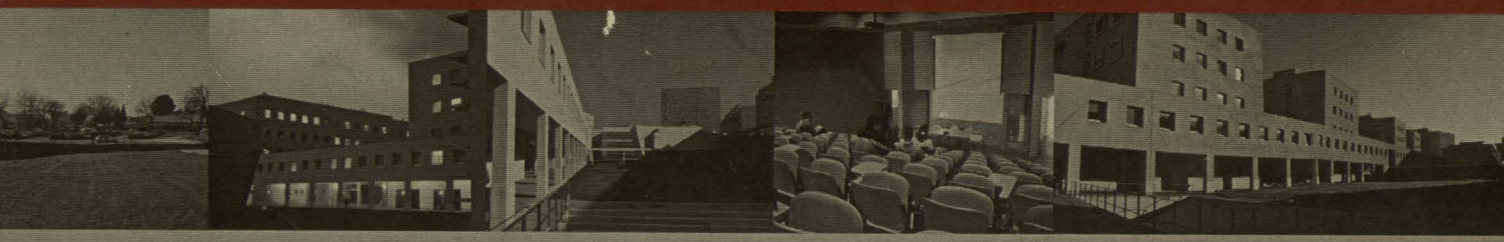
Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP



Rita C. Monteiro dos Santos

Avaliação da Qualidade do Ar na Área Metropolitana do Porto, 1999 - 2001

MEA
Porto, 2003

MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR NA ÁREA METROPOLITANA DO PORTO 1999 - 2001

Rita Cristina Monteiro dos Santos

Licenciada em Engenharia Química pelo Instituto Superior Técnico
(Universidade Técnica de Lisboa)

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em

Engenharia do Ambiente

(Ramo de Gestão e Tratamento de Resíduos Industriais)

Orientador: Professora Doutora Maria do Carmo Pereira

Co-orientador: Professora Doutora Maria da Conceição M. Alvim Ferraz

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Porto, 2003

UNIVERSIDADE DO PORTO
Faculdade de Engenharia
BIBLIOTECA M
N.º 67205
CDU 62.8.5(043)
Data 15 / 7 / 2003

...à minha filha Inês...

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento muito especial à Professora Maria do Carmo, pelo acompanhamento, disponibilidade, paciência e principalmente pela amizade com que sempre fez a orientação eficaz desta tese.

Não posso também deixar de agradecer à minha amiga Carla Gaspar, que esteve sempre presente em alguns momentos difíceis deste mestrado.

Agradeço também à Professora Conceição Alvim Ferraz, a co-orientação eficiente.

Por fim, quero mandar um grande beijo à minha família, ao meu marido, à milha filha, aos meus pais, irmão e avó, que sempre me apoiaram e que fizeram tudo para facilitar a realização deste trabalho.

RESUMO

O ar é um dos recursos naturais essenciais à Vida, e os impactos negativos resultantes da poluição atmosférica na saúde Humana, vegetação e ecossistemas são suficientemente elevados para tornar premente a necessidade de proceder a uma correcta avaliação da qualidade do ar.

Assim, e para estabelecer uma estratégia correcta de Gestão da Qualidade do Ar é objectivo deste trabalho fazer uma análise da qualidade do ar na Área Metropolitana do Porto através da aplicação da nova legislação nacional, Decreto-Lei n.º 111/2002, e compará-la com a legislação cessante, Portaria n.º 286/93, para cada poluente em estudo (partículas em suspensão, dióxido de enxofre, óxidos de azoto, monóxido de carbono), para o período de 1999 – 2001. Relativamente ao ozono, a comparação foi efectuada entre a Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho 2000/3/CE e a legislação portuguesa ainda em vigor, Portaria 623/96. Adicionalmente, foi efectuado o estudo do comportamento destes poluentes na Área Metropolitana do Porto, avaliando-se os seus perfis diários e sazonalidade.

Pode-se concluir que a nova legislação Portuguesa é mais restritiva para as partículas em suspensão, óxidos de azoto e dióxido de enxofre do que a legislação cessante. Pelo contrário, conclui-se que para o monóxido de carbono a nova legislação é mais permissiva do que a legislação cessante. Relativamente ao ozono, verifica-se que a aplicação da Directiva Comunitária 2002/3/CE dá origem a mais incumprimentos do limiar de alerta. Contudo, a aplicação da Portaria n.º 623/96 actualmente em vigor é mais restritiva relativamente aos limites definidos a longo prazo.

Foi ainda possível concluir que a qualidade do ar da Área Metropolitana do Porto é profundamente influenciada pelas emissões do tráfego automóvel e que as partículas em suspensão e o ozono são os poluentes que merecem especial atenção.

ABSTRACT

Air, is one of natural resources fundamental to life. The negative impacts in Human health, vegetation and ecosystems resulting from atmospheric pollution are highly enough to start a correct air evaluation.

Therefore, to establish a correct strategy for Air Quality Management, the aim of this work was to do the Oporto Metropolitan Area air quality analysis with the application of the new national legislation, Decreto-Lei n.º 111/2002, and compare it with the old legislation, Portaria n.º 286/93, for each of the studied pollutants (suspended particles, sulphur dioxide, nitrogen oxides, carbon monoxide) between 1999 and 2001. For the ozone, the comparison was made between de European Directive 2000/3/CE and the Portuguese legislation, Portaria 623/96. Additionally, it was analysed daily, monthly and annual patterns of those pollutants.

It was concluded that the new Portuguese legislation is more restrictive to suspended particles, sulphur dioxide and nitrogen oxides. On the other hand, this legislation is more permissive to carbon monoxide than the older legislation. Concerning ozone, by the European Directive application the imposed thresholds were exceeded more often than with actual Portuguese legislation. On the other hand, limit values were more times exceeded when applying actual Portuguese legislation.

It was also concluded that the Oporto Metropolitan Area air quality is highly influenced by motor traffic emissions and it should be given a special attention to suspended particles and ozone pollutants.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS II

RESUMO III

ABSTRACT IV

ÍNDICE DE TABELAS VII

ÍNDICE DE FIGURAS IX

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS XI

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 1

1.2 POLUIÇÃO 4

1.3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA 6

1.3.1 A Atmosfera 8

1.3.2 Fontes de Emissão e Exposição 11

1.3.2.1 Sector dos transportes 13

1.3.2.2 Sector industrial 17

1.3.3 Poluentes Atmosféricos 18

1.3.3.1 Partículas 19

1.3.3.2 Compostos de enxofre 23

1.3.3.3 Óxidos de azoto 25

1.3.3.4 Ozono troposférico 28

1.3.3.5 Monóxido e dióxido de carbono 31

1.3.3.6 Chumbo 33

1.3.3.7 Benzeno 35

1.3.3.8 Outros compostos orgânicos presentes na atmosfera 35

1.3.4 Efeitos Globais 38

1.3.4.1 Efeito de estufa 38

1.3.4.2 Acidificação 43

1.3.4.3 Degradação da camada de ozono estratosférico 45

1.4 GESTÃO DA QUALIDADE DO AR EM PORTUGAL 49

1.5 ASPECTOS LEGISLATIVOS 52

1.6 QUALIDADE DO AR NA ÁREA METROPOLITANA DO PORTO 65

2. REDE DE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR DA ÁREA METROPOLITANA DO PORTO 66

2.1 ZONAS E AGLOMERAÇÕES 67

2.2 Área Metropolitana do Porto 69

2.3 Rede de Medição da Qualidade do Ar na AMP 71

3. RESULTADOS 75

3.1 Eficiências 75

3.2 Avaliação da Qualidade do Ar Face à Legislação Nacional 77

3.2.1 Partículas em Suspensão – PM_{10} 78

3.2.2 Dióxido de Enxofre 82

3.2.3 Óxidos de Azoto – NO e NO_2 89

3.2.4 Ozono 94

3.2.5 Monóxido de Carbono 102

3.2.6 Limiares de Avaliação 107

3.2.6.1 Partículas em suspensão – PM_{10} 108

3.2.6.2 Dióxido de enxofre 110

3.2.6.3 Óxidos de azoto – NO e NO_2 112

3.2.6.4 Monóxido de carbono 114

3.3 Variação dos Poluentes na AMP 116

3.3.1 Partículas em Suspensão – PM_{10} 116

3.3.2 Dióxido de Enxofre 120

3.3.3 Dióxido de Azoto e Monóxido de Carbono 121

3.3.4 Ozono 122

4. CONCLUSÃO 130

Referências Bibliográficas 132

Anexo 1 A1

Anexo 2 A6

Anexo 3 A10

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Principais cimeiras realizadas sobre o Desenvolvimento Sustentável 2

Tabela 2. Compostos tóxicos para a saúde humana 5

Tabela 3. Concentração dos gases atmosféricos no ar seco e limpo ao nível do solo 8

Tabela 4. Constituintes das partículas atmosféricas e principais fontes de emissão 21

Tabela 5. Programa *Auto-oil* para redução do teor de enxofre nos combustíveis de queima 24

Tabela 6. Emissões de NO_x em instalações industriais (mg/Nm^3) 27

Tabela 7. Principais utilizações, fontes de emissão e de exposição dos compostos orgânicos presentes na atmosfera 36

Tabela 8. Potencial de aquecimento global para GEE constantes do Protocolo de Quioto 40

Tabela 9. Linhas de orientação sobre poluição atmosférica em Portugal 52

Tabela 10. Valores limites ($\mu g/m^3$) – Portaria nº 286/93 54

Tabela 11. Limiares para as concentrações atmosféricas de O_3 ($\mu g/m^3$) – Portaria nº 623/96 56

Tabela 12. Taxa mínima de recolha de dados 58

Tabela 13. Valores limites ($\mu g/m^3$) para as PM_{10} 58

Tabela 14. Valores limites ($\mu g/m^3$) para o SO_2 58

Tabela 15. Valores limites ($\mu g/m^3$) para o NO_2 e NO_x 59

Tabela 16. Valores limites (mg/m^3) para o CO 59

Tabela 17. Valores limites ($\mu g/m^3$) para o Pb 59

Tabela 18. Valores limites ($\mu g/m^3$) para o benzeno 59

Tabela 19. Substâncias precursoras do ozono 60

Tabela 20. Valores alvo aplicáveis ao ozono 61

Tabela 21. Objectivos a longo prazo para o ozono 62

Tabela 22. Limiares de informação e de alerta aplicáveis ao ozono 62

Tabela 23. Limiares superior e inferior de avaliação ($\mu g/m^3$) para as PM_{10} 63

Tabela 24. Limiares superior e inferior de avaliação ($\mu g/m^3$) para o SO_2 64

Tabela 25. Limiares superior e inferior de avaliação ($\mu g/m^3$) para o NO_2 e NO_x 64

Tabela 26. Limiares superior e inferior de avaliação ($\mu g/m^3$) para o CO 64

Tabela 27. Limiares superior e inferior de avaliação ($\mu g/m^3$) para o Pb 64

Tabela 28. Limiares superior e inferior de avaliação ($\mu g/m^3$) para o benzeno 65

Tabela 29. Caracterização dos concelhos pertencentes à AMP 69

Tabela 30. Caracterização das estações da RMQAr 72

Tabela 31. Metodologias analíticas 73

Tabela 32. Eficiência dos analisadores automáticos (%) 75

Tabela 33. Médias horária e diária máximas, média anual, P50 e P98 para as PM_{10} ($\mu g/m^3$) 78

Tabela 34. Frequência de ultrapassagem do valor limite para protecção da saúde – PM_{10} 79

Tabela 35. Médias horárias e diárias máximas, média anual, P50 e P98 para o SO_2 ($\mu g/m^3$) 83

Tabela 36. Frequência de ultrapassagem dos valores limites para protecção da saúde humana – SO_2. 85

Tabela 37. Frequência de ultrapassagem do limiar de alerta – SO_2 85

Tabela 38. Frequência de ultrapassagem do valor guia – SO_2 88

Tabela 39. Médias horárias e diárias máximas, média anual, P50 e P98 para o NO_2 ($\mu g/m^3$) 89

Tabela 40. Frequência de ultrapassagem dos valores limites para protecção da saúde humana – NO_2 90

Tabela 41. Frequência de ultrapassagem do limiar de alerta – NO_2 91

Tabela 42. Máximo, P50 e P98 das médias horárias, octo-horárias e diárias, média anual para o O_3 ($\mu g/m^3$) 95

Tabela 43. Frequência de ultrapassagem do limiar de informação – O_3 96

Tabela 44. Frequência de ultrapassagem do limiar de alerta – O_3 97

Tabela 45. Frequência de ultrapassagem do valor-alvo para protecção da saúde humana – O_3 98

Tabela 46. Frequência de ultrapassagem dos limiares – O_3 101

Tabela 47. Médias horária, octo-horária e diária máximas, média anual, P50 e P98 para o CO ($\mu g/m^3$). 104

Tabela 48. Frequência de ultrapassagem do valor guia - CO 107

Tabela 49. Frequência de ultrapassagem dos limiares de avaliação – PM_{10} 109

Tabela 50. Frequência de ultrapassagem dos limiares para protecção da saúde humana – SO_2 111

Tabela 51. Frequência de ultrapassagem dos limiares para protecção da saúde humana – NO_2 113

Tabela 52. Coeficientes de correlação obtidos nas diferentes estações para as PM10 nos anos de 1999, 2000 e 2001 119

Tabela 53. Coeficientes de correlação obtidos nas diferentes estações para as O_3 nos anos de 1999, 2000 e 2001 126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A interligação entre as actividades humanas e a natureza 1

Figura 2. Interligação entre matrizes ambientais 4

Figura 3. Diferentes escalas de poluição atmosférica 7

Figura 4. Estrutura da atmosfera da Terra segundo um eixo vertical 9

Figura 5. (a) Fontes primárias de energia; (b) Energia final consumida por sectores (os valores de 2005 a 2010 são projecções da DGE) 13

Figura 6. (a) Emissões em função do tipo de combustível durante: produção e utilização nos veículos motorizados; (b) Emissão de partículas em Londres 1995/96 14

Figura 7. (a) Densidade de veículos de passageiros (histórico e previsões) para os países de densidade média da UE15; (b) Novos registos de viaturas de passageiros em Portugal – dados disponíveis e previsões 17

Figura 8. (a) Distribuição das concentrações e NO_x e SO_2 em Portugal Continental (máximo das campanhas nacionais recorrendo a amostragem por difusão – Julho de 2000 e Maio de 2001); (b) Localização das Grandes Unidades de Combustão. 18

Figura 9. Tamanhos de partículas em μm 19

Figura 10. Emissão de partículas na UE em 1998 22

Figura 11. Retenção de partículas nos pulmões em função da sua dimensão 23

Figura 12. Fontes antropogénicas de emissão de SO_2 em Portugal em 1999 25

Figura 13. Fontes antropogénicas de emissão de NO_x em Portugal em 1999 27

Figura 14. Evolução dos precursores do ozono na UE até 1998 30

Figura 15. Fontes antropogénicas de emissão de (a) CO e (b) CO_2, em Portugal em 1999 32

Figura 16. Evolução do consumo de gasolina sem chumbo na UE até 1998 34

Figura 17. (a) Contribuição dos gases de estufa para as alterações climáticas; (b) emissões de GEE em 1990 e 1995 por categoria de fonte emissora, estimativa para 2000 e meta para 201 41

Figura 18. Temperaturas médias mínima e máxima anuais durante as últimas décadas nas cidades: (a) Lisboa e (b) Porto 42

Figura 19. Contribuição dos GEE para a acidificação 45

Figura 20. Variação da concentração de O_3 com a altitude na atmosfera 45

Figura 21. Metodologia integrada de gestão da qualidade do ar em Portugal 49

Figura 22. Ciclo de gestão do ar de acordo com a estrutura DPSIR 51

Figura 23. Gestão da qualidade do ar com base na exposição humana 51

Figura 24. Métodos utilizados para medir e/ ou estimar o teor de um poluente no ar ambiente 63

Figura 25. Localização da rede de medição da qualidade do ar (DGA) 66

Figura 26. Identificação de zonas e aglomerações para Portugal Continental e Regiões Autónomas 68

Figura 27. Caracterização da AMP relativamente a: temperatura média, precipitação, hipsometria, consumo doméstico e industrial de electricidade e taxa de motorização 70

Figura 28. Localização das estações que integram a RMQAr da AMP 71

Figura 29. Pormenor da estação de Custóias 73

Figura 30. Estrutura da rede de medida da qualidade do ar na AMP 74

Figura 31. Concentrações médias diárias de PM_{10} e respectivo valor limite de protecção da saúde – 2000 79

Figura 32. Média anual dos valores médios horários de PM_{10} e respectivos valores limite. 80

Figura 33. Média aritmética dos valores médios diários de PM_{10} e respectivo valor limite 81

Figura 34. P95 dos valores médios diários de PM_{10} e respectivo valor limite 81

Figura 35. Concentrações médias horárias de SO_2 e respectivos valores limites para protecção da saúde e limiar de alerta - 2000 83

Figura 36. Concentrações médias diárias de SO_2 e respectivo valor limite para protecção da saúde e valor guia – 2000 84

Figura 37. Médias anuais das concentrações médias horárias de SO_2 e respectivo valor limite para protecção dos ecossistemas 86

Figura 38. Médias anuais das concentrações médias horárias de SO_2 no período de Inverno e respectivo valor limite para protecção dos ecossistemas 86

Figura 39. P50 dos valores médios diários de SO_2 e respectivo valor limite 87

Figura 40. P98 dos valores médios diários de SO_2 e respectivo valor limite 87

Figura 41. Média anual dos valores médios diários de SO_2 e respectivos valores guias 88

Figura 42. Concentrações médias horárias de NO_2 e respectivos valores limites para protecção da saúde e limiar de alerta – 2000 90

Figura 43. Médias anuais das concentrações médias horárias de NO_2 e respectivo valor limite para protecção de saúde 91

Figura 44. Médias anuais das concentrações médias horárias de NO_x e respectivo valor limite para protecção da vegetação 92

Figura 45. P98 dos valores horários de NO_2 e respectivos valores limite e guia 93

Figura 46. P50 dos valores horários de NO_2 e respectivo valor guia 93

Figura 47. Concentrações médias horárias de O_3 e limiar de informação e alerta à população, assim como os limiares de protecção da vegetação, de informação à população e alerta à população – 2000 96

Figura 48. Máximo das concentrações médias octo-horárias de O_3 do dia e respectivo valor-alvo para a protecção da saúde humana – 2000 97

Figura 49. Máximo das concentrações médias diárias dos valores médios octo-horárias de O_3 e valor-alvo para protecção da saúde humana a longo prazo 99

Figura 50. AOT40, média doa três anos do AOT40 para o O_3, valor-alvo para a protecção das plantas e valor-alvo para protecção da vegetação a longo prazo 99

Figura 51. Concentrações médias octo-horárias de O_3 e respectivo limiar de protecção da saúde - 2001 100

Figura 52. Concentração média diária de O_3 e respectivo limiar de protecção da vegetação – 2001. 101

Figura 53. Máximo das médias octo-horárias de CO e respectivo valor limite 103

Figura 54. Média aritmética dos valores médios horários de CO e respectivo valor limite - 2001 105

Figura 55. Concentração média de 8 horas de CO e respectivo valor limite – 2001 105

Figura 56. Concentrações médias diárias de CO e respectivo valor guia – 2001 106

Figura 57. Concentrações médias diárias de PM_{10} e respectivos limiares superior e inferior de avaliação – 2000 108

Figura 58. Média anual dos valores médios horários de PM_{10} e limiares superior e inferior 109

Figura 59. Concentrações médias diárias de SO_2 e respectivos limiares superior e inferior de avaliação – 2000 110

Figura 60. Médias anuais das concentrações médias horárias de SO_2 no período de Inverno e respectivos limiares superior e inferior de avaliação 111

Figura 61. Concentrações médias horárias de NO_2 e respectivos limiares superior e inferior de avaliação para protecção da saúde humana- 2000 112

Figura 62. Médias anuais dos valores horários e limiares superior e inferior de avaliação – NO_2 113

Figura 63. Médias anuais das concentrações médias horárias de NO_x e respectivos limiares superior e inferior de avaliação 114

Figura 64. Máximo das médias octo-horárias de CO e respectivos limiares superior e inferior de avaliação 115

Figura 65. Perfil diário das concentrações médias horárias de PM_{10}, no período de Abril – Junho de 1999 nas estações de Paranhos, Custóias e V N Telha 117

Figura 66. Perfil diário das concentrações médias horárias de PM_{10}, NO_2 e CO, no período de Abril – Junho de 1999 na estação de Paranhos 117

Figura 67. Relação da distribuição das concentrações médias diárias entre várias estações para as PM_{10} em 2000. Linhas a vermelho: $\pm$ 20%. 118

Figura 68. Comparação das concentrações médias anuais de PM_{10} em várias cidades Europeias 120

Figura 69. Perfil diário das concentrações médias horárias de SO_2, no período de Abril – Junho de 2000 nas estações de Paranhos, Custóias e V N Telha 121

Figura 70. Perfil diário das concentrações médias horárias de NO_2 e CO no período de Abril – Junho de 2000 na estação de Paranhos 122

Figura 71. Perfil diário das concentrações médias horárias de O_3, no período de Abril – Junho de 1999 nas estações de Paranhos, Custóias e V N Telha 123

Figura 72. Perfil diário das concentrações médias horárias de O_3 e NO_2 nas estações de Custóias, Paranhos e V N Telha 124

Figura 73. Relação da distribuição das concentrações médias diárias entra várias estações para as O_3 em 2000. Linhas a vermelho: $\pm$ 20% 125

Figura 74. Concentrações medias mensais de O_3 durante o ano 2000 para as estações de Custóias, Paranhos e Vila Nova da Telha 127

Figura 75. Variações sazonais dos dados históricos (1861 – 1872) e registados na estação de Vila Nova da Telha (base nas concentrações médias diárias). 128

Figura 76. Evolução das concentrações medias anuais de O_3 na AMP durante um período de 140 anos 129

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ADN	Acido desoxirribonucleoproteico
AMP	Área Metropolitana do Porto
CDM	Clean development mechanim
CFCs	Compostos clorofluorcarbonados
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
COV	Compostos orgânicos voláteis
COVNM	Compostos orgânicos voláteis não metânicos
DGA	Direcção Geral do Ambiente
DGE	Direcção Geral de Energia
DL	Decreto-Lei
DRAOT	Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território
EEA	European Environment Agency
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases de efeito de estufa
GN	Gás natural
HCFCs	Compostos hidrofluorcarbonados
IA	Instituto do Ambiente
IET	International emission trading
IO	Índice de octano
JI	Joint implementation
LI	Limiar inferior
LPG	Gases de petróleo liquefeitos
LS	Limiar superior
NO	Monoxido de azoto
NO_2	Dióxido de azoto
NO_x	Óxidos de azoto
OCDE	Organização para a cooperação e desenvolvimento económico
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
P50	Percentil 50
P95	Percentil 95
P98	Percentil 98
PAG	Potencial de aquecimento global
PAHs	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos
Pb	Chumbo
PCB's	Bifenilos policlorados
PCDD	Policlorodibenzeno-p-dioxinas
PCDF	Policlorodibenzofuranos
PFCs	Compostos perfluorcarbonados
PI	Período de Inverno
PM_{10}	Partículas com diâmetros inferiores a 10 μm
$PM_{2,5}$	Partículas com diâmetros inferiores a 2,5 μm
PNAC	Programa Nacional para as Alterações Climáticas

PTS	Partículas em suspensão
RMQAr	Rede de Medida da Qualidade do Ar
SO_2	Dióxido de enxofre
UAL	Unidade de Aquisição Local
UE	União Europeia
UE15	União Europeia dos 15
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UV	Ultravioleta
UV-B	Ultravioleta Beta
VG	Valor guia
VLPE	Valor limite de protecção dos ecossistemas
VLPS	Valor limite de protecção da saúde
VLPV	Valor limite de protecção da vegetação
WHO	World Health Organization

"We are in somewhat the same position in regard to polluted air as the fish are to polluted water. We live in it."

V. Kneese, 1966

1. INTRODUÇÃO

1.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O ser humano para sobreviver, crescer e desempenhar todas as funções básicas atribuídas à sua espécie, necessita de consumir porções regulares de água e alimentos, e de uma forma contínua, necessita de ar. Ao contrário dos alimentos, as necessidades de água e ar são relativamente constantes, 1-2 L e 10-20 m^3 por dia respectivamente, não devendo estes bens ser tomados como propriedade pessoal, de estados ou países. A afirmação: ***todos os indivíduos deverão ter livre acesso a ar e água de boa qualidade*** é considerada um direito fundamental da vida humana.

Com o objectivo de garantir o crescimento económico e social, e preservar a longo prazo os recursos do planeta, surge no fim dos anos 80 a noção de desenvolvimento sustentável. Segundo o relatório da Organização das Nações Unidas (ONU), também conhecido como Relatório Brundtland (nome da Primeira Ministra Norueguesa da altura), define-se como desenvolvimento sustentável aquele que "responde às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras".

A sustentabilidade, é então, a estratégia encontrada para optimizar o equilíbrio existente entre a sociedade, a economia (actividades humanas) e a natureza numa base homogénea e ecológica. A interligação de diferentes políticas (ambiental, agrícola, energética e sectorial) é fundamental para o sucesso de uma política ambiental sustentável (figura 1).

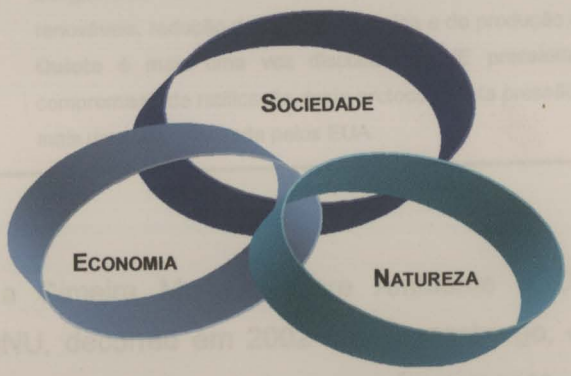


Figura 1. A interligação entre as actividades humanas e a natureza.

A tabela 1 faz um resumo das conferências realizadas sobre esta matéria.

Tabela 1. Principais cimeiras realizadas sobre o Desenvolvimento Sustentável.

Cimeira	Pontos focados / Resultados
1972 – ESTOCOLMO Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente Humano	Primeira grande conferência sobre ambiente. Ausência do bloco de Leste. Como resultado foi elaborada a Declaração sobre o Ambiente Humano que lançou as bases da diplomacia ambiental subsequente, em particular pelo princípio que diz que os estados são soberanos, mas não podem permitir que as actividades dentro das suas fronteiras causem danos ambientais a outros países. Depois da conferência, foi criado o Programa das Nações Unidas para o Ambiente.
1992 – RIO DE JANEIRO Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento	A "Cimeira da Terra". Começou a ser pensada nove anos antes (1983) quando a ONU criou uma comissão encarregue de estudar as relações entre o ambiente e o desenvolvimento – algo que ficara em segundo plano na conferência de Estocolmo. Materializou-se então o documento "O Nosso Futuro Comum" de 1987, conhecido como o Relatório de Brundtland, que consagrou a definição de desenvolvimento sustentável tal como ela existe hoje. Uma ampla estratégia para o desenvolvimento sustentável foi o grande resultado desta cimeira, de onde se salienta: **Agenda 21** (2500 recomendações para tornar compatíveis o crescimento económico; o progresso social e o ambiente); Convenção sobre a Biodiversidade (princípios sobre a conservação da flora e fauna terrestres); **Convenção sobre as alterações climáticas** (emissão dos gases de estufa), reforçada pelo **Protocolo de Quioto** em 1997 (anexo 1); Declaração de princípios sobre gestão, conservação e desenvolvimento sustentável de todos os tipos de florestas; convenção de luta contra a desertificação (concluída em 1994, a falta de financiamento põe em risco a aplicação efectiva das disposições desta documento) e o apoio ao desenvolvimento (visa o estabelecimento dos montantes das ajudas que os países ricos dariam aos países mais pobres para promover o seu desenvolvimento sustentável, apesar da proposta se situar em 0,7% do PIB dos países ricos, actualmente a União Europeia (EU) canaliza apenas 0,33% e os Estados Unidos da América (EUA) 0,11%.
2002 – JOANESBURGO Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável	Surge da necessidade de reforçar os compromissos assumidos na cimeira do Rio de Janeiro. O estabelecimento de medidas tem sido dificultado especialmente pelos EUA que se recusam a ratificar o Protocolo de Quioto em detrimento dos seus interesses internos. Dada a conjuntura mundial nesta data (luta contra o terrorismo, conflitos no Médio Oriente, etc.) esta não foi uma cimeira de ambiente, mas sim de desenvolvimento, sendo abordada a globalização. Os pontos quentes focados prendem-se com o estabelecimento de novas metas, concretas, para o alargamento do saneamento básico, protecção da biodiversidade, maior recurso a energias renováveis, redução da poluição química e da produção de resíduos. Também o **Protocolo de Quioto** é mais uma vez discutido. A UE pressiona todos os países a assumirem o compromisso de ratificação deste protocolo, esta pressão foi aceite pela Áustria e Rússia, mas, mais uma vez, recusada pelos EUA.

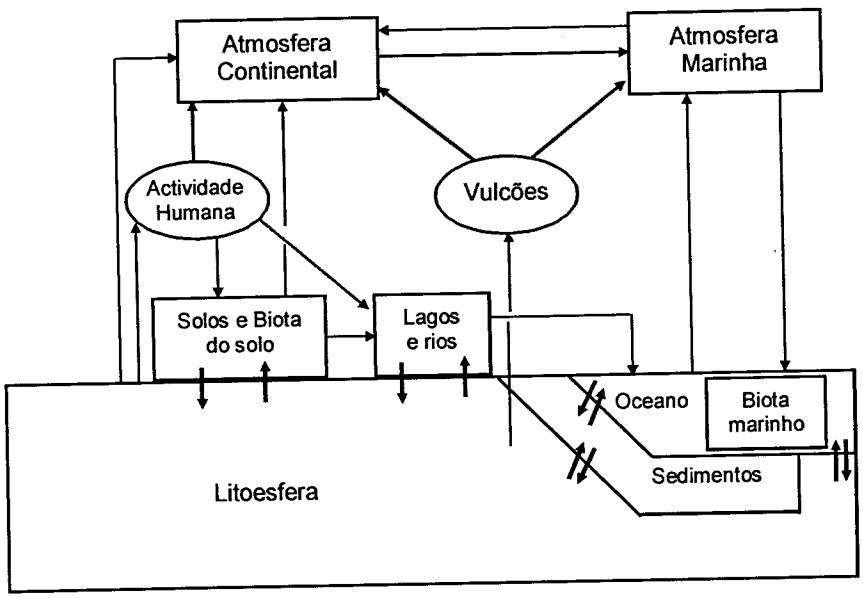
A mais recente, a Cimeira Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento Sustentável organizada pela ONU, decorreu em 2002 em Joanesburgo, onde a pobreza, o comércio internacional, a globalização e a ajuda aos países menos desenvolvidos estiveram em discussão.

Esta cimeira pretendeu também encontrar respostas para várias questões ambientais problemáticas como a biodiversidade, água e saneamento e saúde e ambiente. Em relação a este último item, saúde e ambiente, os números são assustadores. Em pleno início do século XXI, verifica-se que a poluição do ar, contaminação da água, alterações climáticas e riscos químicos são responsáveis por 20 a 25% das mortes no mundo; 1,3 milhões de crianças nos países em vias de desenvolvimento morrem vítimas de diarreia provocadas pela falta de qualidade da água que bebem e 2,2 milhões não atingem os cinco anos devido a infecções respiratórias e ainda, que a poluição atmosférica mata cerca de 3 milhões de pessoas por ano, 90% em países em vias de desenvolvimento.

Face à conjuntura actual dois desafios fundamentais são colocados, à população, no geral, e às entidades governamentais, em particular: o primeiro encontrar formas energéticas para fundamentar um desenvolvimento sustentável e o segundo, estabelecer estruturas governamentais que suportem esse desenvolvimento. A resposta a estes desafios permitirá o desenvolvimento de bases económicas fortes que permitam suportar o desenvolvimento que todos querem sustentável.

1.2 POLUIÇÃO

O ambiente terrestre não pode ser considerado como um conjunto de compartimentos estanques, mas sim, um meio onde as interacções entre as várias matrizes que o constituem são uma constante. Consideram-se matrizes ambientais: o solo, a água e o ar, e embora os compostos contaminantes possam ter maior afinidade com determinado tipo de matriz, a verdade, é que os poluentes tendem a circular entre elas (figura 2).



(Fonte: Seinfeld, 1998)

Figura 2. Interligação entre matrizes ambientais.

Assim, os compostos podem estar presentes na água ou no solo provenientes da atmosfera, ou podem volatilizar-se da água natural e do solo superficial para a atmosfera, dependendo do gradiente de actividade entre as várias fases. É também evidente a interacção entre as águas superficiais e subterrâneas com o solo, uma vez que qualquer contaminante existente na água será efectivamente um contaminante do solo e o mesmo é válido para a situação contrária no caso das águas subterrâneas. A previsão da direcção e magnitude dos fluxos mássicos de contaminantes, é extremamente importante para que se consiga fazer uma análise realmente precisa dos tipos e quantidades de compostos poluentes que circulam no meio ambiente. A interacção das matrizes ambientais com as plantas e consequentemente com os animais que as ingerem, incluindo os humanos, é também uma realidade provada por diversos estudos já realizados (Hiatt, 1998; Ramos et al., 1999). As entidades World Health Organization (WHO) e a United States Environmental Protection Agency (USEPA)

identificaram como principais poluentes orgânicos os compostos apresentados na tabela 2. A selecção dos compostos foi efectuada com base nos seguintes critérios:

- Compostos ou misturas de compostos cujas fontes são consideradas como um problema de elevada extensão;
- Compostos persistentes no ambiente e em teores elevados, com elevado potencial de exposição;
- Conhecimento sobre os efeitos nocivos de determinado composto para a Saúde Pública;
- Possibilidade de monitorização;
- Ocorrências de efeitos prejudiciais para a saúde (ex. ecotóxicos);
- Quando existe evidência de uma evolução positiva (crescente) ao nível das concentrações encontradas no ambiente.

Estes compostos apresentam características e propriedades perfeitamente distintas, o que permite a sua aplicação num conjunto vastíssimo de utilizações. Na maioria das vezes, são emitidos por diferentes fontes e podem ser encontrados em qualquer das matrizes ambientais atrás descritas.

Tabela 2. Compostos tóxicos para a saúde humana.

Orgânicos	Estireno	Cádmio
Acetaldeído	Formaldeído	Chumbo
Acilonitrilo	Hexaclorobenzeno	Crómio
Acroleína	Hidrazina	Dióxido de azoto
Benzeno	Hidrocarbonetos Aromáticos Policiclicos (PAHs)	Dióxido de enxofre
Bifenilos Policlorados (PCBs)	Oxido de Etileno	Flúor
1,3 – Butadieno	Quinolina	Manganês
Cloreto de Vinilo	Tetracloreto de Carbono	Mercúrio
Clorofórmio	Tetracloroetileno	Monóxido de carbono
Diclorometano	Tricloroetileno	Níquel
Dibenzodioxinas e Dibenzofuranos Policlorados (PCDD/Fs)	Tolueno	Ozono e outros oxidantes fotoquímicos
1,2 – Dibromoetano		Sulfureto de hidrogénio
1,2 – Dicloroetano	***Inorgânicos***	Vanádio
1,2 – Dicloropropano	Arsénico	Partículas
1,3 – Dicloropropeno	Amianto	

Contudo, é interessante referir que todos estes compostos tóxicos se podem encontrar na atmosfera, e que os organismos vivos, incluindo o Homem, não conseguem seleccionar o ar que respiram, ao contrário da água, alimentos e solo. Todas estas particularidades fazem da atmosfera uma matriz ambiental com particular importância.

1.3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Quando Prometeu roubou o fogo aos deuses conseguiu a bênção dos seus benefícios, mas também, a maldição da poluição atmosférica. A referência a fenómenos de poluição da atmosfera remonta já ao ano 61 d.C., comentando-se então o "pesado ar" da antiga Roma (Peavy, 1985).

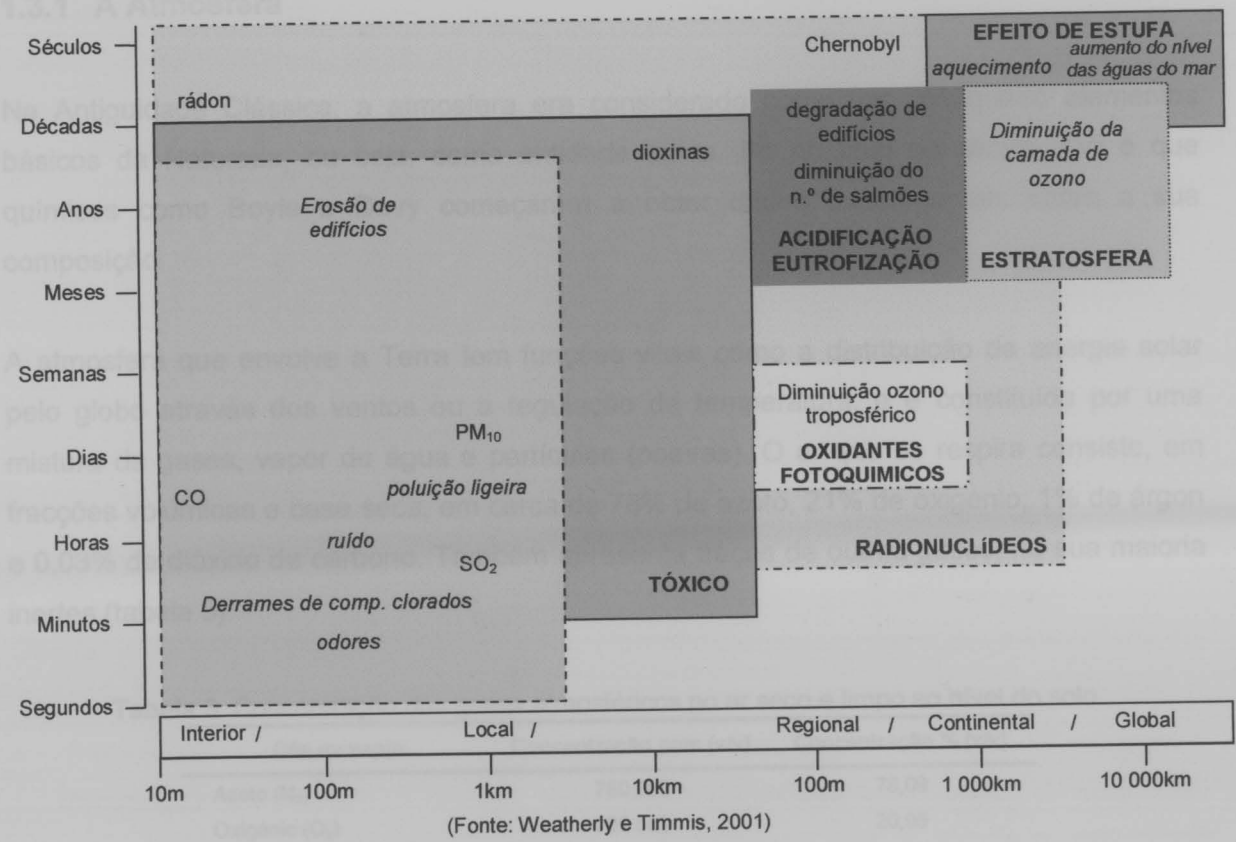
Os impactos deste tipo de poluição têm vindo a tornar-se cada vez mais evidentes, sobretudo a partir do período em que as actividades humanas se tornaram responsáveis pela emissão de quantidades significativas de poluentes, associados às indústrias e aos transportes. A nível mundial os problemas relacionados com a poluição atmosférica tiveram início por volta do ano de 1880. Em 1930 numa cidade altamente industrializada da Bélgica uma acumulação de *smog* (mistura de nevoeiro (fog) com fumo (smoke)), foi responsável por diversas mortes e muitas centenas de casos de doença. Cerca de 18 anos mais tarde, condições semelhantes deram origem a um dos maiores desastres relacionados com poluição atmosférica nos EUA, onde 42 pessoas morreram e 43% da população de Donora, Pensilvânia ficou doente (Dockery e Pope III, 1994). Em 1952, em Londres o "nevoeiro assassino" provocou um aumento de 4000 mortes durante esse ano. Nos anos que se seguem continuam a verificar-se nas cidades mais industrializadas, como Londres ou Nova York, registos de mortes e doença provocados pela degradação do ar ambiente (Brunekreef e Holgate, 2002).

Mas, qual é efectivamente a definição de poluição atmosférica?

Em 1957 definia-se poluição atmosférica como sendo: "*a introdução pelo Homem na atmosfera, directa ou indirectamente, de substâncias ou energia que exerçam uma acção nociva susceptível de pôr em risco a saúde humana, de causar danos aos recursos biológicos e aos ecossistemas, de deteriorar os bens materiais e de ameaçar ou prejudicar o valor recreativo ou outras utilizações legítimas do ambiente*" (Peavy, 1985). Esta definição manteve-se praticamente inalterada até aos dias de hoje (Gomes, 2001; Seinfeld, 1998).

O facto dos impactos associados à emissão de poluentes se poderem fazer sentir a distâncias apreciáveis das fontes emissoras (muitas vezes em países diferentes) e com desfasamentos temporais por vezes elevados, implica o aparecimento de efeitos com repercussão global na atmosfera. É o caso da deposição ácida (da qual a chuva ácida é

uma forma), da presença de radiações ionizantes, da degradação da camada de ozono estratosférico e do aumento da concentração do ozono troposférico. A nível local, o ruído, odores e calor residual são também agentes poluidores da atmosfera (figura 3). A meteorologia é um dos fenómenos que mais contribui para o efeito de "globalização" ou de confinamento dos poluentes atmosféricos.



(Fonte: Weatherly e Timmis, 2001)

Figura 3. Diferentes escalas de poluição atmosférica.

Os gases presentes na atmosfera, agentes de poluição atmosférica, são o resultado de processos químicos que ocorrem na própria atmosfera: actividade biológica; erupções vulcânicas e também são resultantes das actividades humanas. Adicionalmente, estes gases são removidos da atmosfera através de reacções químicas, da actividade biológica ou de processos físicos que também ocorrem na atmosfera (como a formação de partículas e a sua deposição nos oceanos e solo). O tempo médio de vida de uma molécula de gás introduzida na atmosfera pode variar de segundos a milhões de anos, dependendo de eficiência dos processos de remoção.

O primeiro passo para a compreensão e controlo da poluição atmosférica passa necessariamente pelo conhecimento da composição, estrutura e comportamento da atmosfera.

1.3.1 A Atmosfera

Na Antiguidade Clássica, a atmosfera era considerada como um dos quatro elementos básicos da Natureza, ou seja, como entidade única. Só no final do século XVI é que químicos como Boyle e Davy começaram a obter dados experimentais sobre a sua composição.

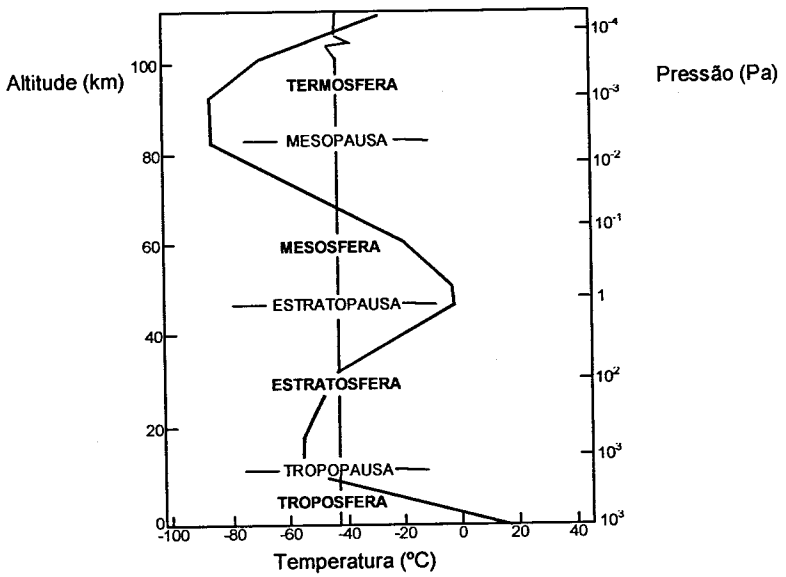
A atmosfera que envolve a Terra tem funções vitais como a distribuição da energia solar pelo globo através dos ventos ou a regulação da temperatura, e é constituída por uma mistura de gases, vapor de água e partículas (poeiras). O ar que se respira consiste, em fracções volúmicas e base seca, em cerca de 78% de azoto, 21% de oxigénio, 1% de árgon e 0,03% de dióxido de carbono. Também apresenta traços de outros gases, na sua maioria inertes (tabela 3).

Tabela 3. Concentração dos gases atmosféricos no ar seco e limpo ao nível do solo.

Gás ou vapor	Concentração ppm (v/v)	Concentração % (v/v)
Azoto (N_2)	780 000	78,09
Oxigénio (O_2)	209 500	20,95
Árgon (Ar)	9 300	0,93
Dióxido de carbono (CO_2)	320	0,032
Néon (Ne)	18	0,0018
Hélio (He)	5,2	0,00052
Metano (CH_4)	1,5	0,00015
Crípton (Kr)	1,0	0,0001
Hidrogénio (H_2)	0,5	0,00005
Óxido de diazoto (N_2O)	0,2	0,00002
Monóxido de carbono (CO)	0,1	0,00001
Xénon (Xe)	0,08	0,000008
Ozono (O_3)	0,02	0,000002
Amoníaco (NH_3)	0,006	0,0000006
Dióxido de azoto (NO_2)	0,001	0,0000001
Óxido de azoto (NO)	0,0006	0,00000006
Dióxido de enxofre (SO_2)	0,0002	0,00000002
Sulfureto de hidrogénio (H_2S)	0,0002	0,00000002

Fonte: Peavy, 1985

A composição, as propriedades físicas e químicas, a temperatura e a pressão da atmosfera são características que variam significativamente com a altura (figura 4).



(Fonte: Seinfeld, 1998)

Figura 4. Estrutura da atmosfera da Terra segundo um eixo vertical.

Os intervalos definidos de variação, permitem identificar camadas distintas na atmosfera:

- ***Troposfera*** – Camada mais baixa da atmosfera, que vai da superfície terrestre até à tropopausa (10 a 15 km de altitude, dependendo da latitude e do período do ano). Esta camada é caracterizada pela diminuição da temperatura com a altitude e pelo rápido transporte vertical;

- ***Estratosfera*** – Situa-se entre a tropopausa e a estratopausa (~45 a 55 km de altitude), a temperatura aumenta com a altitude e o transporte vertical é lento;

- ***Mesosfera*** – Situa-se entre a estratopausa e a mesopausa (~80 a 90 km de altitude), a temperatura diminui com a altitude até à mesopausa, que é o ponto mais frio da atmosfera. O transporte vertical é rápido;

- ***Termosfera e Exosfera*** – Camadas situadas acima da mesosfera. A termosfera é caracterizada por temperaturas elevadas. A exosfera é a camada mais exterior da atmosfera. Aqui, as moléculas com energia suficiente podem escapar ao campo de atracção gravítico da Terra.

O transporte vertical é o movimento em altura na camada, de por exemplo, uma determinada espécie química. Este fenómeno é o que melhor distingue a estratosfera da troposfera.

A camada com maior interesse no estudo e controlo da poluição é sem dúvida a troposfera, uma vez que é nela que se encontra a grande maioria dos seres vivos. No entanto, o transporte de espécies químicas entre a estratosfera e a troposfera é um processo chave na química da atmosfera, pois, por exemplo, foi este tipo de transporte que deu início aos processos químicos responsáveis pela degradação da camada de ozono estratosférico (Seinfeld, 1998).

A atmosfera tem na sua composição compostos resultantes da actividade dos organismos existentes na Terra, salientando-se os processos da respiração e da fotossíntese. A respiração é o processo através do qual os organismos inspiram oxigénio libertando dióxido de carbono. A reposição desse oxigénio é feito através da fotossíntese, processo através do qual as plantas verdes transformam dióxido de carbono em oxigénio. A presença de grande quantidade de organismos fotossintéticos aumenta localmente as concentrações de oxigénio, mas essa variação não é notória, dado o teor elevado deste composto na atmosfera. Em relação ao dióxido de carbono, e uma vez que este se apresenta em teores muito mais baixos, verifica-se durante a noite um aumento da sua concentração, pois é durante este período que os processos fotossintéticos se encontram inactivos.

Na atmosfera também existem compostos gasosos de origem orgânica, que resultam quer da actividade bacteriana, quer de organismos superiores. O metano é o hidrocarboneto presente na atmosfera em maior quantidade, produzido em pântanos e locais húmidos através da degradação microbiológica de matéria orgânica, segundo a reacção (Gomes, 2001):

$$CO_2\,(g) + 4H_2\,(g) \longrightarrow CH_4\,(g) + 2H_2O\,(g) \qquad (1)$$

O hidrogénio necessário para esta reacção é obtido, geralmente, pela degradação de alcoóis por bactérias não metanogénicas que se encontram presentes durante o processo. Também os animais superiores podem produzir metano que resulta da acção de microorganismos no intestino.

A actividade microbiana é também responsável pela maioria dos compostos azotados naturais presentes na atmosfera. A maior parte do amoníaco é gerada por microorganismos que degradam os compostos de azoto presentes na urina de animais. Na urina animal uma grande parte do azoto encontra-se na forma de ureia que é rapidamente hidrolisada a amoníaco e dióxido de carbono de acordo com a reacção:

$$NH_2CONH_2\ (l) + H_2O\ (l) \longrightarrow CO_2\ (g) + 2NH_3\ (g) \qquad (2)$$

Existem ainda bactérias que podem oxidar o amoníaco a nitritos e nitratos, ou outros compostos azotados que são libertados para a atmosfera.

As emissões naturais de enxofre para a atmosfera, em particular de sulfureto de hidrogénio, devem-se essencialmente à redução de sulfatos em sedimentos. No entanto, a maioria dos sulfuretos combina-se nos solos originando compostos como as pirites, em detrimento da sua emissão para a atmosfera. Compostos reduzidos de enxofre como, dimetilsulfito, dimetildissulfureto e metilmercaptano são também libertados para a atmosfera por microorganismos presentes no solo. Verifica-se também a emissão natural para a atmosfera de compostos clorados.

Há ainda que ter em consideração outras fontes naturais de emissão como as geoquímicas, os oceanos e compostos originados por reacções químicas que ocorrem na atmosfera.

1.3.2 Fontes de Emissão e Exposição

Como já foi visto, a atmosfera contém poluentes emitidos naturalmente, tais como pólen, esporos de fungos, partículas (provenientes de vendavais, fogos florestais e erupções vulcânicas), sulfureto de carbono e metano (provenientes da decomposição anaeróbia da matéria orgânica), monóxido de carbono (proveniente da degradação natural de metano) e terpenos (emitidos principalmente pelos pinheiros). Para além dos poluentes de origem natural, existem poluentes de proveniência antropogénica. As principais actividades, responsáveis pela emissão deste tipo de poluentes, são o sector dos transportes, a queima de combustíveis em processos de aquecimento e de produção de energia, os processos industriais, a incineração e deposição de resíduos.

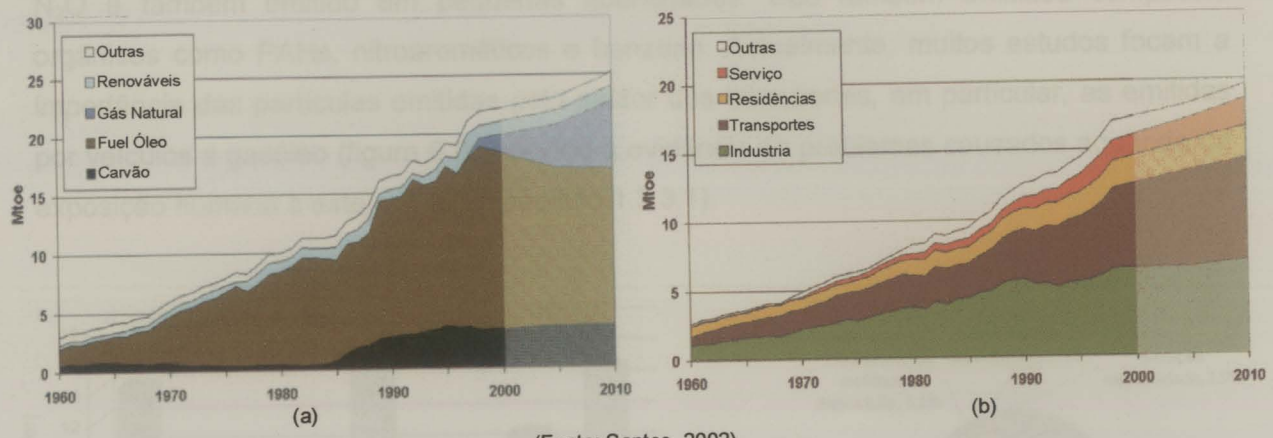
As fontes poluentes antropogénicas dividem-se em quatro grandes grupos (Peavy, 1985):

- Fontes móveis: veículos a motor, aviões, navios, comboios e manipulação e/ou evaporação de combustíveis;
- Fontes fixas de combustão: produção de energia e aquecimento doméstico, comercial e industrial, incluindo centrais de produção de energia a vapor;
- Processos industriais: metalurgia, fabrico de pasta de papel, refinarias de petróleo e outros processos químicos;
- Incineração e deposição de resíduos sólidos: resíduos domésticos, agrícolas, municipais, industriais e hospitalares.

Consideram-se como principais poluentes emitidos as partículas, os óxidos de enxofre, o monóxido de carbono, os óxidos de azoto, os hidrocarbonetos e outros compostos orgânicos. Os oxidantes fotoquímicos são poluentes secundários que se formam na atmosfera como consequência de processos complexos catalisados pela luz solar, em que intervêm óxidos de azoto, monóxido de carbono e hidrocarbonetos (Guicherit e Roemer, 2000). Todos os poluentes referidos têm toxicidade reconhecida, devendo, no entanto, dar-se especial atenção à toxicidade induzida por metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), dioxinas, furanos, bifenilos policlorados (PCB´s) e muitos outros compostos organo-clorados.

Em Portugal, o consumo de energia primária tem aumentado ao longo dos anos. De facto, de 1960 a 2000 verificou-se um aumento de aproximadamente 88% no total de energia consumida. A principal fonte primária de energia utilizada é o fuel óleo. Verifica-se também que a utilização de gás natural está a aumentar e as previsões indicam uma subida acentuada desta fonte de energia (figura 5 (a)). Em relação ao consumo de energia por sector, é evidente a preponderância do sector dos transportes e da indústria. Mais uma vez as previsões revelam um aumento global do consumo de combustíveis até ao ano de 2010 (figura 5 (b)).

Dada a relevância de alguns sectores no consumo de energia e consequentemente na quantidade de emissões libertadas para a atmosfera, o sector dos transportes e da indústria merecem atenção particular.



(Fonte: Santos, 2002)

Figura 5. (a) Fontes primárias de energia; (b) Energia consumida por sectores (os valores de 2005 a 2010 são projecções da DGE).

1.3.2.1 Sector dos transportes

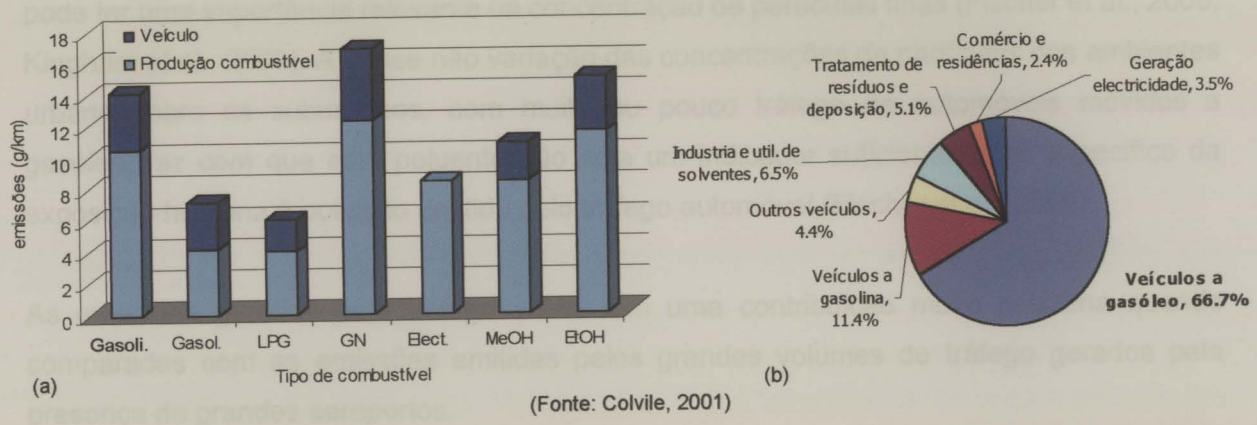
O sector dos transportes, que inclui todos os veículos motorizados como os automóveis, camiões, comboios, barcos e aviões, é já reconhecido como uma fonte significativa de poluição atmosférica. Com muito poucas excepções, todos os meios de transporte emitem poluentes para a atmosfera através da combustão de combustíveis fósseis. Qualquer que seja o tipo de transporte, os poluentes emitidos são semelhantes, apenas variando a quantidade emitida consoante a composição exacta do combustível queimado e as condições de combustão (figura 6 (a)).

Os poluentes emitidos em maior quantidade para a atmosfera são o CO_2 e o vapor de água, resultantes da combustão completa do fuel, segundo a reacção (Hickman et al., 1999):

$$C_xH_y + \left(x + \frac{y}{4}\right)O_2 \longrightarrow x\,CO_2 + \frac{y}{2}H_2O \qquad (3)$$

Contudo, outros poluentes são também emitidos. O CO é um poluente emitido ainda em quantidades consideráveis, apesar de se tentar garantir que todo o carbono é transformado em CO_2 promovendo o excesso de ar durante a combustão. É do conhecimento geral que todos os fueis contêm impurezas. O enxofre existente é praticamente todo oxidado a SO_2. O chumbo e o vanádio ou não são queimados durante o processo de combustão ou formam produtos de reacção com baixa pressão de vapor que contribuem para a posterior formação de partículas. O azoto atmosférico é oxidado a NO e a pequenas quantidades de NO_2. O

N_2O é também emitido em pequenas quantidades. São também emitidos compostos orgânicos como PAHs, nitroaromáticos e benzeno. Actualmente, muitos estudos focam a importância das partículas emitidas pelo sector dos transportes, em particular, as emitidas por veículos a gasóleo (figura 6 (b)) devido à evidência de problemas causados aquando da exposição humana a este poluente (capitulo 1.3.3.1).



(Fonte: Colvile, 2001)

Figura 6. (a) Emissões em função do tipo de combustível durante: produção e utilização nos veículos motorizados (Gasoli. – Gasolina, Gasol. – Gasóleo, LPG – *Liquefied petroleum gases*, GN – Gás natural, Elect. – Electricidade, MeOH – metanol, EtOH – etanol); (b) Emissão de partículas em Londres 1995/96.

O inventário de emissões de tráfego automóvel e meios de transporte nas cidades tem associado alguns erros, pois além de existirem fontes distintas do mesmo poluente, as relações fonte – receptor podem também ser diferentes. Este último factor pode não ter importância para poluentes bem distribuídos como o CO_2, mas numa área urbana as emissões resultantes da exaustão dos veículos automóveis encontram-se muito mais próximos dos receptores humanos do que chaminés altas de uma área industrial. Por exemplo, a contribuição para a exposição dos pedestres por unidade de emissão dos veículos numa cidade é 300 vezes superior à de uma chaminé com 200 m de altura em condições médias de dispersão, mesmo no ponto de concentração máxima ao nível do solo (Colvile et al., 2001).

Outro factor muitas vezes ignorado aquando do inventário de emissões dos transportes é a não consideração da possibilidade de que outras fontes exteriores à área inventariada contribuem de forma relevante, como é o caso das partículas finas. Por exemplo, a observação da figura 6 (b) sugere que a diminuição do número de motores a gasóleo teria um grande impacto na quantidade de partículas emitidas para a atmosfera de uma cidade

não industrial. Contudo, foi já provado que a diminuição desta fonte de emissão de partículas não tem um impacto relevante nas concentrações de partículas, com excepção das ruas e avenidas mais movimentadas e durante episódios de poluição graves durante o Inverno (Colvile et al., 2001). Por outro lado, também se verificou que as concentrações deste poluente se mantém praticamente inalteradas quer sejam medidas numa rua com muito ou pouco movimento, sugerindo mais uma vez que o transporte de longa distância pode ter uma importância relevante na concentração de partículas finas (Fischer et al., 2000, Kingham et al., 2000). A quase não variação das concentrações de partículas dos ambientes urbanos para os suburbanos, com muito ou pouco tráfego de automóveis movidos a gasóleo, faz com que este poluente não seja um indicador suficientemente específico da exposição humana à poluição emitida pelo tráfego automóvel (Fischer et al., 2000).

As emissões geradas pelo tráfego aéreo têm uma contribuição muito pequena quando comparadas com as emissões emitidas pelos grandes volumes de tráfego gerados pela presença de grandes aeroportos.

O sector dos transportes é uma fonte poluidora que se distingue das restantes devido à proximidade dos receptores humanos, onde a oportunidade das emissões serem diluídas na atmosfera é pequena. Adicionalmente, na maioria das atmosferas citadinas a concentração de poluentes provenientes dos automóveis é potenciada pela presença de edifícios ao longo das ruas que reduzem a velocidade do vento e retêm os poluentes. Estudos já efectuados, indicam que as concentrações de poluentes no interior de ruas confinadas por alta densidade de construção, podem ser muitas vezes superiores às observadas nos bairros vizinhos a essas ruas (Spadaro e Rabl, 2001). Este aspecto explica o facto das fachadas expostas directamente ao tráfego se encontrarem muito mais sujas e danificadas que as não expostas.

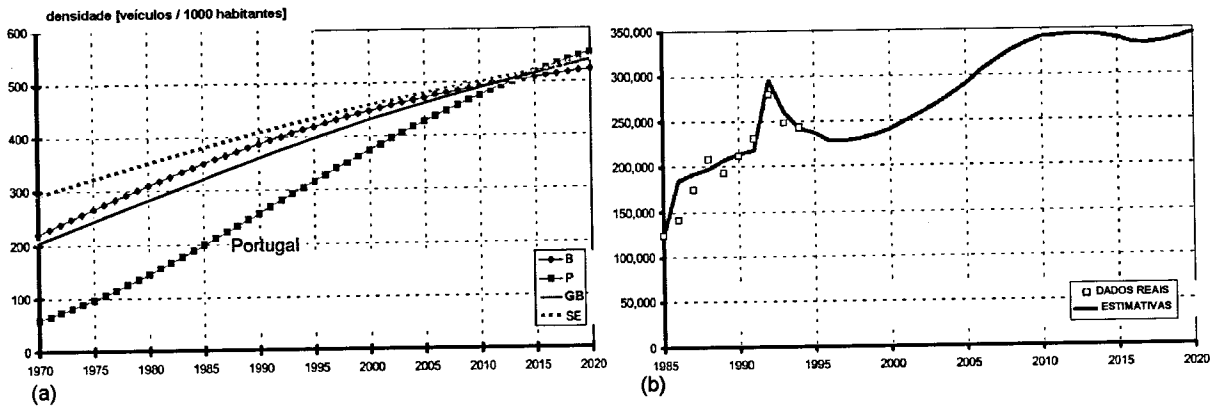
Os efeitos adversos na saúde humana são dominados pelos veículos a gasóleo devido essencialmente à emissão de partículas. Por outro lado, os impactos derivados da emissão de NO_x encontram-se associados à utilização da gasolina (Spadaro e Rabl, 2001). Globalmente, o efeito na saúde humana relativo à exposição ao tráfego automóvel passa por problemas respiratórios crónicos, degradação da função pulmonar (podendo mesmo degenerar em casos de cancro) e um maior número de admissões hospitalares devido a casos de asma. Estes efeitos são mais evidentes nas pessoas que passam muito tempo em edifícios situados perto de ruas movimentadas (Fischer et al., 2000; Kingham et al., 2000; Janssen et al., 2001).

Adicionalmente, há também que ter em atenção que alguns dos compostos emitidos são genetóxicos, como os PAHs, podendo provocar alterações ao nível da estrutura do ADN em indivíduos com grande exposição ao tráfego automóvel, como os taxistas e policias de trânsito (Burgaz et al., 2002).

Actualmente, a redução das emissões do sector dos transportes é feita através da aplicação de técnicas cientificamente mais evoluídas ao nível dos catalisadores utilizados nos motores dos veículos; da inspecção rigorosa do estado do motor dos veículos com determinado tempo de vida, para garantir o bom funcionamento do mesmo e da utilização de energias alternativas aos combustíveis fósseis, como por exemplo, as energias renováveis.

A utilização da energia eléctrica como fonte alternativa de energia em relação aos combustíveis fosseis é já uma realidade em algumas cidades do mundo. O facto da poluição atmosférica resultante deste tipo de transporte ser emitida a uma grande distância do local de utilização, torna este tipo de "combustível" muito atractivo. A utilização de veículos eléctricos significa uma redução das emissões no sector dos transportes, com o consequente aumento das emissões resultantes das estações de geração de energia. É então necessário verificar o balanço de emissões. Será que a quantidade de emissões reduzidas nos transportes justifica o aumento em outras fontes? Para uma penetração de 10% de veículos eléctricos numa cidade, espera-se apenas uma redução de 1,8% nas emissões de CO_2, 4,4% em NO_x e 1,4% de SO_2. Segundo este estudo (Lindly e Haskew, 2002) a utilização de veículos eléctricos parece ser uma alternativa pouco eficiente para a redução global de emissões.

Portugal é um dos países da UE com a maior taxa de crescimento de veículos de passageiros (figura 7 (a)). Na realidade, do grupo da UE identificado com densidade populacional média, Portugal é o país onde se prevê uma subida mais acentuada deste parâmetro e as previsões indicam que em 2020 Portugal ultrapassará os outros países do mesmo grupo. Está também previsto para Portugal, o aumento do número de registos de novas viaturas de passageiros (figura 7 (b)). Estas previsões sugerem que em Portugal, a serem mantidas as condições actuais (tipo de combustível, funcionamento dos motores e catalisadores), será registado um aumento das emissões dos poluentes atrás descritos. Contudo, a conjuntura económica actual do país, não se encontra favorável para a aquisição de viatura própria tendo-se verificado no ano 2002 uma ligeira diminuição na compra de automóveis ligeiros de passageiros.



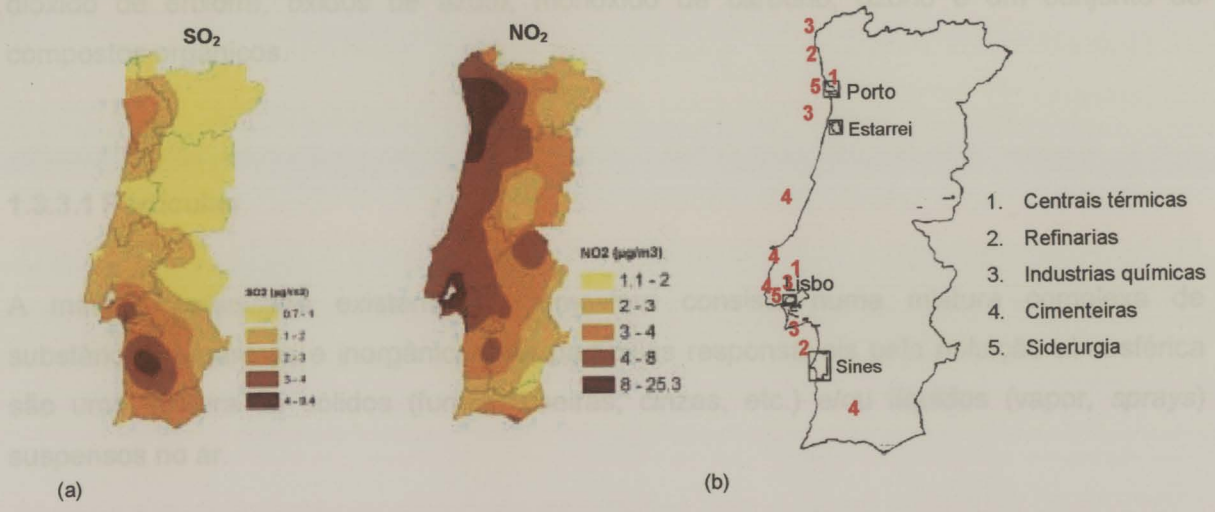
(Fonte: Kyriakis et al., 1998)

Figura 7. (a) Densidade de veículos de passageiros (histórico e previsões) para os países de densidade média da UE15; (b) Novos registos de viaturas de passageiros em Portugal – dados disponíveis e previsões.

1.3.2.2 Sector industrial

As indústrias são uma importante fonte de poluição atmosférica, cuja particularidade reside na grande quantidade e variedade de poluentes emitidos. A indústria é normalmente grande consumidora de fuel-óleo, que utiliza nos processos de combustão. No entanto, nos últimos anos tem-se verificado um aumento do consumo de gás, nomeadamente gás natural (figura 5 (a)). Os principais poluentes emitidos pela maioria das instalações industriais são: CO_2, que resulta da queima de combustíveis orgânicos (equação 3); CO, pois nem sempre é garantido o excesso de ar e condições operatórias que evitam a formação deste poluente; compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM); NO_x, SO_2, partículas e metais pesados, provenientes das impurezas dos fueis de queima.

Preocupada com os níveis de SO_2 emitidos para a atmosfera, a UE desenvolveu legislação que impõem uma diminuição do teor de enxofre não só nos combustíveis dos veículos motorizados, mas também nos de queima industrial (programa *Auto-oil* (capitulo 1.3.3.2)). Assim, a partir de 2003 as indústrias são obrigadas ao abrigo do Decreto-lei n.º 281/2000 a consumir fuel-óleo com apenas 1% de enxofre. Os problemas de poluição atmosférica industrial encontram-se maioritariamente nas zonas com elevada densidade industrial, com influência de grandes instalações industriais. Em Portugal, a maioria das emissões antropogénicas (excepto as emitidas pelo sector dos transportes) estão concentradas junto à costa, o que corresponde à localização das fontes de emissão com maior relevância (figura 8).



(Fonte: UNL/FCT/DCEA, 2001)

Figura 8. (a) Distribuição das concentrações e NO_2 e SO_2 em Portugal Continental (máximo das campanhas nacionais recorrendo a amostragem por difusão – Julho de 2000 e Maio de 2001); (b) Localização das Grandes Unidades de Combustão.

Nestas zonas, os riscos para a saúde humana resultantes da exposição a poluentes emitidos ou transportados são superiores, o que requer, por parte das entidades competentes um controlo mais apertado das concentrações dos poluentes no ar atmosférico.

1.3.3 Poluentes Atmosféricos

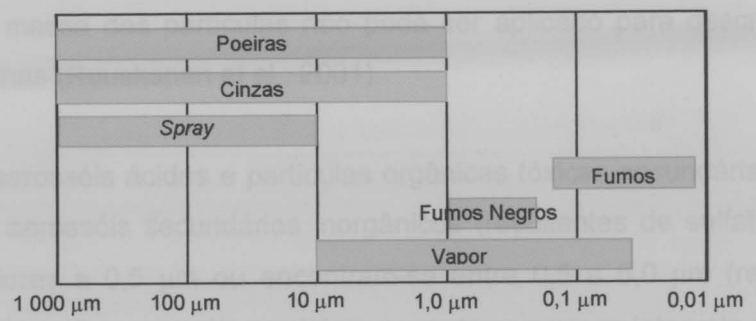
A presença de poluentes na atmosfera tem efeitos na qualidade de vida e saúde humanas, na vida animal, na vegetação, nos materiais, no clima e nas características da atmosfera. A exposição por curtos períodos a concentrações elevadas de poluentes atmosféricos tem impactos associados facilmente identificados. No entanto, exposições prolongadas a concentrações relativamente baixas têm efeitos cujo conhecimento está ainda em clara evolução, pois dependem da amplitude temporal que pode ainda não ter sido atingida. Sendo este último, o tipo mais habitual de exposição, é premente o desenvolvimento do conhecimento nesta área da ciência, nomeadamente no que diz respeito aos impactos na saúde humana. Apesar de ser vastíssimo o conjunto dos compostos que actualmente são considerados poluentes atmosféricos, pode-se encontrar um grupo mais restrito, sobre o qual recai hoje em dia o maior número de estudos e políticas de controlo como as partículas,

dióxido de enxofre, óxidos de azoto, monóxido de carbono, ozono e um conjunto de compostos orgânicos.

1.3.3.1 Partículas

A matéria particulada existente na atmosfera consiste numa mistura complexa de substâncias orgânicas e inorgânicas. As partículas responsáveis pela poluição atmosférica são uma mistura de sólidos (fumos, poeiras, cinzas, etc.) e/ou líquidos (vapor, *sprays*) suspensos no ar.

Estas partículas suspensas provenientes de diferentes fontes de emissão, variam no tamanho, composição e depositam-se sobre o efeito da força gravítica. A figura 9, representa a gama de variação do diâmetro nominal das partículas, que pode ir de 1 000 a 0,01 μm.



(Fonte: Peavy, 1985)

Figura 9. Tamanhos de partículas em μm.

As partículas de maior dimensão não permanecem durante muito tempo em suspensão, depositando-se na proximidade das fontes emissoras, enquanto que as de menores dimensões têm um tempo de residência na atmosfera relativamente longo podendo ser transportadas para locais afastados das suas fontes de emissão.

Segundo a legislação Portuguesa (DL 111/2002), define-se PM_{10} como sendo as partículas em suspensão susceptíveis de serem recolhidas através de uma tomada de amostra selectiva, com eficiência de corte de 50% para um diâmetro aerodinâmico de 10 μm. A definição de $PM_{2,5}$, segundo o mesmo documento legal, diz que estas são partículas em suspensão susceptíveis de serem recolhidas através de uma tomada de amostra selectiva, com eficiência de corte de 50% para um diâmetro aerodinâmico de 2,5 μm.

Por outro lado, as partículas podem ser classificadas como primárias, quando são emitidas directamente, ou secundárias, quando são formadas na atmosfera como resultado da condensação de gases ou de reacções químicas entre outros compostos. Os componentes poluentes mais comuns encontrados na matéria particulada são: nitratos, sulfatos, metais (ferro, manganês, zinco e vanádio), metais pesados (Pb), ácidos orgânicos e álcoois (Ohlström et al., 2000). A emissão global de partículas primárias é maioritariamente natural, enquanto que as emissões antropogénicas são predominantemente secundárias (Querol et al., 2001). A tabela 4 apresenta os constituintes das PM ≤ 2,5 e PM > 2,5 μm (até 1000 μm) e as suas principais fontes emissoras.

As partículas mais finas (ultrafinas) são as emitidas para a atmosfera a partir de processos de combustão e possuem diâmetros de 0,01 a 0,1 μm. A principal característica destas partículas são o seu elevado número por unidade de volume de ar e apesar de existirem centenas de milhares de partículas ultrafinas numa atmosfera urbana, elas representam uma fracção mínima da massa total de partículas. Isto significa que os modelos de qualidade do ar baseado na massa das partículas não pode ser aplicado para descrever os níveis de partículas ultrafinas (Ruuskanen et al., 2001).

A maioria dos aerossóis ácidos e partículas orgânicas tóxicas secundárias são muito finas. Geralmente os aerossóis secundários inorgânicos (resultantes de sulfatos e nitratos) têm diâmetros inferiores a 0,5 μm ou encontram-se entre 0,5 a 5,0 μm (resultantes de uma fracção de nitratos). Os aerossóis marinhos encontram-se num intervalo de 1,0 a 5,0 μm, e as partículas primárias naturais (essencialmente minerais de Al e Si como o quartzo, feldspato, carbonatos de cálcio e magnésio, etc.) têm diâmetros nominais de 5,0 a 25 μm (Querol et al., 2001; Lazaridis et al., 2002).

As caldeiras à escala industrial, lareiras, automóveis com e sem conversor catalítico e camiões a gasóleo emitem partículas com 0,1-0,2 μm de diâmetro. Os veículos automóveis com conversor catalítico emitem uma quantidade inferior de partículas do que os veículos a diesel (WHO, 2000).

Os diâmetros contidos no intervalo de 0,1 a 1 μm são conhecidos como diâmetros de acumulação. Neste intervalo, as partículas são formadas por coalescência de partículas ultrafinas e condensação de gases e vapores em partículas pré-existentes. Estas partículas são geralmente muito pequenas para serem removidas por processos gravíticos e muito

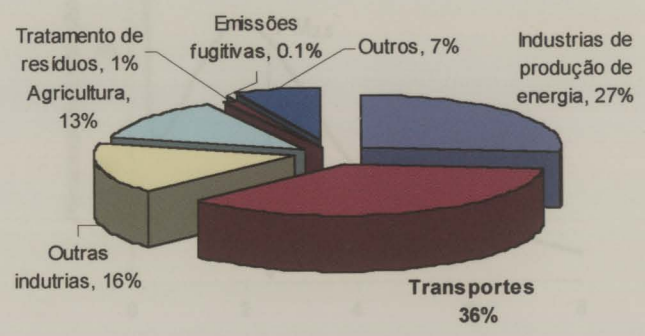
grandes para se agregarem em partículas maiores, o que faz com o seu tempo de vida na atmosfera seja da ordem de vários dias (Ruuskanen et al., 2001).

Tabela 4. Constituintes das partículas atmosféricas e principais fontes de emissão.

Fontes PM ≤ 2,5 μm				
	Partículas primárias		Partículas Secundárias	
Tipo de aerossol	*Natural*	*Antropogénica*	*Natural*	*Antropogénica*
SO_4^{2-}	Sprays marinhos	Combustíveis fósseis	Oxidação de gases de enxofre reduzidos emitidos pelos oceanos e terrenos húmidos	Oxidação de SO_2 emitido da combustão de combustíveis fósseis
NO_3^-	—	Exaustão de veículos motorizados	Oxidação de NO_x produzido nos solos, fogos florestais e trovoadas	Oxidação de NO_x emitido através da combustão de combustíveis fósseis e na exaustão de veículos motorizados
Minerais	Erosão	Poeiras fugitivas, ruas pavimentadas e não pavimentadas, agricultura e florestação	—	—
NH_4^+	—	Exaustão de veículos motorizados	Emissões de NH_3 de animais selvagens e solos em pousio	Emissões de NH_3 de animais domésticos, esgotos e solos fertilizados
Carbono orgânico	Fogos florestais selvagens	Queimadas, queima de madeira e exaustão de veículos motorizados	Oxidação de hidrocarbonetos emitidos pela vegetação e fogos florestais selvagens	Oxidação de hidrocarbonetos emitidos por veículos automóveis, queima de madeira
Carbono elementar	Fogos florestais selvagens	Queima de madeira e exaustão de veículos motorizados	—	—
Metais	Actividade vulcânica	Combustão de combustíveis fósseis	—	—
Bioaerossóis	Vírus e bactérias	—	—	—
Fontes PM > 2,5 μm				
Minerais	Erosão	Poeiras fugitivas, ruas pavimentadas e não pavimentadas, agricultura e florestação	—	—
Iões diversos	Sprays marinhos	Sais das estradas	—	—
Carbono orgânico	—	Revestimento asfaltico de estradas	—	—
Fragmentos de carbono	Fogos florestais selvagens	Queima de madeira, cozinhar e exaustão de veículos motorizados	—	—
Metais	Plantas e fragmentos de insectos	—	—	—
Bioaerossóis	Pólen, esporos de fungos, aglomerados de bactérias	—	—	—

Fonte: USEPA (b), 1997

A figura 10 representa a distribuição da emissão de partículas na UE em 1998.



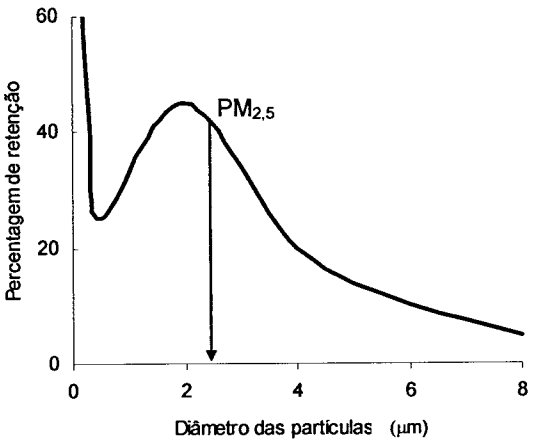
(Fonte: EEA, Data Service)

Figura 10. Emissão de partículas na UE em 1998.

Em Portugal, que segue normalmente o perfil apresentado pela UE, o sector dos transportes é o que mais contribuiu para o total de emissões deste poluente.

A principal fonte de exposição que se encontra relacionada com os efeitos directos das partículas em suspensão na saúde humana é a inalação (WHO, 2000). A figura 11 representa a taxa de retenção de partículas nos pulmões humanos em função do diâmetro nominal deste poluente.

O efeito das partículas na saúde humana depende essencialmente do seu tamanho, composição química, taxa de deposição nos pulmões e também do funcionamento do aparelho respiratório. As partículas mais pequenas (ultrafinas), especialmente as de origem antropogénica, são as mais perigosas, pois penetram nos alvéolos pulmonares e atingem a circulação sanguínea (Querol et al., 2001). A acumulação de partículas no organismo humano pode provocar sintomas e doenças como asma e paragens cardíacas ou se o tempo de exposição for muito longo, cancro e doenças pulmonares (Ohlström et al., 2000, Ruuskanen et al., 2001; Brunekreef e Holgate, 2002).



(Fonte: Peavy, 1985)

Figura 11. Retenção de partículas nos pulmões em função da sua dimensão.

Foi também relacionado o aumento do número de mortes e doenças respiratórias com o aumento deste poluente na atmosfera. Para um aumento de 10 $\mu g/m^3$ na concentração de PM_{10} na atmosfera, encontra-se estimado um aumento da mortalidade em 0,5 – 1,6% (Dockery e Pope III, 1994; Ruuskanen et al., 2001).

A deposição de partículas na vegetação impede a absorção da luz solar, interferindo no processo de fotossíntese. As partículas podem provocar corrosão dos edifícios e de outros materiais, diminuindo o seu tempo de vida útil e aumentando os custos de limpeza e manutenção. Na atmosfera estas intervêm com a formação de nuvens, nevoeiro e precipitação, interferindo no ciclo da água. Podem ainda interferir na clima ao absorver e difundir a radiação solar (Ohlström et al., 2000, Lazaridis et al., 2002).

1.3.3.2 Compostos de enxofre

São considerados nesta categoria, como formas oxidadas, o dióxido de enxofre (SO_2), o trióxido de enxofre (SO_3), o ácido sulfúrico (H_2SO_4), e como forma reduzida, o sulfureto de hidrogénio (H_2S). Dos compostos de enxofre considerados, o dióxido de enxofre (SO_2) é o poluente maioritário e com mais relevância ao nível da poluição atmosférica.

O SO_2 é um gás incolor, não inflamável e não explosivo, com odor irritante. O tempo médio de vida deste poluente na atmosfera está estimado em cerca de 2 – 4 dias e durante este

intervalo de tempo pode ser transportado em distâncias da ordem dos 1 000 km (Gomes, 2001, Peavy, 1985).

As fontes naturais, como erupções vulcânicas, contribuem para o aumento dos teores de SO_2 no ambiente. No entanto, na Europa, são motivo de preocupação as contribuições antropógenicas. Estas emissões são normalmente resultado da utilização de combustíveis contendo enxofre para aquecimento doméstico e produção de energia. A utilização de chaminés muito altas nas estações de geração de energia, provocam uma dispersão e consequente diluição deste poluente. Estes factos conduzem a que as concentrações verificadas nas cidades e nos meios rurais sejam semelhantes (WHO, 2000).

Os transportes não contribuem de forma significativa para as emissões antropogénicas de SO_x. Isto porque o teor de enxofre nos combustíveis automóveis é muito inferior ao do fuel de queima na indústria. No entanto, também as emissões de SO_2 emitidas pelo sector industrial têm vindo a ser reduzidas, como resultado da aplicação do programa *Auto-oil*. Este programa, a ser aplicado em todos os estados membros da UE, tem como objectivo a redução faseada dos teores de enxofre nos combustíveis automóveis (gasolinas e gasóleo) e industriais (fuel-óleo) até 2005. O cronograma deste programa encontra-se na tabela 5.

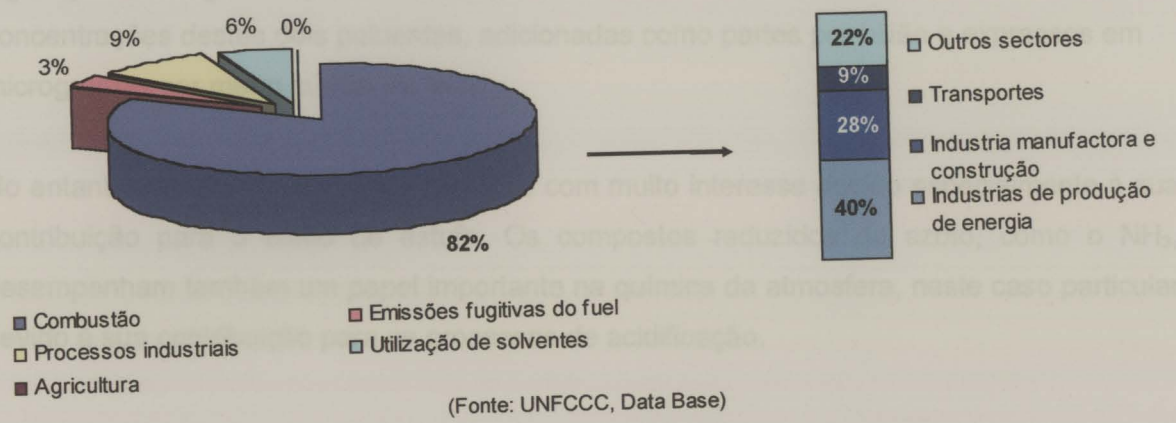
Tabela 5. Programa *Auto-oil* para redução do teor de enxofre nos combustíveis de queima.

% S	Especificação antes de 2000	Especificação em 2000	Especificação em 2003	Especificação em 2005
Gasolina sem Pb	0,05% (w/w) **500 ppm**	0,015% (w/w)[1] 150 ppm	—	0,005% (w/w) **50 ppm**
Gasóleo	0,05% (w/w) **500 ppm**	0,035% (w/w)[2] 350 ppm	—	0,005% (w/w) **50 ppm**
Fuel-oleo	4 % (w/w)	—	1 % (w/w)	—

[1] Derrogação por 2 anos para Portugal
[2] Derrogação por 1 ano para Portugal

Como se pode verificar, em pouco mais de 5 anos o teor de enxofre na gasolina e no gasóleo terá que diminuir 90%. Para o fuel-óleo a redução é de 75% em aproximadamente 3 anos. Estas alterações na composição dos combustíveis, irão necessariamente reflectir-se na diminuição das concentrações deste poluente ao longo do tempo.

A figura 12 representa a contribuição de cada fonte antropogénica deste poluente, para o total de SO_2 emitido em Portugal no ano 1999.



(Fonte: UNFCCC, Data Base)

Figura 12. Fontes antropogénicas de emissão de SO_2 em Portugal em 1999.

Como seria de esperar, também em Portugal a maior percentagem de emissões de SO_2 resulta da queima de combustíveis para a produção de energia, em particular, os utilizados em centrais termoeléctricas. A percentagem de emissão deste poluente associada aos transportes é muito baixa.

A inalação é a única fonte de exposição do Homem e animais ao SO_2. A exposição ao SO_2, H_2SO_4 e sulfatos, é responsável por irritação das membranas mucosas do aparelho respiratório, doenças crónicas pulmonares em particular a bronquite e enfisemas pulmonares (Colvile et al., 2001). Numa atmosfera que contenha partículas em suspensão os efeitos do SO_2 são potenciados, pois este poluente paralisa os cílios nasais responsáveis pela retenção das partículas. Assim as partículas entram no sistema respiratório acumulando-se nos pulmões, normalmente arrastando SO_2 e outros poluentes adsorvidos na sua superfície. A combinação de partículas com SO_2 pode ser responsável por casos de morte em episódios de poluição atmosférica (Ware et al., 1981).

1.3.3.3 Óxidos de azoto

Por óxidos de azoto (NO_x) designa-se um grupo de seis compostos gasosos: oxido de azoto (NO), dióxido de azoto (NO_2), óxido de diazoto (N_2O), trióxido de diazoto (N_2O_3), tetróxico de diazoto (N_2O_4) e pentóxido de diazoto (N_2O_5). Os dois óxidos mais importantes quando se fala em poluição atmosférica são o NO e NO_2. Segundo a

legislação Portuguesa (DL 111/2002), define-se óxidos de azoto como soma das concentrações destes dois poluentes, adicionadas como partes por bilião e expressas em microgramas por metro cúbico de NO_2.

No entanto, o N_2O é também um poluente com muito interesse devido especialmente à sua contribuição para o efeito de estufa. Os compostos reduzidos de azoto, como o NH_3, desempenham também um papel importante na química da atmosfera, neste caso particular devido à sua contribuição para os processos de acidificação.

O NO é um gás incolor, insípido, inodoro e pouco tóxico, não sendo considerado um poluente perigoso nas concentrações normalmente presentes na atmosfera. O NO_2 é um composto solúvel em água de cor castanho avermelhado e um oxidante muito forte. Este poluente atmosférico é muito importante não só devido às suas implicações na saúde humana, mas também porque: absorve a radiação solar na gama do visível contribuindo para a diminuição da visibilidade e para as alterações climáticas; em conjunto com o NO, é um dos principais reguladores da capacidade oxidante da troposfera, controlando o aparecimento e desaparecimento de espécies radicais (p.e. os radicais hidroxilo) desempenhando um papel determinante no estabelecimento das concentrações de ozono na troposfera (WHO, 2000).

Nos gases provenientes da combustão o NO predomina sobre o NO_2, sendo a fracção de NO_2 normalmente inferior a 10% do NO emitido. No entanto, na atmosfera o NO é rapidamente oxidado a NO_2 segundo a reacção 4. O NO_2 é por isso considerado um poluente secundário (Seinfield, 1998).

$$NO\ (g) + \tfrac{1}{2}\ O_2\ (g) \longrightarrow NO_2\ (g) + h\nu \qquad (4)$$

Em conjunto com compostos orgânicos voláteis, e na presença de radiação solar, o NO_2 é responsável pela formação de oxidantes fotoquímicos como o ozono. Como tal, a presença de óxidos de azoto na atmosfera em concentrações de ppb ou inferiores, desempenha um papel fundamental na química da troposfera.

As fontes naturais e biogénicas de NO_x incluem as intrusões provenientes da estratosfera, erupções vulcânicas, trovoadas, fogos florestais e a decomposição bacteriológica da matéria orgânica. No entanto, a maior fonte destes poluentes é antropogénica. A queima de combustíveis fósseis em fontes estacionárias como processos de produção de energia e

aquecimento ou nos motores de combustão interna dos veículos motorizados são actualmente as fontes de emissão com mais impacto (WHO, 2000).

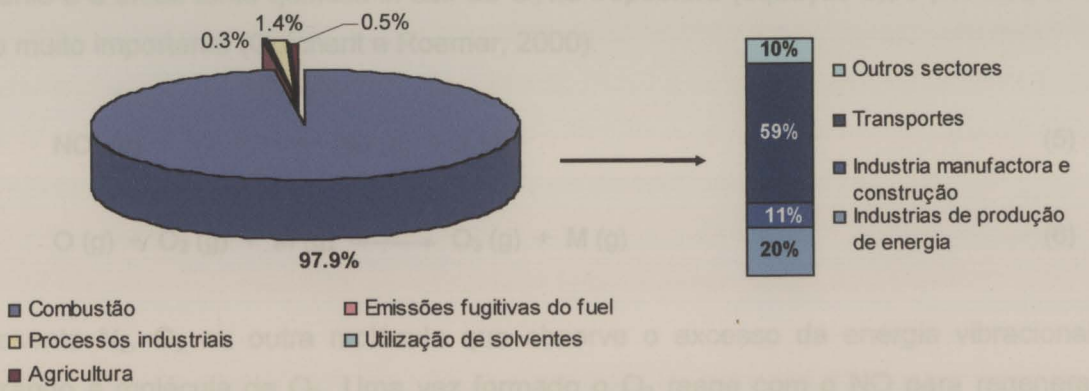
A formação de óxidos de azoto durante o processo de combustão é um fenómeno complexo, afectado por inúmeros factores como as características do processo de combustão, o tipo e composição do combustível e pelas características do equipamento de combustão, como é evidenciado na tabela 6.

Tabela 6. Concentração de NO_x nas emissões de instalações industriais (mg/Nm^3).

	Gás	Fuel Óleo	Carvão
Centrais térmicas	0,7	1,2	1,5
Indústria	0,4	0,85	1,5
Fornalhas	0,4	0,8	1,5

(Fonte: Gomes, 2001)

Em Portugal, no ano de 1999, os processos de combustão eram a fonte de emissão de maior relevância, uma vez que era responsável por 98% do total das emissões antropogénicas de NO_x (figura 13). Dessa percentagem, 59% está relacionada com o sector dos transportes e 20% é associada à produção e transformação de energia. Assim, poder-se-á concluir que o sector dos transportes é aquele que mais contribui para a emissão destes poluentes. Contudo, a introdução de alterações nos motores dos veículos automóveis, com queimas mais eficientes e os avanços tecnológicos na concepção de novos catalisadores irá seguramente contribuir para a descida deste valor com o decorrer do tempo.



(Fonte: UNFCCC, Data Service)

Figura 13. Fontes antropogénicas de emissão de NO_x em Portugal em 1999.

A fonte de exposição ao NO_2 mais relevante para o Homem e animais é a inalação (WHO, 2000). Os principais impactos na saúde humana, resultantes do aumento da concentração

de NO_2 são: o aumento dos casos de alergia (Janssen et al, 2001); o aumento de admissões hospitalares devido a casos de asma, doenças cardiovasculares (ataques cardíacos e angina de peito) e doenças crónicas de obstrução pulmonar; o aumento do número de mortes, especialmente as devidas a problemas cardiovasculares e o aumento da mortalidade intrauterina e infantil (USEPA (b), 1997; Brunekreef e Holgate, 2002).

1.3.3.4 Ozono troposférico

O ozono (O_3) pode ser considerado o composto com o papel mais relevante na química da troposfera, pois desempenha um papel importantíssimo no controlo da composição da atmosfera (Seinfield, 1998, Bottenhiem et al., 2002).

Parte do O_3 existente na troposfera pode ser proveniente da estratosfera através do mecanismo de transporte vertical. No entanto, a grande parte do O_3 troposférico é produzida e destruída na própria troposfera através de reacções químicas envolvendo radicais livres (Guicherit e Roemer, 2000) sendo por isso considerado um poluente secundário.

A única reacção de formação de O_3 é a que envolve oxigénio atómico e molecular (equação 6). Ao contrário do que à primeira vista pode parecer, a fonte de oxigénio atómico não é o O_2 mas sim o NO_2, pois o O_2 absorve radiações de comprimento de onda mais baixos que as radiações que chegam à troposfera. A fotodissociação do NO_2 com produção de um átomo de oxigénio é a única fonte química *in situ* de O_3 na troposfera (equação 5), é por isso uma reacção muito importante (Guicherit e Roemer, 2000).

$$NO_2\,(g) + h\nu \longrightarrow NO\,(g) + O\,(g) \qquad (5)$$

$$O\,(g) + O_2\,(g) + M\,(g) \longrightarrow O_3\,(g) + M\,(g) \qquad (6)$$

M representa N_2, O_2 ou outra molécula que absorve o excesso da energia vibracional, estabilizando a molécula de O_3. Uma vez formado o O_3 reage com o NO para regenerar NO_2:

$$O_3\,(g) + NO\,(g) \longrightarrow NO_2\,(g) + O_2\,(g) \qquad (7)$$

Estas reacções isoladas e na ausência de CO ou compostos orgânicos não produzem O_3, apenas reciclam O_3 e NO_x. Assim, na presença de um composto orgânico genérico RH, a reacção final da formação de O_3 é:

$$RH\,(g) + 4O_2\,(g) + 2h\nu \longrightarrow RCHO\,(g) + H_2O\,(g) + 2O_3\,(g) \quad (8)$$

O O_3 pode também absorver radiação no comprimento de onda de 240 a 325 nm que o decompõe novamente em O_2, O ou átomos de oxigénio electronicamente excitados ($O(^1D)$) (Guicherit e Roemer, 2000; Ma e Weele, 2000):

$$O_3\,(g) + h\nu \longrightarrow O_2\,(g) + O\,(g) \quad (9)$$

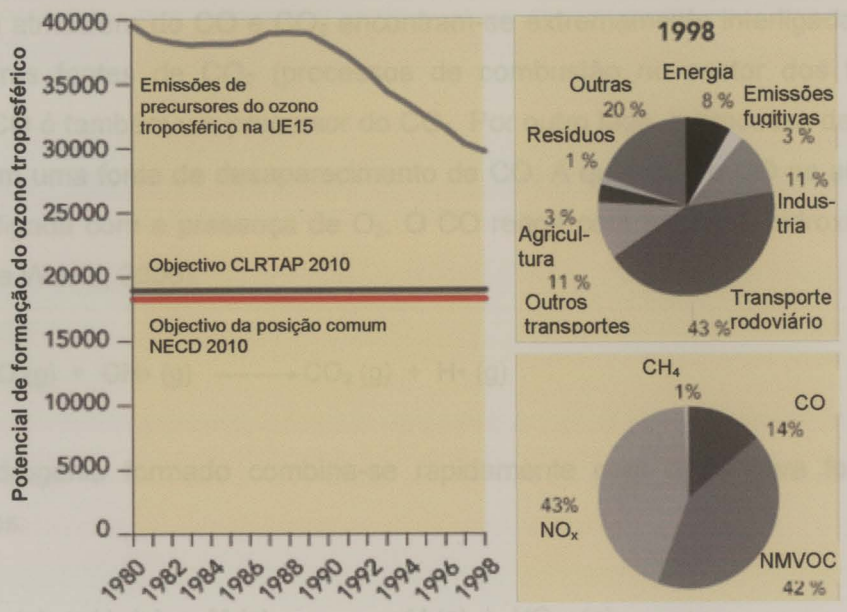
$$O_3\,(g) + h\nu \longrightarrow O(^1D)\,(g) + O_2\,(g) \quad (10)$$

Quando $O(^1D)$ é produzido tem necessariamente que reagir com outra espécie atmosférica. Na maioria das vezes colide com O_2 ou N_2, removendo o excesso de energia com consequente transição do $O(^1D)$ para o seu estado fundamental. Ocasionalmente, o $O(^1D)$ colide com moléculas de H_2O produzindo dois radicais hidroxilo:

$$O(^1D)\,(g) + H_2O\,(g) \longrightarrow 2\,OH\bullet\,(g) \quad (11)$$

Este radical, ao contrário de muitos fragmentos moleculares formados a partir de moléculas com carbono, não é reactivo na presença de oxigénio, e sobrevive reagindo com a maior parte dos compostos vestigiários presentes na atmosfera. É por isso um outro composto extremamente importante na química da atmosfera. As reacções 9 e 10 actuam em conjunto como um meio de desaparecimento do O_3 e são ao mesmo tempo a maior fonte de radicais OH na troposfera. Muitos compostos atmosféricos, incluindo os precursores do O_3 (CO, CH_4, NO_2 e COV) são removidos da atmosfera através da reacção com estes radicais.

A figura 14 representa a evolução da quantidade total de precursores de O_3 emitida para a atmosfera na UE de 1980 a 1998. Os objectivos para 2010 são os estabelecidos no Protocolo de Gotemburgo (Dezembro 1999) e na mais recente Directiva sobre os tectos admissíveis para as emissões nacionais (NECD - National Emission Ceilings Directive - Common Position targets, June 2000). Na mesma figura encontra-se ainda representada a percentagem de contribuição das diferentes fontes de emissão e de cada percursor para os valores atingidos no ano de 1998.



(Fonte: EEA Data Service)

Figura 14. Evolução dos precursores do O_3 na UE até 1998.

As condições atmosféricas no Verão favorecem a formação de O_3 devido ao aumento da radiação UV, da temperatura e da diminuição da intensidade dos ventos com consequente aumento da estagnação (WHO, 2000).

Dadas as suas características, a fonte mais significativa de exposição do Homem e animais ao O_3 é através da inalação, qualquer outra fonte é extremamente improvável (WHO, 2000). Estudos revelam que a exposição humana a atmosferas com concentrações elevadas de O_3 é responsável pelo aumento de casos de asma (McConnell et al., 2002), assim como, irritação das membranas mucosas do aparelho respiratório, doenças crónicas pulmonares em particular bronquites e enfisemas pulmonares (Seinfeld, 1998; WHO, 2000; Colvile et al., 2001). O O_3 pode ainda ser associado a casos de morte (Brunekreef e Holgate, 2002).

1.3.3.5 Monóxido de carbono

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, insípido, inodoro e pouco solúvel em água, com um tempo de vida na atmosfera estimado em cerca de 2,5 meses (Peavy, 1985; WHO, 2000).

A química da atmosfera do CO e CO_2 encontram-se extremamente interligadas. Apesar de existirem outras fontes de CO_2 (processos de combustão no sector dos transportes e indústria), o CO é também um precursor do CO_2. Por outro lado, o processo de formação do CO_2 é também uma fonte de desaparecimento de CO. A química do CO na atmosfera está intimamente ligada com a presença de O_3. O CO reage com o radical hidroxilo segundo a reacção (Ma e Weele, 2000):

$$CO\,(g) + OH\bullet\,(g) \longrightarrow CO_2\,(g) + H\bullet\,(g) \qquad (12)$$

O radical hidrogénio formado combina-se rapidamente com o O_2 para formar radicais hidroperóxidos:

$$O_2\,(g) + H\bullet\,(g) + M\,(g) \longrightarrow M\,(g) + HO_2\bullet\,(g) \qquad (13)$$

Mais uma vez M representa N_2, O_2 ou outra molécula que absorve o excesso da energia vibracional, estabilizando a molécula formada. As reacções 12 e 13 podem ser simplesmente escritas como:

$$CO\,(g) + OH\bullet\,(g) \xrightarrow{O_2} CO_2\,(g) + HO_2\bullet\,(g) \qquad (14)$$

Quando se encontra presente NO, este reage com $HO_2\bullet$ dando origem ao radical hidroxilo e NO_2. Assim, a oxidação atmosférica do CO a CO_2 pode ser sumariada:

$$\begin{aligned}
&CO\,(g) + OH\bullet\,(g) \xrightarrow{O_2} CO_2\,(g) + HO_2\bullet\,(g)\\
&NO\,(g) + HO_2\bullet\,(g) \longrightarrow NO_2\,(g) + OH\bullet\,(g)\\
&NO_2\,(g) + h\nu \longrightarrow NO\,(g) + O\,(g)\\
&O\,(g) + O_2\,(g) + M\,(g) \longrightarrow O_3\,(g) + M\,(g)\\
\hline
&CO\,(g) + 2\,O_2\,(g) + h\nu \longrightarrow CO_2\,(g) + O_3\,(g)
\end{aligned} \qquad (15)$$

Note-se que o $OH\bullet$ e $HO_2\bullet$ não são consumidos neste ciclo reactivo, que pode ser visto como a oxidação catalítica do CO a CO_2. Esta cadeia de reacções termina quando o $OH\bullet$ reage com NO_2 para formar ácido nítrico (reacção 16), ou com a reacção entre duas moléculas de $HO_2\bullet$. No entanto é normalmente assumido que a concentração de NO_x é suficientemente elevada para favorecer a reacção 16.

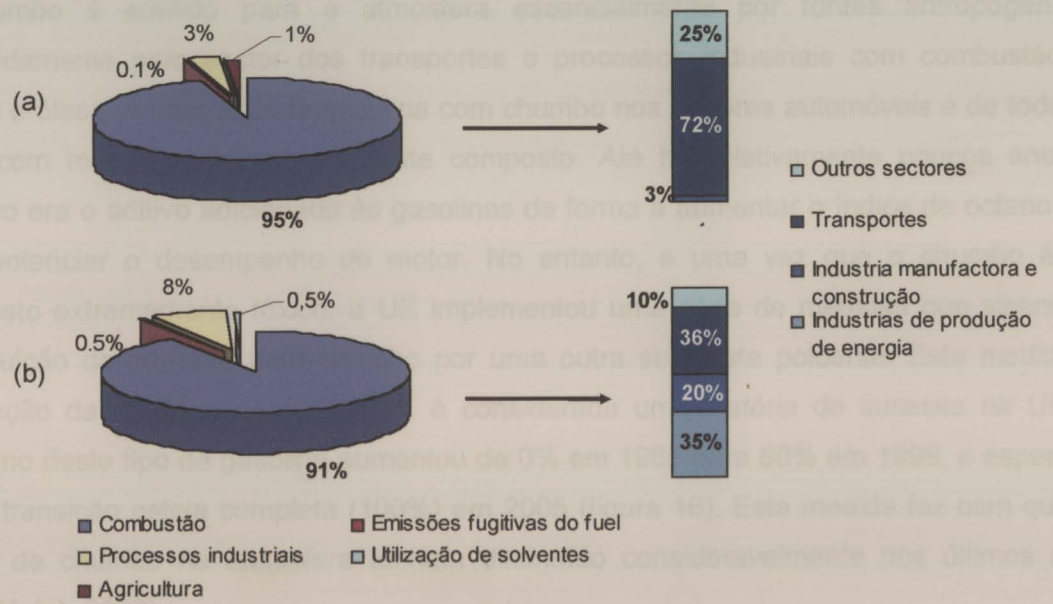
$$NO_2\,(g) + OH\bullet\,(g) + M\,(g) \longrightarrow HNO_3\,(g) + M\,(g) \qquad (16)$$

As emissões anuais de CO para a atmosfera estão estimadas num número superior a 2 600 milhões de toneladas das quais 60% têm origem antropogénica e 40% são resultado de emissões naturais. Entre as fontes naturais de CO encontram-se as fontes biológicas, os oceanos e a oxidação de hidrocarbonetos. O sector dos transportes, os processos industriais, a queima de combustíveis fósseis nas centrais de produção de energia e incineração são as fontes de emissão antropogénicas mais relevantes deste poluente (WHO, 2000).

A concentração de CO presente no meio ambiente é influenciada pelo número de veículos motorizados existentes na área, condições climatéricas e topografia local. De facto, na via pública as concentrações deste poluente diminuem à medida que aumenta a distância ao tráfego automóvel. Segundo a WHO, a medição de concentrações de CO em estações de medida da qualidade do ar (fixas) não reflectem a exposição humana real a este poluente (WHO, 2000).

A figura 15, apresenta as fontes antropogénicas mais relevantes de CO e CO_2 para a atmosfera no ano de 1999 em Portugal.

Os processos de combustão são as principais fontes de emissão de CO e CO_2 em Portugal, com o sector dos transportes e indústria a desempenharem um papel relevante neste quadro de emissões.



(Fonte: UNFCCC, Data Service)

Figura 15. Fontes antropogénicas de emissão de (a) CO e (b) CO_2, em Portugal em 1999.

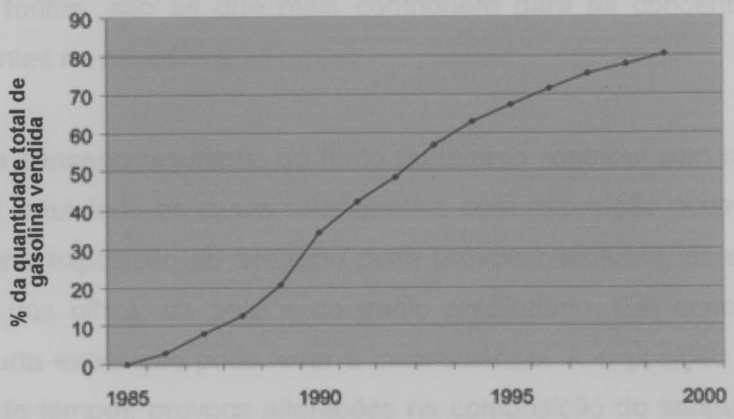
Uma vez que o CO é um gás relativamente estável na atmosfera, a inalação é a única via significativa de exposição a este poluente. Nas cidades o CO encontra-se presente em quantidades suficientes para aumentar o número de doenças cardiovasculares. Este poluente reage com a hemoglobina do sangue (Hb) formando a carboxihemoglobina (COHb), reduzindo a capacidade do sangue de transportar oxigénio (Colvile et al., 2001). O CO pode competir seriamente com o O_2, mesmo quando se encontra presente em pequenas quantidades, pois a afinidade da hemoglobina para com o CO é 200 vezes superior à que tem com o O_2 (Peavy, 1985).

Em determinadas concentrações o CO pode reduzir a acuidade mental e visual, provocar doenças cerebrais, respiratórias e até levar à morte. Está também provado que este poluente pode interferir no desenvolvimento intra-uterino (WHO, 2000).

1.3.3.6 Chumbo

O chumbo (Pb) é emitido para a atmosfera no seu estado fundamental, sob a forma de óxidos (PbO, PbO_2, Pb_xO_3), sulfatos e sulfuretos ($PbSO_4$, PbS), alquilos ($Pb(CH_3)_4$, $Pb(C_2H_5)_4$) e halogenetos de chumbo. Este poluente encontra-se normalmente associado a partículas inorgânicas (Peavy, 1985).

O chumbo é emitido para a atmosfera essencialmente por fontes antropogénicas, nomeadamente pelo sector dos transportes e processos industriais com combustão de carvão e óleos. A utilização de gasolina com chumbo nos motores automóveis é de todas, a fonte com mais preponderância deste composto. Até há relativamente poucos anos, o chumbo era o aditivo adicionado às gasolinas de forma a aumentar o índice de octano (IO) para potenciar o desempenho do motor. No entanto, e uma vez que o chumbo é um composto extremamente tóxico, a UE implementou uma série de medidas que visaram a substituição da gasolina com chumbo por uma outra sem este poluente. Esta medida, a introdução da gasolina sem chumbo, é considerada uma história de sucesso na UE. O consumo deste tipo de gasolina aumentou de 0% em 1985 para 80% em 1999, e espera-se que a transição esteja completa (100%) em 2005 (figura 16). Esta medida fez com que os teores de chumbo na atmosfera tenham diminuído consideravelmente nos últimos anos (USEPA (a), 2000).



(Fonte: EEA, Data Service)

Figura 16. Evolução do consumo de gasolina sem chumbo na UE.

A exposição humana ao chumbo pode acontecer através da inalação de partículas compostas com este poluente. Estudos clínicos, epidemiológicos e toxicológicos demonstram que a exposição a este poluente tem efeitos adversos na saúde humana, nomeadamente nos sistemas nervoso, renal e sanguíneo, que são os mais sensíveis à presença de chumbo. O chumbo pode também afectar as funções reprodutivas, endócrinas, cardiovasculares, imunológicas e gastrointestinais (USEPA (a), 2000). Este poluente é considerado pela USEPA como um carcinogénico humano provável.

As crianças são particularmente sensíveis aos efeitos crónicos do chumbo. Na sua presença, verifica-se a desaceleração do crescimento (USEPA (a), 2000), assim como, a diminuição do desenvolvimento cognitivo e problemas ao nível neurológico, com associações à diminuição do coeficiente de inteligência (QI) (Colvile et al., 2001).

1.3.3.7 Benzeno

O benzeno (C_6H_6) é um composto orgânico pertencente à família dos BTX (compostos aromáticos – benzeno, tolueno e xilenos). Este composto é utilizado na produção de detergentes, explosivos, produtos farmacêuticos e actualmente com muito menor expressão, como componente de gasolinas.

O benzeno pode ser encontrado nas emissões resultantes da queima de carvão ou fuel óleo, dos escapes dos veículos motorizados e da evaporação da gasolina nas estações de

serviço. Estas fontes, são as que mais contribuem para as concentrações elevadas de benzeno existentes na atmosfera.

A exposição ao benzeno resultante do fumo do tabaco contribui com cerca de 50% para a exposição total, excluindo os casos relacionados com exposição ocupacional (USEPA (a), 2000). Uma curta exposição ao benzeno pode provocar tonturas, dores de cabeça, assim como irritação dos olhos, da pele e do tracto respiratório. Em concentrações elevadas, mesmo uma curta exposição pode levar à inconsciência. A exposição crónica (durante um longo período de tempo), provoca alterações na composição do sangue, nomeadamente a diminuição do número de glóbulos vermelhos. O benzeno pode provocar leucemia em humanos (Wittkamp et al., 1997). Este poluente afecta também a reprodução humana e provoca efeitos adversos no crescimento fetal. É considerado pela USEPA carcinogénico e neurotóxico (USEPA (a), 2000).

1.3.3.8 Outros compostos orgânicos presentes na atmosfera

Os compostos orgânicos encontram-se em abundância no ar atmosférico, com especial incidência nas zonas mais densamente povoadas e industrializadas. Muitos destes compostos, dadas as suas propriedades, podem ser agrupados em classes, que facilitam o posterior tratamento ao nível de técnicas de amostragem, extracção e métodos de análise. Desta forma, consideram-se normalmente os seguintes grupos de compostos orgânicos: COVs, PAHs, PCBs, dioxinas e furanos.

Segundo a directiva 2002/3/CE são compostos orgânicos voláteis (COVs) todos os compostos orgânicos de origem antropogénica e biogénica, com exclusão do metano, que possam produzir oxidantes fotoquímicos por reacção com óxidos de azoto, na presença de luz solar. A concentração destes poluentes no ar das cidades flutua durante o dia, sendo geralmente superior de manhã, diminuindo durante o dia, atingindo o ponto mais baixo à hora do almoço, voltando a subir ao fim da tarde. Esta variação coincide com a variação da intensidade do tráfego automóvel. O interesse na determinação de compostos orgânicos voláteis na atmosfera aumentou nas décadas passadas e em alguns países, a monitorização contínua de alguns compostos desta classe é obrigatória (Pankow et al., 1998).

Os PAHs são compostos que se encontram presentes em todas as matrizes ambientais. Ao contrário da maior parte dos poluentes ambientais, o potencial perigo resultante da exposição a estes compostos, encontra-se ainda largamente subestimado (Knopp et al., 1999). As dioxinas e os furanos (PCDD/Fs – dibenzodioxinas e dibenzofuranos policlorados) são dois grupos de compostos aromáticos planares triciclicos que actualmente não são produzidos intencionalmente, mas são libertados para o ambiente em concentrações quase vestigiárias, por processos de combustão. Os PCDD/Fs são considerados como sendo provavelmente cancerígenos para os humanos, excepto o congénere 2,3,7,8, que está já provado ser cancerígeno para os humanos (Mukerjee, 1998).

A tabela 7 apresenta as principais utilizações, fontes de emissão e exposição para cada um dos compostos, ou classes de compostos, definidos como tóxicos pela WHO.

Tabela 7. Principais utilizações, fontes de emissão e de exposição de compostos orgânicos presentes na atmosfera.

Composto	Principais Utilizações	Fontes de Emissão / Exposição e Efeitos
Acetaldeído CH_3CHO	- Intermediário na síntese de outros produtos químicos, como p. ex. resinas à base de poliester. - Faz parte da composição de perfumes. - Conservante de peixes e frutos. - Solvente de borracha e utilizado nas industrias de papel.	Surge como produto intermédio no processo de respiração das plantas e é um dos produtos finais da combustão incompleta da madeira em fogos florestais e fornos a lenha. É também detectado durante a queima do café e tabaco, nos fumos de exaustão dos veículos automóveis, na refinação do carvão ou no processamento de resíduos. As lareiras domésticas e os fornos a lenha são as duas maiores fontes de emissão, seguindo-se as emissões industriais. Por todas estas razões, não será difícil de concluir que uma elevada percentagem da população se encontra exposta a este composto, especialmente por via respiratória. Carcinogénico e neurotóxico.
Acrilonitrilo C_3H_3N	- Produção de fibras acrílicas. - Interveniente nos processos de fabrico de plásticos, adiponitrilos, acrilamida e borrachas de nitrilo.	A exposição humana ao acrilonitrilo é essencialmente ocupacional por via respiratória, pois pode ser libertado para o ar ambiente durante a sua produção e/ou utilização. Carcinogénico e neurotóxico.
Acroleína C_3H_4O	- Produto intermédio no fabrico de ácido acrílico.	A acroleína pode ser formada através da quebra de ligações de alguns poluentes que se encontram no ar ambiente, no fumo do tabaco ou nos produtos resultantes da queima de gasolina. Assim, a exposição à acroleína pode ocorrer através da inalação de ar contaminado, fumo do tabaco ou através da proximidade com automóveis ou centrais a carvão e/ou fuel. Carcinogénico e neurotóxico.
Bifenilos Policlorados (PCBs)	Os PCBs, actualmente, não são produzidos ou utilizados no fabrico de qualquer produto comercial.	Os PCBs existentes no ambiente distribuem-se pelas diversas matrizes ambientais. Pequenas quantidades de PCBs podem ser libertadas para a atmosfera especialmente devido à deposição pouco cuidada de resíduos que contenham estes compóstos ou resultante da incineração desses mesmos resíduos. Os PCBs são detectados no ar interior em concentrações mais elevadas que na atmosfera exterior. Foi já sugerido que este aspecto pode dever-se ao facto de algumas aplicações eléctricas, como lâmpadas fluorescentes, possam emitir PCBs para o ar interior. No caso dos PCBs é também classificada como provável a sua capacidade indutora de cancro.
1,3-Butadieno C_4H_6	Produção de borrachas, plásticos e co-polímeros, como p. ex. Acrílicos.	As fontes do butadieno libertado para a atmosfera são a exaustão de veículos a motor, os fogos florestais, o fumo do cigarro e outras combustões. Quanto mais industrializada for a região, maiores são os níveis de butadieno no ar. São também detectados teores mais elevados em locais próximos de refinarias, pólos industriais de fabrico de produtos químicos, fábricas de plásticos e borracha. Carcinogénico e neurotóxico.

Tabela 7. Principais utilizações, fontes de emissão e de exposição de compostos orgânicos presentes na atmosfera (continuação).

Composto	Principais Utilizações	Fontes de Emissão / Exposição e Efeitos
Cloreto de Vinilo C_2H_3Cl	Produção de policloreto de vinilo (PVC), material utilizado no fabrico de diversos plásticos.	As concentrações de cloreto de vinilo no ar ambiente são geralmente baixas e têm origem nas descargas de gases de exaustão de fábricas que produzem ou utilizam o cloreto de vinilo, ou devido à evaporação de cloreto de vinilo de locais de armazenagem. Carcinogénico e neurotóxico.
Clorofórmio $CHCl_3$	Produção de pesticidas.	O clorofórmio aparece na atmosfera proveniente de um elevado número de fontes relacionadas com o seu fabrico e utilização. Forma-se durante a desinfecção de água para consumo, águas residuais e água de piscinas. Fábricas de pasta e papel, locais de deposição de resíduos perigosos e aterros sanitários, são também fontes de emissões gasosas. Carcinogénico e neurotóxico.
1,2-Dibromoetano $C_2H_4Br_2$	- Produto intermédio no fabrico de resinas, ceras, e pastilhas. - Usado no tratamento de madeiras para o combate aos insectos e térmites.	A exposição ao 1,2-dibromoetano ocorre da inalação do ar atmosférico na proximidade de indústrias que fabricam ou utilizem este composto. Carcinogénico e neurotóxico.
Diclorometano CH_2Cl_2	- Solvente de tintas, solvente processual no fabrico de medicamento e produtos farmacêuticos, solvente e agente de limpeza de acabamentos metálicos. - Aerossóis para produtos como tintas de automóveis ou insecticidas.	A principal fonte de exposição da população é através da inalação do ar ambiente. Carcinogénico e neurotóxico.
1,2-Dicloroetano $C_2H_4Cl_2$	- Produção de cloreto de vinilo, assim como outros produtos químicos. - Usado em solventes para extracção e limpeza em processos de síntese de compostos orgânicos.	A exposição a este composto dá-se essencialmente através da atmosfera, sendo por isso, a inalação o meio de contacto mais vulgar. O 1,2-dicloroetano pode ser libertado para a atmosfera durante a sua produção, armazenagem, utilização, transporte ou deposição. Carcinogénico e neurotóxico.
1,3-Dicloropropeno $C_3H_6Cl_2$	Componente principal de muitas das formulações usadas nos pesticidas agrícolas.	Os trabalhadores que estão ligados ao fabrico, manuseamento ou aplicação de pesticidas com 1,3-dicloropropeno, encontram-se sujeitos a uma maior exposição. A população em geral pode estar exposta ao 1,3-dicloropropeno por inalação. Carcinogénico e neurotóxico.
Dioxinas e Furanos	Os PCDD/Fs não são produzidos ou utilizados no fabrico de qualquer produto comercial.	A principal fonte destes compostos consiste na sua formação durante o processo de combustão. Os PCDD/Fs são detectados no ar ambiente provenientes do fumo de cigarros, fumos de exaustão dos veículos automóveis, incineração, queima de madeiras em fogos florestais e em habitações, etc. São considerados como sendo provavelmente cancerígenos para os humanos, excepto o congénere 2,3,7,8, que está já provado ser cancerígeno para os humanos (Mukerjee, 1998). Alguns autores defendem que o contacto crescente das populações com estes compostos podem introduzir alterações no comportamento sexual dos indivíduos (NATO, 2001).
Estireno C_8H_8	Fabrico de plásticos, látex, tintas e revestimentos.	O estireno é detectado no ar principalmente em locais próximos de complexos industriais onde é produzido ou utilizado. Outras fontes de emissão são o fumo da exaustão de veículos, fumo de cigarros ou qualquer outra forma de combustão ou incineração de produtos derivados do estireno. Carcinogénico e neurotóxico.
Formaldeído CH_2O	- Produto químico intermédio. - Usado na agricultura, como reagente analítico, em cosméticos, desinfectantes e na preservação da madeira.	Os níveis mais elevados de formaldeído foram detectados no ar interior, onde é libertado dos materiais de construção ou peças de mobiliário. Uma fonte importante de emissão de formaldeído é o fumo do tabaco, assim como, os gases de exaustão dos veículos automóveis e incineradoras. Composto cancerígeno para os animais (NIOSH, OCHA) e humanos (USEPA).
Hexaclorobenzeno C_6Cl_6	É formado como subproduto no fabrico de pesticidas e solventes.	A exposição por inalação pode ocorrer através da proximidade de áreas industriais onde o hexaclorobenzeno é formado como subproduto ou é depositado como resíduo. Carcinogénico e neurotóxico.
Hidrazina N_2H_4	- Fabrico de pesticidas, produtos farmacêuticos, agentes explosivos. - Fuel de foguetões e naves espaciais.	Os trabalhadores podem estar expostos à hidrazina nos seus locais de trabalho (exposição ocupacional). A hidrazina degrada-se com facilidade no meio ambiente, como tal, raramente é encontrada. Carcinogénico e neurotóxico.

Tabela 7. Principais utilizações, fontes de emissão e de exposição de compostos orgânicos presentes na atmosfera (continuação).

Composto	Principais Utilizações	Fontes de Emissão / Exposição e Efeitos
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAHs) Compostos que fazem parte de um conjunto mais vasto designado como POM (polycyclic organic matter)	A maioria dos PAHs não tem qualquer tipo de utilização comercial. Utilizadas soluções com mistura de alguns destes PAHs para fazer um tratamento a problemas de pele exclusivamente nos humanos.	A principal fonte destes compostos consiste na sua formação durante os processos de combustão. Os PAHs são detectados no ar ambiente especialmente provenientes do fumo de cigarros, fumos de exaustão dos veículos automóveis, pavimentação e asfaltação de ruas, queima de madeiras, etc. A concentração dos PAHs nas cidades é aproximadamente o dobro das encontradas nos meios rurais. A exposição ocupacional pode ocorrer em centrais de carvão, casas de fumo e incineradoras industriais. Muitos dos PAHs são cancerígenos para alguns animais e suspeita-se que também o sejam para os humanos (Székács et al., 1999; Miller, 1999).
Óxido de Etileno C_2H_4O	- Produto químico usado no fabrico de têxteis, detergentes, anti-congelantes, solventes, medicamentos, adesivos e outros produtos. - Usado em pequenas quantidades em cosméticos e na esterilização de equipamento que não pode ser esterilizado com vapor.	As fontes de emissão do óxido de etileno são normalmente emissões descontroladas de gases para a atmosfera de complexos industriais ou os gases emitidos pelos automóveis. A inalação de ar contaminado e do fumo do tabaco são a maior fonte de exposição da generalidade dos indivíduos. Carcinogénico e neurotóxico.
Quinolina C_9H_7N	- Produto intermédio no fabrico de outros produtos químicos. - Inibidor de corrosão em processos metalúrgicos.	Os trabalhadores de certas indústrias podem ser expostos à quinolina por inalação, ingestão de partículas ou contacto dérmico. Outra potencial fonte, mas de baixa exposição é a inalação de ar contaminado por emissões de refinarias de petróleo, minas de carvão e águas residuais. A quinolina foi detectada em concentrações elevadas no fumo de cigarros. Carcinogénico e neurotóxico.
Tetracloreto de Carbono CCl_4	- Solvente de óleos, gorduras, vernizes e resinas.	A exposição ao tetracloreto de carbono pode acontecer através do ar, devido a fugas acidentais durante a produção ou utilização, ou através da sua deposição no solo. Este composto é um contaminante vulgar do ar interior, neste caso, as fontes de exposição passam pelos materiais de construção e produtos de limpeza. Carcinogénico e neurotóxico.
Tetracloroetileno C_2Cl_4	- Usado na limpeza a seco, - Produto intermédio no fabrico de tecidos	O tetracloroetileno é detectado no ar. Carcinogénico e neurotóxico.
Tricloroetileno C_2HCl_3	- Desengorduramento de metais com vapor. - Solvente na extracção de óleos, gorduras e ceras, - Refrigerante. - Em produtos consumíveis como líquidos de correcção da máquinas de escrever, remoção de tintas, adesivos e tira nódoas.	O tricloroetileno é detectado no ar ambiente. Carcinogénico e neurotóxico.
Tolueno C_7H_8	- Aplicações industriais, como solvente, tintas, borrachas, cosméticos. - Produção de produtos químicos. - Incorporado em fueis de queima.	As emissões para o meio ambiente resultam essencialmente da sua produção e utilização. Dada a sua alta volatilidade o tolueno existente na água é normalmente libertado para a atmosfera. No ar interior, a principal fonte de emissão é o fumo do tabaco. Carcinogénico e neurotóxico.

Por todas as razões atrás apresentadas, pode-se concluir que uma elevada percentagem da população se encontra exposta a estes compostos, especialmente por via respiratória.

1.3.4 Efeitos Globais

Os poluentes atrás descritos, quando encontrados em determinadas concentrações, são por si só nocivos para a saúde humana e para o ambiente no geral. Contudo, como já foi mencionado no capítulo 1.3, os impactos associados à emissão desses poluentes podem reflectir-se no tempo e no espaço, dando origem a efeitos globais como é o caso do efeito de estufa, deposição ácida e a degradação da camada de O_3 estratosférico.

1.3.4.1 Efeito de estufa

A radiação emitida pelo sol, pode ser espalhada ou reflectida pelas nuvens, aerossóis, poeiras e outras partículas, ou então, atinge efectivamente a superfície terrestre. Da fracção de radiação que chega à Terra parte é absorvida (dando origem à emissão térmica de radiação pela Terra), e a restante é reflectida de novo para a atmosfera. Alguns gases existentes na atmosfera regulam, através da absorção parcial da radiação reflectida, a temperatura da superfície terrestre entre –18 a 15ºC. Este fenómeno natural é conhecido como efeito de estufa. Na ausência do efeito de estufa a temperatura média da Terra seria cerca de 33ºC mais baixa (Ansuategi e Escapa, 2002).

Actualmente, reconhecem-se como gases de efeito de estufa (GEE): os de origem natural, que incluem o dióxido de carbono, vapor de água, metano e ozono, que apesar de não ser contemplado pelo Protocolo de Quioto, é considerado por muitos autores como sendo um gás de estufa (estes dois últimos compostos são também emitidos por fontes antropogénicas) e os de origem antropogénica, como os CFCs (compostos clorofluorocarbonados como os HFCs – hidrofluorcarbonos e PFCs – perfluorcarbonos) e o hexaflureto de enxofre (SF_6), (Weatherley e Timmis, 2001).

Durante o último século as actividades humanas têm vindo a libertar para a atmosfera GEE a uma taxa sem precedentes, verificando-se um aumento da percentagem de emissões de GEE em cerca de 30% desde os tempos da era pré-industrial até aos dias de hoje. Em relação ao ozono esta percentagem é muito superior, da ordem dos 160% (Alvim Ferraz, 2002). Muitos estudos revelam que até há uns anos o aumento das emissões de CO_2 estava directamente relacionado com a evolução económica do país (Ansuategi e Escapa, 2002). Este aumento desenfreado dos GEE na atmosfera leva a que a temperatura à superfície terrestre esteja a aumentar, com consequente aquecimento global do planeta.

O CO_2 é de todos os gases de estufa o poluente mais abundante, sendo responsável por uma percentagem muito elevada do aquecimento adicional que o planeta tem vindo a sofrer. Para comparar cada gás enquanto GEE, foi desenvolvido o conceito de Potencial de Aquecimento Global (PAG), onde o CO_2 é o gás de referência. Na tabela 8 encontram-se os valores de PAG para os gases constantes no Protocolo de Quioto, calculados tendo por base um tempo de vida médio de permanência na atmosfera de 100 anos.

Tabela 8. PAG para GEE constantes do Protocolo de Quioto.

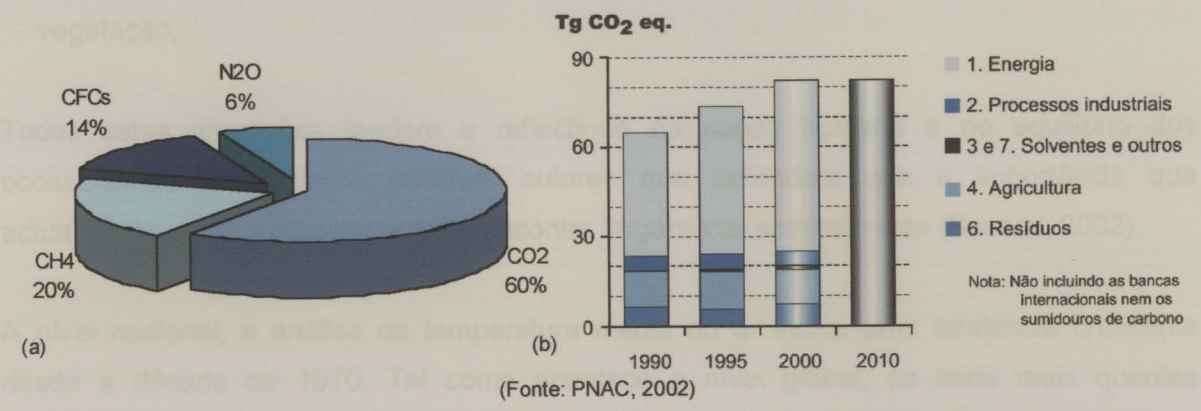
GEE	PAG
CO_2	1
CH_4	21
N_2O	310
HFC	140 – 11 700
PFC	6 500 – 9 200
SF_6	23 900

Fonte: PNAC, 2002

Notar que, por exemplo, compostos como os CFCs e N_2O, que existem em muito menor quantidade, são cerca de 10000 e 300 vezes respectivamente, mais nocivos que o CO_2 (Khalil et al., 2002).

A figura 17 (a) representa a nível mundial no ano 2000, a contribuição relativa dos GEE para o efeito de estufa e as emissões de GEE em 1990 e 1995, estimativa para 2000 e meta para 2010 por categoria de fonte emissora.

O CO_2 é o composto que mais contribui actualmente para o efeito de estufa, seguindo-se o CH_4 e CFCs. A partir da leitura das grandes categorias de fontes emissoras de GEE (figura 17 (b)), observa-se que as emissões associadas à produção e ao consumo de energia representam cerca de três quartos das emissões totais no período 1990-2000. A taxa de crescimento das emissões de GEE neste sector, 39% entre 1990 e 2000, é muito elevada enquanto que para o conjunto dos outros sectores é inferior a 6%.



(Fonte: PNAC, 2002)

Figura 17. (a) Contribuição dos gases de estufa para as alterações climáticas; (b) emissões de GEE em 1990 e 1995 por categoria de fonte emissora, estimativa para 2000 e meta para 2010.

Os dados disponíveis pelos diversos países para o inventário das emissões dos gases de efeito de estufa têm associados incertezas que podem atingir valores entre 5% e 20%. Das fontes que contribuem para a incerteza dos inventários salientam-se: o N_2O emitido dos solos agrícolas e tráfego automóvel; CH_4 dos aterros e os novos gases de estufa (PFCs, HFCs e SF_6) (Rypdal e Winiwarter, 2001; Winiwarter e Rypdal, 2001). O problema associado às dificuldades de inventariar as quantidades emitidas de poluentes, origina diferenças e erros consideráveis aquando da comparação de emissões entre vários países.

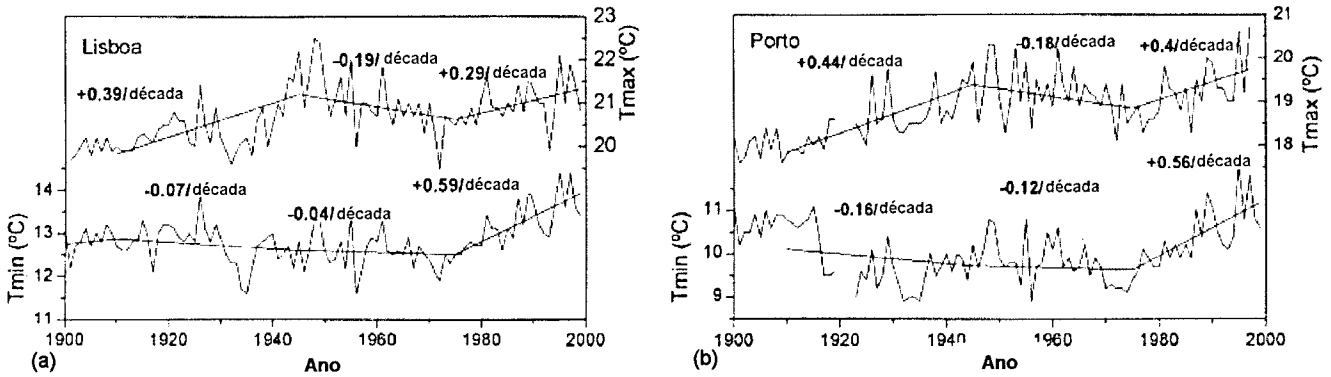
Como consequências do aquecimento global pode-se salientar (Chakraborty et al., 1999; Ansuategi e Escapa, 2002; PNAC, 2002):

- Alteração da temperatura da superfície terrestre, com a previsão de que a temperatura média global do Planeta aumente entre 1,4 e 5,8 ºC, no período 1990-2100. Adicionalmente admite-se um aumento na frequência de ocorrência de fenómenos climáticos extremos, como o atingir de temperaturas máximas, frequência de dias muito quentes e redução da amplitude térmica diurna;
- Alteração dos regimes de precipitação. As previsões indicam que a concentração global de vapor de água na atmosfera e a precipitação aumentem durante o século XXI, principalmente no hemisfério norte e nas médias e altas latitudes. Admite-se também o aumento de episódios de precipitação intensa e períodos de seca;
- Aumento do nível médio global dos oceanos, com a previsão de um aumento entre 0,09 a 0,88 metros entre 1990 e 2100, resultado do degelo verificado nos pólos e da maior retracção dos glaciares;
- Alteração dos padrões hidrológicos e da vegetação;

- Alteração geográfica das colheitas agrícolas e das doenças associadas a este tipo de vegetação,

Todas estas alterações tendem a reflectir-se na saúde humana e no equilíbrio dos ecossistemas. No entanto, existem autores que defendem que a importância que actualmente se dá a este impacto se encontra largamente sobrestimada (Buescu, 2002).

A nível nacional, a análise da temperatura média do ar indica uma tendência crescente desde a década de 1970. Tal como acontece a nível global, os anos mais quentes encontram-se nas duas últimas décadas, sendo o ano de 1997 o ano mais quente desde que há registos, com uma temperatura média anual de 16,6 °C. A figura 18, representa essas alterações entre o ano 1990 ao ano 2000 nas cidades do Porto e Lisboa.



(Fonte: Santos, 2002)

Figura 18. Temperaturas médias mínima e máxima anuais durante as últimas décadas nas cidades: (a) Lisboa e (b) Porto.

A nível da precipitação, os dados relativos ao período 1931-2000 revelam uma tendência decrescente pouco acentuada, que se torna mais pronunciada a partir de 1976. Desde 1976, existem diferentes tendências da precipitação entre estações do ano, com uma redução significativa da precipitação acumulada durante a Primavera. Os dados climáticos sugerem também uma tendência para o aumento de eventos meteorológicos extremos (secas e cheias) (Santos, 2002). O nível médio das águas do mar, com base nas séries maregráficas de Cascais e de Lagos entre 1880 e 2000, aumentou 1 a 2 cm por década (PNAC, 2002).

A possibilidade de a Terra se encontrar perante a situação de efectivamente se verificarem algumas alterações climáticas pode, nos próximos anos, passar a ser realidade. Desta

forma, e de acordo com a filosofia do desenvolvimento sustentável, tendo consciência de que a poluição atmosférica é de todas as formas de poluição aquela cujos efeitos têm repercussão mais global, 158 países alcançaram um acordo histórico na limitação de emissões de GEE em Dezembro de 1997 em Quioto, dando corpo ao Protocolo de Quioto (Anexo 1).

1.3.4.2 Acidificação

Uma outra alteração que se tem vindo a verificar na troposfera é o fenómeno de precipitação ácida, ou acidificação.

É necessário ter presente que valores de pH medidos na precipitação sobre oceanos remotos são muitas vezes ácidos e muito ácidos. Adicionalmente, um estudo realizado na Suécia revela que no Norte deste país as águas superficiais têm uma tendência natural para serem ligeiramente ácidas, às quais, toda a vida aquática se encontra perfeitamente adaptada (Laudon et al., 1999). Estas observações indicam que, considerar a água da chuva com um pH inferior a 5.6 como indicador de chuva ácida antropogénica pode ser um erro, concluindo-se que a contribuição das actividades humanas não pode ser medida apenas pelo pH (Seinfeld, 1998).

A acidificação resulta da reacção de poluentes gasosos como o SO_2 e o NO_x com água, originando compostos ácidos (ácido sulfúrico ou nítrico). O SO_2 presente na troposfera reage na fase gasosa ou aquosa e é removido fisicamente através de deposição seca e húmida. Em relação às reacções processadas na fase gasosa, a reacção com o radical hidroxilo é a dominante (capitulo 1.3.3.4) (Seinfeld, 1998).

$$SO_2\,(g) + OH\bullet\,(g) + M\,(g) \longrightarrow HOSO_2\bullet\,(g) + M\,(g) \qquad (17)$$

Seguido da regeneração do elo da cadeia, o radical HO_2:

$$HOSO_2\bullet\,(g) + O_2\,(g) \longrightarrow HO_2\bullet\,(g) + SO_3\,(g) \qquad (18)$$

M representa N_2, O_2 ou outra molécula que absorve o excesso da energia vibracional, estabilizando a molécula formada. O trióxido de enxofre, na presença de vapor de água converte-se muito rapidamente em ácido sulfúrico:

$$SO_3\,(g) + H_2O\,(g) + M\,(g) \longrightarrow H_2SO_4\,(g) + M\,(g) \quad (19)$$

O tempo de vida do SO_2 baseado na reacção com o radical OH, em concentrações típicas deste composto na atmosfera é de aproximadamente uma semana. O SO_2 é um dos gases que é eficientemente removido da atmosfera através da deposição húmida, pois o ácido sulfúrico formado na fase gasosa é imediatamente associado a moléculas de água para formar aerossóis. A conversão do SO_2 em aerossóis de ácido sulfúrico está dependente da concentração de OH•, que por sua vez depende indirectamente dos níveis de NO_x, compostos orgânicos e da intensidade da luz solar.

O NO_2 reage com OH• segundo a reacção:

$$NO_2\,(g) + OH\bullet\,(g) + M\,(g) \longrightarrow HNO_3\,(g) + M\,(g) \quad (20)$$

Esta reacção é cerca de 10 vezes mais rápida do que a reacção 17, o que leva a que o NO_2 tenha aproximadamente um dia de tempo de vida. O HNO_3 é removido sob a forma de deposição húmida, em cerca de uma semana.

O ácido nítrico pode também ser formado através das reacções:

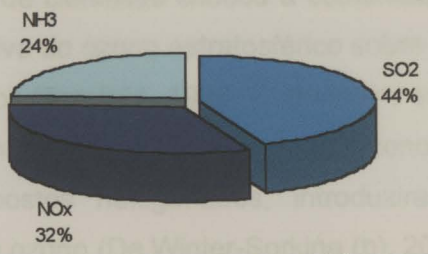
$$NO_2\,(g) + O_3\,(g) \longrightarrow NO_3\,(g) + O_2\,(g) \quad (21)$$

$$NO_2\,(g) + NO_3\,(g) \underset{}{\overset{M}{\rightleftharpoons}} N_2O_5\,(g) \quad (22)$$

$$N_2O_5\,(g) + H_2O\,(l) \longrightarrow 2\,HNO_3\,(aq) \quad (23)$$

Estas reacções ocorrem durante a noite, pois durante o dia o NO_3 é rapidamente fotolizado. O ácido nítrico permanece como vapor até ser absorvido pelas nuvens, pela chuva ou reagir com o amoníaco.

A figura 19 apresenta a contribuição em percentagem de cada um dos poluentes para o fenómeno da acidificação (em equivalentes de acidificação) na Europa em 1994.



(Fonte: EEA (b), 1998)

Figura 19. Contribuição dos GEE para a acidificação.

Os efeitos resultantes da deposição ácida incluem (Seinfield, 1998; Larssen et al., 1999, Calace et al., 2001):

- Acidificação das águas superficiais (lagos, rios, etc.) e subsequente destruição dos ecossistemas aquáticos;
- Alteração da composição química dos solos, nomeadamente ao nível da mobilidade dos metais e do equilíbrio dos processos de adsorção-desorção de matéria orgânica;
- Destruição de florestas e vegetação;
- Destruição de materiais e estruturas.

1.3.4.3 Degradação da camada de ozono estratosférico

Estudos desenvolvidos no Séc. XIX, mostraram que o ozono se encontra presente em maior quantidade nas camadas mais elevadas da atmosfera do que ao nível do solo (figura 20).

O ozono estratosférico actua como um escudo protector da superfície da terra face às radiações UV provenientes do sol e a sua concentração altera-se periodicamente com os ciclos naturais da Terra, como a mudança de estações, ciclos solares e ventos.



Figura 20. Variação da concentração de ozono com a altitude na atmosfera.

Nos anos 80, uma equipa de cientistas chocou a comunidade científica com relatórios que indicavam a redução massiva do ozono estratosférico sobre a Antártida durante a Primavera polar (Setembro a Outubro) (Seinfeld, 1998, Bottenheim et al., 2002). Durante as últimas décadas, a actividade humana alterou o balanço do ozono, pois a produção de químicos, como os CFCs e compostos halogenados, introduziram na atmosfera mecanismos adicionais de destruição do ozono (De Winter-Sorkina (b), 2001).

A formação de ozono estratósférico ocorre a uma altitude superior a 30 km, onde o comprimento de onda das radiações solares ultravioleta ($\lambda < 242$ nm) dissocia lentamente o oxigénio molecular:

$$O_2\,(g) + h\nu \longrightarrow O\,(g) + O\,(g) \qquad (24)$$

O átomo de oxigénio reage rapidamente com o O_2 na presença de uma terceira molécula, normalmente outra molécula de O_2 ou N_2:

$$O\,(g) + O_2\,(g) + M\,(g) \longrightarrow O_3\,(g) + M\,(g) \qquad (25)$$

A reacção 25 é, em termos práticos, a única reacção que dá origem ao ozono na atmosfera, seja na estratosfera ou na troposfera.

Adicionalmente, o O_3 pode reagir com o oxigénio atómico e regenerar duas moléculas de oxigénio:

$$O_3\,(g) + O\,(g) \longrightarrow O_2\,(g) + O_2\,(g) \qquad (26)$$

Este mecanismo de produção de ozono na estratosfera foi proposto por Chapman em 1930, é por isso apelidado por mecanismo de Chapman (Seinfeld, 1998).

Para uma espécie atmosférica contribuir para a destruição do ozono estratosférico tem que estar presente em grande excesso, ou se é vestigiária, ser regenerada num ciclo catalítico. Assim, os processos de destruição do ozono que devem ser adicionados ao mecanismo de Chapman assumem a forma de um ciclo catalítico (Bottenheim et al., 2002):

$$X\,(g) + O_3\,(g) \longrightarrow XO\,(g) + O_2\,(g) \quad (27)$$

$$XO\,(g) + O\,(g) \longrightarrow X\,(g) + O_2\,(g) \quad (28)$$

$$O_3\,(g) + O\,(g) \longrightarrow O_2\,(g) + O_2\,(g) \quad (29)$$

Onde X é um radical livre que funciona como catalisador, pois não é consumido durante o processo, e pode ser H, OH, NO, Cl ou Br. A importância deste ciclo relativamente a um particular composto X, depende da concentração de X e da constante de velocidade das reacções do ciclo. A reacção 27 é muito rápida quando comparada com a reacção 28, a reacção limitante do ciclo.

No caso particular do processo de destruição do ozono estratosférico na região polar, o mecanismo é o representado nas reacções que se seguem. Para ser iniciado o mecanismo, são necessários dois parâmetros: baixa temperatura e luz solar. As baixas temperaturas são necessárias para formar as nuvens polares estratosféricas que são superfícies sobre as quais se dão as reacções heterogéneas. A luz solar é necessária para fotolizar os gases Cl_2, HOCl, e $ClNO_2$ que são produzidos como resultado das reacções heterógeneas (reacção 30), originando Cl (reacção 31) que reage com o O_3 (reacção 33). A ausência de um destes parâmetros pára o mecanismo de destruição.

$$ClO\,(g) + ClO\,(g) + M\,(g) \longrightarrow ClOOCl\,(g) + M\,(g) \quad (30)$$

$$ClOOCl\,(g) + h\nu \longrightarrow Cl\,(g) + ClOO\,(g) \quad (31)$$

$$ClOO\,(g) + M\,(g) \longrightarrow Cl\,(g) + O_2\,(g) + M\,(g) \quad (32)$$

$$2\,[Cl\,(g) + O_3\,(g) \longrightarrow ClO\,(g) + O_2\,(g)] \quad (33)$$

$$2\,O_3\,(g) + h\nu \longrightarrow 3\,O_2\,(g) \quad (34)$$

O ciclo catalítico fica activo quando as concentrações de ClO são suficientemente elevadas.

O aumento das radiações UV-B, que atingem a superfície da Terra como resultado da diminuição da camada de ozono estratosférico, pode levar ao aumento de casos de cancro da pele, cataratas, deficiências ao nível imunológico, destruição de florestas e organismos aquáticos, assim como, à diminuição dos rendimentos das colheitas agrícolas (De Winter-Sorkina (a), 2001).

Adicionalmente, este aumento de radiação que atinge a troposfera, afecta a química da troposfera através da alteração das taxas de fotodissociação. O impacto do aumento de radiação no ozono troposférico e nos radicais hidroxilos é extremamente importante, uma vez que ambos desempenham papéis importantíssimos na capacidade oxidativa da

atmosfera. É então esperado que a concentração de radicais OH troposféricos aumente com o aumento dos níveis de radiação UV-B. Como o CO e o CH_4 têm como principal meio de degradação a reacção com estes radicais, variações na concentração dos radicais OH resultantes da depleção do ozono estratosférico pode ser parcialmente responsável pelas alterações verificadas na evolução destes poluentes (Ma e Weele, 2000; Guicherit e Roemer, 2000; De Winter-Sorkina (b), 2001). O aumento dos radicais OH pode também, através da oxidação do SO_2, aumentar a taxa de produção do H_2SO_4, que, como já foi dito, interfere no equilíbrio do planeta através da precipitação ácida (Ma e Weele, 2000).

A resposta do ozono troposférico à diminuição da camada de ozono estratosférico não é tão clara como a dos radicais OH. Verificam-se inclusive tendências opostas em regiões situadas à mesma latitude, devido às diferentes concentrações de NO_x registadas nessas regiões (Ma e Weele, 2000).

1.4 GESTÃO DA QUALIDADE DO AR EM PORTUGAL

O aumento generalizado da emissão de poluentes para a atmosfera associado ao desenvolvimento económico, tornou imperiosa a necessidade de uma correcta gestão da qualidade do ar.

É irrealista pensar que a presença de poluentes na atmosfera pode ser evitada, pois na prática é impossível eliminar quer as emissões naturais quer as associadas à actividade humana. Os agentes poluidores que fazem da atmosfera um enorme contentor de detritos gasosos e particulados, acarretam em geral para a sociedade custos muito elevados. Considerando que as medidas correctivas são mais caras e menos eficientes do que as medidas preventivas, conclui-se que a gestão da qualidade do ar deve ter como principal objectivo, evitar que os poluentes atinjam a atmosfera.

Em Portugal, a gestão da qualidade do ar é perspectivada de forma a garantir a protecção da saúde humana e a preservar o ambiente em geral. Um dos instrumentos de gestão é o estabelecimento de valores padrão para a concentração de poluentes atmosféricos. Em simultâneo, e dando ênfase à importância da redução das emissões, é legalmente reconhecida a necessidade de utilizar a melhor tecnologia disponível que não implique custos excessivos, pelo que estão também fixados limites de emissão por fontes fixas, "...tendo em conta a natureza, as quantidades e a nocividade das emissões em causa, de forma a satisfazer as exigências de protecção do ambiente e de bem-estar das populações." (DRAOT-N, 2001). A figura 21 representa esquematicamente a metodologia integrada de gestão da qualidade do ar em Portugal.

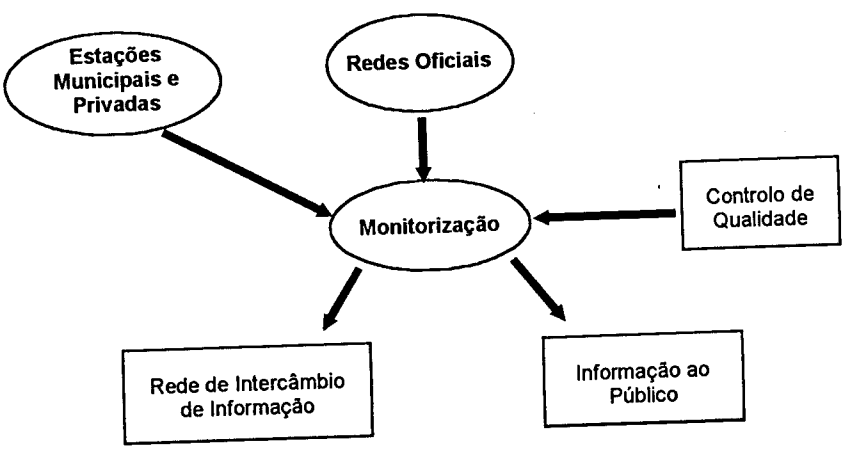


Figura 21. Metodologia integrada de gestão da qualidade do ar em Portugal.

A observância dos padrões impostos para a concentração de poluentes fundamenta-se na respectiva monitorização em Redes de Medida da Qualidade do Ar (RMQAr), que têm como objectivos:

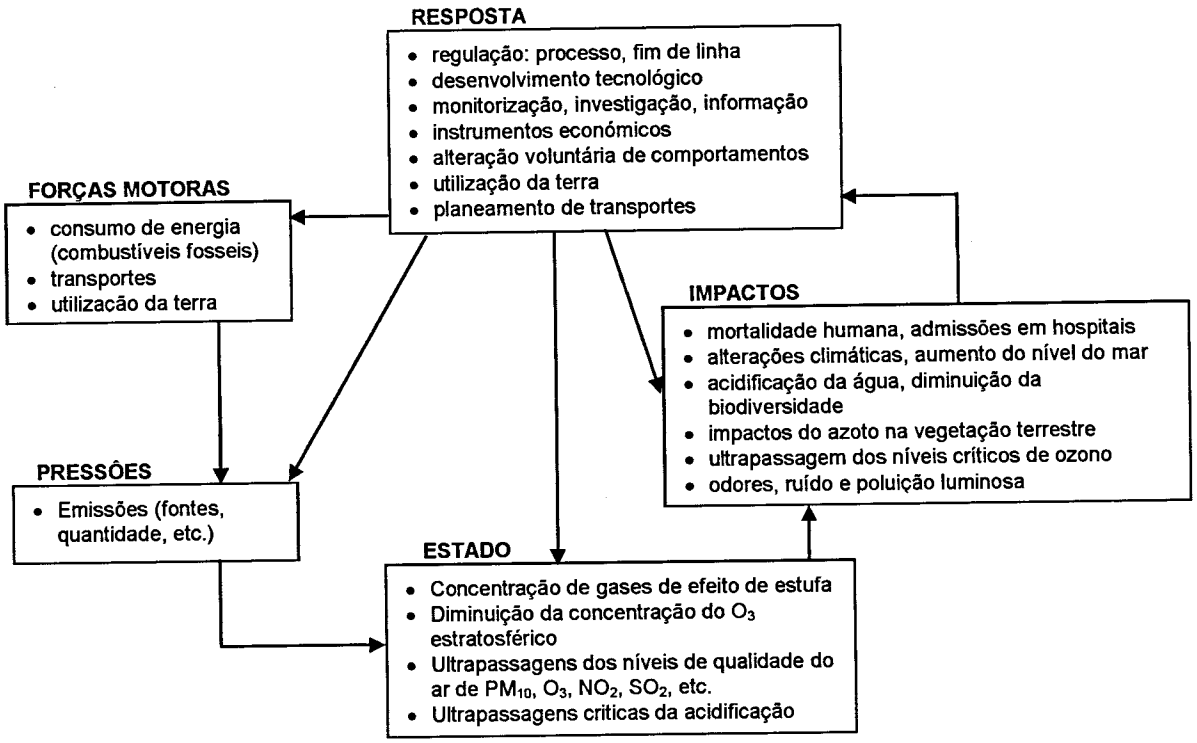
- Medir a concentração dos poluentes no ar;
- Informar as populações e as instituições sobre a qualidade do ar respirado;
- Vigiar o cumprimento da legislação em vigor;
- Observar a evolução da qualidade do ar;
- Definir acções de melhoria da qualidade do ar;
- Definir estratégias de gestão, preventivas ou correctivas.

A localização e o número de estações que articuladamente integram uma rede de medição, bem como a selecção dos poluentes a medir e a respectiva metodologia analítica, são elementos essenciais em qualquer programa de monitorização. A localização das estações é particularmente importante, para que as concentrações medidas possam ser representativas.

Os meios técnicos com que estão equipadas as estações têm evoluído no sentido de:

- Aumentar a diversidade e especificidade dos poluentes monitorizados;
- Melhorar a fiabilidade analítica;
- Possibilitar a disponibilização de valores horários;
- Facilitar o acesso rápido à informação.

Recentemente a EEA (European Environmental Agency) desenvolveu um modelo de gestão da qualidade do ar que se baseia num ciclo de gestão ambiental para determinar o estado da qualidade do ar (EEA (a), 1998). Neste modelo a informação é organizada de acordo com o princípio: forças motoras – pressões – estado – impacto – resposta (drivers – pressures – state – impacts – response (DPSIR)) e por tipo de poluente (figura 22). As "forças motoras" referem-se aos factores socio-económicos que influenciam potenciais fontes de degradação ambiental. As "pressões" são as fontes e quantidades emitidas para a atmosfera e os "impactos" as consequências adversas no ser humano e ecossistemas resultantes da poluição atmosférica. As "respostas" estão relacionadas com as acções de gestão que irão ser implementadas de forma a melhorar a qualidade do ar e minimizar os seus impactos. O papel da EEA é fornecer dados aos elementos do DPSIR, por forma obter respostas efectivas. Esta é uma ferramenta simples para analisar informação e identificar prioridades para que rapidamente sejam estabelecidas políticas sociais, reguladoras e científicas.



(Fonte: Weatherly e Timmis, 2001)

Figura 22. Ciclo de gestão do ar de acordo com a estrutura DPSIR.

Na figura 23 apresenta-se outra proposta para uma gestão efectiva da qualidade do ar, baseada na exposição humana (Kotzias, 2002). Esta metodologia consiste:

- Desenvolvimento de critérios para estabelecer padrões de qualidade do ar, tomando em consideração a exposição humana total;
- Identificação das áreas urbanas expostas a quantidades de poluentes elevadas;
- Avaliação do futuro da qualidade do ar a curto e médio prazo;
- Desenvolvimento de cenários para redução de emissões;
- Validação dos resultados de modelização com dados de medição em campo.



Figura 23. Gestão da qualidade do ar com base na exposição humana.

1.5 ASPECTOS LEGISLATIVOS

O Homem como único ser dotado de personalidade jurídica, individualmente ou em grupo, tem o direito de dispor dos recursos do mundo em que vive mas, ao mesmo tempo, é obrigado ao dever natural de garantir a continuidade dos recursos de que depende a vida em geral, e a sua espécie em particular. Assim, e de forma a promover um desenvolvimento sustentável surge a necessidade de se legislar o meio ambiente e a natureza no geral.

No plano mundial a luta contra a poluição atmosférica é mediada pela ONU, através das convenções organizadas por esta identidade e com base nas recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS). A nível europeu a mediação é feita através de publicação de Directivas Comunitárias, as quais todos os estados membros têm o dever de implementar e fazer cumprir. A regulamentação relacionada com poluição atmosférica em Portugal rege-se, de uma maneira geral, pelos acordos e directivas expressas na tabela 9:

Tabela 9. Linhas de orientação sobre poluição atmosférica em Portugal.

Acordos, legislação	Princípios gerais
Protocolo de Montreal relacionado com substâncias redutoras da camada de ozono – 1987	Diminuição faseada da produção e consumo de CFCs e outros hidrocarbonetos halogenados. Aditamentos em Londres 1990, Copenhaga 1992 e Montreal 1997.
Convenção das alterações climáticas da União Europeia - 1992	Controlo das emissões de gases de estufa. Metas definidas pelo Protocolo de Quioto em 1997.
Convenção UNECE sobre poluição atmosférica transfronteiriça de longo alcance	Protocolos para o controlo de enxofre (1987, 1994), azoto (1988), COVs (1991), compostos orgânicos persistentes (1998) e metais pesados (1998). Dióxido de enxofre, óxidos de azoto, amoníaco e COVs (protocolo sobre acidificação, eutrofização e ozono ao nível do solo, 1999)
Directivas CE	Estabelecimento do nível de emissões. Valores limites para a qualidade do ar. Implementação da Estratégia EC para a Acidificação, programa *Auto-Oil* e Estratégia do Ozono.
Estratégias de qualidade do ar	Procedimentos internos para controlo da qualidade do ar – DGA

Como país inserido na Comunidade Europeia, Portugal, rege-se pelo novo contexto normativo europeu também no que diz respeito às questões ambientais, consagrando os seguintes princípios fundamentais (Borrego et al., 2000):

- Integração sistemática da política de ambiente nas outras políticas comunitárias;
- Construção do mercado interno sob elevados níveis de protecção ambiental;

- Aumento da eficácia de legislação comunitária, nomeadamente através da abordagem integrada;
- Melhoria da informação e do seu tratamento aos níveis nacional e comunitário;
- Criação e utilização de uma gama coordenada de instrumentos, sob a forma de incentivos e de condicionantes, para prevenção e controle da poluição.

Em Portugal o arranque da política ambiental materializou-se na aprovação da Lei de Bases do Ambiente de 1987, que definiu fundamentos gerais de política ambiental (Decreto-Lei 11/87 de 7 de Abril). Coube a este documento legal definir a orientação de partida para a protecção do ar. Neste documento legal, o artigo 8º indica:

- Regulamentação especial do lançamento de quaisquer substâncias para a atmosfera;
- Adopção de dispositivos ou processos adequados para retenção ou neutralização das substâncias poluidoras;
- Proibição da entrada em funcionamento de novos empreendimentos ou desenvolvimentos dos já existentes, sem que sejam dotados de instalações e dispositivos para reter ou neutralizar as substâncias poluentes e sem que respeitem as condições de protecção da qualidade do ar estabelecidas por organismos responsáveis.

Posteriormente é emitido o Decreto-Lei nº 352/90 de 9 de Novembro, onde é estabelecido o regime de protecção e controlo da qualidade do ar. Este Decreto-Lei enquadra a política de protecção e a melhoria da qualidade do ar, sendo particularmente relevantes as seguintes definições e orientações:

- Valor guia da qualidade do ar corresponde à concentração de um determinado poluente atmosférico no meio receptor, que serve de referência para estabelecer regimes específicos em determinadas zonas, com vista à protecção, a longo prazo e com uma suficiente margem de segurança, da saúde humana, do bem estar das populações e da qualidade do ambiente (artigo 4º);
- Valor limite de qualidade do ar corresponde à concentração máxima de um determinado poluente atmosférico no meio receptor, que não pode ser excedido durante períodos previamente determinados, e em determinadas condições, com vista à protecção da saúde humana e preservação do ambiente (artigo 4º);

- Os valores limites e guias são calculados com base num mínimo de 75 % dos valores possíveis, medidos em condições normais de funcionamento das estações, durante o período anual de referência (nº 1 do artigo 8º);
- O período anual de referência começa a 1 de Abril e termina em 31 de Março do ano seguinte (nº 2 do artigo 8º).

O Decreto-Lei nº 352/90 foi regulamentado pela Portaria nº 286/93, que fixa os valores limites e os valores guias para dióxido de enxofre, partículas em suspensão, dióxido de azoto, e monóxido de carbono, o valor limite para o chumbo e os valores guias para o ozono. O documento é rectificado (declaração de rectificação nº 91/93) a 31 de Maio do mesmo ano. É aí definido que:

- Para transformar os valores legislados, expressos em $\mu g/m^3$, em fracções volúmicas expressas em ppmv ou suas unidades derivadas, são pressupostas as seguintes condições de temperatura e pressão: 293 K e 101,3 kPa;
- O cálculo dos parâmetros relativos a dióxido de azoto, monóxido de carbono, ozono e chumbo, deve ser efectuado considerando o período anual de referência (1 de Abril e a 31 de Março do ano seguinte) e também o ano civil (1 de Janeiro a 31 de Dezembro).

Na tabela 10 estão as concentrações legisladas, respectivamente, para os valores limites e guias, não se referindo os correspondentes ao ozono por terem sido posteriormente alterados através da Portaria nº 623/96.

Tabela 10. Valores limites ($\mu g/m^3$) – Portaria nº 286/93.

Poluente		Período Considerado	Valor limite	Valor guia
SO_2	P50 dos valores médios diários	Ano	100	-
	P98 dos valores médios diários	Ano	250	-
	Média aritmética dos valores médios diários	Ano	-	40-60
	Média aritmética dos valores médios diários	24 horas	-	100-150
NO_2	P98 dos valores médios horários	Ano	200	135
	P50 dos valores médios horários	Ano	-	50
PM_{10}	Média aritmética dos valores médios diários	Ano	150	-
	P98 dos valores médios diários	Ano	300	-
Pb	Média aritmética dos valores médios diários	Ano	2	-
CO	Médias horárias	1 hora	40 000	-
	Média de 8h com sobreposição[1]	8 horas	10 000	-
	Médias diárias	24 horas	-	1 000

[1] Valor médio calculado a cada hora (h) com base nos oito valores horários entre h e h-9.

A Portaria nº 286/93 é depois alterada através dos seguintes documentos legais:

- Portaria nº 1058/94 – fixa os valores limites de emissão das instalações de co-geração;
- Portaria nº 125/97 – fixa os valores limite de emissão das instalações de resíduos urbanos;
- Portaria nº 399/97 – fixa os valores limite de emissão das instalações de grande combustão;
- Decreto-Lei 273/98 – Transpõe para o direito interno as disposições constantes da Directiva nº 94/67/CE do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa aos valores limite de emissão das instalações de incineração de resíduos perigosos.
- Decreto-Lei 242/01 – na parte respeitante aos valores limite de emissão de compostos orgânicos voláteis.

Em 1995, é emitido o Despacho nº 79/95, de 12 de Janeiro (II série) do Instituto de Meteorologia, onde é aprovada a nota técnica acerca da regulamentação relativa ao envio para as entidades competentes dos resultados do autocontrole das emissões industriais para a atmosfera, resultante da medição em contínuo (de acordo com o Decreto-Lei nº 352/90, de 9 de Novembro).

Os impactos associados à presença de ozono na troposfera, nomeadamente na saúde e na vegetação, conduziram em 1996 à necessidade de definir novos padrões através da Portaria nº 623/96, que revogou os previamente estabelecidos. São aí definidos os seguintes limiares:

Limiar de protecção da saúde (LPS) – concentração de ozono que não deve ser ultrapassada, a fim de salvaguardar a saúde humana no caso de incidentes prolongados de poluição;

Limiar de protecção da vegetação (LPV) – concentrações de ozono acima das quais a vegetação pode ser afectada;

Limiar de informação da população (LIP) – concentração de ozono acima da qual existem efeitos limitados e transitórios para a saúde humana em caso de exposição de curta duração para as categorias da população particularmente sensíveis;

Limiar de alerta à população (LAP) – concentração de ozono acima da qual existe um risco para a saúde humana em caso de exposição de curta duração.

Os valores correspondentes aos limiares definidos para as concentrações de ozono encontram-se expressos na tabela 11.

Tabela 11. Limiares para as concentrações atmosféricas de ozono ($\mu g/m^3$) – Portaria nº 623/96.

Período Considerado	LPS	LPV	LIP	LAP
Uma hora		200	180	360
Oito horas[1]	110			
Vinte e quatro horas		65		

[1] Média de 8 horas do tipo móvel sem sobreposição, calculada três vezes por dia, com base nos oito valores horários correspondentes aos seguintes períodos: 0 às 8 horas, 8 às 16 horas e as 16 às 24 horas.

Em 1998, com a saída do Decreto-Lei nº 226/98, de 17 de Julho, as competências relativas à qualidade do ar, anteriormente cometidas ao Instituto de Meteorologia, transitam para a Direcção Geral do Ambiente.

Mais recentemente, o Decreto-Lei nº 276/99, de 23 de Julho transpõe para a ordem jurídica nacional as disposições constantes da Directiva nº 96/62/CE do Conselho, de 27 de Setembro, revogando o Decreto-lei nº 352/90. Actualmente, o quadro legislativo português assenta sobre este DL, onde é notória a introdução de uma nova filosofia e orientação relativa à avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente pois exige (Braga, 1999):

- Um sistema consistente a nível Europeu para o estabelecimento de objectivos respeitantes à qualidade do ar e para uma série de poluentes específicos;
- A criação de um sistema de avaliação, por parte de todos os estados membros, da qualidade do ar ambiente no seu território;
- A elaboração de programas e planos de acção a serem accionados quando a qualidade do ar ambiente não satisfizer os limites definidos;
- A formação de um sistema de aquisição, tratamento e divulgação da informação sobre a qualidade do ar para a Comissão Europeia e público em geral.

São consideradas como relevantes as definições presentes no DL 276/99:

Valor limite – nível de poluentes na atmosfera fixado com base em conhecimentos científicos, cujo valor não pode ser excedido, durante períodos previamente determinados, com o objectivo de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e ou meio ambiente.

Limiar de alerta – nível de poluentes na atmosfera acima do qual uma exposição de curta duração apresenta riscos para a saúde e a partir do qual devem ser adoptadas medidas imediatas, segundo as condições fixadas.

Valor-alvo – nível fixado com o objectivo de evitar a longo prazo efeitos nocivos para a saúde humana e ou meio ambiente, a ser alcançado, na medida do possível, num período determinado.

O Decreto-Lei nº 111/2002 dá execução ao disposto nos artigos 4.º, relativo à fixação dos valores limite e dos limiares de alerta no ar ambiente, e 5.º, enfoca o estabelecimento de critérios e técnicas de medição e avaliação para cada um dos poluentes, do documento legal anterior, e transpõe para direito interno as Directivas n.º 1999/30/CE e 2000/69/CE. Assim, o DL 111/2002 estabelece os valores limite das concentrações no ar ambiente de dióxido de enxofre, dióxido de azoto e óxidos de azoto, PM_{10}, chumbo, benzeno, e monóxido de carbono no ar ambiente, assim como, os limiares de alerta para as concentrações de determinados poluentes. Legisla também sobre os métodos e critérios de avaliação das respectivas concentrações e normas sobre informação ao público, com vista a evitar, prevenir ou limitar os efeitos nocivos dessas substâncias sobre a saúde humana e sobre o ambiente na sua globalidade e a preservar e melhorar a qualidade do ar.

A taxa mínima de recolha de dados e o período mínimo de amostragem para a medição em contínuo, para cada um dos poluentes legislados encontra-se também definido no DL 111/2002. O objectivo de qualidade dos dados depende do poluente e do tipo de medição (contínua ou indicativa), tabela 12.

Nas tabelas de 13 a 18 encontram-se as concentrações legisladas para os valores limites do SO_2, NO_2 e NO_x, PM_{10}, Pb, benzeno e CO, assim como, a data de cumprimento do valor limite. Os valores limite são expressos em $\mu g/m^3$ (excepto para o CO onde é expresso em miligramas por metro cúbico), normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa.

Tabela 12. Taxa mínima de recolha de dados.

Medição contínua	Dióxido de enxofre, dióxido de azoto e óxidos de azoto	Partículas em suspensão e chumbo	Benzeno	Monóxido de carbono
Taxa mínima de recolha de dados	90%	90%	90%	90%
Período mínimo de amostragem	–	–	35% em meio urbano e em locais de tráfego (distribuído ao longo do ano para ser representativo de várias condições meteorológicas e de tráfego) 90% em zonas industriais	–

Na legislação comunitária encontra-se definida uma margem de tolerância que é expressa em percentagem do valor limite em que este pode ser excedido. Uma vez que, apesar de se encontrar já emitido, o DL 111/2002 está previsto entrar em vigor apenas em 2005, a aplicação no nosso país de algumas das margens de tolerância estabelecidas não se verifica. Realçam-se como exemplo a margem de tolerância aplicada ao SO_2 e Pb.

Tabela 13. Valores limites ($\mu g/m^3$) para as PM_{10}.

	Período Considerado	Valor limite	Data de cumprimento
1ª Fase			
Valor limite diário para protecção da saúde humana	Vinte e quatro horas	50 $\mu g/m^3$ Valor a não exceder mais de 35 vezes em cada ano civil	1 de janeiro de 2005
Valor limite anual para protecção da saúde humana	Ano civil	40 $\mu g/m^3$	1 de janeiro de 2005
2ª Fase[1]			
Valor limite diário para protecção da saúde humana	Vinte e quatro horas	50 $\mu g/m^3$ Valor a não exceder mais de 7 vezes em cada ano civil	1 de janeiro de 2010
Valor limite anual para protecção da saúde humana	Ano civil	20 $\mu g/m^3$	1 de janeiro de 2010

[1] Valores limite indicativos a rever à luz de novas informações sobre os efeitos na saúde e no meio ambiente, viabilidade técnica e experiência adquirida com a aplicação dos valores limite para a 1ª fase.

Tabela 14. Valores limites ($\mu g/m^3$) para o SO_2.

	Período Considerado	Valor limite	Data de cumprimento
Valor limite horário para protecção da saúde humana	Uma hora	350 $\mu g/m^3$ Valor a não exceder mais de 24 vezes em cada ano civil	1 de janeiro de 2005
Valor limite diário para protecção da saúde humana	Vinte e quatro horas	125 $\mu g/m^3$ Valor a não exceder mais de 3 vezes em cada ano civil	1 de janeiro de 2005
Valor limite para protecção dos ecossistemas	Ano civil e período de Inverno (1 de Outubro a 31 de Março)	20 $\mu g/m^3$	Data de entrada em vigor do presente diploma

O limiar de alerta para o dióxido de enxofre é de 500 $\mu g/m^3$, medido em três horas consecutivas, em locais que sejam representativos da qualidade do ar numa zona, numa aglomeração ou numa área de pelo menos 100 km^2, consoante a que apresentar menor área.

Tabela 15. Valores limites ($\mu g/m^3$) para o NO_2 e NO_x.

	Período Considerado	Valor limite	Data de cumprimento
Valor limite horário para protecção da saúde humana	Uma hora	200 $\mu g/m^3$ Valor a não exceder mais de 18 vezes em cada ano civil	1 de janeiro de 2010
Valor limite anual para protecção da saúde humana	Ano civil	40 $\mu g/m^3$ de NO_2	1 de janeiro de 2010
Valor limite anual para protecção da vegetação	Ano civil	30 $\mu g/m^3$ de NO_x	Data de entrada em vigor do presente diploma

O limiar de alerta para o dióxido de azoto é de 400 $\mu g/m^3$, medido em três horas consecutivas, em locais que sejam representativos da qualidade do ar numa zona, numa aglomeração ou numa área de pelo menos 100 km^2, consoante a que apresentar menor área.

Tabela 16. Valores limites (mg/m^3) para o CO.

	Período Considerado	Valor limite	Data de cumprimento
Valor limite para protecção da saúde humana	Máximo diário das médias de oito horas[1]	10 mg/m^3	Data de entrada em vigor do presente diploma

[1] Valor médio calculado a cada hora (h) com base nos oito valores horários entre h e h-9.

Tabela 17. Valores limites ($\mu g/m^3$) para o Pb.

	Período Considerado	Valor limite	Data de cumprimento
Valor limite para protecção da saúde humana	Ano civil	0,5 $\mu g/m^3$	1 de Janeiro de 2005[1]

[1] Ou 1 de Janeiro de 2010 na proximidade imediata de fontes industriais especificas, contaminadas por décadas de actividade industrial. Nesses casos, o valor limite a partir de 1 de Janeiro de 2005 será de 1.0 µg/m3. A aplicação deste valor limite deverá ser restrita a uma área envolvente de raio não superior a 1000 m da fonte específica.

Tabela 18. Valores limites ($\mu g/m^3$) para o benzeno.

	Período Considerado	Valor limite	Data de cumprimento
Valor limite anual para protecção da saúde humana	Ano civil	5 $\mu g/m^3$	1 de Janeiro de 2010[1]

[1] Com excepção das zonas ou aglomerações abrangidas por eventual prorrogação do prazo concedida nos termos dos n.º 1 e 2 do artigo 6.º

Devido à natureza transfronteiriça da poluição pelo ozono a UE aprovou, já no decorrer do ano 2002, uma nova Directiva-Quadro relativa ao ozono no ar ambiente, a Directiva 2002/3/CE. Este documento legal reflecte os resultados dos estudos mais recentes sobre o impacto deste poluente na saúde humana e vegetação, tendo como objectivos essenciais a imposição e vigilância de valores alvo a nível comunitário para a protecção destes organismos vivos. São também estabelecidos objectivos a longo prazo tendo em vista realizar uma protecção eficaz da saúde humana e do ambiente. Os referidos objectivos devem estar ligados à estratégia de combate ao ozono e de redução da acidificação, bem como, ao objectivo de reduzir a discrepância existente entre os níveis de ozono observados na actualidade e os objectivos a longo prazo.

Pela primeira vez, exige-se uma colaboração íntima entre os vários Estados Membros. Desta forma, a elaboração e execução de planos, programas e planos de acção a curto prazo e a informação do público, deve ser coordenada entre os Estados Membros vizinhos.

Neste documento é também exigido que os Estados Membros assegurem a instalação e operação no seu território de pelo menos uma instalação de medição destinada a fornecer dados sobre as concentrações das substâncias precursoras de ozono. Consideram-se substâncias precursoras de ozono as substâncias que contribuem para a formação do ozono troposférico, como os indicados na tabela 19.

Tabela 19. Substâncias precursoras do ozono.

Etano	trans-2-Buteno	n-Hexano	m+p Xileno
Etileno	cis-2-Buteno	i-Hexano	o-Xileno
Acetileno	1,3-Butadieno	n-Heptano	1,2,4-Tremetilbenzeno
Propano	n-Pentano	n-Octano	1,2,3-Tremetilbenzeno
Propeno	i-Pentano	i-Octano	1,3,5-Tremetilbenzeno
n-Butano	1-Penteno	Benzeno	Formaldeído
i-Butano	2-Penteno	Tolueno	Hidrocarbonetos totais
1-Buteno	Isopropeno	Etilbenzeno	diversos do metano

Considera-se relevante neste documento legal a definição de:

Objectivo a longo prazo – concentração no ar ambiente de ozono abaixo da qual, de acordo com os conhecimentos científicos actuais, é improvável a ocorrência de efeitos nocivos para a 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.

Tal como acontecia nas Directivas anteriores, também neste documento legislativo, são estabelecidos os critérios para a determinação do número, classificação e localização dos pontos de amostragem para a medição fixa de concentrações de ozono e de substâncias precursoras de ozono.

O objectivo de qualidade dos dados, relativamente à quantidade mínima de recolha de dados, situa-se em 90% de dados no Verão e 75% no Inverno.

Encontram-se expressos na tabela 20, os valores alvo para a protecção da saúde humana e vegetação. Estes valores são expressos respectivamente em $\mu g/m^3$ e $\mu g/m^3.h$ (volumes devem ser normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa). A hora deve ser referida em Hora da Europa Central.

Tabela 20. Valores alvo aplicáveis ao ozono.

	Parâmetro	**Valor alvo para 2010[1]**
Valor alvo para a protecção da saúde humana	Valor máximo das médias octo-horárias do dia[2]	120 $\mu g/m^3$ não pode ser excedido em mais de 25 dias por ano civil calculados em média em relação a três anos[3]
Valor alvo para a protecção da vegetação	AOT40 calculado com base em valores horários medidos de Maio a Julho	18 000 $\mu g/m^3.h$ calculados em média em relação a 5 anos[3]

[1] O cumprimento dos valores alvo será avaliado a partir desta data. Assim, 2010 será o primeiro ano cujos dados serão utilizados para calcular a avaliação da conformidade nos 3 ou 5 anos seguintes, consoante o caso.

[2] O valor máximo das médias de concentração octo-horárias do dia será seleccionado pela análise das médias por períodos consecutivos de 8 horas, calculadas a partir de dados horários e actualizados hora a hora. Cada média octo-horária assim calculada será atribuída ao dia em que termina, ou seja, o primeiro período de cálculo para um dia determinado será o período decorrido entre as 17h00 do dia anterior e a 01h00 desse dia; o último período de cálculo para um dia determinado será o período entre as 16h00 e as 24h00 desse dia.

[3] Caso os dados anuais utilizados para determinação das médias relativas a 3 ou 5 anos não sejam completos e consecutivos, devem utilizar-se, no mínimo, os seguintes dados para verificar o cumprimento dos valores alvo:
- Valor alvo para a protecção da saúde humana: dados válidos por 1 ano
- Valor alvo para a protecção da vegetação: dados válidos por 3 anos.

O AOT40 designa a soma da diferença entre as concentrações horárias superiores a 80 $\mu g/m^3$ e o valor 80 $\mu g/m^3$, num determinado período, utilizando apenas os valores horários determinados diariamente entre as 8:00 e as 20:00 horas (Hora da Europa Central):

$$AOT40 = \sum_{8:00h}^{20:00h} (C_{>80\,\mu g/m^3} - 80)_{diário} \quad (\mu g/m^3) \tag{30}$$

No entanto, é feita a ressalva de que deverão ser tomadas em consideração as diversas situações geográficas e climáticas na Comunidade Europeia.

As tabelas 21 e 22 apresentam os objectivos a longo prazo e os limiares de informação e alerta aplicáveis ao ozono, respectivamente.

Tabela 21. Objectivos a longo prazo para o ozono.

	Parâmetro	Objectivo a longo prazo[1]
Objectivo a longo prazo para a protecção da saúde humana	Valor máximo da média octo-horária num ano civil	120 $\mu g/m^3$
Objectivo a longo prazo para a protecção da vegetação	AOT40 calculado com base em valores horários medidos de Maio a Julho	6 000 $\mu g/m^3.h$

[1] Os progressos efectuados pela Comunidade na consecução do objectivo a longo prazo utilizando o ano 2020 como referência serão objecto de revisão.

Tabela 22. Limiares de informação e de alerta aplicáveis ao ozono.

	Parâmetro	Limiares
Limiar de informação	Média horária	180 $\mu g/m^3$
Limiar de alerta	Média horária[1]	240 $\mu g/m^3$

[1] As excedências em relação ao limiar deverão ser medidas ou previstas durante três horas consecutivas.

De forma a facilitar a gestão da qualidade do ar são ainda estabelecidos, no DL 111/2002, os limiares superior e inferior de avaliação, com a seguinte definição:

Limiar inferior de avaliação – nível de poluição, abaixo do qual poderão ser apenas utilizadas técnicas de modelização ou a estimativa objectiva para avaliar a qualidade do ar ambiente.

Limiar superior de avaliação – nível de poluição, abaixo do qual pode ser utilizada uma combinação de medições e técnicas de modelização para avaliar a qualidade do ar ambiente.

Estes limiares aplicam-se às PM_{10}, SO_2, NO_2 e NO_x, CO, Pb e benzeno e permitem determinar quais as técnicas de medição utilizadas para a avaliação da qualidade do ar. Assim, se aquando da determinação dos limiares se verificar que é excedido o limiar superior, a medição local é obrigatória. Caso o número de ultrapassagens se situe entre os dois limiares, poder-se-á combinar os métodos de medição local com técnicas de modelização. Se pelo contrário, o limiar inferior não for ultrapassado então as técnicas de

modelização podem ter um papel extremamente relevante na medição das concentrações destes poluentes (figura 24). Nas aglomerações a medição é obrigatória independentemente das concentrações observadas.

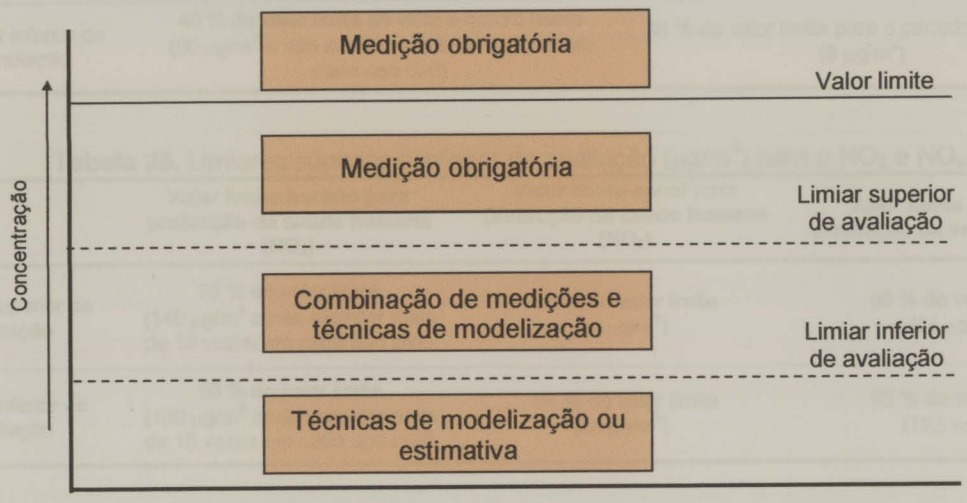


Figura 24. Métodos utilizados para medir e/ ou estimar o teor de um poluente no ar ambiente.

Nas tabelas 23 a 28 encontram-se as concentrações legisladas para os limiares superior e inferior de avaliação dos poluentes focados no DL 111/2002. A ultrapassagem dos limiares superior e inferior de avaliação será determinada com base nas concentrações registadas nos últimos cinco anos, desde que existam dados suficientes. Considerar-se-á que o limiar de avaliação foi excedido quando tenha sido ultrapassado durante, pelo menos, três anos distintos no decurso dos últimos cinco. Quando os dados disponíveis forem referentes a um período inferior a cinco anos, poder-se-á conjugar resultados de campanhas de medição de curta duração, efectuadas durante um período do ano e em locais que possam ser representativos dos níveis de poluição mais elevados, com resultados obtidos de inventários de emissões e de modelização, de modo a determinar as ultrapassagens dos limiares superiores e inferiores. Os limiares superiores e inferiores de avaliação para PM_{10} baseiam-se nos valores indicativos para 1 de Janeiro de 2010.

Tabela 23. Limiares superior e inferior de avaliação ($\mu g/m^3$) para o PM_{10}.

	Valor limite horário para protecção da saúde humana	**Valor limite anual para protecção da saúde humana**
Limiar superior de avaliação	60 % do valor limite ($30\ \mu g/m^3$ a não exceder mais de 7 vezes em cada ano civil)	70 % do valor limite ($14\ \mu g/m^3$)
Limiar inferior de avaliação	40 % do valor limite ($20\ \mu g/m^3$ a não exceder mais de 7 vezes em cada ano civil)	50 % do valor limite ($10\ \mu g/m^3$)

Tabela 24. Limiares superior e inferior de avaliação ($\mu g/m^3$) para o SO_2.

	Valor limite diário para protecção da saúde	Valor limite para protecção dos ecossistemas
Limiar superior de avaliação	60 % do valor limite de vinte e quatro horas (75 $\mu g/m^3$ a não exceder mais de 3 vezes em cada ano civil)	60 % do valor limite para o período de Inverno (12 $\mu g/m^3$)
Limiar inferior de avaliação	40 % do valor limite de vinte e quatro horas (50 $\mu g/m^3$ a não exceder mais de 3 vezes em cada ano civil)	40 % do valor limite para o período de Inverno (8 $\mu g/m^3$)

Tabela 25. Limiares superior e inferior de avaliação ($\mu g/m^3$) para o NO_2 e NO_x.

	Valor limite horário para protecção da saúde humana (NO_2)	Valor limite anual para protecção da saúde humana (NO_2)	Valor limite anual para protecção da vegetação (NO_x)
Limiar superior de avaliação	70 % do valor limite (140 $\mu g/m^3$ a não exceder mais de 18 vezes em cada ano civil)	80 % do valor limite (32 $\mu g/m^3$)	80 % do valor limite (24 $\mu g/m^3$)
Limiar inferior de avaliação	50 % do valor limite (100 $\mu g/m^3$ a não exceder mais de 18 vezes em cada ano civil)	65 % do valor limite (26 $\mu g/m^3$)	65 % do valor limite (19,5 $\mu g/m^3$)

Tabela 26. Limiares superior e inferior de avaliação (mg/m^3) para o CO.

	Valor limite anual para protecção da saúde humana
Limiar superior de avaliação	70 % do valor limite (7 mg/m^3)
Limiar inferior de avaliação	50 % do valor limite (5 mg/m^3)

Tabela 27. Limiares superior e inferior de avaliação ($\mu g/m^3$) para o Pb.

	Valor limite anual para protecção da saúde humana
Limiar superior de avaliação	70 % do valor limite (0,35 $\mu g/m^3$)
Limiar inferior de avaliação	50 % do valor limite (0,25 $\mu g/m^3$)

Tabela 28. Limiares superior e inferior de avaliação ($\mu g/m^3$) para o benzeno.

	Valor limite anual para protecção da saúde humana
Limiar superior de avaliação	70 % do valor limite (3,5 $\mu g/m^3$)
Limiar inferior de avaliação	40 % do valor limite (2 $\mu g/m^3$)

Encontra-se ainda em fase de proposta uma Directiva Europeia relacionada com os PAHs e metais pesados (Hg, As, Ni, Cd) no ar ambiente. Esta proposta alarga o conjunto poluentes no ar ambiente que é imperativo controlar.

Actualmente, e numa tentativa de responsabilização, a Comissão Europeia encontra-se a trabalhar sobre a Directiva onde se foca princípio do poluidor-pagador. Desta forma, os operadores cujas actividades causem ou ameacem causar danos ambientais, vão ser responsabilizados financeiramente. Caso não seja possível identificar os transgressores, a responsabilidade passa para as autoridades dos Estados Membros (Casaleiro, 2002).

1.6 QUALIDADE DO AR NA ÁREA METROPOLITANA DO PORTO

Como já foi visto nos capítulos anteriores, a correcta avaliação da qualidade do ar ambiente é extremamente importante para a implementação de políticas de Gestão da Qualidade do Ar eficientes, com vista a minimizar os efeitos negativos da poluição atmosférica na saúde Humana, vegetação e ecossistemas.

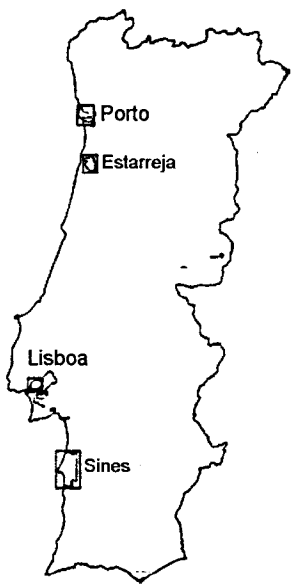
Assim, nos capítulos que se seguem pretende-se fazer uma análise da qualidade do ar na Área Metropolitana do Porto (AMP) através da aplicação da nova legislação nacional, Decreto-Lei n.º 111/2002, e compará-la com a legislação cessante, Portaria nº 286/93, para cada poluente em estudo (PM_{10}, SO_2, NO_2, CO), nos anos 1999, 2000 e 2001. Relativamente ao O_3, a comparação será efectuada entre a Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho 2000/3/CE e a legislação portuguesa ainda em vigor, Portaria 623/96.

É também objectivo deste trabalho efectuar o estudo do comportamento diário e sazonal das PM_{10}, SO_2, NO_2, CO e O_3 na AMP. Assim como, avaliar se a informação recolhida para os poluentes em estudo nas diferentes estações da Rede Monitorização da Qualidade do Ar (RMQAr) é distinta, correlacionando-se as concentrações médias diárias de cada um deles.

2. REDE DE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR

A monitorização e avaliação da qualidade do ar surgem como resposta à crescente preocupação relativamente aos efeitos causados no ambiente e na saúde humana pela poluição atmosférica proveniente de fontes antropogénicas e naturais. O principal objectivo das redes de monitorização da qualidade do ar (RMQAr), é disponibilizar informação ao Governo e ao público em geral, sobre a concentração dos poluentes atmosféricos, e sobre a influência dos fluxos de poluição transfronteiriça.

Observando a localização da actual RMQAr em Portugal, verifica-se que a rede faz uma cobertura espacial relativamente deficiente do território português. Apenas as grandes áreas metropolitanas (Lisboa e Porto) e as áreas mais densamente industrializadas (Estarreja e Sines) é que se encontram abrangidas pela actual RMQAr (figura 25).



(Fonte: Borrego et al.; 2002)

Figura 25. Localização da rede de medição da qualidade do ar (DGA).

Este facto sugere que a utilização de técnicas de modelização pode ser uma ferramenta importante para a gestão da qualidade do ar em Portugal (Borrego et al., 2002).

2.1 ZONAS E AGLOMERAÇÕES

Após a transposição para Direito Interno das directivas comunitárias relativas à qualidade do ar (DL 111/2002) houve necessidade por parte das entidades competentes ajustar a rede de medição da qualidade do ar existente aos critérios impostos pela UE. A definição de "zonas" e "aglomerações" é um dos aspectos mais críticos no projecto de uma RMQAr, e com uma importância crucial na implementação e verificação das diferentes estratégias de gestão da qualidade do ar.

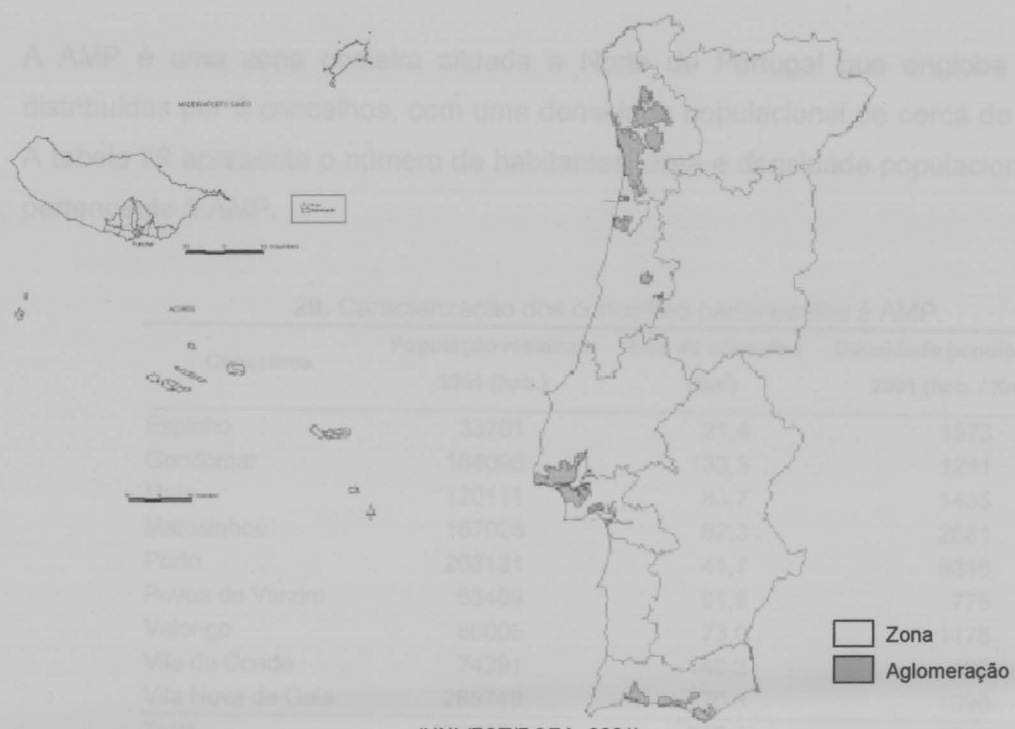
Uma aglomeração é definida, no DL 276/99, como "zona caracterizada por um número de habitantes superior a 250 000 ou em que a população seja igual ou fique aquém de tal número de habitantes, desde que não inferior a 50 000, sendo a densidade populacional superior a 500 hab/km^2". O mesmo documento legal, define uma zona como sendo "uma área geográfica de características homogéneas, em termos de qualidade do ar, ocupação do solo e densidade populacional". Assim sendo, uma aglomeração acaba por ser também ela própria uma zona, mas os critérios que a definem são mais objectivos, estando relacionados com parâmetros estatísticos da população residente nessa área.

Para a definição das aglomerações aqui apresentada, foi adoptada a densidade populacional da mais pequena unidade em termos administrativos para a qual vêm referenciados dados de recenseamento da população freguesia como critério base (UNL/FCT/DCEA, 2001). Adicionalmente, foi também dada relevância à existência de algumas situações mais específicas, nomeadamente: às freguesias que apesar de não terem 500 hab/km^2 se prevê um rápido crescimento a curto-médio prazo (situadas dentro de uma aglomeração) e à população flutuante nas zonas onde o turismo tem grande preponderância e ocupa um período significativo do ano, nomeadamente na zona sul do país (Algarve), nos meses da Primavera e Verão.

Na delimitação de zonas dentro do território continental, foi tido em consideração a delimitação das divisões administrativas, as delimitações das áreas de jurisdição das Direcções Regionais do Ambiente e Ordenamento do Território (DRAOT) e os limites de concelhos.

Esta análise permitiu identificar um conjunto de 12 aglomerações no território continental, localizadas na sua maioria na faixa litoral e uma aglomeração na região autónoma da

Madeira, e 12 zonas, incluindo também a região Autónoma dos Açores, como representa a figura 26.



(UNL/FCT/DCEA, 2001)

Figura 26. Identificação de zonas e aglomerações para Portugal Continental e Regiões Autónomas.

Existem ainda outras formas de fazer esta análise, que apresentam resultados muito semelhantes (Borrego et al., 2002). Como se pode verificar, a Área Metropolitana do Porto é considerada uma aglomeração.

2.2 ÁREA METROPOLITANA DO PORTO

A AMP é uma zona costeira situada a Norte de Portugal que engloba 130 freguesias distribuídas por 9 concelhos, com uma densidade populacional de cerca de 1 500 hab/km^2. A tabela 29 apresenta o número de habitantes, área e densidade populacional por concelho pertencente à AMP.

29. Caracterização dos concelhos pertencentes à AMP.

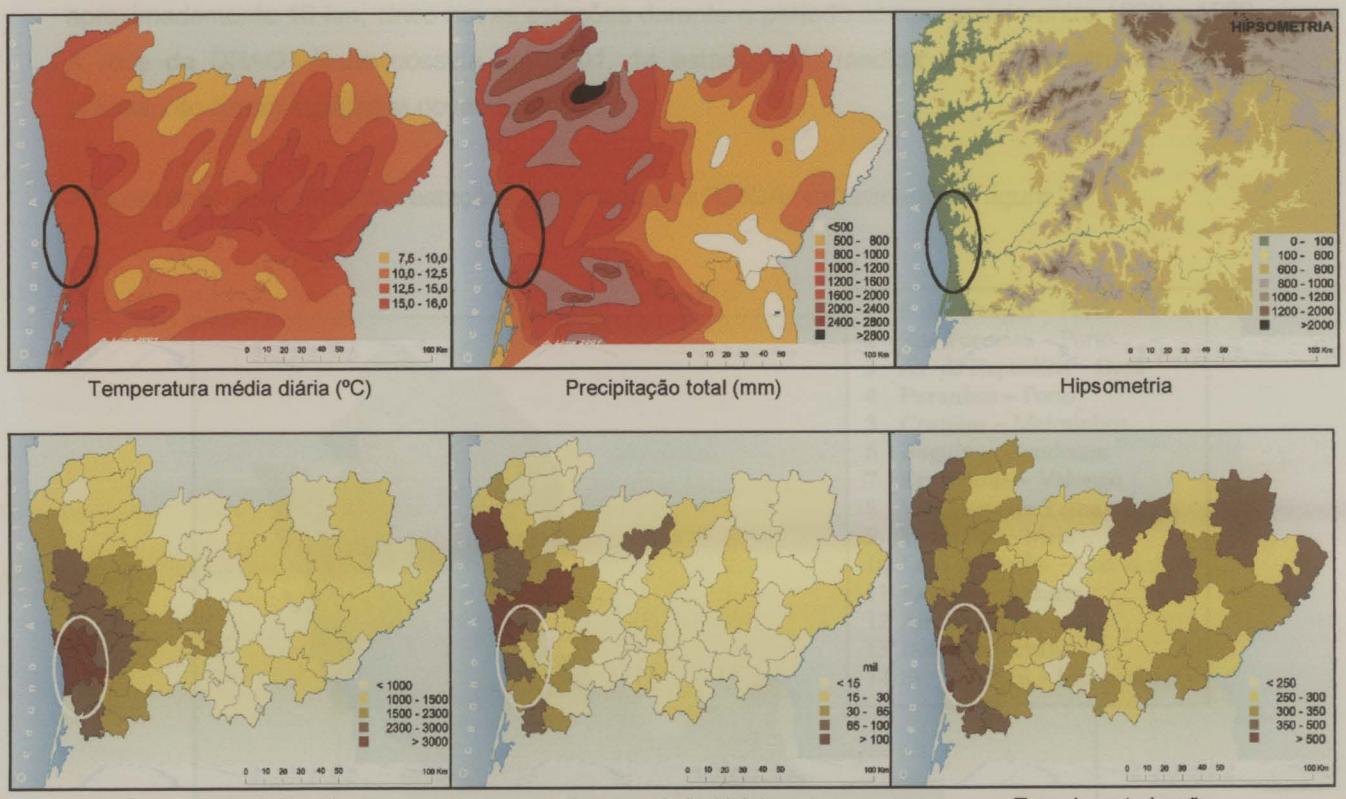
Concelhos	População residente 2001 (hab.)	Área do concelho (km^2)	Densidade populacional 2001 (hab. / Km^2)
Espinho	33701	21,4	1573
Gondomar	164096	133,3	1231
Maia	120111	83,7	1435
Matosinhos	167026	62,3	2681
Porto	263131	41,7	6316
Povoa do Varzim	63469	81,9	775
Valongo	86005	73,0	1178
Vila do Conde	74391	149,3	498
Vila Nova de Gaia	288749	170,8	1690
Total	1260679	817,4	**1542**

Situada a uma latitude de 41°10' N e 8°40' E de longitude, esta área encontra-se delimitada a Oeste pelo oceano Atlântico (através de cerca de 50 km de costa) e a Sul pelo rio Douro. Topograficamente, esta zona é extremamente irregular, a altitude diminui com a proximidade à linha costeira a partir de um máximo de 300 m. Em relação ao clima, a AMP é designada como sendo uma zona marítima Norte, caracterizada por verões amenos e invernos suaves e chuvosos, com duas estações de transição: Primavera e Outono. A temperatura média anual varia entre os 12,5 e 15°C e as diferenças das temperaturas médias mensais entre os meses quentes e frios é inferior a 10°C (figura 27).

Em relação aos indicadores sócio-económicos, a AMP é uma das zonas do Norte de Portugal com maior consumo de electricidade *per capita* e por indústria, o que revela a intensidade da densidade populacional e industrial desta zona. É também na AMP que a taxa de motorização é mais elevada, quando comparada com o Norte de Portugal (figura 27).

Na AMP, as instalações industriais com contribuição relevante para a emissão de poluentes para a atmosfera são: refinaria do Porto situada em Leça da Palmeira, Matosinhos; central

termoeléctrica pertencente à CPPE (Companhia Portuguesa de Produção de Electricidade); central termoeléctrica com funcionamento a gás natural pertencente à TURBOGÁS; central de incineração de resíduos sólidos urbanos da LIPOR II e todo o tecido industrial existente nesta zona do país.



Temperatura média diária (ºC) | Precipitação total (mm) | Hipsometria

Consumo doméstico de electricidade 1996 (kW/capita) | Consumo industrial de electricidade 1996 (kW/industria) | Taxa de motorização (veículos/1 000 hab.)

(Fonte: DRAOT-Norte)

Figura 27. Caracterização da AMP relativamente a: temperatura média, precipitação, hipsometria, consumo doméstico e industrial de electricidade e taxa de motorização.

2.3 REDE DE MEDIÇÃO DA QUALIDADE DO AR NA AMP

A RMQAr da área Metropolitana do Porto iniciou o seu funcionamento em 1991 com apenas uma estação: a estação da Rua dos Bragas. Com o estudo de Impacto Ambiental desenvolvido em 1995, para a implementação da unidade de incineração LIPOR II, foram instaladas num raio de aproximadamente 10 km, cinco novas estações durante o período compreendido entre 1998 e 1999. A rede da DRAOT-Norte possuía em 2001, 14 estações de medida em funcionamento, com a previsão de serem instaladas novas estações.

A localização geográfica das estações que integram a RMQAr encontra-se na figura 28.

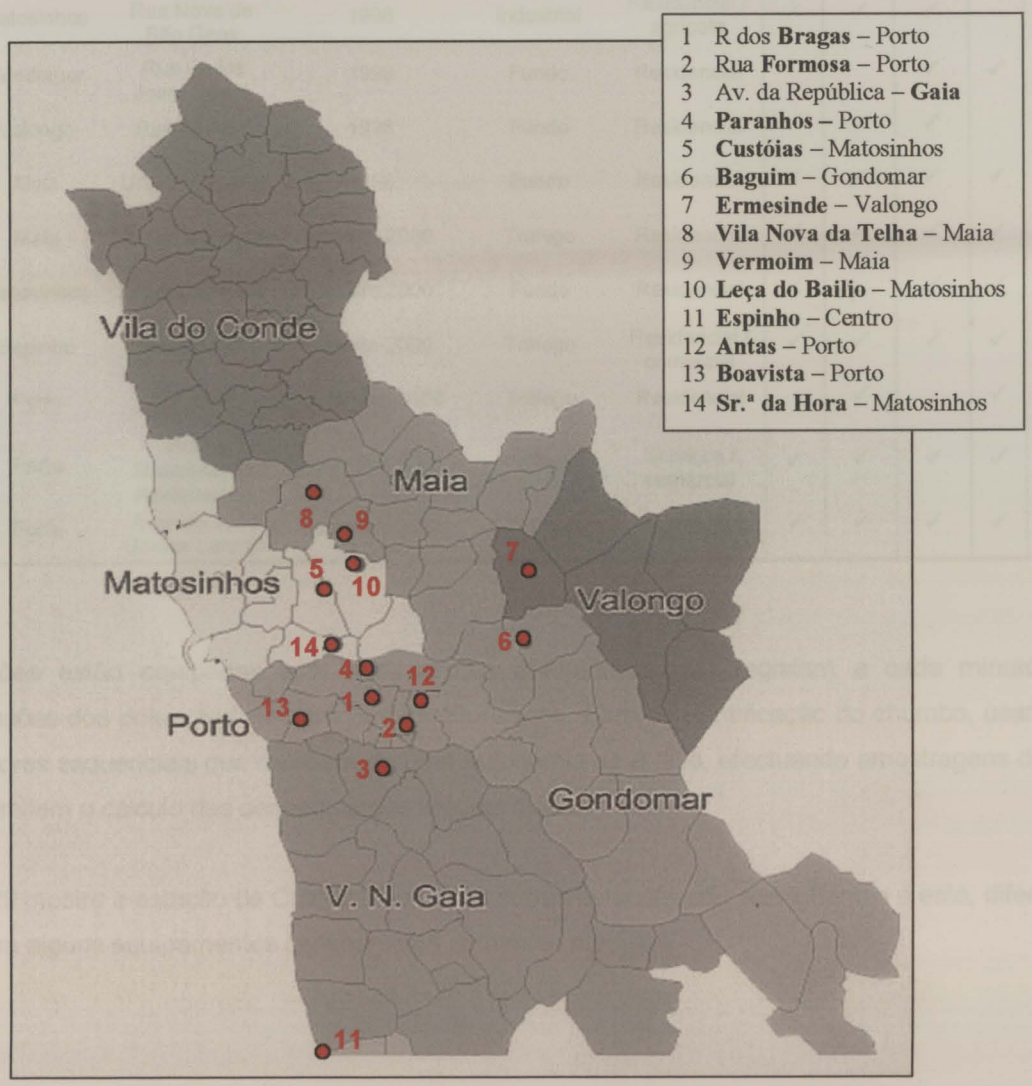


Figura 28. Localização das estações que integram a RMQAr da AMP.

As 14 estações em funcionamento durante o período em estudo estão caracterizadas na tabela 30, referindo-se a designação, a localização, o início de funcionamento, o tipo de estação tendo em conta as emissões predominantes, as características da zona envolvente e os poluentes monitorizados (DRAOT-Norte, 1999).

Tabela 30. Caracterização das estações da RMQAr.

Estação	Localização		Início de funcionamento	Tipo de estação	Caracterís. da zona	Poluentes monitorizados					
	Concelho	Local				SO_2	PM_{10}	NO_2	CO	O_3	Pb
Bragas	Porto	Rua dos Bragas	1991	Tráfego/ mista	Residencial / mista	✓		✓	✓	✓	✓
Formosa	Porto	Rua Formosa	1994	Tráfego	Residencial / comercial	✓		✓	✓	✓	✓
Gaia	V N Gaia	Avenida da República	1997	Tráfego	Residencial / comercial	✓		✓	✓	✓	
Paranhos	Porto	Rua do Ameal	1998	Tráfego	Residencial	✓	✓	✓	✓	✓	
Custóias	Matosinhos	Rua Nova de São Gens	1998	Industrial	Residencial / agrícola	✓	✓	✓		✓	
Baguim	Gondomar	Rua Padre Joaq. Neves	1998	Fundo	Residencial			✓	✓	✓	
Ermesinde	Valongo	Rua 25 Abril	1998	Fundo	Residencial	✓	✓	✓		✓	
V N Telha	Maia	Urb. do Lidador	1998	Fundo	Residencial	✓	✓	✓	✓	✓	
Vermoim	Maia	Av. D. Manuel II	Janeiro 2000	Tráfego	Residencial	✓	✓	✓	✓	✓	
Leça	Matosinhos	Lugar da Agrela	Janeiro 2000	Fundo	Residencial	✓		✓	✓	✓	
Espinho	Espinho	Avenida 24	Agosto 2000	Tráfego	Residencial / comercial	✓	✓	✓	✓	✓	
Antas	Porto	Praça Sá Carneiro	Setembro 2000	Tráfego	Residencial		✓		✓	✓	
Boavista	Porto	Praça Mouzinho de Albuquerque	Setembro 2001	Tráfego	Serviços / comercial	✓	✓	✓	✓	✓	
Sr. da Hora	Porto	Avenida João Gomes Laranjo	Setembro 2001	Tráfego	Residencial	✓	✓	✓	✓		

As estações estão equipadas com analisadores automáticos que registam a cada minuto as concentrações dos poluentes atmosféricos monitorizados. Para a quantificação do chumbo, usam-se amostradores sequenciais que dispõem de uma autonomia de 8 dias, efectuando amostragens de 24 h que permitem o cálculo das concentrações médias diárias.

A figura 29 mostra a estação de Custóias, todas as outras estações são semelhantes a esta, diferindo apenas em alguns equipamentos consoante os poluentes medidos.

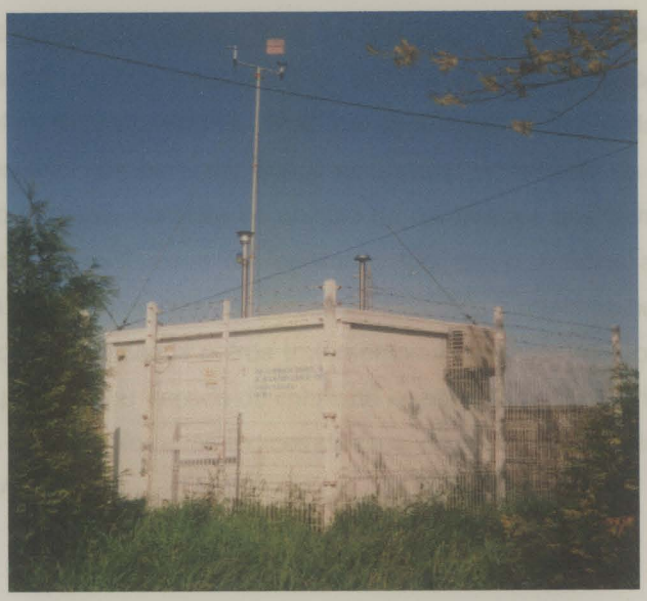


Figura 29. Pormenor da estação de Custóias.

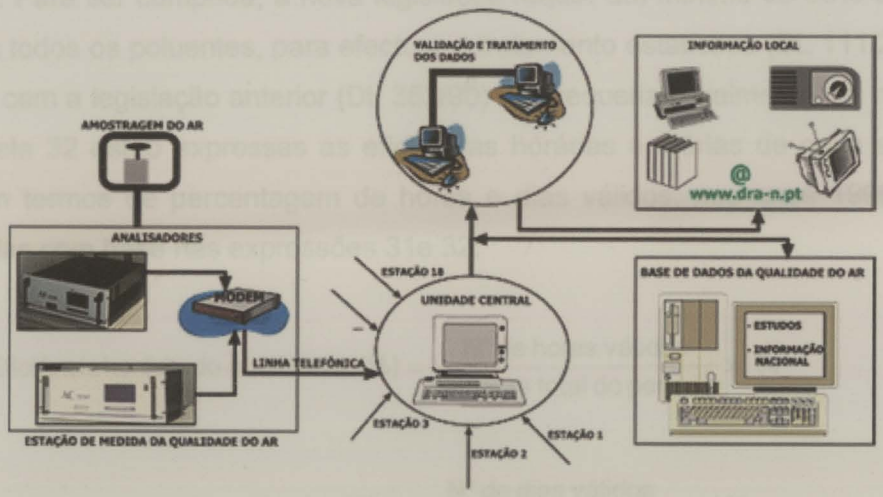
As metodologias analíticas utilizadas encontram-se sintetizadas na tabela 31 (DGA, 2000).

Tabela 31. Metodologias analíticas.

	Metodologia	Frequência de medição
SO_2	Fluorescência UV	Contínua
PM_{10}	Atenuação de radiação beta	Contínua
NO_2	Quimiluminiscência	Contínua
CO	Fotometria de IV não dispersiva	Contínua
O_3	Absorção de UV	Contínua
Pb	Filtração/ Espectrometria por absorção atómica	Descontínua

Os resultados dos analisadores existentes nas estações de medição da qualidade de ar são recolhidos via *modem*, através de um software específico de recolha (SCANAIR) que efectua o diálogo directo com os analisadores e o computador central, onde para cada período de uma hora são calculadas e armazenadas as médias dos quartos de hora. Através do SCANAIR os dados obtidos são convertidos em médias horárias (figura 30). São excepção as estações da Rua dos Bragas e Rua Formosa, onde os resultados são enviados para uma Unidade de Aquisição Local (UAL), onde para cada período de uma hora são calculadas e armazenadas as médias horárias. As UAL´s estão ligadas à Unidade de Gestão Regional (UGR, constituída por um computador pessoal), através da rede telefónica pública e *modems*, localizada na sede da DRAOT-Norte. Na UGR, e através de um software específico (RAMDA3), procede-se à recolha dos valores horários medidos nas duas estações, ao seu armazenamento e validação.

Depois de armazenadas, as médias horárias são sujeitas a um processo de validação que filtra eventuais anomalias de funcionamento. São calculadas as percentagens de dados válidos relativamente ao total de dados possíveis, tendo em consideração para cada poluente, as imposições legais no que diz respeito aos períodos que é necessário considerar no tratamento estatístico. O tratamento estatístico de base, consiste no cálculo de parâmetros que permitem a comparação dos níveis registados com limites fixados na legislação tais como: médias aritméticas (diárias e /ou anuais), médias de 8 horas consecutivas, percentis, máximos e mínimos horários, diários ou anuais. Caso a caso poderão ser realizados outros tratamentos estatísticos, como por exemplo factores de correlação, rosas de poluição ou traçado de linhas de isoconcentração. Diariamente são colocados na a Internet, no *site* da DRAOT-Norte, os Índices da Qualidade do Ar das últimas 24 horas, para todas as estações da RMQAr.



(Fonte: DRAOT-N)

Figura 30. Estrutura da rede de medida da qualidade do ar na AMP.

3. RESULTADOS

3.1 EFICIÊNCIAS

Os procedimentos de Garantia da Qualidade devem ser aplicados a nível nacional, para que seja assegurada a qualidade dos dados, satisfazendo os Objectivos da Qualidade, tanto em amostras individuais como em valores agregados, tais como médias, tendências sazonais e anuais. É particularmente importante evitar erros sistemáticos que se repercutem por tempo indeterminado. Para ser cumprida, a nova legislação requer um mínimo de 90% de valores possíveis para todos os poluentes, para efectuar o tratamento estatístico (DL 111/2002), em contraposição com a legislação anterior (DL 352/90) que requeria geralmente um mínimo de 75 %. Na tabela 32 estão expressas as eficiências horárias e diárias de cada analisador automático em termos de percentagem de horas e dias válidos, nos anos 1999, 2000 e 2001, calculadas com base nas expressões 31e 32:

$$\text{Eficiência horária do analisador (\%)} = \frac{\text{Nº de horas válidas}}{\text{Nº horas total do período}} \times 100 \quad (31)$$

$$\text{Eficiência diária do analisador (\%)} = \frac{\text{Nº de dias válidos}}{\text{Nº dias total do período}} \times 100 \quad (32)$$

Não existem neste período dados que permitam o tratamento estatístico adequado do Pb.

A análise da tabela 32, permite concluir que o critério requerido pela nova legislação é obedecido em apenas 29% dos dados disponíveis.

Com o objectivo de utilizar a maior quantidade de informação disponível no tratamento estatístico, optou-se por considerar as estações que têm pelo menos 50 % dos dados disponíveis. Desta forma ir-se-ão estudar 68% dos dados disponíveis, o que permite tirar conclusões mais abrangentes em relação aos três anos em estudo.

Tabela 32. Eficiência dos analisadores automáticos (%).

(%)	Efic. Diária			Efic. Diária			Efic. Horária			Efic. Horária			Efic. Horária		
Estação	**SO_2**			**PM_{10}**			**NO_2**			**CO**			**O_3**		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Bragas	62	37	7	n.m.	n.m.	n.m.	21	26	n.m.	87	64	66	74	47	74
Formosa	73	42	86	n.m.	n.m.	n.m.	49	26	75	75	62	89	66	57	75
Gaia	64	40	(*)	n.m.	n.m.	(*)	39	0	(*)	66	0	(*)	73	18	(*)
Paranhos	**99**	**95**	(*)	**99**	83	(*)	**95**	81	(*)	**92**	80	(*)	n.m.	80	(*)
Custóias	74	75	**98**	**92**	66	**96**	**91**	74	86	52	73	**95**	89	75	**91**
Baguim	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	86	81	21	**90**	87	3	89	**90**	n.m.
Ermesinde	**90**	88	**93**	**94**	87	**98**	n.m.	79	**91**	n.m.	n.m.	n.m.	**90**	**95**	**95**
VN Telha	**94**	**90**	**97**	**93**	87	**99**	85	89	86	89	87	82	**90**	89	**95**
Vermoim	(*)	**98**	30	(*)	**98**	28	(*)	89	29	(*)	89	29	(*)	**90**	29
Leça	(*)	**92**	**90**	(*)	**91**	89	(*)	**93**	78	(*)	**92**	83	(*)	**93**	**90**
Espinho	(*)	23	4	(*)	33	3	(*)	32	3	(*)	32	n.m.	(*)	32	n.m.
Antas	(*)	n.m.	n.m.	(*)	12	5	(*)	n.m.	5	(*)	23	6	(*)	32	n.m.
Boavista	(*)	(*)	28	(*)	(*)	33	(*)	(*)	28	(*)	(*)	28	(*)	(*)	23
Sr hora	(*)	(*)	27	(*)	(*)	27	(*)	(*)	11	(*)	(*)	24	(*)	(*)	n.m.

n.m. Poluente não monitorizado
* Estações que não se encontram em funcionamento

3.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR FACE À LEGISLAÇÃO NACIONAL

Neste capítulo pretende-se, tal como já foi referido, fazer uma análise da qualidade do ar na Área Metropolitana do Porto através da aplicação da nova legislação nacional, Decreto-Lei n.º 111/2002, e compará-la com a legislação cessante, Portaria nº 286/93, para cada poluente em estudo (PM_{10}, SO_2, NO_2, CO), nos anos 1999, 2000 e 2001. Relativamente ao O_3, a comparação será efectuada entre a Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho 2000/3/CE e a legislação portuguesa ainda em vigor, Portaria 623/96.

De toda a informação existente nos três anos em análise, optou-se por sistematizar na forma de tabelas os resultados de todas as estações. Destas estações, foram seleccionadas três com características diferentes (urbana, fundo e industrial) para apresentação das concentrações médias horárias e diárias na forma de figuras, sempre que possível para o ano 2001.

De acordo com a legislação cessante, os parâmetros estatísticos relativos a NO_2 e CO devem ser avaliados para o ano civil (1 de Janeiro a 31 de Dezembro de 2000) e também para o ano de referência (1 de Abril de 2000 a 31 de Março de 2001). Para o caso do SO_2 e PM_{10} estava previsto o cálculo dos parâmetros estatísticos apenas para o ano de referência. No entanto, e para permitir uma comparação mais simples entre as duas legislações, a análise efectuada para estes poluentes diz respeito apenas aos anos civis de 1999, 2000 e 2001. Para o O_3 será aplicado o critério definido para o NO_2 e CO.

Como seria de prever existem diferenças significativas na actual legislação (resultante da transposição de legislação comunitária) em relação à legislação anterior, independentes dos poluentes em estudo.

Verifica-se que a nova legislação é mais exigente na quantidade de dados disponíveis para que seja obedecido critério mínimo de validade dos mesmos, 75% na legislação cessante contra 90% na legislação actual. Prevê-se que esta alteração irá dificultar a análise da qualidade do ar ambiente na AMP, pois ainda com legislação antiga em vigor já se sentia alguma dificuldade em obedecer ao critério mínimo de validade dos dados.

Por outro lado, a nova legislação apresenta valores limites focalizados na protecção da saúde humana, protecção da vegetação e protecção dos ecossistemas, em contraste com

os valores guias da legislação cessante. Um aspecto importante da nova legislação é o estabelecimento do número de vezes que determinado valor limite não pode ser ultrapassado, em contraposição com a legislação cessante, que utilizava muitas vezes a noção de percentil para definir valores limites. A eliminação dos P98, P95 e P50 irá reflectir-se logo à partida como uma restrição na nova legislação.

3.2.1 Partículas em suspensão – PM_{10}

Na Rede de Medida da Qualidade do Ar da Área Metropolitana do Porto (RMQAr-P) faz-se a monitorização das PM_{10} usando o método de análise de atenuação da radiação beta. O método analítico proposto no DL 111/2002 de 16 de Abril de 2002, que transpôs para o ordenamento jurídico interno as Directivas n.º 1999/30/CE e 2000/69/CE é o gravimétrico, pelo que a comparação dos valores observados com os legislados, pressupõe que estes métodos analíticos são equivalentes.

A nova legislação, ao contrário da legislação cessante faz referência a PM_{10} e não a partículas em suspensão (PTS).

Na tabela 33, resumem-se os parâmetros estatísticos que caracterizam as estações no que diz respeito a PM_{10}: médias horária e diária máximas, e ainda, média anual, mediana (P50) e P98 calculados para cada ano com base nas concentrações médias horárias.

Tabela 33. Médias horária e diária máximas, média anual, P50 e P98 para as PM_{10} ($\mu g/m^3$).

Estação	Média horária máxima			Média diária máxima			Média anual			P50			P98		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Paranhos	320	260	(*)	110	120	(*)	47	42	(*)	43	37	(*)	130	120	(*)
Custóias	340	290	390	160	140	160	49	44	50	38	34	38	170	160	180
Ermesinde	320	250	760	180	140	180	43	38	49	36	30	38	160	130	170
V N Telha	230	210	400	100	110	170	35	33	45	29	28	35	140	100	150
Vermoim	(*)	530	(*)	(*)	240	(*)	(*)	51	(*)	(*)	41	(*)	(*)	185	(*)
Leça	(*)	350	480	(*)	160	200	(*)	47	54	(*)	37	40	(*)	170	200

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico

Na figura 31 apresentam-se as concentrações médias diárias de PM_{10}, nas estações de Custóias (estação industrial), Vila Nova da Telha (estação de fundo) e Vermoim (estação de urbana / tráfego) durante o ano 2000, assim como, o valor limite diário para protecção da

saúde humana ($VLPS_d$ = 50 μg/m³). De acordo com a nova legislação o $VLPS_d$ não pode ser excedido mais de 35 vezes em cada ano civil na primeira fase de aplicação do documento legislativo (2005). Na segunda fase (2010), a frequência de ultrapassagem não pode ser excedida mais de 7 vezes.

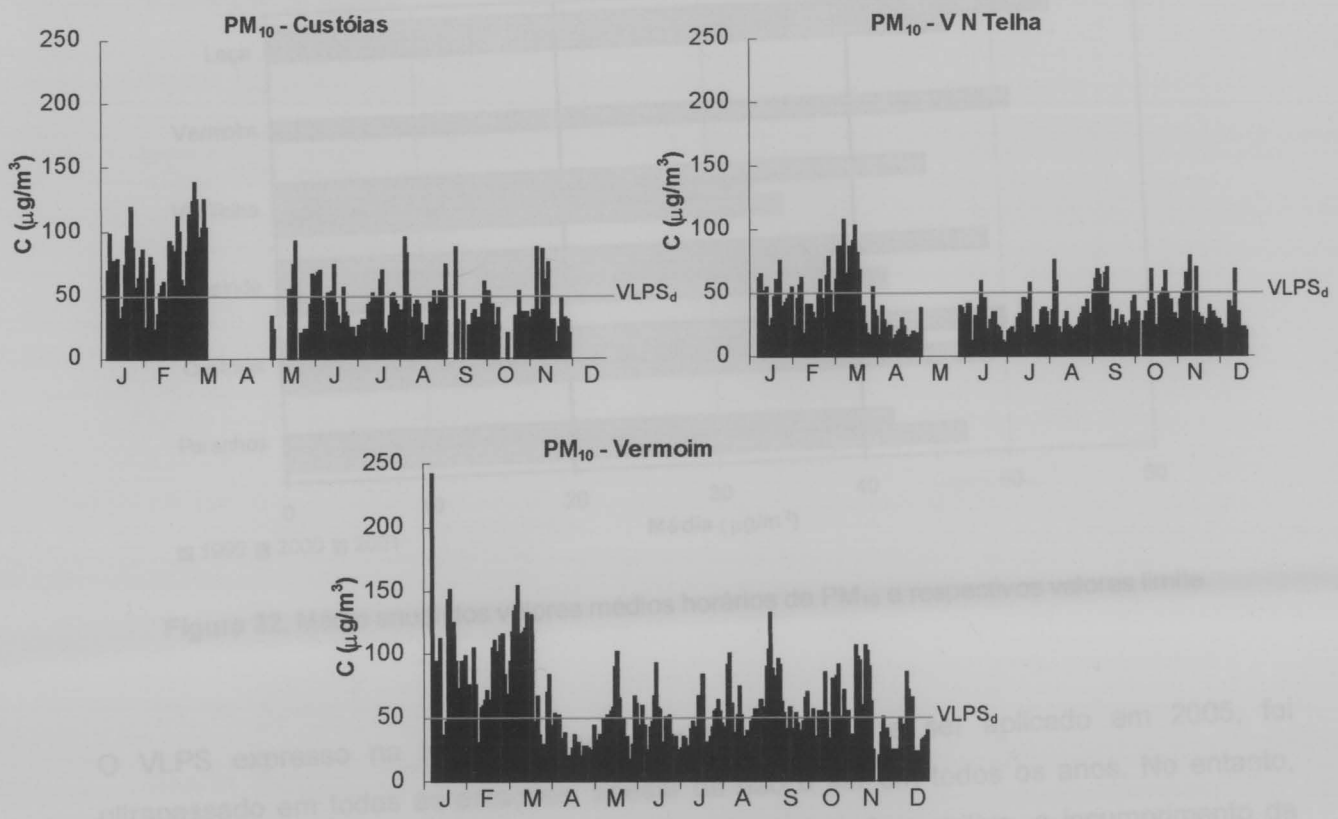


Figura 31. Concentrações médias diárias de PM_{10} e respectivo valor limite de protecção da saúde – 2000.

A tabela 34 compila a frequência de ultrapassagem do $VLPS_d$, concluindo-se que este parâmetro foi largamente ultrapassado em todas as estações e anos em estudo.

Tabela 34. Frequência de ultrapassagem do valor limite para protecção da saúde – PM_{10}.

Valor – limite para protecção da saúde humana	Média diária (50 μg/m³)[1,2]		
	1999	2000	2001
Paranhos	**145**	**90**	(*)
Custóias	**135**	**82**	**144**
Ermesinde	**106**	**73**	**138**
VN Telha	**77**	**53**	**123**
Vermoim	(*)	**150**	(*)
Leça	(*)	**120**	**143**

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico
[1] Valor limite não pode ser excedido mais que 35 vezes (1ª fase 2005)
[2] Valor limite não pode ser excedido mais que 7 vezes (2ª fase 2010)

Na figura 32 representam-se as médias anuais das concentrações médias horárias dos anos 1999, 2000 e 2001 para este poluente, assim como, os respectivos valores limite para a protecção da saúde humana ($VLPS_{2005}$ = 40 μg/m^3 e $VLPS_{2010}$ = 20 μg/m^3), na primeira e segunda fases respectivamente.

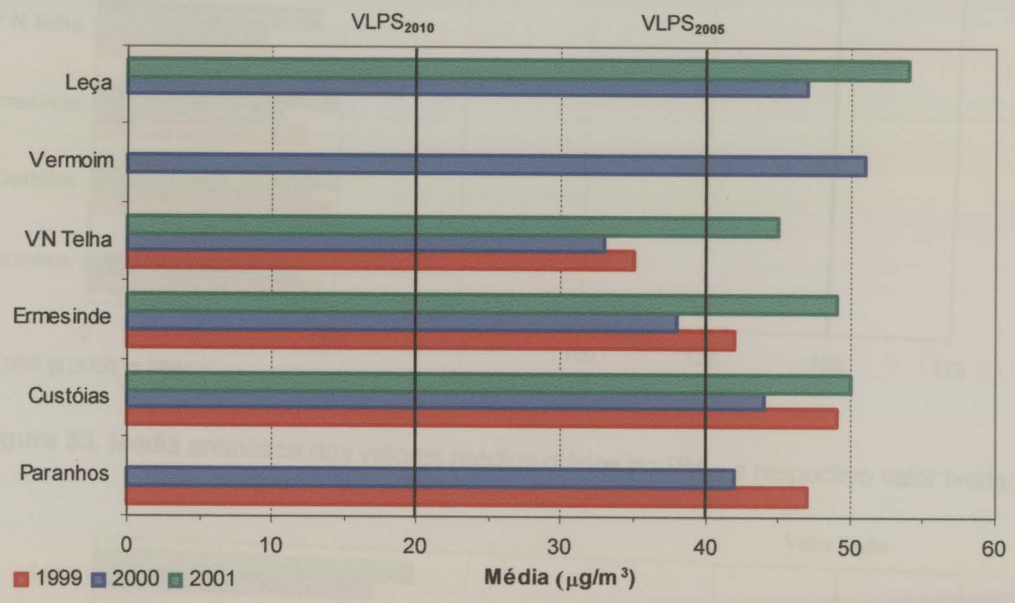


Figura 32. Média anual dos valores médios horários de PM_{10} e respectivos valores limite.

O VLPS expresso na legislação actualmente em vigor a ser aplicado em 2005, foi ultrapassado em todas as estações, apesar de não o ser em todos os anos. No entanto, como o mesmo parâmetro na segunda fase (2010) é mais restritivo, o incumprimento da legislação verifica-se não só em todas as estações mas também nos três anos em estudo.

Para avaliar o cumprimento do valor limite imposto pela legislação cessante, a figura 33 compara os valores médios anuais calculados com base nos valores médios diários, com o valor limite para as PTS (150 μg/m^3). A figura 34, mostra os valores do percentil 95 (P95) calculado a partir dos valores médios diários e o valor limite para as PTS (300 μg/m^3).

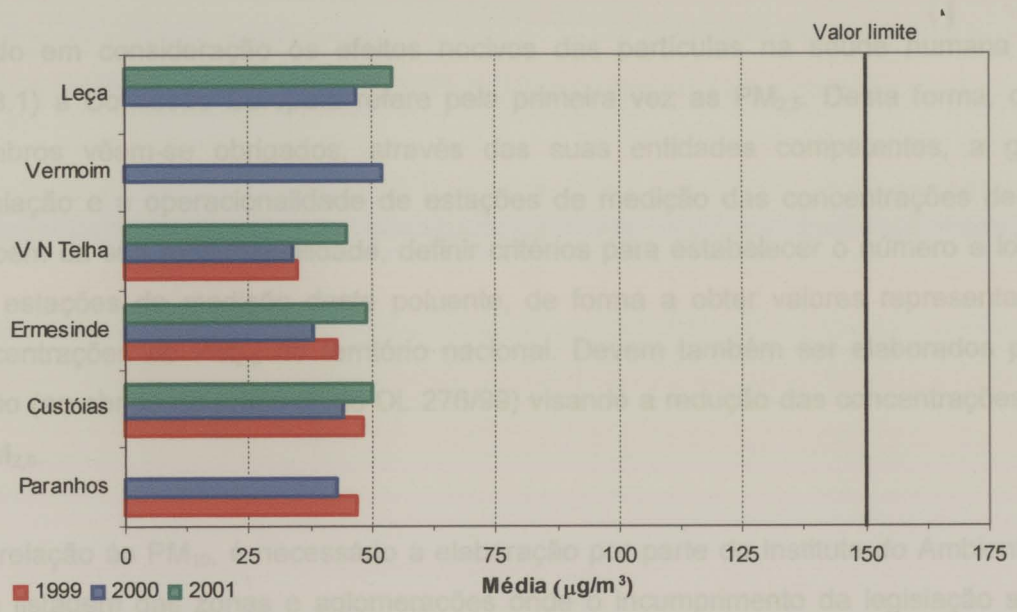


Figura 33. Média aritmética dos valores médios diários de PM_{10} e respectivo valor limite.

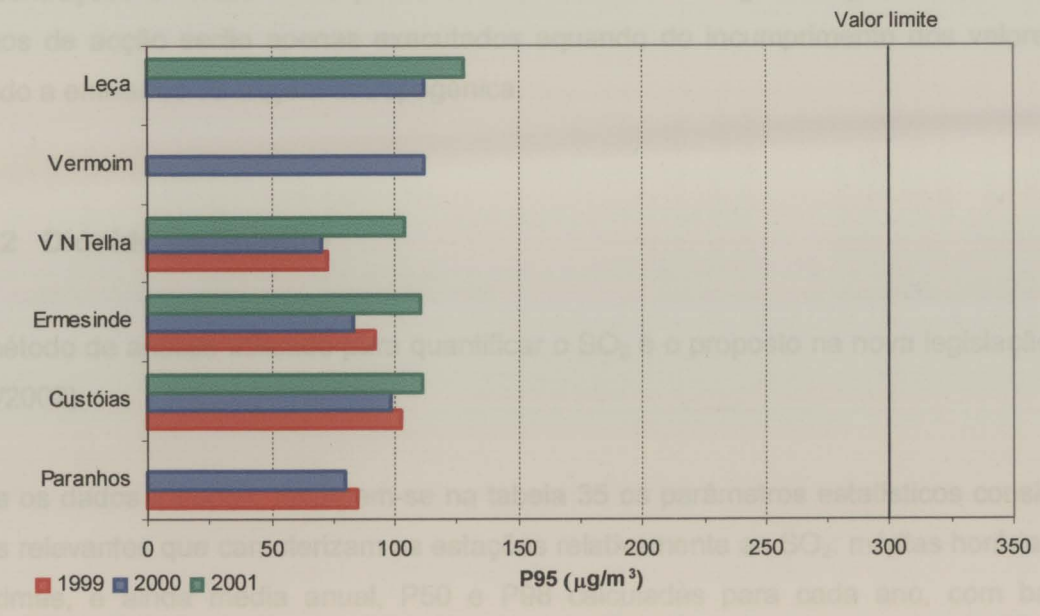


Figura 34. P95 dos valores médios diários de PM_{10} e respectivo valor limite.

Os parâmetros calculados para as PM_{10} são sempre manifestamente inferiores aos limites impostos para as PTS.

As PM_{10} passam a ser estudado no ano civil (1 de Janeiro a 31 de Dezembro) e não no ano de referência (1 de Abril a 31 de Março do ano seguinte), como indicava a legislação cessante.

Tendo em consideração os efeitos nocivos das partículas na saúde humana (capítulo 1.3.3.1) a Comissão Europeia refere pela primeira vez as $PM_{2,5}$. Desta forma, os países membros vêem-se obrigados, através das suas entidades competentes, a garantir a instalação e a operacionalidade de estações de medição das concentrações de $PM_{2,5}$. É também da sua responsabilidade, definir critérios para estabelecer o número e localização das estações de medição deste poluente, de forma a obter valores representativos das concentrações de $PM_{2,5}$ no território nacional. Devem também ser elaborados planos de acção (ao abrigo do artigo 9º do DL 276/99) visando a redução das concentrações de PM_{10} e $PM_{2,5}$.

Em relação às PM_{10}, é necessário a elaboração por parte do Instituto do Ambiente (IA) de uma listagem das zonas e aglomerações onde o incumprimento da legislação se deve a causas naturais, da qual também deve constar, a informação adequada sobre as concentrações e fontes deste poluente nessas zonas ou aglomerações. Desta forma, os planos de acção serão apenas executados aquando do incumprimento dos valores limite devido a emissões de origem antropogénica.

3.2.2 Dióxido de Enxofre

O método de análise utilizado para quantificar o SO_2 é o proposto na nova legislação (DL nº 111/2002).

Para os dados tratados, resumem-se na tabela 35 os parâmetros estatísticos considerados mais relevantes que caracterizam as estações relativamente ao SO_2: médias horária e diária máximas, e ainda média anual, P50 e P98 calculadas para cada ano, com base nas concentrações médias horárias.

A figura 35 apresenta as concentrações médias horárias de SO_2, para as estações de Paranhos (estação urbana), Custóias (estação influenciada directamente por emissões industriais) e Vila Nova da Telha (estação de fundo), para o ano de 2000, assim como, os respectivos valor limite horário para protecção da saúde humana ($VLPS_h$ = 350 $\mu g/m^3$) e limiar de alerta (LA = 500 $\mu g/m^3$).

Tabela 35. Médias horárias e diárias máximas, média anual, P50 e P98 para o SO_2 ($\mu g/m^3$).

Estação	Média horária máxima			Média diária máxima			Média anual			P50			P98		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Bragas	310	(*)	(*)	87	(*)	(*)	23	(*)	(*)	18	(*)	(*)	89	(*)	(*)
Formosa	320	(*)	270	79	(*)	46	16	(*)	10	8,0	(*)	6,0	97	(*)	50
Gaia	920	(*)	(*)	90	(*)	(*)	20	(*)	(*)	9,0	(*)	(*)	110	(*)	(*)
Paranhos	620	260	(*)	93	59	(*)	21	16	(*)	12	10	(*)	100	75	(*)
Custóias	530	650	400	180	120	66	31	24	13	9,0	9,0	5,0	210	152	83
Ermesinde	450	390	240	430	51	35	10	7,6	5,2	5,0	4,0	3,0	60	47	27
V N Telha	570	270	720	75	58	46	13	7,8	4,5	7,0	3,0	2,0	76	48	27
Vermoim	(*)	380	(*)	(*)	42	(*)	(*)	12	(*)	(*)	7,0	(*)	(*)	58	(*)
Leça	(*)	310	1100	(*)	53	420	(*)	12	7,5	(*)	6,0	3,0	(*)	71	40

*Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico

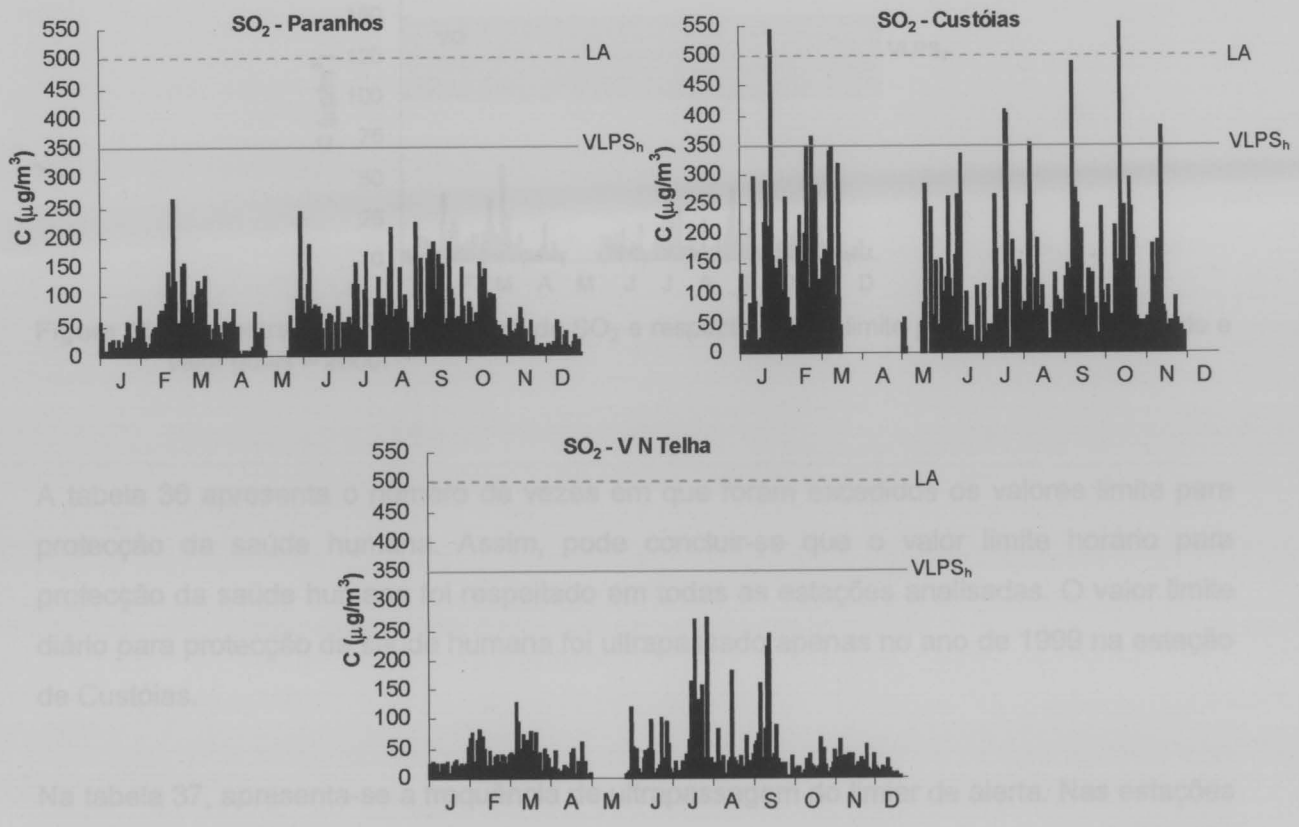


Figura 35. Concentrações médias horárias de SO_2 e respectivos valores limites para protecção da saúde e limiar de alerta - 2000.

A figura 36 representa as concentrações médias diárias de SO_2, e o valor limite diário para protecção da saúde humana ($VLPS_d$ = 125 $\mu g/m^3$). São também apresentados na figura os valores guias (VG = 100-150 $\mu g/m^3$) referentes à legislação cessante. De acordo com a nova

legislação, os $VLPS_h$ e $VLPS_d$ não podem ser excedidos mais de 24 e 3 vezes, respectivamente, em cada ano civil.

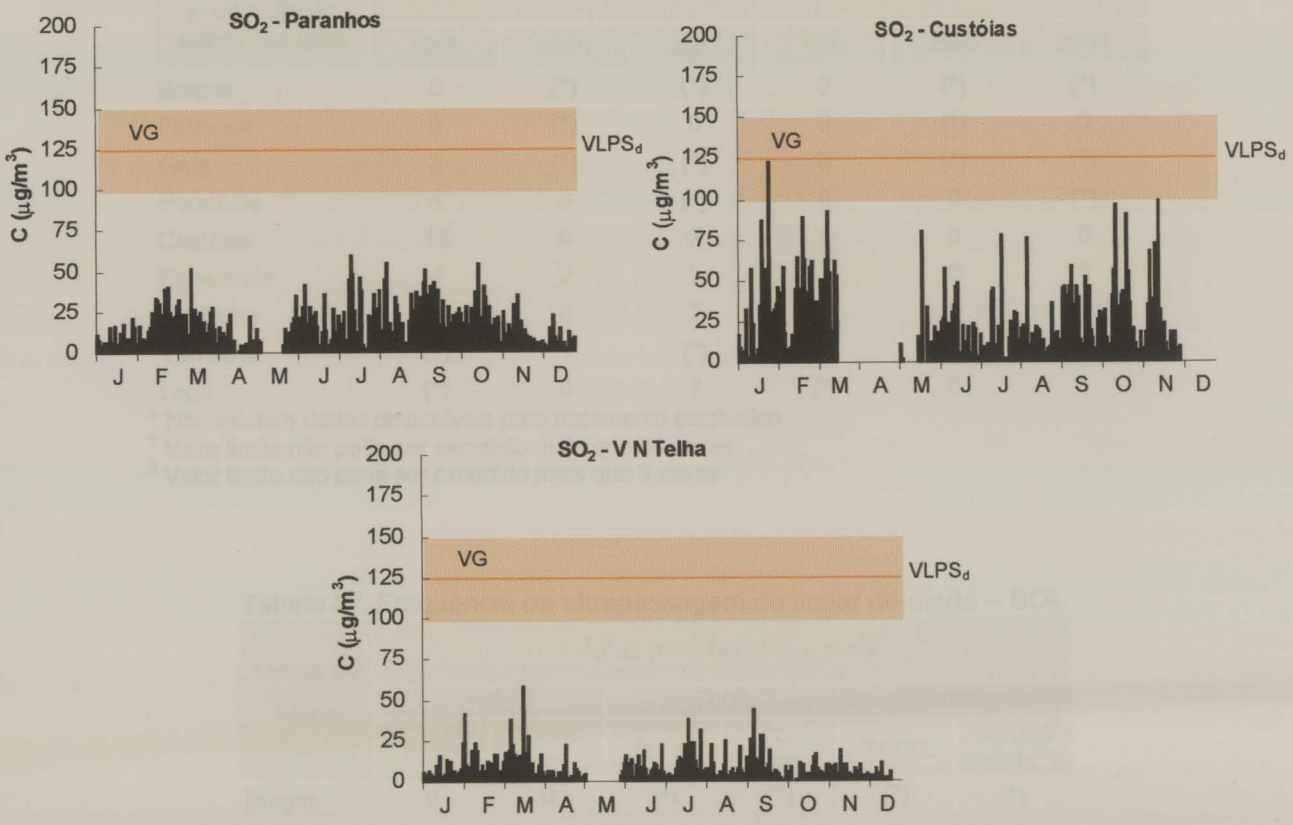


Figura 36. Concentrações médias diárias de SO_2 e respectivo valor limite para protecção da saúde e valor guias – 2000.

A tabela 36 apresenta o número de vezes em que foram excedidos os valores limite para protecção da saúde humana. Assim, pode concluir-se que o valor limite horário para protecção da saúde humana foi respeitado em todas as estações analisadas. O valor limite diário para protecção da saúde humana foi ultrapassado apenas no ano de 1999 na estação de Custóias.

Na tabela 37, apresenta-se a frequência de ultrapassagem do limiar de alerta. Nas estações de Custóias em 2000 e Leça em 2001, verificaram-se ultrapassagens deste limiar. No entanto, de acordo com o que está legislado, como esta ultrapassagem não se verificou durante três ou mais horas consecutivas, conclui-se que o limiar de alerta foi respeitado em todas as estações nos três anos em estudo.

Tabela 36. Frequência de ultrapassagem dos valores limites para protecção da saúde humana – SO_2.

Valor– limite p/ protecção da saúde humana	Médias horárias (350 μg/m³)[1]			Médias diárias (125 μg/m³)[2]		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Bragas	0	(*)	(*)	0	(*)	(*)
Formosa	0	(*)	0	0	(*)	0
Gaia	3	(*)	(*)	0	(*)	(*)
Paranhos	4	0	(*)	0	0	(*)
Custóias	15	9	3	**5**	0	0
Ermesinde	4	2	0	1	0	0
VN Telha	2	0	2	0	0	0
Vermoim	(*)	1	(*)	(*)	0	(*)
Leça	(*)	0	7	(*)	0	1

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico
[1] Valor limite não pode ser excedido mais que 24 vezes
[2] Valor limite não pode ser excedido mais que 3 vezes

Tabela 37. Frequência de ultrapassagem do limiar de alerta – SO_2.

Limiar de Alerta	Médias horárias (500 μg/m³)[1]					
	1999		2000		2001	
	horas	*3 horas cons.*	*horas*	*3 horas cons.*	*horas*	*3 horas cons.*
Bragas	0	0	(*)	(*)	(*)	(*)
Formosa	0	0	(*)	(*)	0	0
Gaia	0	0	(*)	(*)	(*)	(*)
Paranhos	0	0	0	0	(*)	(*)
Custóias	0	0	2	0	0	0
Ermesinde	0	0	0	0	0	0
VN Telha	0	0	0	0	0	0
Vermoim	(*)	(*)	0	0	(*)	(*)
Leça	(*)	(*)	0	0	5	0

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico
[1] Não deve ser excedido mais de três vezes consecutivas

As figuras 37 e 38 apresentam as médias anuais das concentrações médias horárias e as médias referentes ao período de Inverno (PI – 1 de Outubro a 31 de Março) respectivamente, assim como, o respectivo valor limite para a protecção dos ecossistemas (VLPE = 20 μg/m³). Verifica-se que o valor limite para protecção dos ecossistemas foi ultrapassado nas estações de Bragas, Paranhos e Custóias no ano de 1999, sendo nesta última estação também ultrapassado no ano 2000. No período de Inverno o valor limite de protecção dos ecossistemas foi ultrapassado apenas uma vez em 1999 na estação de Custóias.

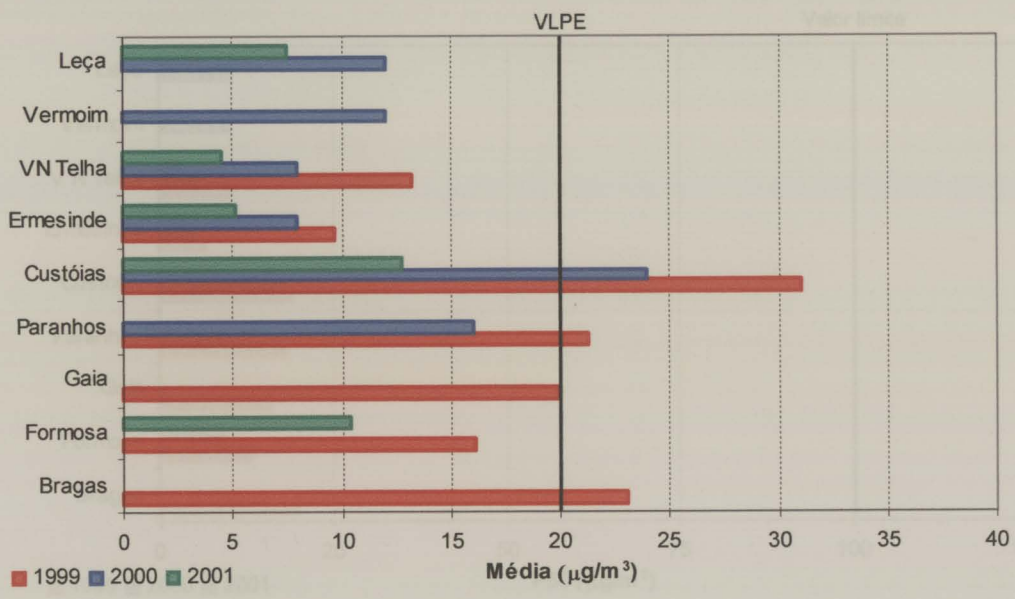


Figura 37. Médias anuais das concentrações médias horárias de SO_2 e respectivo valor limite para protecção dos ecossistemas.

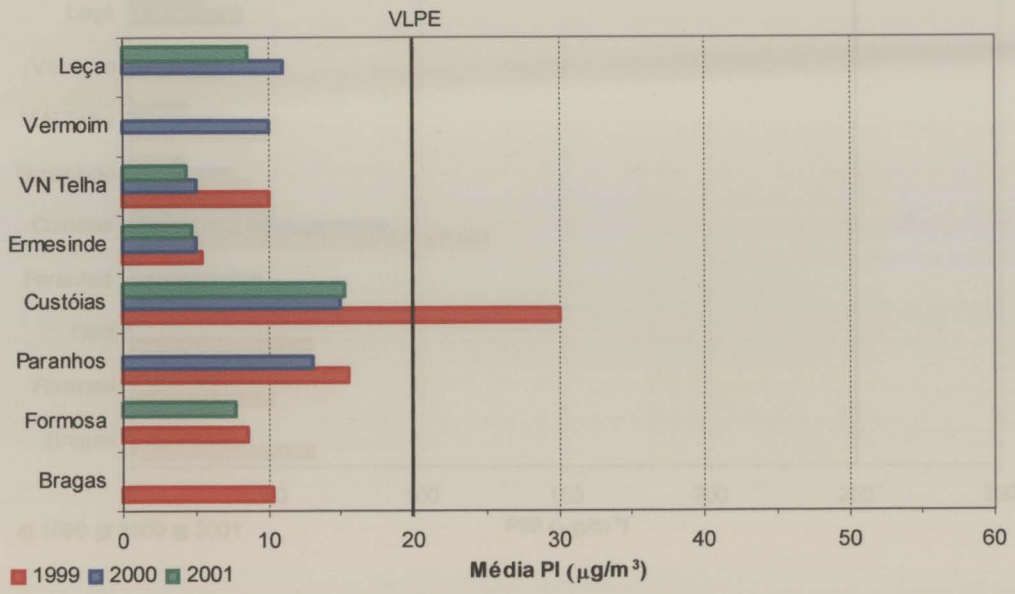


Figura 38. Médias anuais das concentrações médias horárias de SO_2 no período de Inverno e respectivo valor limite para protecção dos ecossistemas.

Para avaliar a obediência dos valores limite da legislação cessante, comparam-se os valores anuais do P50 e do P98 com os respectivos valores legislados (100 µg/m^3 e 250 µg/m^3, figuras 39 e 40), verificando-se que não houve incumprimento em qualquer das estações durante os anos considerados, e que estes se encontram muito afastados dos valores limite impostos.

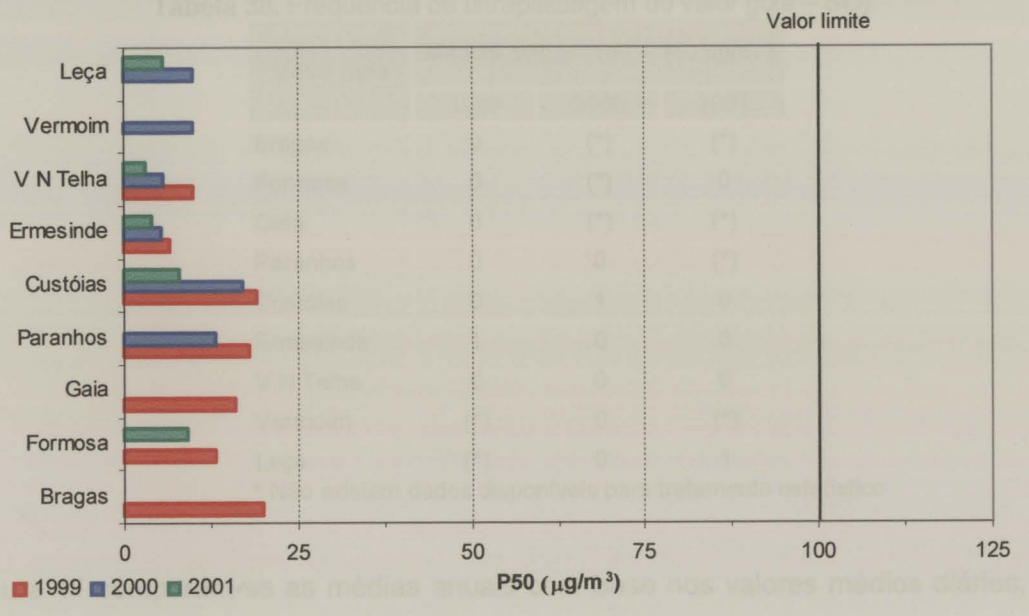


Figura 39. P50 dos valores médios diários de SO_2 e respectivo valor limite.

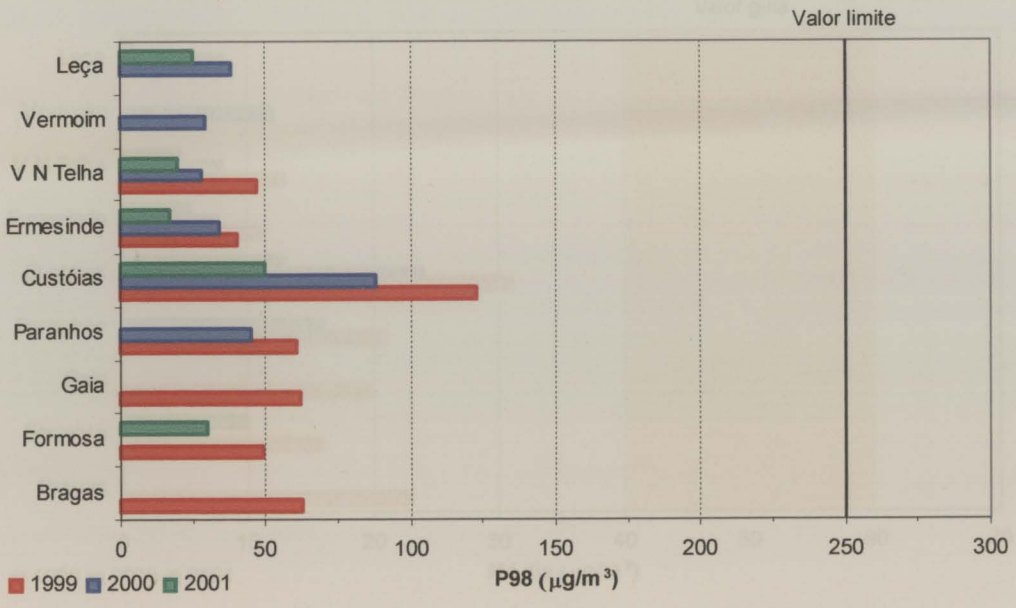


Figura 40. P98 dos valores médios diários de SO_2 e respectivo valor limite.

A comparação dos valores médios diários com o respectivo valor guia legislado (figura 36 e tabela 38), permite concluir que esses valores guias foram ultrapassados apenas três vezes nas diferentes estações.

Tabela 38. Frequência de ultrapassagem do valor guia – SO_2.

Valor guia	Médias diárias (100 – 150 μg/m³)		
	1999	2000	2001
Bragas	0	(*)	(*)
Formosa	0	(*)	0
Gaia	0	(*)	(*)
Paranhos	0	0	(*)
Custóias	0	1	0
Ermesinde	1	0	0
V N Telha	0	0	0
Vermoim	(*)	0	(*)
Leça	(*)	0	1

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico

Na figura 41 comparam-se as médias anuais com base nos valores médios diários, com o respectivo valor guia (40 – 60 μg/m³), concluindo-se que este nunca foi ultrapassado.

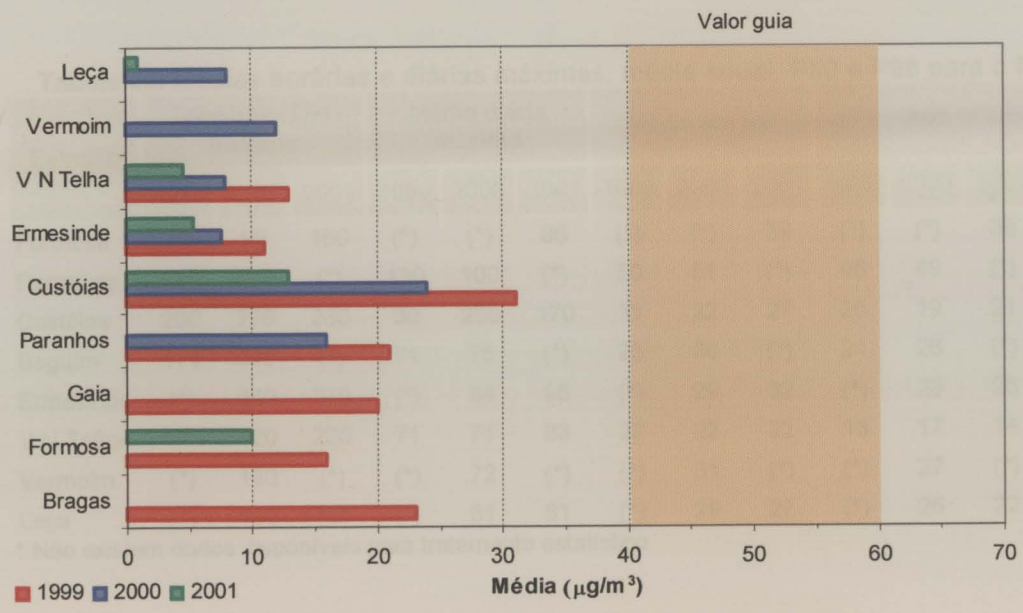


Figura 41. Média anual dos valores médios diários de SO_2 e respectivo valor guia.

Tendo em consideração que a legislação cessante só não foi obedecida face aos valores guia e que a nova legislação não é cumprida relativamente ao $VLPS_d$ e VLPE, conclui-se que para o SO_2, a nova legislação comunitária é mais restritiva que a legislação cessante.

Uma alteração importante introduzida pela nova legislação, relativa ao SO_2, é que na nova legislação passa a ser estabelecido um limiar de alerta, inexistente na legislação cessante.

Também para este poluente é necessário a elaboração de uma lista pelo IA, com a forma e objectivos referidos para as PM_{10}.

3.2.3 Óxidos de azoto – NO e NO_2

A metodologia analítica utilizada para determinar as concentrações de NO e NO_2 é a aconselhada na nova legislação portuguesa (DL 111/2002) e é coincidente com a legislação cessante (Portaria nº 286/93).

Para os dados tratados, resumem-se na tabela 39 os parâmetros estatísticos considerados mais relevantes, que caracterizam as estações relativamente ao NO_2: médias horária e diária máximas, e ainda para cada ano a média, P50 e P98 calculadas com base nas médias horárias para os anos de 1999, 2000 e 2001.

Tabela 39. Médias horárias e diárias máximas, média anual, P50 e P98 para o NO_2 ($\mu g/m^3$).

Estação	Média horária máxima			Média diária maxima			Média annual			P50			P98		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Formosa	(*)	(*)	160	(*)	(*)	86	(*)	(*)	39	(*)	(*)	36	(*)	(*)	92
Paranhos	220	180	(*)	130	100	(*)	50	51	(*)	46	49	(*)	110	110	(*)
Custóias	200	770	230	90	250	170	31	22	27	25	19	21	94	65	87
Baguim	170	530	(*)	71	75	(*)	25	30	(*)	21	26	(*)	70	76	(*)
Ermesinde	(*)	240	240	(*)	84	95	(*)	29	32	(*)	23	25	(*)	92	100
V N Telha	120	120	220	71	71	83	22	22	22	16	17	14	72	72	88
Vermoim	(*)	180	(*)	(*)	72	(*)	(*)	31	(*)	(*)	27	(*)	(*)	87	(*)
Leça	(*)	130	130	(*)	61	81	(*)	29	27	(*)	25	22	(*)	77	77

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico

A figura 42 apresenta, nas estações de Paranhos (estação urbana), Custóias (estação industrial) e Vila Nova da Telha (estação de fundo), as concentrações médias horárias assim como o valor limite de protecção da saúde humana (VLPS = 200 $\mu g/m^3$) e o limiar de alerta (LA = 400 $\mu g/m^3$) para o NO_2 no ano 2000.

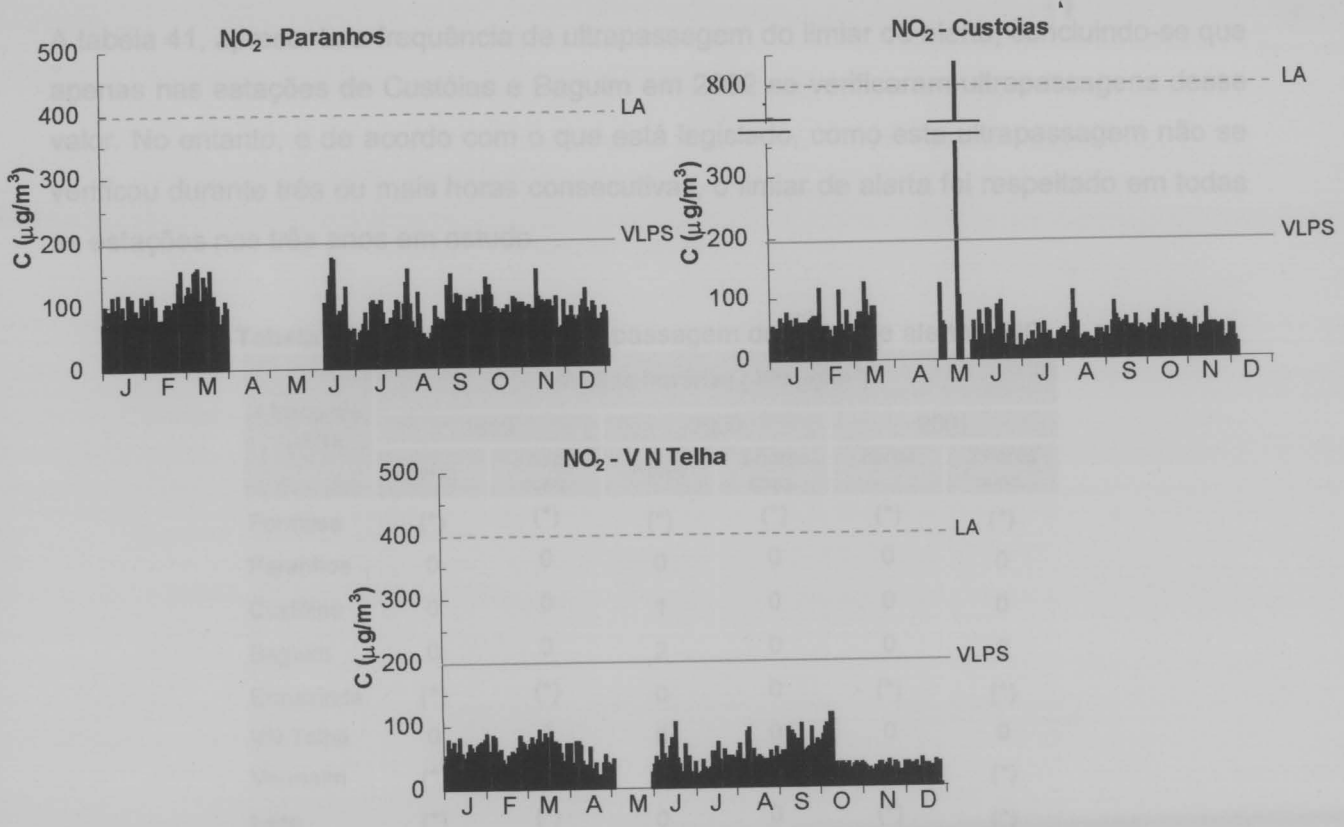


Figura 42. Concentrações médias horárias de NO_2 e respectivo valor limite para protecção da saúde e limiar de alerta – 2000.

A tabela 40 apresenta o número de vezes em que foi excedido o valor limite para a protecção da saúde humana com base nas concentrações médias horárias, concluindo-se que este nunca foi ultrapassado.

Tabela 40. Frequência de ultrapassagem dos valores limites para protecção da saúde humana – NO_2.

Valor – limite p/ protecção da saúde humana	Médias horárias (200 µg/m³)[1]		
	1999	2000	2001
Formosa	(*)	(*)	0
Paranhos	5	0	(*)
Custóias	0	2	6
Baguim	0	2	(*)
Ermesinde	(*)	4	6
VN Telha	0	0	2
Vermoim	(*)	0	(*)

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico
[1] Valor limite não pode ser excedido mais que 18 vezes

A tabela 41, apresenta a frequência de ultrapassagem do limiar de alerta, concluindo-se que apenas nas estações de Custóias e Baguim em 2002 se verificaram ultrapassagens desse valor. No entanto, e de acordo com o que está legislado, como esta ultrapassagem não se verificou durante três ou mais horas consecutivas, o limiar de alerta foi respeitado em todas as estações nos três anos em estudo.

Tabela 41. Frequência de ultrapassagem do limiar de alerta – NO_2.

Limiar de Alerta	Médias horárias (400 μg/m³)[1]					
	1999		2000		2001	
	horas	*3 horas cons.*	*Horas*	*3 horas cons.*	*horas*	*3 horas cons.*
Formosa	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Paranhos	0	0	0	0	0	0
Custóias	0	0	1	0	0	0
Baguim	0	0	2	0	0	0
Ermesinde	(*)	(*)	0	0	(*)	(*)
VN Telha	0	0	0	0	0	0
Vermoim	(*)	(*)	0	0	(*)	(*)
Leça	(*)	(*)	0	0	(*)	(*)

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico
[1] Não pode ser excedido mais que três vezes consecutivas

Na figura 43 encontram-se representadas as médias anuais das concentrações médias horárias, assim como o limite para protecção da saúde humana (VLPS = 40 μg/m³), verificando-se que na estação de Paranhos houve incumprimento deste limite.

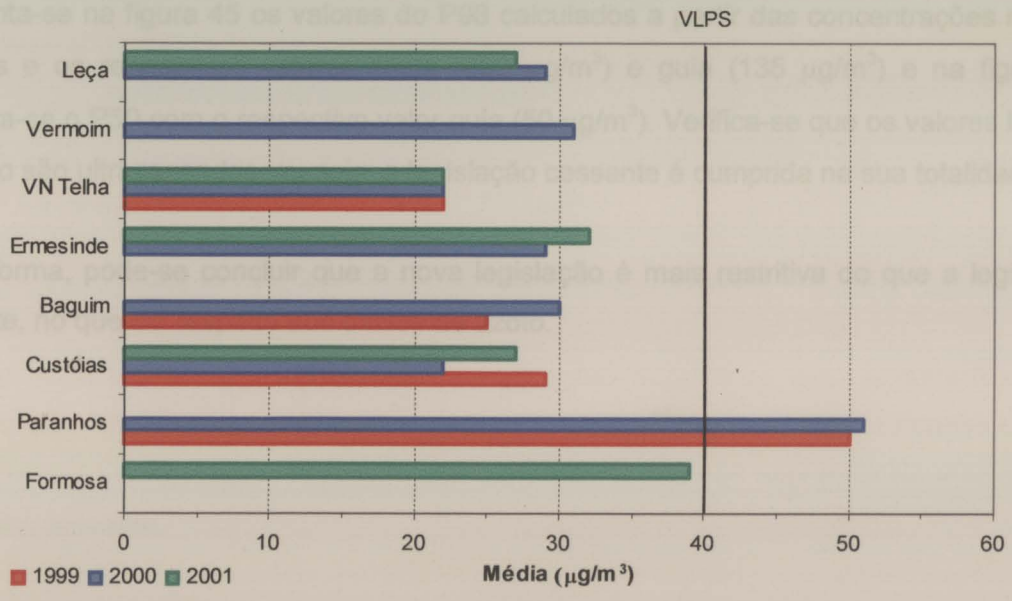


Figura 43. Médias anuais das concentrações médias horárias de NO_2 e respectivo valor limite para protecção de saúde humana.

As médias anuais das concentrações médias horárias de NO_x (soma das concentrações de NO_2 e NO, adicionadas como partes por bilião e expressas em $\mu g/m^3$ de NO_2) são apresentadas na figura 44, assim como, o valor limite para a protecção da vegetação (VLPV = 30 $\mu g/m^3$). Conclui-se que houve incumprimento da legislação no que diz respeito a este valor limite em todas as estações e anos em estudo.

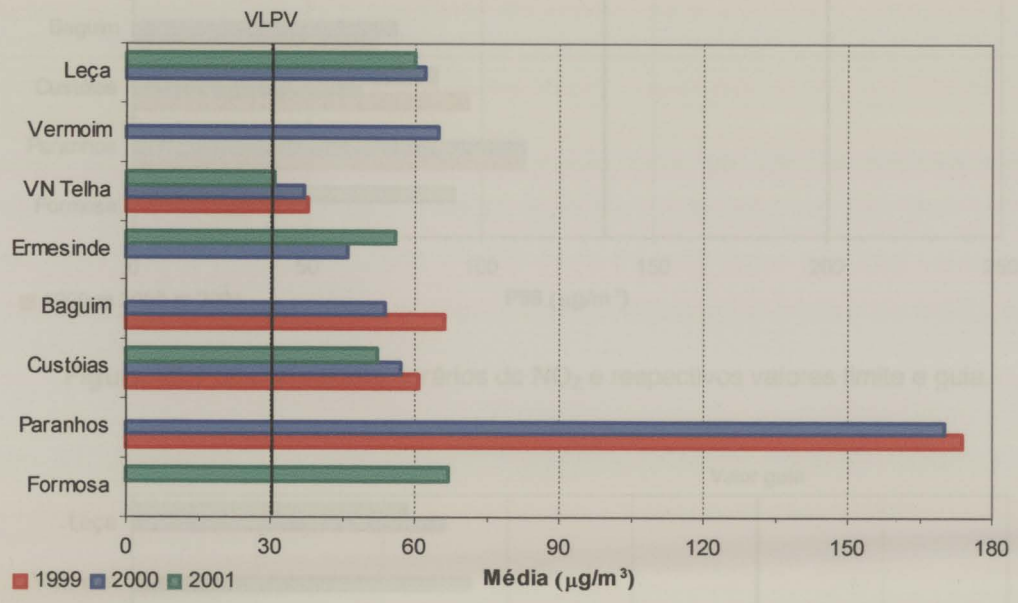


Figura 44. Médias anuais das concentrações médias horárias de NO_x e respectivo valor limite para protecção da vegetação.

Para avaliar a qualidade do ar de acordo com a legislação cessante (Portaria 286/93) apresenta-se na figura 45 os valores do P98 calculados a partir das concentrações médias horárias e os respectivos valores limite (200 $\mu g/m^3$) e guia (135 $\mu g/m^3$) e na figura 46 compara-se o P50 com o respectivo valor guia (50 $\mu g/m^3$). Verifica-se que os valores limite e guia não são ultrapassados, ou seja, a legislação cessante é cumprida na sua totalidade.

Desta forma, pode-se concluir que a nova legislação é mais restritiva do que a legislação cessante, no que diz respeito aos óxidos de azoto.

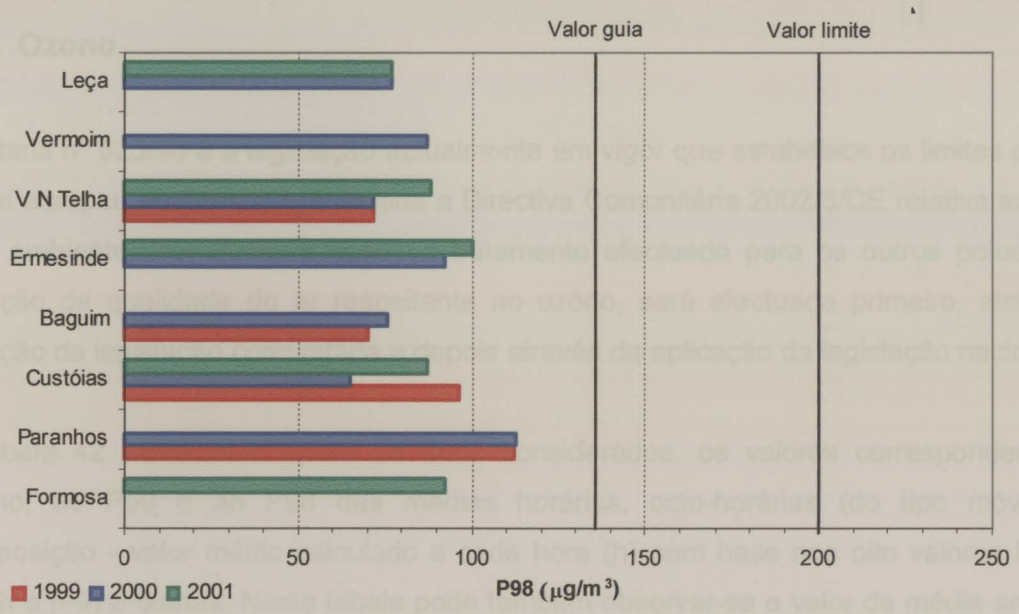


Figura 45. P98 dos valores horários de NO_2 e respectivos valores limite e guia.

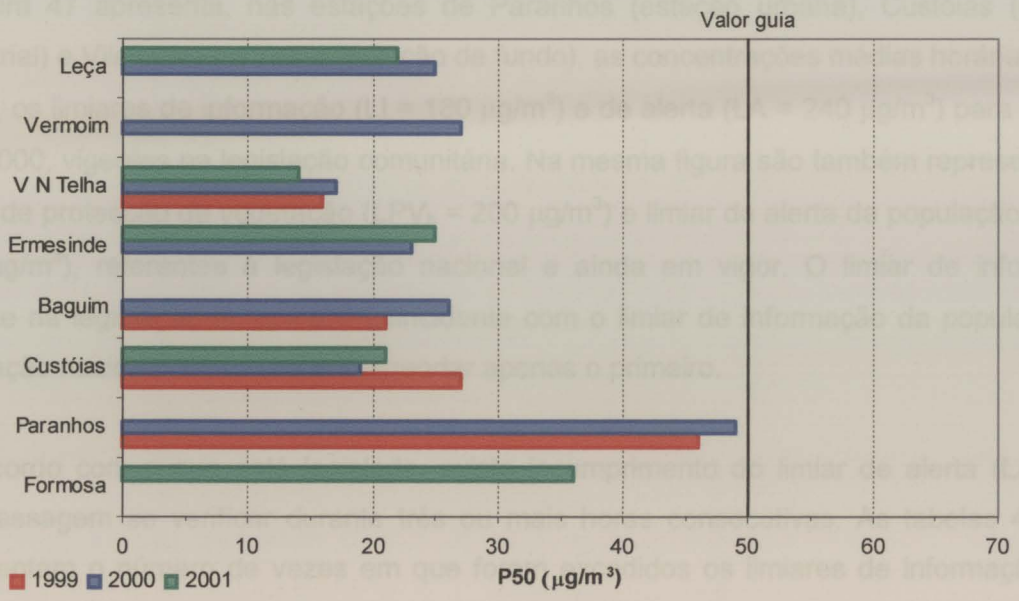


Figura 46. P50 dos valores horários de NO_2 e respectivo valor guia.

Como principais diferenças entre as duas legislações salienta-se que na nova legislação encontra-se atribuído um valor limite ao NO_x, a legislação cessante legisla apenas sobre o NO_2. É também atribuído ao NO_2 um limiar de alerta o que não acontecia na aplicação da legislação cessante.

3.2.4 Ozono

A Portaria nº 623/96 é a legislação actualmente em vigor que estabelece os limites para O_3. A nível europeu encontra-se já emitida a Directiva Comunitária 2002/3/CE relativa ao ozono no ar ambiente. Por forma a seguir o tratamento efectuado para os outros poluentes, a avaliação da qualidade do ar respeitante ao ozono, será efectuada primeiro, através da aplicação da legislação comunitária e depois através da aplicação da legislação nacional.

Na tabela 42 mostram-se, para os anos considerados, os valores correspondentes ao máximo, ao P50 e ao P98 das médias horárias, octo-horárias (do tipo móvel com sobreposição - valor médio calculado a cada hora (h) com base nos oito valores horários entre h e h-9) e diárias. Nesta tabela pode também observar-se o valor da média aritmética anual, calculada com base nas médias horárias.

A figura 47 apresenta, nas estações de Paranhos (estação urbana), Custóias (estação industrial) e Vila Nova da Telha (estação de fundo), as concentrações médias horárias assim como, os limiares de informação (LI = 180 $\mu g/m^3$) e de alerta (LA = 240 $\mu g/m^3$) para o O_3 no ano 2000, vigentes na legislação comunitária. Na mesma figura são também representados: limiar de protecção da vegetação (LPV_h = 200 $\mu g/m^3$) e limiar de alerta da população (LAP = 360 $\mu g/m^3$), referentes à legislação nacional e ainda em vigor. O limiar de informação vigente na legislação europeia é coincidente com o limiar de informação da população da legislação nacional. Optou-se por legendar apenas o primeiro.

De acordo com o que está legislado, existe incumprimento do limiar de alerta (LA) se a ultrapassagem se verificar durante três ou mais horas consecutivas. As tabelas 43 e 44 apresentam o número de vezes em que foram excedidos os limiares de informação e de alerta respectivamente, concluindo-se que nas estações classificadas como estações de fundo a frequência de ultrapassagem é muito maior do que nas estações urbanas. Este aspecto tem particular relevância nas estações de Ermesinde, Vila Nova da Telha e Custóias.

Tabela 42. Máximo, P50 e P98 das médias horárias, octo-horárias e diárias, média anual para o O_3 ($\mu g/m^3$).

Estação	Médias horárias									Médias octo-horárias									Médias diárias									Média anual		
	Máximo			P50			P98			Máximo			P50			P98			Máximo			P50			P98					
	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Bragas	160	(*)	130	29	(*)	34	82	(*)	80	110	(*)	98	30	(*)	34	75	(*)	74	77	(*)	75	31	(*)	34	66	(*)	66	32	(*)	36
Formosa	77	190	150	12	26	32	29	94	90	42	160	120	12	25	32	27	89	83	31	95	83	12	22	33	23	83	70	12	29	34
Gaia	96	(*)	(*)	6	(*)	(*)	57	(*)	(*)	83	(*)	(*)	8,1	(*)	(*)	48	(*)	(*)	48	(*)	(*)	10	(*)	(*)	36	(*)	(*)	12	(*)	(*)
Paranhos	(*)	130	(*)	(*)	16	(*)	(*)	69	(*)	(*)	81	(*)	(*)	18	(*)	(*)	62	(*)	(*)	61	(*)	(*)	18	(*)	(*)	53	(*)	(*)	20	(*)
Custóias	220	250	200	39	36	32	110	103	83	180	200	100	39	36	33	101	96	79	130	110	82	39	37	33	90	79	73	42	37	35
Baguim	200	200	(*)	32	34	(*)	89	87	(*)	160	120	(*)	32	34	(*)	81	79	(*)	87	90	(*)	32	34	(*)	70	70	(*)	33	34	(*)
Ermesinde	240	190	230	33	34	39	100	91	110	190	160	190	33	34	40	94	83	100	110	88	99	34	35	40	73	70	78	35	35	41
V N Telha	210	260	200	44	37	38	100	99	110	180	200	160	43	37	38	96	93	100	100	100	100	43	36	39	84	85	78	44	40	40
Vermoim	(*)	210	(*)	(*)	34	(*)	(*)	96	(*)	(*)	160	(*)	(*)	34	(*)	(*)	88	(*)	(*)	87	(*)	(*)	34	(*)	(*)	75	(*)	(*)	36	(*)
Leça	(*)	180	170	(*)	32	39	(*)	84	100	(*)	150	150	(*)	32	38	(*)	77	95	(*)	82	94	(*)	30	38	(*)	65	77	(*)	32	39

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico

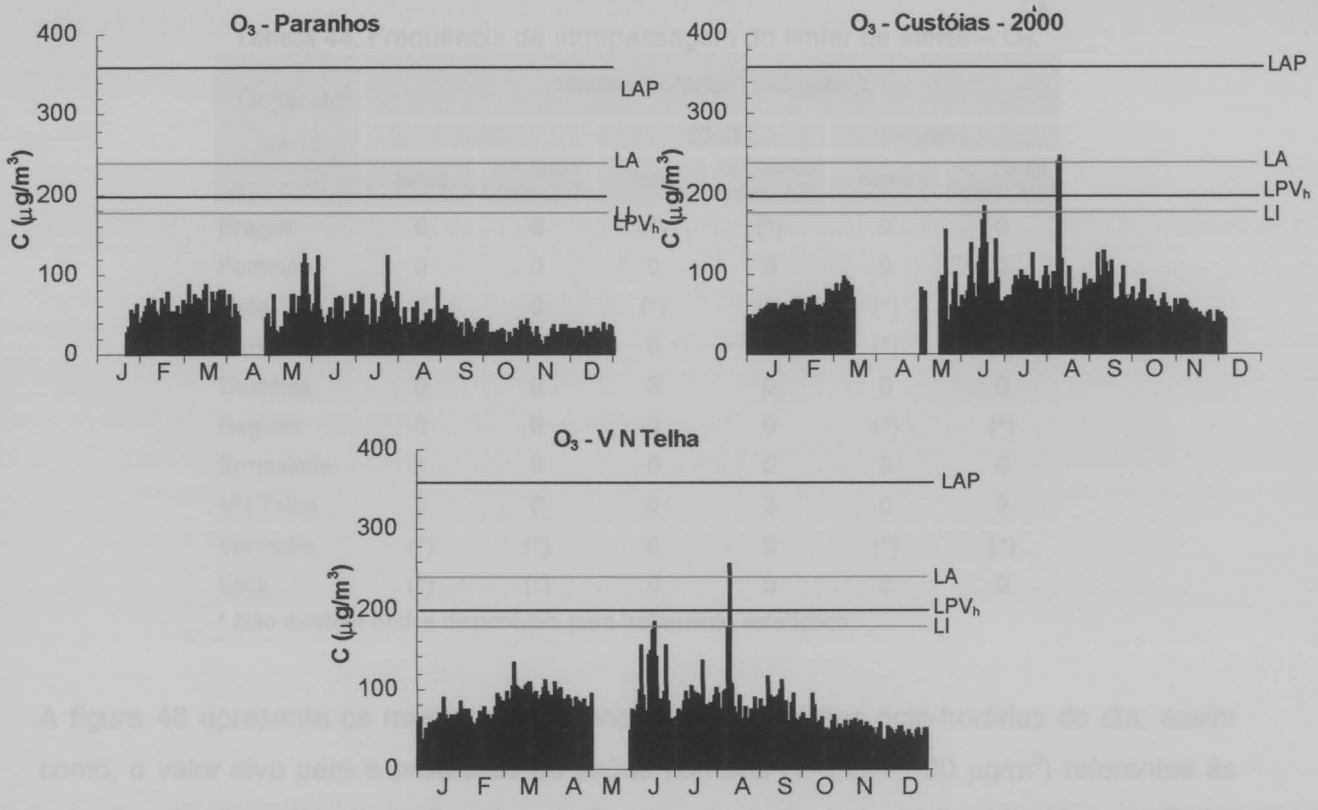


Figura 47. Concentrações médias horárias de O_3 e limiar de informação e alerta à população, assim como os limiares de protecção da vegetação, de informação à população e alerta à população – 2000.

Tabela 43. Frequência de ultrapassagem do limiar de informação – O_3.

Limiar de informação	Médias horárias (180 µg/m³)		
	1999	2000	2001
Bragas	0	(*)	0
Formosa	0	1	0
Gaia	0	(*)	(*)
Paranhos	(*)	0	(*)
Custóias	6	6	1
Baguim	5	1	(*)
Ermesinde	15	2	11
VN Telha	8	6	2
Vermoim	(*)	3	(*)
Leça	(*)	1	0

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico

Tabela 44. Frequência de ultrapassagem do limiar de alerta – O_3.

Limiar de alerta	Médias horárias (240 μg/m³)					
	1999		2000		2001	
	horas	*n.º horas cons. ≥ 3*	*horas*	*n.º horas cons. ≥ 3*	*horas*	*n.º horas cons. ≥ 3*
Bragas	0	0	(*)	(*)	0	0
Formosa	0	0	0	0	0	0
Gaia	0	0	(*)	(*)	(*)	(*)
Paranhos	(*)	(*)	0	0	(*)	(*)
Custóias	0	0	3	0	0	0
Baguim	0	0	0	0	(*)	(*)
Ermesinde	1	0	0	0	0	0
VN Telha	0	0	0	3	0	0
Vermoim	(*)	(*)	0	0	(*)	(*)
Leça	(*)	(*)	0	0	0	0

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico

A figura 48 apresenta os máximos das concentrações médias octo-horárias do dia, assim como, o valor alvo para a protecção da saúde humana (VAPS = 120 μg/m³) referentes às estações de: Paranhos (estação urbana), Custóias (estação industrial) e Vila Nova da Telha (estação de fundo), para o ano de 2000.

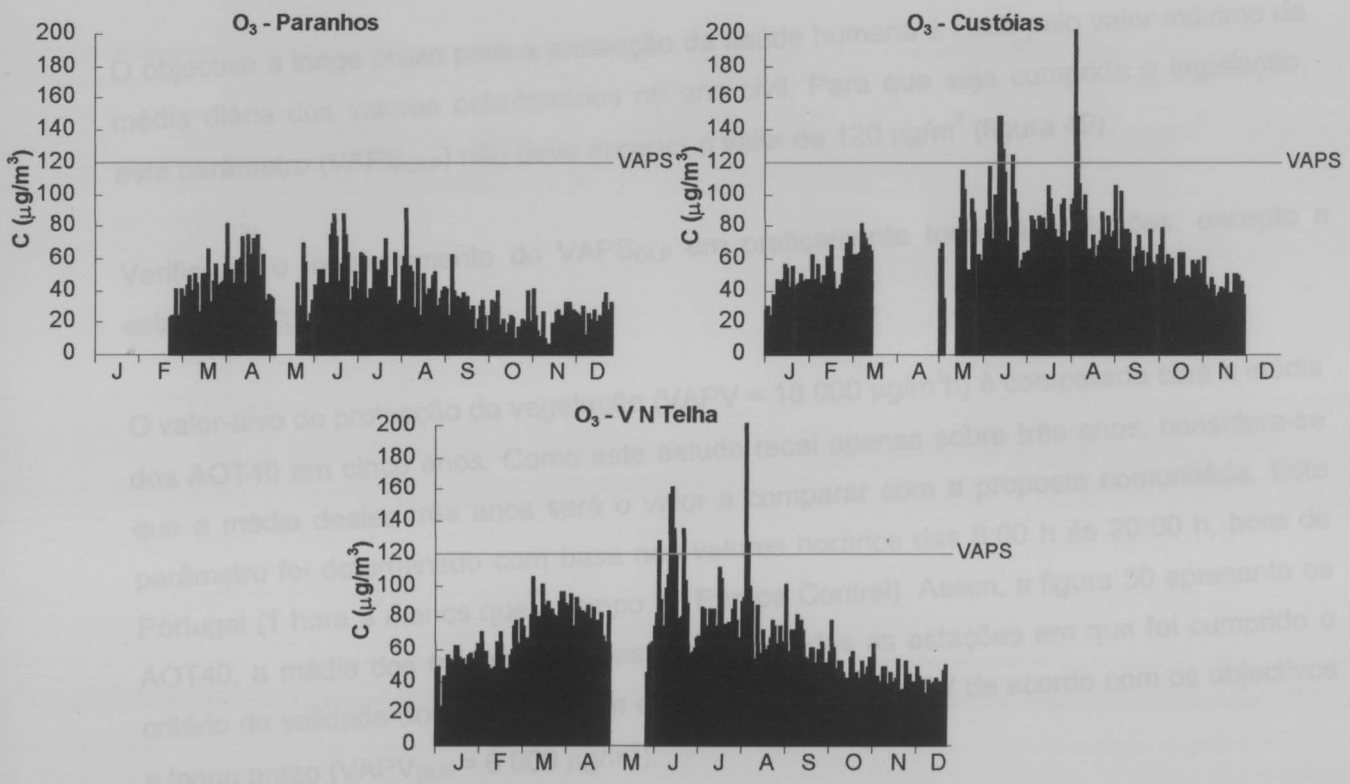


Figura 48. Máximo das concentrações médias octo-horárias de O_3 do dia e respectivo valor-alvo para a protecção da saúde humana – 2000.

De acordo com a legislação comunitária o VAPS não pode ser excedido mais de 25 dias por cada ano civil, calculados em média a 3 anos. Assim, a tabela 45 apresenta o número de vezes que foi excedido este valor, e a respectiva média anual.

Tabela 45. Frequência de ultrapassagem do valor-alvo para protecção da saúde humana – O_3.

Valor alvo para protecção saúde humana	Valor máximo das médias octo-horárias do dia (120 μg/m³)			
	1999	2000	2001	Média ano civil[1]
Bragas	0	(*)	0	0
Formosa	0	2	0	1
Gaia	0	(*)	(*)	0
Paranhos	(*)	0	(*)	0
Custóias	10	7	0	6
Baguim	3	5	(*)	4
Ermesinde	8	6	16	10
VN Telha	5	9	14	10
Vermoim	(*)	6	(*)	6
Leça	(*)	6	5	6

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico
[1] Não pode ser excedido mais que vinte e cinco vezes por ano civil

Verificou-se que as maiores frequências de ultrapassagem aconteceram em 2001 nas estações de Ermesinde e Vila Nova da Telha. Mesmo assim, o valor-alvo para protecção da saúde humana foi respeitado em todas as estações analisadas.

O objectivo a longo prazo para a protecção da saúde humana é dado pelo valor máximo da média diária dos valores octo-horários no ano civil. Para que seja cumprida a legislação, este parâmetro ($VAPS_{OLP}$) não deve exceder o valor de 120 μg/m³ (figura 49).

Verifica-se o incumprimento do $VAPS_{OLP}$ em praticamente todas as estações, excepto a estação da rua dos Bragas.

O valor-alvo de protecção da vegetação (VAPV = 18 000 μg/m³h) é comparado com a média dos AOT40 em cinco anos. Como este estudo recai apenas sobre três anos, considera-se que a média destes três anos será o valor a comparar com a proposta comunitária. Este parâmetro foi determinado com base nos valores horários das 8:00 h ás 20:00 h, hora de Portugal (1 hora a menos que o tempo da Europa Central). Assim, a figura 50 apresenta os AOT40, a média dos três anos em estudo para todas as estações em que foi cumprido o critério de validade dos dados, assim como o VAPV e o VAPV de acordo com os objectivos a longo prazo ($VAPV_{OLP}$ = 6 000 μg/m³).

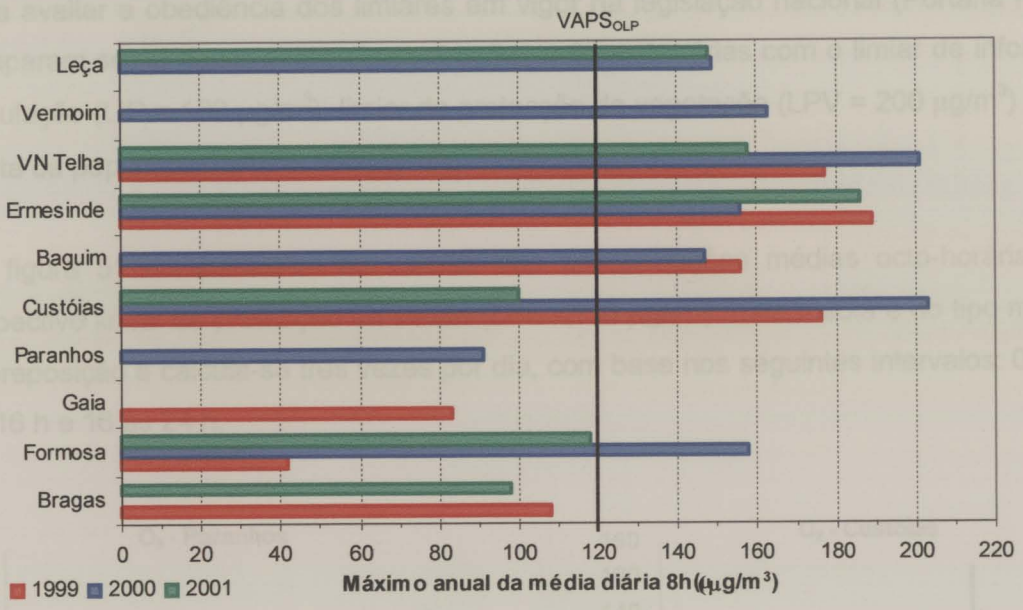


Figura 49. Máximo das concentrações médias diárias dos valores médios octo-horários de O_3 e valor-alvo para protecção da saúde humana a longo prazo.

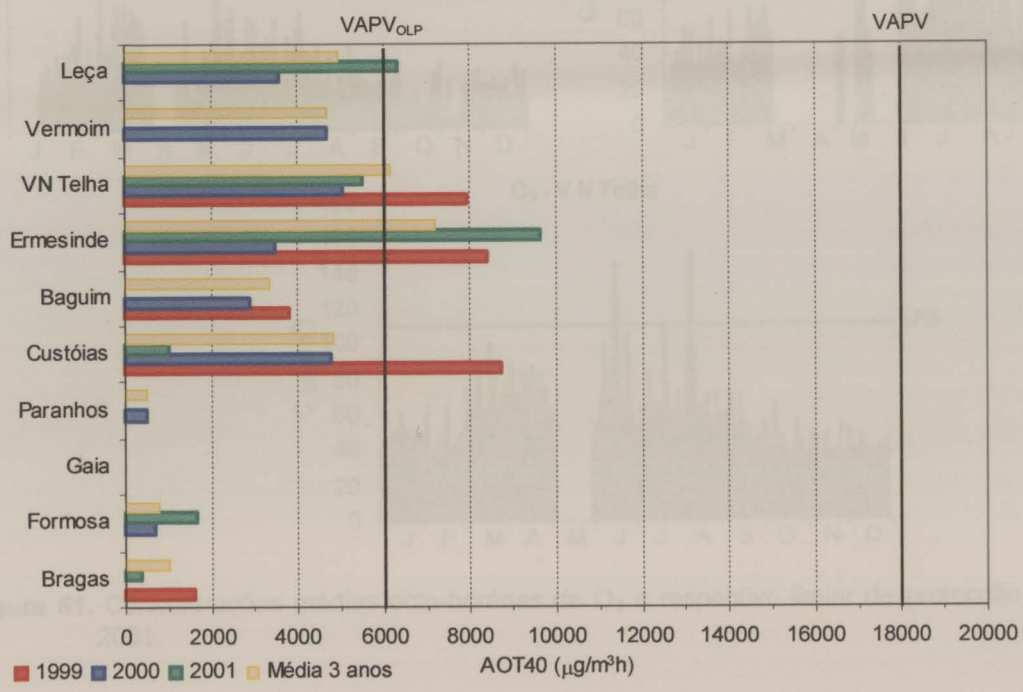


Figura 50. AOT40, média dos três anos do AOT40 para o O_3, valor-alvo para a protecção das plantas e valor-alvo para protecção da vegetação a longo prazo.

Verifica-se que o valor-alvo para protecção da vegetação nunca foi ultrapassado nas estações consideradas, sendo o valor AOT40 muito inferior ao legislado. A longo prazo o VAPV não é cumprido nas estações de Ermesinde e Vila Nova da Telha.

Para avaliar a obediência dos limiares em vigor na legislação nacional (Portaria nº 623/96), comparam-se na figura 47 as concentrações médias horárias com o limiar de informação da população (LIP = 180 μg/m^3), limiar de protecção da vegetação (LPV = 200 μg/m^3) e limiar de alerta da população (LAP = 360 μg/m^3).

Na figura 51 comparam-se os valores das concentrações médias octo-horárias com o respectivo limiar de protecção da saúde (LPS =110 μg/m^3). Esta média é do tipo móvel sem sobreposição e calcula-se três vezes por dia, com base nos seguintes intervalos: 0 às 8 h, 8 às 16 h e 16 às 24 h.

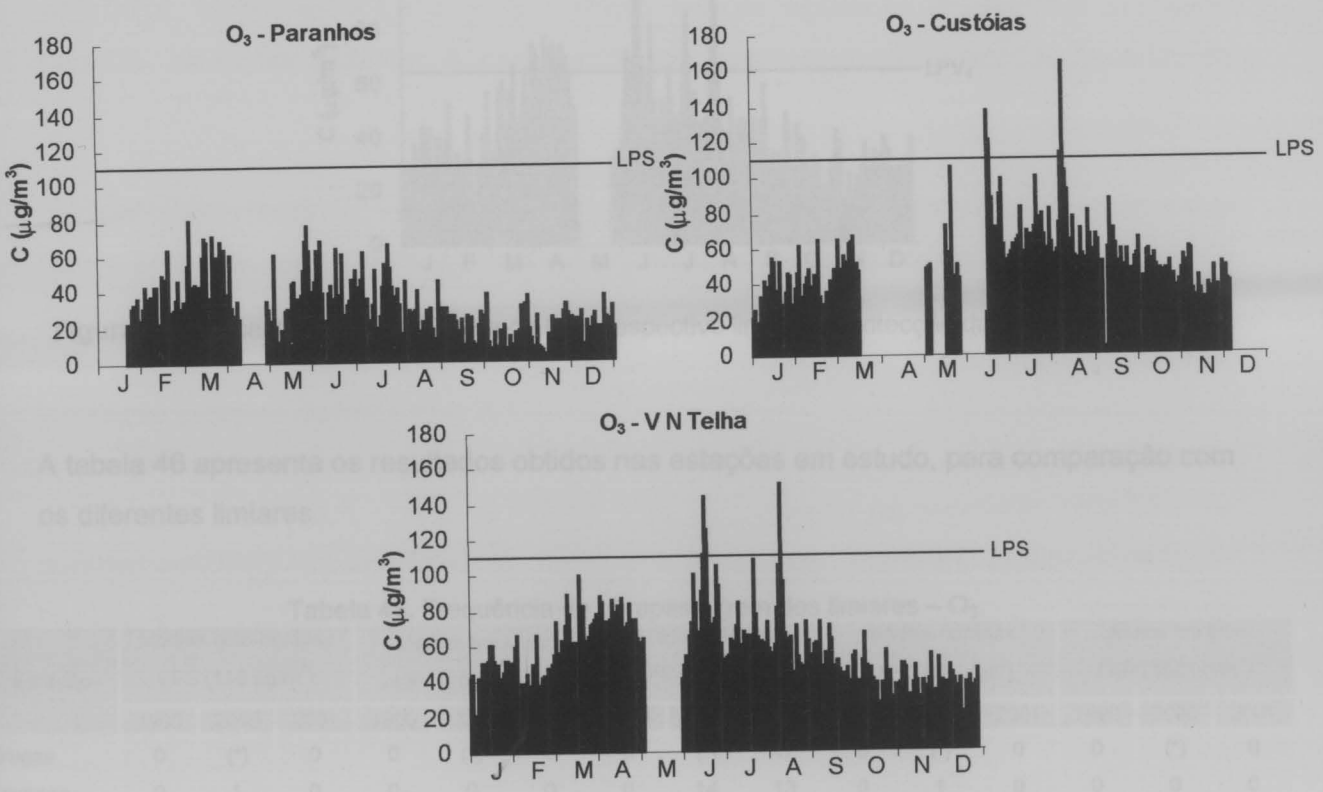


Figura 51. Concentrações médias octo-horárias de O_3 e respectivo limiar de protecção da saúde - 2001.

As concentrações médias diárias deste poluente durante o ano 2001 mostram-se na figura 52, bem como, o respectivo limiar de protecção da vegetação (LPV$_d$ = 65 μg/m^3).

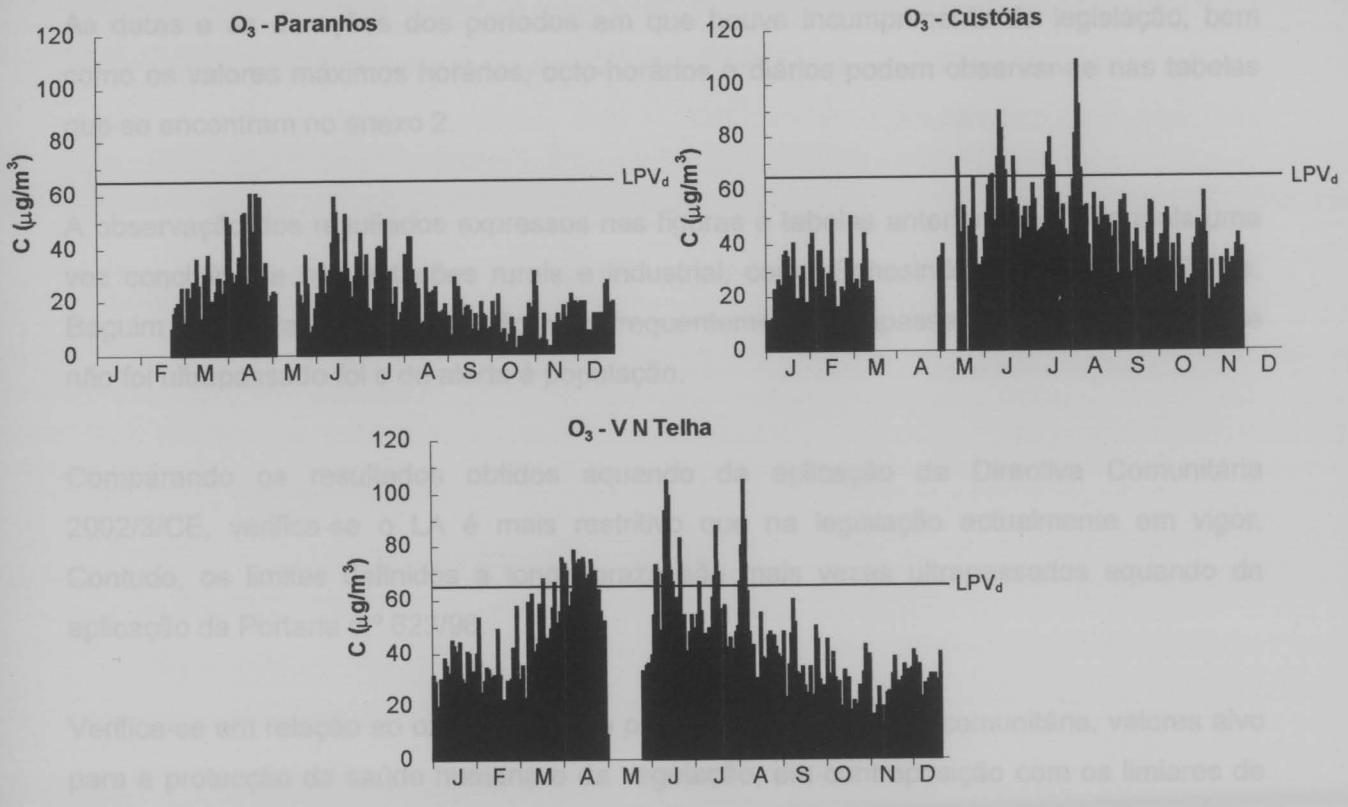


Figura 52. Concentração média diária de O_3 e respectivo limiar de protecção da vegetação – 2001.

A tabela 46 apresenta os resultados obtidos nas estações em estudo, para comparação com os diferentes limiares.

Tabela 46. Frequência de ultrapassagem dos limiares – O_3.

Estação	Médias octo-horárias LPS (110 µg/m³)			Médias horárias LPV (200 µg/m³)			Médias diárias LPV (65 µg/m³)			Médias horárias LIP (180 µg/m³)			Médias horárias LAP (360 µg/m³)		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Bragas	0	(*)	0	0	(*)	0	6	(*)	8	0	(*)	0	0	(*)	0
Formosa	0	1	0	0	0	0	0	14	13	0	1	0	0	0	0
Gaia	0	(*)	(*)	0	(*)	(*)	0	(*)	(*)	0	(*)	(*)	0	(*)	(*)
Paranhos	(*)	0	(*)	(*)	0	(*)	(*)	0	(*)	(*)	0	(*)	(*)	0	(*)
Custóias	12	6	0	2	5	0	48	20	20	6	6	1	0	0	0
Baguim	1	2	(*)	0	0	(*)	16	15	(*)	5	1	(*)	0	0	(*)
Ermesinde	5	2	9	7	0	3	17	12	47	15	2	11	0	0	0
V N Telha	4	9	7	1	4	0	43	39	27	8	6	2	0	0	0
Vermoim	(*)	5	(*)	(*)	2	(*)	(*)	19	(*)	(*)	3	(*)	(*)	0	(*)
Leça	(*)	2	0	(*)	0	0	(*)	8	32	(*)	1	0	(*)	0	0

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico

BIBLIOTECA F.E. PORTO

As datas e as durações dos períodos em que houve incumprimento da legislação, bem como os valores máximos horários, octo-horários e diários podem observar-se nas tabelas que se encontram no anexo 2.

A observação dos resultados expressos nas figuras e tabelas anteriores permite mais uma vez concluir que nas estações rurais e industrial, como Ermesinde, Vila Nova da Telha, Baguim e Custóias, os limiares são mais frequentemente ultrapassados. O único limiar que não foi ultrapassado foi o de alerta à população.

Comparando os resultados obtidos aquando da aplicação da Directiva Comunitária 2002/3/CE, verifica-se o LA é mais restritivo que na legislação actualmente em vigor. Contudo, os limites definidos a longo prazo são mais vezes ultrapassados aquando da aplicação da Portaria n.º 623/96.

Verifica-se em relação ao ozono, que são propostos na legislação comunitária, valores alvo para a protecção da saúde humana e da vegetação, em contraposição com os limiares de protecção da saúde e da vegetação em vigor na legislação Portuguesa. O limiar de informação é igual nas duas legislações, enquanto que o limiar de alerta é mais restritivo na legislação europeia (tabelas 11 e 20).

A legislação comunitária define os valores alvo de protecção da vegetação com base no parâmetro AOT40. Em relação a este parâmetro, poderá ser necessário ajustar os períodos considerados para o seu cálculo de acordo com a situação geográfica e climática de Portugal. Como é sabido o período em que O_3 atinge as concentrações mais elevadas é nos meses mais quentes correspondentes, no nosso país, ao fim da Primavera e Verão. Assim, seria de considerar para o cálculo do AOT40 também os meses de Agosto e Setembro, de forma a abranger todo o período em que em Portugal se verificam as maiores concentrações deste poluente. É também necessário ajustar o parâmetro AOT40 ao período solar de Portugal, de forma a ser representativo da amplitude térmica diária.

3.2.5 Monóxido de Carbono

A metodologia analítica utilizada para determinar as concentrações de CO (espectrometria de infravermelhos sem dispersão) é a metodologia referida na nova legislação portuguesa (DL 111/2002) e é também a aconselhada na legislação cessante (Portaria nº 286/93).

Na tabela 47, para os anos em análise, resumem-se os parâmetros estatísticos que caracterizam as estações, no que diz respeito ao CO: médias horária, octo-horária e diária máximas, e ainda, média aritmética, P50 e P98 calculados anualmente com base nos valores horários.

Na figura 53 comparam-se os valores máximos das concentrações médias octo-horárias com o respectivo valor limite para protecção da saúde humana (VLPS=10 mg/m^3). Verifica-se que não houve incumprimento dos valores limites quando aplicada a nova legislação.

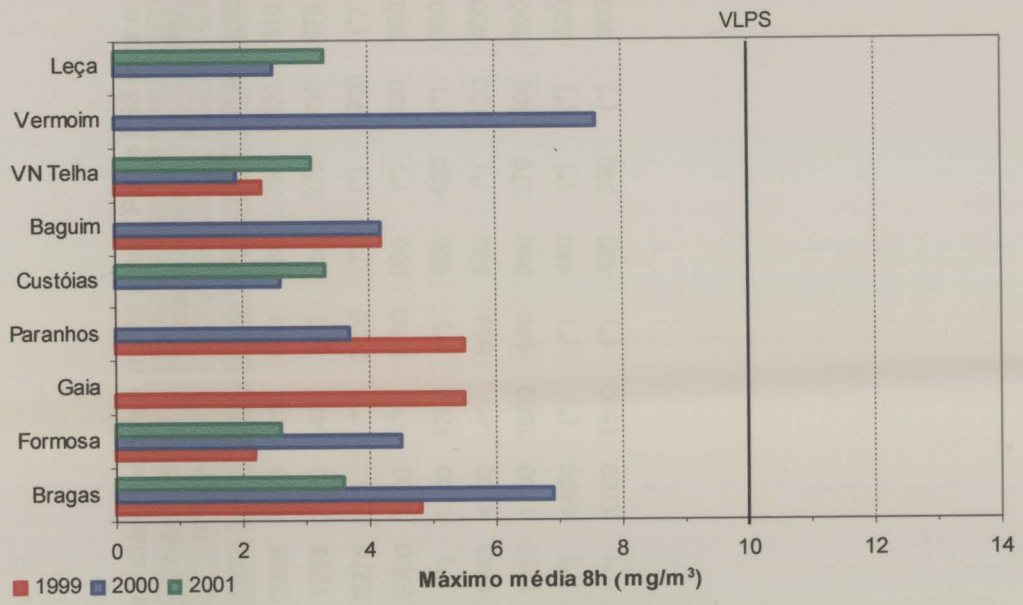


Figura 53. Máximo das médias octo-horárias de CO e respectivo valor limite.

Para avaliar a obediência dos valores limite da legislação cessante, comparam-se na figura 54 as concentrações médias horárias de CO e o respectivo valor limite (40 000 μg/m^3), e na figura 55 as concentrações médias de oito horas, calculadas a cada hora com base nos oito valores horários anteriores, com o respectivo valor limite (10 000 μg/m^3), para as estações da rua dos Bragas (estação urbana), Custóias (estação industrial) e Vila Nova da Telha (estação de fundo) no ano de 2001.

Tabela 47. Médias horária, octo-horária e diária máximas, média anual, P50 e P98 para o CO ($\mu g/m^3$).

Estação	Média horária máxima			Média 8h c/ sob. máxima			Média diária máxima			Média anual			P50			P98		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Bragas	8800	10500	6900	4837	6900	3600	2266	3300	2100	900	960	750	800	810	700	2413	2600	2100
Formosa	4400	5000	4000	2190	4500	2600	1288	2200	1400	370	560	370	230	470	280	1718	2000	1400
Gaia	8400	(*)	(*)	5513	(*)	(*)	3275	(*)	(*)	2100	(*)	(*)	1900	(*)	(*)	5400	(*)	(*)
Paranhos	10300	7400	(*)	5475	3700	(*)	2700	1900	(*)	1100	900	(*)	900	800	(*)	3300	2700	(*)
Custóias	(*)	3800	4200	(*)	2600	3300	(*)	1700	1700	(*)	460	400	(*)	300	270	(*)	1800	1700
Baguim	7400	5300	(*)	4200	4200	(*)	1943	4200	(*)	650	590	(*)	400	400	(*)	2600	2200	(*)
V N Telha	3900	3400	3300	2300	1900	3100	1250	1100	1600	400	380	370	300	300	300	1600	1300	1300
Vermoim	(*)	8300	(*)	(*)	7550	(*)	(*)	4400	(*)	(*)	480	(*)	(*)	300	(*)	(*)	2100	(*)
Leça	(*)	3600	4000	(*)	2500	3300	(*)	1700	1600	(*)	430	390	(*)	300	290	(*)	1800	1600

*Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico

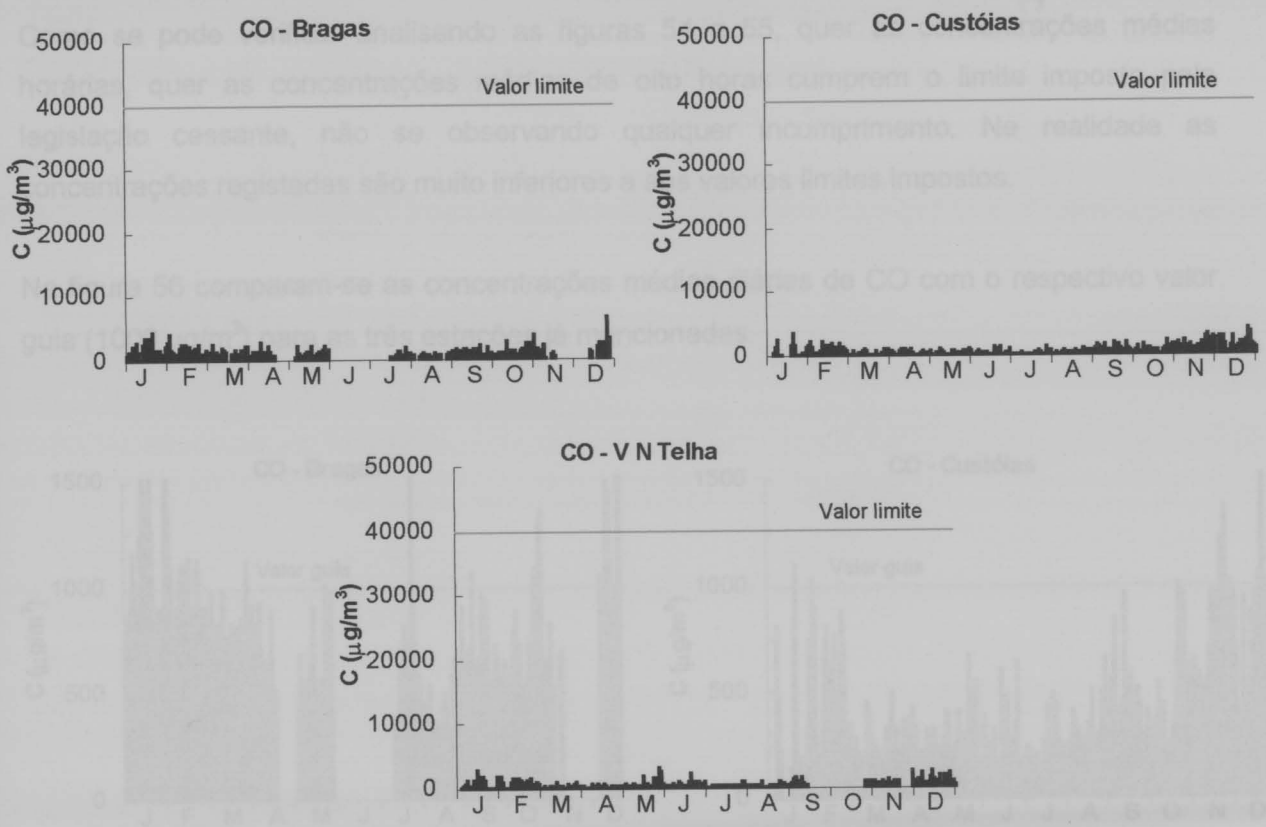


Figura 54. Média aritmética dos valores médios horários de CO e respectivo valor limite – 2001.

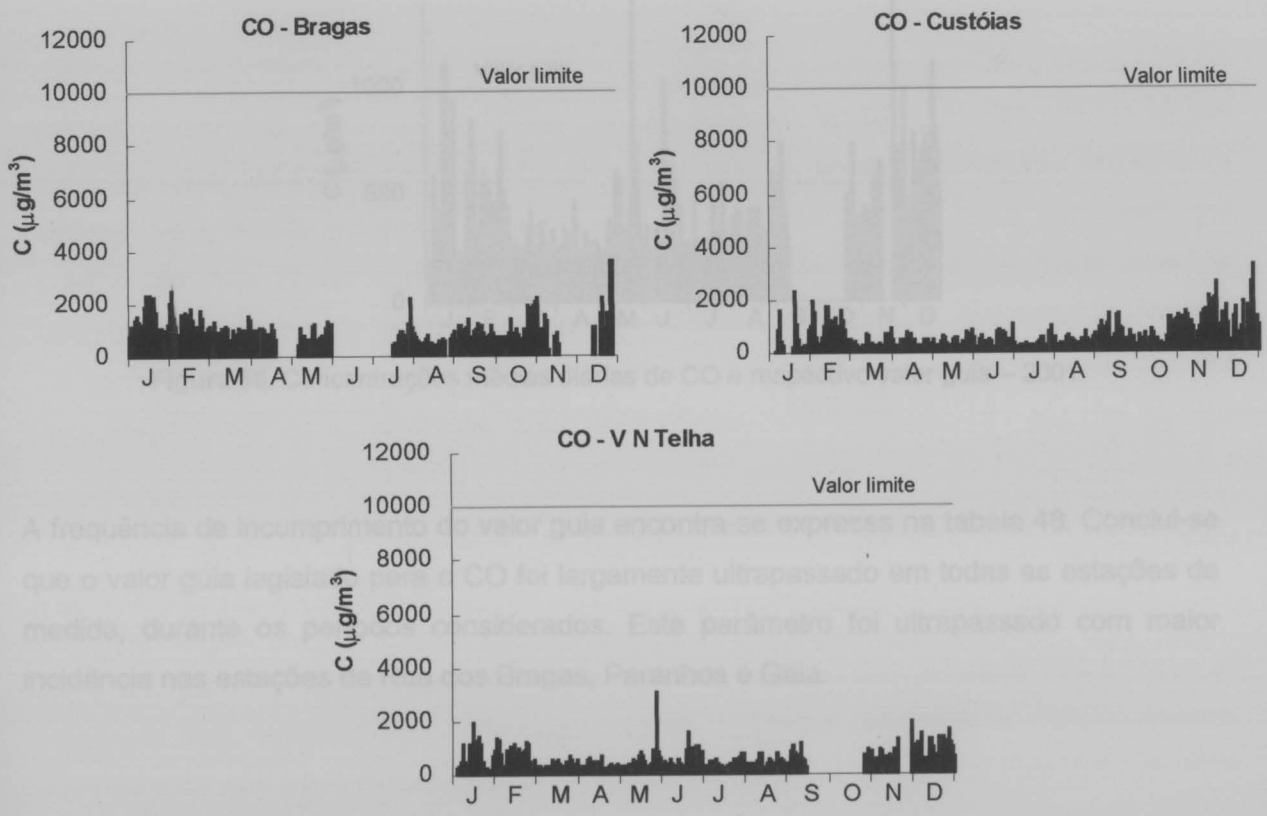


Figura 55. Concentração média de 8 horas de CO e respectivo valor limite – 2001.

Como se pode verificar analisando as figuras 54 e 55, quer as concentrações médias horárias, quer as concentrações médias de oito horas cumprem o limite imposto pela legislação cessante, não se observando qualquer incumprimento. Ne realidade as concentrações registadas são muito inferiores a aos valores limites impostos.

Na figura 56 comparam-se as concentrações médias diárias de CO com o respectivo valor guia (1000 $\mu g/m^3$) para as três estações já mencionadas.

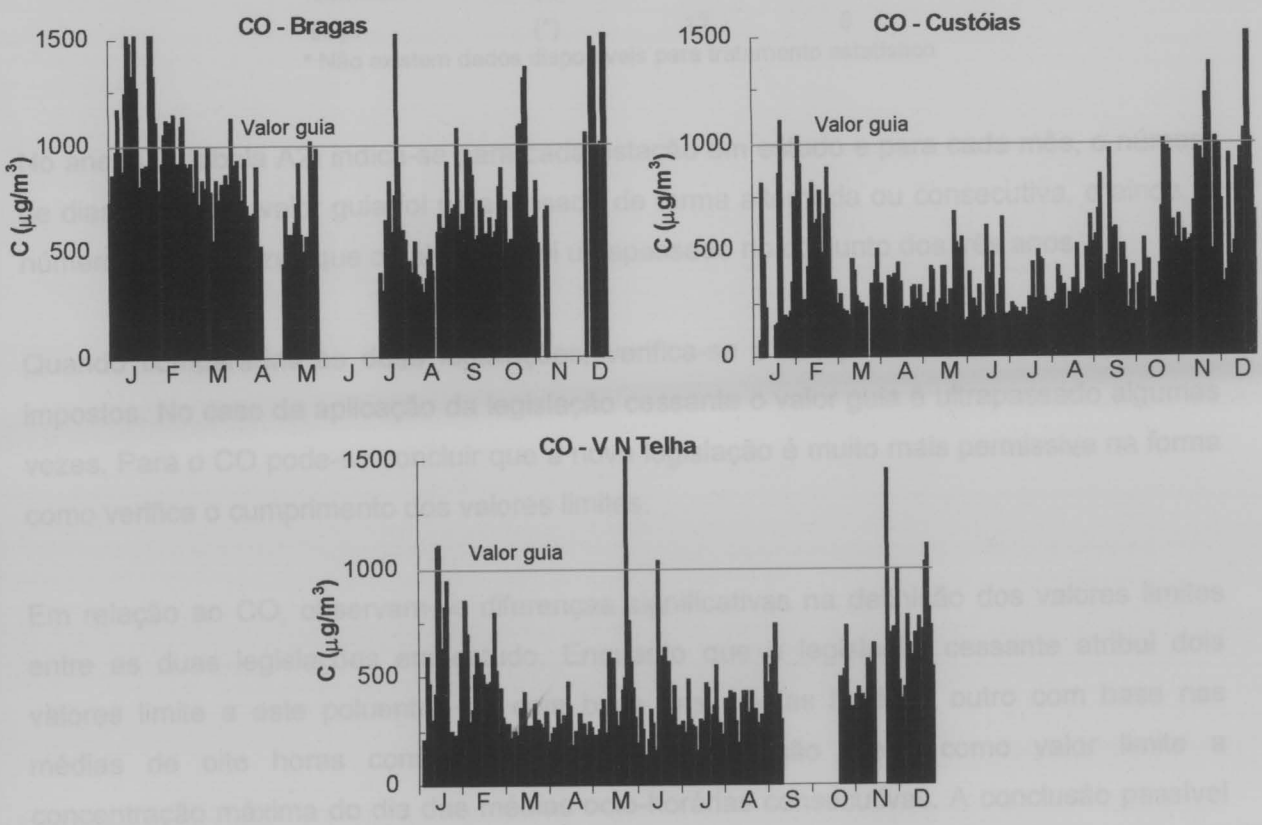


Figura 56. Concentrações médias diárias de CO e respectivo valor guia – 2001.

A frequência de incumprimento do valor guia encontra-se expressa na tabela 48. Conclui-se que o valor guia legislado para o CO foi largamente ultrapassado em todas as estações de medida, durante os períodos considerados. Este parâmetro foi ultrapassado com maior incidência nas estações da Rua dos Bragas, Paranhos e Gaia.

Tabela 48. Frequência de ultrapassagem do valor guia - CO.

Valor guia	Médias diárias (1 000 μg/m^3)		
	1999	2000	2001
Bragas	98	107	37
Formosa	5	22	4
Gaia	239	(*)	(*)
Paranhos	178	94	(*)
Custóias	9	13	12
Baguim	48	37	(*)
V N Telha	8	2	8
Vermoim	(*)	17	(*)
Leça	(*)	12	8

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico

No anexo 3 (tabela A2) indica-se para cada estação em estudo e para cada mês, o número de dias em que o valor guia foi ultrapassado de forma alternada ou consecutiva, e ainda, o número total de vezes que o valor guia foi ultrapassado no conjunto dos três anos.

Quando comparadas as duas legislações, verifica-se o cumprimento dos valores limites impostos. No caso da aplicação da legislação cessante o valor guia é ultrapassado algumas vezes. Para o CO pode-se concluir que a nova legislação é muito mais permissiva na forma como verifica o cumprimento dos valores limites.

Em relação ao CO, observam-se diferenças significativas na definição dos valores limites entre as duas legislações em estudo. Enquanto que a legislação cessante atribui dois valores limite a este poluente, um com base nas médias horárias outro com base nas médias de oito horas consecutivas, a nova legislação prevê como valor limite a concentração máxima do dia das médias octo-horárias consecutivas. A conclusão passível de ser retirada desta alteração, é que a nova legislação é mais permissiva no que diz respeito os CO do que a legislação cessante.

3.2.6 Limiares de Avaliação

Uma vez que este estudo recai sobre os anos 1999, 2000 e 2001, o estudo dos limiares de avaliação será realizado sobre as concentrações registadas nestes anos. Adicionalmente, considera-se que estes limiares são ultrapassados quando tal se verifica num dos três anos em estudo.

3.2.6.1 Partículas em suspensão – PM_{10}

Na figura 57 apresentam-se as concentrações médias diárias de PM_{10}, nas estações de Custóias (estação industrial), Vila Nova da Telha (estação de fundo) e Vermoim (estação de urbana / tráfego) durante o ano 2000, assim como, os limiares inferior (Linf = 20 $\mu g/m^3$) e superior (Lsup = 30 $\mu g/m^3$) de avaliação impostos pela legislação nacional em vigor.

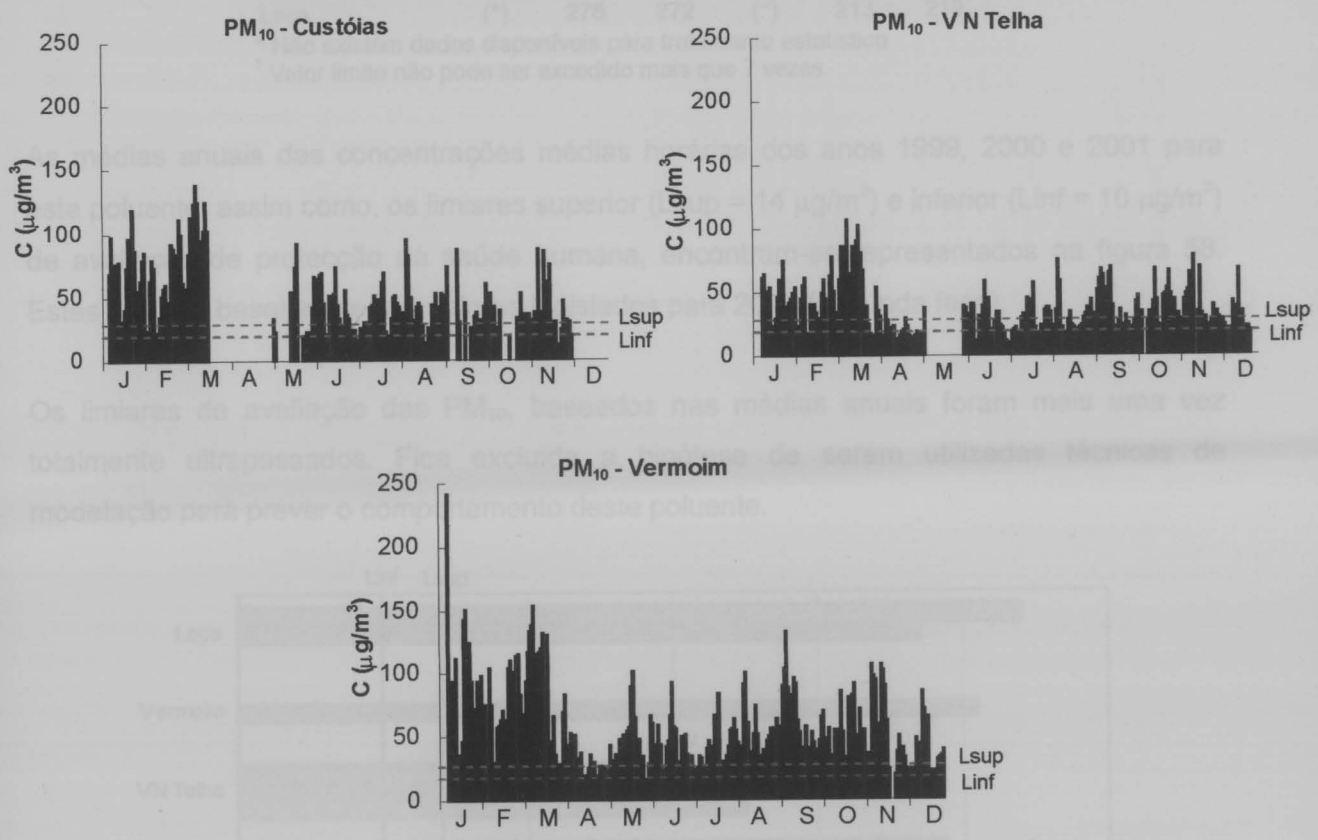


Figura 57. Concentrações médias diárias de PM_{10} e respectivos limiares superior e inferior de avaliação – 2000.

De acordo com a tabela 49, onde se representa a frequência de ultrapassagem dos limiares de avaliação de protecção da saúde humana, observa-se que estes foram ultrapassados em todas as estações nos três anos considerados.

Tabela 49. Frequência de ultrapassagem dos limiares de avaliação – PM_{10}.

Protecção da saúde (diários)	Inferior (20 μg/m³)[1]			Superior (30 μg/m³)[1]		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Paranhos	**350**	**273**	(*)	**288**	**211**	(*)
Custóias	**285**	**199**	**283**	**223**	**154**	**238**
Ermesinde	**281**	**247**	**302**	**208**	**177**	**239**
VN Telha	**251**	**243**	**293**	**159**	**154**	**224**
Vermoim	(*)	**319**	(*)	(*)	**253**	(*)
Leça	(*)	**275**	**272**	(*)	**213**	**219**

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico
[1] Valor limite não pode ser excedido mais que 7 vezes

As médias anuais das concentrações médias horárias dos anos 1999, 2000 e 2001 para este poluente, assim como, os limiares superior (Lsup = 14 μg/m³) e inferior (Linf = 10 μg/m³) de avaliação de protecção da saúde humana, encontram-se representados na figura 58. Estes limiares baseiam-se nos valores legislados para 2010 (segunda fase).

Os limiares de avaliação das PM_{10}, baseados nas médias anuais foram mais uma vez totalmente ultrapassados. Fica excluída a hipótese de serem utilizadas técnicas de modelação para prever o comportamento deste poluente.

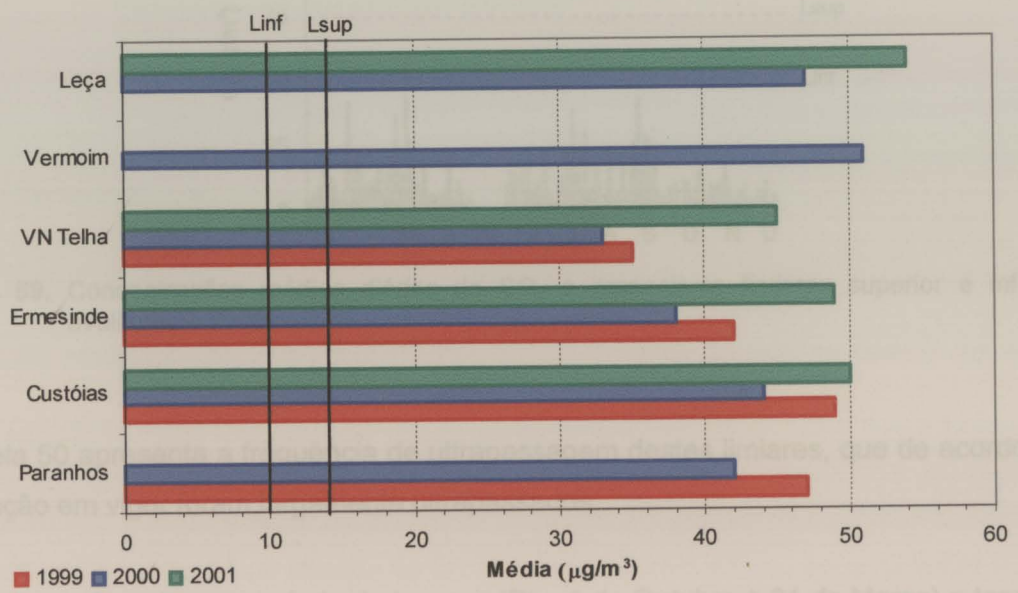


Figura 58. Média anual dos valores médios horários de PM_{10} e respectivos limiares superior e inferior de avaliação.

3.2.6.2 Dióxido de enxofre

A figura 59 representa as concentrações médias diárias de SO_2 e os limiares de avaliação de protecção da saúde, superior (Lsup = 75 μg/m^3) e inferior (Linf = 50 μg/m^3) nas estações de Paranhos (estação urbana), Custóias (estação industrial) e Vila Nova da Telha (estação de fundo).

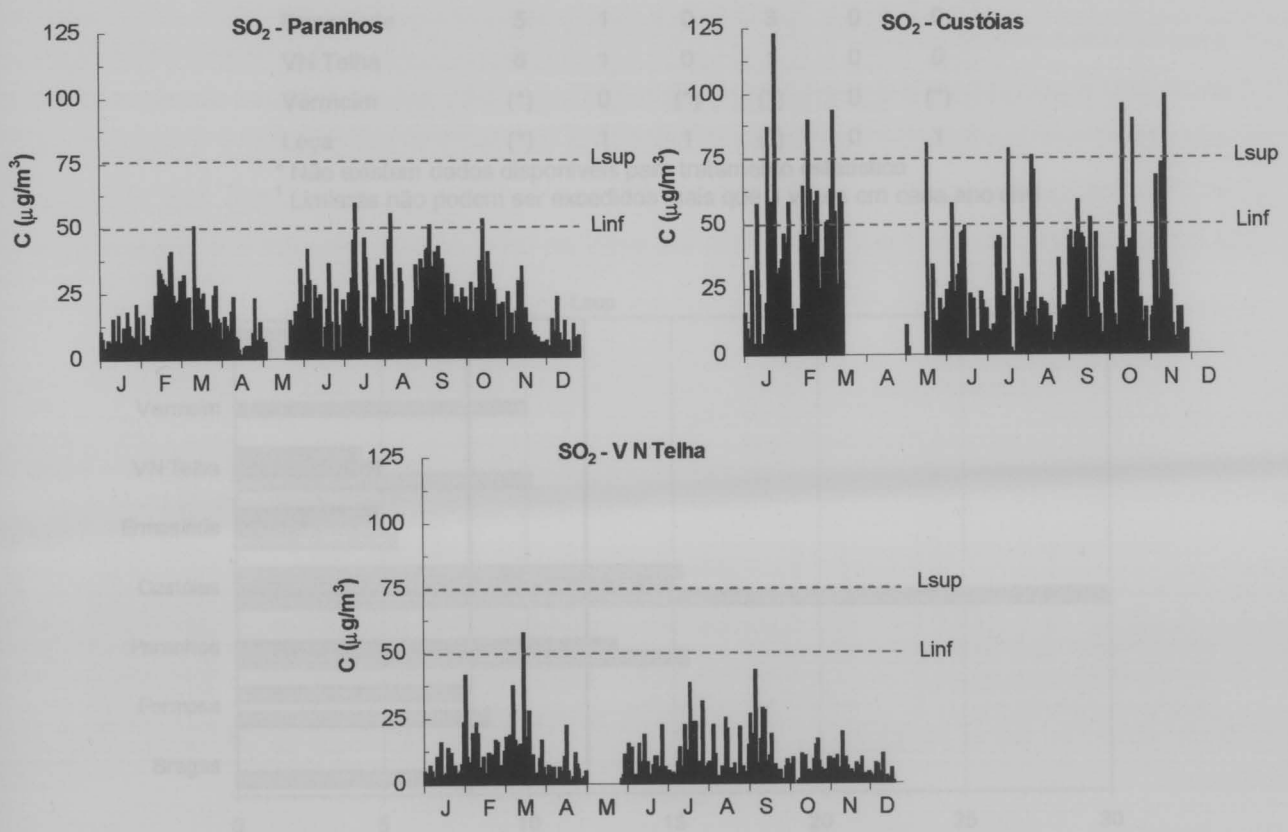


Figura 59. Concentrações médias diárias de SO_2 e respectivos limiares superior e inferior de avaliação – 2000.

A tabela 50 apresenta a frequência de ultrapassagem destes limiares, que de acordo com a legislação em vigor foram largamente ultrapassados.

As médias referentes ao período de Inverno (PI – 1 de Outubro a 31 de Março) e também os limiares superior (Lsup = 12 μg/m^3) e inferior (Linf = 8 μg/m^3) de avaliação para protecção dos ecossistemas encontram-se expressas na figura 60.

Tabela 50. Frequência de ultrapassagem dos limiares para protecção da saúde humana – SO_2.

Protecção da saúde (diários)	Inferior (50 µg/m³)[1]			Superior (75 µg/m³)[1]		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Bragas	**7**	(*)	(*)	2	(*)	(*)
Formosa	**5**	(*)	0	1	(*)	0
Gaia	**14**	(*)	(*)	2	(*)	(*)
Paranhos	**18**	**5**	(*)	2	0	(*)
Custóias	**49**	**32**	**8**	**25**	**10**	0
Ermesinde	**5**	1	0	3	0	0
VN Telha	**6**	1	0	1	0	0
Vermoim	(*)	0	(*)	(*)	0	(*)
Leça	(*)	1	1	(*)	0	1

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico
[1] Limiares não podem ser excedidos mais que 3 vezes em cada ano civil

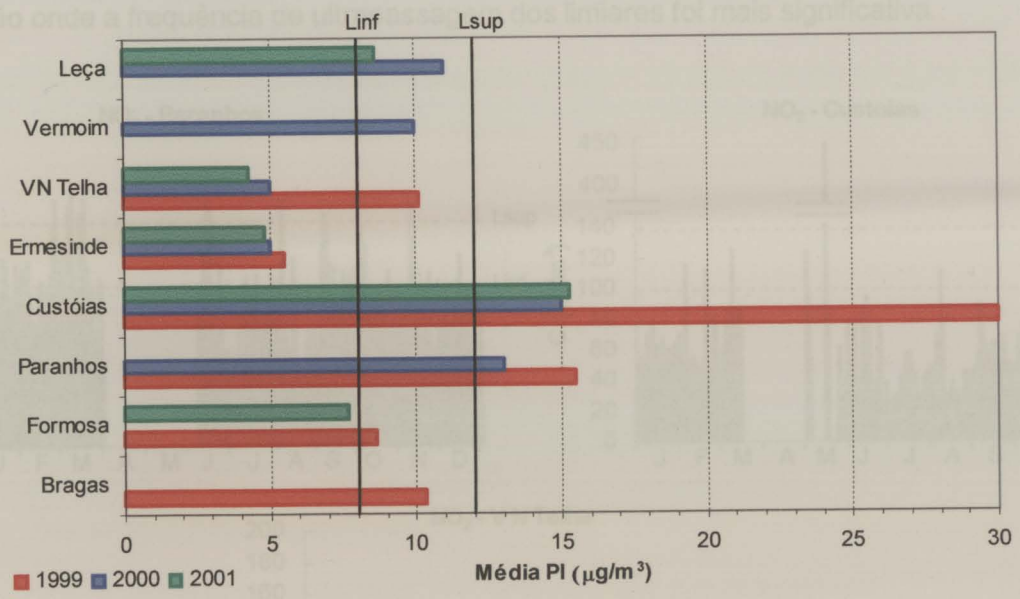


Figura 60. Médias anuais das concentrações médias horárias de SO_2 no período de Inverno e respectivos limiares superior e inferior de avaliação.

Verifica-se que o limiar inferior de avaliação de protecção dos ecossistemas não chega a ser ultrapassado na estação de medida de Ermesinde em qualquer dos anos. O limiar superior é ultrapassado nas estações de Paranhos em 1999 e 2000 e em Custóias nos três anos em estudo. Poder-se-á concluir que a estação de Ermesinde reúne as condições que permitem pensar na introdução de técnicas de modelização para este poluente.

3.2.6.3 Óxidos de azoto – NO e NO_2

A figura 61 apresenta, nas estações de Paranhos (estação urbana), Custóias (estação industrial) e Vila Nova da Telha (estação de fundo), as concentrações médias horárias assim como, os limiares inferior (Linf = 100 μg/m^3) e superior (Lsup = 140 μg/m^3) de avaliação para protecção da saúde humana para o NO_2 no ano 2000.

Os limiares inferior e superior de avaliação relativas às concentrações médias horárias para a protecção da saúde humana, não são ultrapassados nas estações de Baguim e Vila Nova da Telha em 1999 e 2000 e Custóias em 2000 (tabela 51). No entanto, em 2001, nas estações que obedeciam ao critério de qualidade dos dados, o limiar inferior foi sempre ultrapassado e o superior só não o foi no caso da estação da rua Formosa. Paranhos foi a estação onde a frequência de ultrapassagem dos limiares foi mais significativa.

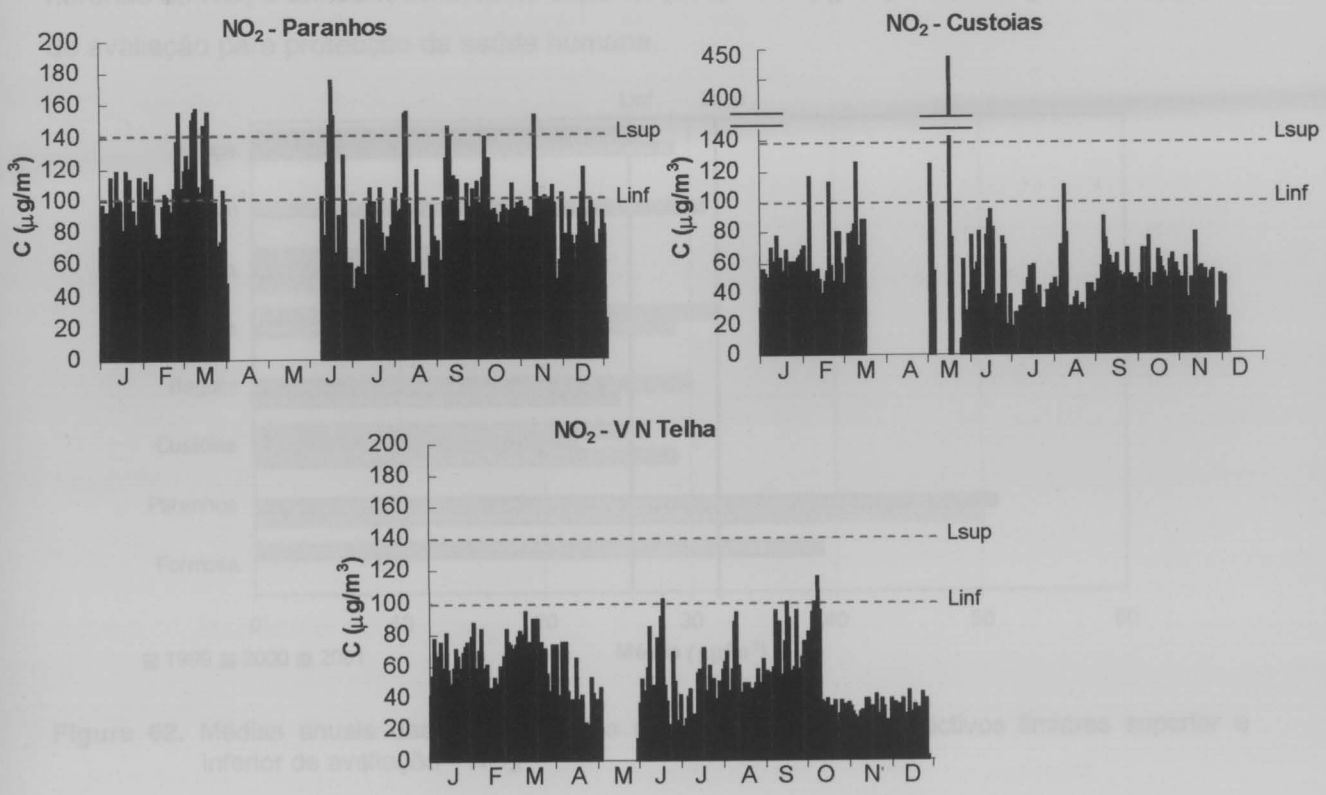


Figura 61. Concentrações médias horárias de NO_2 e respectivos limiares superior e inferior de avaliação para protecção da saúde humana - 2000.

Tabela 51. Frequência de ultrapassagem dos limiares para protecção da saúde humana – NO_2.

Protecção da saúde (horários)	Inferior (100 µg/m³)[1]			Superior (140 µg/m³)[1]		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Formosa	(*)	(*)	**74**	(*)	(*)	6
Paranhos	**302**	**271**	(*)	**50**	**34**	(*)
Custóias	**88**	13	**92**	8	3	**41**
Baguim	10	16	(*)	2	2	(*)
Ermesinde	(*)	**99**	**158**	(*)	**25**	**37**
VN Telha	8	9	**94**	0	0	**22**
Vermoim	(*)	**73**	(*)	(*)	7	(*)
Leça	(*)	**20**	**21**	(*)	0	0

* Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico
[1] Valor limite não pode ser excedido mais que 18 vezes

Na figura 62 encontram-se representadas as médias anuais das concentrações médias horárias de NO_2 e também os limiares superior (Lsup = 32 µg/m³) e inferior (Linf = 26 µg/m³) de avaliação para protecção da saúde humana.

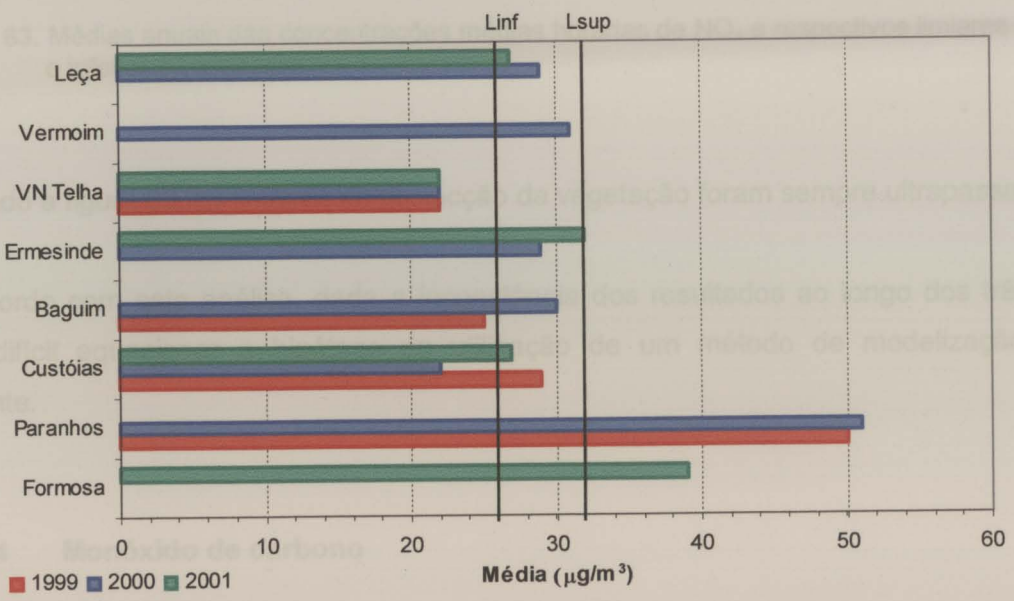


Figura 62. Médias anuais das concentrações médias horários e respectivos limiares superior e inferior de avaliação – NO_2.

Os limiares de avaliação não são ultrapassados na estação de Vila Nova da Telha nos três anos considerados. O limiar superior é ultrapassado nas estações da rua da Formosa (2001) e Paranhos (1999 e 2000), nas restantes estações as médias anuais das concentrações médias horárias encontram-se entre os dois limiares.

As médias anuais das concentrações médias horárias de NO_x e os limiares superior (Lsup = 24 $\mu g/m^3$) e inferior (Linf = 19,5 $\mu g/m^3$) de avaliação para protecção da vegetação são apresentadas na figura 63.

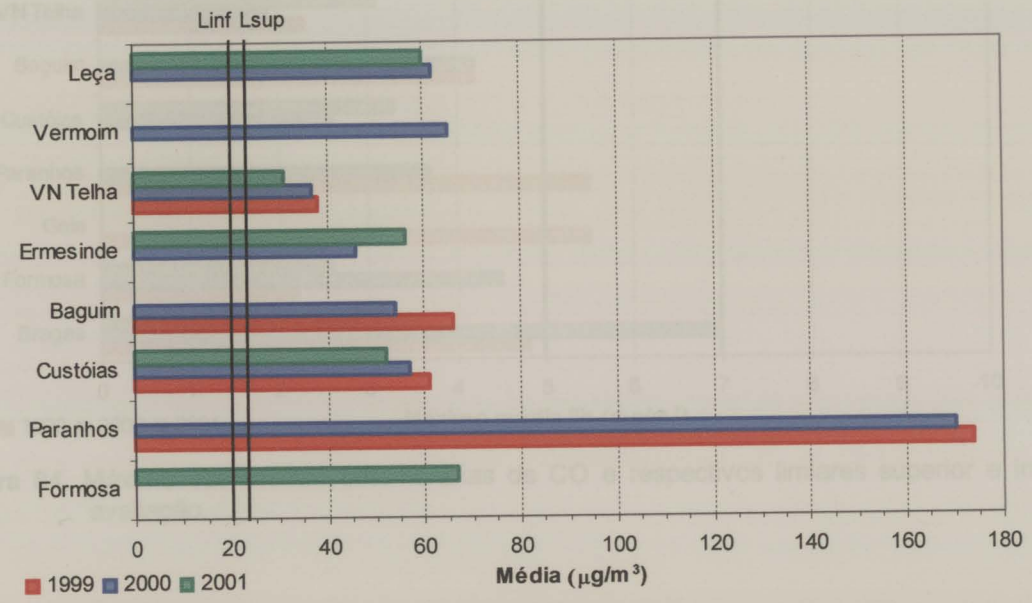


Figura 63. Médias anuais das concentrações médias horárias de NO_x e respectivos limiares superior e inferior de avaliação.

Segundo a figura 63, os limiares de protecção da vegetação foram sempre ultrapassados.

De acordo com esta análise, dada a inconstância dos resultados ao longo dos três anos, será difícil equacionar a hipótese da utilização de um método de modelização deste poluente.

3.2.6.4 Monóxido de carbono

Na Figura 64 comparam-se os valores máximos das concentrações médias octo-horárias com os limiares superior (Lsup = 7 mg/m^3) e inferior (Linf = 5 mg/m^3) de avaliação.

Verifica-se que estes foram ultrapassados em quatro das estações em estudo apenas durante um dos anos considerados. Em estações como Vila Nova da Telha, Baguim, Leça, Custóias e Formosa, não foi sequer atingido o limiar inferior. Coloca-se então a hipótese de utilizar técnicas de modelização, de forma a determinar o comportamento deste poluente em algumas das estações.

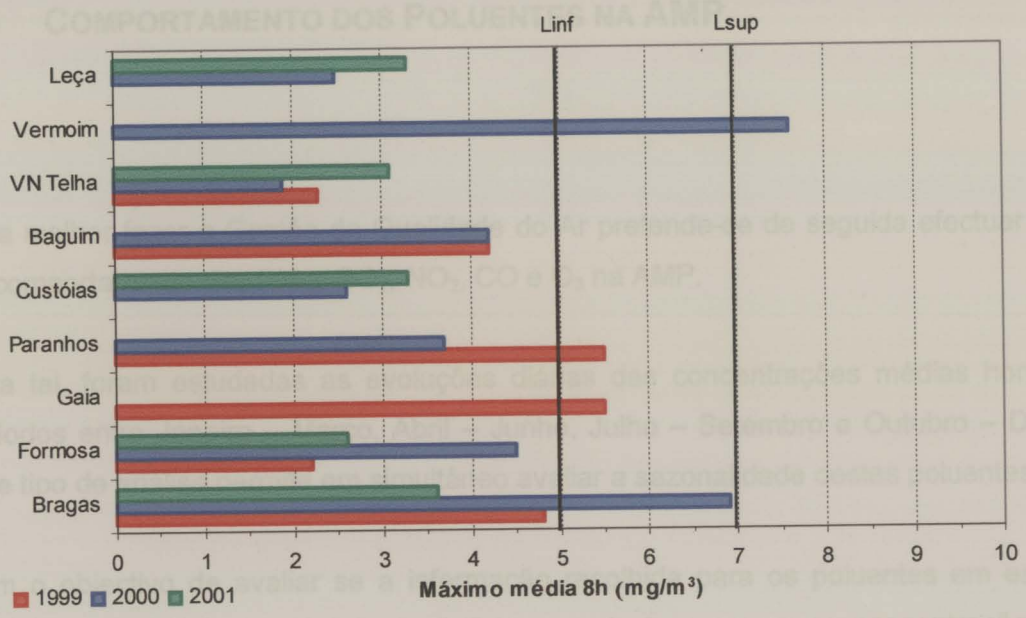


Figura 64. Máximo das médias octo-horárias de CO e respectivos limiares superior e inferior de avaliação.

3.3 COMPORTAMENTO DOS POLUENTES NA AMP

Para melhor fazer a Gestão da Qualidade do Ar pretende-se de seguida efectuar o estudo do comportamento das PM_{10}, SO_2, NO_2, CO e O_3 na AMP.

Para tal, foram estudadas as evoluções diárias das concentrações médias horárias nos períodos entre Janeiro – Março, Abril – Junho, Julho – Setembro e Outubro – Dezembro. Este tipo de análise permite em simultâneo avaliar a sazonalidade destes poluentes.

Com o objectivo de avaliar se a informação recolhida para os poluentes em estudo nas diferentes estações da RMQAr é distinta, correlacionaram-se as concentrações médias diárias de cada um deles.

3.3.1 Partículas em suspensão – PM_{10}

A Figura 65 representa a evolução das concentrações médias diárias no período de Abril a Junho de 1999 nas estações de Paranhos (estação urbana), Custóias (estação industrial) e Vila Nova da Telha (estação rural). O perfil apresentado para os outros períodos apresentavam-se idênticos, concluindo-se que as concentrações medidas de PM_{10} não dependem da estação do ano. Ou seja, as concentrações deste poluente não apresentam uma variação sazonal definida.

Como se pode observar, os perfis referentes às estações urbana (Paranhos) e industrial (Custóias) apresentam dois picos distintos entre as 7 e 11 h e as 18 e 22 h. Este aspecto é ainda mais evidente na estação urbana, onde o padrão observado da evolução diária das concentrações de PM_{10} se relaciona perfeitamente com o comportamento do tráfego automóvel na zona.

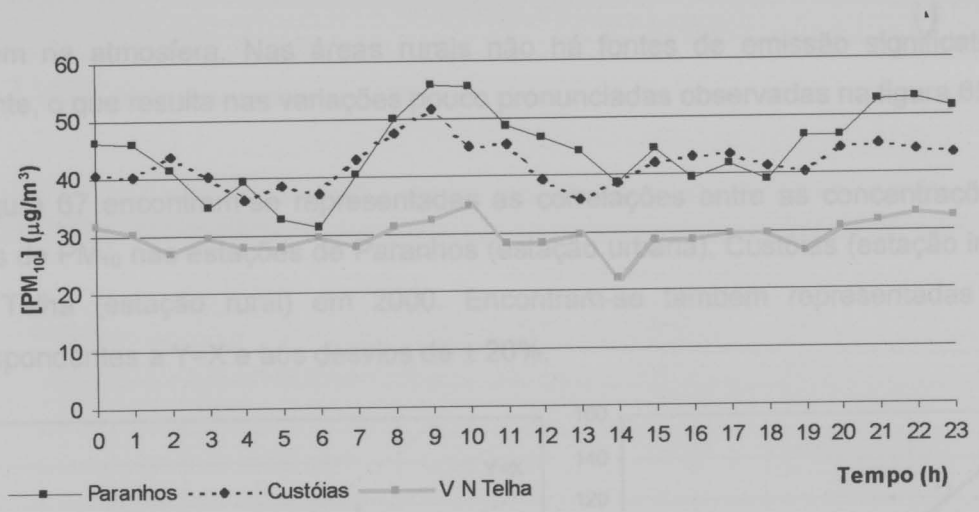


Figura 65. Perfil médio diário das concentrações médias horárias de PM_{10}, no período de Abril – Junho de 1999 nas estações de Paranhos, Custóias e V N Telha.

A figura 66 compara as evoluções diárias das concentrações médias horárias de PM_{10} na estação urbana (Paranhos) com as de outros poluentes relacionados com a presença de tráfego, NO_2 e CO.

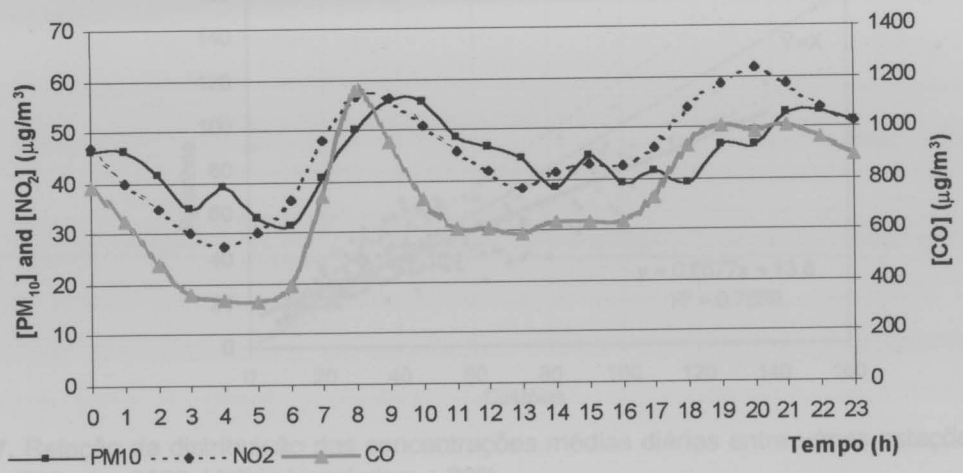


Figura 66. Perfil diário das concentrações médias horárias de PM_{10}, NO_2 e CO, no período de Abril – Junho de 1999 na estação de Paranhos.

Verifica-se a existência de um comportamento semelhante entre os diferentes poluentes, confirmando a grande influência que o tráfego automóvel tem ao nível da qualidade do ar. No entanto, deve ser ainda referido que o valor máximo para as PM_{10} ocorre com um ligeiro desfasamento (atraso de aproximadamente uma hora) em relação ao máximo relativo do NO_2 e CO, sugerindo que as PM_{10} existentes são resultado de reacções secundárias que

ocorrem na atmosfera. Nas áreas rurais não há fontes de emissão significativas deste poluente, o que resulta nas variações pouco pronunciadas observadas na figura 65.

Na figura 67 encontram-se representadas as correlações entre as concentrações médias diárias de PM_{10} nas estações de Paranhos (estação urbana), Custóias (estação industrial) e V N Telha (estação rural) em 2000. Encontram-se também representadas as linhas correspondentes a Y=X e aos desvios de ± 20%.

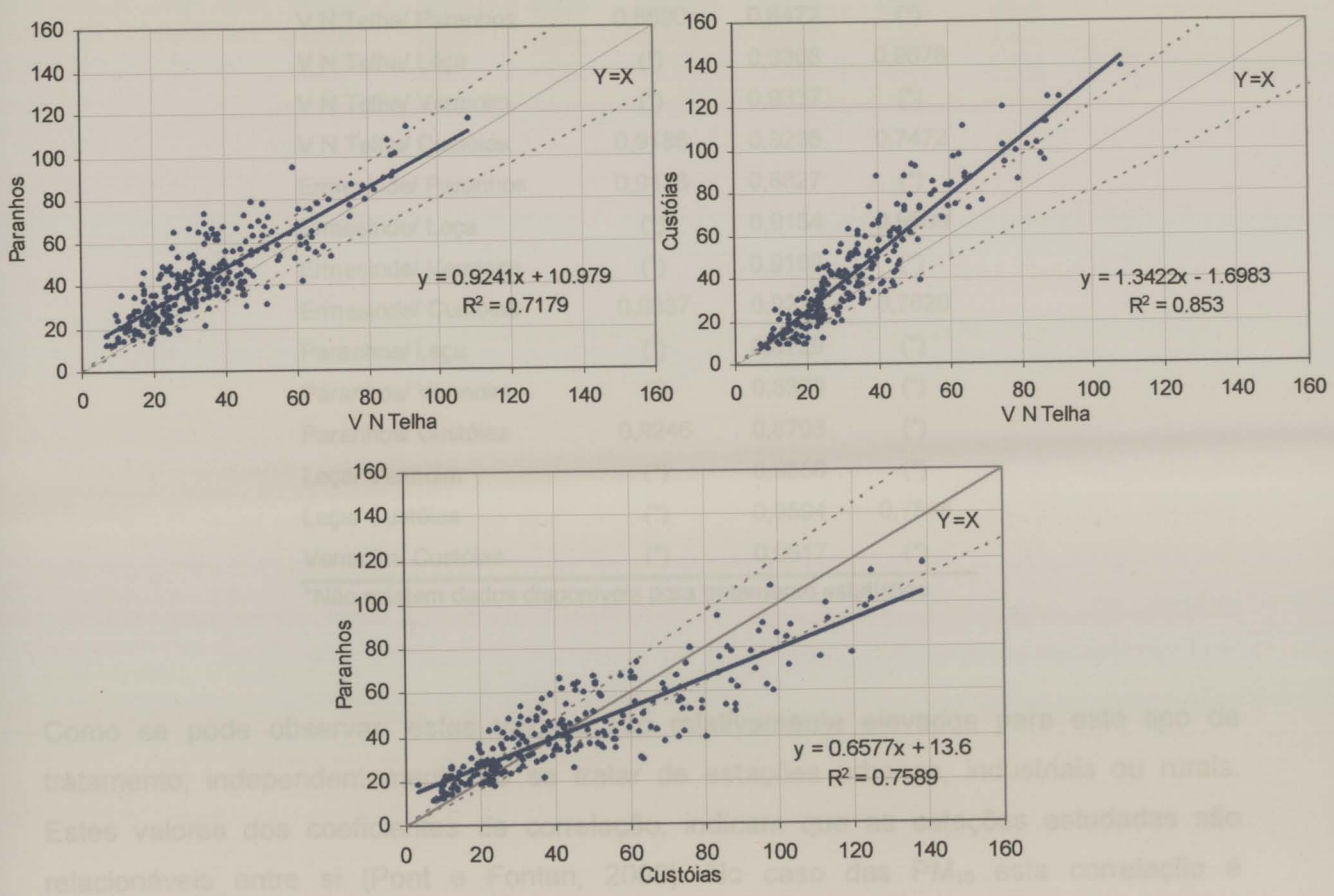


Figura 67. Relação da distribuição das concentrações médias diárias entre várias estações para as PM_{10} em 2000. Linhas tracejadas: ± 20%.

Pode-se observar na figura 67 que as estações de Paranhos e Custóias apresentam as concentrações médias diárias mais elevadas do que a estação de Vila Nova da Telha. Por outro lado, a relação entre as concentrações de Paranhos e Custóias depende da gama de valores em causa. Assim, para valores de concentrações médias diárias mais baixos, é clara a tendência de se observarem valores mais elevados na estação urbana (pontos situam-se essencialmente na parte superior da regressão). Para valores mais elevados, a tendência é a obtenção de valores mais altos na estação industrial.

A tabela 52 apresenta estação a estação os coeficientes de correlação determinados com base nas concentrações diárias de PM_{10}.

Tabela 52. Coeficientes de correlação obtidos nas diferentes estações para as PM_{10} nos anos de 1999, 2000 e 2001.

Correlações estação a estação	Coeficientes de correlação		
	1999	**2000**	**2001**
V N Telha/ Ermesinde	0,9297	0,9131	0,9349
V N Telha/ Paranhos	0,8690	0,8472	(*)
V N Telha/ Leça	(*)	0,9308	0,9678
V N Telha/ Vermoim	(*)	0,9337	(*)
V N Telha/ Custóias	0,9186	0,8236	0,7472
Ermesinde/ Paranhos	0,9136	0,8827	(*)
Ermesinde/ Leça	(*)	0,9154	0,9509
Ermesinde/ Vermoim	(*)	0,9169	(*)
Ermesinde/ Custóias	0,9357	0,9278	0,7620
Paranhos/ Leça	(*)	0,8729	(*)
Paranhos/ Vermoim	(*)	0,8308	(*)
Paranhos/ Custóias	0,9246	0,8703	(*)
Leça/ Vermoim	(*)	0,9556	(*)
Leça/ Custóias	(*)	0,9594	0,7844
Vermoim/ Custóias	(*)	0,9517	(*)

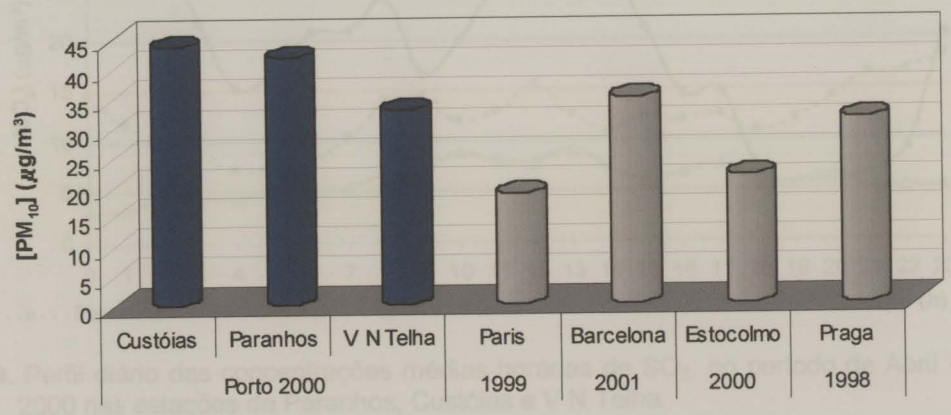
*Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico

Como se pode observar, estes valores são relativamente elevados para este tipo de tratamento, independentemente de se tratar de estações urbanas, industriais ou rurais. Estes valores dos coeficientes de correlação, indicam que as estações estudadas são relacionáveis entre si (Pont e Fontan, 2000). No caso das PM_{10} esta correlação é independente do tipo de estação e da distância que as separam. Contudo, estas correlações não são suficientemente seguras para avaliar ultrapassagens dos valores limite.

Para melhor avaliar a informação dada por cada estação, aplicou-se o teste estatístico ANOVA com um intervalo de confiança de 95%, concluindo-se que os dados recolhidos fornecem informações distintas para a RMQAr. Ou seja, a medição de PM_{10} deve ser mantida em todas as estações da rede.

Na figura 68 são comparadas as concentrações médias anuais de três tipos de estações da AMP com concentrações médias registadas em algumas cidades Europeias. Esta

comparação permite concluir que na AMP os valores registados para as PM_{10} são muito superiores.



(Ajuntamento de Barcelona, 2003; Mairie de Paris, 2002; Branis e Domasová, 2003; Johansson e Johansson, 2003)

Figura 68. Comparação das concentrações médias anuais de PM_{10} em várias cidades Europeias.

Dada a proximidade do mar em áreas como a AMP e Barcelona, pode ser admitido que os valores elevados registados nestas duas zonas, sejam influenciados pela inclusão de sais marinhos nas medições de PM_{10} (Leeuw et al., 2001; Lazaridis et al., 2002). Desta forma, estudos futuros deverão incluir a caracterização química e morfológica da matéria particulada, nomeadamente no que diz respeito à quantificação da percentagem de sais marinhos e espécies tóxicas nas PM_{10} e $PM_{2,5}$, com vista a avaliar os impactos destas fracções na saúde humana, vegetação e ecossistemas.

3.3.2 Dióxido de enxofre

A Figura 69 representa a evolução das concentrações médias diárias no período de Abril a Junho de 2000 nas estações de Paranhos (estação urbana), Custóias (estação industrial) e Vila Nova da Telha (estação rural) para o SO_2.

De acordo com a análise das evoluções diárias das concentrações médias horárias para os outros períodos, concluiu-se que o perfil apresentado do SO_2, não apresenta uma variação sazonal definida.

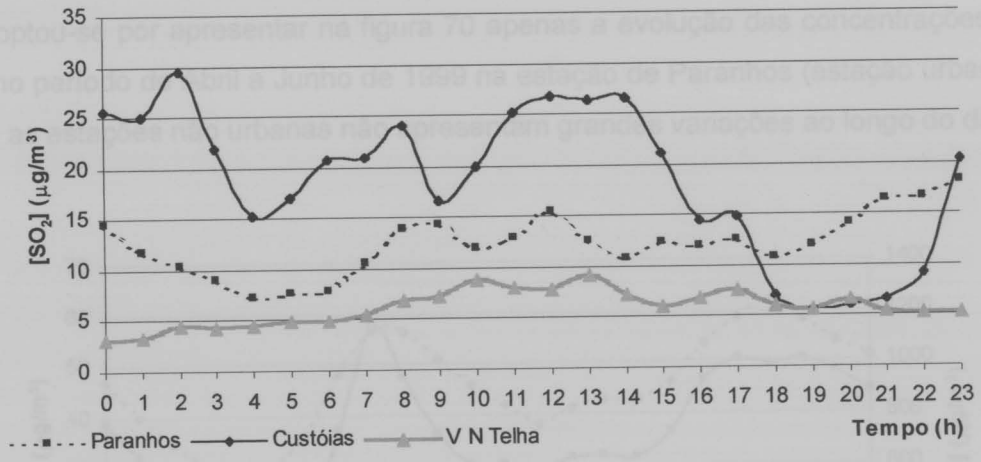


Figura 69. Perfil diário das concentrações médias horárias de SO_2, no período de Abril – Junho de 2000 nas estações de Paranhos, Custóias e V N Telha.

Como seria de esperar, as concentrações de SO_2 são mais elevadas na estação industrial (Custóias) do que nas restantes, resultado da actividade industrial presente na zona. No entanto, na estação urbana verifica-se um ligeiro aumento da concentração de SO_2 a partir do início da manhã em consequência da actividade humana e devido à acumulação do poluente durante o decorrer do dia. A partir de cerca das 19 horas os valores registados na estação de Paranhos ultrapassam os verificados em Custóias. A estação de Vila Nova da Telha, além de registar as concentrações mais baixas de SO_2, apresenta variações pouco pronunciadas ao longo do dia.

A entrada em vigor do programa *Auto-oil* (tabela 5) em 2000, resultou numa diminuição das concentrações médias anuais de SO_2 em todas as estações da RMQAr (figura 37).

A correlação das concentrações médias diárias de SO_2, revela que os dados não são correlacionáveis entre si, pois apresentam coeficientes de correlação muito baixos (0,304 – 0,429).

3.3.3 Dióxido de azoto e monóxido de carbono

De acordo com a análise das evoluções diárias das concentrações médias horárias, concluiu-se que os perfis apresentados de qualquer um dos poluentes, não dependem da estação ou período do ano pois não foi registada qualquer tipo de sazonalidade.

O NO_2 e CO são dois poluentes relacionados essencialmente com o tráfego automóvel. Assim, optou-se por apresentar na figura 70 apenas a evolução das concentrações médias diárias no período de Abril a Junho de 1999 na estação de Paranhos (estação urbana), uma vez que as estações não urbanas não apresentam grandes variações ao longo do dia.

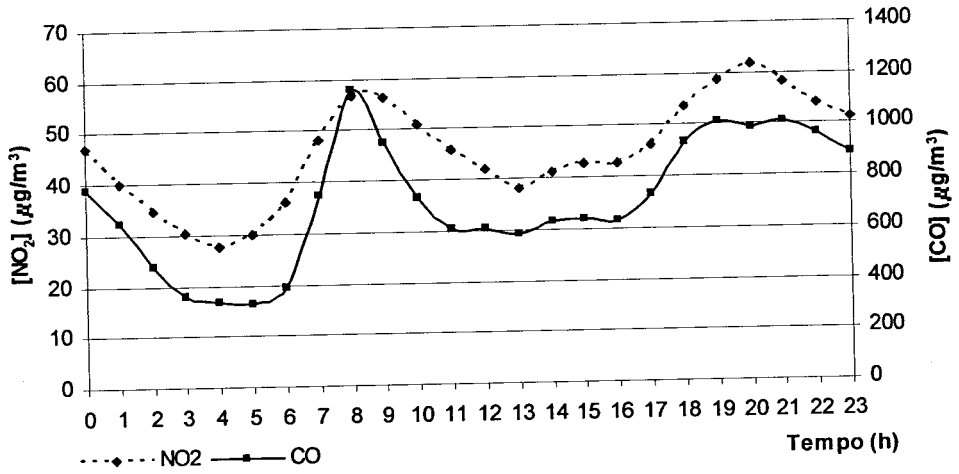


Figura 70. Perfil diário das concentrações médias horárias de NO_2 e CO no período de Abril – Junho de 2000 na estação de Paranhos.

Como seria de esperar, o ciclo diário de NO_2 e CO na AMP segue claramente um padrão regular que acompanha as horas de maior intensidade do tráfego automóvel com a existência de dois picos, um entre as 8 e 10 h e das 19 às 21 h.

Tal como para o SO_2, a correlação das concentrações médias diárias destes dois poluentes, revela que os dados não são correlacionáveis entre si, pois também apresentam coeficientes de correlação obtidos muito baixos (0,2493 – 0,6962).

3.3.4 Ozono

A figura 71 representa a variação diária das concentrações médias horárias nas estações de Custóias (estação industrial), Paranhos (estação urbana) e Vila Nova da Telha (estação rural) em dois períodos distintos: Janeiro a Março e Julho a Setembro de 2000. Estes períodos foram seleccionados, por representarem o comportamento típico deste poluente nos períodos de Inverno e Verão.

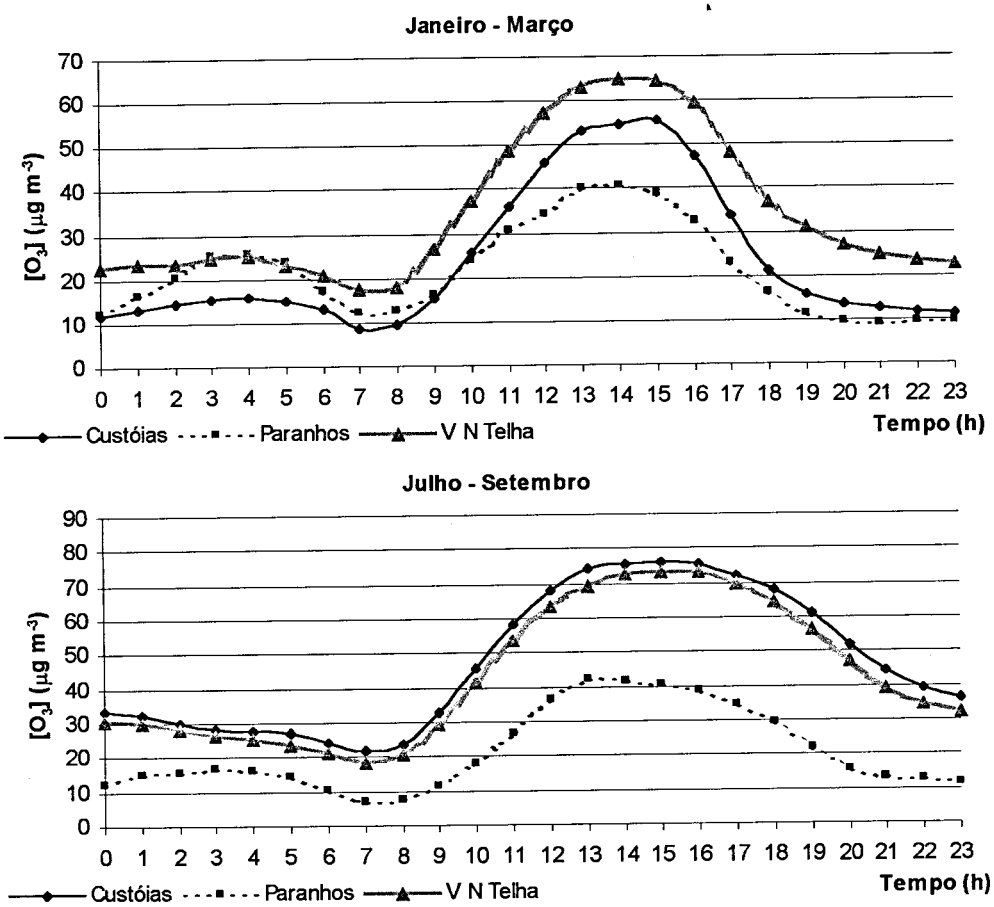


Figura 71. Perfil médio diário das concentrações médias horárias de O_3, no período de Abril – Junho de 1999 nas estações de Paranhos, Custóias e V N Telha.

O ciclo diário do O_3 apresenta um mínimo nas primeiras horas da manhã, entre as 6 e 7 h, e um máximo durante o fim da tarde cerca das 20 h. Esta variação resulta da produção fotoquímica diária do O_3, do transporte de ar rico em O_3 das camadas superiores, da deposição húmida e da reacção com o NO_2 durante a noite (Seinfield, 1998).

A análise da figura revela também que as concentrações de O_3 durante o dia são muito superiores nas estações de Custóias e Vila Nova da Telha do que as verificadas em Paranhos. Este facto justifica-se pela presença, na estação urbana, de concentrações mais elevadas de precursores de O_3 (NO e NO_2) emitidos pelo tráfego automóvel (cap. 1.3.3.4), pois uma vez formado, o O_3 reage com o NO e regenera NO_2. De facto, como se pode verificar na figura 72, existe uma relação inversa entre as concentrações de O_3 e NO_2 nas diferentes estações.

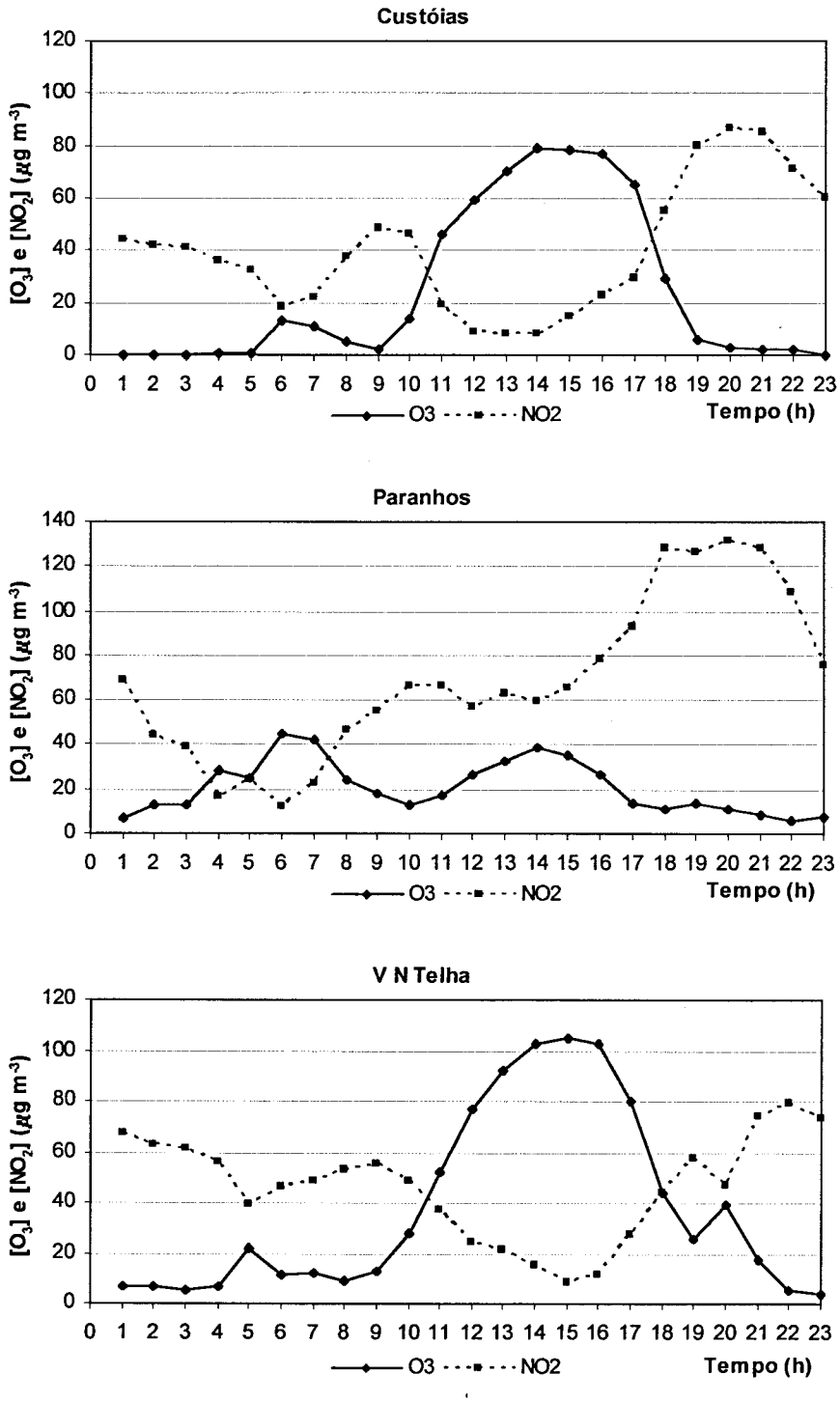


Figura 72. Perfil diário das concentrações médias horárias de O_3 e NO_2 nas estações de Custóias, Paranhos e V N Telha (8 Março 2000).

Pode ser observado que quando as concentrações de NO_2 diminuem, as de O_3 aumentam, e o mesmo ocorre em ordem inversa. Nas estações industrial e rural, são atingidos mínimos muito pronunciados nas concentrações de O_3 durante a noite.

Na figura 73 encontram-se representadas as correlações entre as concentrações médias diárias de O_3 nas estações de Paranhos (estação urbana), Custóias (estação industrial) e Vila Nova da Telha (estação rural) em 2000. Encontram-se também representadas as linhas correspondentes a Y=X e aos desvios de ± 20%.

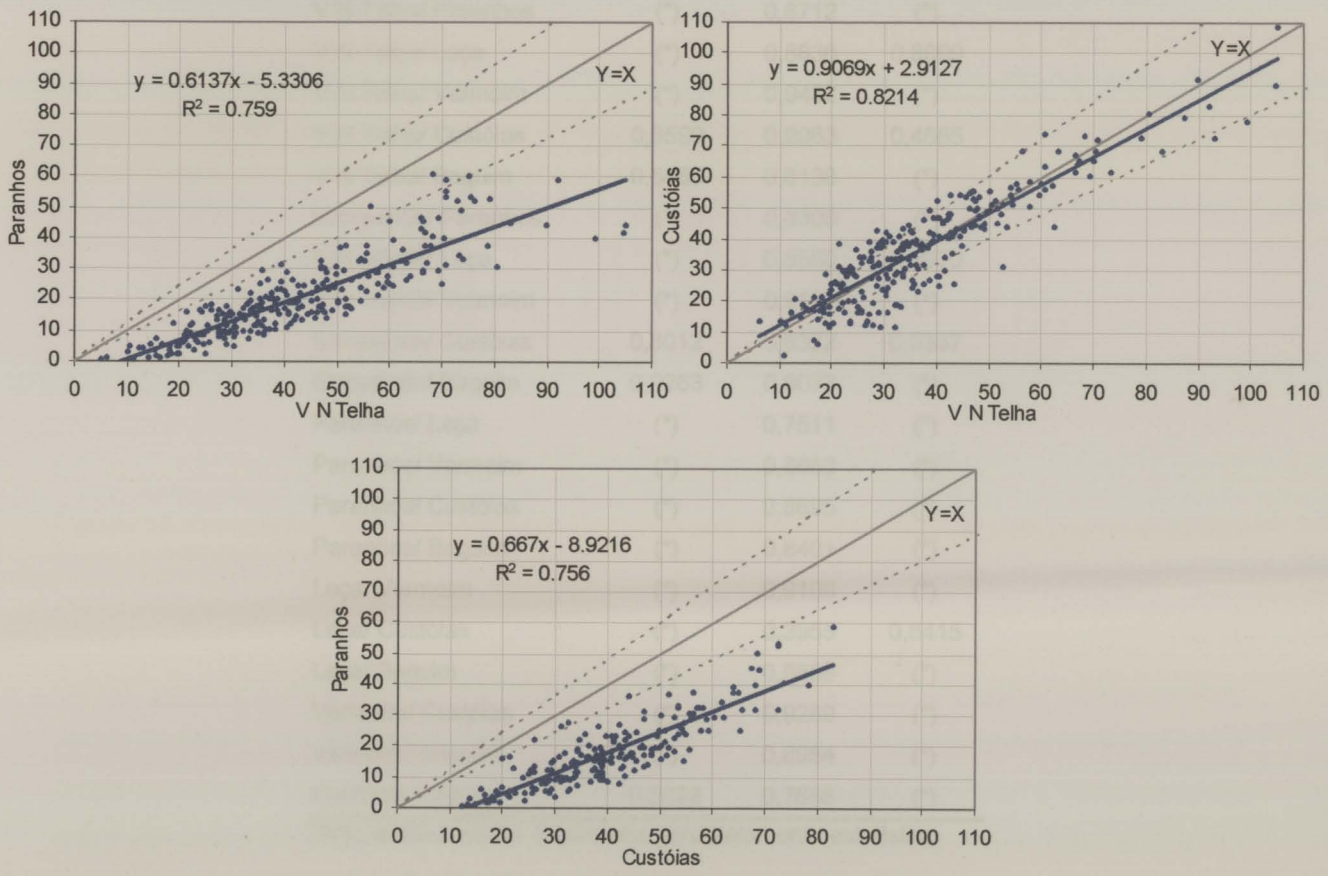


Figura 73. Relação da distribuição das concentrações médias diárias entra várias estações para as O_3 em 2000. Linhas tracejadas: ± 20%.

A análise da figura 73 confirma que a estação de Paranhos apresenta as concentrações mais baixas. Por outro lado, as concentrações registadas na estação de Custóias e Vila Nova da Telha são semelhantes.

A tabela 53 apresenta estação a estação os coeficientes de correlação determinados com base nas concentrações diárias de O_3 para todas as estações em estudo.

Tabela 53. Coeficientes de correlação obtidos nas diferentes estações para as O_3 nos anos de 1999, 2000 e 2001.

Correlações estação a estação	Coeficientes de correlação		
	1999	2000	2001
V N Telha/ Ermesinde	0,8662	0,8561	0,8376
V N Telha/ Paranhos	(*)	0,8712	(*)
V N Telha/ Leça	(*)	0,8836	0.8099
V N Telha/ Vermoim	(*)	0,9482	(*)
V N Telha/ Custóias	0,8599	0,9063	0,4685
V N Telha/ Baguim	0,8485	0,8138	(*)
Ermesinde/ Paranhos	(*)	0,8306	(*)
Ermesinde/ Leça	(*)	0,8580	0,8970
Ermesinde/ Vermoim	(*)	0,9185	(*)
Ermesinde/ Custóias	0,8012	0,8322	0,6357
Ermesinde/ Baguim	0,9263	0,9073	(*)
Paranhos/ Leça	(*)	0,7511	(*)
Paranhos/ Vermoim	(*)	0,8653	(*)
Paranhos/ Custóias	(*)	0,8695	(*)
Paranhos/ Baguim	(*)	0,8401	(*)
Leça/ Vermoim	(*)	0,9109	(*)
Leça/ Custóias	(*)	0,3955	0,8415
Leça/ Baguim	(*)	0,8639	(*)
Vermoim/ Custóias	(*)	0,9289	(*)
Vermoim/ Baguim	(*)	0,8984	(*)
Custóias/ Baguim	0,8022	0,7658	(*)

*Não existem dados disponíveis para tratamento estatístico

Como pode ser verificado as concentrações registadas em algumas das estações são efectivamente relacionáveis entre si, em particular nas estações do mesmo tipo, que apresentam coeficientes de correlação mais elevados e por isso tendências semelhantes. A aplicação destas correlações é muito limitada, pois pode não identificar episódios agudos de O_3.

De acordo com a análise estatística ANOVA, aplicada com um intervalo de confiança de 95%, as concentrações médias diárias de O_3 medidas nas diferentes estações da RMQAr são distintas, sendo aconselhável manter a medida de O_3 em todas as estações da rede.

Para observar o perfil anual de O_3, a figura 74 representa as médias diárias e as respectivas tendências nas estações de Custóias, Paranhos e Vila Nova da Telha.

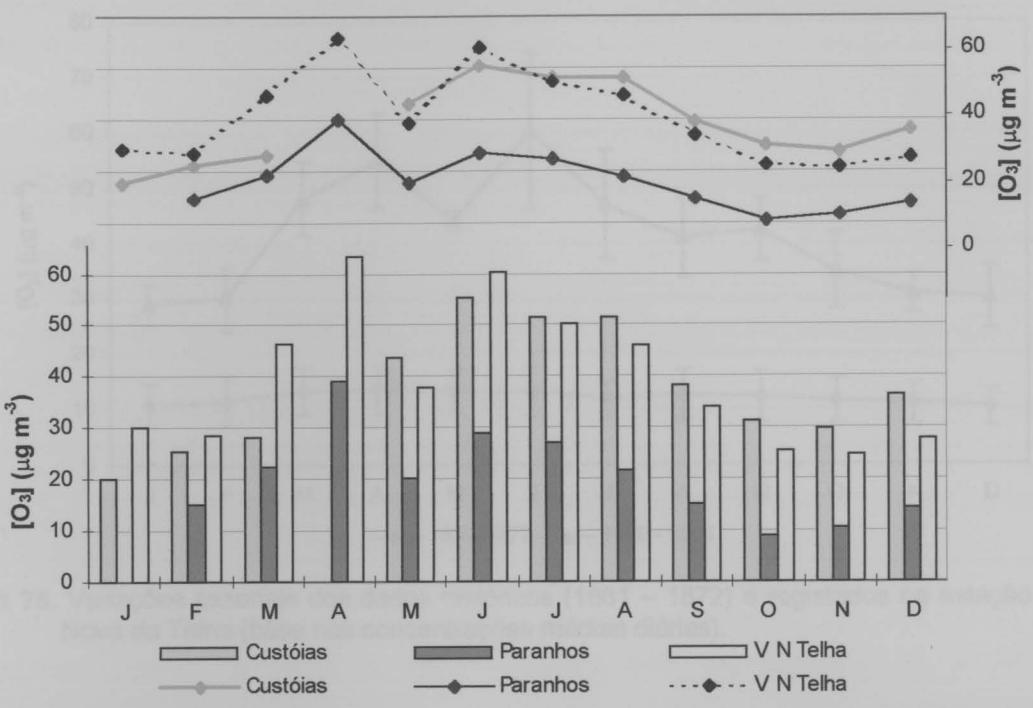


Figura 74. Concentrações médias mensais de O_3 durante o ano 2000 para as estações de Custóias, Paranhos e Vila Nova da Telha.

Como se pode verificar, os perfis são semelhantes nas três estações representadas, variando apenas na amplitude das concentrações. É também evidente que a variação anual deste poluente é muito dependente das estações do ano, sendo os valores mais elevados atingidos durante a Primavera e o Verão para qualquer uma das estações. Adicionalmente, é também durante o Verão que as concentrações mais elevadas se mantêm por mais tempo (figura 71). As condições atmosféricas no Verão potenciam a formação de O_3 devido ao aumento das radiações UV e da temperatura em simultâneo com a diminuição da velocidade dos ventos (WHO, 2000). Adicionalmente, é também sabido que no período que se situa entre o fim do Inverno e início da Primavera, 20% do O_3 troposférico total é proveniente da camada estratosférica através de intrusões rápidas na troposfera (Marenco et al., 1994). Este facto explica as concentrações elevadas observadas no mês de Abril.

Durante o final do século XIX (era pré-industrial), na cidade do Porto foram realizadas medições de O_3 durante um período de 38 anos (Alvim Ferraz et al., 2002). A figura 75 compara os dados mensais de O_3 de 1861 a 1872, com os obtidos na estação de Vila Nova da Telha de 1999 a 2001.

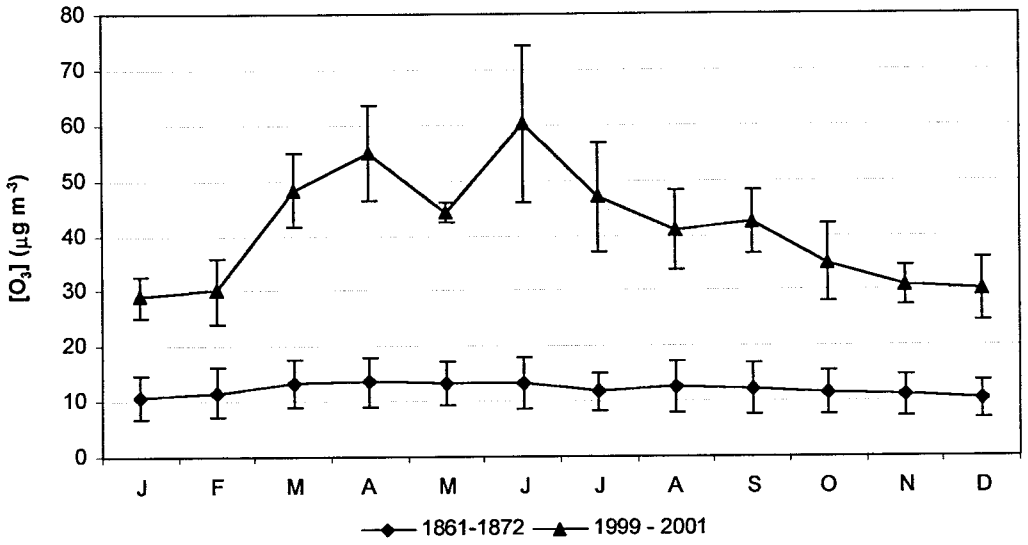


Figura 75. Variações sazonais dos dados históricos (1861 – 1872) e registados na estação de Vila Nova da Telha (base nas concentrações médias diárias).

De acordo com estes dados, durante o período pré-industrial as concentrações de O_3 registavam uma variabilidade sazonal muito baixa, apresentando um máximo muito ligeiro durante a Primavera. Actualmente a amplitude das variações sazonais é muito mais pronunciada, com um claro máximo nos meses em que são atingidas as temperaturas mais elevadas.

Estas diferenças permitem concluir algo mais sobre os mecanismos reaccionais da formação fotoquímica do O_3 superficial. Na era pré-industrial as baixas concentrações de NO_x, não permitiam a formação de O_3 de origem fotoquímica, assim, o aumento da radiação solar levava à destruição deste poluente durante o Verão. Como o transporte de O_3 da estratosfera é mais eficiente durante a Primavera, seria já de esperar um máximo neste período do ano. As actuais emissões antropogénicas que levam ao aumento das concentrações de NO_x, potenciam a formação de O_3 fotoquímico, confirmando a influência das actividades humanas nos níveis de O_3 troposférico.

Na figura 76 encontra-se representada a evolução anual observada nos períodos em estudo.

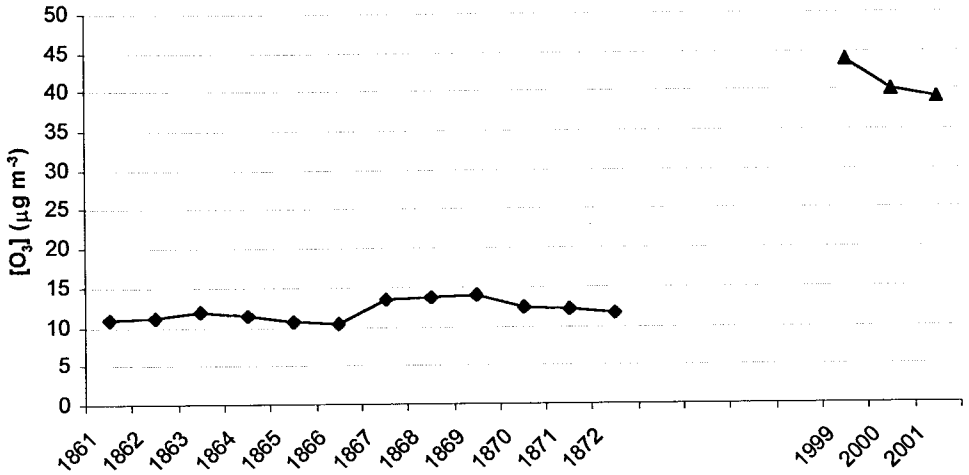


Figura 76. Evolução das concentrações médias anuais de O_3 na AMP durante um período de 140 anos.

Os valores anuais de 1681 a 1872 variaram num intervalo de 10 a 14 µg/m^3, correspondendo a uma média de 12 µg/m^3. Estes valores encontram-se em consonância com resultados encontrados em outras estações europeias durante o mesmo período (Voltz e Kley, 1998; Pavelin et al., 1999). As concentrações anuais actuais variam entre os 35 a 44 µg/m^3, com uma média centrada nos 40 µg/m^3 o que indica que na AMP as concentrações de O_3 aumentaram mais de 200% durante os últimos 140 anos. Como já foi mencionado, este aumento encontra-se directamente relacionado com o aumento das actividades humanas na cidade.

4. CONCLUSÃO

De acordo com a análise realizada verifica-se que as PM_{10}, SO_2 e NO_x não cumprem a actual legislação nacional relativa à qualidade do ar ambiente (DL 111/2002). Da comparação destes resultados com os obtidos aquando da aplicação da legislação cessante, verifica-se que o número de incumprimentos aumentou para estes poluentes, particularmente para as PM_{10} e NO_x, pois a legislação cessante era cumprida na sua totalidade. Conclui-se desta forma que para as PM_{10}, SO_2 e NO_x a nova legislação é mais restritiva do que a legislação cessante.

No caso do CO, verifica-se que não houve incumprimento dos valores limites quando aplicada a nova legislação, especialmente nas estações urbanas, ao contrário do que se verifica aquando da aplicação da legislação cessante. Pode-se então concluir que para este poluente a nova legislação é mais permissiva do que a legislação cessante.

No que diz respeito ao O_3 e de acordo com o que se encontra legislado a nível comunitário, verificam-se incumprimentos do limiar de alerta, particularmente nas estações de fundo. Contudo, comparando os resultados obtidos aquando da aplicação da Directiva Comunitária 2002/3/CE, conclui-se que esta é menos restritiva relativamente aos limites definidos a longo prazo do que a legislação actualmente em vigor. A Portaria n.º 623/96 é mais restritiva no que diz respeito a episódios agudos de O_3.

Dado que se verificou a ultrapassagem dos limiares de avaliação no caso das PM_{10} e NO_x, fica excluída a hipótese de serem utilizadas técnicas de modelização para prever o comportamento destes poluentes. Em relação ao SO_2 e CO, pode-se concluir que existem estações que reúnem condições que permitam pensar na introdução de técnicas de modelização.

Em relação ao comportamento dos poluentes na Área Metropolitana do Porto, foi possível verificar que os perfis diários referentes às PM_{10} na estação urbana (Paranhos) se relacionam perfeitamente com as emissões do tráfego automóvel na zona. A mesma conclusão é retirada quando são analisados os perfis diários do NO_2 e CO. As concentrações de fundo das PM_{10} são naturalmente elevadas devido à presença de sais marinhos no ar ambiente que são incluídos nas medições deste poluente.

As concentrações de SO_2 são mais elevadas na estação industrial (Custóias) do que nas restantes, resultado da actividade industrial presente na zona.

Conclui-se também que as concentrações de O_3 durante o dia são muito superiores nas estações de Custóias e Vila Nova da Telha do que as verificadas em Paranhos, isto devido à presença, na estação urbana, de concentrações mais elevadas de precursores de O_3 emitidos pelo tráfego automóvel. No período pré-industrial as concentrações de O_3 registavam uma variabilidade sazonal muito baixa, apresentando um máximo muito ligeiro durante a Primavera. Actualmente a amplitude das variações sazonais é muito mais pronunciada, com um claro máximo nos meses em que são atingidas as temperaturas mais elevadas. Foi também constatado que na Área Metropolitana do Porto as concentrações de O_3 aumentaram mais de 200% durante os últimos 140 anos, resultado directo do aumento das actividades antropogénicas na cidade.

Verificou-se que relativamente às PM_{10} e ao O_3 as concentrações medidas nos diferentes tipos de estações são correlacionáveis entre si.

Em conclusão, a qualidade do ar da AMP é grandemente influenciado pelo tráfego automóvel e nos anos mais próximos os poluentes que vão merecer uma atenção especial nesta zona são as PM_{10} e o O_3. Estes factos permitem concluir que as novas medidas de Gestão da Qualidade do Ar nesta área devem passar pelo desenvolvimento de políticas de transporte eficientes e o recurso a combustíveis para veículos motorizados alternativos, como o gás natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ajuntamento de Barcelona, http://www.bnc.es (acesso em Janeiro 2003).

Alvim Ferraz, M.; Pereira, M.C.; Costa, T.; Martins, F.; *Increasing of trophospheric ozone levels in Oporto since pre-industrial time*; Environmental Science and Pollution Research special issue; 2002 (3), 30-31.

Amundsen, A.; *Joint management of energy and environment*; Journal of Cleaner Production, 2000 (8), 483-494.

Ansuategi, A.; Escapa, M.; *Economic growth and greenhouse gas emission*; Ecological Economics, 2002 (40), 23 – 37.

Braga, J.; *Guia do Ambiente – As empresas portuguesas e o desafio ambiental*; Ministério da Economia, Direcção Geral da Industria; 1999.

Borrego, C.; Barros, N.; Gomes, P.; Coutinho, M.; Tchepel, O.; Lopes, M.; Miranda, A. I.; *Application of the air quality Framework Directive to Portugal: A strategic evaluation*; Air quality Management; Wit press, 2000.

Borrego, C.; Miranda, A. I.; Coutinho, M.; Ferreira, J.; Carvalho, A. C.; *Air quality management in Portugal: example of needs and available tools*; Environmental Pollution; 2002 (120), 115 – 123.

Bottenheim, J. W.; Fuentes, J. D.; Tarasick, D. W.; Anlauf, K. G.; *Ozone in the Artic lower troposphere during winter and spring 2000 (ALERT2000)*; Atmospheric Environment, 2002 (36), 2535 – 2544.

Boyd, R; Ibarrarán, M. E.; *Costs of compliance with the Kyoto Protocol: a developing country perspective*; Energy Economics, 2002 (24), 21-39.

Branis, M.; Domasová, M.; *PM10 and black smoke in a small settlement: case study from Czech Republic*; Atmospheric Environment 2003 (37), 83 – 92.

Brunekreef, B.; Holgate, S. T.; *Air pollution and health*; Lancet, 2002 (360), 1233 – 1242.

Burgaz, S.; Demircigil, G.; Karahalil, B.; Karakaya, A.; *Chromosomal damage in peripheral blood lymphocytes of traffic policemen and taxi drivers exposed to urban air pollution*; Chemosphere; 2002 (47), 57 – 64.

Buescu, Jorge; *A Litania e o Iconoclasta*; Ingenium, Setembro 2002, 46 – 49.

Calace, N.; Fiorentini, F.; Petronio; B. M.; Pietroletti, M.; *Effects of acid rain on soil humic compounds*; Talanta, 2001 (54), 837 – 846.

Casaleiro, C.; *Ambiente – Quem poluir vai pagar*; OpcçãoQ; 2002 (22), 25 – 28.

Chakraborty, S.; Tiedemann, A. V.; Teng, P. S.; *Climate change: potencial impact on plant diseases*; Environmental Pollution, 1999 (118), 317-326.

Colvile, R. N.; Hutchinson, E. J.; Mindell, J. S.; Warren, R. F.; *The transport sector as a source of air pollution*; Atmospheric Environment; 2001 (35), 1537 – 1565.

De Winter-Sorkina (a), R.; *Impact of ozone layer depletion I: ozone depletion climatology*; Atmospheric Environment; 2001 (35), 1609 – 1614.

De Winter-Sorkina (b), R.; *Impact of ozone layer depletion II: changes in photodissociation rates and tropospheric composition*; Atmospheric Environment; 2001 (35), 1615 – 1625.

Dockery, D. W.; Pope III, C. A.; *Acute respiratory effects of particulate air pollution*; Ann. Rev. Public Health; 1994 (15), 107 – 132.

DGA - Direcção geral do Ambiente; *Manual de Métodos e de Procedimentos Operativos da Rede Nacional da Qualidade do Ar – Amostragem e Análises Química*; 2000.

DRAOT-N, http://www.dra-n.pt/temas/tematicas.htm (Acesso em Outubro 2002)

DRAOT-N, *Relatório de Análise da Qualidade do Ar 2000*, Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território – Norte, Porto, 2001.

DRAOT-N, *Relatório de Análise da Qualidade do Ar 1999*, Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território – Norte, Porto, 2000.

EEA (a), *Europe's Environment: the second Assessment*; European Environment Agency, Copenhagen, 1998, 293.

EEA (b), *CORINAIR 1994 Inventory*, European Environment Agency, Copenhagen, 1998.

EEA, Data service, http://service.eea.eu.int (Acesso em Junho 2002)

Eyre, Nick; *Carbon reduction in the real world: How the UK will surpass its Kyoto obligations*; Climate Policy, 2001 (1), 309-326.

Fischer, P. H.; Hoek, G.; Reeuwijk, H. van; Briggs, D. J.; Lebret, E.; Wijnen, J. H.; Kingham, S.; Elliott, P. E.; *Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam*; Atmospheric Environment; 2000 (34), 3713 – 3722.

Furrer, B; Hugenschidt, H.; Koncz, P.; *Climate Changes and Finance: new business opportunities*; Corporate Environmental Strategy, 2000 (7), 137-145.

Gomes, J.; *Poluição Atmosférica – Um Manual Universitário*; Publindustria, Edições técnicas, 1ª Ed, 2001.

Guicherit, R.; Roemer, M.; *Tropospheric ozone trends*; Chemosphere – Global Change Science; 2000 (2), 167 – 183.

Haites, E.; Missfeldt F.; *Liability rules for international trading of greenhouse gas emissions quotas*; Climate Policy, 2001 (1), 85-108.

Hiatt, M. H; *Bioconcentration factors for volatile organic compounds in vegetation*; Anal. Chem.; 1998 (70), 851 – 856.

Hickman, J.; Hassel, D; Jounard, R.; Samaras, Z.; Sorenson, S.; *Methodology for calculating transport emissions and energy consumption*; Transport Research Laboratory; UK; 1999. http://www.inrets.fr/infos/cost319/.

Janssen, N. A. H.; Vliet, P. H. van; Aarts, F.; Harssema, H.; Brunekreef, B.; *Assessment of exposure to traffic related air pollution of children attending schools near motorways*; Atmospheric Environment; 2001 (35), 3875 – 3884.

Johansson, C.; Johansson, P.; *Particulate matter in the underground of Stockholm*; Atmospheric Environment 2003 (37), 3 – 9.

Khalil, M.; Rasmussen, R.; Shearer, M.; *Atmospheric nitrous oxide: patterns of global change during recent decades and centuries*; Chemosphere; 2002 (47), 807 – 821.

Kingham, S.; Briggs, D. J.; Elliott, P. E.; Fischer, P. H.; Lebret, E.; *Spatial variations in the concentration of traffic-related pollutants in outdoor and indoor air in Huddersfield, England*; Atmospheric Environment; 2000 (34), 905 – 916.

Knopp, D.; Schedl, M.; Achatz, S.; Kettrup, A.; Niessner, R.; *Immunochemical test to monitor human exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: urine as a sample source*; Analytica Chimica Acta; 1999 (399), 115 – 126.

Kotzias, D.; *Human Exposure Research: Needs and Approaches*; Environmental Science and Pollution Research special issue; 2002 (3), 13

Kyriakis, N. A.; Samaras, Z. C.; Andreas, A. E.; *Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport*; Arsitotle University of Thessaloniki, Laboratory of applied thermodynamics; Greece; 1998. http://www.inrets.fr/infos/cost319/.

Larssen, T.; Seip, H. M.; Semb, A.; Mulder, J.; Muniz, I. P.; Vogt, R. D.; Lydersen, E.; Angell, V.; Dagang, T.; Eilertsen, O.; *Acid deposition and its effects in China: an overview*; Environmental science & Policy, 1999 (2), 9 – 24.

Laudon, H.; Köhler S.; Bishop, K. H.; *Natural acidity or antropogenic acidification in the spring flood of northern Sweden?*; The Science of the Total Environment; 1999 (234), 63 – 73.

Lazaridis, M.; Semb, A.; Larssen, S.; Hjellbrekke, A.; Hov, Ø.; Hanssen, E.; Schaug, J.; Tørseth, K.; *Measurements of particulate matter within the framework of the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) – I. First results*; The Science of the Total Environment; 2002 (285), 209 – 235.

Leeuw, F.A.A.M.; Moussiopoulos, N.; Sahm, P.; Bartonova, A; *Urban air quality in larger conurbations in the European Union*; Environmental Modelling & Software 2001(16), 399 – 414.

Lindly, J. K.; Haskew, T. A.; *Impact of electric vehicles on electric power generation and global environmental change; Advances in Environmental Research*; 2002 (6), 291 – 302.

Ma, J.; Weele, M.; *Effect of stratospheric ozone depletion on the net production of ozone in polluted rural areas*; Chemosphere: Global Change Science; 2000 (2), 23 – 37.

Mairie de Paris ; *La lutte contre la pollution atmosphérique à Paris : bilan et perspectives, Avant-propos : La concentration urbaine et ses conséquences*; 2002.

Marenco, A. ; Gouget, H. ; Nédélec, P. ; Pagés, J. ; *Evidence of a long-term increase in tropospheric ozone from Pic du Midi data series. Consequences: positive radiative forcing*; Journal of Geophysical Rechearch 1994 (99), 16 617 – 16 632.

McConnell, R.; Berhane, K.; Gilliland, F.; London, S.; Islam, T.; Gauderman, W.; Avol, E.; Margolis, H.; Peters, J.; *Asthama in exercising children exposed to ozone: a cohort study*; The Lancet; 2002 (vol. 359), 386 – 391.

Ministério do Ambiente, Decreto-Lei n.º 226/98; Diário da Republica nº. 163, 17 de Julho de 1998.

Ministério do Ambiente, Decreto-Lei n.º 279/99; Diário da Republica nº. 170, 23 de Julho de 1999.

Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Decreto-Lei n.º 111/2002; Diário da Republica nº. 89, 16 de Abril de 2002.

Ministério do Ambiente e Recursos Naturais, Decreto-Lei n.º 352/90; Diário da Republica nº. 259, 9 de Novembro de 1990.

Ministério da Economia e do Ambiente, Portaria n.º 623/96; Diário da Republica nº. 253, 31 de Outubro de 1996.

Ministérios da Indústria e Energia e do Ambiente e Recursos Naturais, Portaria n.º 286/93; Diário da Republica nº. 60, 12 de Março de 1993.

Miller, J.S.; *Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons by spectrofluorimetry*; Analytica Chimica Acta; 1999 (388), 27 – 34.

Mukerjee, D.; *Health impact of polychlorinated dibenzo-p-dioxins: a critical review*; Air & Waste Manag.. Assoc.; 1998 (48), 157-165.

NATO Advanced Rechearch Workshop; Endocrine Disrupters Carcinogenic Risk Assessment; 8 –12 May 2001, Medical Academy of Bialystok, Poland; Goetz, F.; *Female Infertility – Effect of Perinatal Xenoestrogen Exposure on Reproductive Functions in Animals and Humans*; Larebeke, N. van, *Observations as to Male Fertility in the Flemish Environmental and Health studies.*

Ohlström, M. O.; Lehtinen, K.; Moisio, M.; Jokiniemi, J.; *Fine-particle emission of energy production in Finland*; Atmospheric Environment; 2000 (34), 3701 – 3711.

Pankow, J. F.; Luo, W.; Isabelle, L. M.; Bender, D A.; Baker, R. J.; *Determination of a wide range of volatile organic compounds in ambient air using multisorbent adsorption/ thermal desorption and gas chromatography/ mass spectrometry*; Anal. Chem.; 1998 (70), 5213 – 5221

Parlamento Europeu e do Conselho, Directiva 2002/3/CE de 12 de Fevereiro de 2002.

Pavelin, E.G.; Johnson, C.E.; Rughooputh, S.; Toumi, R.; *Evaluation of pre-industrial surface ozone measurements made using Schönbein's method*; 1999 (33), 919 – 929.

Peavy, H. S.; Rowe, D. R.; Tchobanoglous, G.; *Environmental Engineering*; Mc Graw-Hill International Editions, 1985.

Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), Versão 2001; Comissão para as alterações climáticas (criada pela RCM nº 72/98), Março 2002. http://www.iambiente.pt/pnac/.

Pont, V.; Fontan, J.; *Local and regional contributions to photochemical atmospheric pollution in southern France; Atmoapheric Emvironment*, 2000 (34), 5209 – 5223.

Querol, X.; Alastuey, A.; Rodriguez, S.; Plana, F.; Mantilla, E.; Ruiz, C.; *Monotoring of PM10 and PM2,5 around primary particulate anthropogenic emission sources*; Atmospheric Environment; 2001 (35), 845 – 858.

Ramos, L.; Eljarrat, E.; Hernández, L.M.; Rivera, J.; González, M.J.; *Comparative study of methodologies for the analysis of PCDDs and PDCFs in powdered full-fat milk. PCB, PCDD and PCDF levels in commercial samples*; Chemosphere; 1999 (11) vol. 38, 2577 – 2589.

Rypdal, K.; Winiwarter, W.; *Uncertainties in greenhouse gas emissions inventories – evaluation, comparability and implications*; Environmental Science & Policy, 2001 (4), 107-116.

Ruuskanen, J.; Tuch, T.; Brink, H.; Peters, A.; Khlystov, A.; Mirme, A.; Kos, G.; Brunekreef, B.; Wichmann, H.; Buzorius, G.; Vallius, M.; Kreyling, W.; Pekkanen, J; *Concentrations of ultrafine, fine and PM2,5 particles in three European cities*; Atmospheric Environment; 2001 (35), 3729 – 3738.

Santos, F. D.; Forbes, K.; Moita, R.; Climate change in Portugal scenarios, impacts and adaptatation measures – SIAM Project; gradiva, 2002.

Seinfeld, John H.; Pandis, Spyros N.; *Atmospheric Chemistry and Physics – from Air Pollution to climate Changes*; A Wiley-Interscience Publication, USA, 1998.

Spadaro, J. V.; Rabl, A.; *Damage cost due automotive air pollution and the influence of street canyons*; Atmospheric Environment; 2001 (35), 4763 – 4775.

Sundin, H.; Ranganathan, J; *Managing Business Greenhouse Gas Emissions: the greenhouse protocol – a strategic and operational tool*; Corporate Environmental Strategy; 2002, Vol. 9, Nº 2.

Székács, A.; Le, H.M.; Knopp, D.; Niessner, R.; *A modified enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for polyaromatic hydrocarbons*; Analytica Chimica Acta; 1999 (399), 127 – 134.

UNFCCC – Greenhouse Gases Inventory Data Base, 2002. http://ghg.unfccc.int (Acesso em Junho 2002).

UNL/FCT/DCAE; MAOT/DGA; *Avaliação do Ar em Portugal – Determinação de zonas e aglomerações*; Direcção Geral do Ambiente, Dezembro de 2001. http://www.iambiente.pt/qualar/index.html.

United States Environmental Protection Agency (USEPA (a)), *National Air Toxics Program: The Integrated Urban Strategy*, OAQPS, NC, 2000.

United States Environmental Protection Agency (USEPA (b)), *Nitrogen Oxides: Impacts on public health and the environment*, Office Air and Radiation, 1997.

Voltz, A.; Kley, D.; *Evaluation of the Montsouris series of ozone measurements made in the nineteenth century*, Nature, 1988 (332), 240-242.

Ware, J.; Thibodeau, L.; Speizer, E.; Colome, S.; Jr. Ferris, B.; *Assessment of the Health Effects of Atmospheric Sulfur Oxides and Particulate Matter: Evidence from Observational Studies*; Environment Health Prespectives, 1981 (41), 255 – 276.

Weatherley, N. S.; Timmis, R. J.; *The atmosphere in England and Wales: an environmental management review*; Atmospheric Environment; 2001 (35), 5567 – 5580.

Winiwarter, W.; Rypdal, K.; *Assessing the uncertainty associated with national greenhouse gas emission inventories: a case study for Austria*; Atmospheric Environment; 2001 (35), 5425 – 5440.

Wittkamp, B. L; Hawthorne, S. B.; Tilotta, D. C.; *Determination of aromatic compounds in water by solid phase microextraction and ultraviolet absorption spectroscopy*; Anal. Chem.; 1997 (69), 1197 – 1203.

World Health Organization (WHO), *Air Quality Guidelines*, WHO Regional Office, Copenhaga, 2000.

Zhang, ZhongXiang; *An assessment of the EU proposal for ceilings on the use ok Kyoto flexibility mechanisms*; Ecological Economics, 2001 (37), 53-69.

ANEXO 1 – PROTOCOLO DE QUIOTO

O protocolo de Quioto estipula que os países industrializados e as economias em desenvolvimento – o designado grupo de países do Anexo I, do qual fazem parte os países pertencentes à OCDE e países com economias em transição (Austrália; Canadá; Islândia; Japão; Nova Zelândia; Noruega; Suíça; EUA; países pertencentes à EU; países da antiga União Soviética como a Estónia, Látvia, Lituânia, Rússia, Ucrânia e países do leste europeu, como a Bulgária, Republica Checa, Hungria, Polónia, Roménia, Eslováquia, Eslovénia) – devem reduzir as suas emissões de gases de estufa em pelo menos 5% das emissões verificadas em 1990, até ao período de 2008-2012 (Furrer et al., 2000). Na maioria dos casos a quantidade de emissões exigida será inferior ao nível atingido em 1990. O Protocolo será efectivo quando for ratificado por pelo o menos 55 participantes, cujas emissões de CO_2 representem pelo menos 55% do total dos países do Anexo I.

A redução de emissões de gases de estufa pode ser efectuada recorrendo a diversas acções internas desenvolvidas para o efeito. A definição de standards de eficiência energética ou de desempenhos ambientais, tributação de emissões e outras formas de poluição, impostos ambientais e subsídios, impostos sobre o carbono, limites de emissões, acordos ambientais e compromissos internos podem ser algumas das medidas internas encontradas pelos países para fazerem face a este desafio (Artigo 3).

Por outro lado, o protocolo de Quioto permite também a utilização de mecanismos de flexibilidade por parte dos países do Anexo I. A ideia base destes mecanismos, é permitir a produção no exterior e/ou importar os créditos de emissão necessários para atingir o limite requerido para a redução de emissões ao nível do país, sector ou empresas. Os três mecanismos em causa são (Furrer et al., 2000; Zhang, 2001):

- Implementação conjunta - *Joint Implementation* (JI): Envolve o investimento em projectos de redução das emissões de gases de estufa, entre os países do Anexo I (Artigo 6).
- Mecanismos limpos de desenvolvimento - *Clean Development Mechanism* (CDM): Envolve investimentos em projectos de redução das emissões de gases de estufa,

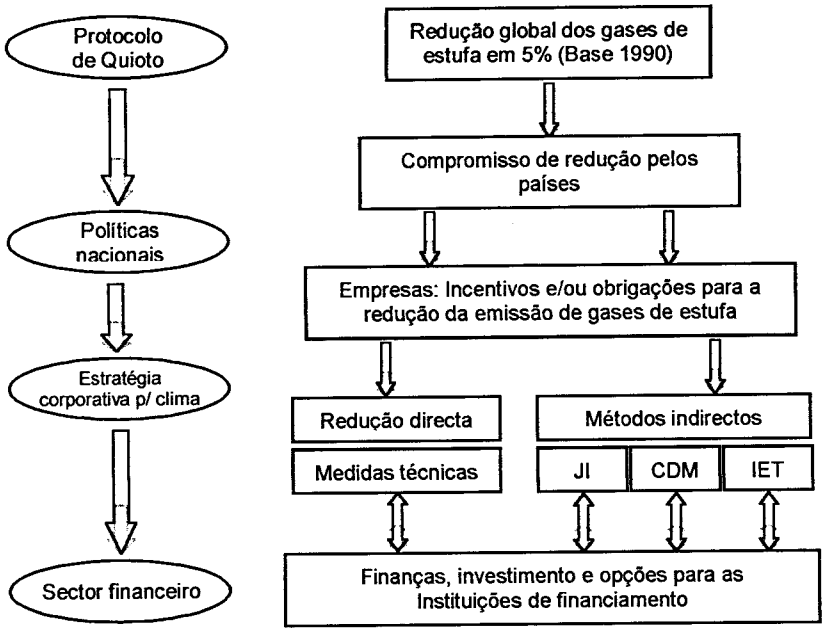
entre os países do Anexo I e os que não estão incluídos no Anexo I (países em vias de desenvolvimento), realizados no último grupo de países (Artigo 12).

- Compra e venda internacional de emissões - *International Emission Trading* (IET): Diz respeito à aquisição e venda de créditos de emissão, entre países que possuam limites estabelecidos e quantificação de emissões e objectivos de redução (essencialmente os países integrados no Anexo I) (Artigo 17).

Os países do Anexo I podem utilizar os mecanismos de flexibilidade de forma a cumprir as suas obrigações do Protocolo sem qualquer limitação, o que poderá desvirtuar a ideia base de implementação de politicas ao nível interno de cada país. Em Junho de 1999 numa sessão da UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), a UE submeteu uma proposta para a limitação o uso destes mecanismos (Zhang, 2001).

Relativamente ao *trading* (compra e venda) de emissões, onde a conformidade dos dados é feita através da comparação do que está inventariado com o valor limite imposto, será necessário um rigoroso e preciso sistema de recolha de emissões directas. As emissões indirectas são mais difíceis de controlar e num futuro muito próximo serão colocados desafios no sentido de evitar a dupla contabilização de emissões. Adicionalmente, as empresas envolvidas no processo de compra e venda de emissões poderão ter que implementar sistemas de auditoria credíveis, para facilitar a verificação da quantidade de emissões (Sundin et al., 2002).

De forma a fazer face ao estipulado no protocolo, os governos dos países do Anexo I transferem os compromissos de redução para os sectores e empresas envolvidos na emissão dos gases de estufa. Esta medida, irá levar à procura de taxas de emissão por parte de diversos sectores económicos, com consequentes implicações no funcionamento das empresas e instituições financeiras (figura A1).



(Fonte: Furrer et al., 2000)

Figura A1. O Protocolo de Quioto e as suas implicações ao nível empresarial e financeiro.

Prevê-se que a implementação do protocolo de Quioto poderá interferir com as empresas ao nível dos custos e proveitos por elas gerados. As empresas poderão vir a ser reguladas por uma futura política climática que introduzirá custos adicionais para a redução de emissões. Assim, o peso dos custos irá variar consoante o país, sector e da capacidade específica de cada uma das empresas para a redução efectiva das suas emissões. Contudo, as mesmas empresas poderão defrontar-se com oportunidades lucrativas ao nível empresarial, o que se irá reflectir em ganhos interessantes ao nível nacional e até mesmo internacional. Pois as empresas podem gerar receitas adicionais se forem elas próprias produtoras de créditos de emissão que podem ser vendidos a outras companhias. Uma empresa gera créditos de emissão se o custo marginal de redução de emissões for inferior ao preço de mercado expectável para esses créditos.

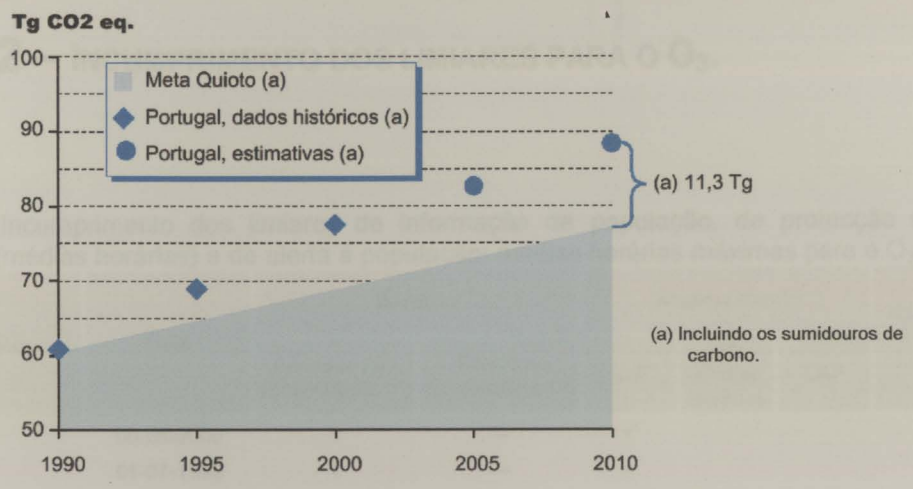
Também as entidades bancárias que se encontrem preparadas para prestar serviços de qualidade a estas empresas, estarão a ganhar um novo e emergente mercado para serviços financeiros, no contexto do protocolo de Quioto (Furrer et al., 2000). Desta forma, as entidades bancárias também se encontrarão envolvidas no processo de redução de emissões de gases de estufa.

Apesar de à primeira vista não parecer uma tarefa fácil para a maioria dos países, atingir em os valores de emissões exigidos nos prazos estabelecidos, existem outros que consideram esta, uma batalha já ganha. A experiência no Reino Unido indica que, sob determinadas circunstâncias, as emissões dos países desenvolvidos podem estabilizar e até mesmo diminuir, sem recorrer a políticas direccionadas directamente para as alterações climáticas (Eyre, 2001). Também na Noruega, por forma a seguir o estipulado no protocolo de Quioto, encontram-se já a ser implementados diversos programas energéticos, e o desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental. A certificação das empresas através da norma ISO 14001 (certificação ambiental) e a aplicação do EMAS (Eco-management and Audit Scheme) são processos que fazem parte desses sistema de gestão ambiental (Amundsem, 2000).

Tal como na Noruega, também em Portugal, as empresas encontram-se actualmente a trabalhar na certificação ambiental, com o estabelecimento de Sistemas de Gestão Ambiental e aplicação da norma ISO 14001, no sentido de facilitar o cumprimento de qualquer legislação ou acordo ambiental.

No caso de países em vias de desenvolvimento a implementação de mecanismos para redução dos gases de estufa pode ter um efeito adverso. No México (15º país que mais contribui para a emissão de gases de estufa), foi realizado um estudo que indica que actualmente a implementação de políticas que visam a aplicação de taxas para reduzir as emissões de carbono, podem ter um efeito negativo no crescimento económico do país (Boyd e Ibarrarán, 2002).

A figura A2 representa a evolução das emissões de GEE em Portugal entre 1990 e 2000 (estimativa) e a comparação com a meta definida para 2010 (em rigor, para o período 2008-2012) no âmbito da partilha de responsabilidades entre os Estados Membros da UE, tendo em conta o Protocolo de Quioto. A análise da figura revela que em cada ano que passa, Portugal está a afastar-se do estabelecido no Protocolo de Quioto, pois verificou-se um forte crescimento de emissões durante a última década (cerca de 28% de 1990-2000).



(Fonte: PNAC, 2002)

Figura A2. Evolução das emissões de GEE em Portugal entre 1990 e 2000, previsões para 2005 e 2010 e a comparação com a meta definida para 2010, tendo em conta o Protocolo de Quioto.

Contudo, Portugal faz parte dos países industrializados com um rácio de emissão de GEE por habitante mais baixo (7,9 Mg em 1999 contra 10,7 em média na UE, não considerando o impacto dos sumidouros).

Coloca-se então, uma questão muito importante relacionada com este Protocolo. Qual o montante das coimas a aplicar aos países que não respeitem o estipulado? A quantia em estabelecida deverá ser suficientemente desmotivadora para que os países se sintam motivados para cumprir o estabelecido no Protocolo de Quioto, em detrimento do pagamento das coimas estabelecidas (Haites e Missfeldt, 2001).

Apesar de para o futuro da continuação da espécie humana o protocolo de Quito se revestir da grande importância, este encontra-se ainda em risco de não ser bem sucedido. Em 1998 os EUA decidiram que não deviam assinar um acordo que, segundo o Senado desse país, irá resultar em graves perturbações para a economia interna, e que não inclui os países em vias de desenvolvimento. Assim, as questões que actualmente se colocam no sentido da viabilização ou não do protocolo são: irão EUA alguma vez ratificar o protocolo de Quioto? Se não, será que existe um número suficiente de nações com vontade de o fazer singrar?

ANEXO 2 – INCUMPRIMENTO DOS LIMIARES PARA O O_3.

Tabela A1. Incumprimento dos limiares de informação da população, de protecção da vegetação (médias horárias) e de alerta à população; médias horárias máximas para o O_3.

Estação	Data	Duração		Incumprimento			Média horária máxima ($\mu g/m^3$)
		Períodos não consecutivos (h)	Períodos consecutivos (h)	LIP	LPV Médias horárias	LAP	
Formosa	08-08-2000	1	---	✓			189
Custóias	01-07-1999	1	---	✓			200
	22-07-1999	---	3	✓			187
		---	(2)	✓	✓		
	10-09-1999	---	2	✓			187
	16-06-2000	1	---	✓			180
	08-08-2000	1	4	✓	✓		250
	08-06-2001	1	---	✓			198
Baguim	01-07-1999	---	3	✓			199
	08-07-1999	1	---	✓			197
	09-07-1999	1	---	✓			184
	16-06-2000	1	---	✓			200
Ermesinde	01-07-1999	---	2	✓			188
	08-07-1999	---	5	✓			233
		---	(4)	✓	✓		
	09-07-1999	---	5	✓			242
		---	(1)	✓	✓		
	10-09-1999	---	3	✓			213
		---	(2)	✓	✓		
	16-06-2000	1	---	✓			180
	08-08-2000	1	---	✓			190
	27-05-2001	1	---	✓	✓		203
	01-06-2001	1	---	✓			187
	20-06-2001	---	6	✓			229
		---	(2)	✓	✓		
	01-07-2001	---	2	✓			199
	17-09-2001	1	---	✓			194
V N Telha	08-07-1999	---	5	✓			212
		---	(1)	✓	✓		
	09-07-1999	2	---	✓			189
	14-09-1999	1	---				181
	16-06-2000	---	2	✓			180
	08-08-2000	---	4	✓	✓		260
	01-06-2001	1	---	✓			199
	17-09-2001	1	---	✓			194
Vermoim	08-08-2000	---	3	✓			210
	08-08-2000	---	(2)	✓	✓		
Leça	16-06-2000	1	---	✓			180

Tabela A2. Incumprimento do limiar de protecção da saúde para o O_3: datas, duração dos períodos e médias octo- horárias máximas.

Estação	Data	Duração		Média octo-horária máxima ($\mu g/m^3$)
		Períodos não consecutivos (8 h)	Períodos consecutivos (8 h)	
Formosa	09-08-2000	1	---	128
Custóias	18-06-1999	1	---	113
	19-06-1999	1	---	118
	01-07-1999	---	2	140
	09-07-1999	---	2	141
	22-07-1999	---	2	169
	23-07-1999	1	---	143
	30-07-1999	1	---	116
	31-08-1999	1	---	116
	01-09-1999	1	---	113
	15-06-2000	1	---	140
	16-06-2000	1	---	110
	18-06-2000	1	---	120
	07-08-2000	1	---	110
	08-08-2000	1	---	140
	09-08-2000	1	---	160
Baguim	09-07-1999	1	---	116
	16-06-2000	1	---	120
	18-06-2000	1	---	110
Ermesinde	18-06-1999	1	---	111
	19-06-1999	1	---	117
	08-07-1999	---	2	136
	09-07-1999	1	---	142
	16-06-2000	1	---	110
	18-06-2000	1	---	110
	29-05-2001	1	---	112
	20-06-2001	2	---	133
	21-06-2001	1	---	131
	01-07-2001	1	---	114
	02-07-2001	1	---	136
	30-07-2001	1	---	128
	04-09-2001	1	---	117
	16-09-2001	1	---	115
V N Telha	19-06-1999	1	---	116
	08-07-1999	1	---	126
	09-07-1999	2	---	129
	14-06-2000	1	---	110
	15-06-2000	---	2	140
	16-06-2000	---	2	120
	17-06-2000	---	2	130
	08-08-2000	1	---	150
	09-08-2000	1	---	130
	19-06-2001	1	---	110
	20-06-2001	1	---	116
	21-06-2001	1	---	116
	02-07-2001	1	---	121
	13-09-2001	1	---	126
	16-09-2001	1	---	111
	17-09-2001	1	---	114
Vermoim	15-06-2000	1	---	110
	16-06-2000	1	---	110
	17-06-2000	---	2	110
	09-08-2000	1	---	130
Leça	16-06-2000	1	---	110
	18-06-2000	1	---	120

Tabela A3. Incumprimento do limiar de protecção da vegetação (médias diárias): datas, duração dos períodos e médias diárias máximas para o O_3.

Estação	Data	Duração		Média diária máxima ($\mu g/m^3$)
		Períodos não consecutivos (d)	Períodos consecutivos (d)	
Bragas	Abr-99	1		68
	Jun-99		2	77
	Jul-99	2		68
	Ago-99	1		66
Formosa	Jul-00	2	2	72
	Ago-00	2	4+3	95
	Set-00	1		65
	Mar-01	1		69
	Abr-01	2		70
	Mai-01	2	2	73
	Jun-01	2		77
	Jul-01	2		83
	Set-01	2		79
Custóias	Mar-99	2	2	81
	Abr-99		2+5+3+2	89
	Mai-99		3+2+2	84
	Jun-99	3	2+2+2	90
	Jul-99	2	3+3+2	117
	Ago-99	2		99
	Set-99	1		65
	Out-99		3	74
	Mai-00	1	---	72
	Jun-00	---	2+6+2	90
	Jul-00	1	3	79
	Ago-00	---	5	110
	Jan-01	1	3	71
	Fev-01	2	---	71
	Mar-01	3	2+2+3	82
	Abr-01	3		77
	Jun-01	1		74
Baguim	Mar-99	3		73
	Abr-99	3	2	74
	Mai-99	2	2	69
	Jul-99	3		87
	Ago-99	1		66
	Abr-00	2	2+2	69
	Jun-00	---	4+2	90
	Ago-00	1	2	70
Ermesinde	Mar-99	1		71
	Abr-99	2		80
	Mai-99	3		74
	Jun-99	1	4	107
	Jul-99	1	4	108
	Set-99	1		67
	Abr-00	---	2	68
	Jun-00	---	4+2	88
	Ago-00	1	3	77
	Jan-01	2	---	70
	Mar-01	3	---	73
	Abr-01	2	4+3+2	77
	Mai-01	1	4+4+2	83
	Jun-01	1	3+4+3	99
	Jul-01	1	2	93
	Ago-01	1		66
	Set-01	3	2	98

Tabela A3. Incumprimento do limiar de protecção da vegetação (médias diárias): datas, duração dos períodos e médias diárias máximas para o O_3 (continuação).

Estação	Data	Duração		Média diária máxima ($\mu g/m^3$)
		Períodos não consecutivos (d)	Períodos consecutivos (d)	
V N Telha	Mar-99	2	2	89
	Abr-99	1	6+3+2	83
	Mai-99	2	2+2+2	87
	Jun-99	2	2+4	96
	Jul-99	1	6	104
	Out-99	2	2	72
	Mar-00	2	---	68
	Abr-00	---	3+5+3+6	79
	Jun-00	---	3+7+2	100
	Jul-00	1	3	87
	Ago-00	1	3	100
	Mar-01	2	3	74
	Abr-01	1		67
	Mai-01	1		66
	Jun-01	4	2+3	96
	Jul-01	1		67
	Ago-01	1	2	86
	Set-01	3	3	100
	Nov-01	1		67
Vermoim	Mar-00	1	---	71
	Abr-00	2	2+2	73
	Jun-00	---	5+2	87
	Jul-00	2	---	74
	Ago-00	1	2	85
Leça	Jun-00	1	4+2	82
	Dez-00	1	---	66
	Jan-01	1		69
	Mar-01	3	2+2+2	85
	Abr-01	2	2+2	84
	Mai-01	2	5+3	89
	Jun-01	2	2	94
	Ago-01	1		68
	Set-01	1		70

ANEXO 3 – FREQUÊNCIA DO INCUMPRIMENTO DO VALOR GUIA PARA O CO.

Tabela A4. Frequência do não cumprimento do valor guia para o CO.

Estações	Mês	Nº dias não consecutivos	Nº dias consecutivos	Total
Bragas	Jan-99	3	2+4+3	
	Fev-99	---	3+5	
	Mar-99	4	2+2	
	Abr-99	4	5	
	Mai-99	3	2+2	
	Jun-99	3	3+4	
	Jul-99	2	2+5+3	
	Ago-99	2	---	
	Set-99	2	2	
	Out-99	1	3+4+3	
	Nov-99	3	5	
	Dez-99	1	2+4	
	Jan-00	1	8+11+8	
	Fev-00	3	6+2	
	Mar-01	2	4	
	Mai-00	3	2	
	Set-00	---	5+5	
	Out-00	4	4+2+2+3	
	Nov-00	2	2+12+4	
	Dez-00	3	2+4+3	
	Jan-01	---	2+6+2+2	
	Fev-01	1	3+2+2+2	
	Mar-01	1	---	
	Mai-01	1	---	
	Jul-01	1	---	
	Set-01	1	---	
	Out-01	---	2+2	
	Dez-01	1	3+3	
				242
Formosa	Jan-99	1	---	
	Fev-99	1	---	
	Jul-99	1	---	
	Dez-99	2	---	
	Jan-00	3	3+2	
	Fev-00	3	2+2	
	Mar-00	3	3	
	Mai-00	1	---	
	Set-01	1	---	
	Out-01	---	2	
	Dez-01	1	---	
				30
Gaia	Jan-99	1	29	
	Fev-99	---	28	
	Mar-99	---	31	
	Abr-99	---	30	
	Mai-99	---	31	
	Jun-99	---	30	

Tabela A4. Frequência do não cumprimento do valor guia para o CO (continuação).

Estações	Mês	Nº dias não consecutivos	Nº dias consecutivos	Total
	Jul-99	---	6+23	
	Ago-99	---	28	
	Set-99	1	---	
				239
Paranhos	Jan-99	---	29	
	Fev-99	1	26	
	Mar-99	3	2+2+4+7	
	Abr-99	3	3	
	Mai-99	4	---	
	Jun-99	4	3+2	
	Jul-99	5	4+3	
	Ago-99	1	2	
	Set-99	5	3+2+2	
	Out-99	2	4+5+3	
	Nov-99	1	10+2+5+2	
	Dez-99	2	10+2+10	
	Jan-00	2	5+2+3+2+2+5	
	Fev-00	---	2+5+4+13	
	Mar-00	---	8+3+2+3+2	
	Abr-00	1	---	
	Jun-00	2	---	
	Jul-00	1	---	
	Ago-00	---	2	
	Set-00	4	4	
	Out-00	1	---	
	Nov-00	1	4+6	
	Dez-00	1	4	
				272
Custóias	Jan-00	2	2+2	
	Fev-00	2		
	Mar-00	2		
	Nov-00	3		
	Jan-01	1		
	Fev-01	1		
	Out-01	1		
	Nov-01	1	3	
	Dez-01	2	3	
				25
Baguim	Jan-99	1	3+4+4+2	
	Fev-99	---	4+2+5	
	Jun-99	2	---	
	Jul-99	1	---	
	Out-99	1	2	
	Nov-99	1	2+4	
	Dez-99	1	3+2+4	
	Jan-00	4	11	
	Fev-00	3	2	
	Mar-00	---	3	
	Mai-00	1	---	
	Ago-00	---	2	
	Set-00		3	
	Out-00	1	---	
	Nov-00	3	3	
	Dez-00	1	---	
				85

Tabela A4. Frequência do não cumprimento do valor guia para o CO (continuação).

Estações	Mês	Nº dias não consecutivos	Nº dias consecutivos	Total
V N Telha	Jan-99	1	2	
	Fev-99	---	2	
	Set-99	1	---	
	Dez-99	2	---	
	Jan-00	1	---	
	Mar-00	1	---	
	Jan-01	---	2	
	Mai-01	1	---	
	Jun-01	1	---	
	Nov-01	---	2	
	Dez-01	---	2	
				18
Vermoim	Jan-00	5	2+2	
	Fev-00	2	---	
	Mar-00	2	---	
	Set-00	1	---	
	Nov-00	1	2	
				17
Leça	Jan-00	3	2+2	
	Fev-00	1	---	
	Mar-00	2	---	
	Nov-00	2	---	
	Jan-01	1	2	
	Fev-01	1	---	
	Set-01	1	---	
	Dez-01	---	3	
				20

BIBLIOTECA F.E. PORTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

OPÇÃO AI - AMBIENTE
Ficha de Disciplina
2005/2006

Ano: 4º
Período: 1º semestre
Créditos: 3,5

OBJECTIVOS
Transmitir conhecimentos nas áreas da poluição atmosférica e da contaminação por resíduos sólidos.
Preparar os alunos nas áreas de gestão da qualidade do ar e de resíduos sólidos.
Estimular a participação dos alunos, através do contacto com problemas existentes a nível Regional e Nacional, integrando-os numa perspectiva Europeia e Mundial.

PROGRAMA
1. Poluição Atmosférica

1.1 Questões genéricas: passado, presente e futuro
1.2 Poluentes atmosféricos: Características, fontes emissoras, controlo, impactes e valores guia
- *1.2.1 Classificação de poluentes*
- *1.2.2 Unidades para exprimir a concentração dos poluentes*
- *1.2.3 Partículas em suspensão*
- *1.2.4 Compostos sulfurados*
- *1.2.5 Monóxido de carbono*
- *1.2.6 Compostos azotados*
- *1.2.7 Compostos orgânicos voláteis*
- *1.2.8 Ozono troposférico*
- *1.2.9 Ruído*
- *1.2.10 Outros poluentes atmosféricos*

1.3 Impactes globais associados à poluição atmosférica
- *1.3.1 Deposição ácida*
- *1.3.2 Degradação da camada de ozono estratosférico*
- *1.3.3 Efeito de estufa a alterações climáticas*
- *1.3.4 Radiação*

1.4 Monitorização da qualidade do ar
- *1.4.1 Redes de medida*

1.5 Valores limites e guias para a qualidade do ar: aspectos legislativos
1.6 Estratégias de gestão da qualidade do ar
- *1.6.1 Padrões de qualidade do ar*
- *1.6.2 Padrões de emissão*
- *1.6.3 Objectivo económico*
- *1.6.4 Custo-benefício*

2. Resíduos Sólidos

2.1 Considerações gerais
2.2 Resíduos, origens e características
2.3 Interacção dos resíduos com o ar, a água e a saúde humana
2.4 Produção de resíduos
2.4.1 Na União Europeia e em Portugal
2.5 Inventariação de resíduos
2.6 Classificação de resíduos
2.6.1 Decreto-Lei nº 239/97
2.6.2 Lista Europeia de Resíduos e Portaria 209/2004
2.7 Gestão de resíduos sólidos
2.7.1 Hierarquia de gestão: redução, valorização, tratamento e confinamento
2.7.2 Agentes intervenientes na gestão e estratégias de gestão
2.7.3 Mapas de resíduos, guias de transporte e licenciamento de actividades
2.7.4 Compostagem e digestão anaeróbia
2.7.5 Incineração e co-incineração
2.7.6 Estabilização/solidificação e vitrificação
2.8 Deposição controlada
2.8.1 Decreto-Lei nº 152/2002

BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

Alvim Ferraz M. C. M., *Air Contamination*, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2005.
Alvim Ferraz M. C. M., *Qualidade do Ar - Apoio às aulas teóricas*, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2005.
Alvim Ferraz M. C. M., Pereira M. C. S., Santos R. C. M., Costa T. E. M. S., *A Qualidade do Ar na Área Metropolitana do Porto em 2000/2001*, Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território - Norte, Porto, 2001.
Peavy H. S., Rowe D.R., Tchobanoglous G., *Environmental Engineering*, McGraw-Hill, Singapura, 1985.
WHO, 2000. *Air Quality Guidelines*, WHO - Regional Office for Europe, htpp://www.who.nl/aqg/txt1_1.htm

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

Austin J., Brimblecombe P., Sturges W. (Eds), *Air Pollution Science for the 21st Century*, Elsevier Science, Oxford, 2002.
Colls J., *Air Pollution*, Spon Press, Londres, 2002.
EEA, Air quality in Europe: State and trends 1990-99. *European Environment Agency*, Copenhagen, 2003.
Seinfeld J. H., Pandis S. N., *Atmospheric Chemistry and Physics – From Air Pollution to Climate Change*, John Wiley, New York, 1998.
Wayne R. P., *Chemistry of Atmospheres*, Oxford University Press, Oxford, 2002.



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO
BIBLIOTECA
0000067205