral, bons, considerando-se o das 13:00 horas como robusto para previsão e os das 14:00 e 15:00 robustos para estimação. Os erros padrão apresentados são baixos comparativamente com os restantes.

Tabela 6.80 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Odivelas

Odivelas						
O3_13	=	6.20	+	0.76 * M-Mts_11 - 0.35 * M-Mts_9	+	0.57 * AI/A_D10-11 + 0.45 * Lours_11
O3_14	=	9.11	+	0.72 * M-Mts_11 + 0.09 * NO_10	+	0.64 * AI/A_D10-11 + 0.23 * Oivs_D8-11
O3_15	=	29.03	+	0.39 * Cham_11 - 2.57 * DD_PRE_11	+	0.42 * Entcamp_11 + 0.48 * M-Mts_D8-11
O3_16	=	42.88	+	0.30 * Cham_11 + 0.10 * NO_10	+	0.47 * Beato_11 - 0.88 * T_MAX_10 - 2.50 * DD_PRE_11
O3_17	=	25.08	+	0.18 * Entcamp_11 - 0.31 * Entcamp_D8-11 - 2.07 * DD_PRE_11	+	0.34 * Beato_11 + 0.67 * AI/A_D10-11 + 0.32 * PP_11 + 0.47 * M-Mts_D10-11

Os modelos da estação de Olivais referentes às primeiras horas do período de previsão, são robustos para estimação (Tabela 6.69). Os erros padrão obtidos são relativamente baixos.

Tabela 6.81 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Olivais.

		Olivais												
O3_13	=	5.64	+	0.87	*	Lours_11	+	0.29	*	M-Mts_D8-11	+	0.29	*	Escavd_D10-11
O3_14	=	1.30	+	0.16	*	Cham_11	+	0.60	*	Lours_11	+	0.17	*	Arcs_11
O3_15	=	82.44	+	0.61	*	Lours_11	+	0.40	*	M-Mts_D8-11	-	1.55	*	T_MIN_8
O3_16	=	36.45	-	0.19	*	QMs_10	+	0.70	*	Lours_11	+	0.23	*	Arcs_11
O3_17	=	30.95	+	0.25	*	pp_8	-	0.21	*	Al/A_10	+	0.68	*	Lours_11

A estação de Paio Pires contraria a tendência da generalidade das estações apresentando o R² mais elevado às 16:00 horas, contudo este modelo inclui sete variáveis. Todos os modelos, à exceção do modelo relativo 17:00 horas, são robustos para estimação (Tabela 6.69).

Tabela 6.82 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Paio Pires.

		Paio Pires												
O3_13	=	9.86	+	0.30	*	Cham_11	+	0.23	*	Arcs_11	+	0.32	*	Al/A_D10-11
O3_14	=	10.58	+	0.67	*	Lours_11	+	0.16	*	Cham_11	+	0.74	*	QMs_D10-11
O3_15	=	8.90	+	0.49	*	pp_11	+	0.35	*	Lours_11	+	1.19	*	QMs_D10-11
O3_16	=	1.57	-	0.44	*	Rest_10	+	0.28	*	Beato_11	+	0.91	*	pp_11
O3_17	=	5.63	+	0.36	*	Arcs_8	+	0.52	*	Beato_11	+	1.20	*	QMs_D10-11

Para estação da Quinta do Marquês obtiveram-se bons resultados, visto que todos os R² foram superiores a 0.70 (Tabela 6.69). Constatou-se que todos os modelos até às 16:00 horas são robustos para estimação. Os valores do erro padrão são razoáveis.

Tabela 6.83 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Quinta do Marquês.

Quinta do Marquês						
O3_13	=	4.52	-0.18 * Rest_9	+ 0.23 * QMs_9	+ 0.34 * Lours_11	
			+ 0.52 * M-Mts_11	+ 1.03 * QMs_D10-11		
O3_14	=	19.18	+ 0.68 * M-Mts_11	+ 0.20 * Arcs_11	+ 0.52 * Al/A_D10-11	
			+ 0.81 * QMs_D10-11	-0.88 * T_MIN_8		
O3_15	=	31.28	+ 0.06 * Rest_9	+ 0.30 * Beato_11	+ 0.36 * Lours_11	
			+ 0.11 * Arcs_11	+ 1.07 * QMs_D10-11	+ 0.47 * NO2_11	
			-1.25 * T_MIN_8			
O3_16	=	52.90	+ 0.41 * Lours_11	+ 0.35 * Beato_11	+ 0.33 * Al/A_D10-11	
			+ 0.44 * NO2_11	-1.27 * T_MIN_8	+ 0.75 * D_HR_mim_9	
			-1.50 * DD_PRE_11			
O3_17	=	31.58	+ 0.30 * Beato_11	+ 0.56 * QMs_11	+ 0.71 * NO2_11	
			-1.06 * T_MED_9	+ 0.63 * D_HR_mim_9		

Verificou-se, para a estação da Reboleira, que o modelo correspondente às 13:00 horas pode ser utilizado para previsão, e os modelos das 14:00 às 16:00 são robustos para estimação (Tabela 6.69). O modelo das 16:00 horas apresenta um coeficiente de determinação maior do que o das 15:00 horas, ao contrário daquilo se que verificou na maioria das estações. Os erros padrão verificados são aceitáveis.

Tabela 6.84 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Reboleira.

Reboleira						
O3_13	=	0.74	+ 0.24 * QMs_11	+ 0.69 * Reb_11	+ 0.14 * Olvs_D8-11	
			+ 0.49 * NO2_11			
O3_14	=	6.49	+ 0.60 * QMs_11	+ 0.30 * Olvs_11	+ 0.51 * NO2_11	
O3_15	=	5.33	+ 0.57 * Lours_11	+ 0.28 * Arcs_11	+ 0.25 * Laranj_D10-11	
			+ 0.60 * NO2_11			
O3_16	=	30.47	-0.28 * Al/A_10	+ 0.24 * Entcamp_11	+ 0.80 * Reb_11	
			-1.16 * T_MIN_8	+ 0.58 * NO2_11	-0.78 * DD_PRE_11	
			+ 1.70 * D_T_max_11	+ 1.63 * FF_MED_10		
O3_17	=	26.39	+ 0.41 * Lours_10	+ 0.40 * Beato_11	+ 0.89 * QMs_D10-11	
			-0.83 * T_MIN_8	+ 0.22 * NO2_10		

Dos modelos construídos para a estação do Restelo, três obtiveram R^2 superiores a 0.75 (Tabela 6.69). O modelo referente às 13:00 horas pode ser utilizado para previsão, e os modelos das duas horas seguintes são robustos para estimação. O modelo das 16:00 horas apresenta um R^2 baixo e um erro padrão elevado. O R^2 do modelo das 17 horas é superior ao da hora anterior porém este inclui 10 variáveis na equação de previsão da concentração de ozono.

Tabela 6.85 Modelos de regressão linear Múltipla para as horas do período de previsão da estação de Restelo.

		Restelo												
O3_13	=	0.66	+	0.94	*	Rest_11	+	0.49	*	QMs_D10-11	+	0.81	*	NO2_11
O3_14	=	0.59	+	0.92	*	Rest_11	+	0.62	*	QMs_D10-11	+	0.96	*	NO2_11
O3_15	=	11.89	+	0.13	*	Lours_11	+	0.69	*	Rest_11	+	0.65	*	QMs_D10-11
			+	0.71	*	NO2_11	+	0.11	*	NO_8	+	-1.12	*	DD_PRE_11
O3_16	=	16.03	+	0.49	*	Beato_11	+	1.16	*	QMs_D10-11	+	0.33	*	HV_D10-11
			+	0.25	*	Arcs_8	+	0.36	*	Cham_D10-11				
O3_17	=	8.11	+	0.27	*	Laranj_9	-	0.40	*	Al/A_10	+	0.44	*	Lours_11
			+	0.56	*	Beato_11	-	0.22	*	pp_D8-11	+	0.50	*	HV_D10-11
			+	0.52	*	QMs_D10-11	+	0.38	*	Cham_D10-11	+	0.10	*	NO_11
			+	1.06	*	D_HR_max_8								

Verifica-se que existem variáveis muito pouco utilizadas, como é o caso da média e máxima concentrações do dia anterior. Tal está provavelmente relacionado com o facto de que a concentração horária do ozono depender sobretudo das condições meteorológicas e das emissões verificadas ao longo do dia do que dos valores do dia anterior.

A radiação, variável que era frequentemente incluída nas árvores de regressão, foi muito poucas vezes utilizada como variável preditora na previsão horária. As variáveis que apareceram mais recorrentemente foram as concentrações de ozono. As concentrações dos precursores, as temperaturas e a direcção do vento também apareceram frequentemente embora muito menos vezes do que as concentrações de ozono. Verificou-se que as variações horárias foram frequentemente utilizadas pelos modelos.

6.3.2 Fase de validação

Em relação ao coeficiente de determinação, verifica-se que de forma geral o R^2 diminui. Os decréscimos mais significativos, assinalados a negrito na Tabela 6.86, verificam-se na estação do Beato, entre as 14:00 e as 16:00 horas, entre as 16:00 e 17:00 horas na estação de Arcos, Hospital Velho e Restelo, ente as 15:00 e 16:00 na estação do Paio Pires, às 15:00 horas nos Olivais, às 14:00 horas na Escavadeira e Laranjeiro, e às 13:00 horas na estação de Hospital Velho e Olivais. Não foi possível calcular o R^2 da estação do Beato e de Paio Pires às 17:00 horas, pois o valor de R^2 , calculado através da equação (5.11), dava um valor fora do intervalo lógico do R^2 (de 0 a 1), pois a soma dos quadrados dos erros era superior à soma dos quadrados total, verificando-se, neste caso, que o resultado dos modelos não é aceitável. Por outro lado verificaram-se, também, casos em que o R^2 aumenta. Tal facto foi constatado nos modelos, assinalado com uma caixa na tabela, das 15:00 às 17:00 horas da estação de Alfragide/ Amadora, às 13:00 e 14:00 horas da estação de Camarinha, às 16:00 horas da estação de Mem-Martins, das 16:00 às 17:00 horas da estação de Odivelas, às 15:00 horas da estação de Quinta do Marquês. Os gráficos das concentrações estimadas e observadas, são apresentados no Anexo VI, para os casos mais problemáticos e para os casos dos modelos com

melhores performances. Encontram-se no Anexo VI os gráficos cujo o R^2 da fase de validação foi inferior a 0.20 e superior ou igual a 0.80.

As estações que mostraram melhores resultados foram a estação de Alfragide/ Amadora, Chamusca, Loures, Odivelas, Reboleira. Por outro lado, as estações do Beato, Paio Pires e Hospital Velho apresentam os piores resultados. À excepção das estações de Alfragide/ Amadora, Chamusca, Escavadeira, Loures, Odivelas, Olivais, Quinta do Marquês e Reboleira, os modelos correspondentes às 17:00 não apresentam resultados aceitáveis. Em relação aos modelos referentes às 16:00, á excepção das estações de Alfragide/ Amadora, Chamusca, Laranjeiro, Loures, Odivelas, Mem-Martins, Olivais e Reboleira, os resultados mostram performances muito fracas.

Em seguida apresentam-se os valores dos índices de performance dos modelos para a fase de treino, em comparação com a fase de validação (Tabela 6.86-6.90).

Tabela 6.86 R^2 para a fase de treino e validação.

	Fase de Treino					Fase de Validação				
	R^2					R^2				
	13h	14h	15h	16h	17h	13h	14h	15h	16h	17h
Alfragide/Amadora	0.85	0.76	0.75	0.61	0.46	0.74	0.75	0.76	0.72	0.58
Arcos	0.84	0.75	0.72	0.72	0.71	0.70	0.70	0.63	0.08	0.39
Beato	0.81	0.77	0.77	0.80	0.64	0.78	0.38	0.43	0.40	
Camarinha	0.78	0.67	0.63	0.66	0.50	0.84	0.70	0.46	0.03	0.41
Chamusca	0.85	0.80	0.77	0.75	0.72	0.81	0.65	0.68	0.60	0.59
Escavadeira	0.81	0.70	0.60	0.60	0.59	0.68	0.13	0.56	0.47	0.57
Hospital Velho	0.77	0.69	0.61	0.65	0.71	0.31	0.65	0.41	0.11	0.24
Laranjeiro	0.79	0.79	0.76	0.78	0.63	0.74	0.45	0.64	0.70	0.09
Loures	0.91	0.81	0.81	0.78	0.70	0.83	0.73	0.69	0.72	0.63
Mem-Martins	0.88	0.79	0.65	0.54	0.65	0.79	0.69	0.65	0.56	0.46
Odivelas	0.89	0.84	0.76	0.73	0.66	0.71	0.73	0.74	0.75	0.68
Olivais	0.83	0.80	0.77	0.72	0.66	0.51	0.60	0.40	0.60	0.54
Paio Pires	0.79	0.76	0.78	0.84	0.66	0.66	0.66	0.22	0.15	
Quinta do Marquês	0.83	0.84	0.80	0.76	0.71	0.70	0.69	0.81	0.39	0.63
Reboleira	0.87	0.77	0.76	0.77	0.68	0.86	0.82	0.80	0.75	0.67
Restelo	0.88	0.84	0.78	0.58	0.68	0.83	0.77	0.59	0.36	0.28

Os valores do MBE observados apresentam grandes diferenças ente a fase de treino e validação. Diferenças elevadas foram também encontradas por Sousa *et al.* (2006a e 2006b). Isto deve-se ao facto dos valores do MBE na fase de treino serem praticamente zero, como se verifica também nos estudos de Sousa *et al.* e por Li *et al.* (2006). Este índice foi utilizado com o principal objectivo de verificar se os resultados dos modelos foram sub ou sobrestimados. Como os resultados da fase de treino são praticamente zero esta análise foi efectuada através do estudo dos valores do MBE da fase de validação. Assim, verificou-se que a maioria dos modelos subestima as concentrações de ozono. Apenas 31 modelos sobrestimam as concentrações de ozono, assinalados a negrito na Tabela 6.87.

Tabela 6.87 MBE para a fase de validação.

	Fase de Validação				
	MBE				
	13h	14h	15h	16h	17h
Alfragide/Amadora	-7.92	-6.96	-1.76	4.10	4.60
Arcos	3.25	1.99	1.52	1.63	6.80
Beato	1.89	0.06	-3.39	-0.94	-2.45
Camarinha	0.00	-3.34	-3.99	-19.46	-9.76
Chamusca	1.10	2.95	-2.67	-1.93	2.31
Escavadeira	-0.06	-7.62	-4.53	-7.06	-5.55
Hospital Velho	-10.57	-0.83	-3.23	-5.14	-5.83
Laranjeiro	-3.46	-6.23	-5.16	-3.97	-8.27
Loures	-1.72	-2.31	-2.27	-0.94	1.12
Mem-Martins	-0.16	0.07	4.32	5.33	2.70
Odivelas	-7.24	-10.03	-0.57	-2.01	9.12
Olivais	-11.00	-8.44	-13.06	-9.01	-4.25
Paio Pires	-12.41	1.28	5.13	6.58	7.10
Quinta do Marquês	-10.08	-10.02	-2.69	-13.06	4.36
Reboleira	3.35	1.04	0.24	3.26	-0.21
Restelo	2.19	2.47	1.26	-2.23	2.99

A análise da diferença, em valor absoluto, foi realizada através do cálculo de MAE (Tabela 6.88). Os valores observados para a fase de treino são, no geral, razoáveis. Os valores do MAE aumentam, em quase todos os modelos, na fase de validação. Facto que acontece também nos estudo de Sousa *et al.* (2006a e 2006b) sendo que os valores do MAE na fase de validação são semelhantes aos encontrados nesses estudos. Verificam-se, porém, casos em que o MAE diminuía na fase de validação, assinalados na tabela a negrito, são eles: os modelos de Camarinha para as 13:00 e 14:00 horas, os modelos de Mem-Martins para as 15:00 e 16:00 horas e os modelos da Reboleira para as 15:00 horas.

Tabela 6.88 MAE para a fase de treino e validação.

	Fase de Treino					Fase de Validação				
	MAE					MAE				
	13h	14h	15h	16h	17h	13h	14h	15h	16h	17h
Alfragide/Amadora	6.89	9.00	9.25	12.24	12.54	11.06	13.40	13.18	16.55	17.92
Arcos	7.98	9.77	10.73	12.72	10.86	10.87	9.92	11.37	16.19	14.53
Beato	7.74	9.40	9.31	8.91	11.28	9.68	15.67	16.70	15.82	21.81
Camarinha	8.82	10.97	12.28	12.65	15.17	7.65	10.40	15.41	21.55	18.07
Chamusca	7.96	9.73	10.67	10.94	12.22	8.38	11.55	13.43	12.28	12.57
Escavadeira	9.81	10.84	13.19	13.62	13.16	13.11	20.51	18.26	20.61	17.31
Hospital Velho	10.55	12.28	13.29	14.36	12.26	16.25	12.99	17.50	19.62	18.38
Laranjeiro	7.84	8.46	9.57	8.92	10.95	9.97	13.52	12.41	11.10	16.31
Loures	6.14	8.61	8.65	9.29	10.33	9.08	11.69	12.32	12.03	14.91
Mem-Martins	6.08	8.33	12.06	13.66	11.71	7.59	9.16	10.88	11.66	12.76
Odivelas	6.26	7.55	9.12	10.45	10.43	11.43	12.43	13.65	10.87	14.72
Olivais	7.96	8.84	8.76	9.48	10.15	14.85	14.67	19.81	13.96	13.63
Paio Pires	7.63	10.69	9.95	10.38	12.00	13.80	11.90	13.80	14.13	11.81
Quinta do Marquês	7.57	7.76	8.52	9.48	9.77	11.26	11.92	10.71	18.09	14.43
Reboleira	6.27	8.69	9.46	8.84	11.11	7.97	10.13	8.32	9.53	11.70
Restelo	6.89	8.36	9.73	13.95	10.61	8.90	10.51	13.93	15.41	16.49

Os valores do RMSE para a fase de treino são razoáveis e semelhantes aos obtidos por Sousa *et al.* (2006a e 2006b). Verifica-se que há, no geral, um aumento dos valores à medida que se avança no período horário de previsão (Tabela 6.89). A diferença entre a fase de validação é, de forma global, elevada, no entanto os valores são comparativos com os resultados dos estudos de Sousa *et al.* (2006a e 2006b). Os aumentos mais significativos, assinalados a negrito, verificaram-se às 13:00 horas na estação de Alfragide/ Amadora e Odivelas; às 15:00 horas da estação dos Olivais, às 16:00 horas da estação do Beato, Camarinha, Escavadeira e Quinta do Marquês e às 17:00 horas da estação de Loures e Beato.

Tabela 6.89 RMSE para a fase de treino e validação.

	Fase de Treino					Fase de Validação				
	RMSE					RMSE				
	13h	14h	15h	16h	17h	13h	14h	15h	16h	17h
Alfragide/Amadora	9.10	11.73	11.84	15.32	16.80	21.69	20.42	20.68	20.77	22.09
Arcos	10.68	12.69	13.58	16.28	14.38	13.04	13.99	15.34	21.27	21.09
Beato	11.23	12.45	12.33	11.46	14.60	12.84	20.99	20.84	22.58	31.41
Camarinha	11.66	14.32	15.69	15.83	19.31	9.62	13.26	19.80	29.99	25.97
Chamusca	11.31	12.54	13.92	14.19	15.97	13.55	17.75	17.86	17.91	17.94
Escavadeira	13.24	14.28	17.57	17.43	17.54	17.87	32.46	23.73	28.88	26.86
Hospital Velho	14.00	16.45	17.01	18.85	15.87	24.94	18.07	25.31	28.59	25.25
Laranjeiro	11.21	11.38	12.53	11.62	13.93	14.07	17.61	17.54	15.83	26.18
Loures	8.06	11.43	11.05	12.07	13.40	12.91	17.32	18.97	17.79	19.24
Mem-Martins	8.55	11.40	15.24	17.69	15.12	10.53	12.63	13.49	14.86	16.31
Odivelas	8.06	9.52	11.71	13.24	13.00	20.29	19.04	18.13	17.19	19.41
Olivais	10.62	11.89	11.32	12.53	13.27	19.72	20.01	27.24	18.95	19.38
Paio Pires	10.15	13.94	13.16	13.76	15.66	16.55	16.48	22.63	19.47	22.57
Quinta do Marquês	10.31	10.17	10.98	12.19	12.64	16.96	17.67	15.21	25.43	19.38
Reboleira	9.13	11.60	12.29	11.64	14.10	10.82	12.21	11.96	12.68	15.27
Restelo	9.26	11.06	13.02	17.29	13.86	12.39	14.58	20.16	22.71	22.48

O índice de concordância mede a diferença entre a média, os valores observados e os estimados. Os índices de concordância obtidos para a fase de treino são razoáveis. Constatou-se que os valores dos índices diminuem ao longo do período horário de previsão. Os d_2 diminuem, de forma geral, na fase de validação. As diferenças mais significativas estão assinaladas a negrito na Tabela 6.90. No entanto, verificaram-se também casos em que o índice de concordância aumentou, estes encontram-se assinalados com uma caixa na Tabela 6.90.

Tabela 6.90 d_2 para a fase de treino e validação

	Fase de Treino					Fase de Validação				
	d_2					d_2				
	13h	14h	15h	16h	17h	13h	14h	15h	16h	17h
Alfragide/Amadora	0.96	0.93	0.93	0.87	0.78	0.91	0.91	0.85	0.89	0.82
Arcos	0.95	0.92	0.91	0.91	0.91	0.93	0.92	0.89	0.82	0.85
Beato	0.95	0.93	0.93	0.94	0.88	0.95	0.97	0.86	0.81	0.65
Camarinha	0.94	0.89	0.88	0.89	0.81	0.95	1.00	0.78	0.62	0.73
Chamusca	0.96	0.94	0.93	0.93	0.91	0.95	0.90	0.90	0.87	0.87
Escavadeira	0.95	0.91	0.86	0.86	0.86	0.91	0.99	0.84	0.79	0.81
Hospital Velho	0.93	0.90	0.87	0.89	0.91	0.83	0.89	0.76	0.63	0.69
Laranjeiro	0.94	0.94	0.93	0.93	0.87	0.92	0.88	0.89	0.91	0.65
Loures	0.98	0.95	0.94	0.93	0.91	0.95	0.91	0.89	0.90	0.88
Mem-Martins	0.97	0.94	0.89	0.83	0.88	0.94	0.90	0.90	0.85	0.82
Odivelas	0.97	0.96	0.93	0.92	0.89	0.90	0.89	0.90	0.91	0.90
Olivais	0.95	0.94	0.93	0.91	0.89	0.87	0.86	0.76	0.85	0.84
Paio Pires	0.94	0.93	0.93	0.95	0.89	0.92	0.91	0.82	0.83	0.68
Quinta do Marquês	0.95	0.95	0.94	0.93	0.91	0.90	0.90	0.93	0.76	0.85
Reboleira	0.97	0.93	0.93	0.93	0.90	0.96	0.95	0.94	0.93	0.88
Restelo	0.97	0.95	0.93	0.86	0.90	0.95	0.93	0.87	0.79	0.76

Os valores dos índices de performance diminuíram, na sua maioria, na fase de validação. Facto que também se verificou nos estudos de Sousa *et al.* (2006a e 2006b). As diferenças mais significativas verificam-se no valor do coeficiente de determinação, que apresenta valores problemáticos de R^2 , indicando que a performance dos modelos não é aceitável. Este facto pode ficar a dever-se ao facto de o número de dados usados para validação ser apenas 30 valores escolhidos aleatoriamente que podem não ser representativos da tendência geral do comportamento do ozono troposférico. O Verão de 2006 foi um Verão, no geral, muito quente, com valores da temperatura do ar acima dos valores médios de referência (Anexo I). Os meses de Junho e Julho foram considerados muito quentes, no entanto, o mês de Agosto, por exemplo, apresentou valores de temperatura muito acima da média, intercalado de valores muito abaixo da média. Isto pode levar a grandes alterações no valor do R^2 , visto que o número de dados não é muito elevado.

7 Conclusões

Conclui-se que os métodos estatísticos constituem uma boa ferramenta para a previsão de concentrações de ozono troposférico numa determinada área. As várias metodologias estatísticas foram úteis na compreensão do comportamento do ozono.

Através da análise das matrizes de correlação constatou-se que as correlações de Pearson entre as estações são elevadas, tanto no que respeita aos dados horários como às médias e máximos diários. Concluiu-se que a proximidade entre estações não implica necessariamente correlações mais fortes. Verificou-se que elevadas correlações ou uma grande proximidade espacial entre estações não implicam obrigatoriamente que estas sejam incluídas nas árvores de regressão ou nos modelos de RLM.

A aplicação das árvores de regressão linear à análise espacial para avaliação instantânea dos níveis de ozono revelou resultados muito bons para todas as estações à excepção da Chamusca, cujas características de localização também a tornam num caso diferente em relação às restantes estações avaliadas. O estudo da restrição do período horário de estudo para o intervalo correspondente às horas de maior radiação demonstrou uma descida no PRE e no número de ramificações. Ainda assim os modelos apresentam valores de PRE bastante aceitáveis.

A análise meteorológica e de precursores relevou uma capacidade de previsão fraca. A radiação e os precursores de ozono (NO_x) foram as variáveis mais utilizadas na construção dos modelos. Concluiu-se que, nas estações de Camarinha, Hospital Velho, Loures, Mem-Martins, Odivelas, Paio Pires, Quinta do Marquês e Restelo, elevadas concentrações de NO_x levam a que sejam registados elevados níveis de ozono. Facto que pode ser indicativo de que estas estações apresentem um regime NO_x -limitado.

A avaliação instantânea dos níveis de ozono, baseada em dados momentâneos, efectuada através de árvores de regressão, apresentou resultados melhores na análise espacial do que na análise meteorológica e de precursores. Tal pode dever-se ao facto de, na análise espacial, a variável dependente e independente terem a mesma natureza e ao facto de as variáveis meteorológicas por si só não proporcionarem uma descrição completa das condições de formação do ozono, que seria proporcionado pela inclusão das características morfológicas e geográficas da região em estudo.

No que respeita à previsão horária, os modelos de regressão linear apresentam, na maioria resultados razoáveis na fase de treino, pelo que se conclui que a aplicação de modelos de regressão linear para a previsão horária de ozono é útil. No entanto, na fase de validação, o coeficiente de determinação não apresenta resultados tão bons, chegando a tomar valores muito baixos em alguns casos, pelo que se considera que a performance destes não é aceitável.

À semelhança do que tinha acontecido na avaliação instantânea, as variáveis de concentrações de ozono apresentam melhores resultados na previsão das concentrações de ozono do que as variáveis meteorológicas, indicando que as concentrações de ozono são melhores para prever ozono do que as variáveis meteorológicas.

Constatou-se que, na fase de treino, mais de metade dos modelos apresenta coeficientes de correlação robustos para estimação e que apenas um modelo obteve um R^2 inferior a 0.50. Verificou-se que existia uma tendência geral nos modelos para um decréscimo do R^2 ao longo do período horário de previsão e um aumento do erro padrão. Assim, as 17:00 horas UTC é a hora mais difícil de prever. Tal deve-se ao afastamento horário entre os dados de entrada e a hora de previsão. Para a previsão efectuada entre as 13:00 e as 17:00 horas, a primeira hora de previsão é a que apresenta melhores resultados e a última a que apresenta piores resultados, com coeficientes de determinação menores e erros padrão mais elevados. Os modelos que apresentam os maiores coeficientes de determinação são referentes à primeira hora do período de previsão. A Chamusca, que era a estação onde a avaliação instantânea das concentrações de ozono era mais difícil, passou a ser uma das estações com melhores resultados. Juntamente com a Chamusca, as estações de Loures, Quinta do Marquês e Reboleira são as estações que apresentam melhores resultados de previsão.

Concluiu-se que apesar de os modelos reproduzirem bem o comportamento das concentrações de ozono, no geral, não são bons a prever excedências. A análise do MBE revelou que a maioria dos modelos tende a subestimar as concentrações de ozono.

Os restantes índices de performance calculados para a fase de treino, apresentam valores aceitáveis. Os valores de MBE são praticamente zero. Verificou-se uma tendência geral para um aumento do MAE e do RMSE ao longo do período horário de previsão. Esta tendência também já tinha sido identificada para o erro padrão. Tal deve-se ao aumento do afastamento temporal entre as variáveis de entrada e a hora de previsão. O mesmo facto que justifica uma diminuição do índice de concordância entre as 13:00 e as 17:00 horas UTC.

Apurou-se que os índices de performance decrescem, na maioria dos casos, na fase de validação. A tendência geral de decréscimo da qualidade dos modelos ao longo do período de previsão, mantém-se na fase de validação.

As diferenças mais assinaláveis verificaram-se para o coeficiente de determinação, chegando em alguns casos o R^2 a ser inferior a 0.10. A análise do coeficiente de determinação para a fase de validação revelou que as estações que apresentam melhores resultados foram a estação de Alfragide/Amadora, Chamusca, Loures, Odivelas, Reboleira. Por outro lado, as estações do Beato, Paio Pires e Hospital Velho apresentam os piores resultados. As duas últimas horas do período horário foram as horas que apresentaram diferenças mais significativas no valor de R^2 , verificando-se casos em que se

considera que os modelos não são aceitáveis para previsão. A má performance dos modelos pode estar relacionada com o baixo número de dados utilizados para validação dos modelos e pelo facto de o ano de validação ter sido um ano com valores de temperaturas anormais.

A AML é um grande centro urbano e industrial com características geográficas, topográficas e de ordenamento que lhe conferem um complexo sistema de circulação das massas de ar. O ozono é um poluente muito complexo que depende de muitos factores. Todas estas características, da área de estudo e do próprio poluente, tornam a previsão de ozono, para esta região, difícil. Contudo, o facto de o nível de ozono depender de factores meteorológicos e das concentrações de outros poluentes permite a utilização destes como variáveis predictoras, visto que fornecem informação acerca do ozono. Os modelos estatísticos, sendo construídos com base em dados da própria região, permitem uma previsão mais dirigida para área de estudo, incorporando informação que através de um modelo determinístico, poderia não ser incluída dado que nem sempre é possível incorporar nos modelos determinísticos todas as características da região em estudo.

7.1 Limitações do estudo

No que diz respeito à avaliação instantânea dos níveis de ozono, o facto de se pretender encontrar uma ramificação que representasse uma situação de excedência levou a que algumas das árvores de regressão apresentassem uma estrutura muito complexa.

Em relação aos modelos de previsão horária foram calculados, apenas, para um intervalo específico de horas, sendo que não é possível prever excedências que não se verifiquem neste intervalo.

A estação de Hospital Velho encerrou, pelo que os modelos elaborados com base nas concentrações desta estação não vão poder ser utilizados directamente para previsão.

O elevado número de variáveis utilizadas aliado ao facto de as séries de dados apresentarem falhas provocou a eliminação de muitos dados.

A existência de poucos casos de excedência, mesmo baixando o valor considerando com excedência, faz com que por vezes estes sejam considerados como *outliers*. Por outro lado, a inclusão destes valores pode provocar grandes desvios nos resultados dos modelos, e levar a uma sobrestimação das concentrações de ozono.

Nem todas as estações possuem dados desde o ano 2000, assim na fase da escolha das variáveis passo a passo as séries de dados de entrada começaram no ano de 2003, ano em que entrou em funcionamento a estação mais recente. Isto porque a eliminação *listwise* apaga todas as linhas em que falte pelo menos um valor de uma das variáveis.

O facto de terem sido usadas e construídas variáveis através das concentrações de ozono, e apesar de corresponderem a várias estações, bem como variáveis da mesma natureza, como por exemplo temperaturas e velocidade do vento, pode levar a que haja correlação nos residuais.

A utilização de um número reduzido de dados para validação, levou a que os resultados de validação apresentados fossem piores do que na fase de treino. Seria interessante aumentar o número de dados na fase de validação, para que as condições típicas do ano de validação fossem mais atenuadas.

Existem factores que podem contribuir para a variação das concentrações de ozono, como por exemplo, a diferenciação entre dias de semana e fins-de-semana e a presença de aerossóis que não foram introduzidos como variáveis de entrada.

O ozono é um poluente muito complexo e como tal existem fenómenos extremamente difíceis de prever, como a intrusão de ozono da estratosfera na troposfera ou como os incêndios que podem aumentar substancialmente as concentrações de ozono. Este tipo de fenómenos, pela sua natureza, é provavelmente incapaz de ser previsto através destes modelos.

7.2 Desenvolvimentos futuros

Este estudo foi elaborado prevendo com métodos estatísticos as concentrações de ozono para cada estação. No entanto seria interessante encontrar uma metodologia que unificasse e simplificasse esta previsão prevendo as concentrações para toda a área, ou para as diferentes zonas da região de LVT.

A utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), não foi utilizada neste trabalho, contudo a utilização deste tipo de sistemas pode ser utilizado para complementar a visualização das previsões e, através de métodos geostatísticos, calcular as concentrações para toda a área de estudo.

Podem ser adicionadas às variáveis de entrada, preditores que traduzam a situação sinóptica, concentrações de COV, ou informação sobre a tipologia do dia (dia de semana ou fim-de-semana). A utilização da diferença de pressão entre as estações em vez do rumo e intensidade do vento, para conter informação sobre o vento sinóptico e não sobre o vento local.

Os resultados indicaram a presença de autocorrelação positiva podendo, este problema pode ser ultrapassado implementando o método Cochrane-Orcutt. Este método é aplicado a todas as variáveis e o modelo é construído novamente. Normalmente este método melhora os residuais mas não altera os coeficientes de regressão (Abdollahian *et. al*, 2005).

Visto que a estação de Hospital Velho foi encerrada deverão ser revistos no futuro os modelos que utilizavam as concentrações desta estação tendo em conta a estação nova e o seu historial.

Como complemento à investigação efectuada, sugere-se, no futuro, o recurso a métodos não lineares de previsão de ozono tais como as redes neuronais.

Referências bibliográficas

Abdollahian, M., Foroughi R. (2005) Regression Analysis of Ozone Data. Department of Mathematics and Statistics RMIT University Melbourne, Australia.

Adame, J.A., Lozano, A., Bolívar, J., Morena, B., Contreras, J., Godoy, F. (2007) Behavior, distribution and variability of surface ozone at an arid region in the south of Iberian Peninsula (Seville, Spain), *Chemosphere*.

AEA (1997) Síntese do Relatório sobre “A Poluição Atmosférica na Europa em 1997”, Dinamarca, 11.

AEA (2003) Air pollution by ozone in Europe in summer 2003. EEA Technical report, Denmark.

AEA (2005) Air pollution by ozone in Europe in summer 2004. EEA Technical report, Denmark.

AEA (2006) Air pollution by ozone in Europe in summer 2005. EEA Technical report, Denmark.

AEA (2007) Air pollution by ozone in Europe in summer 2006. EEA Technical report, Denmark.

Alvin-Ferraz M.C.M, Sousa, S.I.V., Pereira, M.C., Martins, F.G. (2005) Contribution of anthropogenic pollutants to the increase of tropospheric ozone levels in the Oporto Metropolitan Area, Portugal since the 19th century, *Environmental Pollution*.

Auger, L., Legras, B. (2006) Chemical segregation by heterogeneous emissions. *Atmospheric Environment* 41 (2007) 2303–2318.

Barros, N. (1999) Poluição atmosférica por foto-oxidantes: O ozono troposférico na região de Lisboa. Tese de Doutoramento em ciências do ambiente. Universidade de Aveiro, Portugal.

Barros, N., Borrego, C., Toll, I., Soriano, C., Jiménez, J., Baldasano, J.M., (2003) Urban photochemical pollution in the Iberian Peninsula: Lisbon and Barcelona Airsheds. *Air & Waste Management* 53, 347–359.

Bornstein, R.D., Thunis, P. and Schayes, G. (1993) Simulation of urban barrier effects on polluted urban boundary-layers using the three dimensional URBMET/TVM model with urban topography-new results from New York City. In: Zanetti, P. (Ed), *Air Pollution*, Computational Mechanics Publications, Southampton, Boston, 15-34.

Borrego, C., Barros, N. Coutinho, M. (1994) Application of two mesometeorological models to the Lisbon region: Preliminary conclusions. EUROTRAC Symposium 94, 11-15 Abril, Garmisch-Patenkirchen, Germany.

Borrego, C., Barros, N., Tchepel, O. (2000) An assessment of modelling ozone control abatement strategies in Portugal: the Lisbon urban area. To be present at the Millennium International Tech. Meeting of NATO-CCMS on “Air Pollution Modelling and its Applications”. Helded 15-19 May 2000 in Boulder, CO, USA.

Borrego, C., Tchepel, O., Costa, A.M., Amorim, J.H., Miranda, A.I. (2003) Emission and dispersion modelling of Lisbon air quality at local scale. *Atmospheric Environment*.

Boubel, R., Fox, D., Turner, D., Stern, A. (1994) *Fundamentals of air pollution*. Academic press, San Diego, California. 166-200, 284-289.

Boucouvalla, D., Bornstein, R. (2003) Analysis of transport patterns during an SCOS97-NARSTO episode. *Atmos. Environ.* 37, 2 S73-S94.

Brönnimann, S., Neu, Urs. (1997) Weekend-weekday differences of nearsurface ozone concentrations in Switzerland for different meteorological conditions. *Atmos. Environ.* 31 (8), 1127–1135.

California Air Resources Board (2001) Weekend Effect Research. Planning and Technical Support Division and Research Division, Sacramento, CA.

Campbell, R., Browell, E., Ismail, S., Dudelzak, A., Carswell, A., Ulitsky, A. (1996) Feasibility Study For A Spaceborne Ozone/Aerosol Lidar System. NASA Langley Research Center, Hampton, Virginia, USA

Carmichael GR (1999) Sensitivity of photolysis rates and ozone production in the troposphere to aerosol properties. *J Geophys Res.*

Carvalho, A.C., Carvalho, A., Gelpib, I., Barreiro, M., Borrego, C., Miranda, A.I., Pérez-Muñuzuri, V. (2006) Influence of topography and land use on pollutants dispersion in the Atlantic coast of Iberian Peninsula. *Atmospheric Environment*.

CCDR-LVT (2006) Planos e Programas para a melhoria da qualidade do ar na Região de Lisboa e Vale do Tejo.

Chapman, S. (1930). A theory of upper-atmospheric ozone, *Memoirs Roy. Meteorol. Soc.*

Cheng, W.L. (2002) Ozone distribution in coastal central Taiwan under sea-breeze conditions. *Atmos. Environ.*, **Vol.** (36), 3445-3459.

Cleveland, W.S., Gradedl, T.E., Kleiner, B., Warner, J.L. (1974) Sunday and workday variations in photochemical air pollutants in New Jersey and New York. *Science* 186, 1037–1038.

DGA e DCEA/FCT/UNL (2001) “Delimitação de Zonas e Aglomerações em Portugal para a Avaliação da Qualidade do Ar em Portugal”. MAOT / DGA – Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território / Direcção Geral do Ambiente e UNL / FCT / DCEA - Universidade Nova de Lisboa / Faculdade de Ciências e Tecnologia / Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente. Dezembro de 2001.

Eder, B., Yu, S. (2005) A performance evaluation of the 2004 release of Models-3 CMAQ. *Atmospheric Environment* 40, 4811–4824.

Environment S.A. (2002) Ozone 42 module. May 2002, 13-14.

EPA (1996) Air quality criteria for ozone and related photochemical oxidants. Research Triangle Park, NC: Office of Research and Development; report nos. EPA/600/AP-93/004aF-cF. 3v., Springfield.

EPA (1999) Guideline for Developing an Ozone Forecasting Program. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, EPA-454/R-99-009.

EPA (2006) Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants. Volume I of III, cap. 10, 47.

Evtuygina, M.G., Nunes, T., Pio, C., Costa, C. S. (2006). Photochemical pollution under sea breeze conditions, during summer, at the Portuguese West Coast. *Atmos. Environ.*, **Vol.** 40, 6277-6293.

FCT-UNL - QualAR (2006) Previsão do Índice de Qualidade do Ar. <http://www.prevqualar.org>, 20-12-2007.

Ferreira, H.A. (1965) Climatologia Aeronáutica de Portugal, Fascículo I Aeroporto de Lisboa / Portela. Serviço Meteorológico Nacional, 164.

Ferreira, F., H. Tente, Torres, P., Cardoso, S., Oliveira, J. (2000) Air Quality and Management in Lisbon. *Environmental Monitoring and Assessment*, **Vol.** 65, 443-450.

Ferreira F., Neto, J., Torres, P., Tente H. (2004) Ozone Levels in Portugal: the Lisbon Region Assessment. In: *Proceedings of Air & Waste Management's 97th Annual Conference Exhibition*. Indianapolis, Indiana.

Finlayson-Pitts, B.J., Pitts, J. (2000) *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*. Academic Press, San Diego.

Fishman, J., Crutzen, P.J. (1978) The origin of ozone in the troposphere, *Nature* 274 , 855-857.

Gabusi, V., Finzi, V. (2002) A comprehensive modelling system for ozone exposure assessment. In *Proc. from SATURN/EURASAP Workshop on Urban Air Quality Management Systems* (N. Moussiopoulos and K. Karatzas editors), 11-20.

Gangoiti, G., Millán, M.M., Salvador, R., Mantilla, E. (2001) Long-range transport and recirculation of pollutants in the western Mediterranean Area. *Atmos. Environ.*

Gerboles, M., Buzica, D., Amantini, L., Lagler, F. (2005) Laboratory and field comparison of measurements obtained using the available diffusive samplers for ozone and nitrogen dioxide in ambient air. *Journal of Environmental Monitoring*.

Geyh, A.S., Roberts, P.T., Lurmann, F.W., Schoell, B.M., Avol, E. L. (1999) Initial field evaluation of the Harvard active ozone sampler for personal ozone monitoring. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*.

Guicherit, R., Roemer, M. (2000) Tropospheric ozone trends. *Chemosphere & Global Change Science* 2, 167e183.

Hangartner, M., Kirchner, M., Werner, H. (1996) Evaluation of Passive Methods for Measuring Ozone in the European Alps. *Analyst*.

Hansen, J.E., Sato, M. (2001) Trends of measured climate forcing agents. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 98: 14778-14783.

Heuss, J.M., Kahlbaum, D., Wolf, G.T., 2003. Weekday/weekend ozone differences: what can we learn from them? *J. Air Waste Manage.* 53, 772–788.

IA, UA (2006) Previsão da qualidade do ar para Portugal Verão 2005. Instituto do Ambiente.

Janssen, P.H.M., Heuberger, P.S.C. (1995) Calibration of process-oriented models, Netherlands, *Ecological modeling* 83, 55-66.

Jenkin, M.E., Davies, T.J., Stedman, J.R. (2002) The origin and day-of week dependence of photochemical ozone episodes in the UK. *Atmos. Environ.* 36, 999–1012.

Kondratyev, K., Varotsos C.A. (2000) Investigation tropospheric ozone in Europe. *Ecological Chem* 9(1-2): 3–9.

Lacis, A. W., D. J.Wuebbles, and J. A. Logan (1990) Radiative forcing of climate by changes in the vertical distribution of ozone. *J. Geophys. Res.*

Leeuw, F.A.A.M. (2000) Trends in ground level ozone concentrations in the European Union. *Environmental Science & Policy* 3(4), 189-199.

Leeuw, F., Bogman, F. (2001) Air pollution by ozone in Europe in summer 2001. Overview of exceedances of EC threshold values during the summer season April–August 2001. European Environmental Agency, Topic Report 13/2001.

Levelt, P.F., Van den Oord, G.H.J., Dobber, M.R., Malkki, A., Huib Visser, Johan de Vries; Stammes, P., Lundell, J.O.V., Saari, H. (2006) *Geoscience and Remote Sensing*, IEEE

Li, Lixin., Zhang, Xingyou., Piltner, Reinhard. (2006) A Spatiotemporal Database for Ozone in the Conterminous U.S., IEEE, 1530-1311/06.

Lohninger, H. (1999) *Teach/Me Data Analysis*, Springer-Verlag, Berlin-New York-Tokyo, ISBN 3-540-14743-8.

Manahan,S. (1997) *Environmental science and technology*, Crc Press Llc, 672.

McElroy, M.B., Smith, T.B. (1986) Vertical pollutant distributions and boundary layer structure observed by airborne lidar near the complex California coastline. *Atmos. Environ.* **Vol.** 20, 1555-1566.

Miranda, A.I., Martins, H., Carvalho, A., Borrego C. (2004) Modelling smoke effects on lisbon air quality. Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

Monson, R.K., Holland, E.A. (2001) Biospheric trace gas fluxes and their control over tropospheric chemistry. *Annual Reviews*.

Montgomery, D.C., Runger, G.C. (2003) *Applied Statistics and Probability for Engineers*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Morris, G. (2006) Alaskan – Canadian fire raised Houston ozone. Heldref Publications.

- Moussiopoulos, N., (2003) *Air quality in cities*. Springer, Berlim, Alemanha, 298.
- Neto, J., Torres, P.M., Ferreira, Francisco (2004) Previsão da qualidade do ar para Lisboa – a abordagem estatística. Em *8ª Conferência Nacional de Ambiente*, 27-28 Outubro de 2004.
- Neto, J., Ferreira, F., Torres, P.M., Tente, H. (2005a). Statistical Air Quality Prediction for Lisbon. In *Valência_5th Urban Air Quality Conference*, 2005.
- Neto, J., Torres, P.M., Ferreira F., Boavida, F. (2005b) Previsão da qualidade do ar para Lisboa por métodos estatísticos. Em *6º Encontro Luso-espanhol de Meteorologia*. 14 -17 Fevereiro de 2005 Sesimbra.
- Neto, J., Torres, P.M., Ferreira, F., Boavida, F. (2005c). Lisbon air quality forecast using statistical methods. In: *Proceedings of the Third International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales*, Istanbul, Turkey, 26-30 September 2005, 591-597
- Olivié, D. (2005) On the Role of Convection and Turbulence for Tropospheric Ozone and its Precursors. Tese de Doutoramento, Technische Universiteit Eindhoven, Belgium.~
- OMS (2000) Ozone and other photochemical oxidants. Copenhagen, Denmark.
- Pastor-Bárcenas, O., Soria-Olivas, E., Martín-Guerrero, J.D., Camps-Valls, G., Carrasco-Rodríguez, J.L., Valle-Táscon, S., 2004. Unbiased sensitivity analysis and pruning techniques in neural networks for surface ozone modelling. *Ecol. Model.* 182, 149–158.
- Pereira, A. P. (1999) O que deve saber sobre o ozono. *Direcção Geral do Ambiente* 1, 3,14.
- Pereira, M.C., Alvim-Ferraz, M.C.M., Santos, R.C. (2005) Relevant aspects of air quality in Oporto (Portugal): PM10 and O3. *Environmental Monitoring and Assessment* 101, 203e221.
- Pont, V., Fontan, J. (2001) Comparison between weekend and weekday ozone concentration in large cities in France. *Atmospheric Environment* 35, 1527–1535.
- Qin, Y., Tonnesen, G.S., Wang, Z. (2004). Weekend/weekday differences of ozone, NOx, CO, VOCs, PM10 and the light scatter during ozone season in southern California. *Atmos. Environ.* 38, 3069–3087.
- QualAR, Previsão do Índice de Qualidade do Ar para Portugal Continental, http://www2.dao.ua.pt/gemac/previsao_qar/, 20-12-2007.
- QualAR, Efeitos dos Poluentes, <http://www.qualar.org/?page=5&subpage=8>, 20-02-2007.
- Ribas, A., Peñuelas, J. (2003) Biomonitoring of tropospheric ozone phytotoxicity in rural Catalonia. *Atmospheric Environment* 37,63-71.
- Sadanga, Y., Matsumoto, J., Kajii, Y. (2003) Photochemical reactions in the urban air: recent understandings of radical chemistry. *Journal of Photochemistry and Photobiology* 4, 85e104.
- Seaman, N.L., Michelson, S.A. (1998) Mesoscale meteorological structure of a high-ozone episode during the 1995 NARSTO-Northeast study. *J. App. Meto.*, Vol. 39, 384-398.

Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics From Air Pollution to Climate Changes*. John Wiley & Sons, USA.

Serpa, C.(2003) “Modelos Estocásticos Espaço-Temporais. Previsão da qualidade do ar”, Instituto Superior Técnico, Julho de 2003.

Sillman, S. (1995) The use of NO_y, H₂O₂ e HNO₃ as indicators for ozone-NO_x-hydrocarbons sensitivity in urban locations. *J. Geophys Res.*

Sillman, S. (1999) The relation between ozone, NO_x and hydrocarbons in urban and polluted rural environments. *Atmos Environ.*

Sousa, S.I.V., Martins, F.G., Alvim-Ferraz, M.C.M., Pereira, M.C. (2006a) Multiple linear regression and artificial neural networks based on principal components to predict ozone concentrations. *Environmental Modelling & Software*.

Sousa, S.I.V., Martins, F.G., Pereira, M.C., Alvim-Ferraz, M.C.M. (2006b). Prediction of ozone concentrations in Oporto city with statistical approaches. *Chemosphere* 64, 1141–1149.

SPSS Help topic (2006) SPSS - *Statistical Package for the Social Sciences*, SPSS Inc.

Syri, S., Amann, M., Schöpp, W., Heyes, C. (2001) Estimating long-term population exposure to ozone in urban areas of Europe. *Environ. Pollut.* 113, 59–69.

Tang, H., Lau, T. (2000) New all season passive sampling system for monitoring ozone in air. *Kluwer academic publishers*.

Toll, I., Baldasano, J.M. (1999) Photochemical Modelling of the Barcelona Area under Weak Pressure Synoptic Conditions. *Atmospheric Environment In: Air Pollution VI*. Computational Mechanics Publications.

Valente, J., Miranda, A., Lopes, A., Borrego, A., Viegas, D. (2007) A local-scale modelling system to simulate smoke dispersion. University of Aveiro, Aveiro, Portugal e University of Coimbra, Coimbra, Portugal.

Wang, W., Lu, W., Wang, X., Leung, A. (2003) Prediction of maximum daily ozone level using combined neural network and statistical characteristics. *Environ. Int.* 29, 555–562.

Yu i., Mathur, R., Kang, D., Schere, K., Eder, B., Pleim J. (2006). Performance and Diagnostic Evaluation of Ozone Predictions by the Eta-Community Multiscale Air Quality Forecast System during the 2002 New England Air Quality Study. *Air & Waste Management Association*.

Anexos

Anexo I. Caracterização meteorológica e sinóptica do período temporal do estudo

Como já foi referido anteriormente, a concentração de ozono não depende só da existência de fontes de emissões e/ou do transporte e reacção dos precursores de ozono, mas é também fortemente determinada pelas condições meteorológicas. As situações sinópticas estão associadas a determinadas condições do tempo que podem influenciar a dispersão dos poluentes e consequentemente a qualidade do ar. Situações de vento fraco e/ou inversão térmica, são propícias para que se registem concentrações elevadas dos poluentes. Tendo em conta a relação do poluente ozono com a meteorologia, considerou-se importante a caracterização meteorológica dos anos em estudo pois pode ser importante na interpretação dos resultados.

Não foi possível completar a caracterização anual dos anos estudados com relatórios idênticos. Posto isto, a caracterização aqui apresentada foi baseada nos relatórios climáticos do Instituto de Meteorologia (IM) para os anos de 2003 a 2006; para os anos de 2001 e 2002 utilizaram-se relatórios editados pela biblioteca do IM e para o ano de 2000 utilizaram-se os boletins decadais para a agricultura, também fornecidos pelo IM. Os dados são analisados em relação ao período de 1961-90. Neste trabalho a análise meteorológica e sinóptica é caracterizada com especial incidência na região de LVT nos meses de Abril a Setembro.

Ano 2000

Em Abril a média da temperatura média do ar foi de 13.4 °C, com uma anomalia negativa de 1.1 °C. As médias das temperaturas máxima e mínima foram de 16.3 °C, com uma anomalia de -2.0 °C e de 10.4 °C e com uma anomalia de -0.3°C respectivamente.

Até dia 4 de Abril o tempo sofreu a influência de uma depressão centrada a Norte da Península Ibérica. Nos dias 5 e 6 foi influenciado por um anticiclone localizado sobre as ilhas britânicas. De 7 a 10 sofreu influência de uma depressão que, aproximando-se de Sudoeste, atravessou o território do continente. O céu esteve nublado ocorrendo precipitação em todo o território. Na segunda década do mês o estado do tempo foi influenciado pela aproximação e passagem de um sistema frontal. O céu de um modo geral esteve muito nublado, tendo chovido em todo o território. Na terceira década houve influência de sistemas depressionários e linhas de instabilidade e o céu esteve muito nublado. O número de horas de sol a descoberto foi inferior aos valores normais. Abril foi considerado um mês extremamente chuvoso relativamente à quantidade de precipitação.

Mai registou uma média da temperatura média de 17.8, com uma anomalia positiva de 0.8 °C. A média da temperatura máxima foi 21.7 °C, com anomalia de 0.5 °C e a média da temperatura mínima foi 13.9 °C, com uma anomalia de 1.3 °C. A primeira década de Maio foi influenciada

predominantemente por uma depressão que se acentuou a Sudoeste do continente. O céu apresentou-se geralmente muito nublado e o número de horas de sol a descoberto foi inferior à média. Na segunda década o estado do tempo foi influenciado por um anticiclone localizado sobre o Norte da Europa e posteriormente por um vale depressionário que se estendia do Norte de África até à Península Ibérica. O céu apresentou-se com períodos de muita nebulosidade, neblinas e nevoeiros. O número de horas de sol descoberto foi superior à média. Na terceira década o estado do tempo foi influenciado inicialmente por um vale depressionario estendendo-se do Norte de África até á península Ibérica. A partir de dia 24 foi condicionado pela aproximação e passagem de superfícies frontais. Nos últimos dias desta década o tempo foi influenciado por um anticiclone localizado entre os Açores e o continente. O céu esteve muito nublado e o número de horas de sol descoberto foi inferior à média. O mês de Maio foi considerado extremamente seco quanto á precipitação.

Em Junho as médias mensais foram de 22.1 °C, com uma anomalia de +1.8°C, para a temperatura média; de 17.0 °C, com uma anomalia de 1.5 °C, para a temperatura mínima e de 27.7 °C, com uma anomalia de 2.1 °C para a temperatura máxima. Na primeira década do mês o tempo foi influenciado por um vale depressionário que se estendeu do Norte de África até à península Ibérica, posteriormente por cristas anticiclónicas e nos últimos dois dias da década pela aproximação e passagem de uma superfície frontal. O céu teve períodos muito nublados no início e no fim da década. Na segunda década o continente sofreu a influência de um anticiclone que se localizou inicialmente a Oeste da península Ibérica e posteriormente a Norte da mesma. Nos últimos dias da década o tempo foi condicionado pela aproximação e passagem de uma frente fria de fraca actividade. O céu esteve pouco nublado ou limpo, mas a nebulosidade aumentou a partir de dia 18. Nas duas primeiras décadas o número de horas de sol a descoberto for superior ao valor médio. Dia 21 e 22 foram marcados por uma depressão centrada nas ilhas britânicas e por um anticiclone a Noroeste da Península Ibérica. Nos dias 25 e 26 uma depressão centrada a Sudoeste do continente influenciou o tempo. A partir de dia 27 o estado do tempo foi influenciado por um anticiclone a Sudoeste da Madeira e por uma depressão centrada a Noroeste da península. O céu apresentou períodos de muita nebulosidade excepto nos dias 22 e 24. Na última década o número de horas de sol a descoberto foi próximo dos valores médios. O mês de Junho foi considerado extremamente seco

Em Julho a média da temperatura média do ar foi 22.6 °C, sem anomalia. A média da temperatura máxima foi de 27.3°C, com uma anomalia negativa de 0.5 °C e a média da temperatura mínima foi de 17.8 °C, com uma anomalia negativa de 0.4°C. Na primeira década deste mês o estado do tempo sofreu influência de sistemas depressionários que afectaram as regiões Norte e Centro. O céu esteve geralmente pouco nublado com períodos de chuva. Até dia 16 o tempo esteve sob a influência do anticiclone dos Açores prolongando-se em crista pelo Golfo da Biscaia e por um vale depressionario,

estendendo-se do Norte de África até à Península Ibérica. O céu esteve limpo até dia 16, nos restantes dias teve períodos de céu muito nublado. Nas duas primeiras décadas de Julho o número de dias de sol descoberto foi próximo dos valores médios. Na terceira década deste mês, até dia 27 o tempo foi influenciado por linhas de instabilidade que afectaram principalmente o Norte e Centro e posteriormente por um vale depressionário que se estendeu do Norte de África até à península Ibérica. O céu esteve pouco nublado ou limpo a partir do dia 27. O número de dias de sol descoberto na terceira década de Julho foi superior ao valor médio. Em termos de precipitação este foi um mês chuvoso na margem, norte do Tejo e considerado normal na margem Sul.

Em Agosto a média da temperatura média, máxima e mínima do ar foram de 23.7°C, com uma anomalia positiva de 0.8 °C; 29.1 °C, com uma anomalia 0.9 °C e 18.3 °C, com uma anomalia de 0.7 °C respectivamente. Na primeira década o tempo foi influenciado pelo anticiclone dos Açores prolongando-se em crista pelo Golfo da Biscaia e por um vale depressionário estendendo-se do Norte de África à Península Ibérica. O céu foi, de um modo geral, limpo. O número de horas de sol descoberto foi superior ao valor médio. Na segunda década o estado do tempo também foi influenciado pelo anticiclone dos Açores. E por uma depressão de origem térmica centrada sobre a Península Ibérica e pela aproximação e passagem de superfícies frontais de fraca actividade. O céu esteve pouco nublado, excepto na região Norte e Centro. O vento foi moderado de Noroeste durante a tarde no Litoral. Na terceira década o anticiclone localizado nos Açores influenciou o estado do tempo, excepto entre 22 e 26 com a passagem de uma superfície frontal fria no dia 22 e a acção de uma região depressionária centrada a Oes-Noroeste da Península Ibérica. O céu apresentou muita nebulosidade, chuva e alguns aguaceiros. O vento foi moderado de Noroeste durante a tarde. O número de horas de sol descoberto nas últimas décadas de Agosto foi próximo do valor médio.

Em Setembro a temperatura média do ar foi 22.0 °C, com uma anomalia negativa de 0.5 °C. A média da temperatura máxima foi de 27.1 °C, com uma anomalia de -0.5 °C e a média da temperatura mínima foi de 16.8, com uma anomalia negativa 0.6 °C. Na primeira década o estado do tempo foi influenciado pelo anticiclone dos Açores prolongando-se em crista pelo Golfo da Biscaia e por um vale depressionário estendendo-se do Norte de África à península Ibérica. O céu esteve geralmente pouco nublado ou limpo e ocorreram nevoeiros matinais. Na segunda década registou-se uma depressão centrada a Oeste da península ibérica e no final ocorreu a passagem de linhas de instabilidade. O céu teve períodos de muita nebulosidade especialmente no início e final da década registaram-se nevoeiros e chuva. Na última década de Setembro o estado do tempo foi influenciado pela aproximação e passagem de sistemas frontais. O céu apresentou períodos de muita nebulosidade. O número de horas de sol a descoberto foi superior à média. Este foi um mês normal em termos de precipitação.

Ano 2001

No final do mês de Abril as temperaturas máximas verificadas foram cerca de 12°C superiores à média normal. Foi estimado que a probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas iguais seria menor que um em 500 anos.

No mês de Março atingiram-se novos recordes de temperaturas máximas de Norte a Sul do país.

Ano 2002

A temperatura do ar no ano de 2002 foi de 15.2°C, com uma anomalia de 0.2°C (a partir do clima normal do intervalo de anos de 1961-90). Todos os meses apresentaram anomalias positivas excepto o mês de Maio e Setembro que apresentaram anomalias negativas. As anomalias positivas mais significativas foram registadas no mês de Junho. A média da temperatura máxima observada foi de 20.2°C e a média da temperatura mínima foi de 10.0°C. Todos os meses considerados mostram anomalias positivas na média da temperatura mínima, à excepção de Maio e Agosto. Relativamente à média da temperatura máxima todos os meses apresentaram anomalias positivas menos Maio e Setembro.

O ano de 2002 foi classificado como um ano normal relativamente à precipitação, embora o mês de Setembro seja classificado de muito chuvoso, chegando mesmo a haver cheias. Nos restantes meses aqui em análise registou-se precipitação baixa. Nos meses de Abril, Maio e Junho a precipitação foi abaixo da média.

Ano 2003

O ano de 2003 caracterizou-se por um verão muito quente principalmente nos meses de Junho e Agosto, sendo que este foi o 2º verão mais quente deste 1931.

Entre os dias 1 de Janeiro e 31 de Outubro de 2003, registou-se um total de 423.949 ha de área ardida e 4.671 fogos florestais. Apenas em Agosto a área ardida foi de 280.555 há (total de 66%), que é 2.7 vezes superior ao valor anual dos últimos 10 anos. A temperatura média do ar neste ano foi de 15.8 °C com uma anomalia de 0.8 °C em relação á normal de 1961-90. Em relação à média da temperatura mínima e máxima anual, os valores foram de 10.5° com uma anomalia de 0.78° e de 21.1° com uma anomalia de 0.85° respectivamente. Neste ano é de realçar a anomalia da temperatura mínima em Agosto e da temperatura máxima em Maio, Junho e Agosto com anomalias superiores a 3°C. Os maiores valores registaram-se a Sul do Sistema montanhoso Montejunto-Estrela. Na região de Lisboa e vale do Tejo (LVT) a média da temperatura mínima foi classificada entre 11.1 e 13.0 °C, excepto nas margens do estuário abrangendo o Laranjeiro, Beato e Olivais. A média da temperatura máxima registada foi de 20.1 a 22.0 °C e a temperatura média do ar foi superior a 17°C na margem Sul e de 15.1 a 17.0°C na zona do Beato e Olivais.

No mês de Abril e Maio a temperatura média mensal esteve acima dos valores da normal de 1961-90. Junho foi considerado um mês excepcionalmente quente na margem Sul e na zona de Cascais, Quinta

do Marquês e Mem-Martins e muito quente na restante zona de LVT. A média da temperatura média, máxima e mínima do ar foi de 21.74°C, 28.5°C e 14.99°C respectivamente. No mês de Julho os valores das médias das temperaturas foram inferiores aos da normal 1961-90 exceptuando a média da temperatura mínima mensal que teve uma anomalia de 0.1°C. Apresentando valores médios de temperaturas médias, máximas e mínimas de 21.3, 27.1 e 15.4°C respectivamente. Na margem sul, Beato e Olivais a média mensal da temperatura mínima esteve entre 17 e 18 °C e nas restantes área de LVT foi superior a 18°C. Relativamente à média da temperatura máxima os valores na região de LVT variaram entre 25 e 29°C. O mês de Agosto foi caracterizado por temperaturas muito altas, a temperatura média do ar foi de 25.1°C, 3.2°C acima do valor médio. A temperatura máxima do ar foi de 32.20°C e a mínima foi de 17.96°C. As zonas do Laranjeiro, Beato e Olivais registaram temperaturas mínimas de 19.1 a 20.0°C no resto da região de LVT apresentou temperaturas entre 18.1 e 19°C. Relativamente à temperatura máxima a região de Hospital Velho e Escavadeira apresentaram temperaturas entre 30.1 e 32.0°C, no resto da região em estudo as temperaturas foram de 28.0 e 30.0°C. temperatura média foi superior à normal de 1961-90.

Em termos de precipitação verificou-se que o ano de 2003 apresentou um valor inferior à média de 1961-90, apesar de o ano ter sido considerado como normal. Dos meses em estudo apenas Abril foi chuvoso. Os maiores valores de precipitação ocorreram nas regiões do Norte e Centro. Na margem sul os valores registados situam-se entre 601-800 mm e na margem Norte entre 801 a 1000. No mês de Abril a quantidade de precipitação esteve acima dos valores médios na região da grande Lisboa. O mês de Maio foi classificado como seco a extremamente seco com a precipitação na LTV a registar valores entre 0 a 20%. No mês de Junho as quantidades de precipitação registadas na zona de LTV foram inferiores ao valor médio. Em Agosto a quantidade de precipitação foi muito superior à média. No mês de Setembro a quantidade de precipitação foram inferiores aos valores médios.

Ano 2004

Em Portugal continental a temperatura média do ar foi de 15.8 °, 0.8 °C. A média da temperatura máxima foi de 21.1°C com uma anomalia de 0.9 °C acima do valor médio. A média da temperatura mínima foi de 10.4 °C, 0.7 °C acima do valor médio. A temperatura média mensal, em Abril e Maio, foi igual ou superior ao valor médio. Junho foi um mês excepcionalmente quente, com temperaturas muito acima da média em todo o território. A temperatura média mensal foi de 23.2 °C, a máxima de 30.1 °C e a mínima de 16.4 °C. Neste mês a temperatura média, na região de LVT, variou de 19.1 a 24 °C. Em Julho a temperatura média do ar esteve acima dos valores médios. Agosto caracterizou-se por valores de temperatura máxima inferiores aos valores normais e por valores de temperatura mínima superiores à média. Na região de LVT, em Hospital Velho, Escavadeira, Beato e Olivais a média da temperatura máxima esteve entre 28.1 e 30.0 °C, na restante área foi de 26.1 a 28 °C. Em relação a temperatura

mínima, a região de LVT, registou valores superiores a 18.0 °C. Em Setembro a temperatura média mensal foi igual ou acima dos valores médios.

O ano de 2004 caracterizou-se por um ano muito seco, com valores muito inferiores aos valores médios de 1961-90. A situação de região de LVT classificou-se como sendo de seca moderada. Abril foi considerado com um mês seco a muito seco em todo território. Em Maio a precipitação foi inferior aos valores médios em quase todas as regiões do litoral. No mês de Junho os valores de precipitação foram muito abaixo da média. O mês de Julho caracterizou-se por valores inferiores aos valores médios em todo o país. Agosto foi um mês particular pela ocorrência de valores da quantidade de precipitação muito altos para um mês de Verão, classificando-se de chuvoso a extremamente chuvoso na região de LVT. Em Setembro o total de precipitação mensal foi inferior aos valores médios, sendo classificado de extremamente seco a normal.

Ano 2005

Em Portugal Continental a média da temperatura média do ar em 2005 foi de 15.6°C, cerca de +0.6°C acima do valor médio de 1961-1990 verificando-se anomalias positivas em todo o território. A média da temperatura máxima foi de 21.55°C, +1.36°C acima do valor médio de 1961-19 e média da temperatura mínima foi de 9.68°C, -0.07°C abaixo do valor médio de 1961-1990.

Em Junho e Agosto os valores da temperatura média do ar foram muito superiores aos respectivos valores médios. O Verão de 2005 foi o mais quente desde 1931, com o valor da temperatura média do ar de 23.38°C, +2.38°C acima do valor médio de 1961-1990. A temperatura do ar no mês de Abril caracterizou-se por valores da temperatura média e da temperatura máxima do ar superiores aos valores médios em todo o território. A temperatura média do ar de LTV foi de superior a 16 °C em Hospital Velho, em Mem-Martins, Cascais e Quinta do Marquês foi de 14.1 a 15.0 °C e no resto da região foi de 15.1 a 16.0 °C. Na região de LVT a temperatura mínima foi superior a 11.0 °C nas zonas junto ao estuário e nas restantes foi de 10.1 a 11.0 °C. A temperatura máxima foi de 20.1 a 21 °C na margem sul, no Olivais e Beato e 19.1 a 20.0 °C no resto da região. Na primeira quinzena de Abril o estado do tempo foi condicionado predominantemente por um anticiclone localizado no Atlântico. Entre os dias 1 e 3 ocorreu precipitação em todo o território devido a um sistema frontal associado a uma depressão localizada a Noroeste do continente. Ocorreu precipitação fraca devido á passagem de superfícies frontais frias. Entre dia 15 e dia 26, ocorreu precipitação devido a passagem de sistemas frontais nas regiões do Norte e Centro associados a depressões centradas a Oeste e a Sudoeste das Ilhas Britânicas. A partir de dia 25 um anticiclone localizado na região da Madeira começou a influenciar o estado do tempo originando uma subida gradual da temperatura até ao final da quinzena. Em Abril os valores de insolação para a região de LVT foram de 261 a 280 horas na margem sul e de 240 a 280 horas na margem norte.

Em Maio os valores da temperatura do ar (média, máxima e mínima) foram superiores aos respectivos valores médios em todo o território. Na região de LVT a temperatura média mensal foi superior a 17.1 a temperatura mínima foi superior a 13 °C. A média da temperatura máxima foi para LVT de 23.1 a 27.0 °C. A média da temperatura mínima na região de LVT foi de 13 °C e da temperatura máxima foi de 23.1 a 27 °C para a mesma região. Até dia 3 de Maio ocorreu precipitação no Norte e Centro devido à passagem de uma superfície frontal fria e da massa de ar pós-frontal. Entre os dias 4 e 6 registou-se uma subida acentuada da temperatura devido a influência de um anticiclone localizado a norte dos Açores e que se estendeu em crista em direcção ao Golfo da Biscaia. Dia 7 o continente esteve sob a influência de uma depressão sobre a Península Ibérica e posteriormente sob a acção de uma região depressionária complexa deslocando-se dos Açores para o continente. Neste período ocorreu precipitação em todo o território, com uma descida da temperatura. A partir de dia 15 o estado do tempo foi influenciado predominantemente por um anticiclone localizado no Atlântico. Nos dias 16, 20, 21 e 27 verificou-se a passagem de sistemas frontais, com ocorrência de precipitação. A partir de dia 24 desenvolveu-se uma depressão no interior da Península Ibérica que deu origem a uma brisa, em geral moderada no litoral Oeste e aguaceiros. Os Valores de insolação para a margem Sul foram de 300 a 320 horas e na margem Norte variaram entre 280 e 320 horas.

O mês de Junho caracterizou-se por valores médios da temperatura do ar (média, máxima e mínima) muito superiores aos respectivos valores normais em todo o território, classificando-se como muito quente a excepcionalmente quente. A média da temperatura média do ar na região da LTV foi, de 22.1 a 23.0 °C para a margem sul e de 19.1 a 23.0 °C no resto da região. A média da temperatura mínima e máxima na mesma região foi de 16.1 a 18.0 °C e de 24.1 a 30.0 °C respectivamente. Na sequência de forte instabilidade ocorrida no final da quinzena anterior, o estado do tempo continuou a sofrer a influência de uma região depressionária sobre a Península Ibérica e Atlântico adjacente, mas apenas originando aguaceiros no interior Centro e Sul nos dias 1 e 9, verificou-se ainda a acção de um anticiclone localizado próximo do Arquipélago dos Açores, que se deslocou progressivamente até às Ilhas Britânicas. Durante a quinzena, o vento foi em geral fraco, predominando do quadrante Oeste, e por vezes moderado a forte no litoral Oeste e no Algarve, sendo do quadrante leste nos dias 7 e 8. Até dia 5 e a partir de dia 10 houve neblina ou nevoeiro matinal em alguns locais, em especial no litoral Oeste. Neste período os valores da temperatura do ar estiveram acima dos valores normais para a época. A partir de 16 e até dia 23 a situação meteorológica foi caracterizada pela existência de uma região anticiclónica no Atlântico Norte, que se estendia em crista em direcção às Ilhas Britânicas e França e pela acção de um vale depressionário sobre a Península Ibérica. No período de 24 a 28 o estado do tempo foi condicionado pela acção de uma região depressionária sobre a Península e Atlântico adjacente e a partir de 29 uma crista de altas pressões passou a influenciar o estado do

tempo. Ocorrência de precipitação em fraca nas regiões do litoral Oeste nos dias 24, 25, 27 a 29. A insolação em LVT foi de 301 a 340 horas.

O mês de Julho, em Portugal Continental, caracterizou-se por valores médios da temperatura do ar (média, máxima e mínima) superiores aos respectivos valores normais em quase todo o território, classificando-se como moderadamente quente. A média da temperatura média do ar na região de LVT foi de 21.1 a 23 °C. Para a mesma região a média da temperatura mínima foi superior a 16.1°C e a máxima de 25.1 a 29 °C. Na primeira quinzena de Julho o estado do tempo foi condicionado por um anticiclone localizado na região dos Açores estendendo-se em crista em direcção às Ilhas Britânicas, deslocando-se gradualmente para Nordeste até dia 10 e posteriormente para Oeste. Na maior parte da quinzena verificou-se também a influência de uma região depressionária no interior da Península Ibérica. O vento soprou em regime de nortada moderada a forte no litoral Oeste não tendo ocorrido valores significativos da quantidade de precipitação no território. No dia 16, o estado do tempo começou por ser condicionado por um anticiclone localizado a Noroeste dos Açores e que se deslocou em direcção ao Golfo da Biscaia até ao dia 20. No dia 21, verificou-se um enfraquecimento deste núcleo anticiclónico, com o aparecimento de um outro núcleo a sul dos Açores e que permaneceu nessa região até dia 28. Deste modo, verificou-se, inicialmente, a passagem de um sistema frontal entre os dias 23 e 24 pelo norte do território e, posteriormente, a acção de uma depressão complexa, com um fluxo perturbado de Sudoeste com transporte de ar quente e húmido, entre os dias 25 e 28. Até ao final da quinzena, o território do Continente voltou a ser influenciado por um anticiclone localizado sobre os Açores e estendendo-se em crista em direcção ao Golfo da Biscaia. Deste modo, até dia 23, o céu apresentou-se em geral muito nublado no litoral Norte e Centro. O vento soprou em geral fraco de Noroeste, sendo por vezes moderado a forte no litoral Oeste a sul do Cabo Carvoeiro. Registou-se uma subida acentuada das temperaturas entre os dias 18 e 20. Entre o dia 24 e a madrugada do dia 29, registou-se a ocorrência de precipitação em todo o território. Neste período, verificou-se uma descida gradual da temperatura, seguida de uma pequena subida a partir de dia 30. A insolação em LVT foi de 351 a 370 horas.

Agosto caracterizou-se por valores médios da temperatura do ar superiores aos valores médios. Na região de LVT a média da temperatura média foi de 24.1 a 25 °C na margem sul e de 21.1 a 25 °C na margem sul. A média da temperatura mínima foi superior a 17.1 °C e a média da temperatura máxima foi de 26.1 a 32 °C, em LVT. Entre os dias 1 e 6, o estado do tempo foi condicionado por um anticiclone localizado sobre os Açores e que deslocou lentamente para Nordeste em direcção à Bretanha. Em particular, entre os dias 4 e 6, o anticiclone estendeu-se em crista em direcção ao Mediterrâneo Ocidental e desenvolveu-se um vale depressionário no Norte de África. Entre os dias 7 e 10, houve a influência de uma região depressionária sobre a Península Ibérica e Atlântico adjacente. O céu

começou por se apresentar pouco nublado ou limpo, tornando-se muito nublado entre os dias 7 e 10, com ocorrência de precipitação em todo o território nos dias 9 e 10. Registou-se uma subida da temperatura até dia 5 em todo o território. No dia 6, a temperatura subiu ainda nas regiões do Interior, começando a descer no Litoral e estendendo-se essa descida a todo o território até dia 10. O estado do tempo na segunda quinzena foi condicionado predominantemente pelo anticiclone localizado na região dos Açores e que se estendia em crista em direcção ao Golfo da Biscaia. O dia 15 foi caracterizado pela rotação do vento para o quadrante Oeste e conseqüente descida dos valores da temperatura máxima no litoral Oeste, que se prolongou até ao dia 17. No dia 16, devido a uma depressão em altitude, ocorreram aguaceiros e trovoadas nas regiões do Norte, durante a tarde. No restante território, o céu apresentou-se pouco nublado ou limpo e ocorreram neblinas ou nevoeiros matinais no litoral Oeste, o que se veio a verificar até ao dia 18 e entre os dias 24 a 30. No período de 16 a 18, o vento soprou de Noroeste moderado, por vezes forte no litoral Oeste. No dia 19, devido à passagem de uma superfície frontal fria de fraca actividade, o céu apresentou-se com períodos de muito nublado, o vento soprou fraco a moderado de norte e registou-se uma pequena descida da temperatura máxima. Do dia 20 ao dia 23, o céu apresentou-se geralmente limpo, registando-se uma subida da temperatura. No entanto a partir do dia 24 até ao dia 29 houve um aumento de nebulosidade em algumas regiões do litoral Oeste a norte do Cabo da Roca com ocorrência nos dias 27 e 28 de precipitação fraca no Minho e Douro Litoral e no litoral a norte do Cabo da Roca, devido à passagem de uma superfície frontal fria de fraca actividade. Conseqüentemente registou-se neste período uma descida das temperaturas. A partir do dia 29 ocorreu uma subida da temperatura, mais significativa nas regiões do Interior com o céu de um modo geral limpo e neblinas ou nevoeiros matinais. A insolação, na região de LVT foi superior a 330.1 horas.

O mês de Setembro foi caracterizado por valores médios da temperatura média e máxima superiores aos valores normais e da temperatura mínima do ar inferiores. A média da temperatura média do ar em LVT foi de 20.1 a 22 °C. A média da temperatura mínima foi superior a 15.1 °C e da temperatura máxima foi de 24.1 a 28 °C em LVT. Entre os dias 4 e 9, verificou-se a passagem de sistemas frontais pelo Continente, tendo o estado do tempo sido condicionado por uma região de altas pressões entre a Península Ibérica e os Açores no resto da quinzena. Nos dias 14 e 15, verificou-se ainda a influência de uma depressão em altitude a Sudoeste da Península Ibérica. Entre os dias 3 e 12, ocorreu precipitação, em especial nas regiões do Norte e Centro, e que foi por vezes moderada a forte na região Centro nos dias 6 e 7. Nos dias 14 e 15, ocorreram aguaceiros fracos. Na segunda quinzena de Setembro o estado do tempo foi em geral condicionado por um anticiclone localizado na região Atlântica próxima dos Açores. Contudo, verificou-se ainda a influência de uma depressão em altitude a sul do Algarve no dia 16 e a passagem de superfícies frontais frias de fraca actividade ou em

dissipação pelo norte da Península Ibérica entre os dias 23 e 28. No dia 16, ocorreram aguaceiros fracos na região Sul e alguns locais da região Centro. Nos dias 24 e 25 ocorreu chuva fraca nas regiões do Norte e Centro, em particular no litoral. A insolação na região de LVT foi 280.1 a 300 horas.

O ano de 2005, com valores da quantidade de precipitação muito inferiores aos valores médios, classificou-se como um ano extremamente seco. Todos os meses aqui em análise se classificaram como secos a extremamente secos, à excepção de Maio que foi um mês normal a seco e Junho que foi considerado chuvoso a extremamente chuvoso na região de LVT.

Ano 2006

O ano de 2006 caracterizou-se por um valor da temperatura média de 16,04°C e um desvio de + 1.05 °C em relação à média de 1961-1990. A média da temperatura máxima do ar foi de 21.27°C, 1.06°C acima do valor médio de 1961-1990; a média da temperatura mínima foi de 10.81°C, 1.05°C acima do valor médio. O Verão (Junho, Julho e Agosto) de 2006 foi um verão muito quente com o valor da temperatura média do ar 22.76 °C, 1.8°C acima do valor médio de 1961-1990.

O mês de Abril de 2006 foi caracterizado por valores médios da temperatura máxima e mínima do ar superiores aos valores normais em todo o território. A temperatura do ar no mês de Abril caracterizou-se por valores médios da temperatura máxima e mínima do ar superiores aos valores normais, com desvios de 2.18 e 1.87 °C, respectivamente. A média da temperatura média do ar foi superior a 14 °C. A média da temperatura mínima do ar na região de LVT foi superior a 10 °C e a média da temperatura máxima foi para a mesma região de 19 a 23 °C. O estado do tempo foi condicionado pela aproximação e passagem de depressões até dia 22, predominado a influência de um anticiclone a Oeste do Continente até ao final do período. O céu apresentou-se em geral muito nublado e a precipitação foi em geral em regime de aguaceiros, sendo por vezes acompanhada de trovoada. A insolação foi de 250 a 260 horas e no resto da região de LVT foi de 210 a 250 horas.

O mês de Maio de 2006 foi caracterizado por valores médios da temperatura média e da temperatura máxima do ar superiores aos valores normais em todo o território. A temperatura média do ar em Maio, na região de LVT foi de 17.0 a 20.0 °C; o valor da temperatura mínima foi superior a 12.0 °C e média da temperatura máxima foi de 21.0 a 27.0 °C; sendo que este foi o Maio mais quente dos últimos 41 anos. Até dia 23 de Maio o estado do tempo por um anticiclone nas regiões do Sul. De 24 a 28 o anticiclone desloca-se um pouco mais para norte e uma depressão centrada no Norte de África estende-se em vale pelo território do Continente. No dia 29 forma-se uma depressão no Sul da Península Ibérica, que passou a influenciar o estado do tempo até ao fim do mês. Deste modo até dia 23 o céu esteve pouco nublado. De 24 a 28 o céu esteve pouco nublado ou limpo, o vento soprou do quadrante leste e a temperatura do ar atingiu valores muito superiores aos normais para esta época do ano. A partir de dia 29 o céu esteve por vezes muito nublado no Centro e Sul onde ocorreu

pontualmente aguaceiros e trovoadas. Os valores de insolação na região de LVT foram superiores a 340 horas.

Junho caracterizou-se por valores de temperatura do ar muito superiores aos valores médios, classificando-se como muito quente a excepcionalmente quente. A média mensal da temperatura da média do ar na região de LVT foi de 21 a 22 °C, na margem Sul e de 19 a 22°C na margem norte. A média da temperatura em LVT foi superior a 15 °C e a média da temperatura máxima foi de 22 a 28 °C. O estado do tempo foi influenciado até dia 6 por um anticiclone, de 7 a 18 por depressões e a partir de dia 19 pela acção conjunta de um anticiclone e de um vale em altitude. Até dia 6 o céu esteve em geral limpo. A partir de dia 7, houve um aumento de nebulosidade, que a partir de dia 19 se restringiu praticamente às regiões do litoral Oeste. De 9 a 18, ocorreram aguaceiros. A insolação, a região de LVT foi de 270 a 290 horas, sendo superior aos valores médios.

Julho foi caracterizado por valores médios da temperatura do ar muito superiores aos valores médios, com um valor da temperatura média de 23.82 °C e um desvio de + 1.95 °C em relação à média de 1961-1990. A média da temperatura média do ar na região de LVT foi de 22 a 24 °C na margem norte e 22 a 26 °C. A média da temperatura mínima em LVT foi superior a 18 °C e da temperatura máxima foi 24 a 30 °C para a mesma região. O estado do tempo no Continente foi influenciado até dia 5 por uma depressão centrada a Oeste da Galiza, de 6 a 10 por um anticiclone localizado a Oeste dos Açores que se estendia em crista pelo Golfo da Biscaia, de 11 a 19 pela acção conjunta de uma depressão de origem térmica e de um vale em altitude e de 20 a 30 por um anticiclone ou pela passagem de superfícies frontais pelas regiões do Norte. Até dia 5, o céu esteve pouco nublado. De 6 a 9, o céu esteve pouco nublado ou limpo. De 11 a 19, o céu apresentou períodos de muita nebulosidade no interior com ocorrência de aguaceiros. De 7 a 18 ocorreu uma intrusão de uma massa de ar mais quente vinda do Norte de África ao nível 850 hPa e que, de 10 a 15, também se verificou ao nível da superfície. A partir de dia 20, o céu esteve em geral pouco nublado. Quanto á insolação o mês de Julho registou para a região de LVT valores de 351 a 370 horas.

O mês de Agosto caracterizou-se por dois períodos com valores muito altos da temperatura do ar, muito superiores aos respectivos valores médios (4 a 14 de Agosto e depois do dia 20), intercalados por um período com valores da temperatura do ar muito inferiores aos valores médios (15 a 19 de Agosto). A temperatura média do ar em Agosto foi de 21.87 °C, 1.55 °C acima do valor médio; e o desvio em relação à média da temperatura mínima foi de +1.60°C e da temperatura máxima +1.50 °C. Na região de LVT as temperaturas médias, mínimas e máximas foram de 22.0 a 24.0 °C, acima de 19.0 °C e de 26.0 a 30.0 °C, respectivamente. De 1 a 3, de 10 a 14 e de 21 a 26 o estado do tempo no Continente foi influenciado predominantemente por um anticiclone e uma depressão de origem térmica e de 4 a 9 por um vale que se estendia do Norte de África. De 15 a 20 houve passagem de depressões

pelo Continente, às quais por vezes estiveram associadas superfícies frontais ou linhas de instabilidade. De 27 a 31 o anticiclone localizado a leste do Arquipélago dos Açores estendeu-se em crista até aos Pirinéus. O céu esteve limpo, temporariamente muito nublado durante a manhã por neblina e no litoral Oeste a sul do Cabo da Roca no dia 8. De 10 a 14 o céu esteve em geral limpo. De 15 a 20 o céu apresentou-se por vezes muito nublado e ocorreram períodos de chuva nas Regiões do Norte e do Centro no dia 16 e aguaceiros de 17 a 19. De 21 a 31 o céu esteve limpo, apresentando-se por vezes muito nublado durante a manhã no litoral Oeste. A temperatura subiu gradualmente a partir de dia 27 devido à predominância de uma circulação de Nordeste em Portugal Continental. A insolação na região de LTV foi superior a 340 horas, sendo superior aos valores médios.

Os valores médios da temperatura média do ar em Setembro foram superiores aos valores médios. Os valores da temperatura do ar em Setembro foram superiores aos valores médios, com desvios de +0.86 °C para a temperatura média, +1.09 °C para a mínima e +0.63 °C para a máxima. A média da temperatura média do ar na região de LVT foi superior a 22.0 °C. A média da temperatura mínima em LVT foi de 14.0 a 18.0 °C e a média da temperatura máxima foi de 24.0 a 28.0 °C. O estado do tempo no Continente foi influenciado nos dias 1 e 2 e de 18 a 20 por um anticiclone, de 3 a 6 por uma massa de ar quente e seca transportada por um vale que se estendia do Norte de África e de 7 a 17 e de 21 a 30 pela passagem sucessiva de depressões às quais estiveram associadas superfícies frontais ou linhas de instabilidade. De 1 a 6 e de 18 a 20 o céu esteve pouco nublado ou limpo, tendo-se registado valores elevados de temperatura do ar de 3 a 6 devido à influência de uma massa de ar oriunda do Norte de África. Nos restantes dias, o céu esteve muito nublado. Ocorreram períodos de chuva ou aguaceiros. A insolação na região de LVT foi de 240 a 280 horas, sendo estes valores superiores à média.

O ano de 2006 classificou-se como um ano normal em relação aos valores de precipitação. Em relação à quantidade de precipitação o mês de Junho classificou-se como chuvoso, o mês de Julho classificou-se como normal na região de LVT e os meses de Agosto e Setembro classificaram-se extremamente chuvosos.

Anexo II. Matrizes de correlação

Tabela 91 Matriz de correlação dos dados horários de ozono.

	Paio Pires	Entrecampos	Beato Velho	Hospital Velho	Laranjeiro	Alfragide /Amadora	Reboleira	Mem-Martins	Chamusca	Escavadeira	Marquês	Loures	Camarinha	Restelo	Olivais Arcos	Camarinha	Loures	Quinta do Marquês	Escavadeira	Mem-Martins	Reboleira	Alfragide /Amadora	Laranjeiro	Hospital Velho	Beato Velho	Entrecampos	Paio Pires	
Entrecampos	0.732																											
Beato Velho	0.757	0.878																										
Hospital Velho	0.819	0.751	0.721																									
Laranjeiro	0.871	0.795	0.872	0.83																								
Alfragide/Amadora	0.657	0.735	0.792	0.588	0.733																							
Reboleira	0.737	0.855	0.875	0.723	0.815	0.833																						
Mem-Martins	0.713	0.73	0.798	0.72	0.747	0.753	0.869																					
Chamusca	0.687	0.621	0.716	0.676	0.656	0.64	0.716	0.724																				
Escavadeira	0.859	0.701	0.754	0.905	0.82	0.628	0.703	0.694	0.624																			
Quinta do Marquês	0.808	0.792	0.846	0.772	0.824	0.838	0.901	0.876	0.708	0.768																		
Loures	0.754	0.83	0.863	0.744	0.782	0.767	0.895	0.844	0.747	0.737	0.862																	
Camarinha	0.781	0.744	0.824	0.778	0.81	0.747	0.782	0.752	0.736	0.754	0.767	0.791																
Restelo	0.732	0.827	0.873	0.717	0.867	0.83	0.864	0.781	0.666	0.716	0.86	0.801	0.753															
Olivais Arcos	0.76	0.906	0.937	0.739	0.843	0.856	0.874	0.775	0.697	0.725	0.831	0.878	0.799	0.856														
Arcos	0.785	0.765	0.825	0.752	0.814	0.749	0.82	0.784	0.739	0.766	0.803	0.817	0.9	0.766	0.795													
Odivelas	0.778	0.84	0.863	0.793	0.809	0.833	0.904	0.857	0.714	0.772	0.869	0.889	0.801	0.852	0.807													

Tabela.92 Matriz de correlação dos dados horários de ozono da estação de ozono.

	Paio Pires	Entrecampos	Beato	Hospital Velho	Laranjeiro	Alfragide/Amadora	Reboleira	Reboleira	Alfragide/Amadora	Reboleira	Mem-Martins	Chamusca	Escavadeira	Quinta do Loures	Camarinha	Restelo	Olivais	Arcos	Odivelas
Entrecampos	0.683																		
Beato	0.692	0.858																	
Hospital Velho	0.796	0.683	0.638																
Laranjeiro	0.836	0.764	0.827	0.783															
Alfragide/Amadora	0.6	0.722	0.819	0.485	0.736														
Reboleira	0.688	0.84	0.875	0.647	0.797	0.809													
Mem-Martins	0.662	0.662	0.773	0.642	0.703	0.702	0.86												
Chamusca	0.689	0.57	0.711	0.648	0.665	0.615	0.731	0.741											
Escavadeira	0.806	0.637	0.682	0.884	0.768	0.559	0.643	0.625	0.587										
Quinta do Loures	0.76	0.766	0.847	0.715	0.792	0.794	0.899	0.889	0.728	0.696									
Quinta do Loures	0.72	0.794	0.831	0.679	0.749	0.715	0.889	0.851	0.772	0.7	0.87								
Camarinha	0.8	0.704	0.811	0.771	0.83	0.737	0.778	0.742	0.752	0.735	0.772	0.774							
Restelo	0.662	0.798	0.87	0.634	0.853	0.798	0.861	0.751	0.644	0.669	0.839	0.782	0.759						
Olivais	0.702	0.882	0.924	0.652	0.817	0.827	0.864	0.744	0.682	0.662	0.818	0.842	0.78	0.854					
Arcos	0.753	0.724	0.778	0.688	0.8	0.668	0.795	0.72	0.75	0.699	0.777	0.773	0.916	0.728					
Odivelas	0.752	0.799	0.848	0.741	0.79	0.812	0.89	0.832	0.726	0.724	0.863	0.873	0.783	0.846	0.761				

Tabela 93 Matriz de correlação dos dados das médias diárias de ozono.

	Paio Pires	Entrecampo	Beato	Hospital Velho	Laranjeiro	Alfragide/Amadora	Reboleira	Mem-Martins	Chamusca	Escavadeira	Quinta do Marquês	Loures	Camarinha	Restelo	Olivais	Arcos
Entrecampo	0.733															
Beato	0.741	0.894														
Hospital Velho	0.817	0.757	0.686													
Laranjeiro	0.865	0.826	0.895	0.837												
Alfragide/Amadora	0.558	0.691	0.772	0.473	0.662											
Reboleira	0.75	0.908	0.929	0.738	0.861	0.84										
Mem-Martins	0.79	0.791	0.88	0.808	0.819	0.805	0.914									
Chamusca	0.758	0.692	0.806	0.757	0.74	0.701	0.801	0.831								
Escavadeira	0.886	0.696	0.744	0.889	0.821	0.542	0.715	0.772	0.69							
Quinta do Marquês	0.895	0.851	0.912	0.849	0.893	0.891	0.944	0.915	0.803	0.849						
Loures	0.779	0.875	0.905	0.771	0.824	0.756	0.93	0.898	0.82	0.77	0.913					
Camarinha	0.803	0.784	0.895	0.827	0.858	0.802	0.869	0.855	0.811	0.799	0.853	0.874				
Restelo	0.704	0.871	0.911	0.703	0.89	0.846	0.9	0.84	0.748	0.708	0.894	0.839	0.805			
Olivais	0.747	0.931	0.954	0.723	0.864	0.886	0.93	0.852	0.787	0.707	0.898	0.914	0.873	0.899		
Arcos	0.813	0.848	0.896	0.784	0.873	0.784	0.9	0.869	0.825	0.821	0.888	0.886	0.898	0.823	0.866	
Odivelas	0.866	0.886	0.925	0.877	0.875	0.882	0.95	0.923	0.808	0.852	0.93	0.938	0.923	0.91	0.919	0.916

Tabela.94 Matriz de correlação dos dados das médias diárias de ozono da estação de ozono.

	Paio Pires	Entrecampo	Beato	Hospital Velho	Laranjeiro	Alfragide /Amador	Reboleira	Mem-Martins	Chamusca	Escavadeira	Quinta do Marquês	Loures	Camarinhã	Restelo	Olivais	Arcos
Entrecampo	0.595															
Beato	0.585	0.835														
Hospital Velho	0.758	0.616	0.496													
Laranjeiro	0.757	0.754	0.807	0.747												
Alfragide/Amadora	0.325	0.6	0.786	0.181	0.573											
Reboleira	0.627	0.865	0.931	0.578	0.818	0.747										
Mem-Martins	0.741	0.642	0.857	0.703	0.756	0.731	0.903									
Chamusca	0.714	0.508	0.73	0.652	0.652	0.593	0.797	0.805								
Escavadeira	0.795	0.533	0.585	0.833	0.703	0.328	0.581	0.669	0.552							
Quinta do Marquês	0.839	0.767	0.913	0.734	0.831	0.801	0.939	0.927	0.789	0.726						
Loures	0.692	0.78	0.836	0.639	0.738	0.588	0.889	0.886	0.802	0.699	0.896					
Camarinhã	0.799	0.656	0.895	0.794	0.851	0.768	0.886	0.882	0.791	0.764	0.894	0.859				
Restelo	0.51	0.791	0.879	0.51	0.83	0.733	0.872	0.788	0.621	0.577	0.843	0.755	0.8			
Olivais	0.592	0.871	0.924	0.536	0.789	0.786	0.911	0.818	0.714	0.547	0.865	0.833	0.854	0.866		
Arcos	0.733	0.773	0.838	0.661	0.845	0.622	0.886	0.803	0.787	0.72	0.869	0.828	0.886	0.762	0.767	
Odivelas	0.842	0.793	0.894	0.776	0.822	0.825	0.936	0.892	0.787	0.746	0.925	0.919	0.929	0.848	0.893	0.893

Tabela 95 Matriz de correlação dos dados das máximas diárias de ozono.

	Paio Pires	Entrecampos	Beato	Hospital Velho	Laranjeiro	Alfragide/Amadora	Reboleira	Mem-Martins	Chamusca	Escavadeira	Quinta do Loures	Camarinhão	Restelo	Olivais	Arcos
Entrecampos	0.714														
Beato	0.721	0.849													
Hospital Velho	0.782	0.714	0.648												
Laranjeiro	0.838	0.766	0.886	0.787											
Alfragide/Amadora	0.602	0.714	0.827	0.503	0.718										
Reboleira	0.743	0.872	0.928	0.691	0.877	0.894									
Mem-Martins	0.796	0.76	0.862	0.768	0.844	0.859	0.906								
Chamusca	0.826	0.737	0.841	0.826	0.824	0.807	0.838	0.782							
Escavadeira	0.865	0.674	0.738	0.879	0.79	0.559	0.686	0.762	0.754						
Quinta do Marquês	0.884	0.814	0.896	0.805	0.896	0.913	0.932	0.901	0.794	0.819					
Loures	0.8	0.849	0.905	0.762	0.859	0.811	0.917	0.891	0.829	0.787	0.904				
Camarinha	0.835	0.792	0.88	0.842	0.851	0.825	0.853	0.798	0.816	0.793	0.809	0.842			
Restelo	0.666	0.818	0.881	0.654	0.883	0.848	0.879	0.812	0.778	0.677	0.879	0.83	0.791		
Olivais	0.751	0.889	0.953	0.711	0.87	0.896	0.93	0.849	0.848	0.723	0.893	0.911	0.857	0.884	
Arcos	0.806	0.819	0.861	0.757	0.853	0.804	0.864	0.807	0.85	0.792	0.825	0.848	0.902	0.772	0.844
Odivelas	0.878	0.834	0.925	0.862	0.895	0.923	0.958	0.906	0.835	0.868	0.923	0.959	0.873	0.906	0.867

Tabela 96 Matriz de correlação dos dados das máximas diárias de ozono para a época do ozono.

	Paio Pires	Entrecampos	Beato	Hospital Velho	Laranjeiro	Alfragide/Amadora	Reboleira	Mem-Martins	Chamusca	Escava deira	Quinta do Marqués	Loures	Camarinha	Restelo	Olivais	Arcos
Entrecampos	0.64															
Beato	0.656	0.808														
Hospital Velho	0.773	0.619	0.578													
Laranjeiro	0.797	0.703	0.836	0.752												
Alfragide/Amadora	0.559	0.688	0.896	0.426	0.747											
Reboleira	0.689	0.842	0.924	0.62	0.854	0.908										
Mem-Martins	0.754	0.703	0.836	0.689	0.81	0.861	0.902									
Chamusca	0.786	0.654	0.782	0.76	0.757	0.775	0.794	0.693								
Escavadeira	0.831	0.603	0.713	0.849	0.778	0.542	0.65	0.679	0.665							
Quinta do Marqués	0.855	0.782	0.898	0.751	0.867	0.905	0.93	0.897	0.738	0.76						
Loures	0.759	0.798	0.877	0.701	0.828	0.796	0.9	0.904	0.774	0.771	0.903					
Camarinha	0.878	0.762	0.9	0.869	0.889	0.859	0.862	0.779	0.774	0.797	0.823	0.857				
Restelo	0.599	0.78	0.862	0.575	0.862	0.825	0.867	0.774	0.69	0.661	0.871	0.796	0.824			
Olivais	0.698	0.854	0.935	0.638	0.835	0.88	0.927	0.827	0.798	0.688	0.894	0.884	0.866	0.879		
Arcos	0.78	0.798	0.818	0.716	0.838	0.743	0.838	0.737	0.787	0.74	0.792	0.808	0.931	0.728	0.786	
Odivelas	0.863	0.748	0.907	0.789	0.877	0.937	0.966	0.916	0.791	0.815	0.941	0.967	0.846	0.869	0.926	0.835

Tabela 97 Matriz de correlação da frequência de excedência.

	Paio Pires	Entrecampo	Beato	Hospita l Velho	Laranja r	Alfragide/ Amadora	Reboleir a	Mem- Martin	Chamusc a	Escavadeir a	Quinta do Marqué s	Loure s	Camarinh a	Restel o	Olvai s
Entrecamp os	0.107														
Beato	0.34	0.036													
Hospital Velho	0.554	0.089	0.361												
Laranjeiro	0.425	-0.054	0.328	0.326											
Alfragide/Amadora	0.164	0.32	0.186	0.266	0.258										
Reboleira	0.297	0.273	0.349	0.297	0.339	0.408									
Mem- Martins	0.015	0.11	0.098	-0.001	0.115	0.06	0.318								
Chamusca	-0.13	0.09	-0.037	-0.126	-0.135	-0.109	-0.35								
Escavadeira	0.242	-0.033	0.383	0.434	0.411	0.134	0.212	0.1	-0.182						
Quinta do Marquês	0.243	0.192	0.298	0.202	0.357	0.241	0.407	0.301	-0.174	0.189					
Loures	0.238	0.156	0.401	0.221	0.349	0.302	0.511	0.186	0.014	0.24	0.315				
Camarinha	0.254	0.129	0.11	0.212	0.215	0.172	0.156	-0.009	-0.193	0.324	0.111	0.021			
Restelo	0.26	0.102	0.392	0.267	0.365	0.324	0.391	0.139	-0.134	0.274	0.324	0.361	0.114		
Olivais	0.424	0.245	0.613	0.419	0.528	0.368	0.33	0.058	-0.065	0.428	0.269	0.471	0.204	0.458	
Arcos	0.27	0.034	0.097	0.235	0.216	0.168	0.2	-0.056	-0.197	0.221	0.072	0.069	0.574	0.069	0.177
Odivelas	0.331		0.428	0.249	0.352	0.425	0.477	0.232	-0.038	0.144	0.251	0.579	-0.015	0.303	0.335
															-0.02

Anexo III. Árvores de regressão

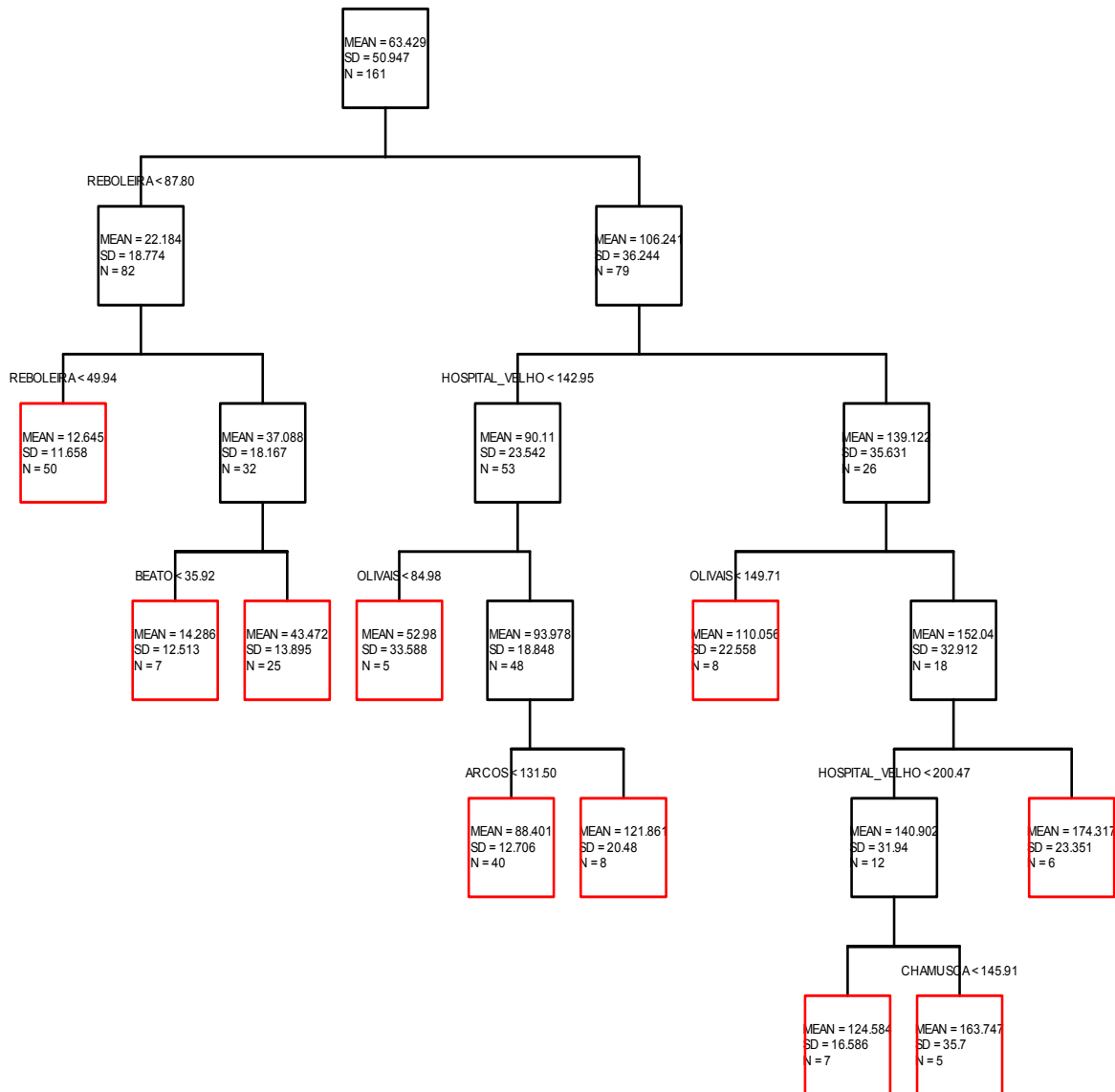


Figura 1 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Alfragide/ Amadora.

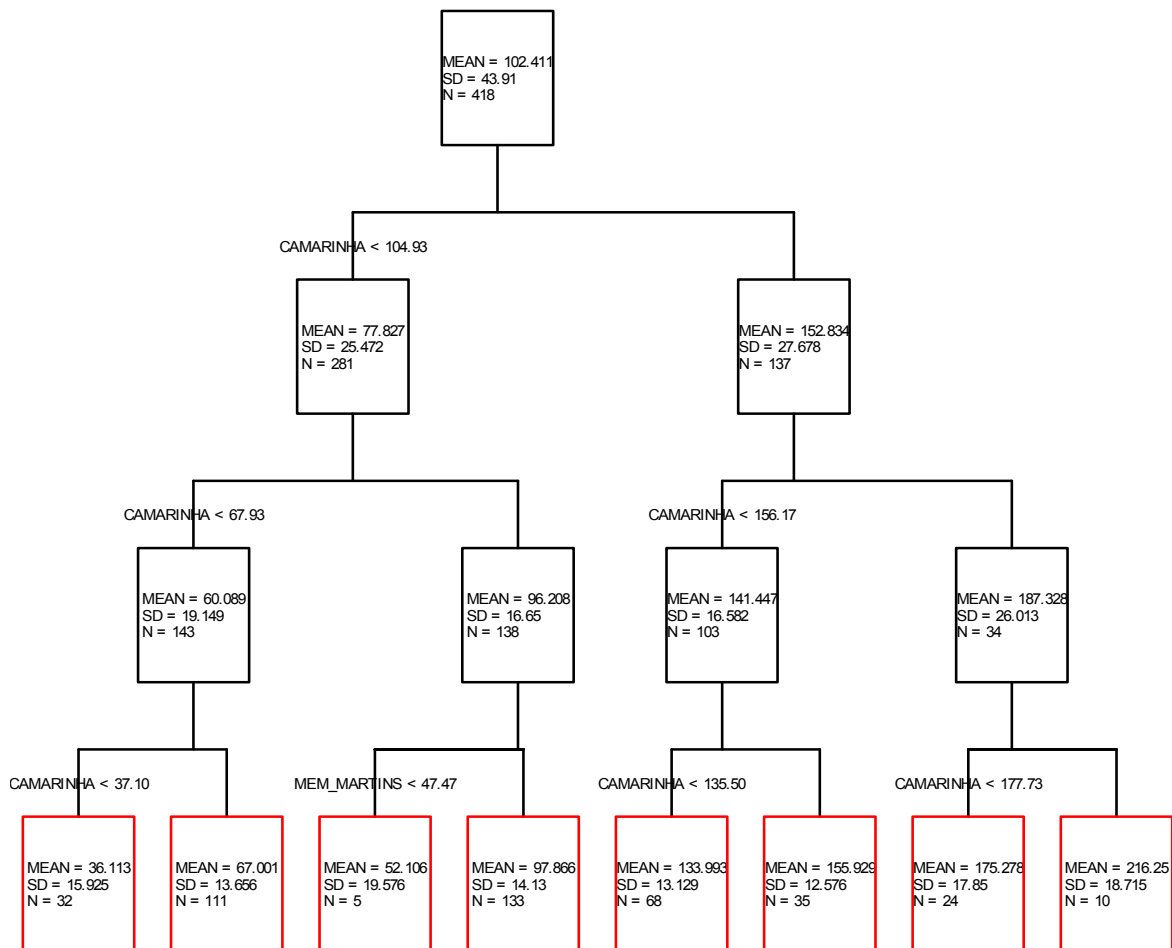


Figura 2 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Arcos.

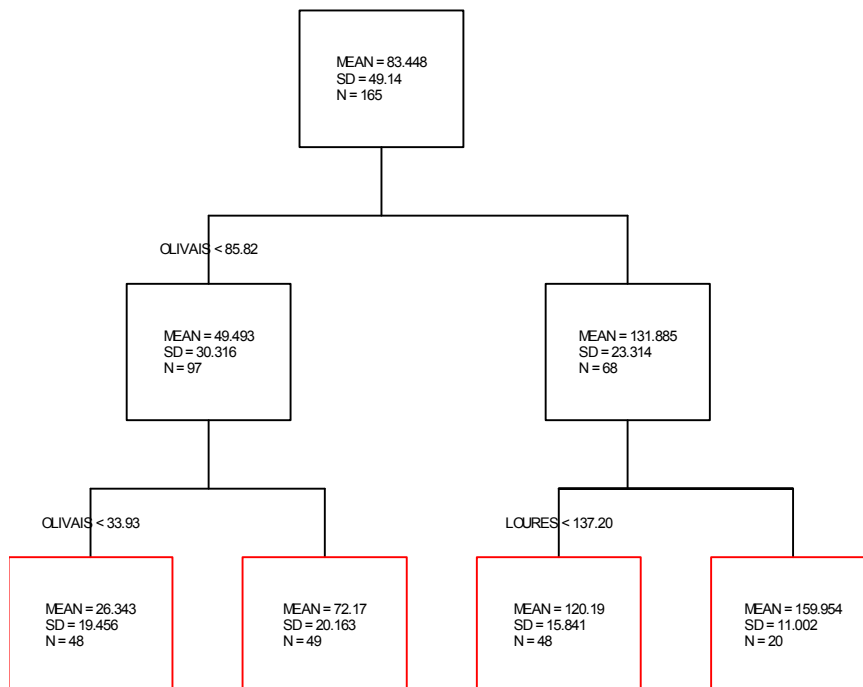


Figura 3 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Beato.

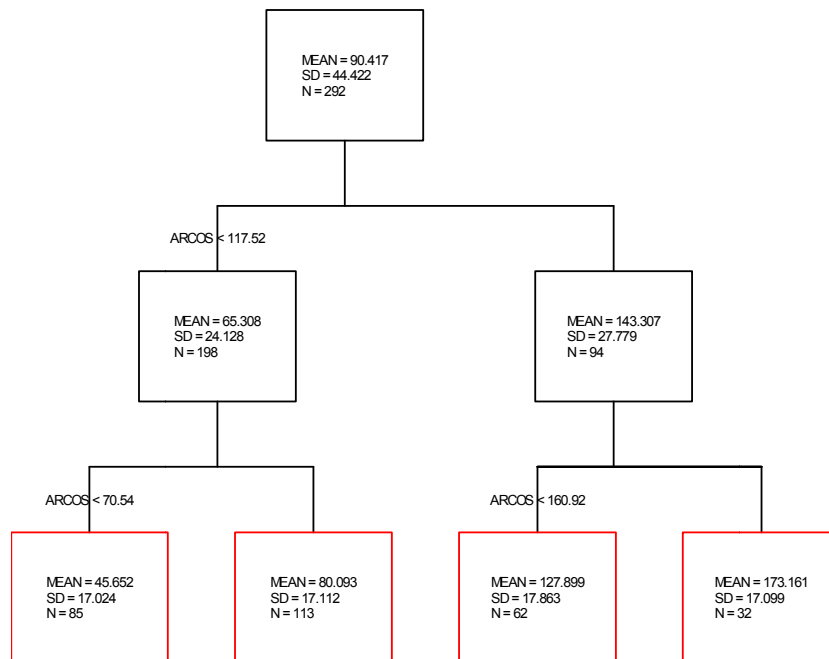


Figura 4 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Camarinha.

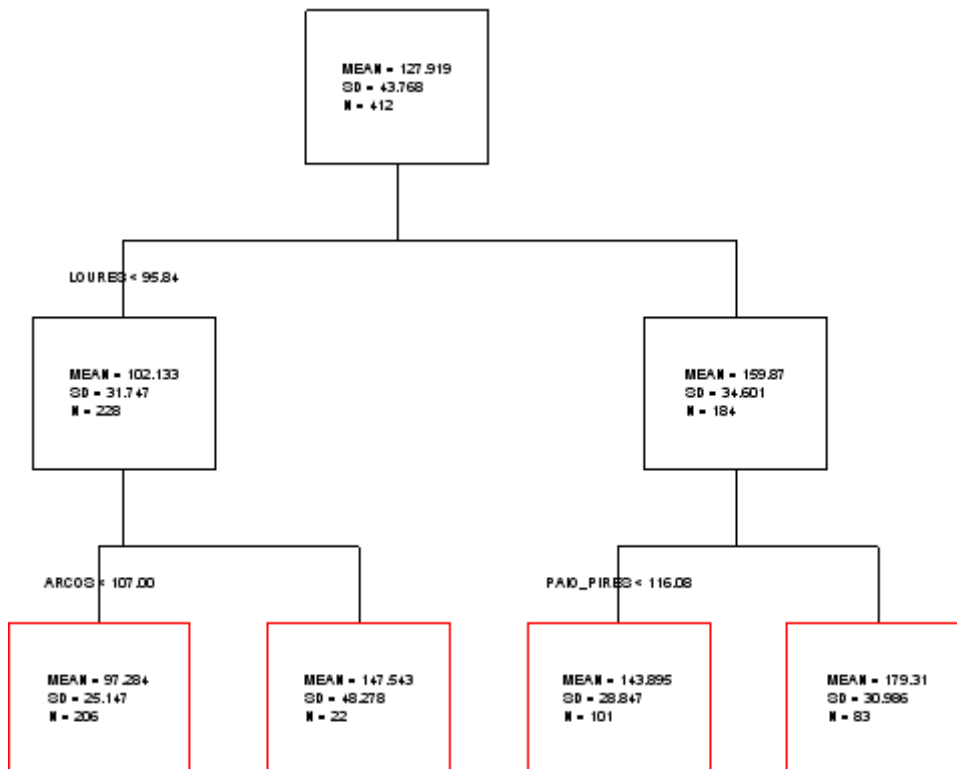


Figura 5 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Chamusca.

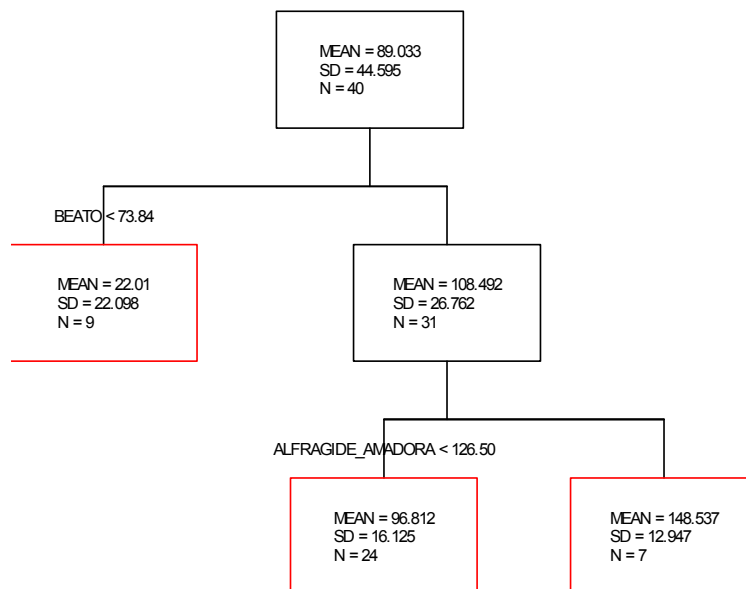


Figura 6 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Entrecampos.

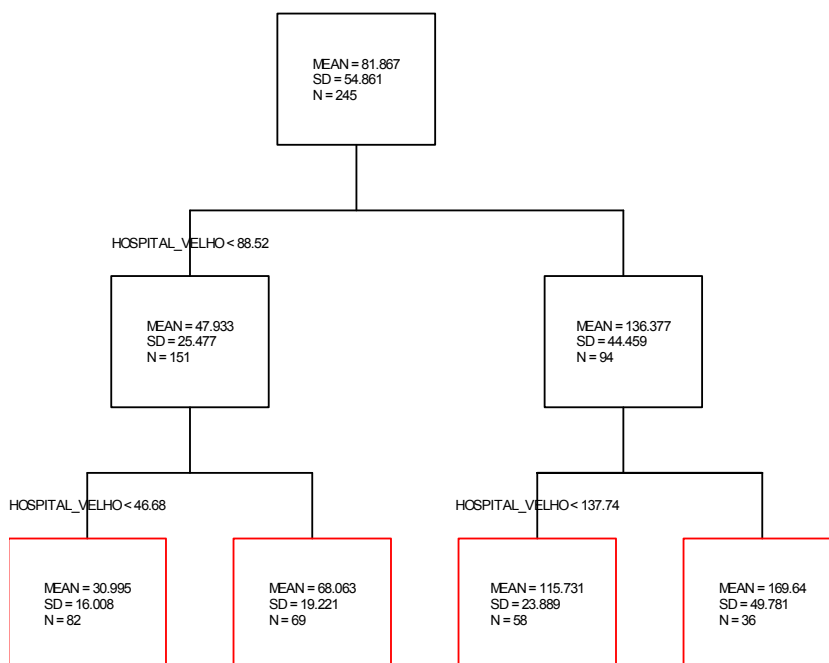


Figura 7 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Escavadeira.

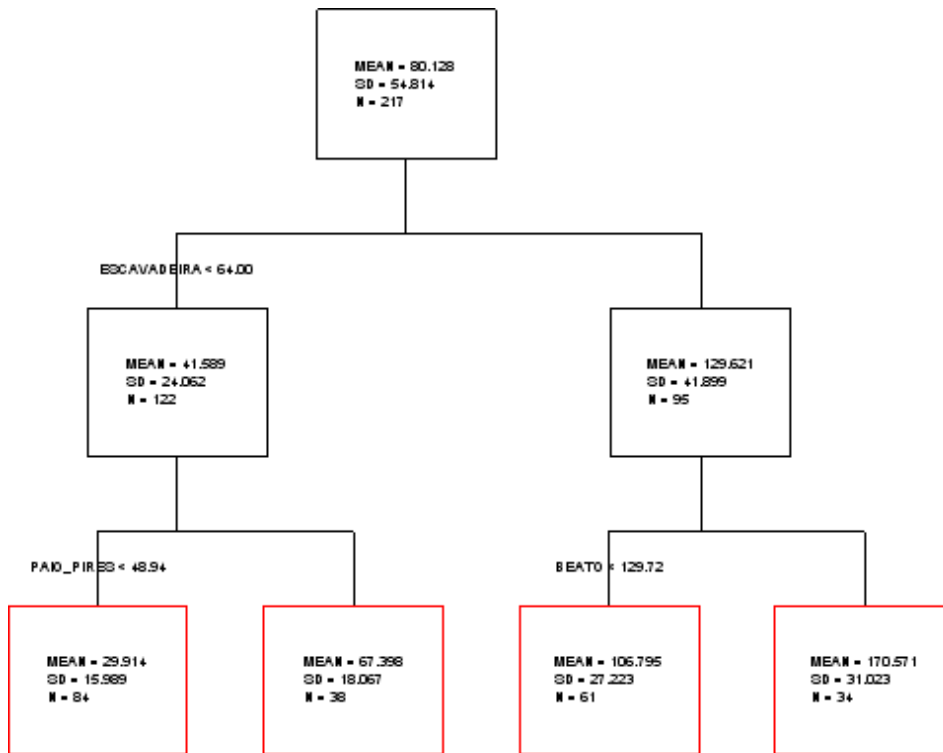


Figura 8 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Hospital Velho.

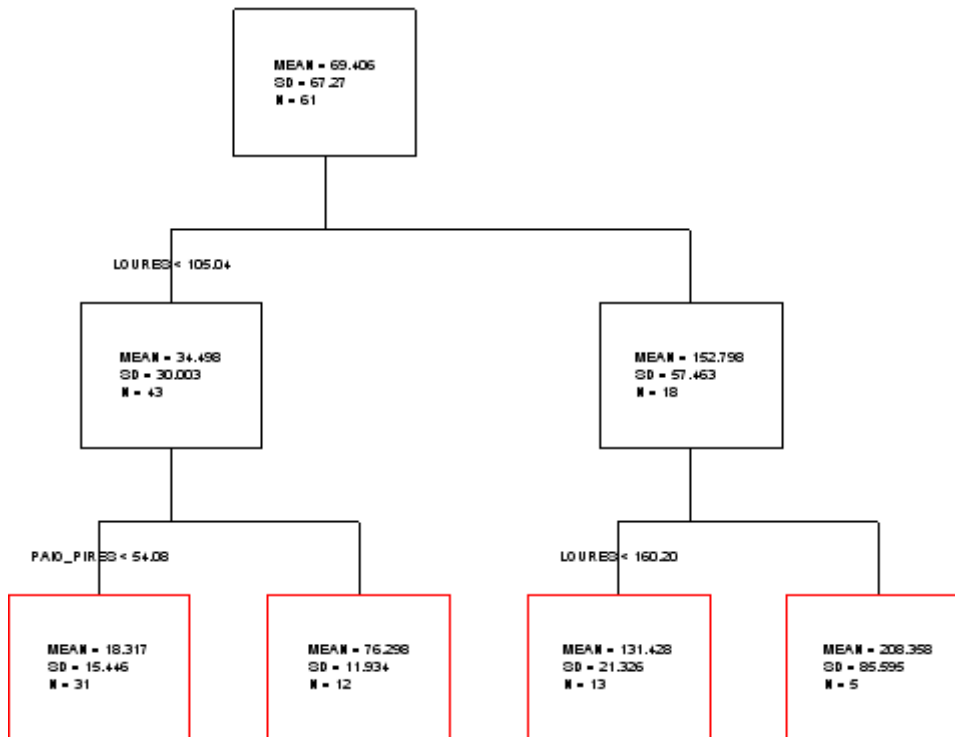


Figura 9 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Laranjeiro.

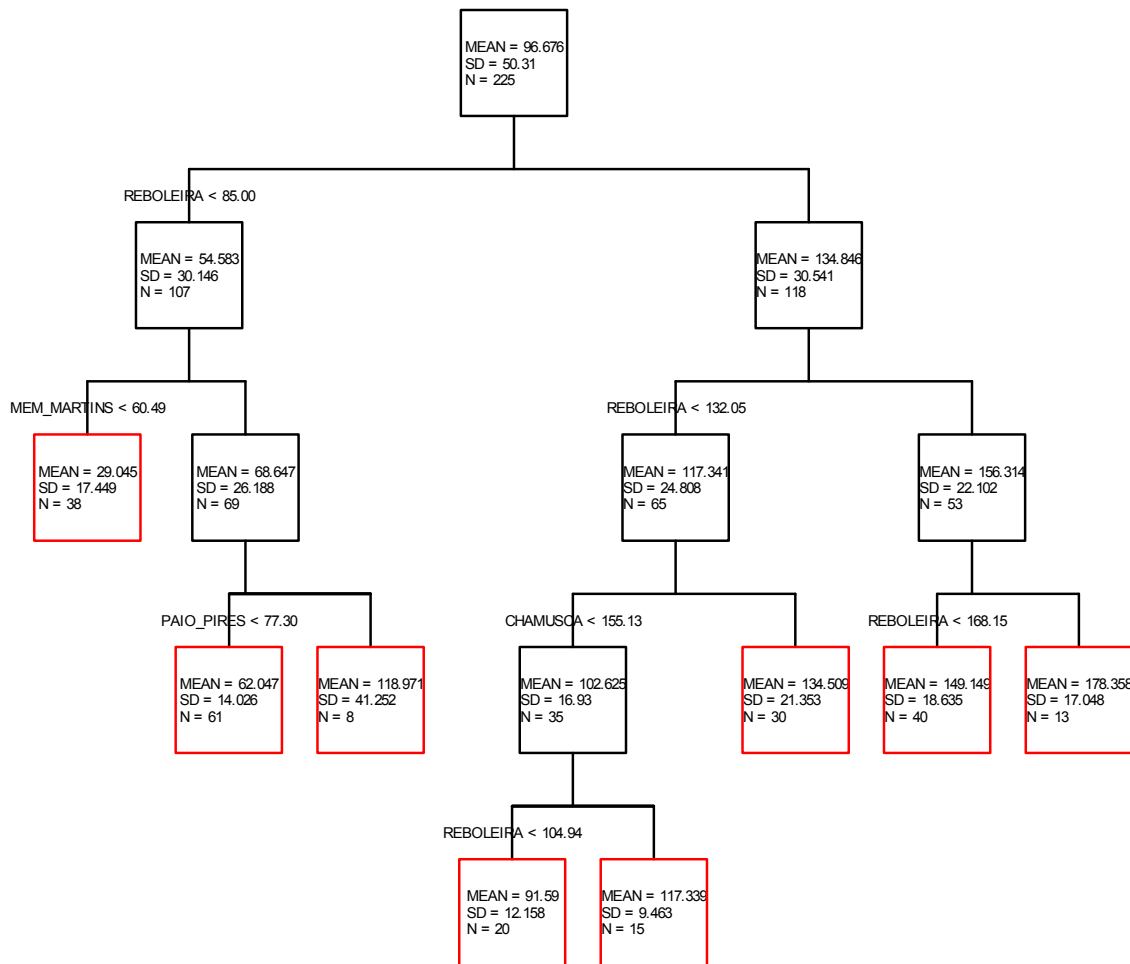


Figura 10 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Loures.

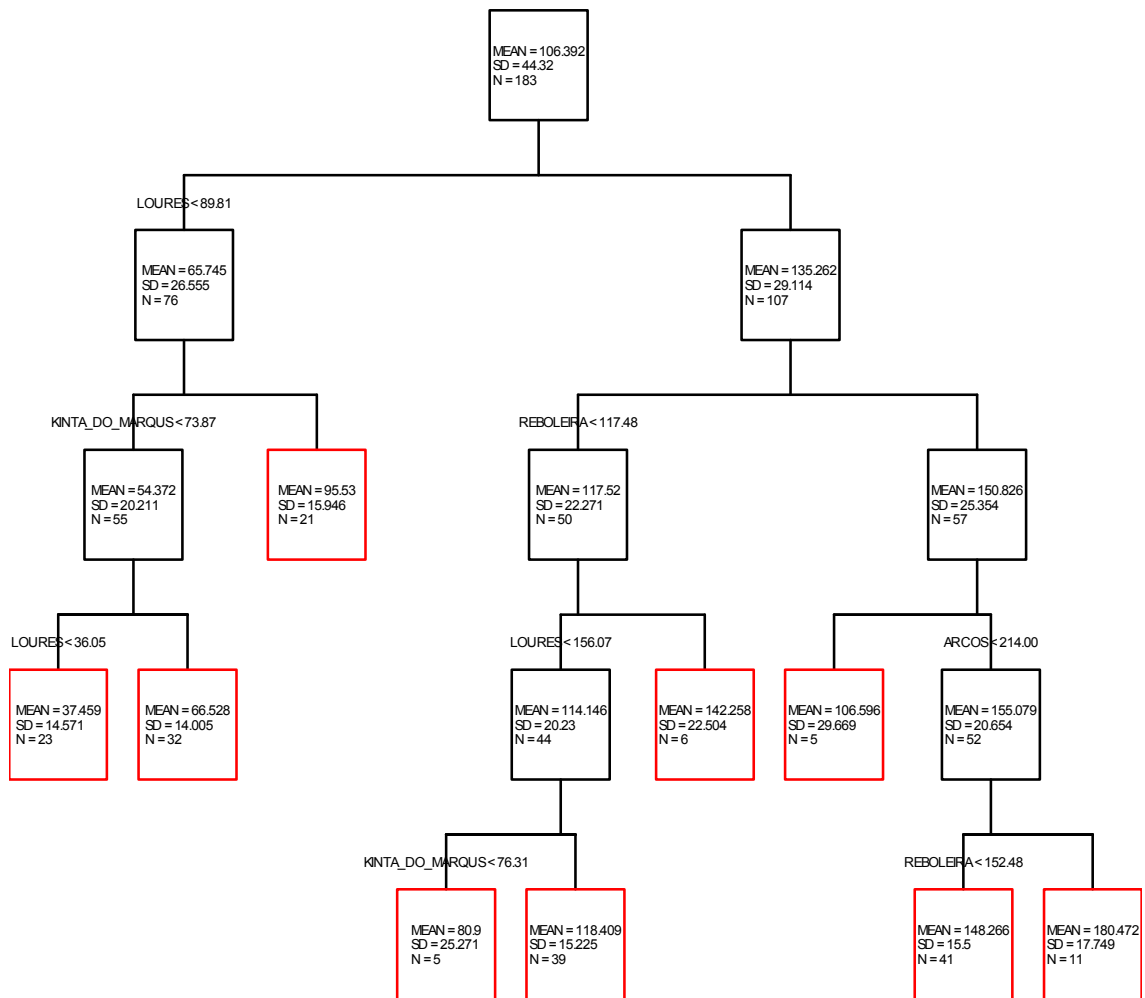


Figura 11 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Mem-Martins.

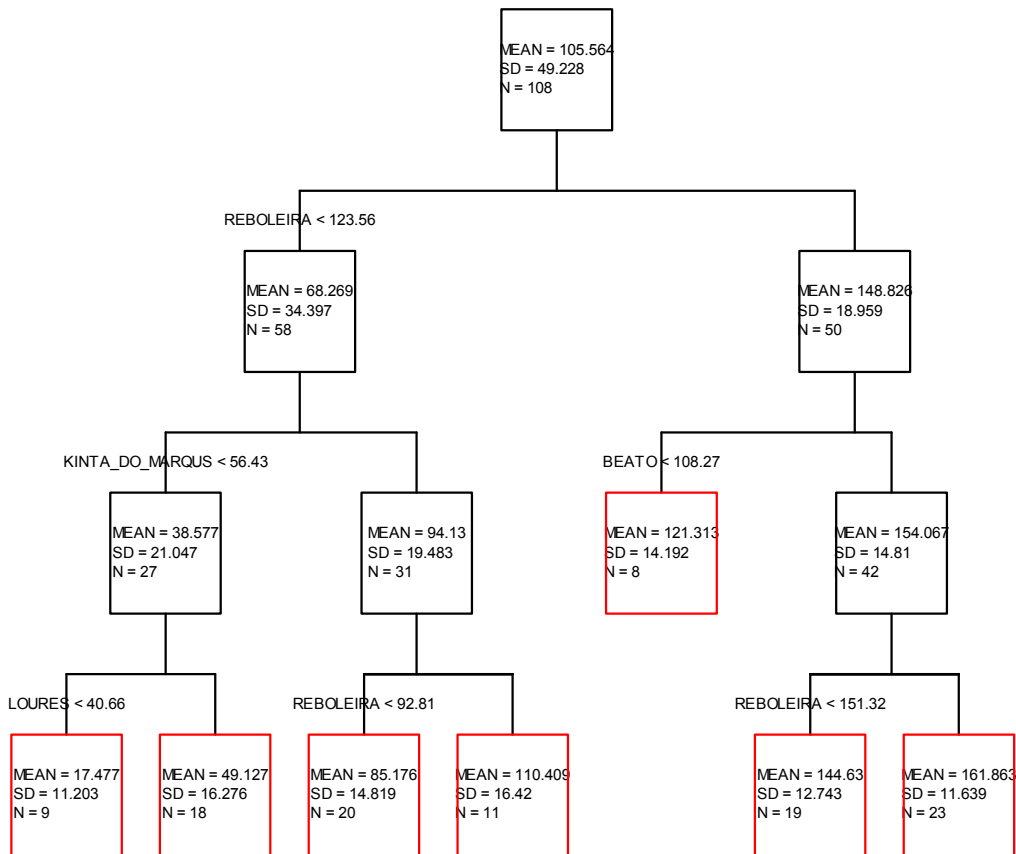


Figura 12 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Odivelas.

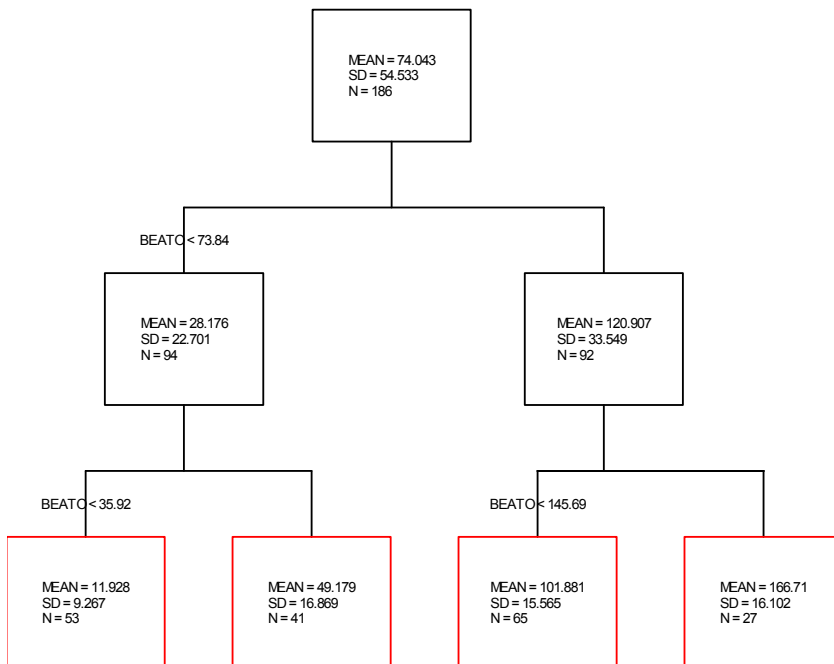


Figura 13 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Olivais.

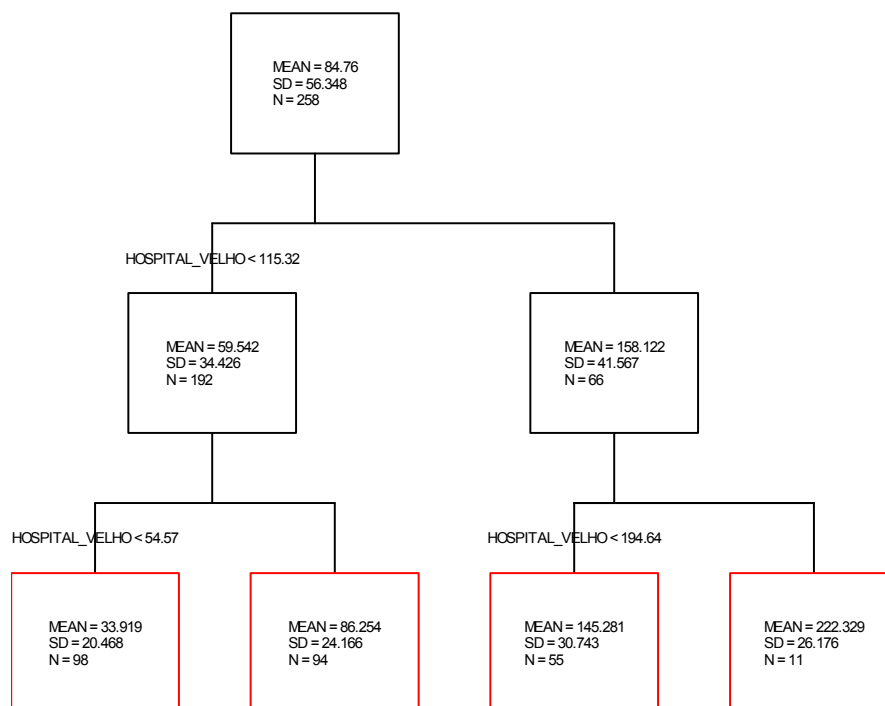


Figura 14 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Paio Pires.

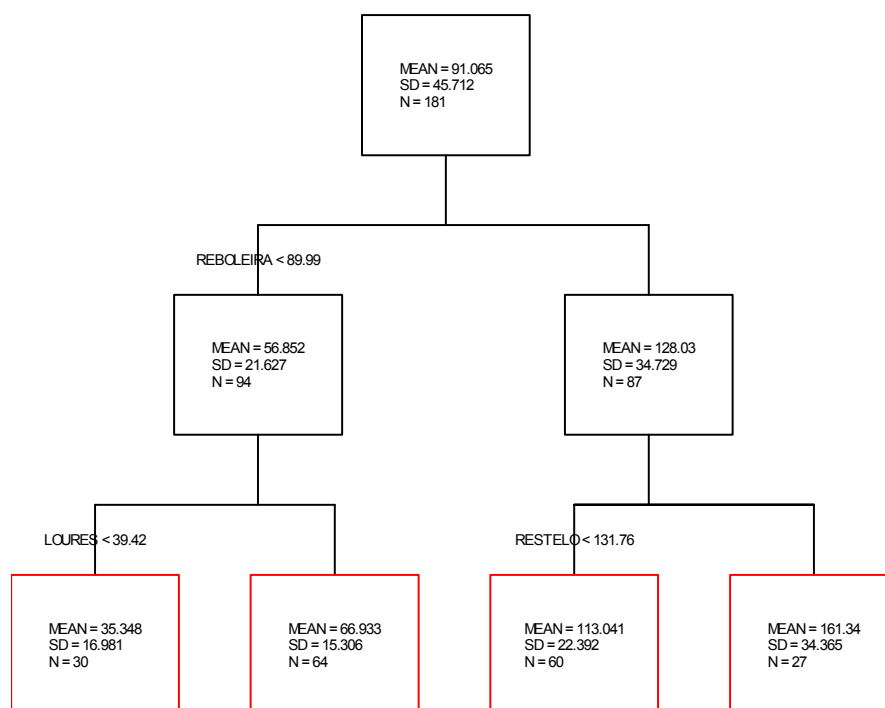


Figura 15 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Quinta do Marquês.

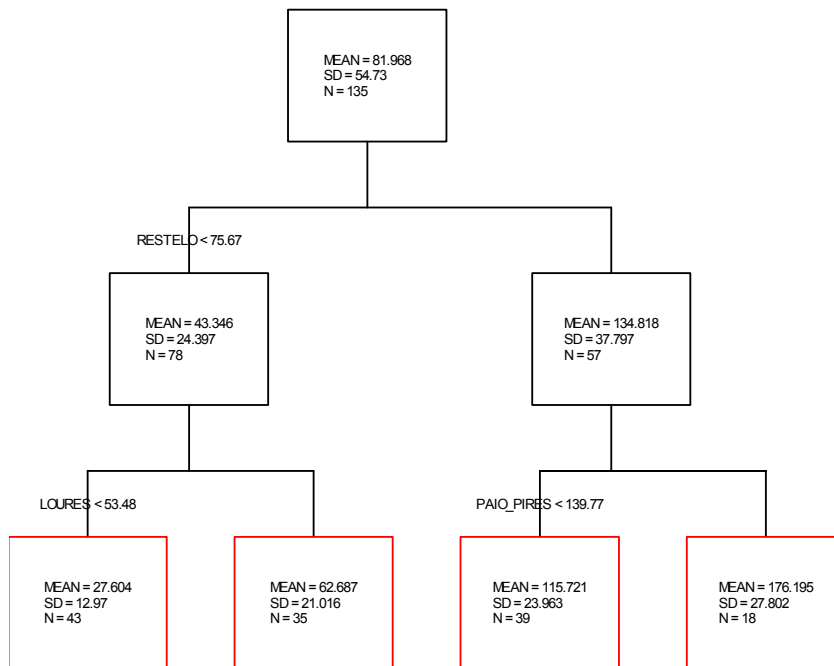


Figura 16 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Reboleira.

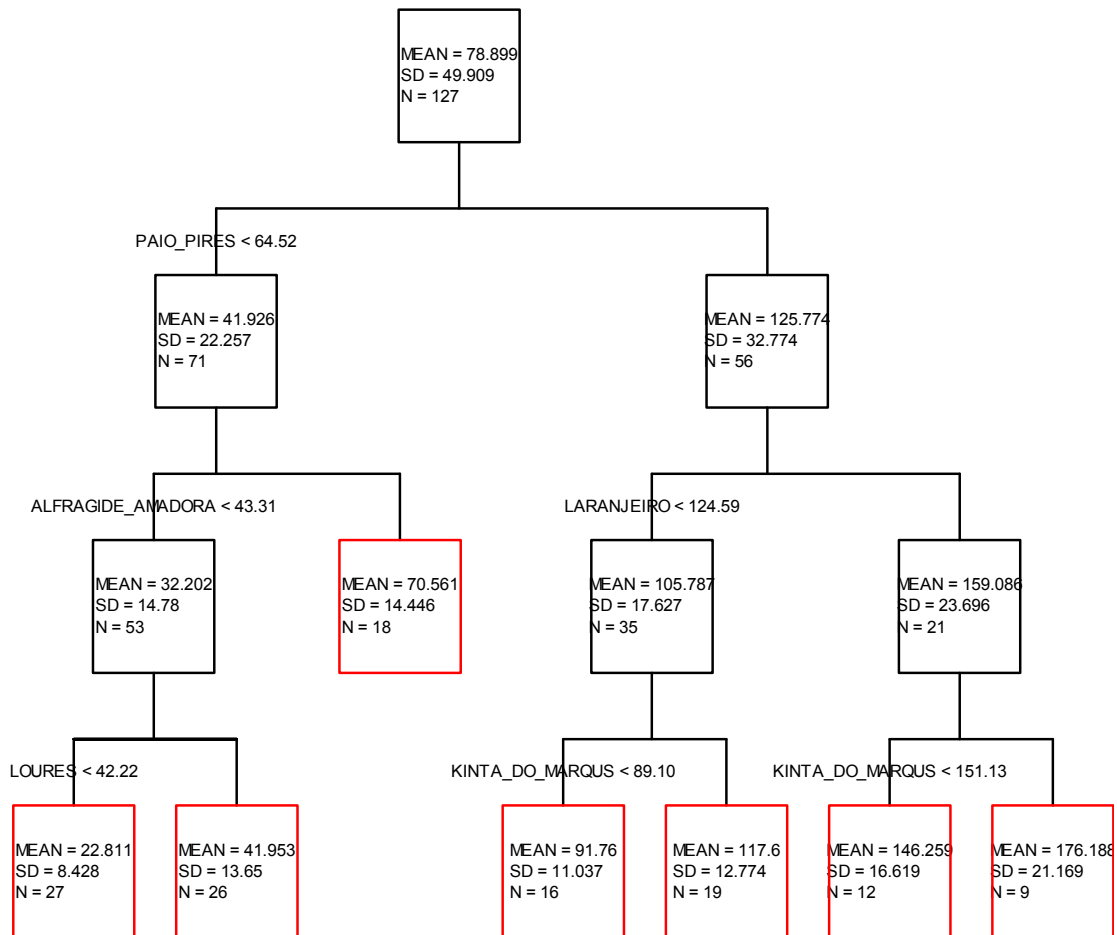


Figura 17 Avaliação instantânea. Análise espacial. Árvore final da estação de Restelo.

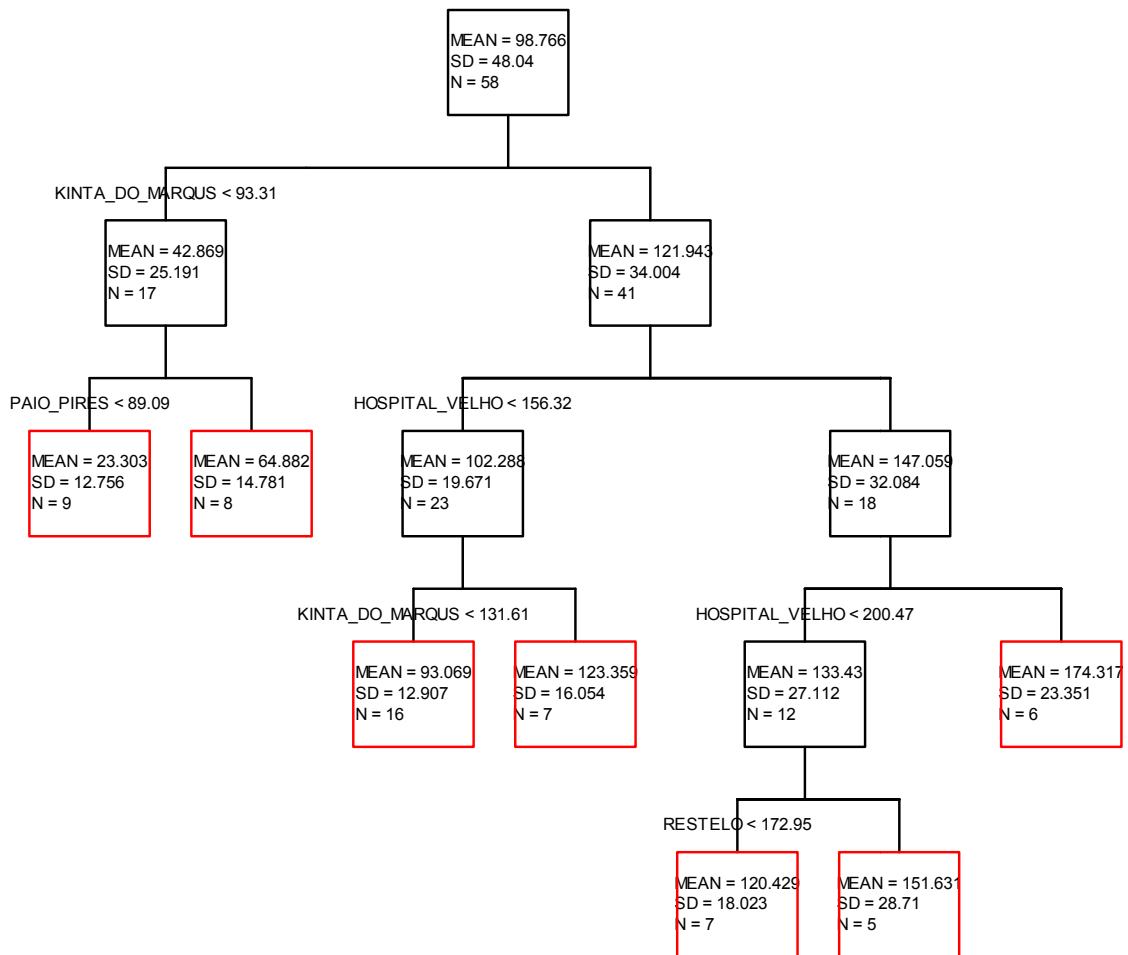


Figura 18 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Alfragide/ Amadora.

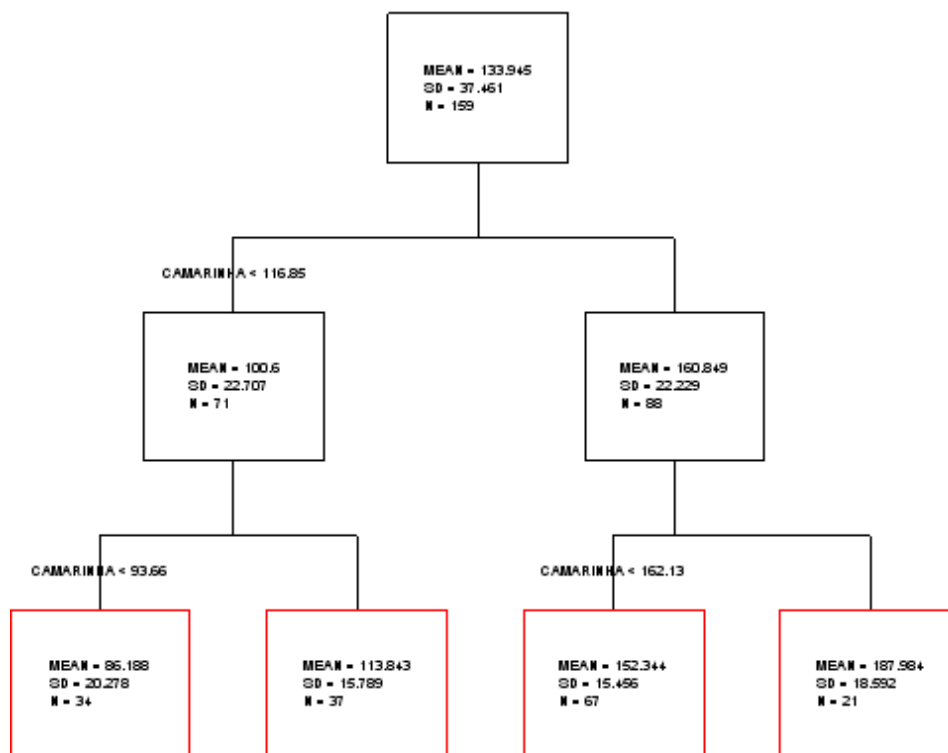


Figura 19 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Arcos.

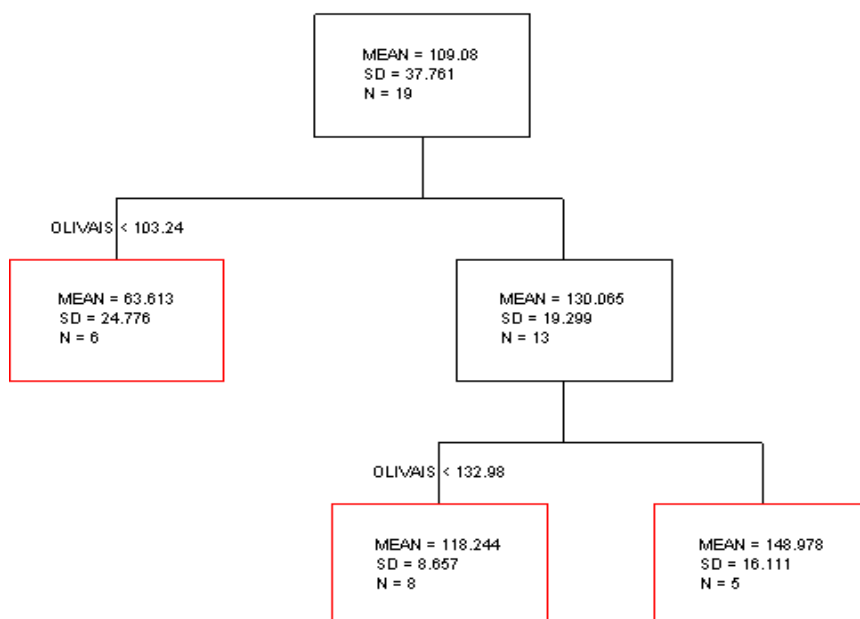


Figura 20 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Beato.

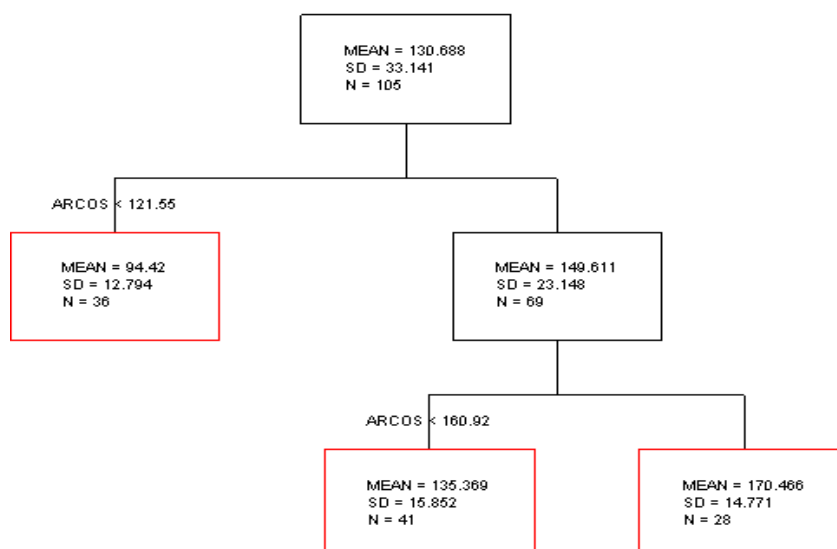


Figura 21 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Camarinha.

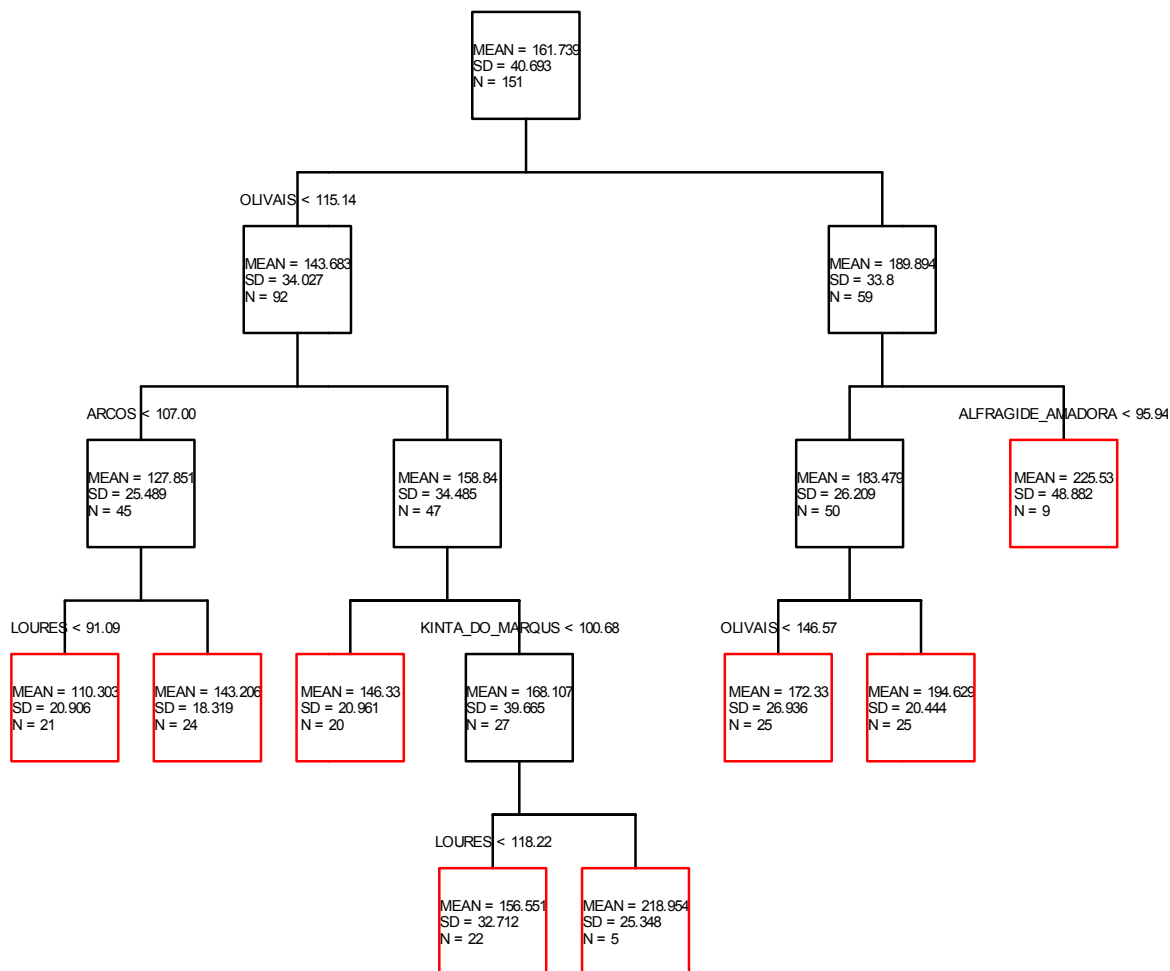


Figura 22. Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação da Chamusca.

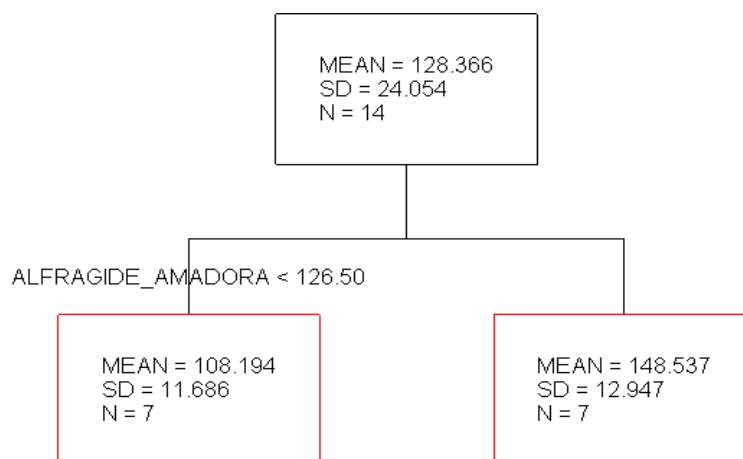


Figura 23 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Entrecampos.

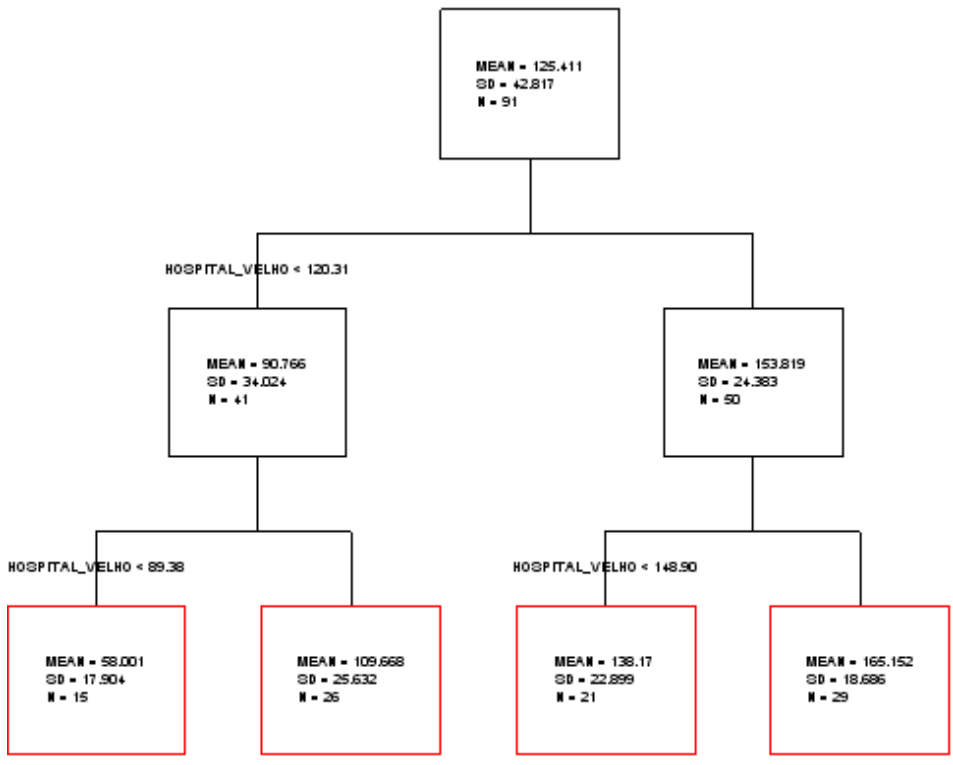


Figura 24 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Escavadeira.

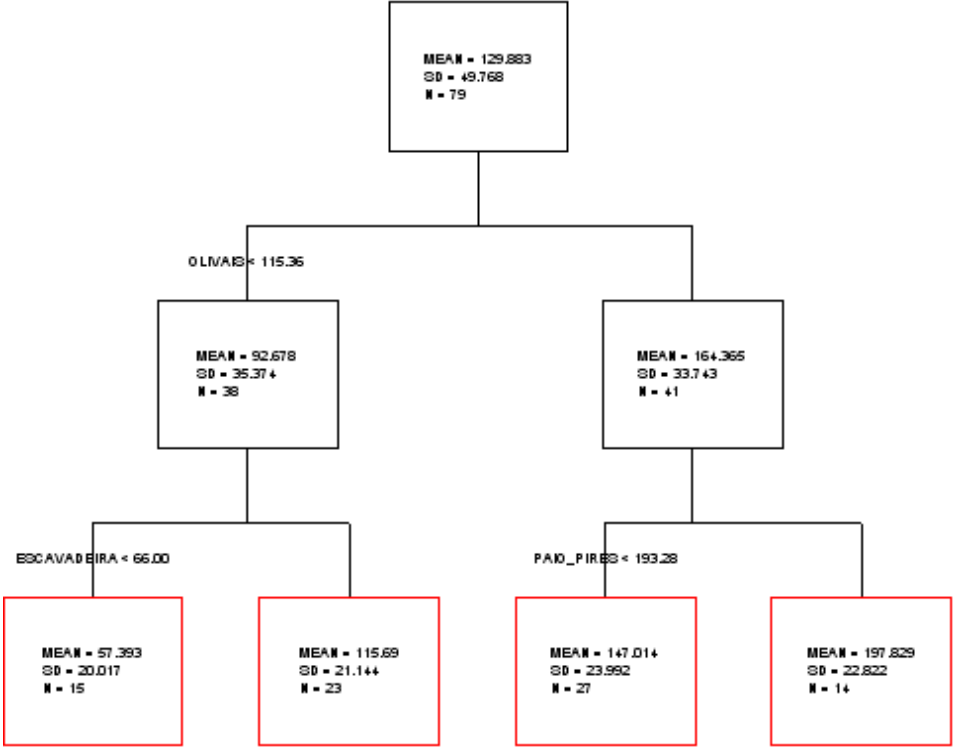


Figura 25 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Hospital Velho.

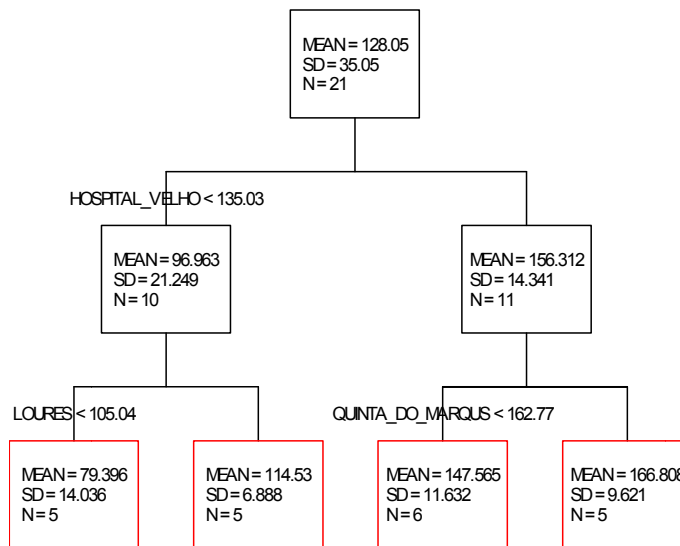


Figura 26 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Laranjeiro.

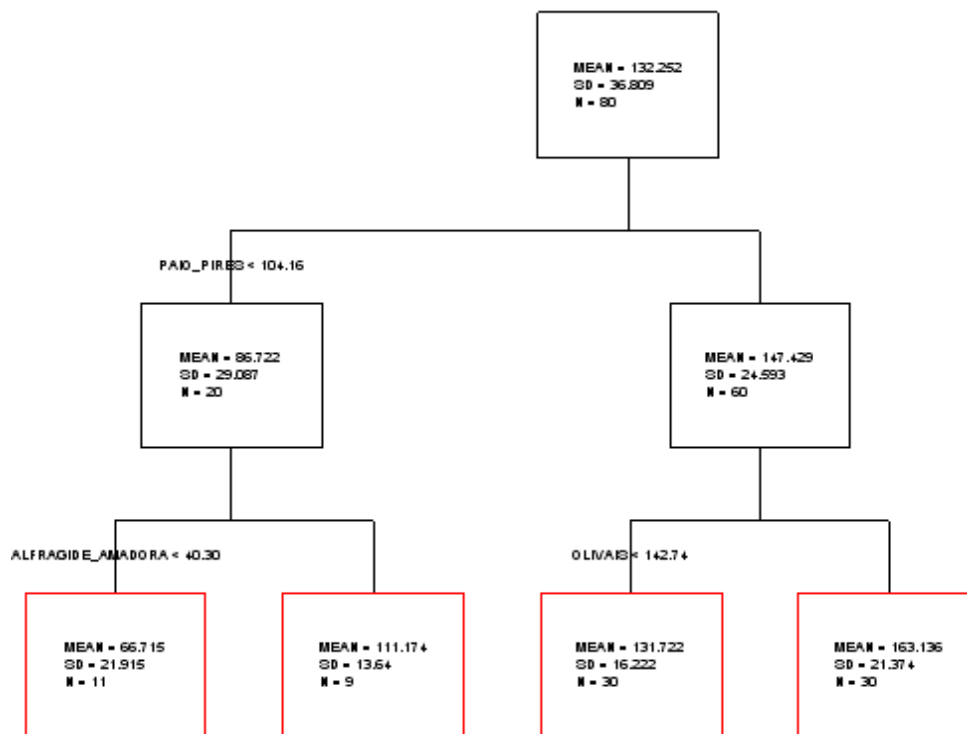


Figura 27 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Loures.

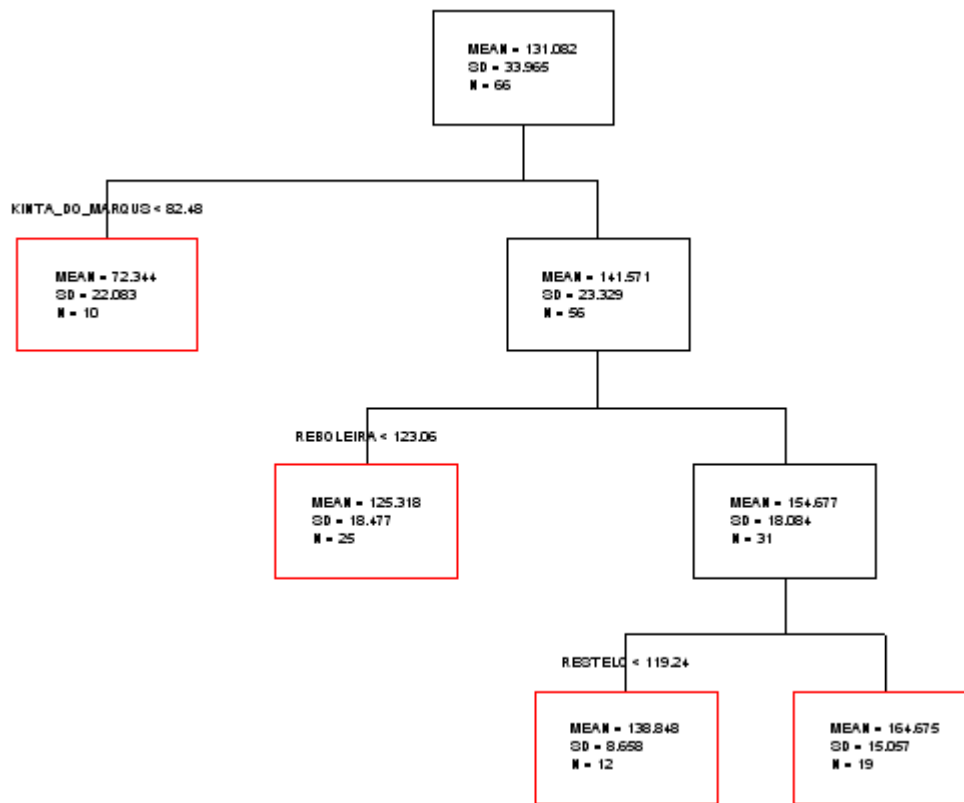


Figura 28 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Mem-Martins.

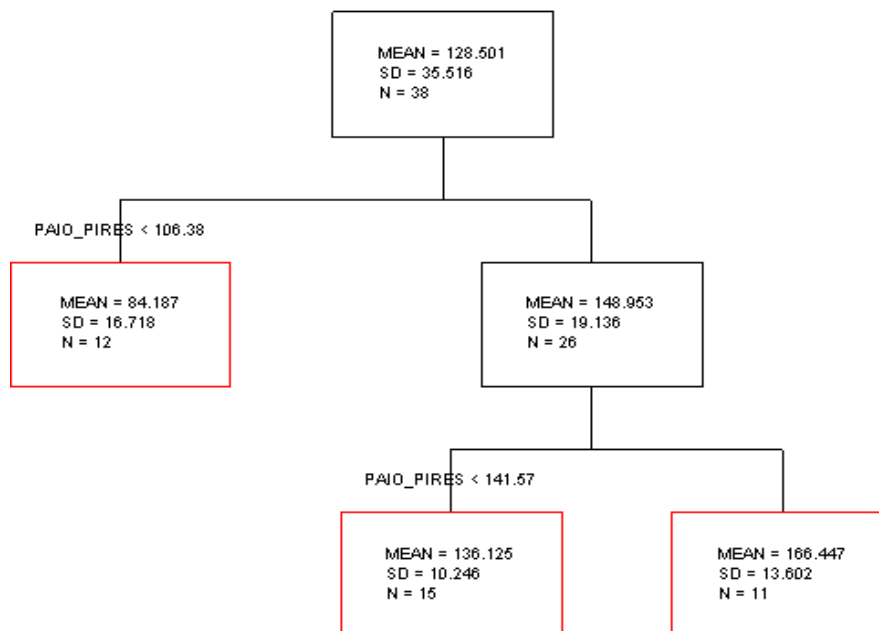


Figura 29 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Odiveelas.

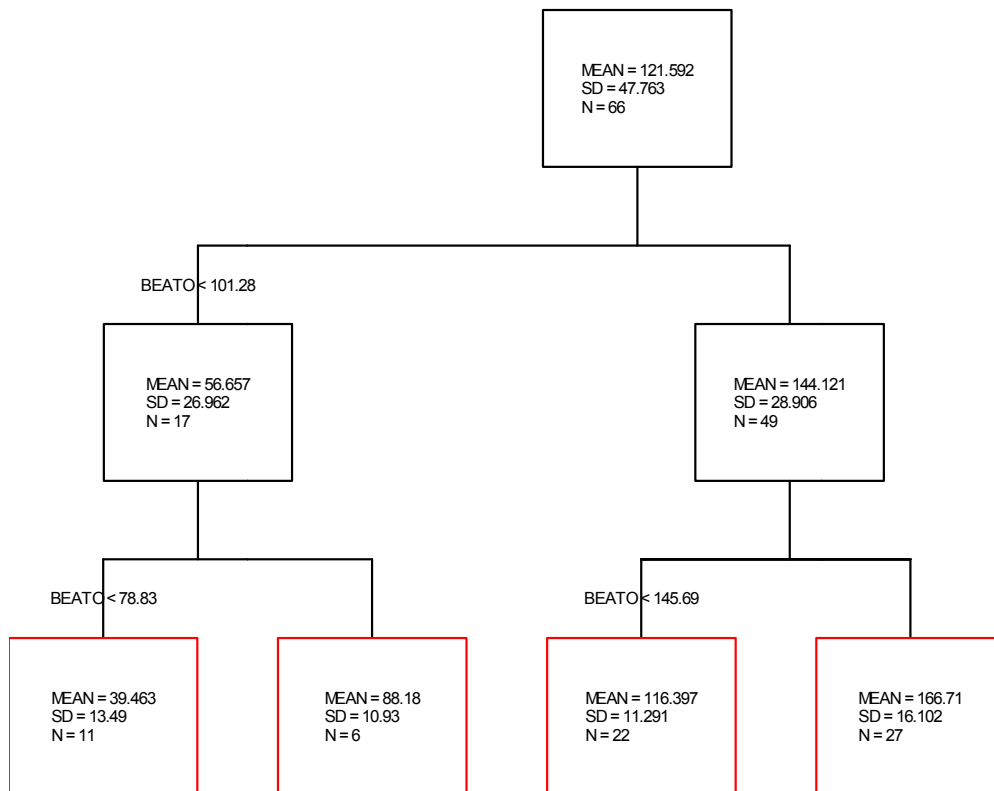


Figura 30 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Olivais.

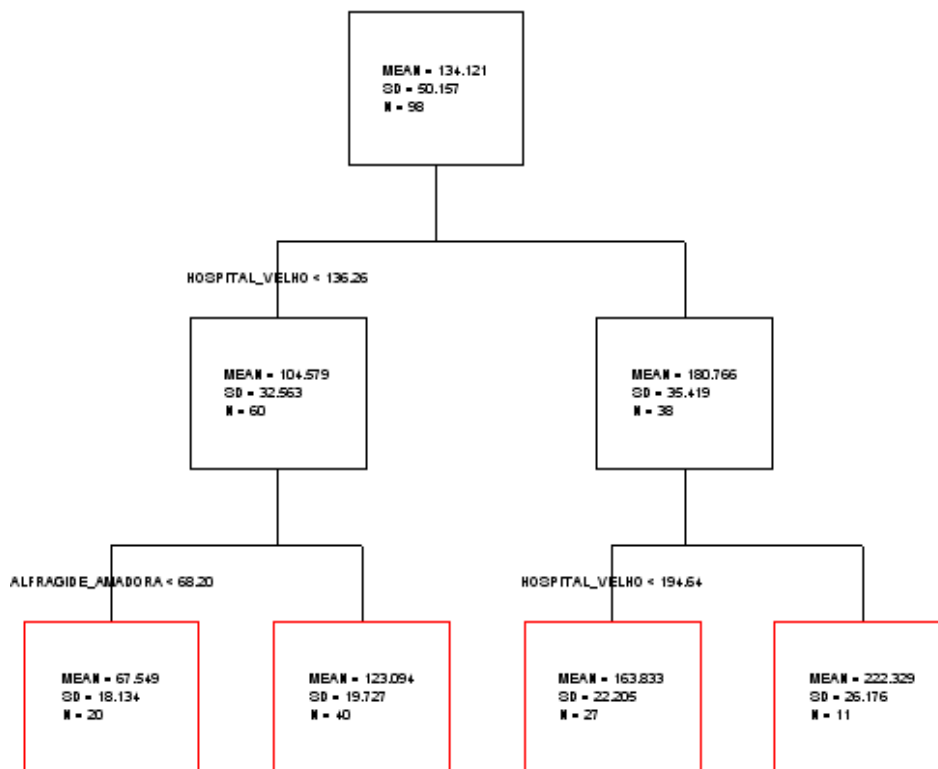


Figura 31 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Paio Pires.

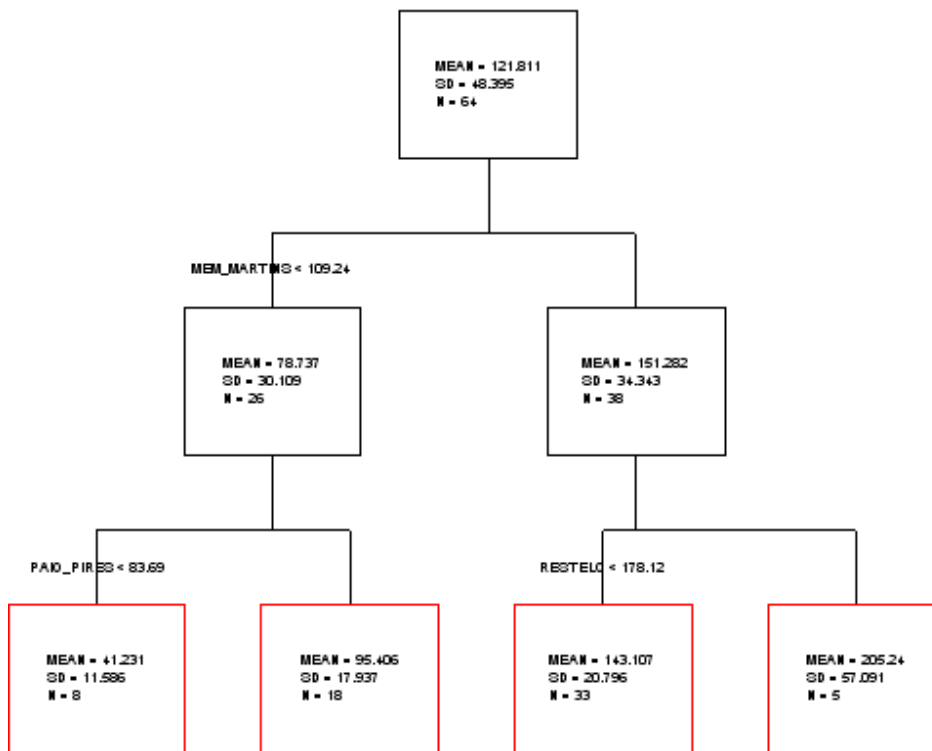


Figura 32 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Quinta do Marquês.

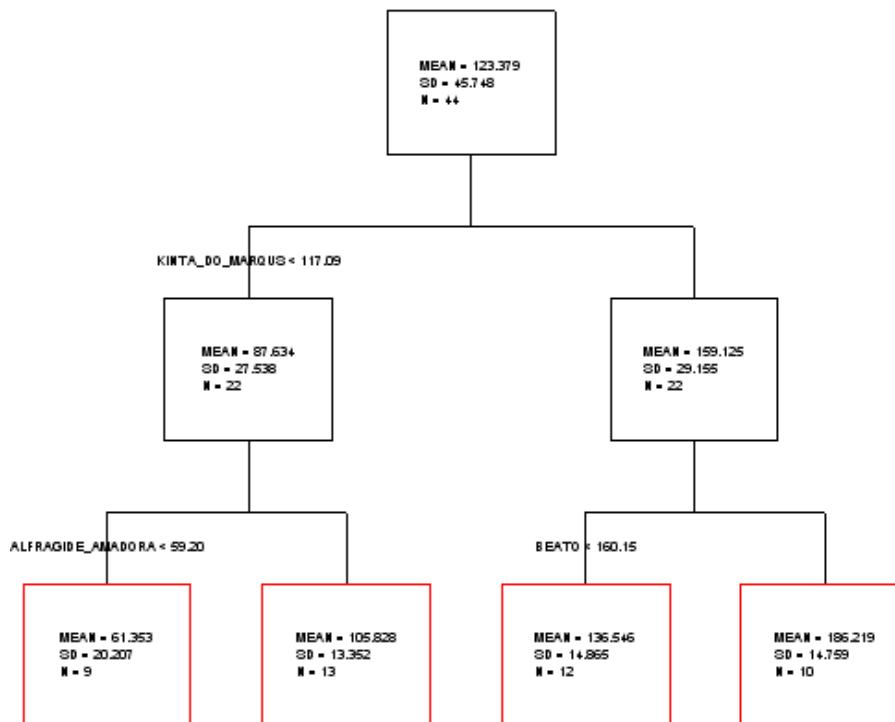


Figura 33 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Reboleira.

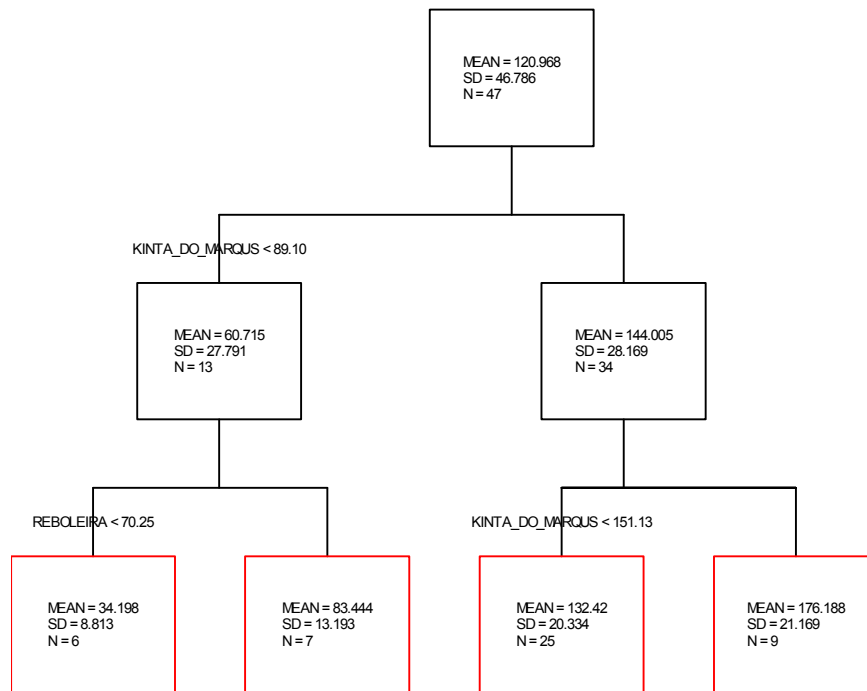


Figura 34 Avaliação instantânea. Análise espacial redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Restelo.

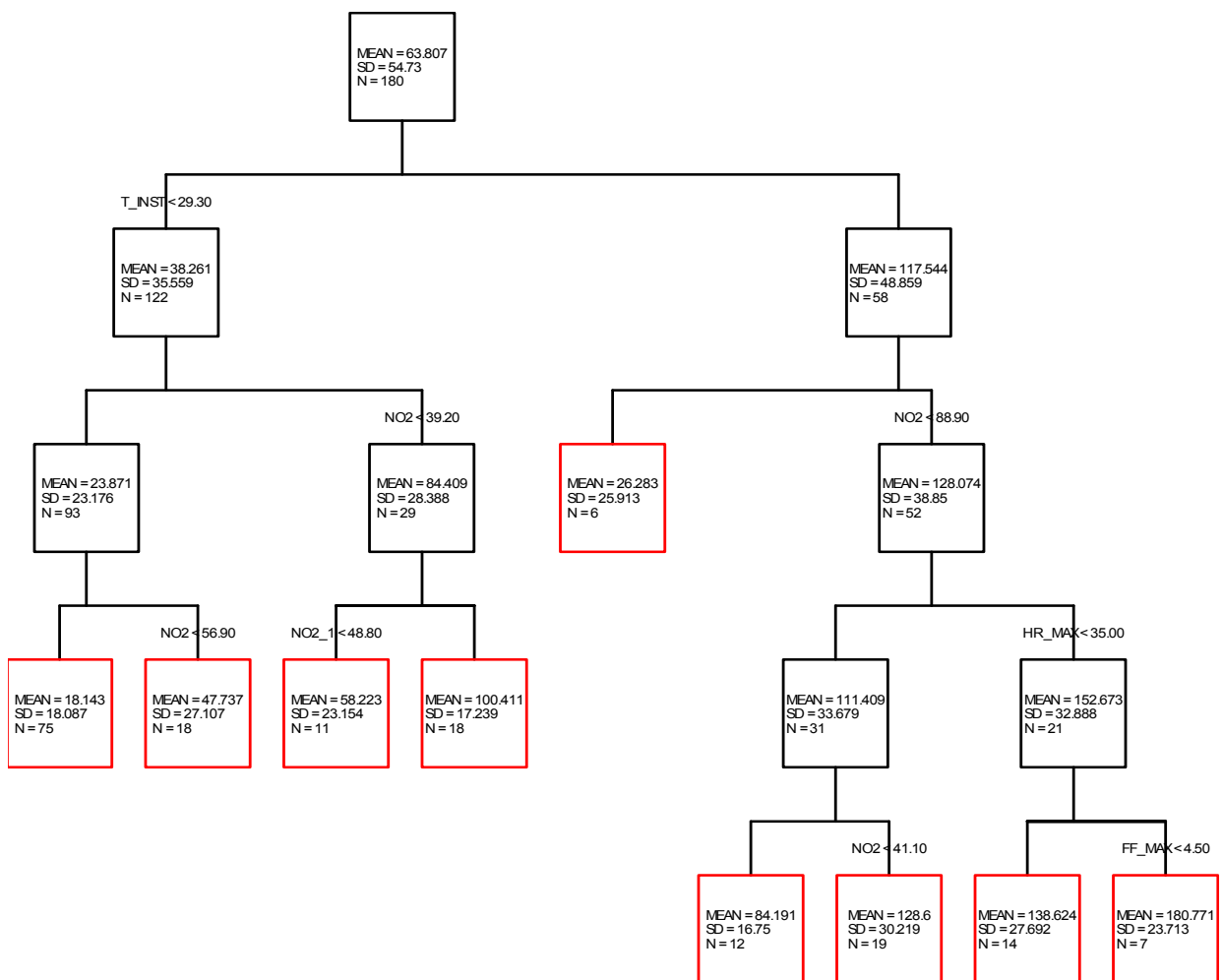


Figura 35 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Alfregide/ Amadora.

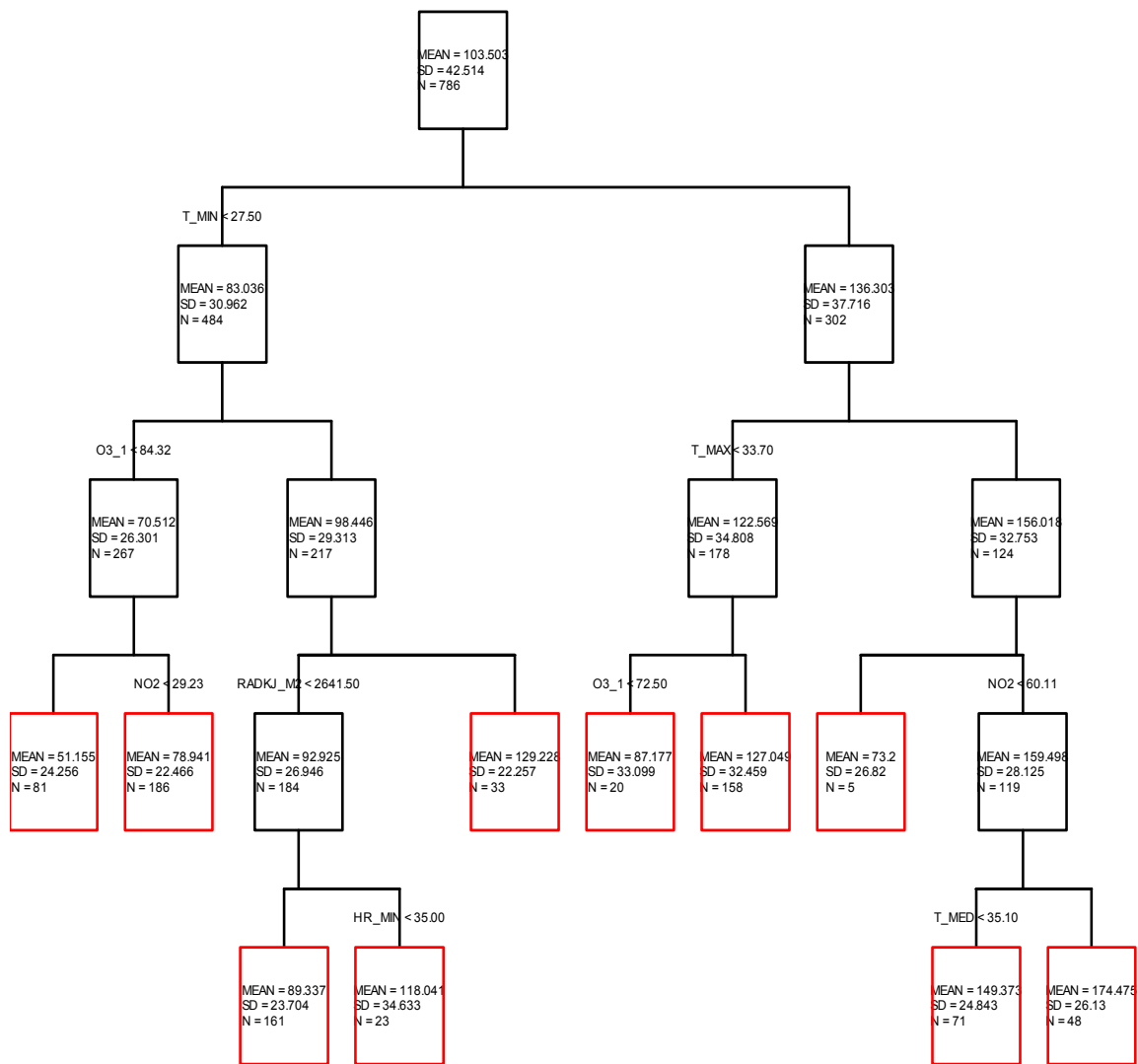


Figura 36 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Arcos.

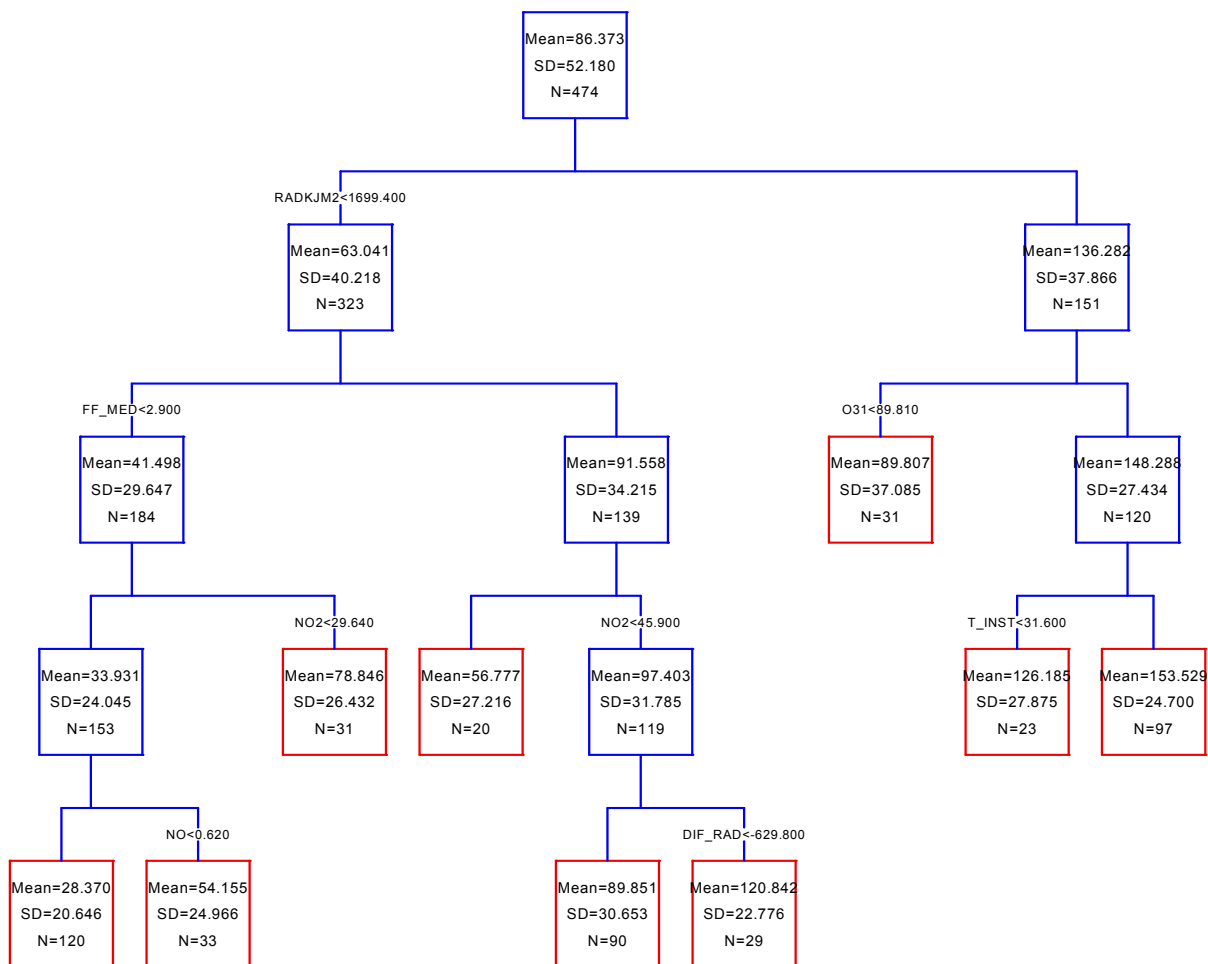


Figura 37 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Beato.

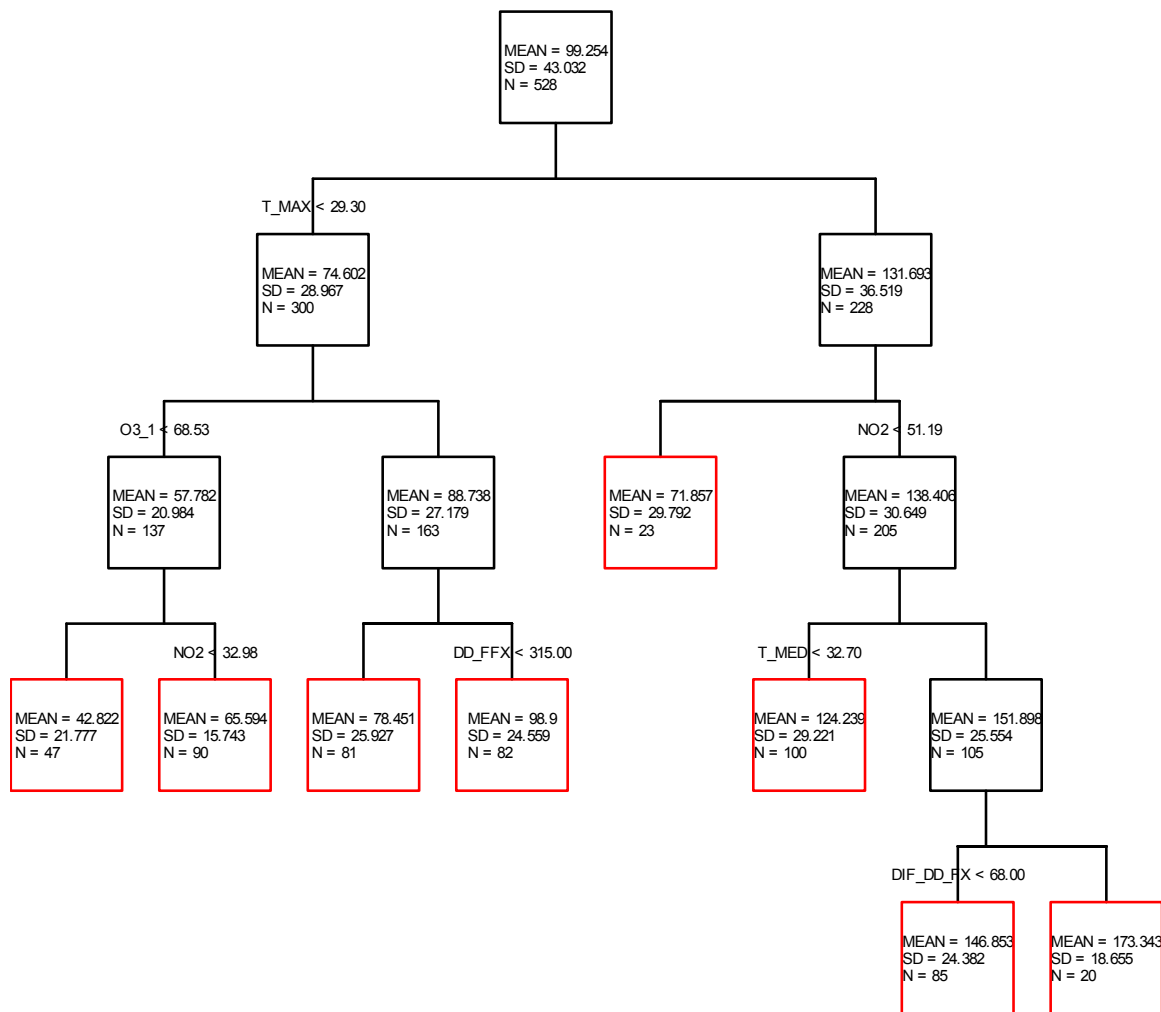


Figura 38 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Camarinha.

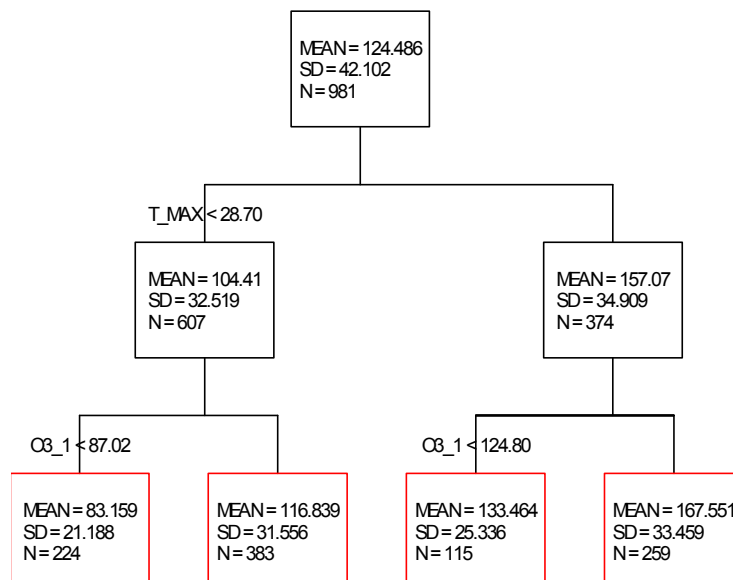


Figura 39 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Chamusca.

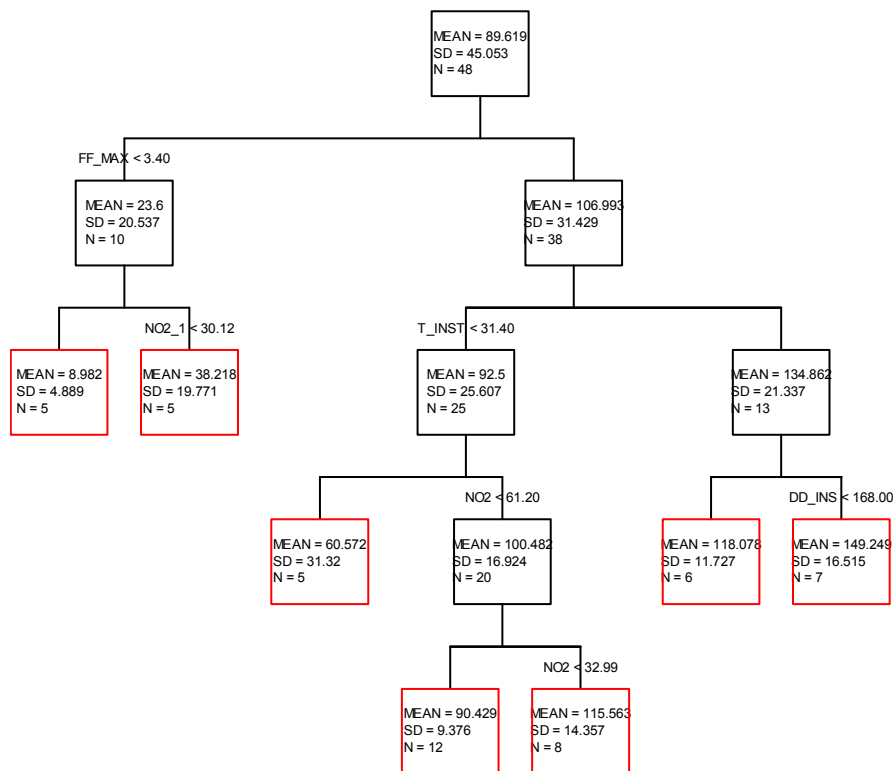


Figura 40 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Entrecampos.

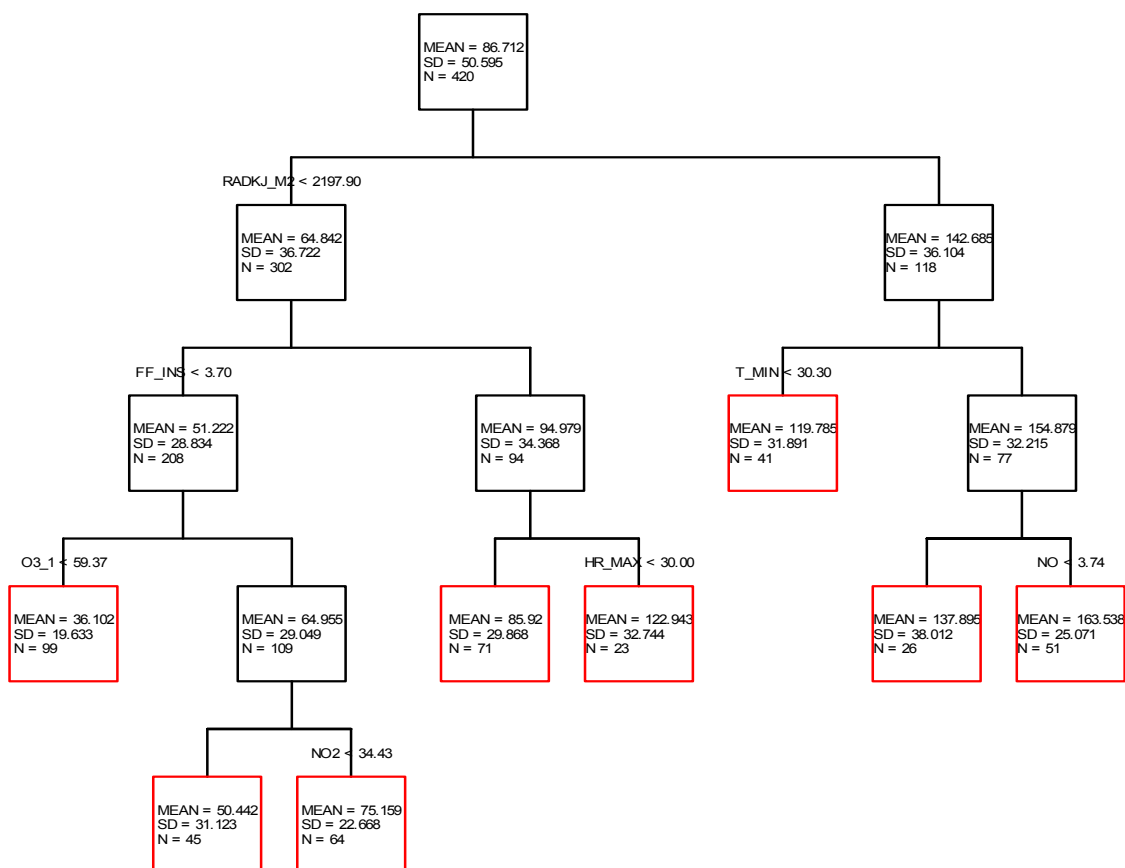


Figura 41 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Escavadeira.

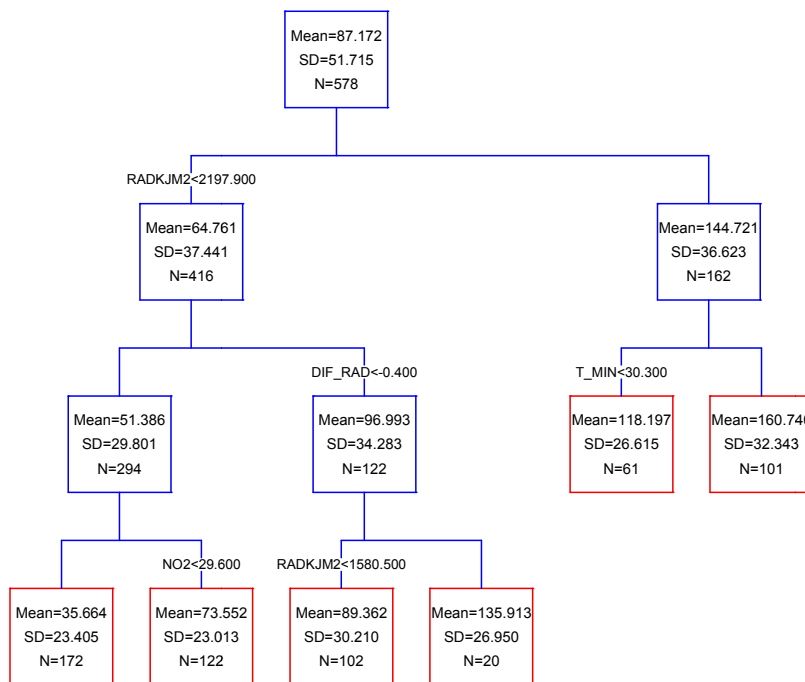


Figura 42 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Hospital Velho.

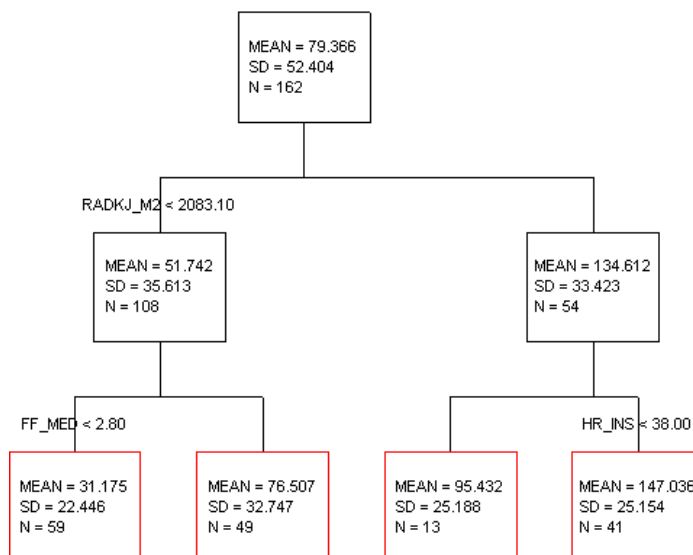


Figura 43 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Laranjeiro.

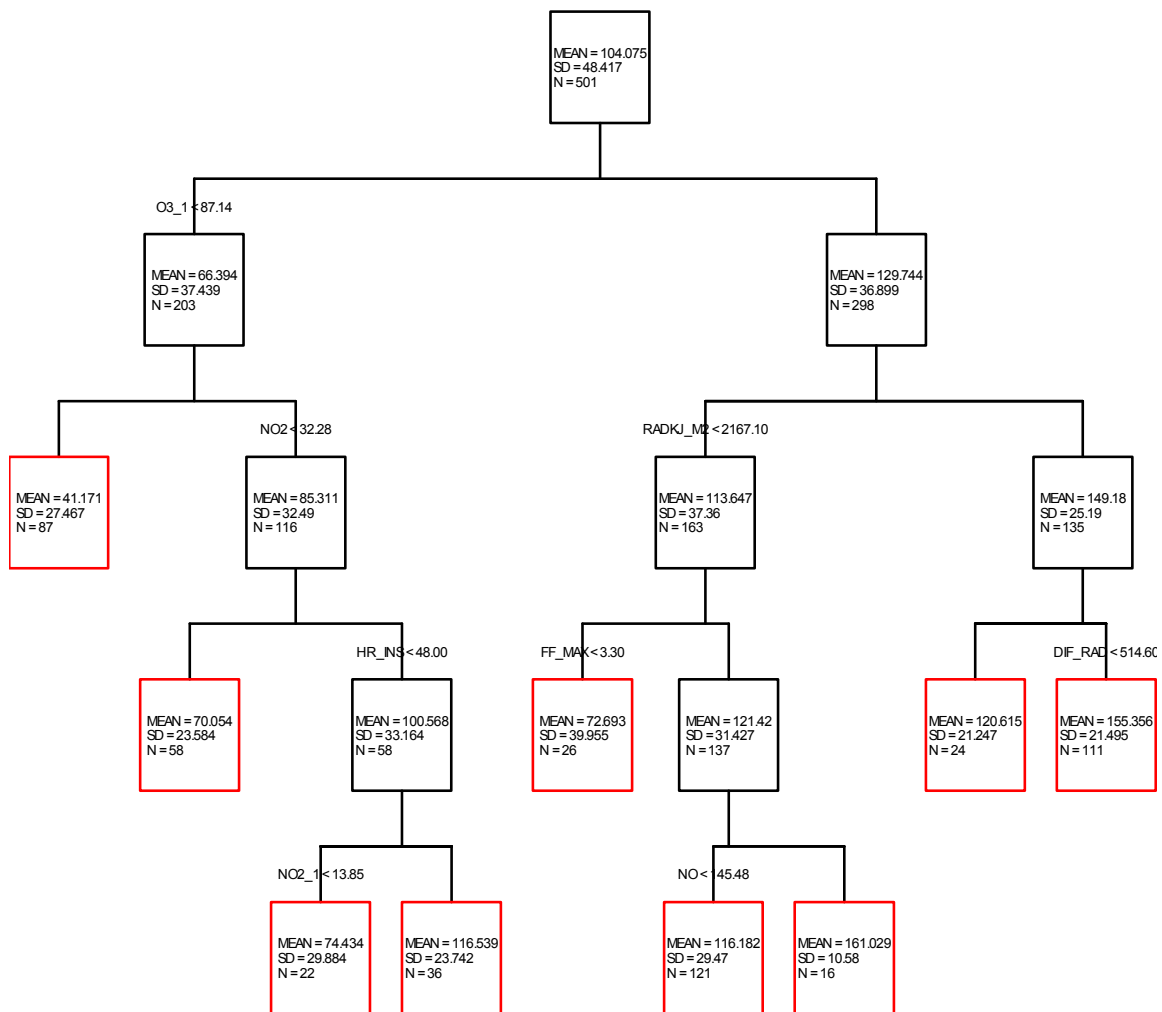


Figura 44 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Loures.

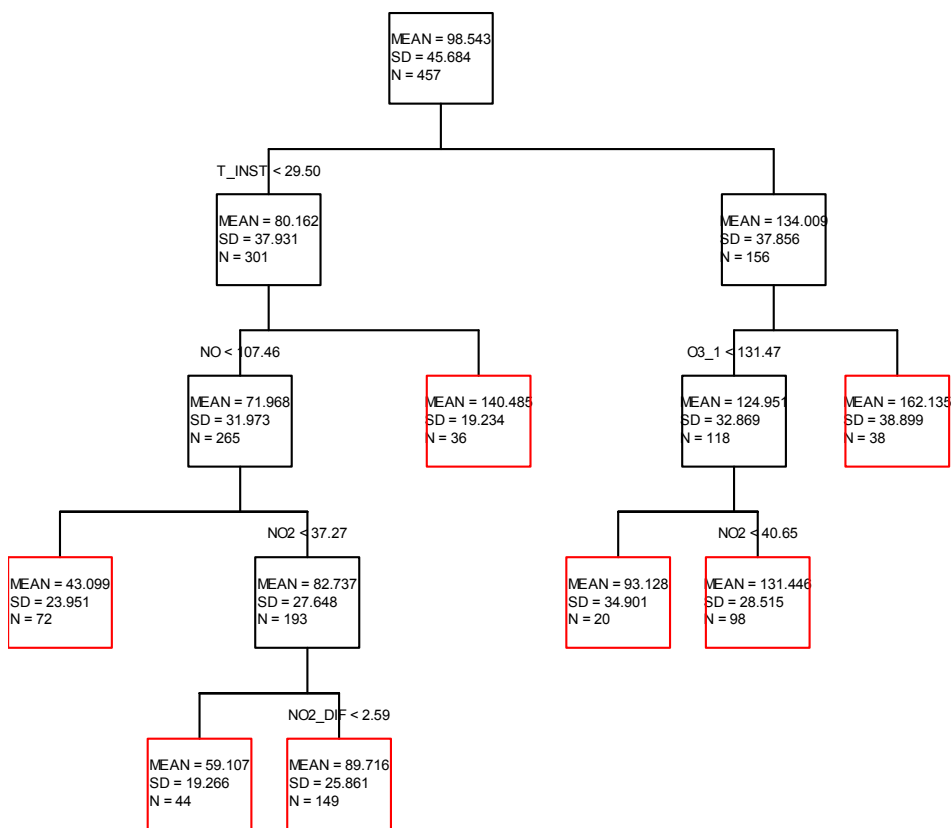


Figura 45 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Mem-Martins.

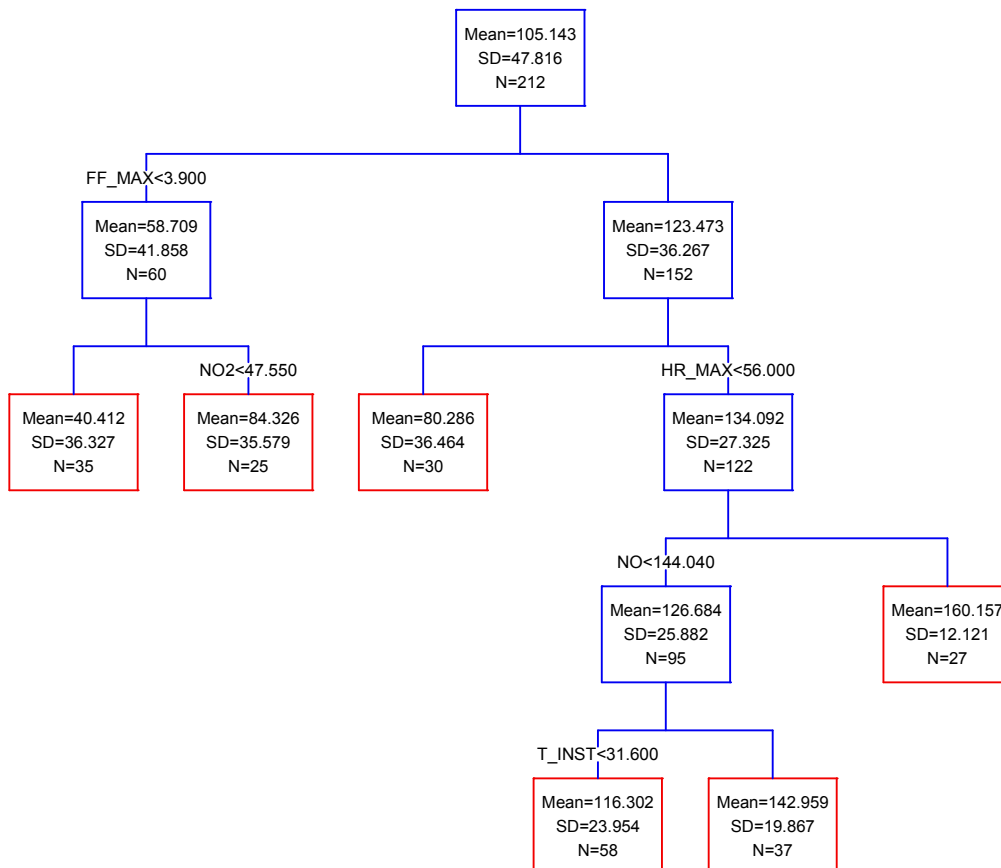


Figura 46 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Odiveelas.

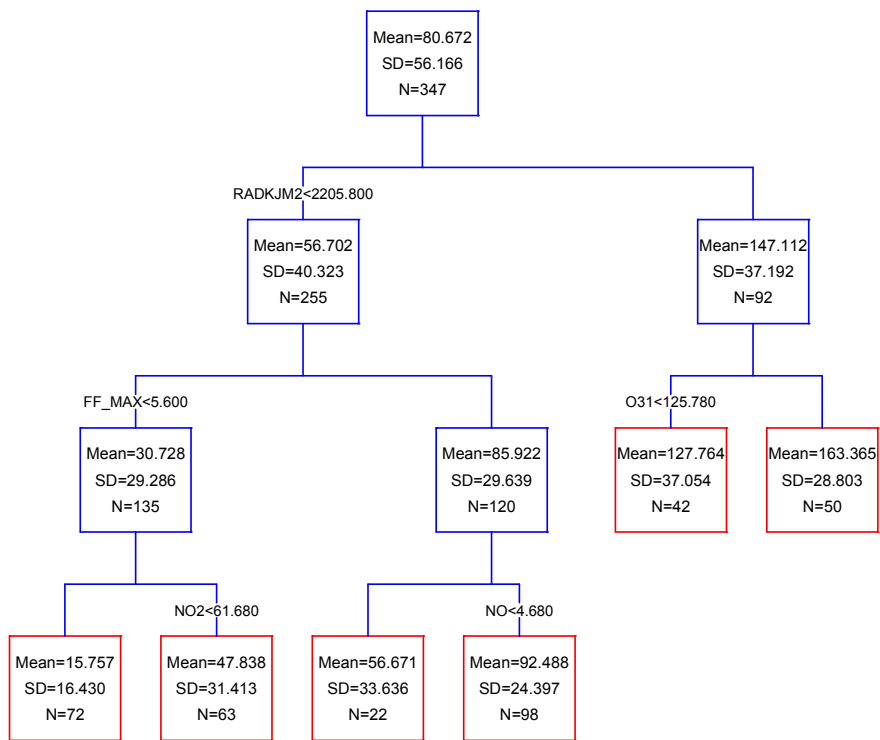


Figura 47 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Olivais.

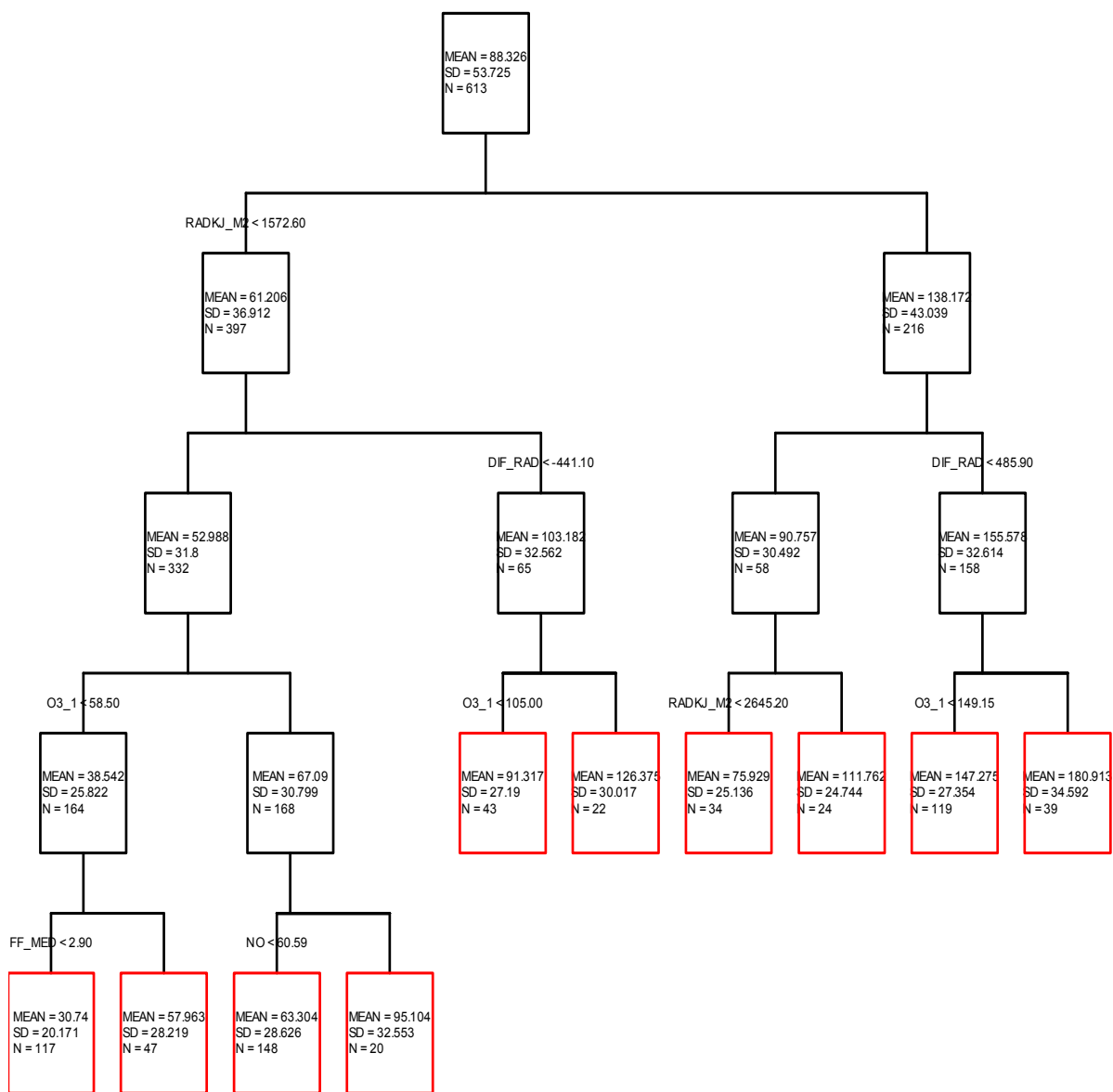


Figura 48 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Paio Pires.

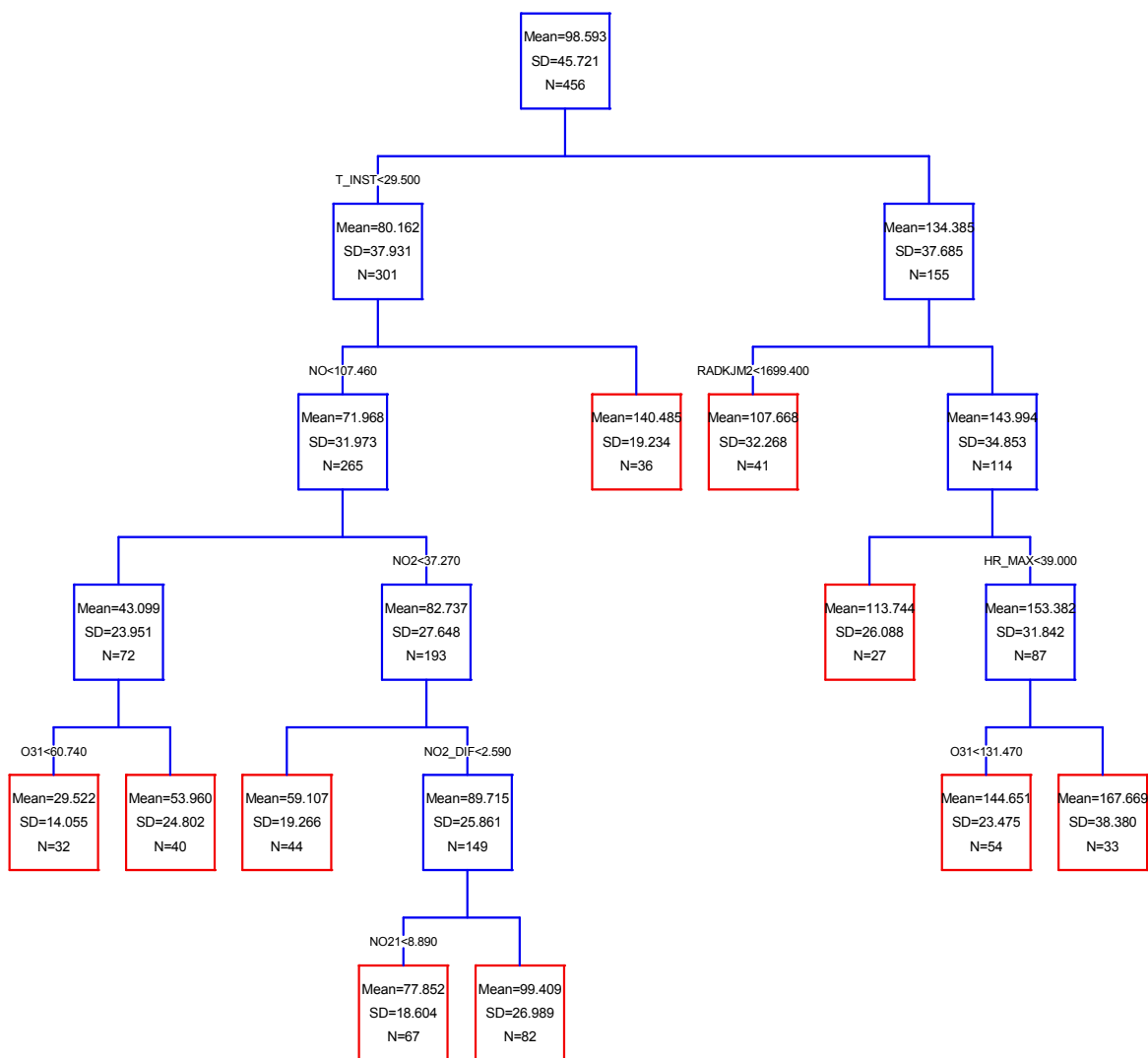


Figura 49 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Quinta do Marquês.

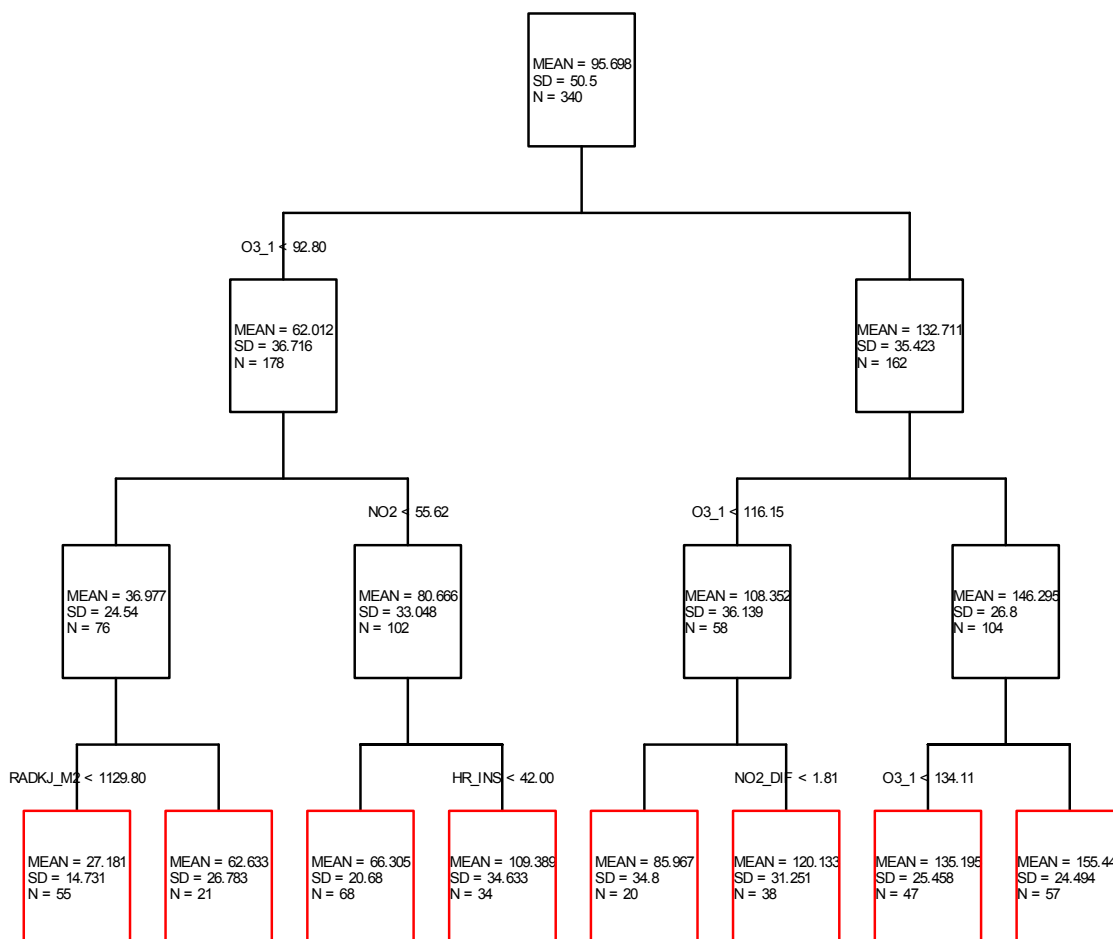


Figura 50 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Reboleira.

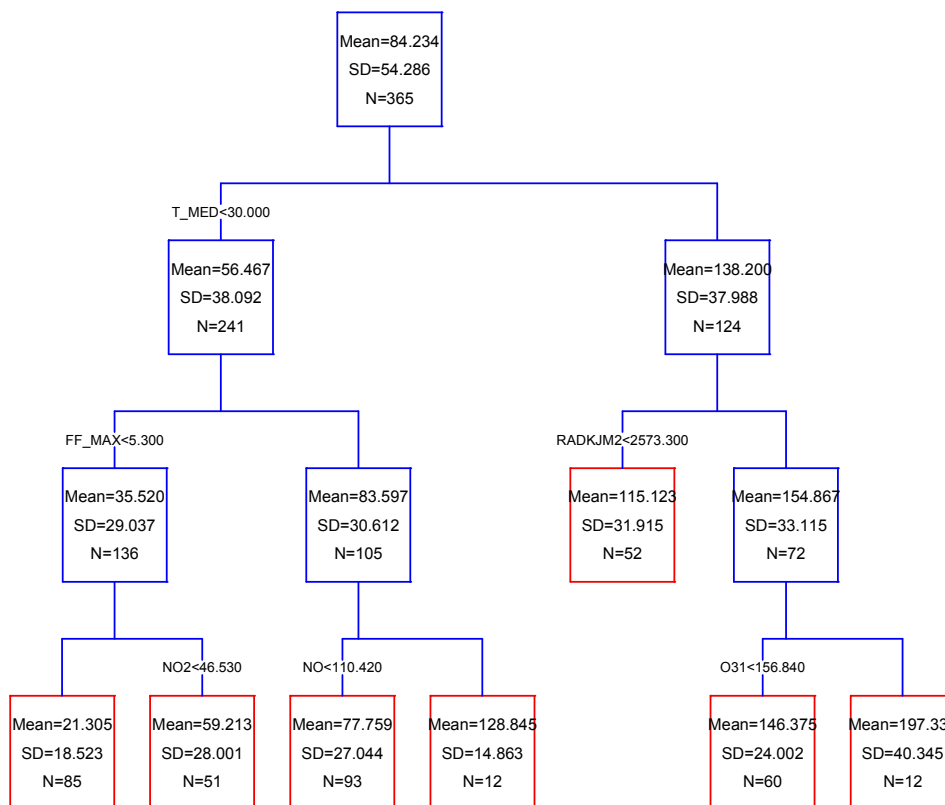


Figura 51 Avaliação instantânea. Análise Meteorológica e de precursores. Árvore final da estação de Restelo.

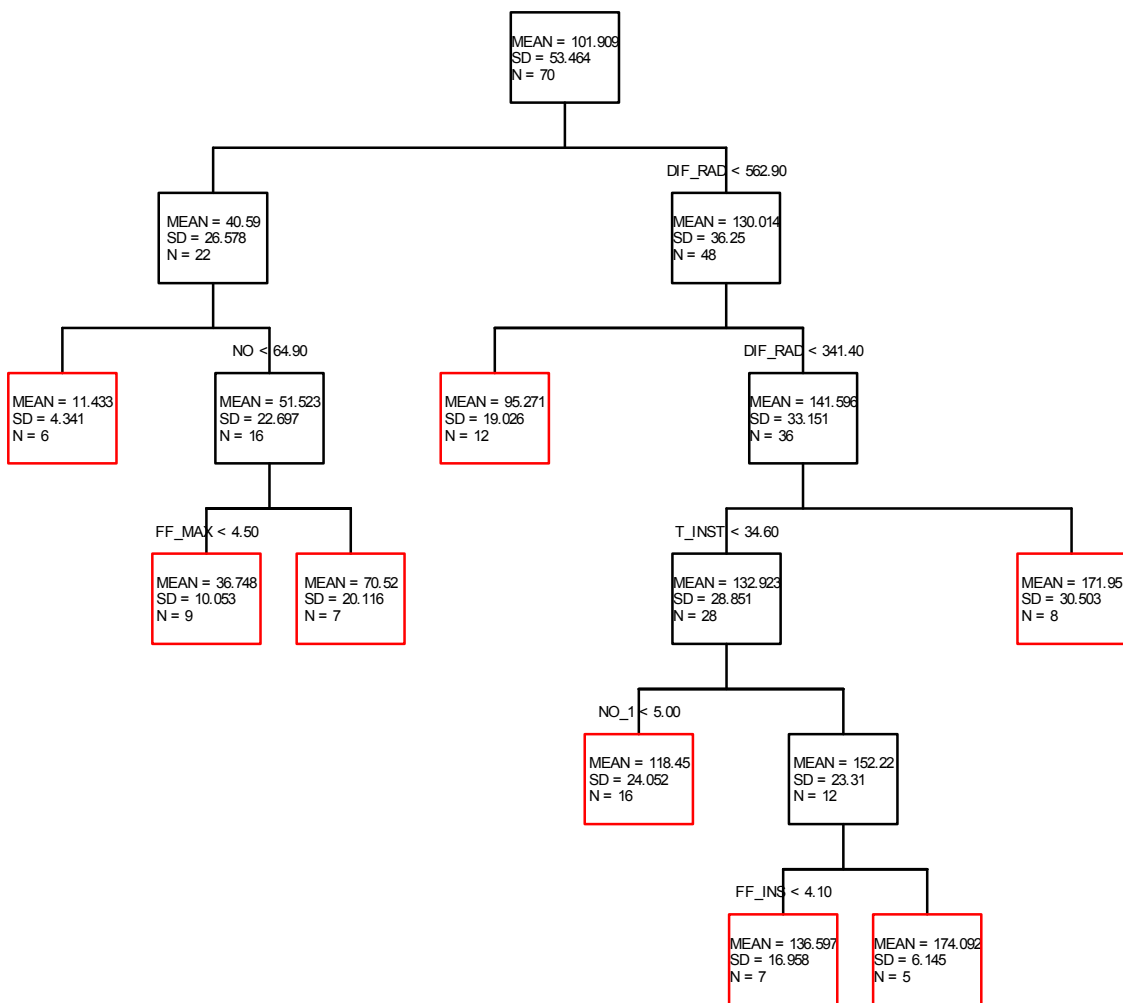


Figura 52 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Alfragide/ Amadora.

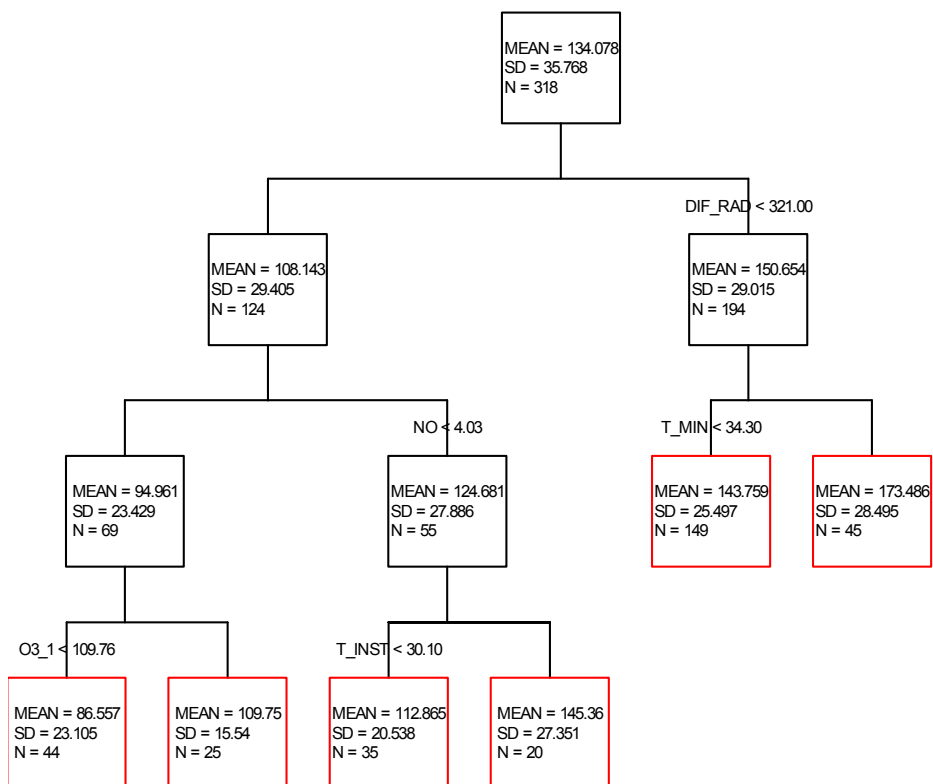


Figura 53 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Arcos.

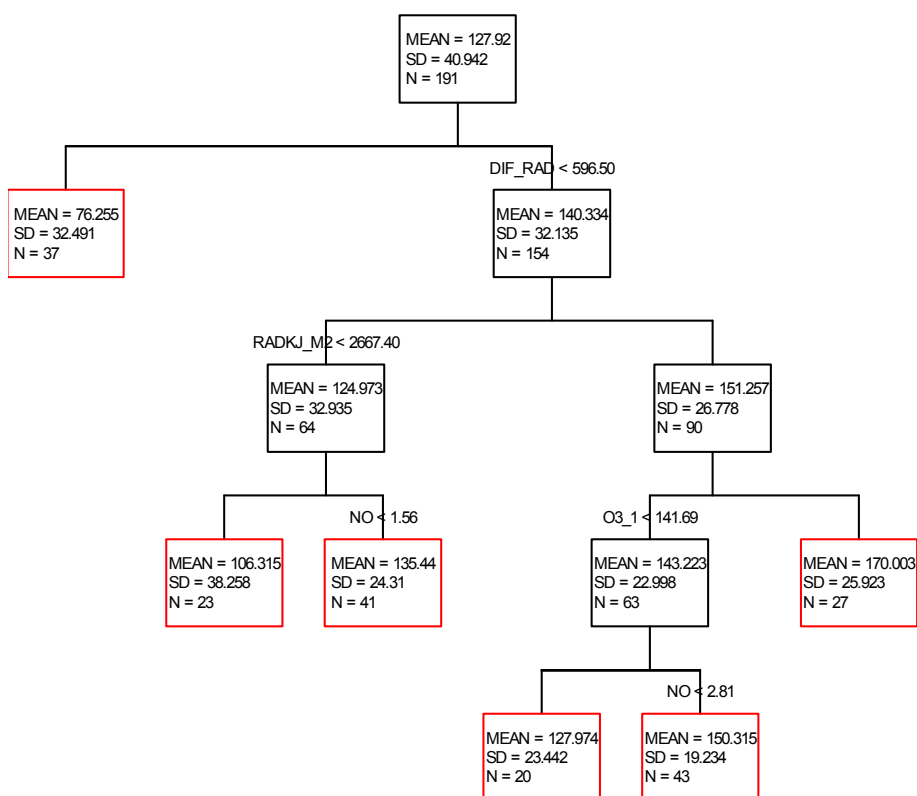


Figura 54 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Beato.

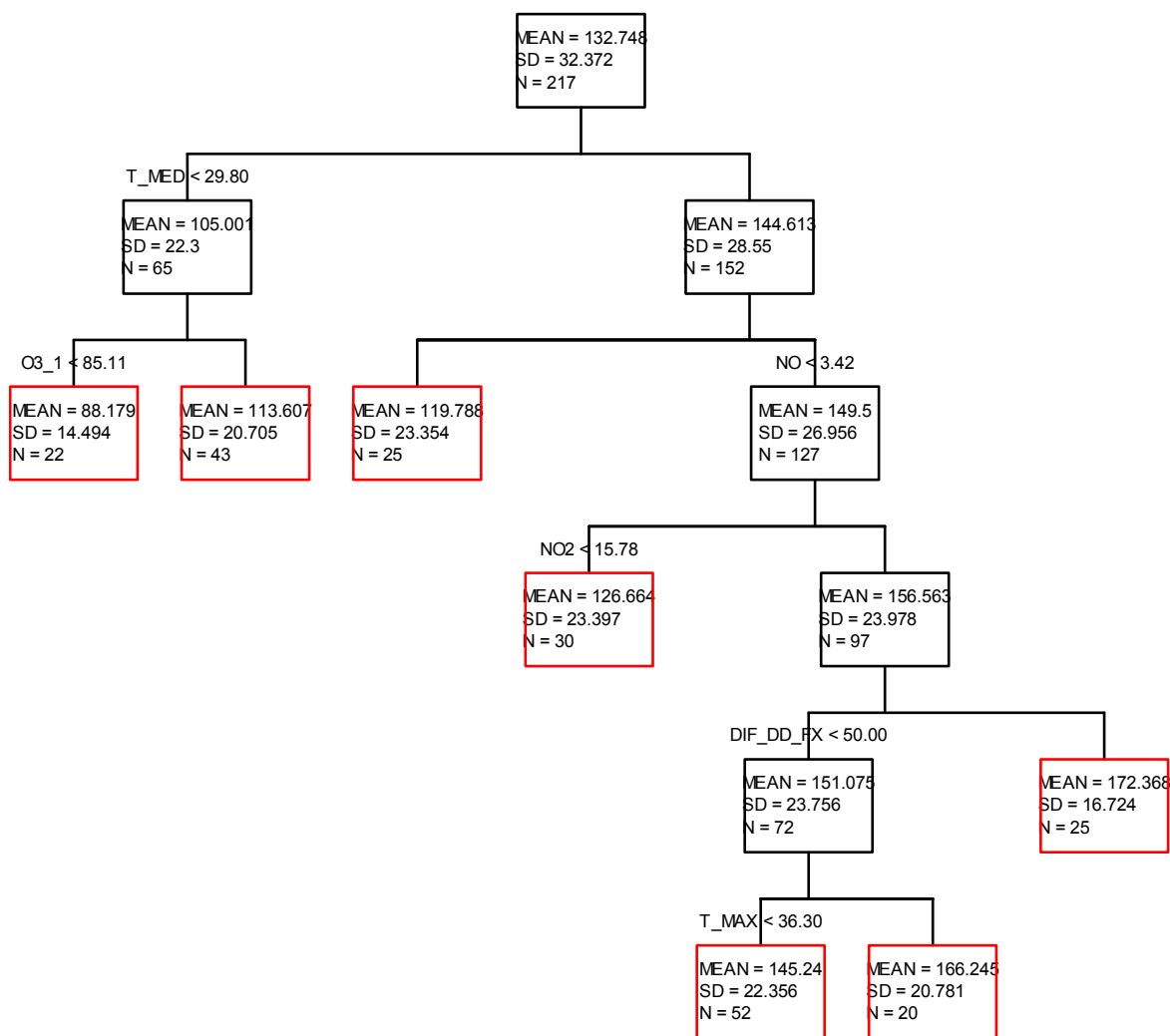


Figura 55 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Camarinha.

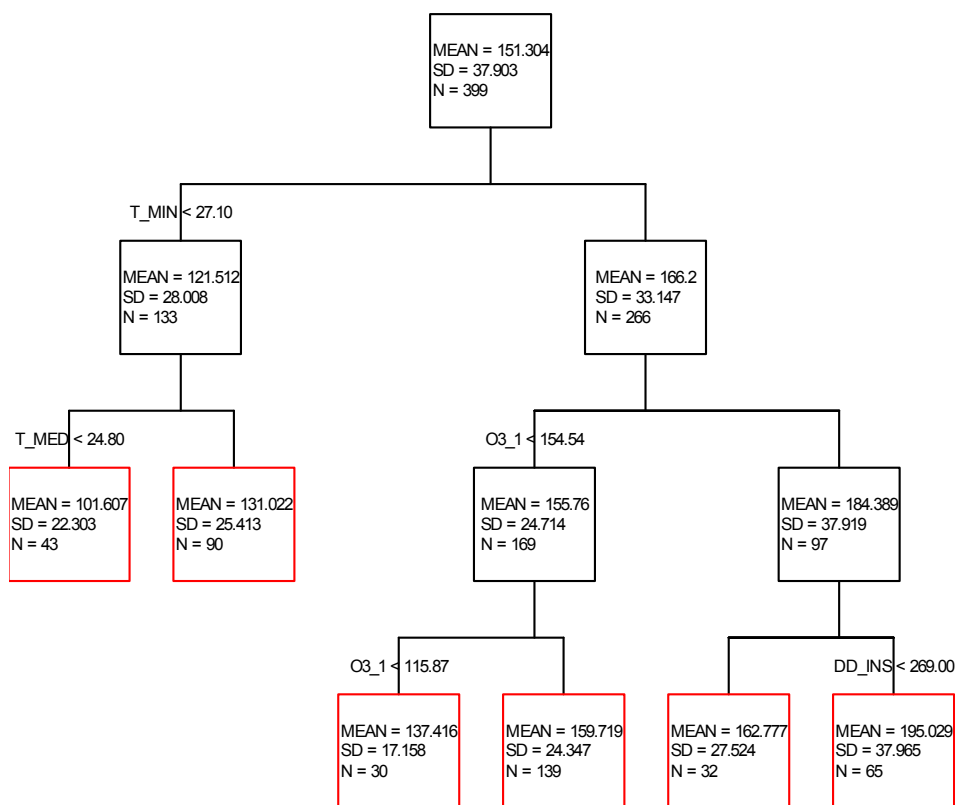


Figura 56 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Chamusca.

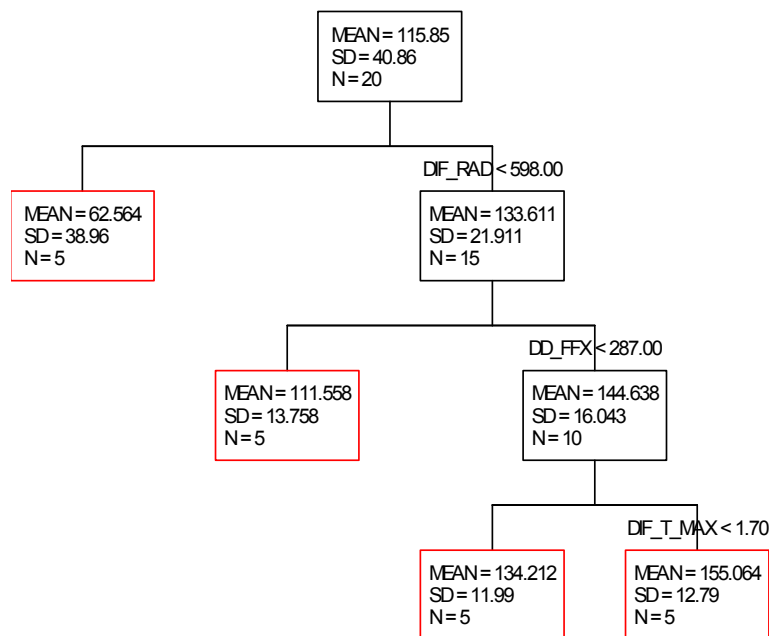


Figura 57 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Entrecampos.

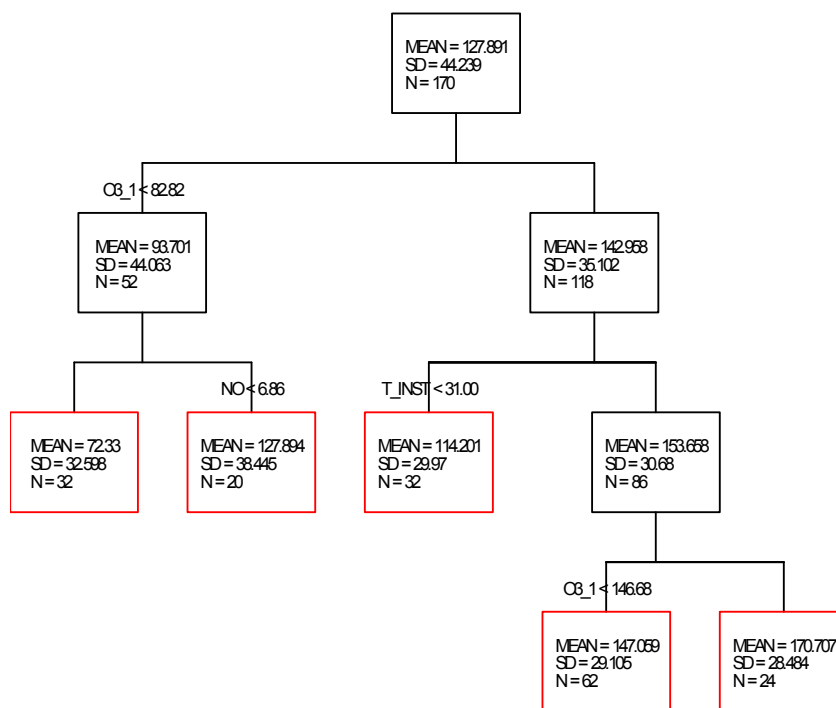


Figura 58 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Escavadeira.

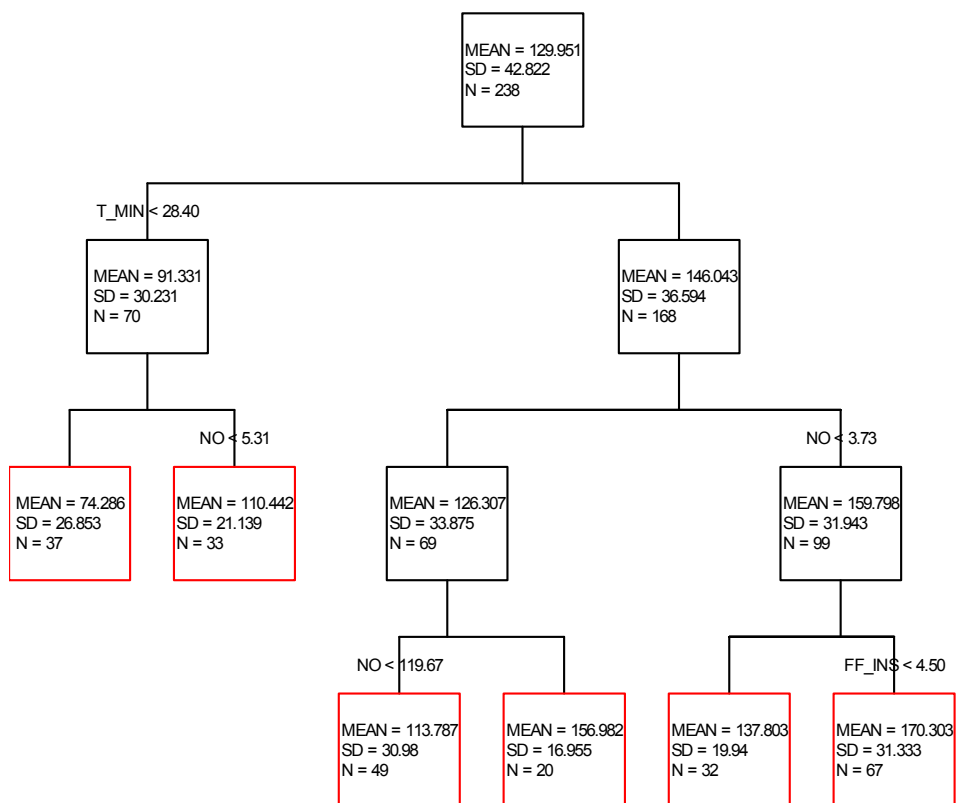


Figura 59 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Hospital Velho.

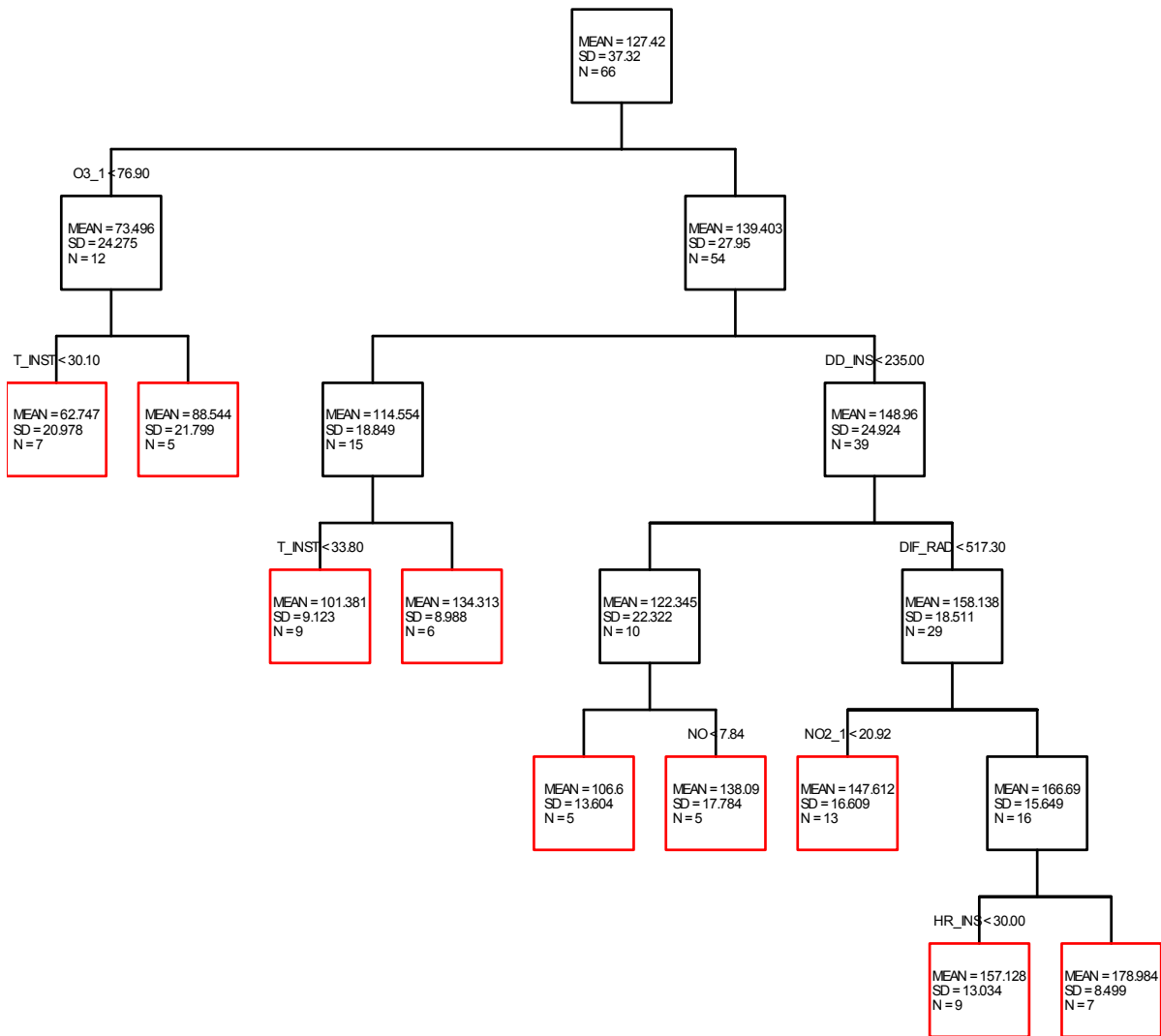


Figura 60 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação do Laranjeiro.

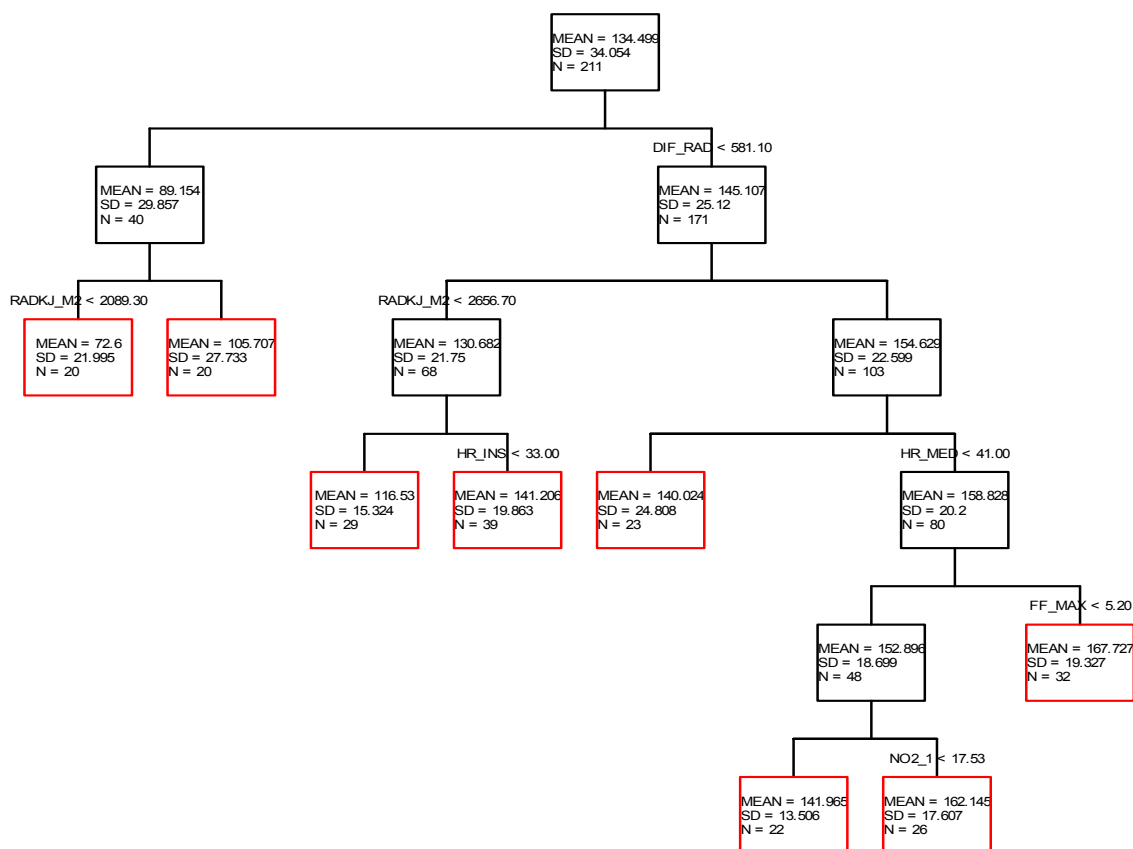


Figura 61 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Loures.

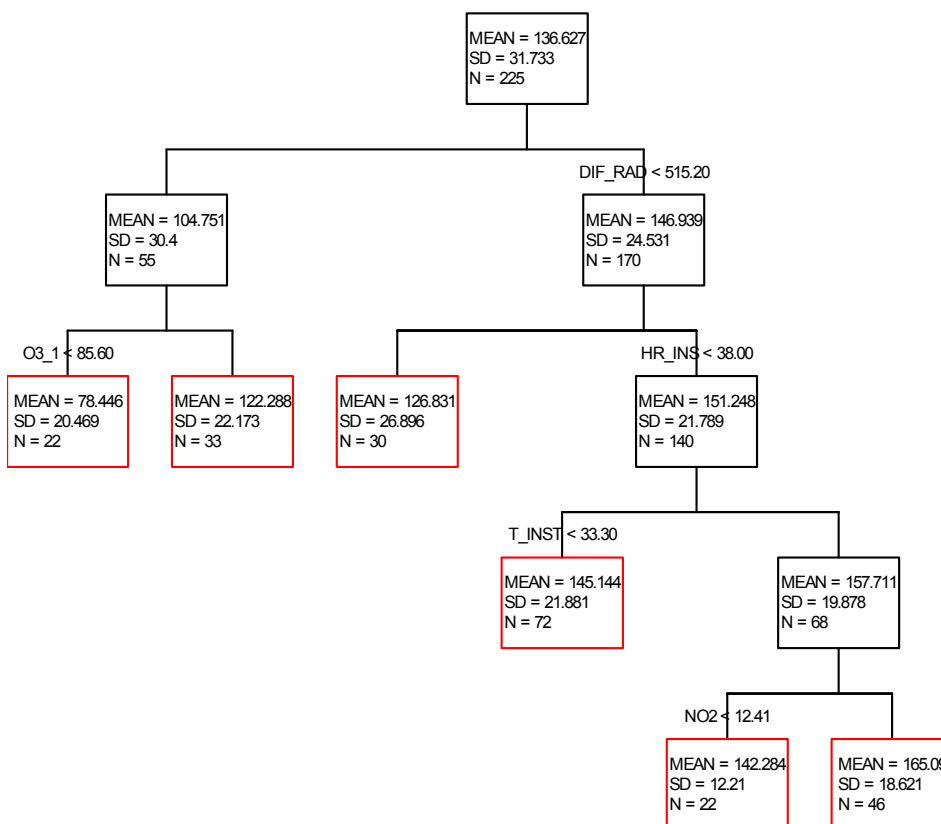


Figura 62 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Mem-Martins.

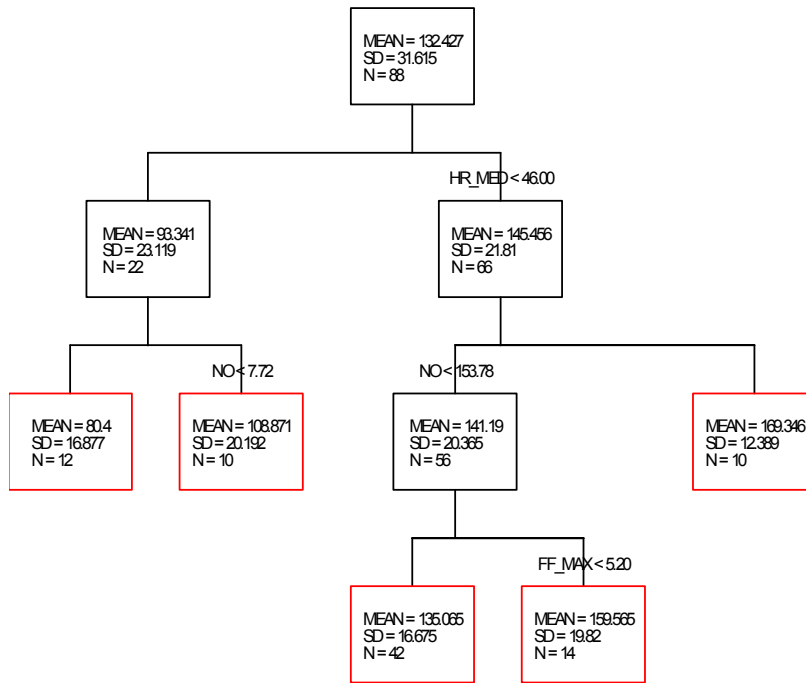


Figura 63 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Odiveiras.

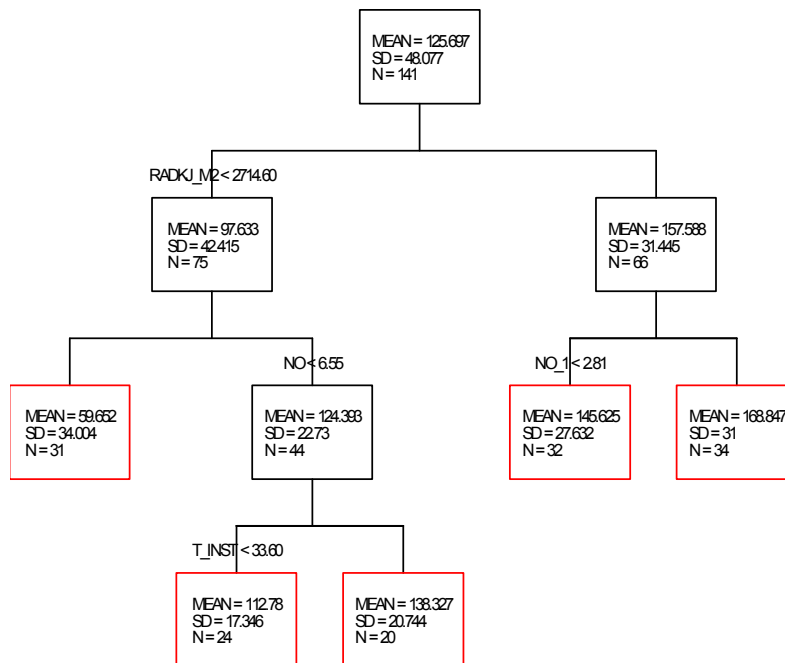


Figura 64 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Olivais.

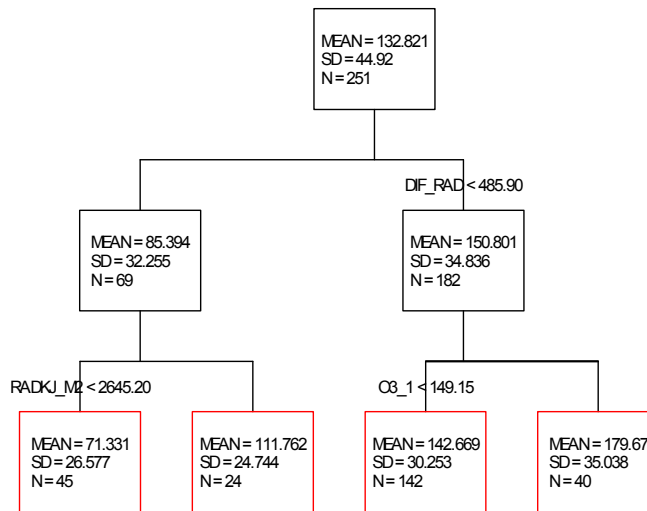


Figura 65 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Paio Pires.

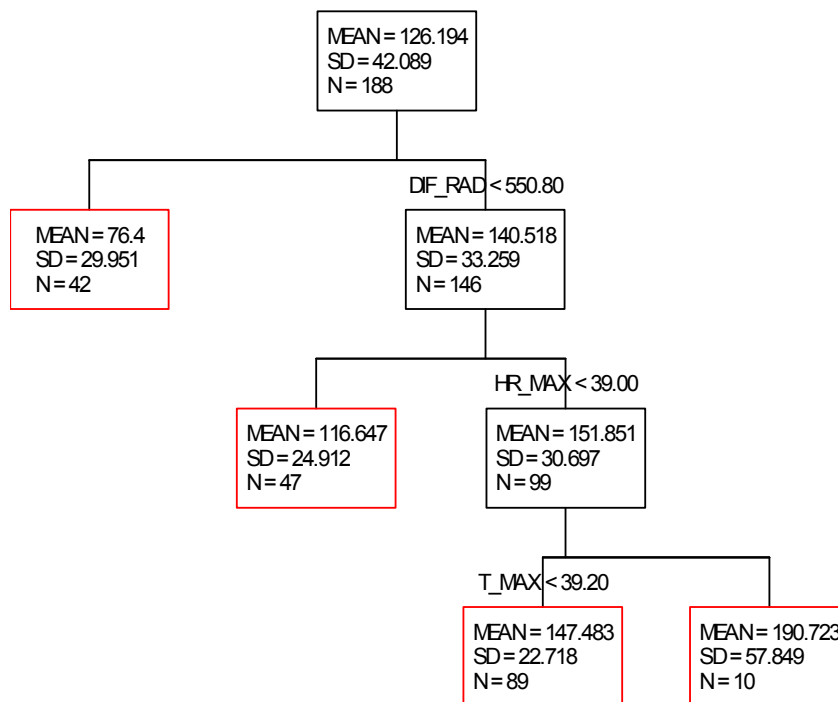


Figura 66 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Quinta do Marquês.

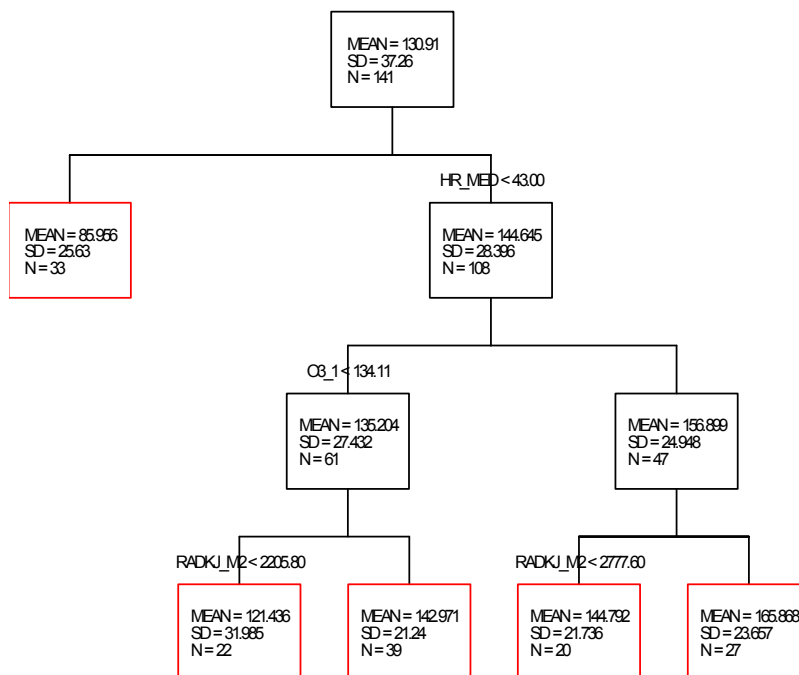


Figura 67 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Reboleira.

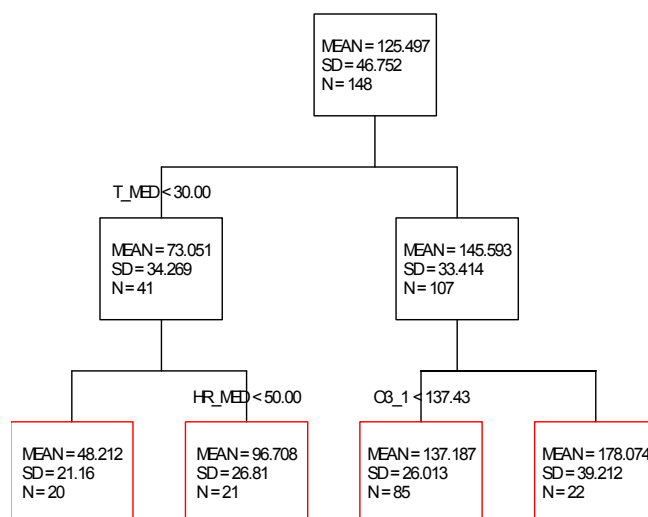


Figura 68 Avaliação instantânea. Análise meteorológica e de poluentes, redução do intervalo horário. Árvore final da estação de Restelo.

Anexo IV. Modelos de Regressão Linear

Tabela 98 Modelo de Alfragide/ Amadora às 13:00 horas UTC.

Alfragide/ Amadora 13:00 horas UTC					
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
0.92	0.85	0.85	9.15	1.81	
Unstandardized Coefficients					
B	Std. Error	Beta	t	Sig.	
(Constant)	-1.58	1.71		-0.92	0.36
M-Mts_11	0.28	0.04	0.27	7.01	0.00
AI/A_DIF10-11	0.49	0.05	0.20	9.89	0.00
AI/A_11	0.65	0.04	0.55	15.09	0.00
NO2_11	0.31	0.03	0.30	10.80	0.00

Tabela 99 Modelo de Alfragide/ Amadora às 14:00 horas UTC.

Alfragide/ Amadora 14:00 horas					
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
0.87	0.76	0.76	11.82	1.66	
Unstandardized Coefficients					
B	Std. Error	Beta	t	Sig.	
(Constant)	0.39	2.65		0.15	0.88
M-Mts_11	0.63	0.04	0.56	14.37	0.00
Arcs_11	0.25	0.04	0.22	6.47	0.00
AI/A_11	0.39	0.06	0.32	6.89	0.00
Rest_9	-0.37	0.04	-0.34	-9.82	0.00
Escavd_DIF10-11	0.20	0.06	0.09	3.45	0.00

Tabela 100 Modelo de Alfragide/ Amadora às 15:00 horas UTC.

Alfragide/ Amadora 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson	
0.87	0.75	0.75		11.92	1.36	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	24.54	2.57		9.56	0.00	
Arcs_11	0.19	0.03		0.20	5.81	0.00
Lours_11	0.56	0.04		0.53	15.45	0.00
Escavd_DIF10-11	0.15	0.05		0.07	2.91	0.00
QMs_DIF10-11	0.55	0.08		0.19	7.02	0.00
DD_PRE_11	-2.13	0.23		-0.24	-9.14	0.00

Tabela 101 Modelo de Alfragide/ Amadora às 16:00 horas UTC.

Alfragide/ Amadora 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson	
0.78	0.61	0.61		15.37	1.20	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	34.78	2.84		12.26	0.00	
Arcs_11	0.15	0.04		0.15	4.08	0.00
DD_PRE_11	-2.91	0.24		-0.31	-12.07	0.00
Lours_11	0.61	0.04		0.55	14.70	0.00

Tabela 102 Modelo de Alfragide/ Amadora às 17:00 horas UTC.

Alfragide/ Amadora 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.68	0.46	0.45		18.03	1.01	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	74.42	4.88		15.24	0.00	
Rest_9	0.16	0.04		0.14	3.54 0.00	
Lours_11	0.51	0.04		0.48	12.64 0.00	
T_MIN_8	-1.73	0.23		-0.24	-7.50 0.00	
DD_PRE_8	-1.34	0.41		-0.14	-3.22 0.00	
DD_PRE_11	-1.60	0.43		-0.17	-3.74 0.00	

Tabela 103 Modelo de Arcos às 13:00 horas UTC.

Arcos 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.92	0.84	0.84		10.74	1.77	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	5.49	1.77		3.10	0.00	
Arcs_11	0.77	0.03		0.72	29.02 0.00	
Entcamp_11	0.23	0.03		0.18	7.20 0.00	
HV_DIF10-11	0.19	0.05		0.08	3.98 0.00	
NO2_11	0.50	0.04		0.22	11.70 0.00	
Dif_T_min_10	2.34	0.67		0.07	3.51 0.00	

Tabela 104 Modelo de Arcos às 14:00 horas UTC.

Arcos 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.87	0.75	0.75	12.81	1.73		
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	20.76	4.36		4.77	0.00	
Lours_9	0.12	0.04		0.09	2.99	
Cham_11	0.18	0.04		0.19	4.44	
Arcs_11	0.57	0.04		0.51	13.60	
HV_DIF10-11	0.36	0.06		0.17	6.18	
NO2_11	0.35	0.06		0.17	5.92	
T_MIN_8	-3.16	0.50		-0.44	-6.36	
T_MIN_11	2.49	0.45		0.41	5.59	

Tabela 105 Modelo de Arcos às 15:00 horas UTC.

Arcos 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.85	0.72	0.71	13.72	1.69		
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	63.94	8.14		7.85	0.00	
Arcs_11	0.44	0.05		0.36	9.30	
Cham_11	0.23	0.04		0.24	5.31	
HV_DIF10-11	0.58	0.07		0.25	8.42	
Beato_DIF10-11	0.43	0.08		0.18	5.73	
NO2_11	0.27	0.07		0.14	4.20	
T_MIN_8	-1.45	0.23		-0.19	-6.42	
DD_PRE_8	1.78	0.28		0.18	6.36	
HR_INS_9	-0.31	0.06		-0.15	-4.91	

Tabela 106 Modelo de Arcos às 16:00 horas UTC.

Arcos 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.85	0.72	0.72	16.37	1.76		
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	13.04	2.72		4.79	0.00	
Arcs_8	0.61	0.04		0.42	14.06	0.00
Al/A_10	-0.58	0.05		-0.39	-11.91	0.00
Lours_11	0.88	0.05		0.63	18.32	0.00
Beato_DIF10-11	0.65	0.07		0.22	8.73	0.00
Dif_T_Med_8	7.30	1.13		0.15	6.44	0.00

Tabela 107 Modelo de Arcos às 17:00 horas UTC.

Arcos 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.84	0.71	0.71	14.57	1.88		
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	72.90	10.17		7.17	0.00	
M-Mts_11	0.27	0.07		0.21	3.87	0.00
DD_INS_11	-0.02	0.01		-0.08	-2.35	0.02
Lours_11	0.34	0.07		0.26	4.68	0.00
Arcs_11	0.40	0.05		0.33	7.61	0.00
Rest_10	-0.24	0.05		-0.18	-4.46	0.00
HV_DIF10-11	0.32	0.07		0.14	4.29	0.00
NO2_11	0.34	0.07		0.15	4.57	0.00
T_MIN_8	-1.40	0.25		-0.18	-5.68	0.00
HR_MED_8	-0.35	0.08		-0.15	-4.55	0.00

Tabela 108 Modelo de Beato às 13:00 horas UTC.

Beato 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	of the	Durbin-Watson
0.90	0.81	0.81		11.29		1.66

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	7.09	1.97		3.60	0.00
Beato_11	0.87	0.02		0.76	36.53
HV_DIF10-11	0.33	0.05		0.16	7.17
QMs_DIF10-11	0.50	0.06		0.18	7.82
NO2_11	0.38	0.04		0.20	9.06

Tabela 109 Modelo de Beato às 14:00 horas UTC.

Beato 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	of the	Durbin-Watson
0.88	0.77	0.77		12.50		1.37

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	9.34	2.28		4.10	0.00
Cham_11	0.26	0.03		0.26	7.38
Lours_11	0.59	0.04		0.52	15.39
QMs_DIF10-11	0.83	0.06		0.31	12.81

Tabela 110 Modelo de Beato às 15:00 horas UTC.

Beato 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.88	0.77	0.77	12.47	1.58		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	9.07	2.85		3.18	0.00	
QMs_DIF10-11	0.70	0.09		7.54	0.00	
Cham_11	0.15	0.04		3.68	0.00	
Lours_11	0.62	0.06		9.81	0.00	
Escavd_DIF10-11	0.28	0.06		4.37	0.00	
Arcs_11	0.18	0.05		3.93	0.00	
Rest_10	-0.15	0.04		-3.39	0.00	
Dif_FF_med_11	-3.13	1.09		-2.87	0.00	

Tabela 111 Modelo de Beato às 16:00 horas UTC.

Beato 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.89	0.80	0.79	11.64	1.79		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	22.88	4.57		5.01	0.00	
Rest_9	-0.29	0.04		-6.81	0.00	
Lours_11	0.50	0.07		7.26	0.00	
Arcs_11	0.15	0.05		3.06	0.00	
Beato_11	0.46	0.07		6.86	0.00	
HV_DIF10-11	0.20	0.06		3.15	0.00	
M-Mts_DIF10-11	0.67	0.11		5.94	0.00	
Cham_DIF10-11	0.53	0.08		6.29	0.00	
T_MIN_8	-0.98	0.20		-4.83	0.00	
Dif_HR_Med_11	0.51	0.17		2.95	0.00	

Tabela 112 Modelo de Beato às 17:00 horas UTC.

Beato 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson	
0.80	0.64	0.64		14.64	1.70	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	12.25	2.55		4.81	0.00	
Lours_11	0.75	0.03		0.66	23.88	0.00
M-Mts_DIF10-11	1.24	0.09		0.37	13.32	0.00

Tabela 113 Modelo de Camarinha às 13:00 horas UTC.

Camarinha 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson	
0.88	0.78	0.78		11.73	1.70	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	12.85	2.54		5.06	0.00	
Cmrnh_11	0.84	0.03		0.77	28.59	0.00
HV_DIF10-11	0.28	0.05		0.14	5.28	0.00
NO2_11	0.54	0.07		0.21	7.88	0.00

Tabela 114 Modelo de Camarinha às 14:00 horas UTC.

Camarinha 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.82	0.67	0.67	14.41	1.66		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	18.12	3.42		5.30	0.00	
HV_DIF10-11	0.28	0.07	0.14	3.99	0.00	
Arcs_11	0.72	0.04	0.66	19.19	0.00	
NO2_11	0.96	0.09	0.37	10.98	0.00	

Tabela 115 Modelo de Camarinha às 15:00 horas UTC.

Camarinha 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.79	0.63	0.62	15.88	1.59		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	25.39	3.92		6.49	0.00	
Arcs_8	0.33	0.06	0.25	5.64	0.00	
HV_11	0.37	0.06	0.32	6.47	0.00	
Escavd_DIF8-11	0.31	0.06	0.23	5.13	0.00	
Reb_DIF10-11	0.64	0.10	0.25	6.63	0.00	
NO2_11	0.78	0.10	0.30	7.62	0.00	
Dif_FF_Max_10	-1.82	0.77	-0.09	-2.36	0.02	

Tabela 116 Modelo de Camarinha às 16:00 horas UTC.

Camarinha 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of the Estimate	of the	Durbin-Watson	
0.81	0.66	0.65		15.96	1.50	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	24.66	3.63		6.79	0.00	
HV_11	0.59	0.04		0.48	13.85	0.00
QMs_DIF10-11	1.28	0.11		0.43	12.07	0.00
NO2_11	0.72	0.10		0.24	6.89	0.00
Dif_Rad_8	0.01	0.00		0.10	2.76	0.01

Tabela 117 Modelo de Camarinha às 17:00 horas UTC.

Camarinha 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of the Estimate	of the	Durbin-Watson	
0.71	0.50	0.49		19.39	1.40	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	35.08	3.60		9.76	0.00	
AI/A_DIF10-11	1.16	0.11		0.43	10.96	0.00
HV_11	0.59	0.05		0.50	12.55	0.00

Tabela 118 Modelo de Chamusca às 13:00 horas UTC.

Chamusca 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of the Estimate	of the	Durbin-Watson	
0.92	0.85	0.85		11.34	1.57	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	14.47	1.86		7.79	0.00	
Cham_11	0.91	0.02		0.84	44.56	0.00
Cham_DIF10-11	0.59	0.06		0.18	9.35	0.00

Tabela 119 Modelo de Chamusca às 14:00 horas UTC.

Chamusca 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of Estimate	of the	Durbin-Watson	
0.89	0.80	0.80		12.61	1.81	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	16.42	2.49			6.58	0.00
Cham_11	0.89	0.03		0.79	32.07	0.00
NO2_11	1.36	0.20		0.16	6.80	0.00
Rest_DIF10-11	0.24	0.06		0.09	3.76	0.00

Tabela 120 Modelo de Chamusca às 15:00 horas UTC.

Chamusca 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of Estimate	of the	Durbin-Watson	
0.88	0.77	0.77		13.99	1.69	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	30.94	3.57			8.67	0.00
Cham_11	0.80	0.03		0.71	27.32	0.00
NO2_9	1.01	0.17		0.15	5.89	0.00
A/A_DIF10-11	0.36	0.07		0.13	4.85	0.00
FF_MAX_11	-1.07	0.28		-0.10	-3.82	0.00

Tabela 121 Modelo de Chamusca às 16:00 horas UTC.

Chamusca 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
0.87	0.75	0.75		14.25	1.72	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	19.39	2.79		6.96	0.00	
Cham_11	0.80	0.03		0.65	24.51	0.00
M-Mts_DIF8-11	0.41	0.04		0.25	9.45	0.00
NO2_9	0.95	0.18		0.14	5.40	0.00

Tabela 122 Modelo de Chamusca às 17:00 horas UTC.

Chamusca 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
0.85	0.72	0.72		16.04	1.75	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	24.87	3.73		6.67	0.00	
Cham_11	0.79	0.03		0.63	23.22	0.00
M-Mts_DIF8-11	0.51	0.05		0.30	10.22	0.00
DD_INS_11	-0.03	0.01		-0.10	-3.62	0.00

Tabela 123 Modelo de Escavadeira às 13:00 horas UTC.

Escavadeira13:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson	
0.90	0.81	0.81		13.31	1.64	
Standardized Coefficients						
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	5.61	1.75			3.20	0.00
Escavd_11	0.92	0.03			0.76	33.95
Laranj_DIF10-11	0.72	0.08			0.23	9.16
pp_DIF10-11	0.41	0.09			0.12	4.60

Tabela 124 Modelo de Escavadeira às 14:00 horas UTC.

Escavadeira 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson	
0.84	0.70	0.70		14.42	1.88	
Standardized Coefficients						
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	8.80	3.35			2.63	0.01
Olvs_10	-0.31	0.07			-0.26	-4.44
Escavd_11	0.55	0.05			0.45	10.09
Lours_11	0.58	0.07			0.48	7.98
Cham_DIF10-11	0.63	0.11			0.20	5.83
Laranj_DIF10-11	0.56	0.09			0.24	6.54

Tabela 125 Modelo de Escavadeira às 15:00 horas UTC.

Escavadeira 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of the	Durbin-Watson	
0.78	0.60	0.60		17.74	1.72	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	42.27	4.30		9.84	0.00	
M-Mts_8	0.23	0.06		0.18	3.98	0.00
Escavd_11	0.48	0.06		0.37	8.15	0.00
Laranj_DIF10-11	0.58	0.11		0.22	5.03	0.00
pp_DIF10-11	0.46	0.12		0.16	3.75	0.00
DD_PRE_11	-3.93	0.39		-0.39	-10.12	0.00

Tabela 126 Modelo de Escavadeira às 16:00 horas UTC.

Escavadeira 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of the	Durbin-Watson	
0.78	0.60	0.60		17.54	1.60	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	35.93	3.86		9.30	0.00	
Arcs_8	0.15	0.05		0.11	3.20	0.00
Escavd_11	0.59	0.04		0.49	14.43	0.00
Cham_DIF10-11	0.32	0.10		0.10	3.12	0.00
Al/A_DIF10-11	0.49	0.09		0.18	5.43	0.00
DD_PRE_11	-3.55	0.33		-0.34	-10.63	0.00

Tabela 127 Modelo de Escavadeira às 17:00 horas UTC.

Escavadeira 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson		
0.77	0.59	0.58		17.62	1.81	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	27.16	2.86		9.49	0.00	
Escavd_11	0.80	0.03		0.73	23.17	0.00
HV_DIF8-11	-0.27	0.05		-0.20	-5.90	0.00
AI/A_DIF10-11	0.49	0.09		0.18	5.69	0.00
DD_PRE_8	-2.61	0.30		-0.25	-8.56	0.00

Tabela 128 Modelo de Hospital Velho às 13:00 horas UTC.

Hospital Velho 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson		
0.87	0.77	0.76		14.10	1.83	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	6.29	2.40		2.62	0.01	
HV_11	0.92	0.03		0.72	29.28	0.00
Rest_DIF10-11	0.76	0.07		0.28	10.39	0.00
M-Mts_DIF10-11	0.53	0.10		0.14	5.10	0.00
Dif_T_max_11	3.61	0.91		0.11	3.97	0.00
Dif_FF_INS_11	-2.30	0.81		-0.07	-2.85	0.00

Tabela 129 Modelo de Hospital Velho às 14:00 horas UTC.

Hospital Velho 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of the	Durbin-Watson	
0.83	0.69	0.69		16.59	1.70	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	-7.02	5.27		-1.33	0.18	
HV_11	0.33	0.06		0.26	5.94	0.00
Rest_DIF10-11	0.74	0.08		0.27	8.85	0.00
Dif_FF_INS_11	-3.95	0.95		-0.12	-4.15	0.00
Cham_11	0.18	0.05		0.17	3.36	0.00
Lours_11	0.41	0.07		0.31	5.84	0.00
T_INST_9	0.67	0.26		0.09	2.61	0.01

Tabela 130 Modelo de Hospital Velho às 15:00 horas UTC.

Hospital Velho 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of the	Durbin-Watson	
0.78	0.61	0.61		17.20	1.62	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	49.45	9.28		5.33	0.00	
Cham_11	0.18	0.07		0.15	2.50	0.01
Lours_11	0.49	0.07		0.38	7.02	0.00
HV_DIF10-11	0.30	0.09		0.13	3.31	0.00
Laranj_DIF10-11	0.50	0.10		0.21	4.92	0.00
HR_INS_8	-0.39	0.09		-0.19	-4.51	0.00
Dif_DD_FX_8	-0.03	0.01		-0.11	-3.04	0.00

Tabela 131 Modelo de Hospital Velho às 16:00 horas UTC.

Hospital Velho 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson		
0.81	0.65	0.65		19.00	1.37	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	-2.86	3.31		-0.86	0.39	
HV_8	0.70	0.06		0.45	10.94	
Lours_11	0.37	0.06		0.27	6.27	
Escavd_DIF10-11	0.67	0.10		0.24	6.86	
Rest_DIF10-11	0.46	0.12		0.15	3.83	
Laranj_DIF10-11	0.67	0.12		0.22	5.62	

Tabela 132 Modelo de Hospital Velho às 17:00 horas UTC.

Hospital Velho 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson		
0.84	0.71	0.71		15.96	1.59	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	22.12	2.91		7.61	0.00	
Lours_11	0.48	0.04		0.37	11.42	
HV_8	0.86	0.04		0.61	22.79	
Rest_10	-0.36	0.04		-0.26	-8.56	
HV_DIF10-11	0.67	0.07		0.25	10.21	
DD_PRE_9	-2.51	0.26		-0.22	-9.68	

Tabela 133 Modelo de Laranjeiro às 13:00 horas UTC.

Laranjeiro 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of	the	Durbin-Watson
0.89	0.79	0.79		11.35		1.64
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	2.98	3.06		0.97	0.33	
Arcs_8	0.20	0.05		0.16	4.51 0.00	
Cham_11	0.25	0.05		0.22	5.20 0.00	
M-Mts_11	0.42	0.05		0.36	8.33 0.00	
AI/A_DIF10-11	0.47	0.08		0.18	5.68 0.00	
HV_DIF10-11	0.32	0.06		0.15	5.18 0.00	
Laranj_DIF10-11	0.52	0.09		0.23	5.99 0.00	

Tabela 134 Modelo de Laranjeiro às 14:00 horas UTC.

Laranjeiro 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of	the	Durbin-Watson
0.89	0.79	0.79		11.48		1.55
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	14.11	3.33		4.23	0.00	
Cham_11	0.19	0.05		0.17	4.09 0.00	
Lours_11	0.62	0.05		0.54	13.71 0.00	
QMs_DIF10-11	0.98	0.09		0.33	11.23 0.00	
Dif_T_max_9	3.03	0.99		0.08	3.07 0.00	
DD_PRE_11	-1.18	0.27		-0.13	-4.32 0.00	

Tabela 135 Modelo de Laranjeiro às 15:00 horas UTC.

Laranjeiro 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.87	0.76	0.76	12.63	1.54		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	8.13	2.92		2.79	0.01	
Cham_11	0.20	0.05		0.17	4.08	
Lours_11	0.62	0.05		0.52	12.75	
Al/A_DIF10-11	0.38	0.09		0.14	3.96	
QMs_DIF10-11	1.01	0.10		0.34	9.82	

Tabela 136 Modelo de Laranjeiro às 16:00 horas UTC.

Laranjeiro 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.88	0.78	0.77	11.84	1.79		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	18.71	4.00		4.68	0.00	
Rest_10	-0.32	0.05		-0.29	-5.91	
Lours_11	0.67	0.07		0.56	9.68	
Arcs_11	0.26	0.05		0.22	4.84	
Laranj_11	0.27	0.07		0.23	3.97	
Al/A_DIF8-11	-0.26	0.06		-0.21	-4.44	
Al/A_DIF10-11	0.39	0.11		0.15	3.46	
Escavd_DIF10-11	0.25	0.07		0.12	3.67	
Cham_DIF10-11	0.37	0.09		0.13	3.93	
DD_PRE_9	-2.22	0.31		-0.24	-7.13	

Tabela 137 Modelo de Laranjeiro às 17:00 horas UTC.

Laranjeiro 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
0.79	0.63	0.62		14.09	1.39	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	23.13	3.62			6.40	0.00
Arcs_8	0.29	0.05			0.26	5.59
Entcamp_8	0.42	0.07			0.34	6.18
Lours_11	0.16	0.06			0.15	2.92
Beato_DIF8-11	0.39	0.06			0.30	6.89
Al/A_DIF10-11	0.41	0.11			0.15	3.85
HV_DIF10-11	0.33	0.08			0.14	4.26
Dif_HR_mim_8	0.62	0.17			0.12	3.67
DD_PRE_11	-2.25	0.31			-0.26	-7.17

Tabela 138 Modelo de Loures às 13:00 horas UTC.

Loures 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
0.95	0.91	0.91		8.08	1.64	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	0.58	1.11			0.52	0.60
Lours_11	0.95	0.01			0.82	67.49
Reb_DIF10-11	0.41	0.04			0.15	11.61
NO2_11	0.70	0.03			0.29	23.19

Tabela 139 Modelo de Loures às 14:00 horas UTC.

Loures 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
0.90	0.81	0.81		11.49	1.67	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	13.19	3.31		3.99	0.00	
M-Mts_11	0.64	0.03		0.54	19.79	0.00
Cham_11	0.30	0.03		0.30	10.05	0.00
Al/A_DIF10-11	0.75	0.06		0.28	12.63	0.00
T_MIN_8	-0.70	0.16		-0.09	-4.24	0.00

Tabela 140 Modelo de Loures às 15:00 horas UTC.

Loures 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
0.90	0.81	0.81		11.15	1.61	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	9.71	2.47		3.93	0.00	
Arcs_8	0.22	0.04		0.18	6.00	0.00
Reb_10	-0.51	0.06		-0.40	-8.30	0.00
Lours_10	0.25	0.06		0.19	3.83	0.00
M-Mts_11	0.81	0.05		0.69	17.31	0.00
Al/A_DIF10-11	0.55	0.07		0.20	7.80	0.00
Beato_DIF10-11	0.58	0.06		0.26	10.02	0.00
Med-1	0.08	0.04		0.06	2.18	0.03

Tabela 141 Modelo de Loures às 16:00 horas UTC.

Loures 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.88	0.78	0.77	12.25	1.85		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	96.05	7.97		12.05	0.00	
M-Mts_11	0.46	0.04		0.40	11.53	0.00
Cham_11	0.18	0.04		0.18	4.78	0.00
Al/A_DIF8-11	-0.26	0.05		-0.20	-4.69	0.00
Beato_DIF8-11	0.31	0.05		0.25	6.32	0.00
Al/A_DIF10-11	0.60	0.10		0.24	6.30	0.00
HV_DIF10-11	0.12	0.06		0.06	2.13	0.03
QMs_DIF10-11	0.26	0.09		0.09	2.78	0.01
T_MIN_8	-1.66	0.21		-0.22	-8.10	0.00
HR_MAX_8	-0.45	0.06		-0.22	-7.38	0.00
NO2_9	-0.17	0.06		-0.10	-2.78	0.01
DD_PRE_11	-1.48	0.29		-0.16	-5.10	0.00

Tabela 142 Modelo de Loures às 17:00 horas UTC.

Loures 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.84	0.70	0.70	13.55	1.81		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	45.96	4.12		11.16	0.00	
Al/A_8	0.15	0.05		0.14	3.03	0.00
Escavd_10	-0.13	0.05		-0.12	-2.88	0.00
Lours_10	0.38	0.06		0.33	6.10	0.00
Al/A_10	-0.27	0.07		-0.23	-3.96	0.00
Cham_11	0.13	0.04		0.14	3.46	0.00
Beato_11	0.50	0.05		0.47	9.33	0.00
QMs_DIF10-11	0.70	0.09		0.26	7.94	0.00
T_MIN_8	-1.11	0.20		-0.16	-5.51	0.00
DD_PRE_11	-1.56	0.29		-0.17	-5.37	0.00

Tabela 143 Modelo de Mem-Martins às 13:00 horas UTC.

Mem-Martins 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of the	Durbin-Watson	
	0.94	0.88	0.88		8.58	1.76

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	2.66	1.60		1.66	0.10
M-Mts_11	0.97	0.02		0.85	50.36
NO2_8	0.41	0.03		0.23	13.67
Dif_FF_Max_10	-1.28	0.33		-0.06	-3.87

Tabela 144 Modelo de Mem-Martins às 14:00 horas UTC.

Mem-Martins 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of the	Durbin-Watson	
	0.89	0.79	0.79		11.45	1.64

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	8.04	2.18		3.70	0.00
M-Mts_11	0.88	0.03		0.75	32.46
NO2_8	0.35	0.05		0.20	7.59
Beato_DIF8-11	0.15	0.03		0.12	4.44

Tabela 145 Modelo de Mem-Martins às 15:00 horas UTC.

Mem-Martins 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.81	0.65	0.65	15.30	1.52		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	30.64	2.44			12.58	0.00
Beato_9	0.71	0.04			0.52	19.15
Reb_DIF8-11	0.57	0.04			0.47	13.51
M-Mts_DIF10-11	1.04	0.13			0.28	8.11

Tabela 146 Modelo de Mem-Martins às 16:00 horas UTC.

Mem-Martins 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.73	0.54	0.54	17.74	1.45		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	34.84	2.70			12.91	0.00
Beato_9	0.66	0.04			0.49	16.14
Reb_DIF8-11	0.70	0.04			0.60	19.57

Tabela 147 Modelo de Mem-Martins às 17:00 horas UTC.

Mem-Martins 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	R Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.80	0.65	0.65	15.18	1.68		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	19.22	2.86			6.71	0.00
Reb_8	-0.46	0.05			-0.38	-10.23
Beato_9	0.40	0.06			0.30	7.07
M-Mts_11	0.84	0.04			0.72	22.15

Tabela 148 Modelo de Odivelas às 13:00 horas UTC.

Odivelas 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of the	Durbin-Watson	
0.94	0.89	0.89		8.13	1.63	

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	6.20	1.76		3.52	0.00
M-Mts_11	0.76	0.05		0.72	15.79
AI/A_DIF10-11	0.57	0.06		0.22	9.79
Lours_11	0.45	0.04		0.41	11.26
M-Mts_9	-0.35	0.05		-0.31	-7.26

Tabela 149 Modelo de Odivelas às 14:00 horas UTC.

Odivelas 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of the	Durbin-Watson	
0.92	0.84	0.84		9.60	1.62	

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	9.11	2.12		4.30	0.00
M-Mts_11	0.72	0.03		0.69	27.29
AI/A_DIF10-11	0.64	0.06		0.24	9.84
Oivs_DIF8-11	0.23	0.03		0.20	7.52
NO_10	0.09	0.02		0.13	5.58

Tabela 150 Modelo de Odivelas às 15:00 horas UTC.

Odivelas 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate		Durbin-Watson	
0.87	0.76	0.75		11.82	1.50	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	29.03	4.00			7.26	0.00
Cham_11	0.39	0.04		0.35	9.21	0.00
Entcamp_11	0.42	0.04		0.35	9.71	0.00
M-Mts_DIF8-11	0.48	0.05		0.34	9.03	0.00
DD_PRE_11	-2.57	0.33		-0.29	-7.86	0.00

Tabela 151 Modelo de Odivelas às 16:00 horas UTC.

Odivelas 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate		Durbin-Watson	
0.86	0.73	0.73		13.39	1.66	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	42.88	5.19			8.25	0.00
Cham_11	0.30	0.05		0.26	5.92	0.00
Beato_11	0.47	0.04		0.42	10.62	0.00
Al/A_DIF10-11	0.57	0.09		0.22	6.36	0.00
NO_10	0.10	0.02		0.12	3.95	0.00
T_MAX_10	-0.88	0.20		-0.14	-4.43	0.00
DD_PRE_11	-2.50	0.32		-0.26	-7.82	0.00

Tabela 152 Modelo de Odivelas às 17:00 horas UTC.

Odivelas 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of the	Durbin-Watson	
0.81	0.66		0.65		13.22	1.68

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	25.08	4.32		5.80	0.00
Entcamp_11	0.18	0.08		0.15	2.20
Beato_11	0.34	0.08		0.30	4.19
pp_11	0.32	0.07		0.28	4.77
Entcamp_DIF8-11	-0.31	0.07		-0.21	-4.37
AI/A_DIF10-11	0.67	0.12		0.27	5.43
M-Mts_DIF10-11	0.47	0.14		0.15	3.30
DD_PRE_11	-2.07	0.39		-0.25	-5.32

Tabela 153 Modelo de Olivais às 13:00 horas UTC.

Olivais 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of the	Durbin-Watson	
0.91	0.83		0.83		10.79	1.70

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	5.64	1.86		3.04	0.00
Lours_11	0.87	0.02		0.73	36.82
M-Mts_DIF8-11	0.29	0.04		0.18	7.40
Escavd_DIF10-11	0.29	0.05		0.12	6.17
QMs_DIF10-11	0.46	0.07		0.16	6.67

Tabela 154 Modelo de Olivais às 14:00 horas UTC.

Olivais 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate		Durbin-Watson	
0.89	0.80	0.79	11.97		1.64	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	1.30	2.43			0.54	0.59
Cham_11	0.16	0.04		0.16	4.17	0.00
Lours_11	0.60	0.05		0.50	13.12	0.00
Arcs_11	0.17	0.04		0.15	4.41	0.00
QMs_DIF10-11	0.86	0.08		0.29	11.47	0.00
HV_DIF10-11	0.14	0.06		0.07	2.56	0.01

Tabela 155 Modelo de Olivais às 15:00 horas UTC.

Olivais 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate		Durbin-Watson	
0.88	0.77	0.77	11.41		1.67	
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	82.44	6.83			12.07	0.00
Lours_11	0.61	0.03		0.56	20.70	0.00
M-Mts_DIF8-11	0.40	0.04		0.29	10.96	0.00
T_MIN_8	-1.55	0.18		-0.22	-8.43	0.00
HR_MED_8	-0.44	0.05		-0.23	-8.36	0.00
Cham_DIF10-11	0.49	0.08		0.16	6.33	0.00
HV_DIF10-11	0.14	0.05		0.07	2.59	0.01

Tabela 156 Modelo de Olivais às 16:00 horas UTC.

Olivais 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson		
0.85	0.72	0.72	12.65	1.77		
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	36.45	4.58		7.96	0.00	
QMs_10	-0.19	0.06		-0.15	-3.41 0.00	
Lours_11	0.70	0.05		0.64	12.85 0.00	
Arcs_11	0.23	0.04		0.22	5.55 0.00	
M-Mts_DIF10-11	0.43	0.11		0.12	4.01 0.00	
Cham_DIF10-11	0.40	0.08		0.15	5.25 0.00	
T_MIN_8	-0.85	0.20		-0.12	-4.31 0.00	
DD_PRE_11	-1.69	0.26		-0.19	-6.43 0.00	

Tabela 157 Modelo de Olivais às 17:00 horas UTC.

Olivais 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson		
0.81	0.66	0.65	13.38	1.85		
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	30.95	4.32		7.17	0.00	
pp_8	0.25	0.05		0.24	5.62 0.00	
Al/A_10	-0.21	0.05		-0.19	-3.92 0.00	
Lours_11	0.68	0.05		0.62	14.40 0.00	
M-Mts_DIF8-11	0.30	0.06		0.22	5.03 0.00	
M-Mts_DIF10-11	0.66	0.13		0.21	5.09 0.00	
T_MIN_8	-1.09	0.20		-0.16	-5.47 0.00	

Tabela 158 Modelo de Paio Pires às 13:00 horas UTC.

Paio Pires 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
0.89	0.79	0.79		10.32	1.56	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	9.86	3.15		3.13	0.00	
Cham_11	0.30	0.04		0.28	6.61	0.00
Arcs_11	0.23	0.05		0.20	4.51	0.00
Al/A_DIF10-11	0.32	0.09		0.13	3.62	0.00
Laranj_DIF10-11	0.62	0.08		0.28	7.67	0.00
HV_DIF10-11	0.41	0.07		0.18	5.63	0.00
NO_11	0.13	0.02		0.20	6.27	0.00
Entcamp_11	0.26	0.05		0.22	5.23	0.00

Tabela 159 Modelo de Paio Pires às 14:00 horas UTC.

Paio Pires 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
0.87	0.76	0.76		14.06	1.29	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	10.58	2.84		3.73	0.00	
Lours_11	0.67	0.05		0.54	12.95	0.00
Cham_11	0.16	0.05		0.16	3.39	0.00
QMs_DIF10-11	0.74	0.10		0.23	7.46	0.00
HV_DIF10-11	0.25	0.07		0.11	3.61	0.00
NO2_11	0.35	0.05		0.20	6.95	0.00

Tabela 160 Modelo de Paio Pires às 15:00 horas UTC.

Paio Pires 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.88	0.78	0.77		13.26	1.46	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	8.90	2.48		3.60	0.00	
pp_11	0.49	0.06		0.41	8.89	
Lours_11	0.35	0.05		0.30	6.62	
QMs_DIF10-11	1.19	0.09		0.36	13.97	
NO2_9	-0.57	0.10		-0.34	-5.83	
NO2_11	1.08	0.11		0.59	9.70	

Tabela 161 Modelo de Paio Pires às 16:00 horas UTC.

Paio Pires 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.92	0.84	0.83		13.88	1.64	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	1.57	2.66		0.59	0.56	
Rest_10	-0.44	0.05		-0.27	-9.77	
Beato_11	0.28	0.05		0.18	5.26	
pp_11	0.91	0.03		0.75	26.95	
Lours_11	0.16	0.06		0.10	2.85	
HV_DIF10-11	0.33	0.07		0.10	4.51	
NO2_9	-0.71	0.10		-0.32	-7.34	
NO2_11	1.28	0.11		0.52	11.87	

Tabela 162 Modelo de Paio Pires às 17:00 horas UTC.

Paio Pires 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson	
0.81	0.66	0.66		15.78	1.83	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	5.63	3.23		1.74	0.08	
Arcs_8	0.36	0.05		0.27	6.72	0.00
Beato_11	0.52	0.05		0.44	10.94	0.00
QMs_DIF10-11	1.20	0.10		0.41	11.89	0.00
Cham_DIF10-11	0.38	0.09		0.13	4.03	0.00
NO_11	0.09	0.02		0.13	4.20	0.00

Tabela 163 Modelo de Quinta do Marquês às 13:00 horas UTC.

Quinta do Marquês 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	of the Durbin-Watson	
0.91	0.83	0.83		10.38	1.57	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	4.52	2.11		2.14	0.03	
Rest_9	-0.18	0.04		-0.15	4.64	0.00
QMs_9	0.23	0.05		0.18	4.36	0.00
Lours_11	0.34	0.04		0.29	7.74	0.00
M-Mts_11	0.52	0.04		0.45	11.77	0.00
QMs_DIF10-11	1.03	0.08		0.36	12.98	0.00

Tabela 164 Modelo de Quinta do Marquês às 14:00 horas UTC.

Quinta do Marquês 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.92	0.84	0.84	10.24	1.77		
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	19.18	3.34		5.75	0.00	
M-Mts_11	0.68	0.03		0.58	22.20	
Arcs_11	0.20	0.03		0.17	6.35	
AI/A_DIF10-11	0.52	0.07		0.19	7.75	
QMs_DIF10-11	0.81	0.07		0.27	11.27	
T_MIN_8	-0.88	0.14		-0.12	-6.10	

Tabela 165 Modelo de Quinta do Marquês às 15:00 horas UTC.

Quinta do Marquês 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.90	0.80	0.80	11.09	1.70		
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	31.28	3.73		8.39	0.00	
Rest_9	0.06	0.04		0.06	1.63	
Beato_11	0.30	0.05		0.25	5.52	
Lours_11	0.36	0.05		0.32	6.99	
Arcs_11	0.11	0.04		0.11	3.14	
QMs_DIF10-11	1.07	0.08		0.35	12.72	
NO2_11	0.47	0.05		0.26	9.22	
T_MIN_8	-1.25	0.16		-0.17	-7.64	

Tabela 166 Modelo de Quinta do Marquês às 16:00 horas UTC.

Quinta do Marquês 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.87	0.76	0.75	12.29	1.96		
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	52.90	3.78		14.01	0.00	
Lours_11	0.41	0.05		0.36	8.72	
Beato_11	0.35	0.05		0.31	7.63	
AI/A_DIF10-11	0.33	0.07		0.13	4.84	
NO2_11	0.44	0.05		0.24	8.34	
T_MIN_8	-1.27	0.17		-0.17	-7.49	
Dif_HR_mim_9	0.75	0.14		0.12	5.18	
DD_PRE_11	-1.50	0.26		-0.16	-5.79	

Tabela 167 Modelo de Quinta do Marquês às 17:00 horas UTC.

Quinta do Marquês 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.84	0.71	0.71	12.72	1.96		
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	31.58	3.82		8.27	0.00	
Beato_11	0.30	0.04		0.28	7.23	
QMs_11	0.56	0.04		0.48	12.71	
NO2_11	0.71	0.04		0.41	15.76	
T_MED_9	-1.06	0.16		-0.16	-6.62	
Dif_HR_mim_9	0.63	0.14		0.11	4.38	

Tabela 168 Modelo de Reboleira às 13:00 horas UTC.

Reboleira 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of the	Durbin-Watson	
0.93	0.87	0.87		9.17	1.55	

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	0.74	1.58		0.47	0.64
QMs_11	0.24	0.04		0.19	5.48
Reb_11	0.69	0.04		0.60	16.24
Olvs_DIF8-11	0.14	0.03		0.12	5.36
NO2_11	0.49	0.03		0.33	15.28

Tabela 169 Modelo de Reboleira às 14:00 horas UTC.

Reboleira 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R Std. Estimate	Error of the	Durbin-Watson	
0.88	0.77	0.77		11.65	1.62	

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	6.49	2.07		3.14	0.00
QMs_11	0.60	0.04		0.52	15.39
Olvs_11	0.30	0.04		0.27	7.93
NO2_11	0.51	0.03		0.33	15.07

Tabela 170 Modelo de Reboleira às 15:00 horas UTC.

Reboleira 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.87	0.76	0.76	12.36	1.57		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	5.33	2.22		2.40	0.02	
Lours_11	0.57	0.04		0.49	13.86	0.00
Arcs_11	0.28	0.04		0.27	7.57	0.00
Laranj_DIF10-11	0.25	0.07		0.10	3.75	0.00
NO2_11	0.60	0.05		0.32	12.53	0.00

Tabela 171 Modelo de Reboleira às 16:00 horas UTC.

Reboleira 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.88	0.77	0.77	11.67	1.78		
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	30.47	4.12		7.39	0.00	
Al/A_10	-0.28	0.04		-0.24	-7.10	0.00
Entcamp_11	0.24	0.04		0.20	5.44	0.00
Reb_11	0.80	0.05		0.69	16.23	0.00
T_MIN_8	-1.16	0.16		-0.15	-7.06	0.00
NO2_11	0.58	0.04		0.36	12.99	0.00
DD_PRE_11	-0.78	0.25		-0.08	-3.16	0.00
Dif_T_max_11	1.70	0.65		0.06	2.61	0.01
FF_MED_10	1.63	0.38		0.10	4.31	0.00

Tabela 172 Modelo de Reboleira às 17:00 horas UTC.

Reboleira 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.82	0.68	0.67	14.19	1.72		
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	26.39	4.26		6.20	0.00	
Lours_10	0.41	0.05		0.33	7.45	
Beato_11	0.40	0.05		0.36	7.87	
QMs_DIF10-11	0.89	0.09		0.31	10.02	
T_MIN_8	-0.83	0.20		-0.11	-4.10	
NO2_10	0.22	0.04		0.16	5.01	

Tabela 173 Modelo de Restelo às 13:00 horas UTC.

Restelo 13:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson		
0.94	0.88	0.88	9.30	1.72		
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	0.66	1.62		0.41	0.68	
Rest_11	0.94	0.02		0.81	48.07	
QMs_DIF10-11	0.49	0.06		0.16	8.53	
NO2_11	0.81	0.04		0.41	21.45	

Tabela 174 Modelo de Restelo às 14:00 horas UTC.

Restelo 14:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	of the	Durbin-Watson	
0.92	0.84	0.84		11.11	1.65	
	Unstandardized Coefficients	Std. Error	Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B		Beta			
(Constant)	0.59	2.00		0.30	0.77	
Rest_11	0.92	0.02		0.74	37.72	0.00
QMs_DIF10-11	0.62	0.07		0.20	8.98	0.00
NO2_11	0.96	0.05		0.45	20.19	0.00

Tabela 175 Modelo de Restelo às 15:00 horas UTC.

Restelo 15:00 horas						
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	of the	Durbin-Watson	
0.88	0.78	0.78		13.12	1.52	
	Unstandardized Coefficients	Std. Error	Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B		Beta			
(Constant)	11.89	3.05		3.90	0.00	
Lours_11	0.13	0.04		0.11	3.03	0.00
Rest_11	0.69	0.05		0.56	15.12	0.00
QMs_DIF10-11	0.65	0.09		0.20	7.51	0.00
NO2_11	0.71	0.06		0.34	11.43	0.00
NO_8	0.11	0.02		0.11	4.70	0.00
DD_PRE_11	-1.12	0.27		-0.11	-4.07	0.00

Tabela 176 Modelo de Restelo às 16:00 horas UTC.

Restelo 16:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
0.76	0.58	0.58		17.43	1.07	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	16.03	3.52		4.55	0.00	
Beato_11	0.49	0.06		0.39	8.70	0.00
QMs_DIF10-11	1.16	0.12		0.38	9.68	0.00
HV_DIF10-11	0.33	0.08		0.15	4.07	0.00
Arcs_8	0.25	0.06		0.20	4.44	0.00
Cham_DIF10-11	0.36	0.11		0.12	3.34	0.00

Tabela 177 Modelo de Restelo às 17:00 horas UTC.

Restelo 17:00 horas						
R	R Square	Adjusted Square	R	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson	
0.83	0.68	0.67		14.23	1.79	
Unstandardized Coefficients						
	B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	
(Constant)	8.11	4.20		1.93	0.05	
Laranj_9	0.27	0.10		0.22	2.80	0.01
Al/A_10	-0.40	0.10		-0.35	-4.03	0.00
Lours_11	0.44	0.10		0.37	4.32	0.00
Beato_11	0.56	0.09		0.47	6.10	0.00
pp_DIF8-11	-0.22	0.08		-0.17	-2.89	0.00
HV_DIF10-11	0.50	0.11		0.22	4.57	0.00
QMs_DIF10-11	0.52	0.14		0.19	3.69	0.00
Cham_DIF10-11	0.38	0.12		0.14	3.14	0.00
NO_11	0.10	0.03		0.16	3.67	0.00
Dif_HR_max_8	1.06	0.34		0.13	3.17	0.00

Anexo V. Tabelas de capacidade de previsão de excedência

Tabela 178 Capacidade de previsão de excedências para a estação Alfragide/ Amadora.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Alfragide/ Amadora						
13:00 Horas	1	1	1	0	0	3
14:00 Horas	0	0	0	0	0	4
15:00 Horas	0	1	1	0	0	3
16:00 Horas	0	1	1	0	0	3
17:00 Horas	0	0	0	0	0	0

Tabela 179 Capacidade de previsão de excedências para a estação Arcos.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Arcos						
13:00 Horas	3	3	1	0	0	0
14:00 Horas	5	3	4	0	0	0
15:00 Horas	4	2	6	0	0	0
16:00 Horas	6	2	10	0	0	0
17:00 Horas	2	1	4	0	0	0

Tabela 180 Capacidade de previsão de excedências para a estação Beato.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Beato						
13:00 Horas	4	2	8	0	1	0
14:00 Horas	2	1	4	0	1	0
15:00 Horas	3	1	1	1	1	1
16:00 Horas	3	0	2	0	0	2
17:00 Horas	0	0	1	0	2	0

Tabela 181 Capacidade de previsão de excedências para a estação Camarinha.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Camarinha						
13:00 Horas	1	0	2	0	0	1
14:00 Horas	1	2	2	0	0	1
15:00 Horas	1	2	4	0	0	1
16:00 Horas	4	2	3	0	0	2
17:00 Horas	0	0	9	0	0	2

Tabela 182 Capacidade de previsão de excedências para a estação Chamusca.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Chamusca						
13:00 Horas	12	2	8	1	0	1
14:00 Horas	10	3	4	2	0	1
15:00 Horas	11	4	5	2	0	1
16:00 Horas	10	6	1	0	1	1
17:00 Horas	10	4	11	0	1	1

Tabela 183 Capacidade de previsão de excedências para a estação Escavadeira.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Escavadeira						
13:00 Horas	2	1	0	0	1	1
14:00 Horas	2	1	2	0	0	1
15:00 Horas	1	2	2	0	0	2
16:00 Horas	1	0	4	0	0	2
17:00 Horas	0	1	0	0	0	1

Tabela 184 Capacidade de previsão de excedências para a estação Hospital Velho.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Hospital Velho						
13:00 Horas	3	3	7	0	0	0
14:00 Horas	2	4	7	0	0	0
15:00 Horas	0	2	6	0	0	0
16:00 Horas	1	1	1	0	0	0
17:00 Horas	0	0	0	0	0	0

Tabela 185 Capacidade de previsão de excedências para a estação Laranjeiro.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Laranjeiro						
13:00 Horas	0	1	3	0	0	1
14:00 Horas	0	0	1	0	0	1
15:00 Horas	1	1	3	0	0	2
16:00 Horas	0	0	2	0	0	1
17:00 Horas	0	0	0	0	0	1

Tabela 186 Capacidade de previsão de excedências para a estação Loures.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Loures						
13:00 Horas	4	4	1	0	1	1
14:00 Horas	3	1	6	0	1	2
15:00 Horas	1	1	2	0	0	2
16:00 Horas	1	0	4	0	0	1
17:00 Horas	1	0	2	0	0	1

Tabela 187 Capacidade de previsão de excedências para a estação Mem-Martins.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Mem-Martins						
13:00 Horas	3	0	3	0	0	1
14:00 Horas	1	3	3	0	0	1
15:00 Horas	1	5	3	0	1	0
16:00 Horas	1	2	8	0	0	0
17:00 Horas	0	2	7	0	0	0

Tabela 188 Capacidade de previsão de excedências para a estação Odivelas.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Odivelas						
13:00 Horas	3	0	0	0	1	3
14:00 Horas	1	1	0	0	0	3
15:00 Horas	0	0	0	0	0	3
16:00 Horas	0	0	2	0	0	2
17:00 Horas	0	0	0	0	2	1

Tabela 189 Capacidade de previsão de excedências para a estação Olivais.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Olivais						
13:00 Horas	3	1	2	0	0	1
14:00 Horas	3	1	5	0	0	1
15:00 Horas	1	1	1	0	0	2
16:00 Horas	0	1	2	0	0	1
17:00 Horas	0	0	0	0	0	1

Tabela 190 Capacidade de previsão de excedências para a estação Paio Pires.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Paio Pires						
13:00 Horas	0	0	1	1	0	0
14:00 Horas	5	3	4	1	0	0
15:00 Horas	4	1	4	0	2	0
16:00 Horas	3	2	3	0	2	0
17:00 Horas	1	0	4	0	1	0

Tabela 191 Capacidade de previsão de excedências para a estação Quinta do Marquês.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Quinta do Marquês						
13:00 Horas	1	2	2	0	0	2
14:00 Horas	0	1	4	0	0	2
15:00 Horas	1	2	1	0	0	2
16:00 Horas	1	1	1	0	0	2
17:00 Horas	0	0	2	0	0	2

Tabela 192 Capacidade de previsão de excedências para a estação Reboleira.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Reboleira						
13:00 Horas	4	0	3	1	0	0
14:00 Horas	1	2	1	1	0	0
15:00 Horas	0	0	1	0	0	1
16:00 Horas	1	0	2	0	0	0
17:00 Horas	0	0	2	0	0	1

Tabela 193 Capacidade de previsão de excedências para a estação Restelo.

Excedências	Fase de Treino			Validação		
	Correctas	Incorrectas	Não Previstas	Correctas	Incorrectas	Não Previstas
Restelo						
13:00 Horas	1	3	1	0	0	1
14:00 Horas	2	1	2	0	0	1
15:00 Horas	2	0	2	1	0	1
16:00 Horas	2	2	0	0	0	0
17:00 Horas	0	0	1	0	0	0

Anexo VI. Gráficos da fase de validação (casos específicos)

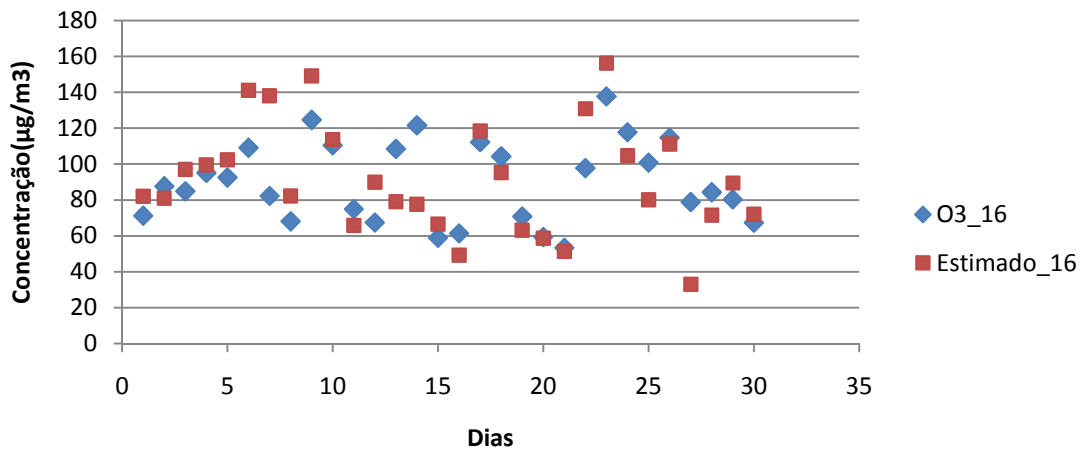


Figura 69: Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Arcos às 16:00.

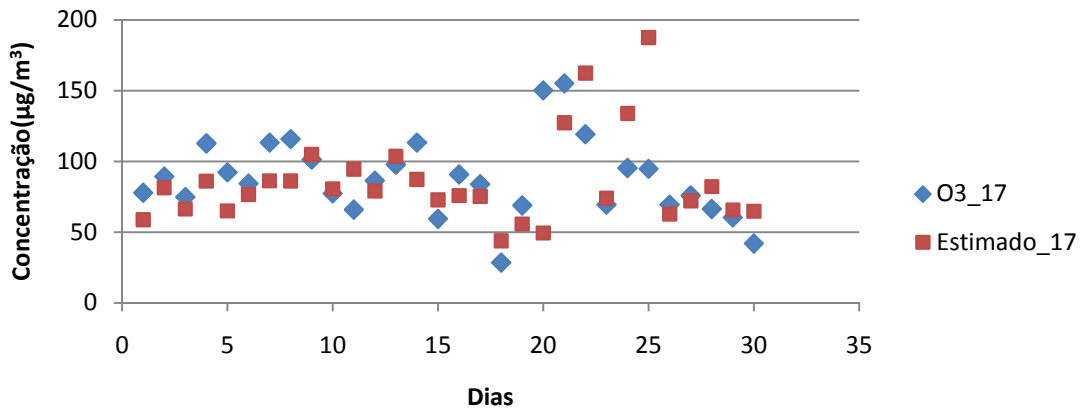


Figura 70 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Beato às 17:00.

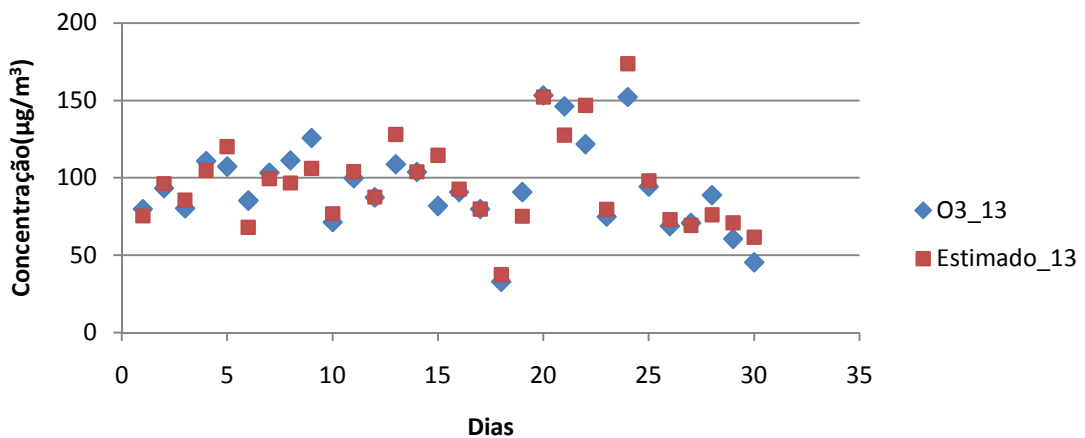


Figura 71 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Camarinha às 13:00.

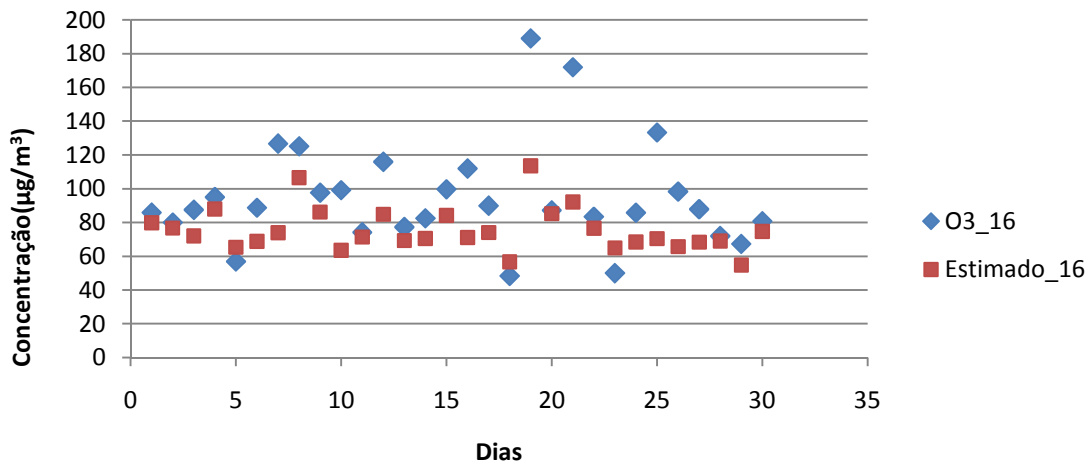


Figura 72 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Camarinha às 16:00.

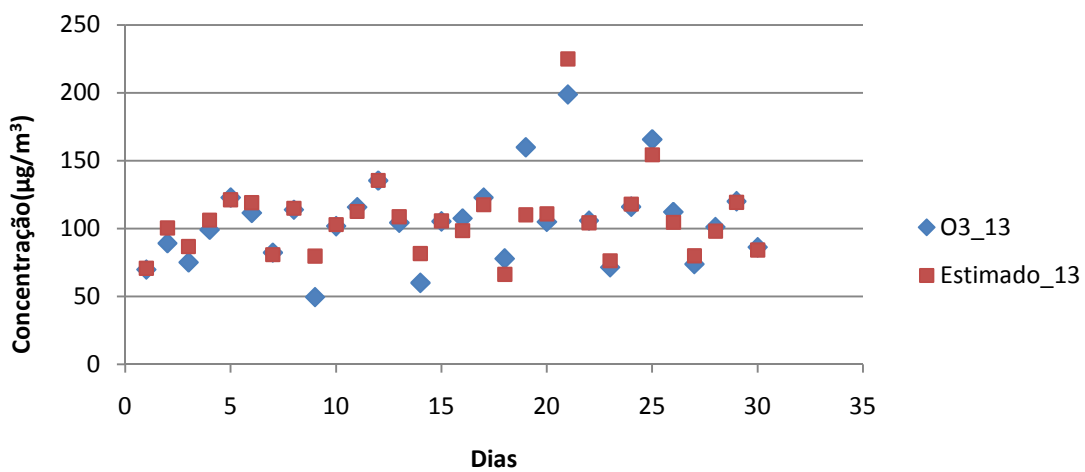


Figura 73 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Chamusca às 13:00.

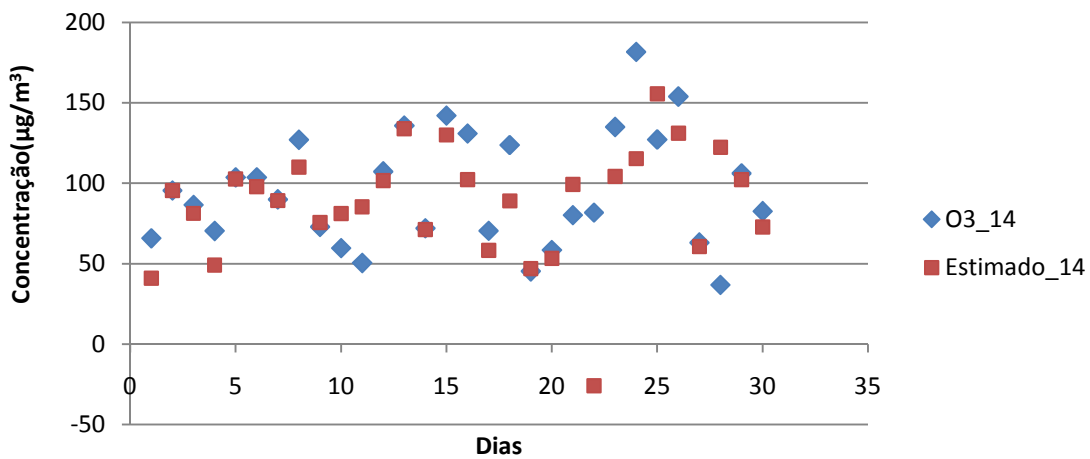


Figura 74 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Escavadeira às 14:00.

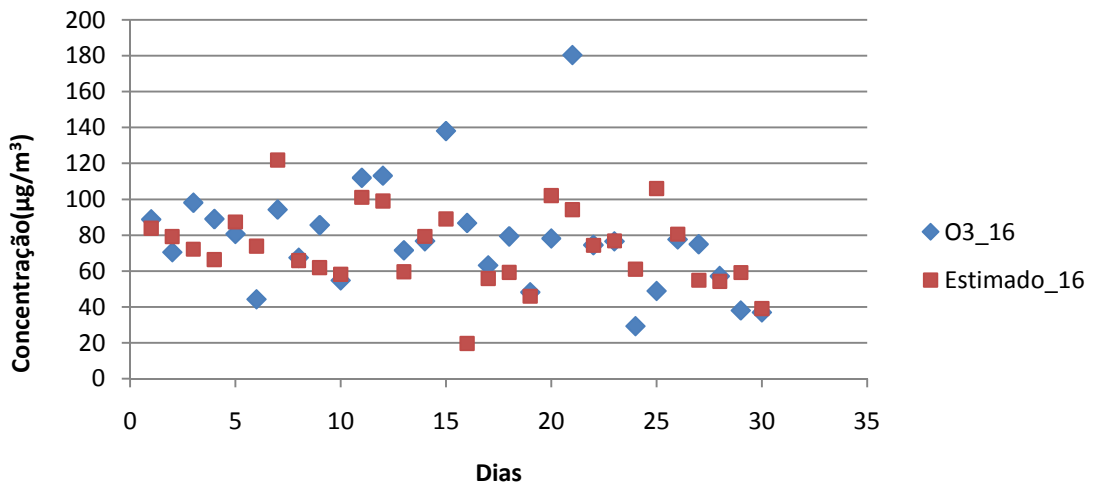


Figura 75 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Hospital Velho às 16:00.

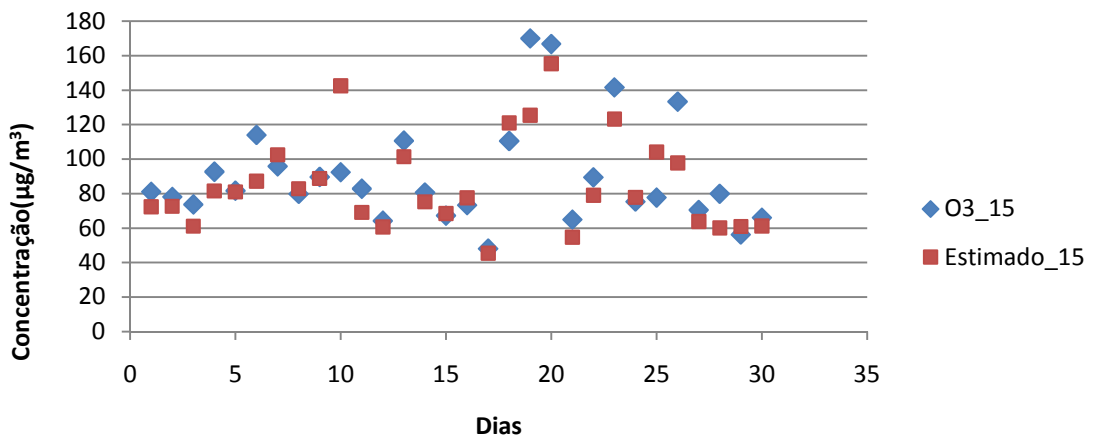


Figura 76 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Laranjeiro às 15:00.

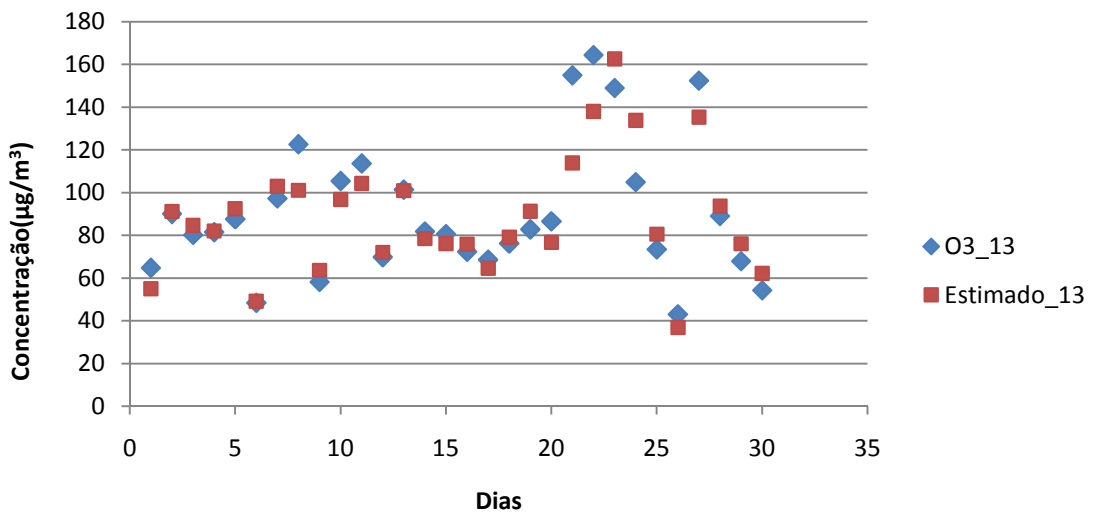


Figura 77 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Loures às 13:00.

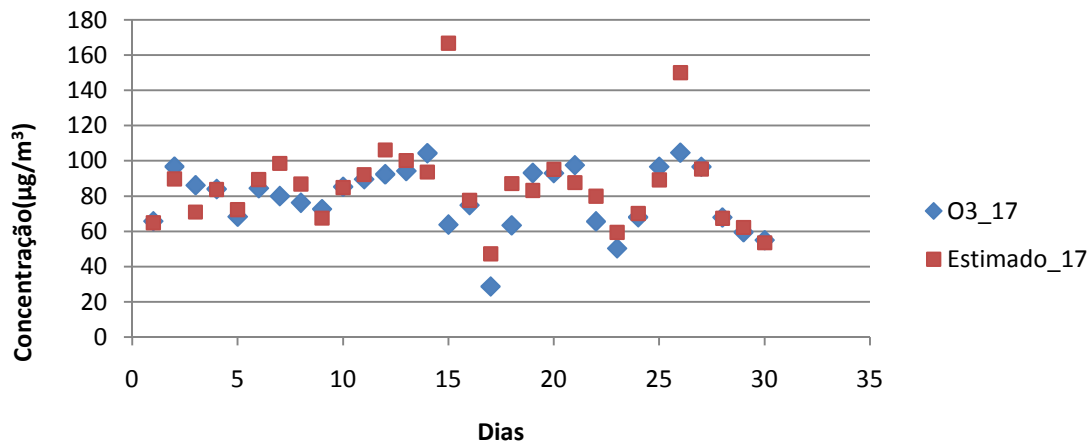


Figura 78 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Paio Pires às 17:00.

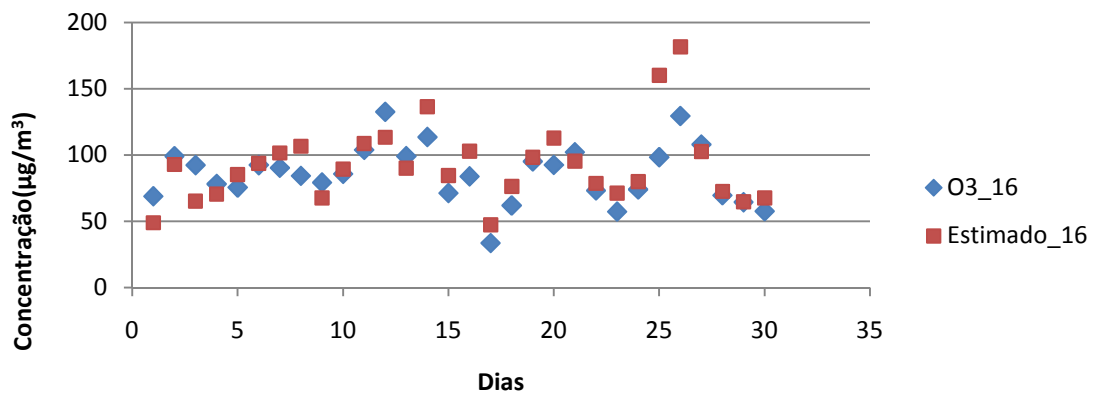


Figura 79 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Paio Pires às 16:00.

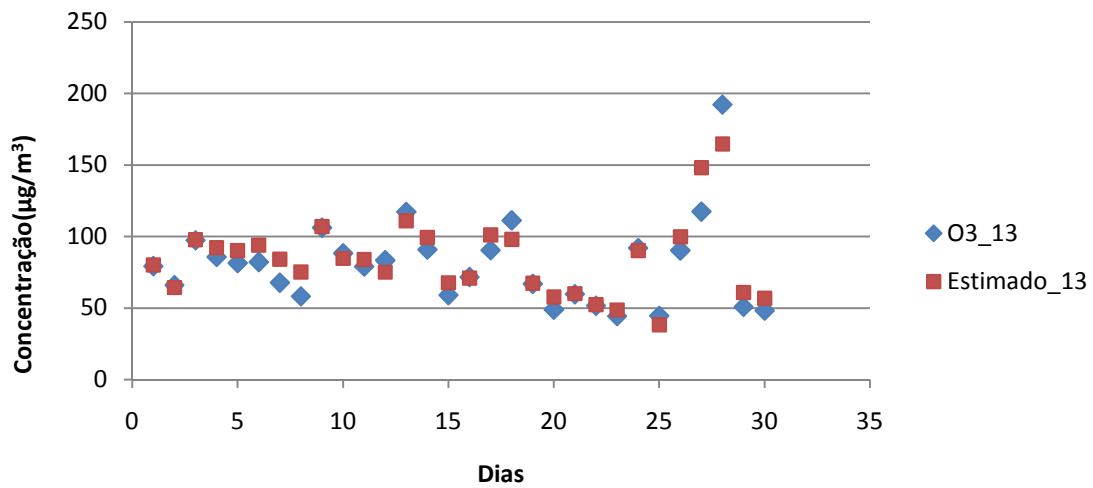


Figura 80 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Reboleira às 13:00.

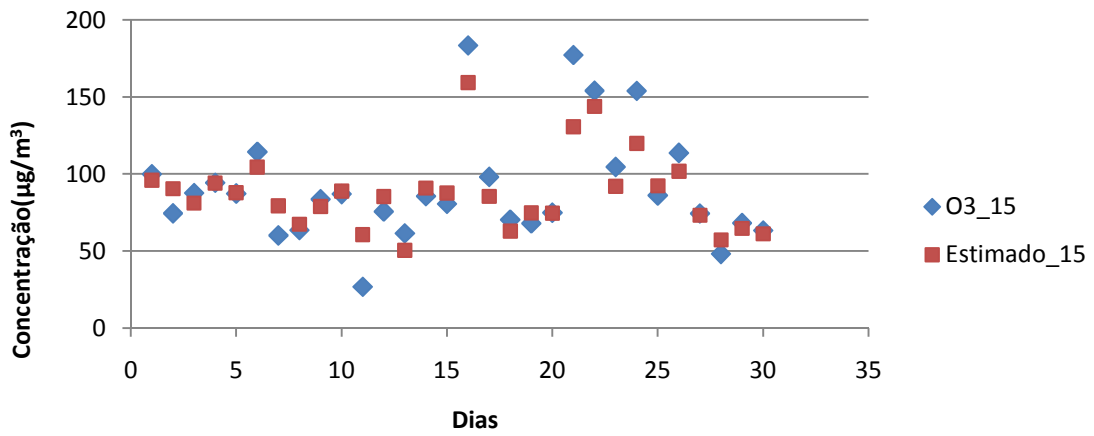


Figura 81 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Quinta do Marquês às 15:00.

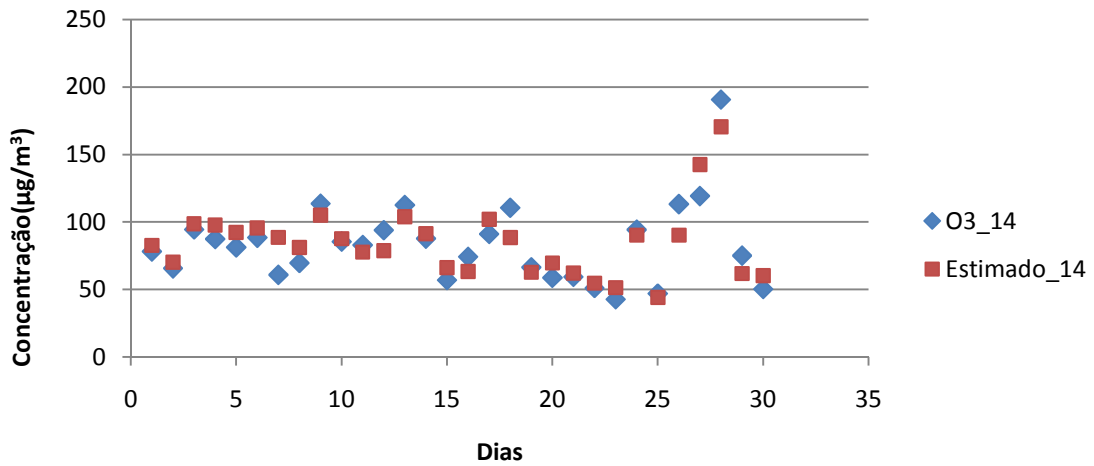


Figura 82 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Reboleira às 14:00.

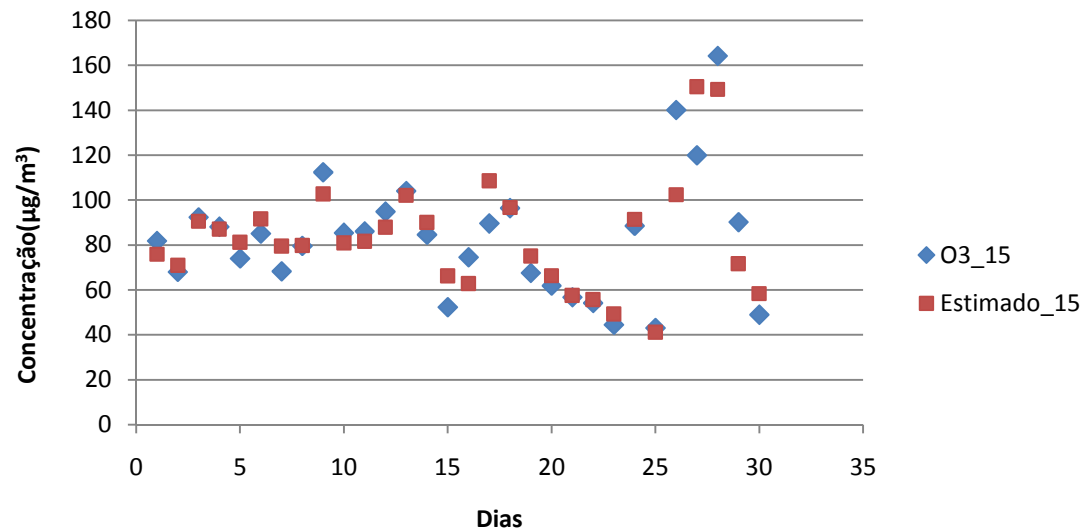


Figura 83 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Reboleira às 15:00.

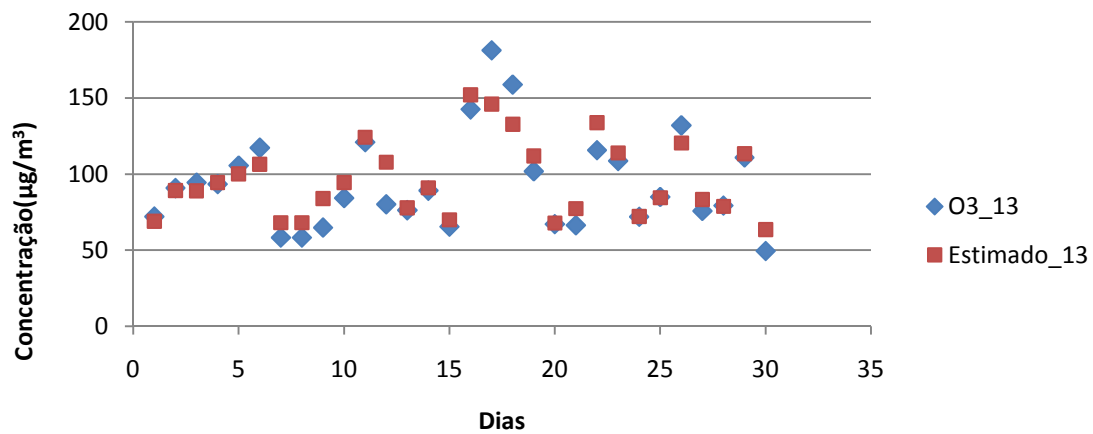


Figura 84 Concentração observada e estimada, para a fase de validação, para a estação de Restelo às13:00.