

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

# **MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

MIGUEL FILIPE TEIXEIRA PINTO

Mestrado em Engenharia Química  
Ramo Tecnologias de Protecção Ambiental  
Dezembro 2008



**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO  
ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS POR  
UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

ORIENTADOR: LUÍS SILVA

CO-ORIENTADOR: CHRISTOPHER SÁ



## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho não seria possível sem o apoio e ajuda de diversas pessoas, que directa ou indirectamente, contribuíram para a sua realização.

À Eliana, a minha princesa dos bosques, de uma forma muito especial pela sua constante presença, pelo incentivo e por todo o carinho e amor.

À minha família, Luís, Cristina e Paulo, por me apoiarem em todos os momentos, pelo afecto, carinho e por contribuírem de forma tão pessoal e empenhada na minha formação académica, mas principalmente como pessoa.

Um agradecimento especial ao meu irmão Paulo, o meu “outro lado”, pela ajuda, pela sua irreverência, dedicação inspiradora e em particular pelo suporte informático...fico-te a dever uma!

Aos meus amigos, pela compreensão, companheirismo e por estarem sempre presentes.



## RESUMO

Com este trabalho, pretendeu-se avaliar o impacto ambiental, em termos de qualidade do ar, provocado em Évora, Beja e Moura, com a futura instalação de uma refinaria em Espanha, Refinería Balboa, próxima da fronteira portuguesa.

O trabalho desenvolvido compreendeu três etapas fundamentais: realização de um inventário de emissões atmosféricas, modelação do transporte e dispersão dos principais poluentes atmosféricos e comparação das concentrações de poluentes obtidas ao nível do solo com os valores limite legislados.

O inventário das emissões gasosas foi realizado através do recurso a dados de emissão de poluentes atmosféricos (2006 e 2007), provenientes de refinarias. Este permitiu determinar os principais poluentes atmosféricos emitidos, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, representando respectivamente 76,3 % e 18,6 % das emissões totais, bem como os seus valores médios de emissão, utilizando o conceito de “bolha comum”.

A modelação da dispersão gaussiana de pluma em estado estacionário foi realizada para diversas condições atmosféricas e de emissão de poluentes. Considerando o pior cenário possível obteve-se, em Évora, Beja e Moura, concentrações ao nível do solo de, respectivamente, 56,3 µg/m<sup>3</sup>, 50,7 µg/m<sup>3</sup> e 65,4 µg/m<sup>3</sup> para o SO<sub>2</sub> e de 13,7 µg/m<sup>3</sup>, 12,3 µg/m<sup>3</sup> e 15,9 µg/m<sup>3</sup> para o NO<sub>x</sub>.

Estes valores foram obtidos considerando a orientação dos ventos na direcção dos locais receptores, correspondendo a uma frequência de 3,45 % para Évora e de 3,78 % para Beja e Moura.

Verifica-se que, mesmo nos períodos menos favoráveis e no pior cenário possível, o impacto provocado pela Refinería Balboa não causará incumprimento da legislação ambiental (Decreto-Lei n.º 111/2002 de 16 de Abril<sup>(1)</sup>).

Como complemento, tentou-se realizar a modelação da dispersão dos poluentes recorrendo a um sistema de modelação computacional de dispersão atmosférica, o CALPUFF. Esta não foi conseguida integralmente, tendo-se contudo avançado consideravelmente na compreensão e interpretação do sistema de modelos e correspondente interface gráfica.

Palavras-Chave: Qualidade do ar ambiente, Indústrias da refinação de petróleo, Refinería Balboa, Emissões de poluentes atmosféricos em refinarias, Conceito de “bolha comum”, Modelação gaussiana de dispersão de poluentes atmosféricos, CALPUFF.



## ABSTRACT

The aim of this work was to analyse the environmental impact, in terms of air quality, for a future implementation of a petroleum industry in Spain, Refinería Balboa, near the Portuguese border.

The work done includes three fundamental stages, namely the drawing up of an atmospheric emission inventory, an atmospheric dispersion modelling of the main pollutants and also a regulatory verification of the obtained ground emission levels.

The atmospheric emissions inventory was developed using atmospheric pollutants emissions data (2006 and 2007), from petroleum industries, which allowed the determination of the main atmospheric pollutants, which are SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>. These pollutants represent, respectively, 76,3 % and 18,6 % of the total emissions, as well as their medium emissions rates, using the “bubble concept”.

A steady state Gaussian-plume atmospheric dispersion modelling for several atmospheric conditions and pollutants emission rates was conducted. In the worst case scenario, the ground concentrations obtained in Évora, Beja and Moura were, respectively, 56,3 µg/m<sup>3</sup>, 50,7 µg/m<sup>3</sup> and 65,4 µg/m<sup>3</sup> for SO<sub>2</sub> and 13,7 µg/m<sup>3</sup>, 12,3 µg/m<sup>3</sup> and 15,9 µg/m<sup>3</sup> for NO<sub>x</sub>.

All these results were achieved using the wind orientation in the direction of the designated receiver spots/places, which correspond to a frequency of favourable winds of 3,45 % for Évora and 3,78 % for Beja and Moura.

Even in the most unfavourable periods and in the worst case scenario, the regulatory limits are satisfied (Decreto-Lei n.º 111/2002 de 16 de Abril<sup>[1]</sup>).

As a complementary work, it was made an attempt to conduct an atmospheric pollutant dispersion modelling using an advanced dispersion model, CALPUFF. This attempt was not entirely fulfilled. However, significant advances were achieved in the comprehension and interpretation of the model as well as the corresponding graphics interface.

Key words: Air Quality, Petroleum industries, Refinería Balboa, Atmospheric pollutant emissions in petroleum industries, The “bubble concept”, Gaussian atmospheric dispersion modelling, CALPUFF.



## ÍNDICE

1. Introdução	1
1.1. Poluição atmosférica e Modelação do transporte e dispersão de poluentes	1
1.2. Poluição atmosférica e a saúde humana	4
2. Estudo das emissões atmosféricas em refinarias	7
2.1. Determinação dos principais poluentes emitidos pelas refinarias	8
2.1.1. Contribuições de poluentes – Inventário de emissões das refinarias nos anos de 2006/2007	8
2.2. Determinação dos caudais mássicos médios dos poluentes emitidos pelas refinarias	10
2.2.1. Caudal mássico dos poluentes – Inventário de emissões das refinarias nos anos de 2006/2007	11
2.3. Conceito de “bolha comum”	14
3. Características da Refinería Balboa e previsão das emissões atmosféricas	17
3.1. Uma visão geral da Refinería Balboa	17
3.2. Tecnologias utilizadas e redução do potencial contaminante	18
3.3. Emissões atmosféricas previstas	20
3.3.1. Emissões previstas de SO <sub>2</sub>	22
3.3.2. Emissões previstas de NO <sub>x</sub>	23
3.4. O índice de complexidade	24
4. A influência da unidade FCC (craqueamento catalítico em leito fluidizado) nas refinarias	25
5. Considerações efectuadas e comparação com a Refinería Balboa	27
5.1. Capacidades produtivas	27
5.2. MTD's (melhores tecnologias disponíveis) e unidade FCC	27
5.3. Emissões atmosféricas	29
6. Localização da fonte de emissão e dos pontos receptores	31
6.1. Localização da fonte de emissão (Refinería Balboa)	31
6.2. Localização dos pontos Receptores (Évora e Beja)	33
7. Modelação da dispersão dos poluentes NO <sub>x</sub> e SO <sub>2</sub> – definição das condições iniciais	35
7.1. Distâncias entre a fonte emissora e os locais receptores – localização relativa	38
7.2. Definição dos factores de emissão	40
7.3. Dados meteorológicos utilizados – frequência e velocidade do vento	41
7.4. Definição da altura da “chaminé virtual”	45
7.5. Coeficientes de dispersão e classes de estabilidade atmosféricas – método de Pasquill-Gifford	46
8. Modelação da dispersão de poluentes - local receptor Évora	49
8.1. Modelação da dispersão de NO <sub>x</sub>	49
8.1.1. Caudal de emissão – 113,3 g/s	49

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

---

8.1.1.1. Classe de estabilidade atmosférica A	50
8.1.1.2. Classe de estabilidade atmosférica B	51
8.1.1.3. Classe de estabilidade atmosférica C	52
8.1.1.4. Classe de estabilidade atmosférica D	52
8.1.1.5. Classe de estabilidade atmosférica E	53
8.1.1.6. Classe de estabilidade atmosférica F	53
8.1.2. Caudal de emissão – 22,0 g/s	54
8.1.3. Caudal de emissão – 87,8 g/s	56
8.2. Modelação da dispersão de SO <sub>2</sub>	57
8.2.1. Caudal de emissão – 466,1 g/s	57
8.2.1.1. Classe de estabilidade atmosférica A	58
8.2.1.2. Classe de estabilidade atmosférica B	59
8.2.1.3. Classe de estabilidade atmosférica C	60
8.2.1.4. Classe de estabilidade atmosférica D	60
8.2.1.5. Classe de estabilidade atmosférica E	61
8.2.1.6. Classe de estabilidade atmosférica F	61
8.2.2. Caudal de emissão – 23,1 g/s	62
8.2.3. Caudal de emissão – 349,6 g/s	64
9. Modelação da dispersão de poluentes - local receptor Beja	67
9.1. Modelação da dispersão de NO <sub>x</sub>	67
9.1.1. Caudal de emissão – 113,3 g/s	67
9.1.1.1. Classe de estabilidade atmosférica A	68
9.1.1.2. Classe de estabilidade atmosférica B	69
9.1.1.3. Classe de estabilidade atmosférica C	70
9.1.1.4. Classe de estabilidade atmosférica D	70
9.1.1.5. Classe de estabilidade atmosférica E	71
9.1.1.6. Classe de estabilidade atmosférica F	71
9.1.2. Caudal de emissão – 22,0 g/s	72
9.1.3. Caudal de emissão – 87,8 g/s	74
9.2. Modelação da dispersão de SO <sub>2</sub>	75
9.2.1. Caudal de emissão – 466,1 g/s	75
9.2.1.1. Classe de estabilidade atmosférica A	76
9.2.1.2. Classe de estabilidade atmosférica B	77
9.2.1.3. Classe de estabilidade atmosférica C	78
9.2.1.4. Classe de estabilidade atmosférica D	78
9.2.1.5. Classe de estabilidade atmosférica E	79
9.2.1.6. Classe de estabilidade atmosférica F	79
9.2.2. Caudal de emissão – 23,1 g/s	80
9.2.3. Caudal de emissão – 349,6 g/s	82
10. Comparação com a legislação ambiental portuguesa (Decreto-Lei n.º 111/2002 de 16 de Abril)	85
11. Dados de qualidade do ar – estação de qualidade do ar de Terena	89

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

---

12. Modelação computacional da dispersão atmosférica de poluentes	91
12.1. Características e especificações técnicas dos sistemas de modelação computacionais	91
12.2. A escolha do sistema de modelação	92
12.3. Sistema de modelação CALPUFF	95
12.4. Configuração do sistema de modelação CALPUFF	98
13. Conclusões e sugestões para trabalho futuro	103
14. Lista de referências	107
Anexo A. Rosas dos ventos das estações meteorológicas para as quatro estações anuais	111
Anexo B. Fórmulas de cálculo para os coeficientes de dispersão	113
Anexo C. Modelação da dispersão de poluentes em Évora – gráficos obtidos	115
Anexo C.1. Modelação da dispersão de NO <sub>x</sub> : Caudal de emissão – 22,0 g/s	115
Anexo C.2. Modelação da dispersão de NO <sub>x</sub> : Caudal de emissão – 87,8 g/s	119
Anexo C.3. Modelação da dispersão de SO <sub>2</sub> : Caudal de emissão – 87,8 g/s	123
Anexo C.4. Modelação da dispersão de SO <sub>2</sub> : Caudal de emissão – 349,6 g/s	127
Anexo D. Modelação da dispersão de poluentes em Beja – gráficos obtidos	131
Anexo D.1. Modelação da dispersão de NO <sub>x</sub> : Caudal de emissão – 22,0 g/s	131
Anexo D.2. Modelação da dispersão de NO <sub>x</sub> : Caudal de emissão – 87,8 g/s	135
Anexo D.3. Modelação da dispersão de SO <sub>2</sub> : Caudal de emissão – 23,1 g/s	139
Anexo D.4. Modelação da dispersão de SO <sub>2</sub> : Caudal de emissão – 349,6 g/s	143
Anexo E. Valores limite para o SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> e NO <sub>x</sub> no ar ambiente – Decreto-Lei n.º 111/2002 de 16 de Abril	147
Anexo F. Representação esquemática do CALPUFF, CALMET e CALPOST	149

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquematização da aproximação euleriana (a) e lagrangiana (b)	3
Figura 1.2. Interação e efeitos dos poluentes atmosféricos	5
Figura 2.1. Contribuições de cada poluente [%] para as emissões totais das refinarias em 2006	9
Figura 2.2. Contribuições de cada poluente [%] para as emissões totais das refinarias em 2007	9
Figura 2.3. Contribuições de cada poluente [%] para as emissões totais das refinarias em 2006/2007	10
Figura 2.4. Emissões médias de cada poluente [kg/h] nas refinarias em 2006	11
Figura 2.5. Emissões médias de cada poluente [kg/h] nas refinarias em 2007	12
Figura 2.6. Emissões médias de cada poluente [kg/h] nas refinarias em 2006/2007	12
Figura 2.7. Imagem exemplificativa do conceito de “bolha comum”	15
Figura 3.1. Critérios tecnológicos considerados na configuração da Refinería Balboa	20
Figura 3.2. Comparação entre os valores de SO <sub>2</sub> emitidos pelas refinarias espanholas	22
Figura 3.3. Comparação entre os valores de NO <sub>x</sub> emitidos pelas refinarias espanholas	23
Figura 3.4. Índice Nelson de Complexidade para as refinarias europeias	24
Figura 6.1. Localização geral da implementação da Refinería Balboa	31
Figura 6.2. Imagem aérea da implementação	31
Figura 6.3. Vista da parcela que acolherá as instalações da Refinería Balboa	32
Figura 6.4. Localização das refinarias existentes na Península Ibérica	32
Figura 6.5. Localização geográfica de Évora	33
Figura 6.6. Localização geográfica de Beja	33
Figura 6.7. Localização geográfica relativa de Évora e de Beja face à Refinería Balboa	34
Figura 7.1. Representação esquemática de uma pluma segundo uma distribuição gaussiana	36
Figura 7.2. Representação da distância entre Évora e a Refinería Balboa	38
Figura 7.3. Representação da distância entre Beja e a Refinería Balboa	39
Figura 7.4. Representação da distância entre Beja e a Refinería Balboa	39
Figura 7.5. Representação da distância mínima entre a Refinería Balboa e a fronteira portuguesa	40
Figura 7.6. Estação de Villafranca de los Barros: rosa dos ventos total e distribuição de frequências de ventos	42
Figura 7.7. Estação de Cerro de San Jorge: rosa dos ventos total	43
Figura 8.1. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora	50
Figura 8.2. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora	50
Figura 8.3. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora	51
Figura 8.4. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora	51

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

---

Figura 8.5. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Évora	52
Figura 8.6. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Évora	52
Figura 8.7. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Évora	53
Figura 8.8. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Évora	53
Figura 8.9. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora	58
Figura 8.10. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora	58
Figura 8.11. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora	59
Figura 8.12. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora	59
Figura 8.13. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Évora	60
Figura 8.14. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Évora	60
Figura 8.15. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Évora	61
Figura 8.16. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Évora	61
Figura 9.1. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja	68
Figura 9.2. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja	68
Figura 9.3. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja	69
Figura 9.4. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja	69
Figura 9.5. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Beja	70
Figura 9.6. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Beja	70
Figura 9.7. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Beja	71
Figura 9.8. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Beja	71
Figura 9.9. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja	76
Figura 9.10. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja	76
Figura 9.11. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja	77

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

---

Figura 9.12. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja	77
Figura 9.13. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Beja	78
Figura 9.14. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Beja	78
Figura 9.15. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Beja	79
Figura 9.16. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Beja	79
Figura 11.1. Localização da estação de qualidade do ar de Terena (Alandroal)	89
Figura 12.1. Modelos tipicamente aplicados consoante a complexidade do problema	94
Figura 12.2. Representação esquemática simples do sistema de modelos CALPUFF	96
Figura 12.3. Exemplo da evolução de uma emissão atmosférica modelada como <i>puff</i>	97
Figura 12.4. Exemplo de uma modelação de dispersão efectuada com CALPUFF	98
Figura 12.5. Quadriculas de dados meteorológicos existentes	100
Figura A.1. Estação de Villafranca de los Barros: rosa dos ventos para as quatro estações do ano	111
Figura A.2. Estação de Cerro de San Jorge: rosa dos ventos para as quatro estações do ano	112
Figura C.1. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora	115
Figura C.2. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora	115
Figura C.3. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora	116
Figura C.4. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora	116
Figura C.5. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Évora	117
Figura C.6. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Évora	117
Figura C.7. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Évora	118
Figura C.8. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Évora	118
Figura C.9. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora	119
Figura C.10. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora	119
Figura C.11. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora	120
Figura C.12. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora	120

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

---

Figura C.13. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Évora	121
Figura C.14. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Évora	121
Figura C.15. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Évora	122
Figura C.16. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Évora	122
Figura C.17. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora	123
Figura C.18. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora	123
Figura C.19. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora	124
Figura C.20. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora	124
Figura C.21. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Évora	125
Figura C.22. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Évora	125
Figura C.23. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Évora	126
Figura C.24. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Évora	126
Figura C.25. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora	127
Figura C.26. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora	127
Figura C.27. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora	128
Figura C.28. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora	128
Figura C.29. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Évora	129
Figura C.30. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Évora	129
Figura C.31. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Évora	130
Figura C.32. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Évora	130
Figura D.1. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja	131
Figura D.2. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja	131
Figura D.3. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja	132

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

---

Figura D.4. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja	132
Figura D.5. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Beja	133
Figura D.6. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Beja	133
Figura D.7. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Beja	134
Figura D.8. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Beja	134
Figura D.9. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja	135
Figura D.10. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja	135
Figura D.11. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja	136
Figura D.12. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja	136
Figura D.13. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Beja	137
Figura D.14. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Beja	137
Figura D.15. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Beja	138
Figura D.16. Modelação da dispersão do poluente NO <sub>x</sub> : caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Beja	138
Figura D.17. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja	139
Figura D.18. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja	139
Figura D.19. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja	140
Figura D.20. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja	140
Figura D.21. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Beja	141
Figura D.22. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Beja	141
Figura D.23. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Beja	142
Figura D.24. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Beja	142
Figura D.25. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja	143
Figura D.26. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja	143

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

---

Figura D.27. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja	144
Figura D.28. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja	144
Figura D.29. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Beja	145
Figura D.30. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Beja	145
Figura D.31. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Beja	146
Figura D.32. Modelação da dispersão do poluente SO <sub>2</sub> : caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Beja	146
Figura E.1. Valores limite para o SO <sub>2</sub> no ar ambiente	147
Figura E.2. Valores limite para o NO <sub>2</sub> e NO <sub>x</sub> no ar ambiente	147
Figura F.1. Representação esquemática do modelo de transporte e dispersão CALPUFF	149
Figura F.2. Representação esquemática do modelo meteorológico CALMET	149
Figura F.3. Representação esquemática do programa de pós-processamento CALPOST	150

**ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 2.1. Principais metodologias existentes para análise das emissões	16
Tabela 3.1. Produção anual prevista da Refinaria Balboa	17
Tabela 3.2. Características e aplicações dos produtos obtidos na Refinaria Balboa	18
Tabela 7.1. Determinação da classe de estabilidade atmosférica (Pasquill-Gifford)	47
Tabela 8.1. Concentrações de NO <sub>x</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 22,0 g/s e local receptor Évora	55
Tabela 8.2. Concentrações de NO <sub>x</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 87,8 g/s e local receptor Évora	56
Tabela 8.3. Concentrações obtidas de SO <sub>2</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 23,1 g/s e local receptor Évora	63
Tabela 8.4. Concentrações de SO <sub>2</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 349,6 g/s e local receptor Évora	64
Tabela 9.1. Concentrações de NO <sub>x</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 22,0 g/s e local receptor Beja	73
Tabela 9.2. Concentrações obtidas de NO <sub>x</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 87,8 g/s e local receptor Beja	74
Tabela 9.3. Concentrações de SO <sub>2</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 23,1 g/s e local receptor Beja	81
Tabela 9.4. Concentrações de SO <sub>2</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 349,6 g/s e local receptor Beja	82
Tabela 10.1. Valores limite para o SO <sub>2</sub> no ar ambiente	86
Tabela 10.2. Valores limite para o NO <sub>2</sub> no ar ambiente	86
Tabela B.1. Parâmetros para determinação do coeficiente de dispersão vertical ( $\sigma_z$ )	113
Tabela B.2. Parâmetros para determinação do coeficiente de dispersão horizontal ( $\sigma_y$ )	114

**LISTA DE ABREVIATURAS** (por ordem de aparecimento)

- CLP – Camada limite planetária  
SO<sub>2</sub> – Dióxido de Enxofre  
NO<sub>x</sub> – Óxidos de Azoto  
COV's – Compostos Orgânicos Voláteis  
CO – Monóxido de Carbono  
COT – Compostos Orgânicos Totais  
H<sub>2</sub>S – Sulfureto de Hidrogénio  
PAH's – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos  
UE – União Europeia  
BREF – Best Available Techniques Reference Document  
GPL's – Gases de petróleo liquefeito  
MTD's – Melhores Técnicas/Tecnologias Disponíveis  
FCC – Craqueamento catalítico em leito fluidizado  
CONCAWE – Conservation of Clean Air and Water in Europe  
SO<sub>x</sub> – Óxidos de Enxofre  
NO – Óxido de azoto  
NO<sub>2</sub> – Dióxido de azoto  
EGTEI – Expert Group on Techno-Economic Issues  
VEA – Valores de Emissão Aplicáveis  
SCR – Redução Selectiva Catalítica  
SNCR – Redução Selectiva Não Catalítica  
C (x,y,z) – Concentração média do poluente [g/m<sup>3</sup>];  
x – Distância do receptor à fonte emissora na direcção do vento [km];  
y – Distância do receptor ao centro da pluma na perpendicular à direcção do vento [m];  
z – Altura do receptor acima da altura do solo [m];  
Q – Caudal de emissão do poluente [g/s];  
u – Velocidade média do vento na direcção do eixo x [m/s];  
H – Altura da emissão (inclui a altura de ascensão do penacho) [m];  
σ<sub>y</sub> – Coeficiente de dispersão horizontal transversal ao vento [m];  
σ<sub>z</sub> – Coeficiente de dispersão vertical [m];  
NE – Nordeste  
S – Sul  
SW – Sudoeste  
E – Este

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

---

W – Oeste

ENE – Este-Nordeste

EPA – Environmental Protection Agency

E.U.A – Estados Unidos da América

DEM – Modelos de elevação digital

USGS – United States Geological Survey

GLCC – Global Land Cover Characterization

## **1. INTRODUÇÃO**

No último século tem-se assistido ao apogeu da intervenção do Homem sobre o planeta, com o aparecimento dos motores a combustão, com a queima de combustíveis fósseis, com o surgimento das indústrias petrolíferas, siderúrgicas e de produtos químicos.

A crescente industrialização e desenvolvimento tecnológico têm proporcionado melhores condições económicas às populações, contudo à custa de uma degradação crescente do meio ambiente, visto estes processos não terem sido devidamente acompanhados relativamente ao impacto ambiental que infligem sobre o meio que os rodeia.<sup>[2], [3]</sup>

Actualmente, o problema ambiental já constitui preocupação para a opinião pública e trata-se de um problema não somente à dimensão local, mas sim de âmbito internacional, já que a poluição não conhece fronteiras, pelo que a protecção do ambiente já se tornou uma das prioridades político-económicas de um grande número de países, com o objectivo de alcançar um desenvolvimento sustentável.<sup>[2]</sup>

### **1.1. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO DE POLUENTES**

Entre as diversas formas de poluição existentes, a poluição atmosférica tem vindo a assumir recentemente, devido a inúmeros factores, uma importância cada vez mais relevante no contexto ambiental. A presença no ar de substâncias sob a forma de gases, sólidos ou líquidos em determinadas quantidades ou concentrações prejudiciais à saúde do Homem, outros seres vivos e também para habitações e outros bens, podem constituir um grave problema e como tal o estudo da sua dinâmica é deveras importante.<sup>[2]</sup>

A gestão e protecção da qualidade do ar pressupõem o conhecimento do estado do meio ambiente atmosférico. As redes de qualidade do ar e os inventários de emissões atmosféricas são de fundamental importância para a construção do quadro cognitivo, mas não do interpretativo. Como instrumento interpretativo existem os modelos de transporte e dispersão de poluentes na atmosfera, que permitem a ligação entre a causa (fonte de poluição) e o efeito (concentração de poluente).<sup>[4]</sup>

Nas últimas duas décadas, o estudo do transporte e dispersão de poluentes na atmosfera tornou-se alvo de bastante estudo, cuja importância se tornou evidente com o aumento das emissões poluentes causadas pelo crescimento das áreas urbanas e industriais.

Anteriormente, a implementação de uma indústria não entrava em linha de conta, por exemplo, com as condições meteorológicas do local de implementação, contudo, actualmente consegue-se saber que determinados locais podem ser inadequados à

instalação de uma fonte poluidora (indústria). A instalação de uma refinaria, uma indústria de celulose, uma termoelétrica, etc, devem estar sujeitas a um rigoroso estudo de impacto ambiental, no qual se inclui a modelação da dispersão de poluentes.<sup>[3]</sup>

Existem numerosos modelos de transporte e dispersão de poluentes atmosféricos, diferenciáveis entre si, que podem ser utilizados em distintos estudos.<sup>[4]</sup>

Um modelo trata-se de uma versão simplificada da realidade, uma vez que não engloba todas as características do sistema real, mas contem aquelas que apresentam maior significância para o problema que se pretende estudar, através da sua utilização. Estes são abundantemente utilizados para realizar previsões e para identificar as melhores soluções para a gestão de problemas ambientais específicos.<sup>[5]</sup>

Contudo não existe nenhuma teoria que descreva fielmente a relação entre a detecção de concentrações de poluentes no ar e os respectivos processos e factores meteorológicos responsáveis. Como tal, não existe ainda um modelo único que explique todos os fenómenos observados.<sup>[5]</sup>

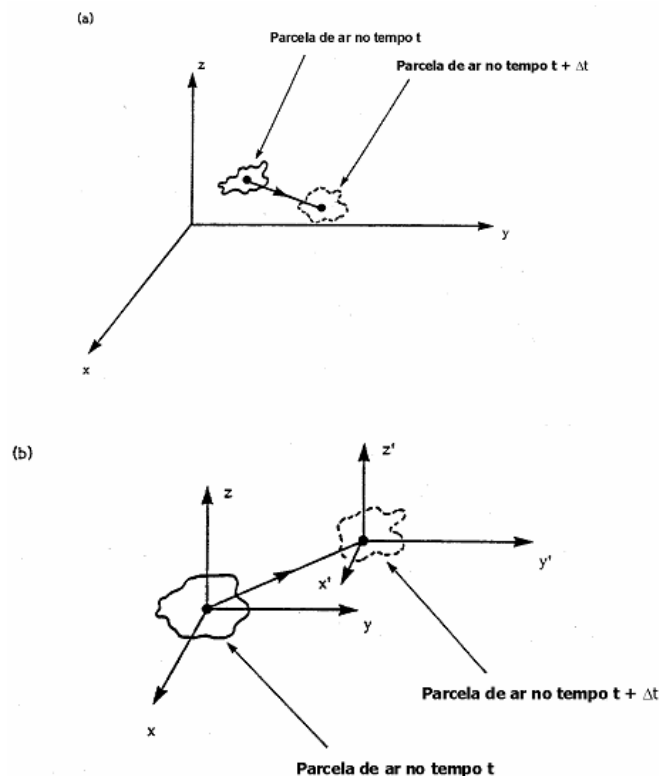
A dispersão de poluentes consiste num fenómeno extremamente complexo, pois é governada pela turbulência, quer na baixa atmosfera, quer na chamada camada limite planetária (CLP), cuja física encontra-se longe de completamente compreendida.<sup>[3]</sup>

Os modelos de transporte e dispersão de poluentes atmosféricos, variam de grau de complexidade e podem ser classificados em duas classes principais: Eulerianos e Lagrangianos.<sup>[3], [6]</sup>

Nos modelos do tipo Euleriano o sistema de coordenadas é fixo no espaço e as propriedades do fluido, como densidade, temperatura e velocidade são determinadas num ponto fixo no espaço (x,y,z) em função do tempo t.<sup>[3], [6]</sup>

Nos modelos do tipo Lagrangiano o sistema de coordenadas é baseado na posição de uma partícula num dado instante de tempo t, relativo à sua posição (x,y,z) num tempo de referência  $t_0$ . As coordenadas lagrangianas são fisicamente mais correctas na descrição do movimento do fluido, contudo mais difíceis do ponto de vista do tratamento matemático.<sup>[3], [6]</sup>

Simplificando, a diferença básica entre as duas abordagens é que na aproximação euleriana o sistema de referência é fixo, em relação à Terra, e na aproximação lagrangiana o sistema de referência segue o movimento atmosférico médio.<sup>[6]</sup>



**Figura 1.1.** Esquematização da aproximação euleriana (a) e lagrangiana (b) <sup>[7]</sup>

Os modelos de dispersão Gaussianos podem ser vistos como Eulerianos e Lagrangianos, ou como uma subclasse destes dois e constituem a maioria dos modelos de transporte e dispersão de poluentes atmosféricos, nomeadamente na sua configuração de modelos de pluma em estado estacionário. <sup>[3], [4], [5], [8]</sup>

Estes são baseados numa aproximação matemática a um comportamento de dispersão de uma pluma segundo uma distribuição Gaussiana, sob condições de emissão e meteorológicas estacionárias. <sup>[3], [5], [6], [7]</sup>

Incorporam uma descrição simplista do processo de dispersão, contudo, mesmo com algumas limitações, este tipo de modelos, quando utilizados correctamente, fornecem resultados confiáveis. <sup>[5]</sup>

A escolha de um modelo encontra-se intimamente ligada ao problema em causa e às características meteorológicas e orográficas da zona em análise. <sup>[4]</sup>

Os modelos podem ser subdivididos de acordo com o tipo de fonte emissora, que pode ser pontual, de volume, área ou linear, e considerando a orografia consoante se trate de terreno plano ou complexo. <sup>[4]</sup>

Podem ser divididos consoante a dimensão da zona que descrevem: modelo de escala local (<50km da fonte emissora), modelo de mesoescala (campo de concentração na ordem de centenas de quilómetros) e modelo de circulação continental ou planetária.<sup>[4]</sup>

Finalmente podem ainda ser classificados de acordo com a resolução temporal produzida, ou seja, temos modelo episódico para resolução inferior a uma hora, modelo de breve intervalo temporal para resolução superior a uma hora e inferior a um dia e modelo climatológico com resolução superior a vinte e quatro horas.<sup>[4]</sup>

## **1.2. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E A SAÚDE HUMANA**

O Homem, mergulhado na atmosfera que o rodeia, faz passar pelos seus pulmões, elevadas quantidades de ar por dia. Este ar mergulha no sistema respiratório, atingindo as regiões mais profundas, tomando contacto com os alvéolos pulmonares, irrigando uma área de mais de 70 m<sup>2</sup>. O ar deverá transportar o oxigénio vital, mas poderá também transportar outros componentes menos saudáveis, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COV's, dioxinas e furanos, metais pesados, cloretos, fluoretos, compostos cancerígenos e material particulado.

A determinação da influência da poluição do ar na saúde humana é extremamente complexa e difícil. A convivência dos seres vivos, em especial a do Homem, com a poluição do ar tem trazido consequências sérias para a saúde. Os efeitos dessa exposição têm sido marcantes e plurais quanto à sua abrangência na população em geral.<sup>[2]</sup>

A poluição atmosférica provoca doenças respiratórias, tais como asma, bronquite e enfisema pulmonar e desconforto físico, donde se destacam a irritação dos olhos, nariz e garganta, dor de cabeça, sensação de cansaço e tosse; também agrava doenças cardio-respiratórias e contribui para o desenvolvimento de cancro do pulmão.<sup>[9]</sup>

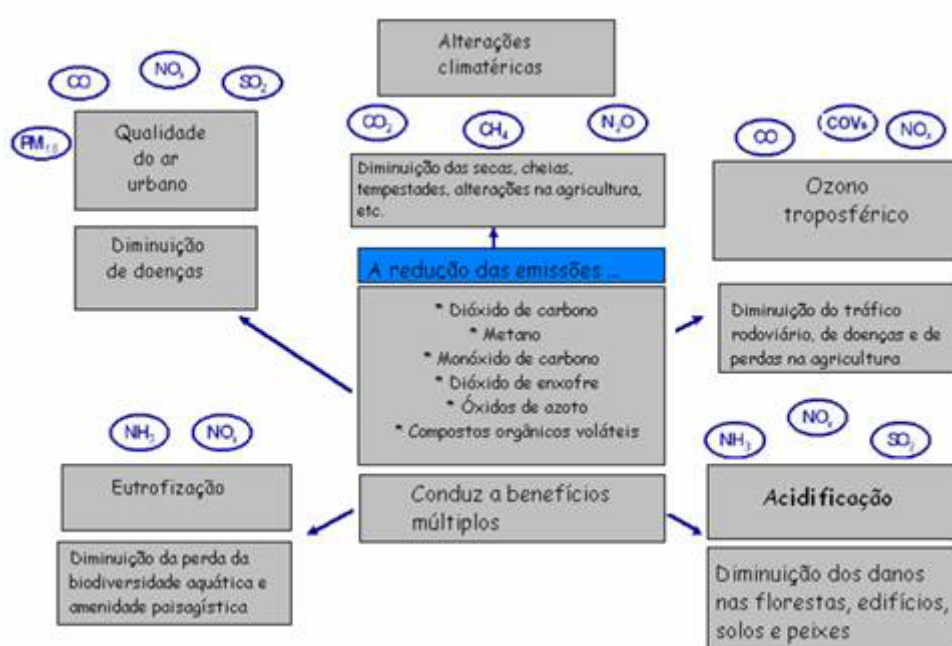
Estes problemas têm alto custo social, com gastos nos tratamentos de saúde, perda de horas de trabalho e redução da produtividade.

Diversos estudos têm procurado demonstrar, com resultados cada vez mais significativos, efeitos de morbidade e mortalidade associados aos poluentes do ar. Estes novos conhecimentos têm alterado conceitos previamente existentes.<sup>[9]</sup>

A adopção dos critérios de qualidade do ar foi baseada em conhecimentos existentes até aquele momento. Contudo, estudos mais recentes mostram que podemos encontrar efeitos graves sobre a saúde mesmo quando os poluentes se encontram dentro dos padrões de segurança. Tal facto justifica-se devido à resposta individual a um poluente

aéreo que pode ser afectada por vários factores, nomeadamente: duração da exposição, co-exposição, alergénicos, infecções virais, condições meteorológicas (por exemplo o ar frio), grau de actividade física, tabagismo (activo e passivo), idade, doença pré-existente, medicação em uso (por exemplo broncodilatador), limitação ao fluxo aéreo e hiper-susceptibilidade brônquica.<sup>[9]</sup>

Na figura seguinte é possível visualizar a interacção e os efeitos dos poluentes atmosféricos, bem como as consequências provenientes da aplicação de medidas de redução das emissões.



**Figura 1.2.** Interacção e efeitos dos poluentes atmosféricos<sup>[10]</sup>



## **2. ESTUDO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS EM REFINARIAS**

Recorrendo a dados de emissão de poluentes atmosféricos, referentes a refinarias situadas no espaço da União Europeia, elaborou-se um estudo estatístico das emissões gasosas médias destas unidades industriais.

Este estudo foi realizado com o objectivo de:

- determinar quais os poluentes que mais contribuem no conjunto das emissões gasosas totais de uma refinaria e como tal, aqueles cujos efeitos poderão ter maior impacto na qualidade do ar.
- obter os valores médios anuais reais de emissão de poluentes atmosféricos neste tipo de unidade industrial.
- comparar os valores obtidos com aqueles que são anunciados pela Refinería Balboa como previsões de futuras emissões.<sup>[11]</sup> Os valores indicados, no referido documento, foram obtidos por estimativa através do recurso a cálculos, admitindo que estes dependem directamente da quantidade de combustível queimado.

Este estudo revela-se muito importante no cumprimento dos objectivos do trabalho na medida em que, permite escolher os principais poluentes emitidos pelas refinarias bem como conhecer os seus valores de emissões médios em termos de caudal mássico.

Desta forma, consegue-se definir os poluentes para os quais é importante determinar os níveis de concentração numa área circunvizinha à descarga e consegue-se também definir qual o valor de caudal mássico que deve ser utilizado nesta determinação. Os poluentes escolhidos correspondem aqueles cuja contribuição para as emissões totais têm um peso mais significativo.

Para a realização deste estudo foram utilizados valores de emissões de poluentes referentes a amostragens pontuais realizadas em refinarias nos anos de 2006 e 2007.

Os poluentes que englobaram o estudo de emissões atmosféricas foram: Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Azoto (NO<sub>x</sub>), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Compostos Orgânicos Totais (COT), Sulfureto de Hidrogénio (H<sub>2</sub>S), Partículas, Fluoretos, Cloretos e Metais Pesados. Estes são os principais parâmetros que as refinarias se encontram obrigadas a monitorizar; contudo existem também outros parâmetros monitorizados, como Dioxinas e Furanos, Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAH's) e diversos Compostos Clorados, mas cuja relevância para este estudo é praticamente nula, uma vez que,

comparativamente com os poluentes escolhidos, se encontram em concentrações residuais no efluente gasoso.

No tratamento dos dados obtidos utilizou-se o conceito de “bolha comum”, que consiste, de uma forma sucinta, em avaliar as emissões de uma unidade industrial como um todo, ou seja, como se apenas existisse uma “chaminé virtual” que englobasse todas as chaminés existentes (fontes fixas de emissão). Assim, na realização do estudo, as emissões de cada poluente, para cada chaminé existente, foram somadas, dando origem a apenas uma emissão global de cada poluente numa “chaminé virtual”.

O conceito de “bolha comum” e as razões da sua utilização serão explicados de uma forma mais detalhada no ponto 2.3..

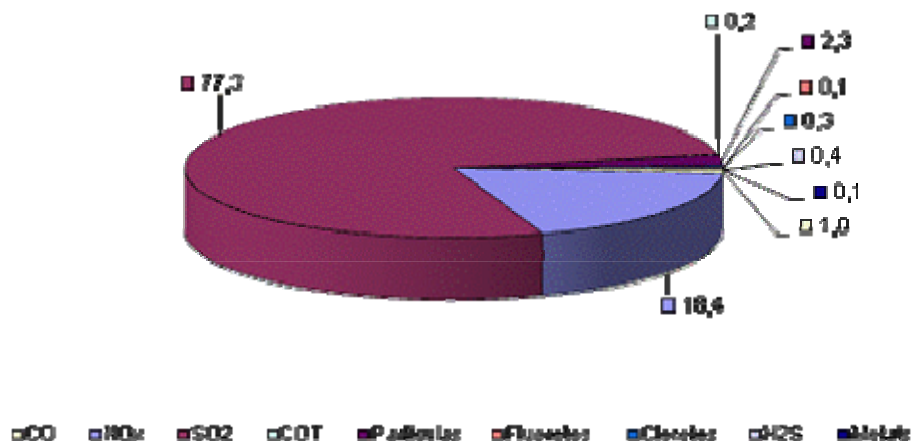
## **2.1. DETERMINAÇÃO DOS PRINCIPAIS POLUENTES EMITIDOS PELAS REFINARIAS**

Através do tratamento estatístico dos dados de emissão de poluentes atmosféricos provenientes de refinarias, realizou-se um inventário das suas emissões em 2006 e 2007 e posteriormente, determinou-se a contribuição de cada um dos poluentes para as emissões totais das refinarias.

### **2.1.1. CONTRIBUIÇÕES DE POLUENTES – INVENTÁRIO DE EMISSÕES DAS REFINARIAS NOS ANOS DE 2006/2007**

Como os dados utilizados se referem a amostragens realizadas em 2006 e 2007, apresentam-se os resultados obtidos para cada ano e para o conjunto dos dois anos.

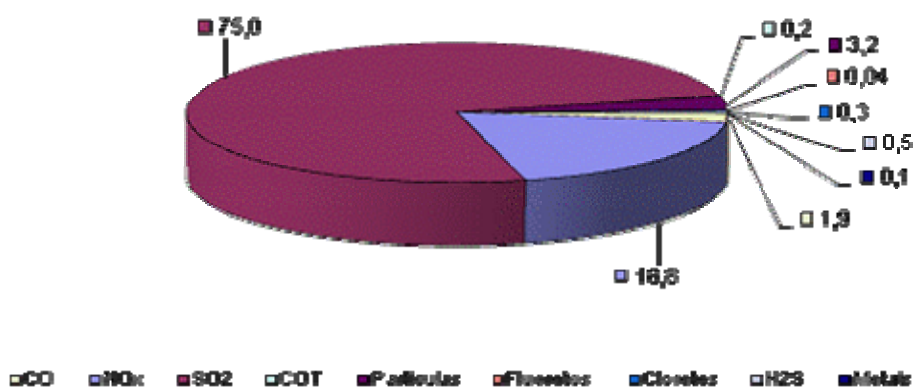
Os valores obtidos para a contribuição de cada poluente, para os dados referentes a 2006, encontram-se representados na figura seguinte.



**Figura 2.1.** Contribuições de cada poluente [%] para as emissões totais das refinarias em 2006

Através da análise dos resultados obtidos, facilmente se verifica que os poluentes com maior contribuição, destacados dos restantes, são o SO<sub>2</sub> e o NO<sub>x</sub> representando respectivamente 77,3% e 18,4% das emissões totais. Os restantes poluentes apenas representam, no seu conjunto, 4,4% das emissões totais.

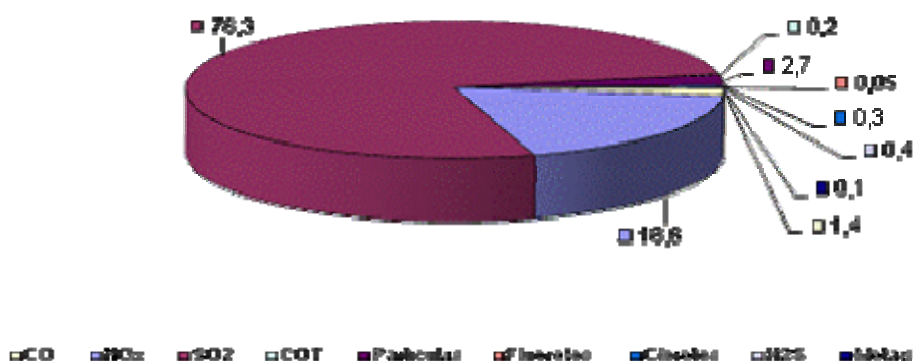
Para os dados referentes ao ano de 2007 obteve-se os resultados apresentados na figura seguinte.



**Figura 2.2.** Contribuições de cada poluente [%] para as emissões totais das refinarias em 2007

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que os poluentes com maior contribuição, destacados dos restantes, são o SO<sub>2</sub> e o NO<sub>x</sub> representando respectivamente 75,0% e 18,8% das emissões totais. Os restantes poluentes apenas representam 6,2% das emissões totais.

Em seguida, considerando os dados referentes a 2006 e a 2007 em conjunto, obteve-se os resultados apresentados na figura 2.2..



**Figura 2.3.** Contribuições de cada poluente [%] para as emissões totais das refinarias em 2006/2007

Através da análise dos resultados obtidos, verifica-se que, tal como para cada um dos anos analisados independentemente, os poluentes com maior contribuição, destacados dos restantes, são o SO<sub>2</sub> e o NO<sub>x</sub>, representando respectivamente 76,3% e 18,6% das emissões atmosféricas totais das refinarias em estudo. Os restantes poluentes apenas representam 5,1% das emissões atmosféricas totais.

Desta forma, torna-se evidente que os principais poluentes emitidos pelas refinarias, ou pelo menos, aqueles que maior peso representam nas suas emissões, são o SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>. São também estes os poluentes que o relatório fornecido pela Refineria Balboa atribui maior relevo.<sup>[11]</sup>

De acordo com os resultados do estudo efectuado anteriormente, será sobre estes dois poluentes, o SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, que incidirá o restante trabalho. Como tal, neste trabalho, realizar-se-á, para estes dois poluentes, a modelação do transporte e dispersão atmosférica, bem como a determinação dos níveis de concentração na área circunvizinha à descarga.

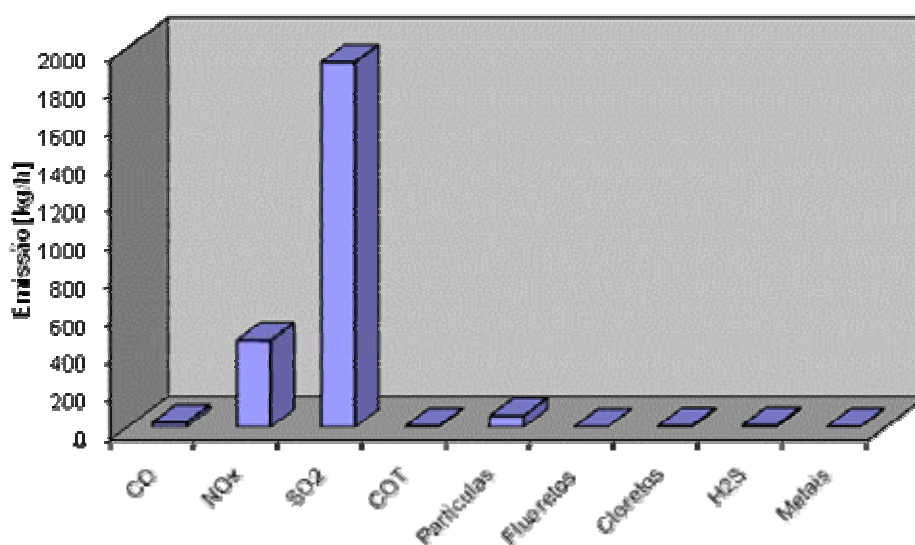
## **2.2. DETERMINAÇÃO DOS CAUDAIS MÁSSICOS MÉDIOS DOS POLUENTES EMITIDOS PELAS REFINARIAS**

Com base nos dados de emissão de poluentes atmosféricos provenientes de refinarias, determinou-se os caudais mássicos médios dos diversos poluentes emitidos pelas refinarias.

**2.2.1. CAUDAL MÁSSICO DOS POLUENTES – INVENTÁRIO DE EMISSÕES DAS  
REFINARIAS NOS ANOS DE 2006/2007**

Como estes dados se referem a amostragens realizadas em 2006 e 2007, apresentam-se os resultados obtidos para cada ano e considerando o conjunto dos dois anos.

Os valores obtidos para o caudal mássico médio de cada poluente, para os dados referentes a 2006, encontram-se representados na figura seguinte.



**Figura 2.4.** Emissões médias de cada poluente [kg/h] nas refinarias em 2006

Obteve-se respectivamente, para o NO<sub>x</sub> e o SO<sub>2</sub>, os caudais mássicos de aproximadamente 457 kg/h e 1924 kg/h, sendo que os restantes parâmetros em estudo, como se pode verificar através da figura apresentada, apresentam valores numa ordem de grandeza muito inferior.

Para os dados referentes ao ano de 2007 obteve-se os resultados apresentados na figura seguinte.

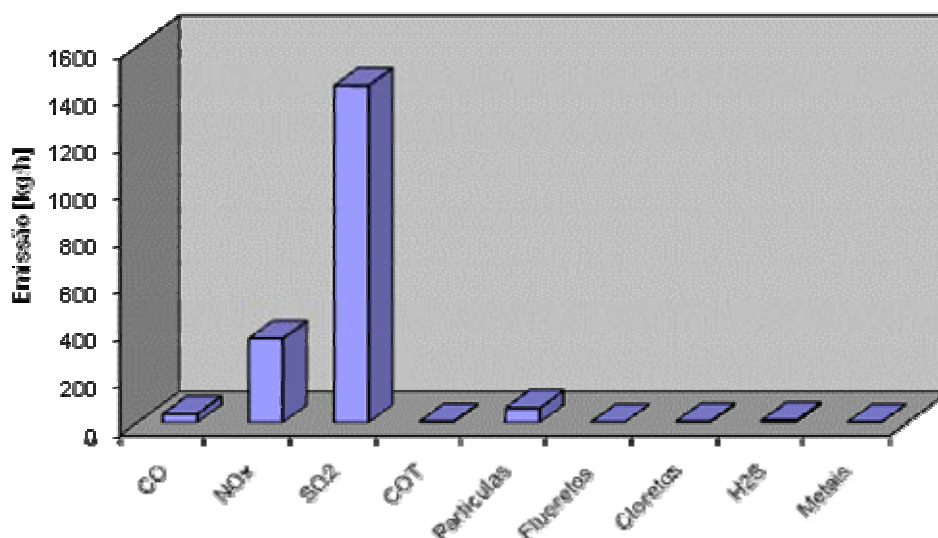


Figura 2.5. Emissões médias de cada poluente [kg/h] nas refinarias em 2007

Obteve-se respectivamente, para o  $\text{NO}_x$  e o  $\text{SO}_2$ , os caudais mássicos de aproximadamente 359 kg/h e 1432 kg/h, sendo que os restantes parâmetros em estudo apresentam, tal como nos dados referentes ao ano de 2006, valores numa ordem de grandeza muito inferior.

Considerando os dados referentes a 2006 e a 2007 em conjunto, obteve-se os resultados apresentados na figura seguinte.

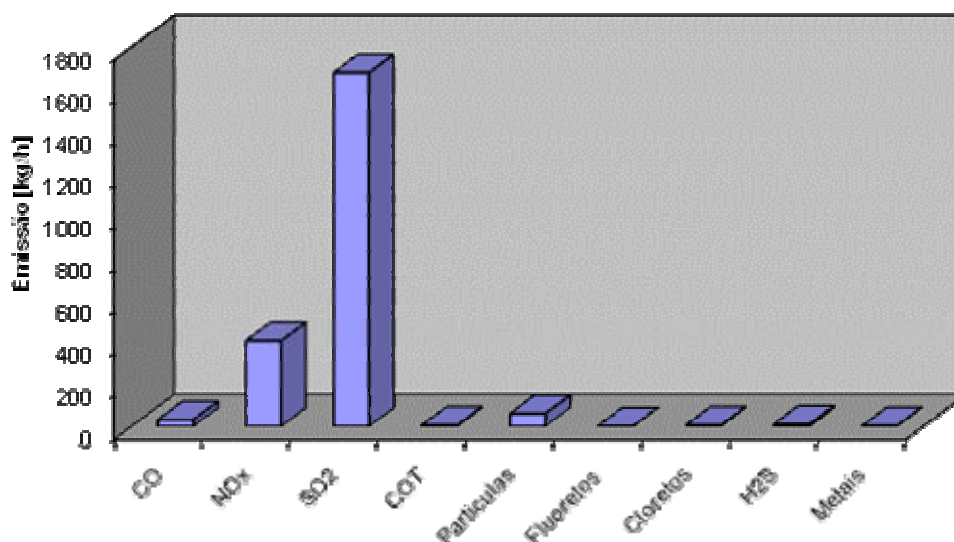


Figura 2.6. Emissões médias de cada poluente [kg/h] nas refinarias em 2006/2007

Obteve-se respectivamente, para o  $\text{NO}_x$  e o  $\text{SO}_2$ , os caudais mássicos de aproximadamente 408 kg/h e 1678 kg/h.

Para o conjunto dos dois anos determinou-se também, os resultados obtidos para o caudal mássico médio de cada poluente expressos em toneladas anuais [t/ano], toneladas diárias [t/dia] e em gramas por segundo [g/s].

Optou-se por apresentar as emissões expressas sob a forma de toneladas diárias para possibilitar uma comparação directa, mais evidente, com os valores fornecidos pela Refineria Balboa como previsões de futuras emissões e sob a forma de toneladas anuais para facilitar a visualização das emissões médias anuais de poluentes nas refinarias.

Obteve-se para as emissões médias anuais de  $\text{NO}_x$  e o  $\text{SO}_2$ , os valores de aproximadamente 3573 t/ano e 14699 t/ano, respectivamente e para as emissões médias diárias de  $\text{NO}_x$  e o  $\text{SO}_2$  os valores de 9,8 t/dia e 40,3 t/dia, respectivamente.

Para a determinação dos caudais mássicos médios de cada poluente em t/ano e t/dia, partindo dos valores no “estado bruto” em kg/h, admitiu-se que, as unidades fabris funcionam em laboração contínua, ou seja, durante 24 horas por dia, 365 dias por ano. Admitiu-se também que as capacidades usadas nos diversos processos que compõem as unidades fabris se mantêm semelhantes às que se encontravam nos períodos de realização das amostragens. Esta aproximação é necessária para a extrapolação dos resultados efectuada, uma vez que os dados que serviram para a elaboração do estudo não se tratam de valores obtidos continuamente ao longo do ano, mas sim de resultados de amostragens pontuais, que só são válidos para o respectivo período de amostragem.

A apresentação dos resultados obtidos para o caudal mássico médio de cada poluente expressos em gramas por segundo [g/s], facilitam uma futura inserção dos valores de emissão na modelação, uma vez que, estas são as unidades normalmente utilizadas, para o parâmetro emissão, na realização dos cálculos de modelação do transporte e dispersão atmosférica de poluentes

Obteve-se respectivamente, para o  $\text{NO}_x$  e o  $\text{SO}_2$ , os caudais mássicos médios de 113,3 g/s e 466,1 g/s.

Tendo em consideração que o universo de refinarias abrangido pelo estudo foi o mesmo nos dois anos (2006 e 2007), ao observar as emissões totais para qualquer um dos poluentes, verifica-se que existiu um decréscimo real das emissões por parte das

refinarias, pelo que aparenta existir uma crescente preocupação da indústria com a diminuição das suas emissões, trabalhando para a melhoria da qualidade do ar.

Contudo, esta verificação baseia-se apenas num inventário de dois anos, pelo que, para se poder fazer uma avaliação mais concreta da evolução das emissões de poluentes atmosféricos em refinarias seria necessário um histórico de dados mais completo e alargado no tempo.

### **2.3. CONCEITO DE “BOLHA COMUM”**

Como já foi referido anteriormente, no que às emissões atmosféricas diz respeito, nomeadamente no tratamento dos dados para a realização do estudo de emissões apresentado, analisou-se as emissões provenientes das unidades que compõem as refinarias, abrangidas pelo estudo, como uma emissão global comum.

Este conceito é conhecido como “bolha comum” e é também mencionado pela Refinería Balboa como a metodologia a utilizar futuramente para a avaliação, determinação e informação pública das suas emissões gasosas. Desta forma, a Refinería Balboa consegue alguma flexibilidade de operação nas diversas unidades de processo existentes e na selecção das diversas opções técnicas e comerciais, através de uma definição global das condições de emissão.

O conceito de “bolha comum” é uma ferramenta reguladora aplicada nas refinarias em diversos países da UE, de uma forma mais comum às emissões de SO<sub>2</sub>, mas que pode também ser aplicado a outros poluentes.

Como se exemplifica na figura 2.1., o conceito de “bolha comum” consiste em avaliar as emissões de uma refinaria como um todo, considerando que existe apenas uma única “chaminé virtual” que engloba todas as restantes chaminés existentes.

Este conceito é aplicado frequentemente nas indústrias de refinação.

As refinarias satisfazem as suas necessidades energéticas com uma variedade de combustíveis gasosos e líquidos que são maioritariamente subprodutos de diversos processos. O elevado volume de combustível consumido pelo sector da refinação, coloca-o destacado em primeiro lugar entre os custos operatórios, pelo que a flexibilidade dos consumos é uma ferramenta de primordial importância para alcançar competitividade no sector.<sup>[12]</sup>



**Figura 2.7.** Imagem exemplificativa do conceito de “bolha comum” <sup>[12]</sup>

Entre as diferentes formas de apresentar e controlar as emissões atmosféricas, que se encontram intimamente relacionadas com as propriedades do combustível, o conceito de “bolha comum” é aquele que melhor permite conjugar a necessária flexibilidade com rigor no acompanhamento e controlo destas.<sup>[12]</sup>

O próprio BREF (Best Available Techniques Reference Document)<sup>[12], [13]</sup> do sector de refinação destaca as seguintes justificações para a implementação deste conceito:

- Justificação Técnica: devido à elevada complexidade das instalações, dado o elevado número de pontos de emissão e a crescente inter-relação, técnica e económica, entre as cargas de alimentação, tipos de processo e variação das diferentes condições de operação, de forma a conseguir-se um espectro de produtos que cumpram as especificações de qualidade, é mais coerente e correcto controlar as emissões de uma refinaria como um conjunto do que como uma série de instalações independentes.

- Justificação Económica: ao poder utilizar na refinaria, em diferentes planos e distintas ocasiões, os vários combustíveis que se produzem internamente, permite-se ao operador: eleger o ponto ou unidade de actuação mais efectivo economicamente, responder a oportunidades no mercado relativamente a situações de oferta e procura dos produtos petrolíferos e operar efectivamente numa conjuntura competitiva.

- Justificação Ambiental: cabe às entidades competentes a definição dos valores de emissão admissíveis, em consonância com os seus objectivos para a qualidade do ar; contudo com o conceito de “bolha comum” permite-se aos responsáveis da refinaria flexibilidade na operação das suas unidades processuais e na selecção das diversas

opções técnicas e económicas que cumprem com os requisitos energéticos e condições exigidas. Além disso, facilita grandemente a comparação das emissões entre as refinarias, bem como a sua prestação técnico-ambiental.<sup>[12], [13]</sup>

Em seguida apresenta-se, na tabela 2.1, as principais metodologias existentes para a análise das emissões atmosféricas de uma refinaria, bem como para a determinação dos valores limite de emissão a serem respeitados, com referência às vantagens e inconvenientes de cada uma delas.

**Tabela 2.1.** Principais metodologias existentes para análise das emissões<sup>[12]</sup>

	Método		
	“Bolha Comum”	Individualizado	Misto
<b>Características</b>	Considera a refinaria como um conjunto único	Analisa unidade por unidade	Existe uma matriz conjunta que inclui a maioria das instalações e um tratamento individualizado para outras instalações específicas
<b>Vantagens</b>	Simple de implementar e controlar	Muito rigoroso, considera todas as unidades	Reúne as melhores características de ambos
<b>Inconvenientes</b>	Ignora instalações secundárias	Pouco flexível e difícil de implementar	Implementação difícil

### **3. CARACTERÍSTICAS DA REFINERÍA BALBOA E PREVISÃO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS**

#### **3.1. UMA VISÃO GERAL DA REFINERÍA BALBOA**

Para a obtenção de todas as informações relativas à Refinería Balboa, que são referidas neste ponto do trabalho, tais como, características da refinaria, combustíveis utilizados, medidas de minimização de contaminação ambiental, tecnologias utilizadas e previsão de emissões, recorreu-se ao documento: *Memoria-Resumen: "Proyecto para la instalación de una Refinería de Petróleo en Extremadura"*<sup>[11]</sup>, elaborado pelo Grupo Alfonso Gallardo, responsável pela implementação da refinaria.

Convém também salvaguardar, como é indicado no referido documento, que estes dados são preliminares e estão sujeitos a possíveis modificações; contudo permitem fornecer uma ideia geral do projecto.

A Refinería Balboa terá uma capacidade nominal de tratamento de 110000 barris de crude por dia e capacidade para produzir 5341700 toneladas por ano de produtos petrolíferos.

A refinaria em pleno rendimento, de acordo com as previsões de evolução do mercado espanhol, garantirá a produção de 35% do querosene e 20% do gasóleo, que actualmente são importados. Prevê-se também uma diminuição em 20% nas importações de coque de petróleo, subproduto utilizado como combustível industrial.

Em seguida, apresenta-se uma tabela resumo da produção anual prevista da Refinería Balboa.

**Tabela 3.1.** Produção anual prevista da Refinería Balboa<sup>[11]</sup>

<b>Produto</b>	<b>Quantidade Anual [t/ano]</b>	<b>Fracção em peso da produção total [%]</b>
<b>Gases de Petróleo Liquefeitos (GPL's)</b>	232750	4,4
<b>Gasolinas</b>	1129450	21,1
<b>Gasóleos</b>	2868250	53,7
<b>Querosene</b>	506100	9,5
<b>Coque de Petróleo</b>	503650	9,4
<b>Enxofre</b>	101500	1,9

Estes produtos apresentam diferentes características e aplicações que se apresentam na tabela seguinte.

**Tabela 3.2.** Características e aplicações dos produtos obtidos na Refineria Balboa<sup>[11]</sup>

<b>Principais Produtos</b>				
<b>Fracção</b>	<b>Produto</b>	<b>Temperatura ebulição</b>	<b>Cadeia</b>	<b>Aplicações</b>
Fracções ligeiras	<b>GPL's (Propano e Butano)</b>	<20 °C	C <sub>3</sub> – C <sub>4</sub>	Combustível
	<b>Gasolina directa</b>	40 – 150 °C	C <sub>5</sub> – C <sub>9</sub>	Combustível para automóveis
Fracções médias	<b>Querosene</b>	170 – 250 °C	C <sub>13</sub> – C <sub>17</sub>	Combustível para reactores
	<b>Gasóleo</b>	250 – 320 °C	C <sub>17</sub> – C <sub>20</sub>	Combustível para automóveis
<b>Outros Produtos</b>				
<b>Produto</b>	<b>Unidade de produção</b>		<b>Aplicações</b>	
<b>Coque de Petróleo</b>	Unidade de coqueificação		Combustível industrial	
<b>Enxofre</b>	Unidade de enxofre		Química do enxofre	

Os combustíveis produzidos pela Refineria Balboa serão de alta qualidade e de baixo conteúdo em enxofre, cumprindo as especificações de produto normativas que entram em vigor em 2009 (conteúdo em enxofre inferior a 10 partes por milhão).

Este aspecto permitirá aos automóveis de nova geração usar de forma mais eficaz os seus sistemas catalíticos e cumprir os requisitos, para o sector, de redução de emissões.

### **3.2. TECNOLOGIAS UTILIZADAS E REDUÇÃO DO POTENCIAL CONTAMINANTE**

A Refineria Balboa é uma refinaria projectada para satisfazer as políticas ambientais actualmente em vigor, cada vez mais exigentes.

A instalação foi projectada e será construída e operada de acordo com as Melhores Técnicas Disponíveis (MTD's) para o sector da refinação. Não só as incorpora nos processos produtivos, mas também na redução do seu potencial impacto no meio ambiente.

Assim, além de estar a ser projectada para se conseguir um elevado grau de conversão dos produtos nobres (gasóleos e gasolinas), com ambição de produção quase nula de produtos residuais e pesados como o fuel-óleo e o asfalto, também contemplará a máxima integração energética possível, o que pressupõe menor consumo de energia e, conseqüentemente, menores emissões possíveis por unidade de produção.

O projecto da refinaria pressupõe também a aplicação em exclusivo de combustíveis gasosos e a implementação massiva de queimadores de baixa emissão de NO<sub>x</sub>.

As situações descritas proporcionam uma série de vantagens, tais como: utilização de avançada tecnologia, contribuição para a sustentabilidade dos recursos e redução do potencial contaminante.

A selecção de um determinado esquema de refinação depende de três factores fundamentais: o mercado a que se dirige, a produção e as características do crude que se pretende refinar. A este nível consideram-se também os possíveis impactos no meio ambiente, tentando a minimização destes.

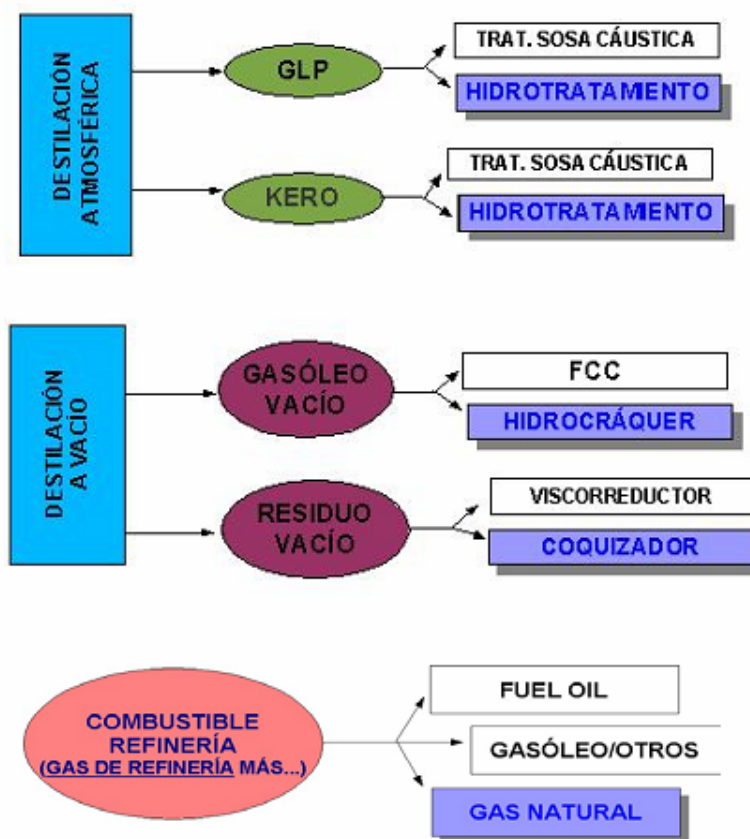
Não descorando as exigências do mercado e os aspectos produtivos, a Refinería Balboa incorpora as unidades mais eficientes e menos contaminantes possíveis, de forma a reduzir o seu potencial contaminante.

No projecto da refinaria adoptaram pela incorporação de um coquizador para o processamento do resíduo de vácuo, em detrimento do redutor de viscosidade. Esta unidade elimina a produção de resíduos pesados, o que se traduz num maior rendimento na formação de destilados.

No mercado espanhol, existem excedentes em gasolina e fortes deficits em gasóleo e querosene. Como tal, é objectivo da Refinería Balboa adoptarem pela utilização de um sistema de hidrocraqueamento, processo este com maior rendimento na produção de gasóleos face ao sistema FCC e muito mais amigo do meio ambiente em geral e da qualidade do ar em particular.<sup>[12]</sup>

As fracções de GPL's obtidas durante o processo de destilação atmosférica, serão tratadas recorrendo ao processo de hidrotratamento, para eliminar substâncias indesejáveis e garantir as especificações pretendidas. Este processo é menos contaminante que o comum tratamento com soda cáustica, já que elimina a necessidade de utilizar soluções químicas de difícil tratamento.<sup>[12]</sup>

De acordo com o exposto anteriormente e tendo em conta critérios económicos, tecnológicos e ambientais, apresenta-se, no esquema seguinte, de forma resumida esquematicamente, a configuração obtida para a Refinaria Balboa. De notar que as opções seleccionadas encontram-se a azul.



**Figura 3.1.** Critérios tecnológicos considerados na configuração da Refinaria Balboa<sup>[11]</sup>

### 3.3. EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PREVISTAS

O meio atmosférico é aquele que é mais afectado pela actividade de uma refinaria. Como na maior parte das actividades industriais, não é possível a completa eliminação de determinados contaminantes característicos, mas pode-se reduzir essas emissões de forma a cumprir a legislação em vigor. Para minimizar o seu impacto existe total consenso, no sector da refinação, nas linhas de actuação a seguir, a saber:<sup>[12]</sup>

- Melhoria da eficiência energética, que se traduz em menor quantidade de combustível queimado;
- Utilização das Melhores Tecnologias Disponíveis (MTD's);
- Substituição de combustíveis líquidos por gasosos previamente dessulfurados;

- Implementação de um Sistema de Gestão Ambiental de reconhecimento internacional.

Uma refinaria emite efluentes gasosos por dois mecanismos principais, em que aproximadamente 60% das emissões são procedentes de processo de obtenção de energia e aproximadamente 40% do consumo de energia em processos de refinação de crude.<sup>[11], [14]</sup> Como tal, a eficiência energética da instalação influencia directamente as emissões atmosféricas da unidade industrial.

Segundo o “*Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector refino de petróleo*” do Ministerio de Medio Ambiente<sup>[12]</sup>, desde os anos 90 que as refinarias espanholas reduziram o seu consumo energético em 16%. A Refinería Balboa espera atingir um decréscimo energético de 25% relativamente às refinarias dos anos 90, através de uma integração térmica das unidades de processo. Esta integração incluirá: a projecção de unidades para máximo aproveitamento de correntes energéticas, o pré-aquecimento de cargas de alimentação a reactores por utilização de efluentes da refinaria, integração de sistemas de vapor e condensado e de sistemas de água de refrigeração e, aplicação de sistemas de Autogeração/Cogeração.

Consideram-se que as emissões para o meio ambiente de uma refinaria dependem em grande medida dos combustíveis utilizados. Numa refinaria existem distintos processos de combustão com o objectivo de fornecer a energia necessária para cada unidade do sistema de refinação.

No caso da Refinería Balboa o combustível a utilizar será do tipo gasoso, formado por gases de refinaria tratados (416 t/dia, aproximadamente) e gás natural (892 t/dia, aproximadamente)<sup>[11]</sup> Parte destas necessidades serão supridas pelos sistemas de recirculação de gases da própria refinaria, como é comum no sector.

A utilização dos combustíveis gasosos em substituição dos líquidos é uma vantagem ambiental, no que concerne às emissões atmosféricas.<sup>[12]</sup>

Para as emissões atmosféricas previstas para Refinería Balboa, apenas se vai fazer referência, aos poluentes que apresentam maior contribuição para as emissões globais das refinarias, conforme o estudo de emissões atmosféricas realizado e apresentado no ponto 2. do presente trabalho.

### 3.3.1. EMISSÕES PREVISTAS DE SO<sub>2</sub>

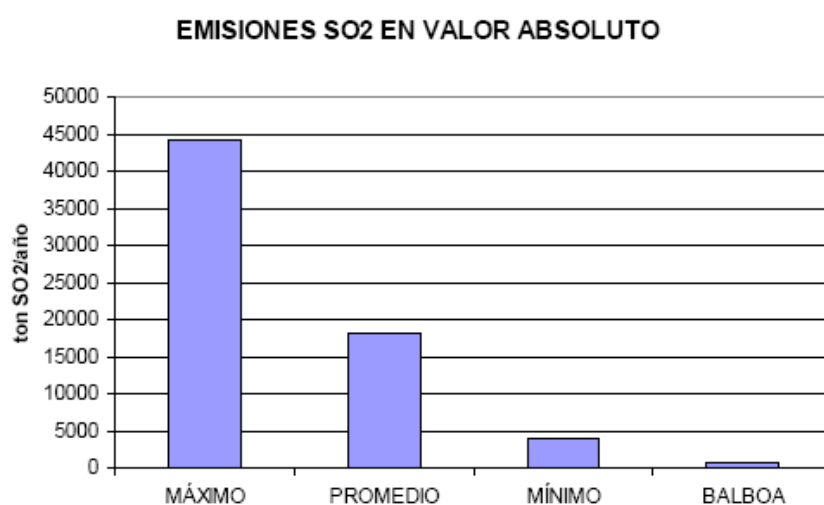
As emissões atmosféricas de SO<sub>x</sub> numa refinaria apresentam-se maioritariamente sob a forma de SO<sub>2</sub>.

Ao adoptar o uso das MTD's para o sector, a Refinería Balboa contemplará uma configuração com a máxima integração energética possível, orientada para a minimização dos níveis de emissão. Para conseguir esta minimização, utiliza as estratégias propostas pelo “*Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector refino de petróleo*” do Ministerio de Medio Ambiente<sup>[12]</sup>, que no caso concreto do SO<sub>2</sub> são as seguintes:

- Redução do conteúdo de enxofre nos combustíveis;
- Aumento do rendimento dos processos de recuperação de enxofre, que terá que ser superior a 98,5%;
- Exclusão da unidade FCC, uma das unidades com maior potencial de contaminação numa refinaria.

Tendo em conta estas estratégias, o estudo de configuração realizado para a Refinería Balboa estima que, a quantidade de SO<sub>2</sub> emitido pela refinaria será de aproximadamente 2,0 t/dia, o que corresponderá a aproximadamente 172 mg/Nm<sup>3</sup> com um excesso de oxigénio de 3%.

Apresenta-se em seguida, na figura 3.2., a comparação do valor obtido com os valores máximos, médios e mínimos obtidos para o universo de refinarias espanholas, elaborado a partir do Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, 2001.<sup>[15]</sup>



**Figura 3.2.** Comparação entre os valores de SO<sub>2</sub> emitidos pelas refinarias espanholas<sup>[11]</sup>

### **3.3.2. EMISSÕES PREVISTAS DE NO<sub>x</sub>**

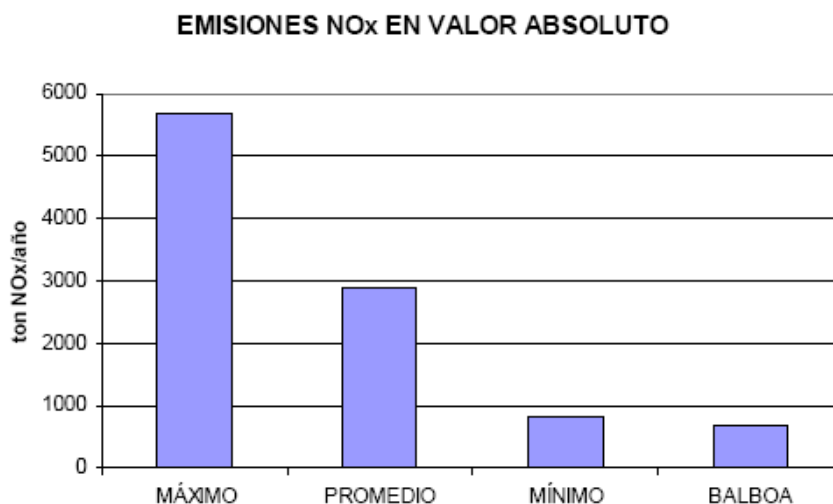
As emissões atmosféricas de NO<sub>x</sub> numa refinaria são compostas por 90-95% de NO e o restante por NO<sub>2</sub> e são formadas maioritariamente durante os processos de combustão.

Para minimizar as emissões de NO<sub>x</sub>, a Refinería Balboa baseia-se nas estratégias propostas pelo “*Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector refino de petróleo*” do Ministerio de Medio Ambiente<sup>[12]</sup>, que são as seguintes:

- Antes da combustão – utilização de combustíveis com baixo teor de azoto;
- Durante a combustão – utilização de queimadores especiais, denominados de queimadores de “baixo NO<sub>x</sub>”.

Tendo em conta estas estratégias, os cálculos preliminares efectuados pelo estudo de configuração realizado para a Refinería Balboa permitem estimar que as emissões de NO<sub>x</sub> (expressas como NO<sub>2</sub>) da refinaria serão de aproximadamente 1,9 t/dia, o que corresponderá a aproximadamente 165 mg/Nm<sup>3</sup> com um excesso de oxigénio de 3%.

Apresenta-se em seguida, na figura 3.3., a comparação do valor obtido com os valores máximos, médios e mínimos obtidos para o universo de refinarias espanholas, elaborado a partir do Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, 2001.<sup>[15]</sup>



**Figura 3.3.** Comparação entre os valores de NO<sub>x</sub> emitidos pelas refinarias espanholas<sup>[11]</sup>

### 3.4. O ÍNDICE DE COMPLEXIDADE

Qualitativamente é bastante claro o significado do termo “complexidade” ao falar de uma refinaria; contudo torna-se mais complicado quando se pretende estabelecer alguma classe de quantificação a esta propriedade. Como tal, expressar a partir de um único indicador as características de uma refinaria não é tarefa fácil.

Ao longo de 150 anos foram propostos inúmeros métodos para realizar esta avaliação e entre eles destaca-se o método proposto por W.L. Nelson na década de sessenta, apesar de não se encontrar isento de objecções.

De seguida, apresenta-se na figura 3.4. o Índice Nelson de Complexidade para as refinarias europeias existentes, já com a inclusão da futura Refinería Balboa.

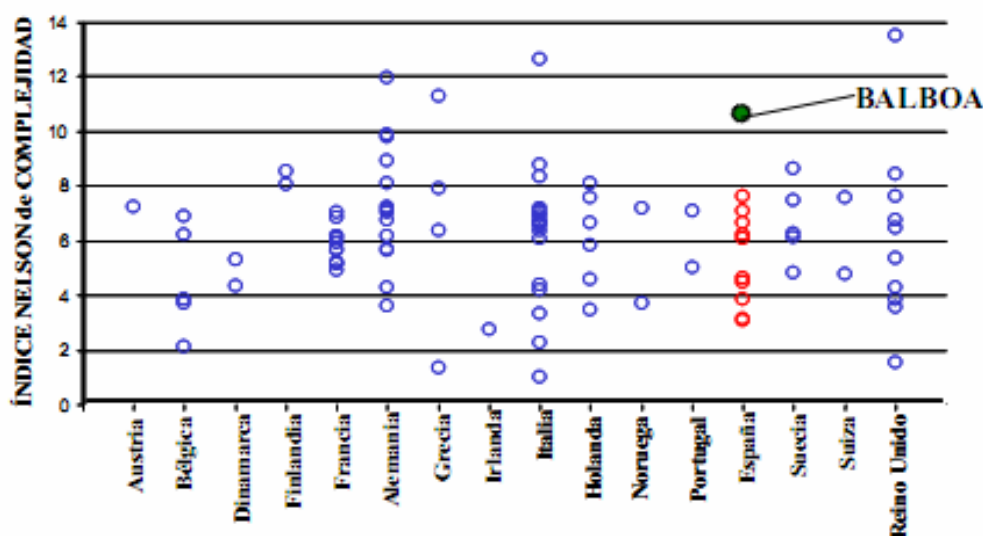


Figura 3.4. Índice Nelson de Complexidade para as refinarias europeias<sup>[11], [12]</sup>

Através da figura apresentada, verifica-se que a Refinería Balboa se posicionará entre as refinarias europeias mais complexas, obtendo o valor de 10,49, superado apenas por quatro refinarias, sendo que o valor médio europeu para o Índice Nelson de Complexidade é de 6,1.

Existem também outro tipo de avaliações aplicadas, com alguma frequência, ao sector da refinação, tais como: a capacidade de conversão equivalente e a capacidade equivalente de destilação.<sup>[12]</sup>

#### **4. A INFLUÊNCIA DA UNIDADE FCC (CRAQUEAMENTO CATALÍTICO EM LEITO FLUIDIZADO) NAS REFINARIAS**

As informações fornecidas neste ponto basearam-se no “*Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector refino de petróleo*” do Ministerio de Medio Ambiente.<sup>[12]</sup>

O craqueamento catalítico é o processo de conversão mais utilizado nas refinarias para a obtenção de fracções ligeiras mais valiosas a partir de hidrocarbonetos pesados.

Habitualmente, a principal matéria-prima que se utiliza na unidade FCC é o gasóleo de vácuo e pequenas quantidades de resíduo atmosférico. Se a refinaria dispõe de crude com baixo teor de contaminantes, é frequente alimentar-se uma pequena proporção, até 10%, do correspondente resíduo atmosférico.

Comparando com outros processos de conversão, o FCC é o mais adequado para tratar alimentações com elevado teor de metais e enxofre e caracteriza-se por um rendimento relativamente elevado na produção de gasolinas de boa qualidade e em correntes C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, que servem de alimentação às unidades de esterificação, alquilação e petroquímica. Um aspecto negativo da conversão utilizando o FCC é a baixa qualidade obtida nos destilados médios em termos de enxofre, aromáticos e índice de cetano, bem como a falta de flexibilidade para alterar o espectro de produtos.

Actualmente, existem em todo o mundo diversos tipos de sistemas FCC em funcionamento, sendo que basicamente pertencem todos a dois grandes grupos: regenerador de combustão completa ou regenerador parcial com caldeira adicional para combustão do Monóxido de Carbono. O catalisador utilizado depende em grande medida do tipo de produto requerido e pode ter diversas origens.

Dentro de uma refinaria, uma das fontes com maior potencial de contaminação atmosférica é o FCC.

As emissões atmosféricas provêm principalmente do regenerador, um equipamento integrante da unidade FCC, e que são formadas por CO, NO<sub>x</sub>, partículas e SO<sub>2</sub>.

Segundo os documentos: “*Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector refino de petróleo*” do Ministerio de Medio Ambiente<sup>[12]</sup> e “*Petroleum Industry: Fluid Catalytic Cracking Unit*” de EGTEI (Expert Group on Techno-Economic Issues)<sup>[16]</sup>, as emissões provenientes da unidade FCC podem representar entre 20-30% das emissões totais de SO<sub>2</sub>, 15-30% das emissões de NO<sub>x</sub> e 30-40% das emissões de partículas.



## **5. CONSIDERAÇÕES EFECTUADAS E COMPARAÇÃO COM A REFINERÍA BALBOA**

Neste ponto realiza-se a possível comparação entre a Refinería Balboa e as refinarias abrangidas pelo estudo de emissões atmosféricas elaborado e previamente apresentado.

### **5.1. CAPACIDADES PRODUTIVAS**

Relativamente às capacidades produtivas, obteve-se para as refinarias abrangidas pelo estudo de emissões atmosféricas o valor de 7250000 toneladas por ano de produtos petrolíferos, enquanto que a Refinería Balboa apresentará uma capacidade para produzir 5341700 toneladas por ano de produtos petrolíferos.

### **5.2. MTD'S (MELHORES TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS) E UNIDADE FCC**

As refinarias abrangidas pelo estudo de emissões atmosféricas utilizam, tal como a Refinería Balboa, as melhores tecnologias disponíveis (MTD's), sendo que esta situação é referida nas respectivas Licenças Ambientais.

Segundo as Licenças Ambientais<sup>[17], [18], [19]</sup>, a actividade de refinação deve ser realizada tendo em atenção as medidas de boas práticas e melhores técnicas/tecnologias actualmente disponíveis que englobam medidas de carácter geral, medidas de implementação ao longo do processo produtivo e no tratamento de fim-de-linha, estando prevista a minimização das emissões.

Estas medidas vão de encontro ao previsto por algumas das técnicas identificadas como Melhores Técnicas Disponíveis (MTD's) nos seguintes Documentos de Referência específicos da actividade:

- *Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries BREF*, Comissão Europeia (JOC 40, de 19 Fevereiro de 2003);<sup>[20]</sup>
- *Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries BREF*, Comissão Europeia (JOC 40, de 19 Fevereiro de 2003);<sup>[21]</sup>
- *Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector – BREF WWWG*, Comissão Europeia (JOC 12, de 16 de Janeiro de 2002);<sup>[22]</sup>
- *Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage – BREF ESB* (JO C 253, de 19 de Outubro de 2006);<sup>[23]</sup>

- *Reference Document on the Application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems* – BREF CV, Comissão Europeia (JOC 12, de 16 de Janeiro de 2002);<sup>[24]</sup>
- *Reference Document on the General Principles of Monitoring* – BREF MON, Comissão Europeia (JOC 170, de 19 de Julho de 2003).<sup>[25]</sup>

As instalações de refinação são obrigadas a demonstrar, de forma completa e detalhada, a situação do processo de fabrico de produtos petrolíferos refinados face às MTD's preconizadas, nomeadamente através de um plano de acções estabelecido no sentido da melhoria contínua do desempenho ambiental da instalação e que evidencie a garantia da instalação conseguir, de uma forma consistente, o cumprimento dos Valores de Emissão Aplicáveis (VEA), em particular para os parâmetros NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>, equacionando:<sup>[12], [17], [18]</sup>

- a implementação de tecnologias alternativas/complementares mais eficientes para a minimização das emissões de NO<sub>x</sub>, designadamente o uso de queimadores de “baixo NO<sub>x</sub>” e/ou de sistemas de tratamento de fim-de-linha do tipo SCR/SNCR (Redução Selectiva Catalítica/Redução Selectiva Não Catalítica);

- a implementação de medidas e tecnologias que permitam o cumprimento do VEA para o poluente SO<sub>2</sub>, nomeadamente a melhoria da eficiência energética, a redução do conteúdo de enxofre no combustível, dessulfurar os efluentes de combustão, actuar sobre as unidades FCC e de recuperação de enxofre e aplicação de sistemas de tratamento de redução catalítica do tipo De-SO<sub>2</sub>.

As refinarias devem também elaborar e implementar um Sistema de Gestão Ambiental.  
[17], [18]

Contudo, apesar de todas as exigências serem cumpridas actualmente pelas refinarias abrangidas no estudo de emissões atmosféricas, a Refinería Balboa apresenta a vantagem evidente de ser um projecto actual, estar a ser desenvolvida numa época muito mais hostil em termos de exigências ambientais. Como tal, pode também apresentar um maior potencial de evolução face a exigências futuras.

Outra situação que é importante referir é o facto de as refinarias abrangidas no estudo de emissões atmosféricas utilizarem a unidade processual FCC na sua configuração.

### **5.3. EMISSÕES ATMOSFÉRICAS**

Relativamente às emissões de poluentes atmosféricos, nomeadamente o SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, as previstas para a Refinería Balboa são bastante inferiores, diga-se mesmo ambiciosas, relativamente às obtidas através do estudo de emissões de poluentes atmosféricos.

Com o estudo de emissões atmosféricas obteve-se o valor de emissão de 9,8 t/dia para o NO<sub>x</sub> e 40,3 t/dia para o SO<sub>2</sub>, enquanto que as emissões previstas para a Refinería Balboa são de 1,9 t/dia para o NO<sub>x</sub> e 2,0 t/dia para o SO<sub>2</sub>, representando um diferencial bastante substancial.

É importante referir que os valores indicados, constantes no documento: *Memoria-Resumen: "Proyecto para la instalación de una Refinería de Petróleo en Extremadura"*<sup>[11]</sup>, foram obtidos por estimativa.

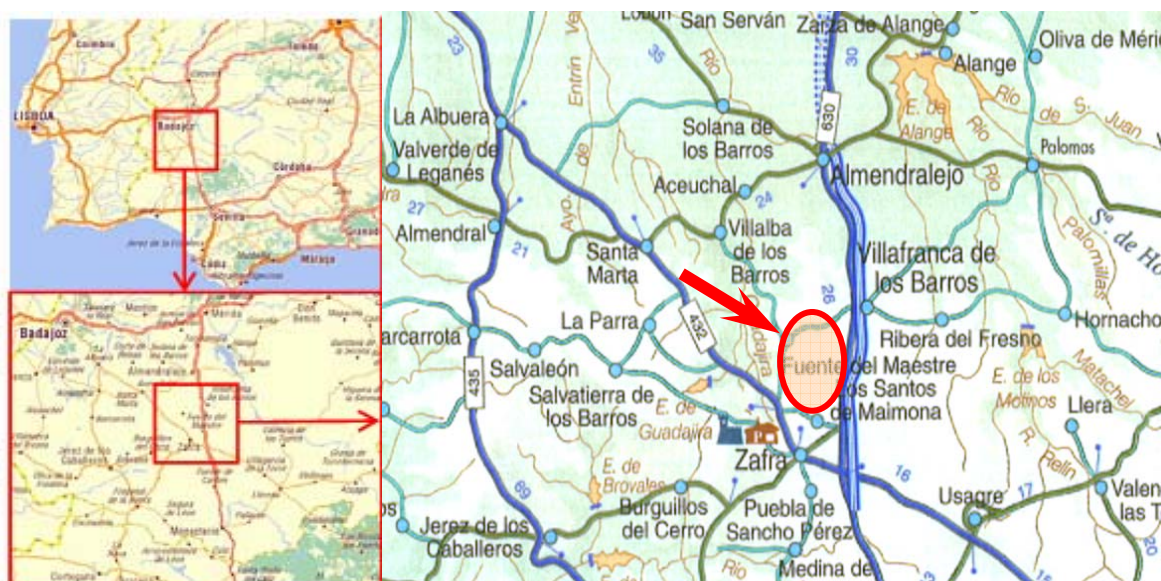
Verifica-se que os valores resultantes do estudo de emissões atmosféricas, que abrange diversas refinarias europeias, são bastante próximos daqueles que representam a média espanhola para o sector, como se pode verificar através da análise da figura 3.3 e da figura 3.4..



## 6. LOCALIZAÇÃO DA FONTE DE EMISSÃO E DOS PONTOS RECEPTORES

### 6.1. LOCALIZAÇÃO DA FONTE DE EMISSÃO (REFINERÍA BALBOA)

A parcela seleccionada pela Sociedad Refinería Balboa, S.A. para a implementação da instalação industrial está localizada na província de Badajoz, no município de Los Santos de Maimona. A sua localização encontra-se representada nas três figuras seguintes.



**Figura 6.1.** Localização geral da implementação da Refinería Balboa<sup>[11]</sup>



**Figura 6.2.** Imagem aérea da implementação<sup>[11]</sup>

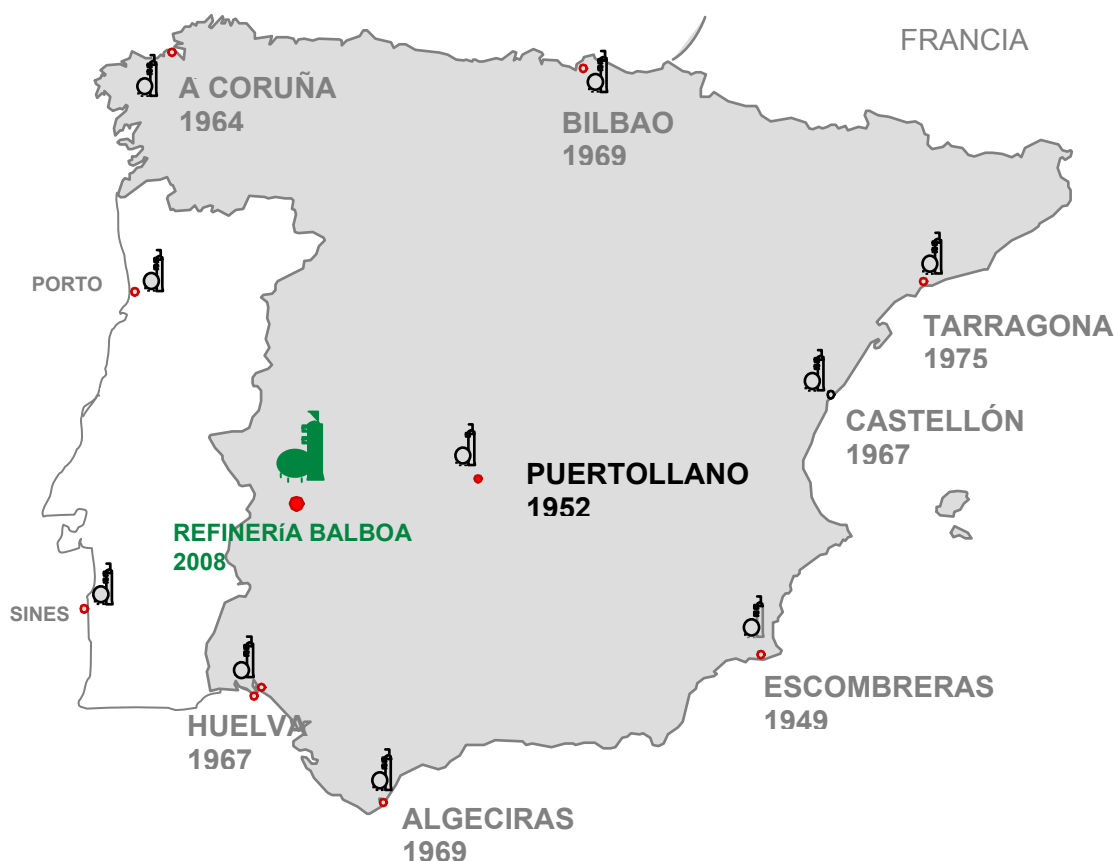
Segundo a Refinería Balboa<sup>[11]</sup>, a localização escolhida cumpre com os requisitos para este tipo de instalações, nomeadamente quanto ao espaço necessário disponível, distância a núcleos populacionais (o mais perto é Fuente del Maestro a 6 km), acesso à rede de gasodutos, proximidade a linhas eléctricas e disponibilidade de água. Encontra-se distanciado a mais

de 10 km de qualquer superfície considerada como espaço natural protegido.



**Figura 6.3.** Vista da parcela que acolherá as instalações da Refinería Balboa<sup>[11]</sup>

Actualmente existem dez refinarias na Península Ibérica e a sua localização e distribuição encontra-se representada na figura 6.4..

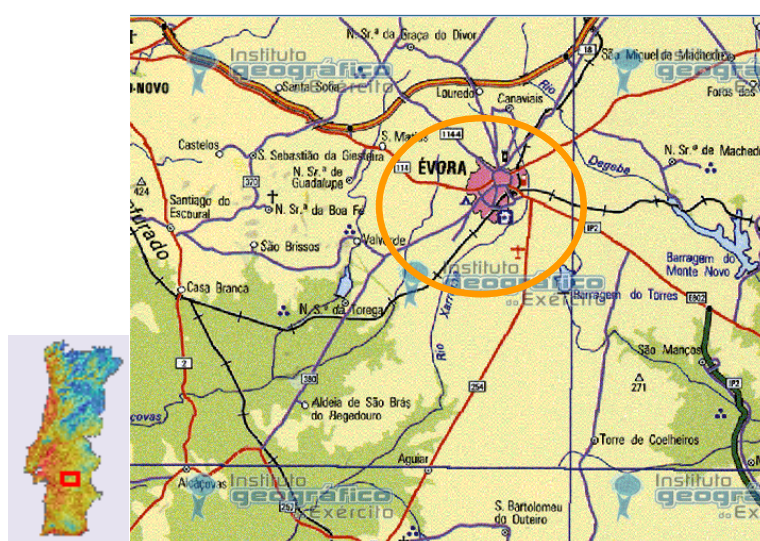


**Figura 6.4.** Localização das refinarias existentes na Península Ibérica<sup>[26]</sup>

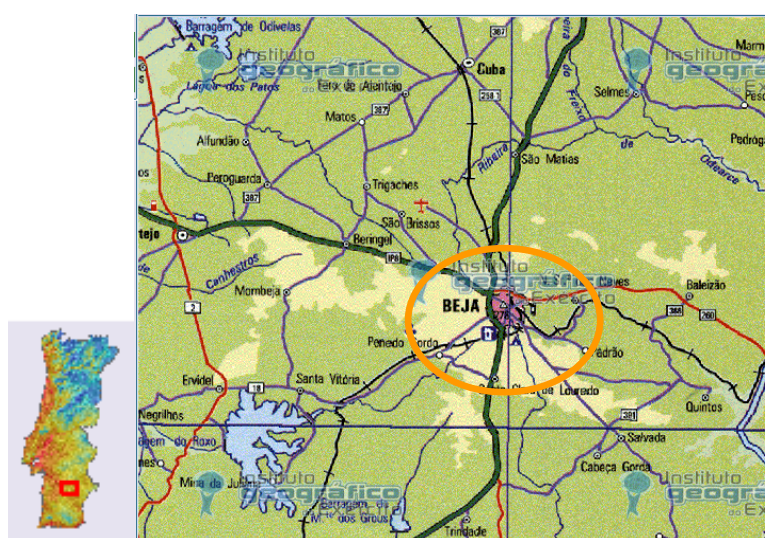
## **6.2. LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS RECEPTORES (ÉVORA E BEJA)**

Neste ponto apresenta-se a localização geográfica dos locais em que se procederá à avaliação do impacto que as emissões gasosas da Refinaria Balboa poderão ter na qualidade do ar, nomeadamente através da determinação da concentração ao nível do solo dos principais poluentes emitidos.

Escolheu-se, como locais para realizar esta avaliação, os centros populacionais portugueses que se encontram mais próximos da localização da futura refinaria, que são Évora, Beja e consequentemente Moura, por se encontrar entre a fonte emissora e Beja.

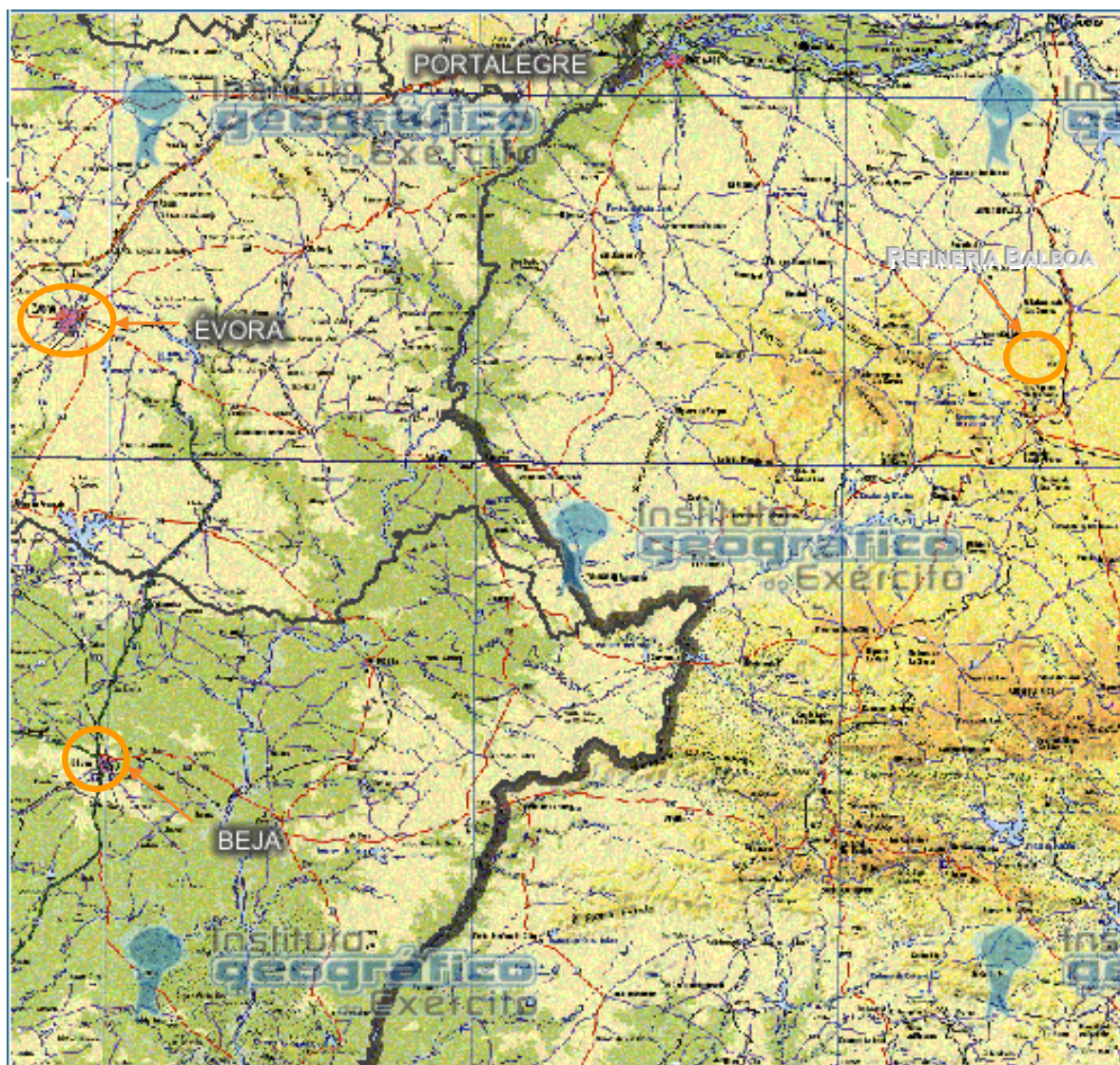


**Figura 6.5.** Localização geográfica de Évora<sup>[27]</sup>



**Figura 6.6.** Localização geográfica de Beja<sup>[27]</sup>

Em seguida apresenta-se na figura 6.7., as posições relativas de Évora e Beja face à localização da Refinaria Balboa.



**Figura 6.7.** Localização geográfica relativa de Évora e de Beja face à Refinaria Balboa<sup>[27]</sup>

## 7. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DOS POLUENTES NO<sub>x</sub> E SO<sub>2</sub> – DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES INICIAIS

Para a realização da modelação do transporte e dispersão dos poluentes atmosféricos considerados para a Refinaria Balboa, utilizou-se um modelo gaussiano de pluma em estado estacionário.

Estes modelos gaussianos constituem a maioria dos modelos de poluição atmosférica e são baseados numa equação que descreve um campo de concentração tridimensional, gerado por uma fonte pontual sob condições de emissão e meteorológicas estacionárias.<sup>[2], [3], [6]</sup>

As concentrações de poluentes num ponto qualquer (x,y,z), resultante de uma emissão a partir de uma fonte pontual de coordenadas (0,0,H), no sistema de eixos utilizado, são determinadas pela seguinte equação:

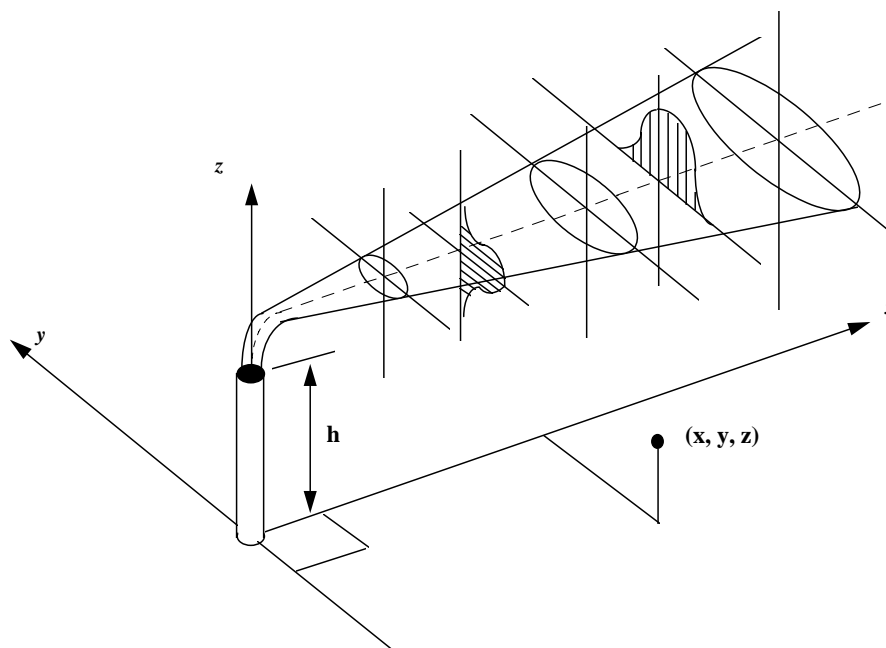
$$C(x, y, z) = \underbrace{\frac{Q}{2 \times \pi \times u \times \sigma_y \times \sigma_z}}_{\text{Eixo do penacho}} \times \underbrace{\exp\left[-\frac{y^2}{2 \times \sigma_y^2}\right]}_{\text{horizontal}} \times \underbrace{\left[\exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2 \times \sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2 \times \sigma_z^2}\right]\right]}_{\text{vertical} \quad \text{reflexão}} \quad (\text{equação 7.1.})$$

em que:

- C (x,y,z) é a concentração média do poluente [g/m<sup>3</sup>];
- x é a distância do receptor à fonte emissora na direcção do vento [km];
- y é a distância do receptor ao centro da pluma na perpendicular à direcção do vento [m];
- z é a altura do receptor acima da altura do solo [m];
- Q é o caudal de emissão do poluente [g/s];
- u é a velocidade média do vento na direcção do eixo x [m/s];
- H é a altura da emissão (inclui a altura de ascensão do penacho) [m];
- $\sigma_y$  é o coeficiente de dispersão horizontal transversal ao vento [m];
- $\sigma_z$  é o coeficiente de dispersão vertical [m];

A equação é apresentada como produto de quatro termos, que representam a concentração no eixo do penacho em função da distância à fonte emissora, a variação horizontal e a variação vertical do valor da concentração relativamente ao eixo do penacho onde se inclui a reflexão do poluente com o solo.<sup>[2]</sup>

A figura 7.1. apresenta uma representação esquemática da dispersão de uma pluma segundo uma distribuição Gaussiana.



**Figura 7.1.** Representação esquemática de uma pluma segundo uma distribuição gaussiana<sup>[6]</sup>

A equação apresentada teve como finalidade a determinação da concentração dos poluentes  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_2$ , ao nível do solo, desde a fonte emissora até aos locais definidos como receptores, bem como a elaboração das respectivas curvas de isoconcentração. Assim sendo, uma vez que se pretende as concentrações de poluentes ao nível do solo ( $z=0$ ), a equação apresentada anteriormente pode ser simplificada para a seguinte forma:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi \times u \times \sigma_y \times \sigma_z} \times \exp\left[-\frac{y^2}{2 \times \sigma_y^2}\right] \times \exp\left[-\frac{H^2}{2 \times \sigma_z^2}\right] \quad (\text{equação 7.2.})$$

Esta equação será designada, a partir daqui, somente como equação de modelação gaussiana simplificada.

Desta forma, para se calcular as concentrações dos poluentes atmosféricos num qualquer ponto receptor é necessário saber o caudal de emissão, a altura efectiva da fonte de emissão, a velocidade do vento na direcção pretendida, as distâncias aos locais receptores e os valores dos coeficientes de dispersão de acordo com as classes de estabilidade atmosférica consideradas.

O modelo gaussiano apresentado tem algumas limitações e considera algumas hipóteses simplificativas, sendo que uma das mais significativas é o facto de que traduz situações atmosféricas estacionárias, isto é, a emissão de poluentes é constante e todos os parâmetros meteorológicos utilizados também são constantes.<sup>[3], [6]</sup>

Os coeficientes de dispersão utilizados encontram-se associados a classes de estabilidade atmosférica. O problema com estes esquemas de quantificação da turbulência atmosférica é que abrangem uma faixa muito grande de condições de estabilidade, que é considerada constante para o período de tempo considerado.<sup>[3]</sup>

Com este modelo, não são consideradas as reacções químicas na atmosfera nem a deposição de material e reacções de superfície.<sup>[2]</sup>

Quando a pluma sai da chaminé, eleva-se na atmosfera até atingir a altura de equilíbrio horizontal. Deste modo, a altura do centro da pluma permanece constante na direcção predominante do vento. Considera-se também que a direcção e a velocidade do vento são constantes durante o trajecto percorrido pela pluma.<sup>[2]</sup>

O perfil horizontal da concentração do poluente, descrito pela equação gaussiana simplificada, não se refere a plumas instantâneas, mas sim a representações de concentrações médias.<sup>[3]</sup>

Na modelação com a equação gaussiana simplificada, admitiram-se algumas hipóteses simplificativas. Como foi mencionado, considera-se estado estacionário ao longo do tempo e do percurso dos poluentes, não se considerando a ocorrência de qualquer tipo de reacções químicas.

Não se utilizam dados meteorológicos completos, admitindo-se que a velocidade do vento constante e apenas se considera o vento na direcção pretendida para a avaliação dos locais receptores considerados, uma vez que o objectivo é avaliar a poluição em locais específicos em direcções pré-determinadas.

Não se entrou em consideração com a topografia do terreno, admitindo-se assim que este se pode aproximar de um terreno plano.

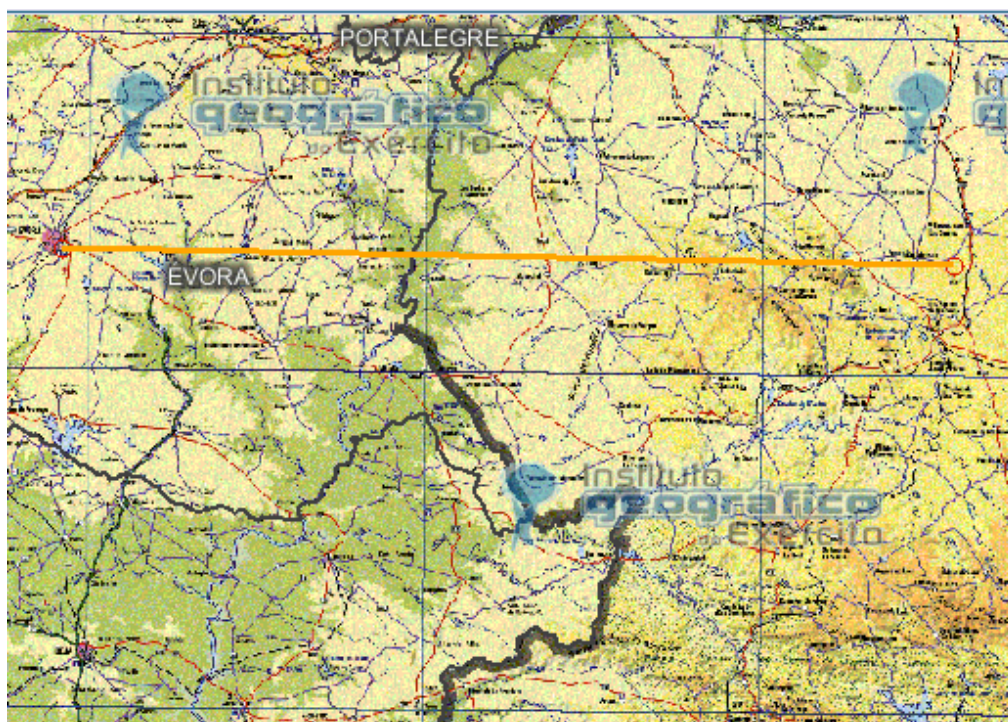
Contudo, apesar desta situação não ser tida em consideração para a realização deste estudo, também é um facto que não existem constricções orográficas dignas de registo e que imponham grandes restrições à circulação atmosférica, sendo o terreno envolto à refinaria e o seu percurso até aos locais receptores, livre de constricções e formado maioritariamente por planícies e zonas de baixo-relevo.<sup>[28]</sup>

Sempre que o terreno não possua obstáculos, superiores à altura da fonte emissora em questão, ou ele próprio não ultrapasse essa altura, considera-se que se encontra em presença de terreno de orografia simples.<sup>[2]</sup>

### **7.1. DISTÂNCIAS ENTRE A FONTE EMISSORA E OS LOCAIS RECEPTORES – LOCALIZAÇÃO RELATIVA**

Para a determinação da distância entre a fonte emissora (Refinería Balboa) e os locais receptores utilizou-se mapas fornecidos on-line pelo Instituto Geográfico do Exército<sup>[27]</sup>, que permitem a determinação das distâncias entre dois ou mais pontos.

Para a distância entre a fonte emissora e o primeiro local definido como receptor, Évora, obteve-se o valor de 132236 m, ou seja, aproximadamente 132 km. Esta distância encontra-se representada na figura seguinte.



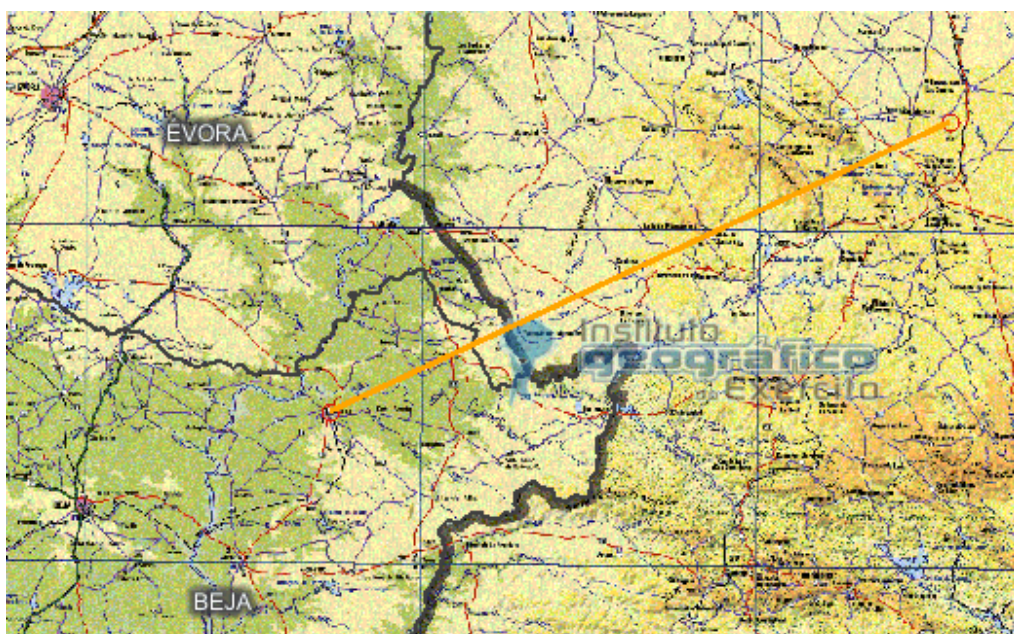
**Figura 7.2.** Representação da distância entre Évora e a Refinería Balboa<sup>[27]</sup>

Para a distância entre a fonte emissora e o segundo local definido como receptor, Beja, obteve-se o valor de 140174 m, ou seja, aproximadamente 140 km. Esta distância encontra-se representada na figura 7.3.



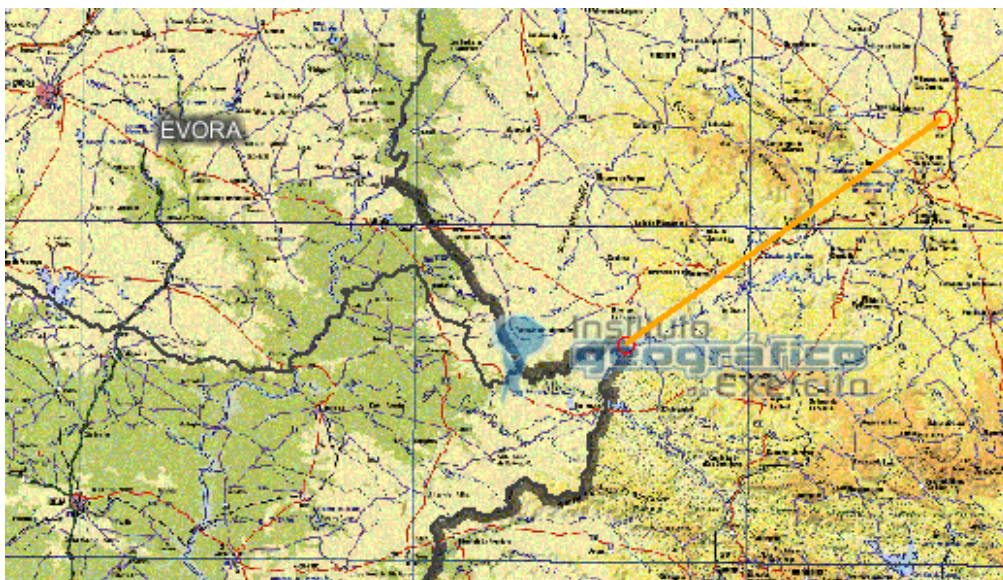
**Figura 7.3.** Representação da distância entre Beja e a Refinaria Balboa<sup>[27]</sup>

Para a distância entre a fonte emissora e o centro populacional Moura, que se encontra entre a fonte emissora e o local receptor Beja, na mesma orientação, obteve-se o valor de 101895 m, ou seja, aproximadamente 102 km. Esta distância encontra-se representada na figura 7.4..



**Figura 7.4.** Representação da distância entre Beja e a Refinaria Balboa<sup>[27]</sup>

Apresenta-se também, a título de curiosidade, a distância mínima entre a fonte emissora (Refinería Balboa) e a fronteira portuguesa. Obteve-se a distância de 58049 m, ou seja, de aproximadamente 58 km e encontra-se representada na figura 7.5..



**Figura 7.5.** Representação da distância mínima entre a Refinería Balboa e a fronteira portuguesa<sup>[27]</sup>

## **7.2. DEFINIÇÃO DOS FACTORES DE EMISSÃO**

Tendo em consideração a comparação efectuada entre a Refinería Balboa e as refinarias abrangidas pelo estudo de emissões atmosféricas, define-se quais são as condições de emissão a utilizar para a realização da modelação da dispersão dos poluentes emitidos pela refinaria em estudo. Para este efeito, teve-se em consideração alguns aspectos que se consideram importantes, tais como:

- uma refinaria é uma instalação industrial deveras complexa, que contempla uma quantidade significativa de processos distintos entre si, sendo que, por vezes pequenas alterações processuais podem ter um efeito significativo nas suas emissões atmosféricas;
- o índice de complexidade evidenciado pela Refinería Balboa;
- a eliminação da unidade FCC da configuração da Refinería Balboa, substituindo-a por uma unidade menos poluente de hidrocrackeamento;
- a diferença de capacidade produtiva entre a Refinería Balboa e a média das capacidades das refinarias abrangidas pelo estudo de emissões.

Desta forma, optou-se por considerar três situações distintas para as emissões a utilizar na modelação, nomeadamente:

1. Considerando o pior cenário possível, ou seja, que as emissões atmosféricas serão as obtidas através do estudo de emissões elaborado, ou seja, um caudal mássico de 113,3 g/s para o NO<sub>x</sub> e de 466,1 g/s para o SO<sub>2</sub>.
2. Considerando o melhor cenário, que é aquele indicado pelo Grupo Alfonso Gallardo na *Memoria-Resumen: "Proyecto para la instalación de una Refinería de Petróleo en Extremadura"*<sup>[11]</sup> e cujos valores de emissão são de 1,9 t/dia para o NO<sub>x</sub> e de 2,0 t/dia para o SO<sub>2</sub>, o que equivale a um valor de 22,0 g/s para o NO<sub>x</sub> e de 23,1 g/s para o SO<sub>2</sub>, considerando que a instalação funciona de forma contínua 24 horas por dia.
3. Considerando um cenário intermédio, em que se anula a influência da unidade de FCC nos valores obtidos através do estudo de emissões. Assim, com base no documento: *"Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector refino de petróleo"* do Ministerio de Medio Ambiente<sup>[12]</sup>, considera-se uma redução nas emissões de NO<sub>x</sub> e de SO<sub>2</sub> de 22,5% e de 25% respectivamente, sendo que os valores de emissão a utilizar serão de 87,8 g/s para o NO<sub>x</sub> e de 349,6 g/s para o SO<sub>2</sub>.

É importante referir que as reais emissões da refinaria em causa só serão conhecidas, com certeza, a partir da entrada em funcionamento da mesma, pelo que até lá, qualquer método utilizado se trata de uma aproximação.

### **7.3. DADOS METEOROLÓGICOS UTILIZADOS – FREQUÊNCIA E VELOCIDADE DO VENTO**

Efectuou-se a recolha e compilação de informação meteorológica sobre a zona de implementação da Refinería Balboa, com o objectivo de se caracterizar e de se obter uma base de conhecimento sobre a dinâmica atmosférica em torno da localização da refinaria.

A informação meteorológica recolhida será utilizada posteriormente para a modelação e dispersão dos poluentes emitidos pela refinaria.

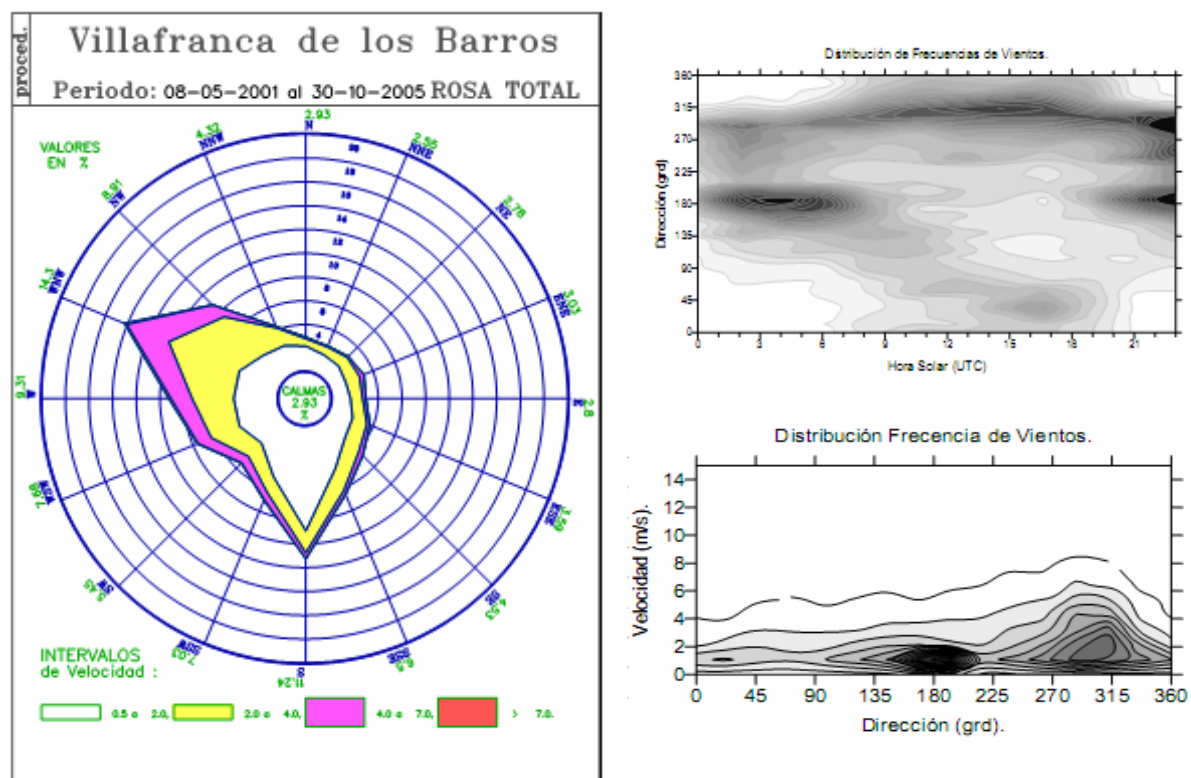
Para a obtenção das frequências de ventos por sector e respectivas velocidades recorreu-se a dados obtidos por estações meteorológicas próximas da fonte de emissão, mais especificamente das torres meteorológicas de Villafranca de los Barros e de Cerro

de San Jorge. As torres, no seu ponto de amostragem/medição apresentam uma altura de 10 m, normativa para a medição da velocidade anemométrica.

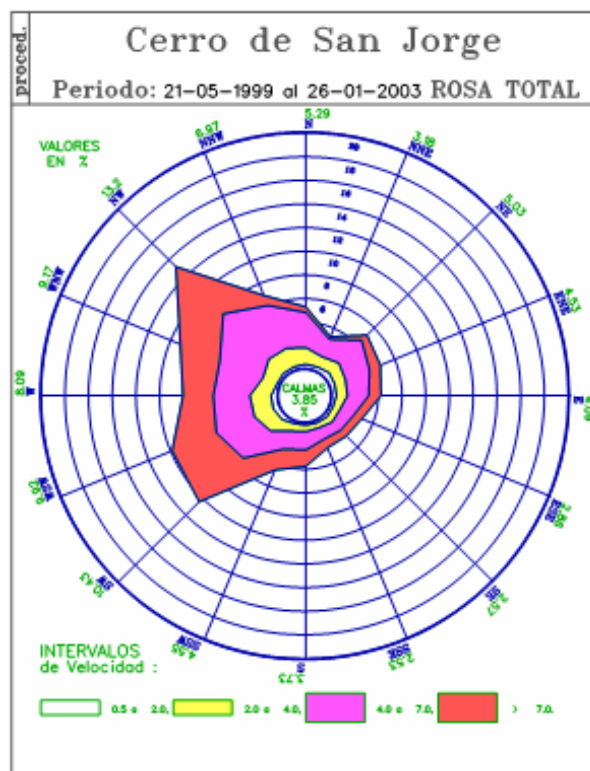
Os dados apresentados foram obtidos através do documento: “*Proyecto de Investigación para el Diagnóstico y Vigilancia del Impacto por Vía Atmosférica de un Complejo Refinero en Extremadura*”, elaborado em Abril de 2007.<sup>[28]</sup>

Existe também outra torre meteorológica próxima do local de implementação da refinaria, cujo documento indicado também faz referência, a estação de Almendralejo; contudo, como possível efeito da sua inadequada colocação, esta estação não fornece velocidades de vento e frequências coerentes, como tal resolveu-se não utilizar os seus dados.

Os dados utilizados de velocidades do vento e respectivas frequências destes por sector, são referentes ao período de 08-05-2001 a 30-10-2005 para a torre meteorológica de Villafranca de los Barros e ao período de 21-05-1999 a 26-01-2003 para a torre meteorológica de Cerro de San Jorge.



**Figura 7.6.** Estação de Villafranca de los Barros: rosa dos ventos total e distribuição de frequências de ventos<sup>[28]</sup>



**Figura 7.7.** Estação de Cerro de San Jorge: rosa dos ventos total<sup>[28]</sup>

Apresentaram-se, na figura 7.6. e figura 7.7. os dados de distribuição da frequência dos ventos por sector e a respectiva distribuição de velocidades, para as estações meteorológicas mencionadas.

De notar que os dados apresentados nas respectivas rosas dos ventos se referem à proveniência dos ventos relativamente à sua frequência e velocidade.

As séries de dados fornecidos por ambas as torres revelam um comportamento ligeiramente diferenciado, quanto às intensidades de vento detectadas, sendo que obteve-se intensidades de vento mais elevadas para a estação meteorológica de Cerro de San Juan, que se localiza num ponto de cota mais alto.

Embora existam algumas diferenças quanto à uniformidade da distribuição dos ventos, estas podem-se considerar praticamente semelhantes, na medida em que os ventos provêm principalmente do terceiro e quarto quadrante das rosas dos ventos, para ambas as torres meteorológicas.

Esta situação reflecte a entrada de ar do Atlântico subtropical, através do golfo de Cádiz, ou directamente do Atlântico setentrional através do corredor português.

A maior frequência de ventos, para ambos os casos, decorre da direcção NW (Noroeste), sendo que na torre de Villafranca de los Barros a segunda frequência de ventos mais elevada é proveniente da direcção S (Sul), enquanto que na torre de Cerro de San Juan esta é proveniente de SW (Sudoeste).

Isto significa que, em geral a diferença de cotas das duas torres não revela uma variação significativa em termos da distribuição de frequência dos ventos, mas apenas uma diferença ao nível da intensidade deste, o que leva a concluir que a orografia na zona envolta à Refinería Balboa não exerce uma influência significativa na direcção do vento, tendo apenas impacto relevante na velocidade deste. Assim, parece predominar o carácter “aberto” no local ao redor da implementação da refinaria, podendo-se aproximar a uma situação semelhante a uma planície.

Para determinação da frequência global dos ventos e da sua velocidade média, a utilizar na realização da modelação da dispersão dos poluentes NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>, para os locais receptores seleccionados, utilizou-se os dados fornecidos pelas duas torres referidas, nas direcções destes locais e determinou-se os valores médios obtidos através da conjugação das duas torres meteorológicas.

Na determinação dos valores de frequência dos ventos e velocidade para o local receptor Évora utilizou-se os dados das rosas dos ventos das duas torres meteorológicas referentes ao sector E (Este), visto o local se encontrar a W (Oeste) do ponto de emissão. Obteve-se o valor de 3,45% para a frequência dos ventos que sopram nesta direcção e o valor de velocidade média de 2,4 m/s.

O local receptor Beja encontra-se localizado, como se pode verificar através da análise da figura 7.3., a aproximadamente 25° para Sudoeste (terceiro quadrante) em relação ao ponto emissor (Refinería Balboa).

Na determinação dos valores de frequência dos ventos e velocidade para este local receptor utilizou-se os dados das rosas dos ventos referentes ao sector ENE (Este-Nordeste), visto o local receptor ser afectado pelas emissões da Refinería Balboa para ventos com proveniência de aproximadamente 65° na rosa dos ventos, sendo que o sector ENE se encontra a 67,5°.

Obteve-se o valor de 3,78% para a frequência dos ventos que sopram nesta direcção e o valor de velocidade média de 2,6 m/s.

Admitiu-se, assim, que os valores de velocidade fornecidos pelas estações próximas da localização da implementação da Refineria Balboa, representam uma velocidade constante ao longo do percurso dos poluentes, visto não existirem dados de estações desde a fonte de emissão até aos locais receptores.

Apresenta-se, apesar de não serem utilizadas, no Anexo A., as rosas dos ventos para as quatro estações do ano, para a estação de Villafranca de los Barros e para a estação de Cerro de San Jorge durante os mesmos períodos anteriormente considerados.

Esta informação é interessante, na medida em que permite visualizar a alteração de comportamento dos ventos, na sua distribuição por sector e velocidade, em função das estações do ano, provando que a dinâmica atmosférica está longe de ser um fenómeno constante quer no espaço quer também ao longo do tempo, que é influenciado por uma infinidade de factores. Desta forma, verifica-se que existem diferenças, no comportamento dos ventos, ao longo do ano e como vimos na figura 7.6. ao longo do dia (24h)

#### **7.4. DEFINIÇÃO DA ALTURA DA “CHAMINÉ VIRTUAL”**

Um dos parâmetros necessários, para a modelação de dispersão dos poluentes, é a altura das chaminés, visto este ser o meio através do qual se procede à emissão dos poluentes para a atmosfera.

Uma vez que foi adoptado o conceito de “bolha comum” para a avaliação das emissões atmosféricas da refinaria, a altura das chaminés corresponderá à altura de uma “chaminé virtual” que engloba todas as fontes de emissão da refinaria.

Para a determinação da altura da “chaminé virtual”, utilizou-se como valores de referência os valores das chaminés das refinarias abrangidas pelo estudo de emissões atmosféricas. Com os valores individuais das alturas das chaminés das refinarias determinou-se a contribuição de cada chaminé para os valores de emissão médios dos poluentes  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_2$  e seguidamente determinou-se qual a altura média (ponderada) das chaminés. Esta altura média corresponde à altura admitida para a “chaminé virtual”, responsável pela emissão de efluentes gasosos na Refineria Balboa.

Obteve-se o valor de 164 m de altura da “chaminé virtual” a utilizar para a modelação do transporte e da dispersão dos poluentes NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>.

Admitiu-se que a altura assumida para a “chaminé virtual”, que representa a chaminés da futura Refinería Balboa, já representa a altura efectiva da mesma, ou seja, a elevação do penacho encontra-se incluída nesta altura.

### **7.5. COEFICIENTES DE DISPERSÃO E CLASSES DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICAS – MÉTODO DE PASQUILL-GIFFORD**

Os coeficientes de dispersão são dependentes da estrutura turbulenta da atmosfera e podem ser estimados utilizando-se diversos métodos existentes. O mais utilizado, é o das classes de estabilidade atmosférica de Pasquill-Gifford que foi usado neste trabalho na determinação dos coeficientes de dispersão.<sup>[2], [3], [5], [6], [29], [30], [31], [32], [33]</sup>

Os valores dos coeficientes de dispersão ( $\sigma_y$  e  $\sigma_z$ ) dependem da distância à fonte emissora na direcção do vento (x) e encontram-se relacionados com as condições meteorológicas. Estes são determinados de acordo com a distância à fonte emissora na direcção do vento (x) e a respectiva classe de estabilidade atmosférica.<sup>[2], [6]</sup>

Segundo o método de Pasquill-Gifford, as condições atmosféricas podem ser divididas em diversas classes de estabilidade atmosférica, que são classificadas da seguinte forma: A (fortemente instável), B (moderadamente instável), C (fracamente instável), D (neutra), E (moderadamente estável) e F (estável). Estas são classificadas consoante a velocidade do vento, a insolação solar diurna, a nebulosidade nocturna e tempo encoberto (diário e nocturno), como se apresenta em seguida na tabela 7.1..<sup>[6], [7]</sup>

Apresenta-se, no Anexo B. as fórmulas de cálculo para os coeficientes de dispersão, consoante a classe de estabilidade atmosférica e a distância do receptor à fonte emissora na direcção do vento (distância x).

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

---

**Tabela 7.1.** Determinação da classe de estabilidade atmosférica (Pasquill-Gifford)<sup>[7]</sup>

Velocidade do vento a 10 m da superfície [m/s]	Período diurno - Radiação solar			Período noturno - Grau de nebulosidade		Período diurno e noturno
	Forte	Moderada	Fraca	≥4/8	≤3/8	
<2	A	A - B	B	-	-	D
2 – 3	A - B	B	C	E	F	D
3 – 5	B	B - C	C	D	E	D
5 – 6	C	C - D	D	D	D	D
≥6	C	D	D	D	D	D



## **8. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE POLUENTES - LOCAL RECEPTOR ÉVORA**

Para o local receptor Évora (132 km), utilizando as condições referidas e definidas no ponto anterior, realizou-se a modelação de dispersão atmosférica para os poluentes NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>.

Considerou-se, neste estudo de dispersão dos poluentes, todas as Classes de Estabilidade de Pasquill-Gifford.

Com o estudo determinou-se a concentração dos poluentes obtida em Évora (local receptor), a concentração máxima obtida ao nível do solo, bem como a que distância se atinge da fonte emissora e as respectivas curvas de isoconcentração ao longo do percurso dos poluentes.

Os resultados obtidos, divididos por poluente, apresentam-se seguidamente.

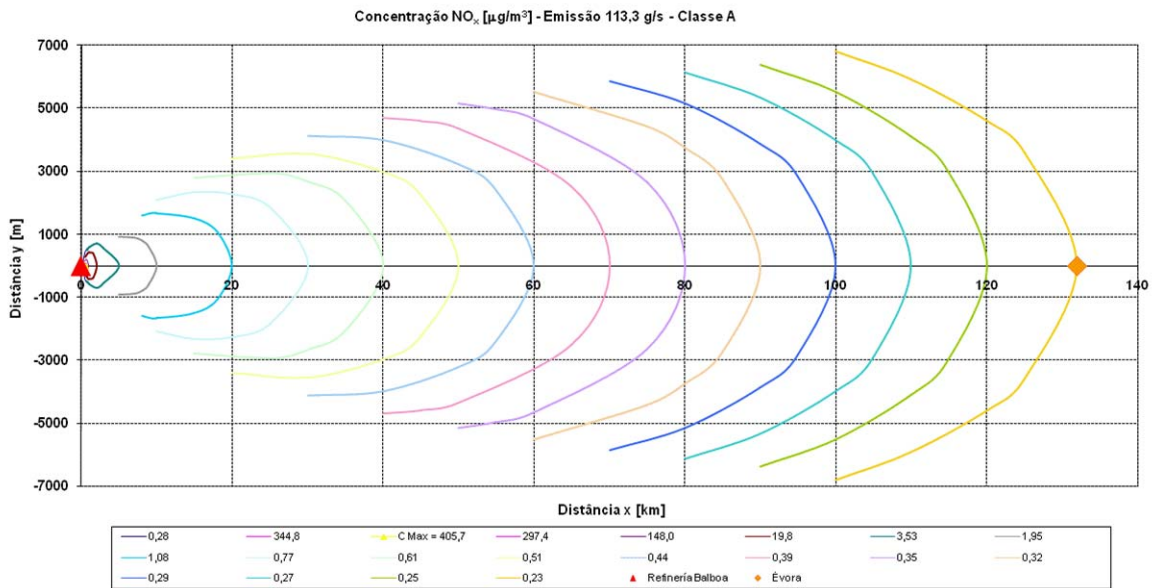
### **8.1. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE NO<sub>x</sub>**

Para a modelação de dispersão do poluente NO<sub>x</sub>, os resultados obtidos, encontram-se divididos de acordo com as três situações consideradas para o caudal mássico do poluente (ponto 7.2.) e por classe de estabilidade atmosférica. Encontram-se representados nas figuras e nas tabelas apresentadas nos pontos seguintes.

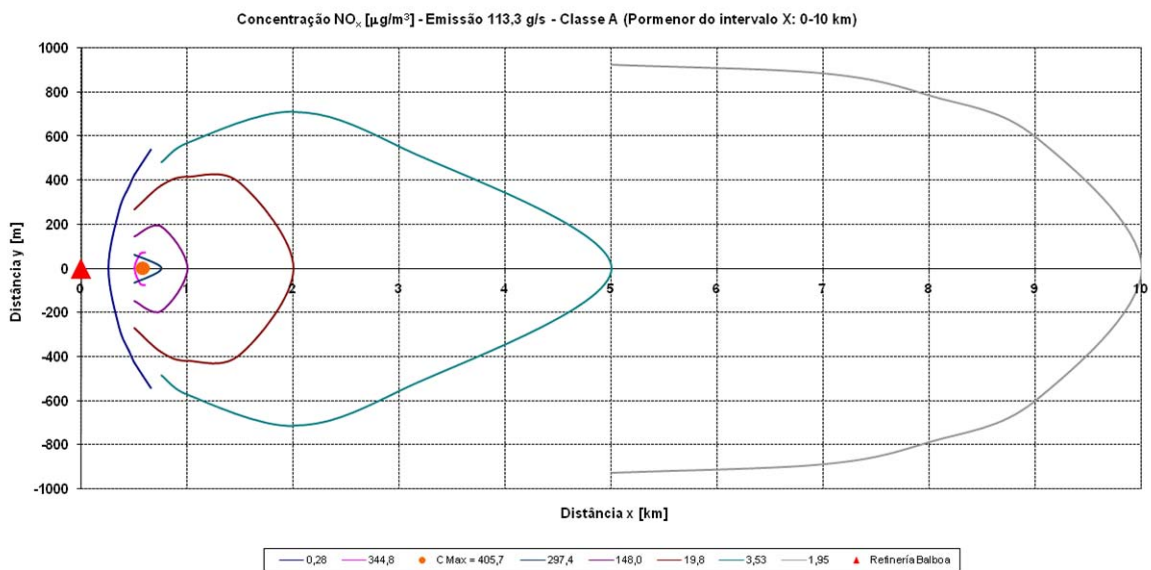
#### **8.1.1. CAUDAL DE EMISSÃO – 113,3 g/s**

Para o caudal de emissão considerado apresentam-se nos pontos seguintes, sob a forma de figuras, para cada classe de estabilidade atmosférica, as respectivas curvas de isoconcentração, a distância a que é obtida a concentração máxima de NO<sub>x</sub> ao nível do solo, qual o seu valor e a concentração obtida no local receptor. Os gráficos apresentados nas figuras representam a evolução da concentração do NO<sub>x</sub> desde a sua emissão (Refinería Balboa) até ao local receptor Évora.

**8.1.1.1. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA A**

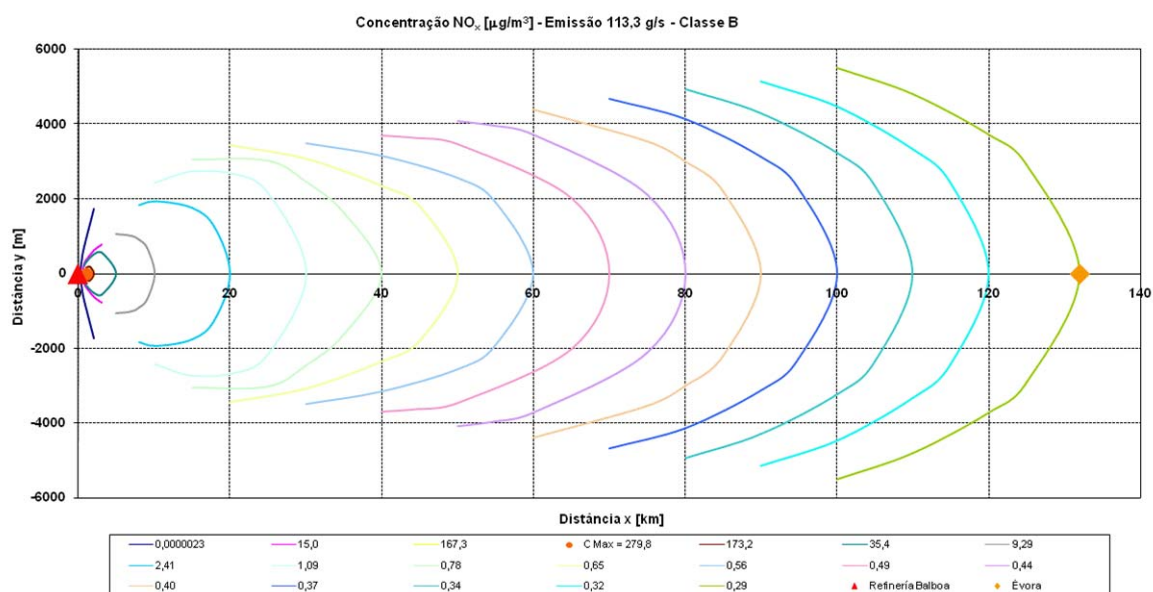


**Figura 8.1.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora

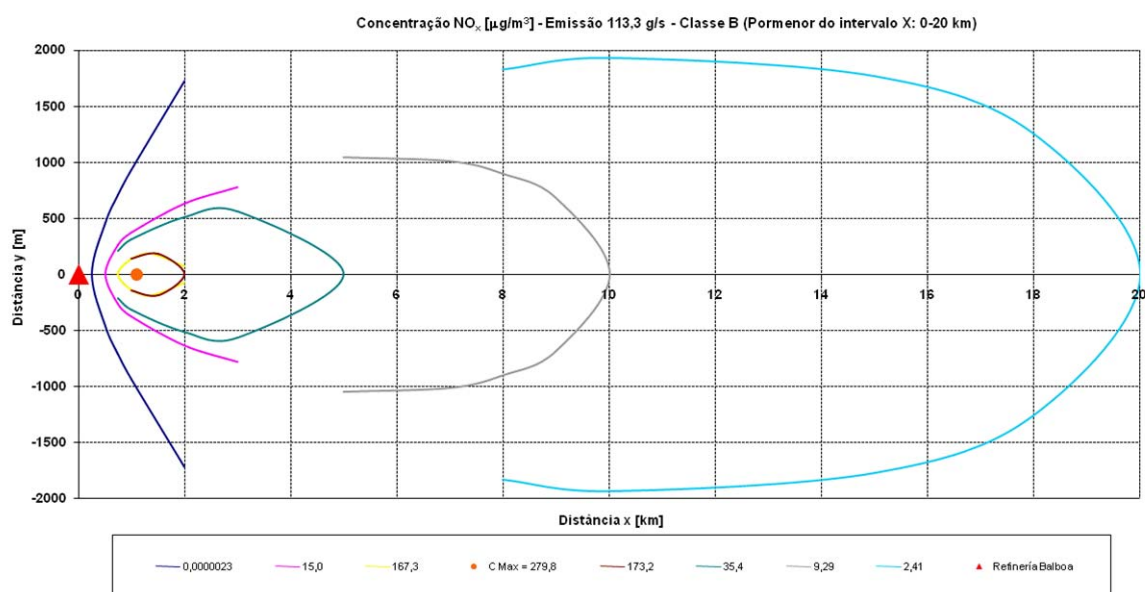


**Figura 8.2.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora

**8.1.1.2. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA B**

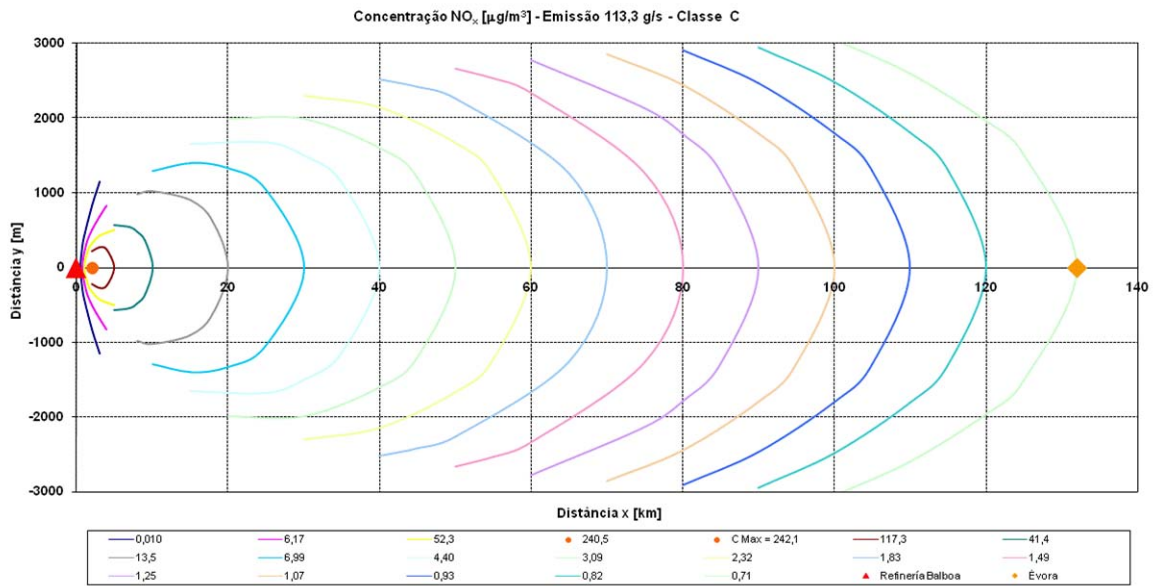


**Figura 8.3.** Modelação da dispersão do poluente  $\text{NO}_x$ : caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora



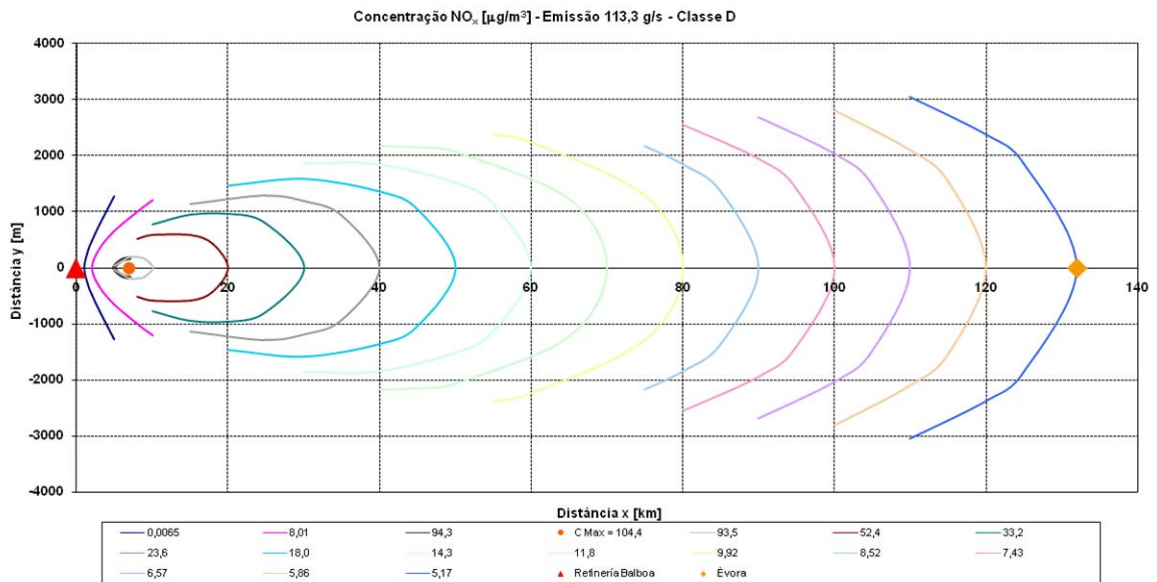
**Figura 8.4.** Modelação da dispersão do poluente  $\text{NO}_x$  (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora

**8.1.1.3. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA C**



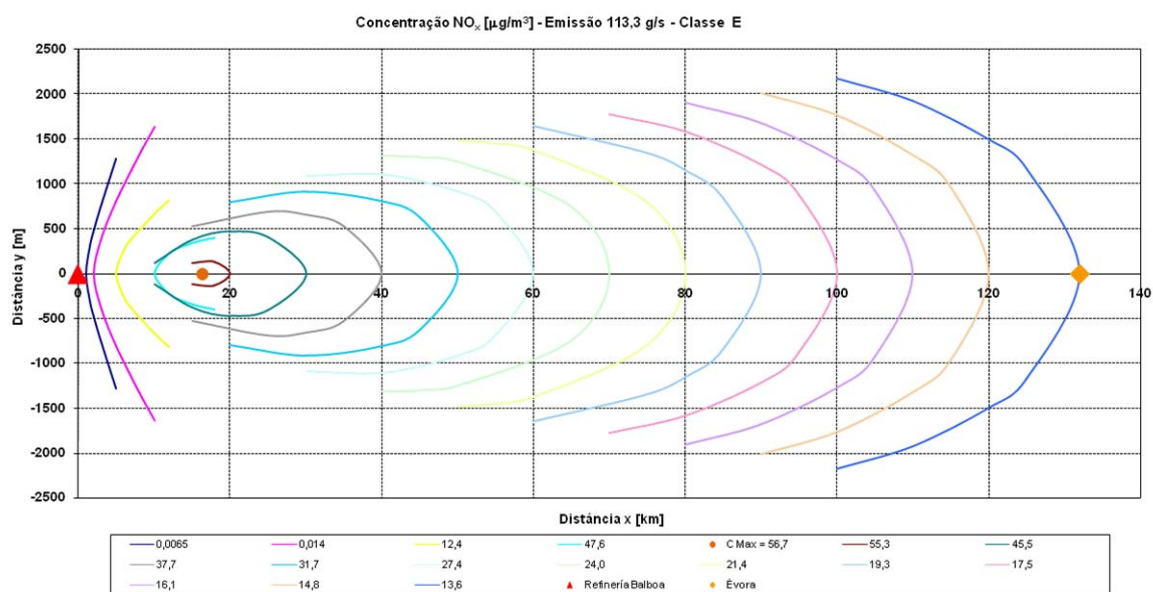
**Figura 8.5.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Évora

**8.1.1.4. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA D**



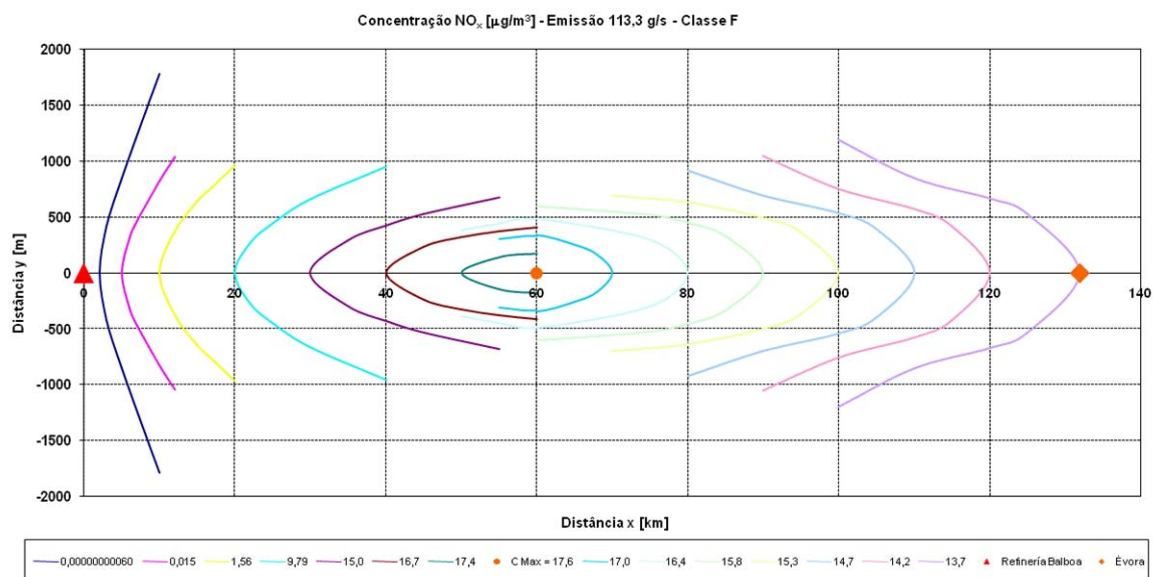
**Figura 8.6.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Évora

### 8.1.1.5. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA E



**Figura 8.7.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Évora

### 8.1.1.6. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA F



**Figura 8.8.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Évora

Em Évora obteve-se os valores de concentração de  $\text{NO}_x$ , para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de  $0,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $5,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $13,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $13,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

Relativamente à concentração máxima ao nível do solo, obteve-se respectivamente, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, os valores de  $405,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $279,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $242,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $104,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $56,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $17,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , às respectivas distâncias de 0,58 km, 1,1 km, 2,1 km, 6,9 km, 16,3 km e 60 km da fonte emissora (Refinería Balboa).

### **8.1.2. CAUDAL DE EMISSÃO – 22,0 g/s**

Considerando o caudal de emissão de  $\text{NO}_x$  igual a 22,0 g/s e avaliando as concentrações obtidas ao nível do solo em função da distância na direcção vento (distância x) obtêm-se concentrações díspares face ao caudal de emissão de 113,3 g/s utilizado anteriormente.

Contudo, verifica-se que as curvas de isoconcentração, para cada distância na direcção do vento (distância x) avaliada, apesar de representarem valores de concentração diferentes, apresentam exactamente a mesma configuração, visto os valores determinados para a distância perpendicular à direcção do vento (distância y), serem os mesmos para cada curva obtida.

Para o caudal de emissão em consideração, optou-se por não apresentar os gráficos que representam a evolução da concentração do  $\text{NO}_x$  desde a sua emissão (Refinería Balboa) até ao local receptor Évora e as respectivas curvas de isoconcentração.

Desta forma, optou-se por apresentar os resultados obtidos, para todas as classes de estabilidade atmosférica, sob a forma de uma tabela, que se apresenta seguidamente. Esta tabela apresenta as concentrações de  $\text{NO}_x$  obtidas ao nível do solo em função da direcção vento (distância x) para o caudal de emissão de 22,0 g/s.

Os gráficos obtidos com a utilização deste caudal de emissão de  $\text{NO}_x$ , para cada classe de estabilidade atmosférica, encontram-se no Anexo C.1..

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

**Tabela 8.1.** Concentrações de NO<sub>x</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 22,0 g/s e local receptor Évora

Distância x [km]	Classes de Estabilidade Atmosférica					
	A	B	C	D	E	F
	Concentração NO <sub>x</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]					
0,25	0,054	0,00000045	-	-	-	-
0,5	67,0	2,90	0,0020	-	-	-
0,58	<b>78,8 (C Max)</b>	-	-	-	-	-
0,75	57,8	32,5	1,20	-	-	-
1	28,7	52,4	10,1	0,0013	0,15x10 <sup>-9</sup>	-
1,1	-	<b>54,3 (C Max)</b>	46,7	-	-	-
2	3,85	33,6	-	1,56	0,0027	0,12x10 <sup>-9</sup>
2,1	-	-	<b>47,0 (C Max)</b>	-	-	-
5	0,69	6,87	22,8	18,3	2,40	0,0029
6,9	-	-	-	<b>20,3 (C Max)</b>	-	-
10	0,38	1,80	8,05	18,2	9,24	0,30
16,3	-	-	-	-	<b>11,0 (C Max)</b>	-
20	0,21	0,47	2,62	10,2	10,7	1,90
30	0,15	0,21	1,36	6,46	8,84	2,91
40	0,12	0,15	0,86	4,59	7,32	3,25
50	0,099	0,13	0,60	3,49	6,16	3,38
60	0,085	0,11	0,45	2,78	5,31	<b>3,41 (C Max)</b>
70	0,075	0,095	0,36	2,29	4,67	3,30
80	0,068	0,085	0,29	1,93	4,16	3,19
90	0,061	0,078	0,24	1,65	3,74	3,07
100	0,057	0,071	0,21	1,44	3,41	2,97
110	0,052	0,066	0,18	1,27	3,12	2,86
120	0,049	0,061	0,16	1,14	2,88	2,77
<b>132 (Évora)</b>	<b>0,045</b>	<b>0,057</b>	<b>0,14</b>	<b>1,00</b>	<b>2,64</b>	<b>2,66</b>

Em Évora obteve-se os valores de concentração de NO<sub>x</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,045 µg/m<sup>3</sup>, 0,057 µg/m<sup>3</sup>, 0,14 µg/m<sup>3</sup>, 1,00 µg/m<sup>3</sup>, 2,64 µg/m<sup>3</sup> e 2,66 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Relativamente à concentração máxima ao nível do solo, obteve-se respectivamente, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, os valores de 78,8 µg/m<sup>3</sup>, 54,3 µg/m<sup>3</sup>, 47,0 µg/m<sup>3</sup>, 20,3 µg/m<sup>3</sup>, 11,0 µg/m<sup>3</sup> e 3,41 µg/m<sup>3</sup>, às respectivas distâncias de 0,58 km, 1,1 km, 2,1 km, 6,9 km, 16,3 km e 60 km da fonte emissora (Refinería Balboa).

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

**8.1.3. CAUDAL DE EMISSÃO – 87,8 g/s**

Para o caudal de emissão de 87,8 g/s, de acordo com as considerações efectuadas para o caudal de emissão de 22,0 g/s, no ponto 8.1.2., optou-se por apresentar os resultados obtidos, para todas as classes de estabilidade atmosférica, sob a forma de uma tabela, que apresenta as concentrações de NO<sub>x</sub> obtidas ao nível do solo em função da direcção vento (distância x) para o caudal de emissão de 87,8 g/s.

**Tabela 8.2.** Concentrações de NO<sub>x</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 87,8 g/s e local receptor Évora

Distância x [km]	Classes de Estabilidade Atmosférica					
	A	B	C	D	E	F
	Concentração NO <sub>x</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]					
0,25	0,22	0,0000018	-	-	-	-
0,5	267,2	11,6	0,0080	-	-	-
0,58	<b>314,4(CMax)</b>	-	-	-	-	-
0,75	230,5	129,6	4,78	-	-	-
1	114,7	209,2	40,5	0,0051	0,58x10 <sup>-9</sup>	-
1,1	-	<b>216,8(CMax)</b>	-	-	-	-
2	15,4	134,2	186,4	6,21	0,011	0,47x10 <sup>-9</sup>
2,1	-	-	<b>187,6(CMax)</b>	-	-	-
5	2,74	27,4	90,9	73,1	9,59	0,012
6,9	-	-	-	<b>80,9(CMax)</b>	-	-
10	1,51	7,20	32,1	72,4	36,9	1,21
16,3	-	-	-	-	<b>43,9(CMax)</b>	-
20	0,84	1,86	10,5	40,6	42,9	7,59
30	0,60	0,85	5,42	25,8	35,3	11,6
40	0,47	0,61	3,41	18,3	29,2	13,0
50	0,39	0,50	2,40	13,9	24,6	13,5
60	0,34	0,43	1,80	11,1	21,2	<b>13,6(CMax)</b>
70	0,30	0,38	1,42	9,12	18,6	13,2
80	0,27	0,34	1,16	7,69	16,6	12,7
90	0,25	0,31	0,97	6,60	14,9	12,3
100	0,23	0,28	0,83	5,76	13,6	11,8
110	0,21	0,26	0,72	5,09	12,5	11,4
120	0,20	0,24	0,63	4,54	11,5	11,0
<b>132 (Évora)</b>	<b>0,18</b>	<b>0,23</b>	<b>0,55</b>	<b>4,01</b>	<b>10,5</b>	<b>10,6</b>

Em Évora obteve-se os valores de concentração de NO<sub>x</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,18 µg/m<sup>3</sup>, 0,23 µg/m<sup>3</sup>, 0,55 µg/m<sup>3</sup>, 4,01 µg/m<sup>3</sup>, 10,5 µg/m<sup>3</sup> e 10,6 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Relativamente à concentração máxima ao nível do solo, obteve-se respectivamente, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, os valores de 314,4 µg/m<sup>3</sup>, 216,8 µg/m<sup>3</sup>, 187,6 µg/m<sup>3</sup>, 80,9 µg/m<sup>3</sup>, 43,9 µg/m<sup>3</sup> e 13,6 µg/m<sup>3</sup>, às respectivas distâncias de 0,58 km, 1,1 km, 2,1 km, 6,9 km, 16,3 km e 60 km da fonte emissora (Refinería Balboa).

Os gráficos obtidos com a utilização deste caudal de emissão de NO<sub>x</sub>, para cada classe de estabilidade atmosférica, encontram-se no Anexo C.2.

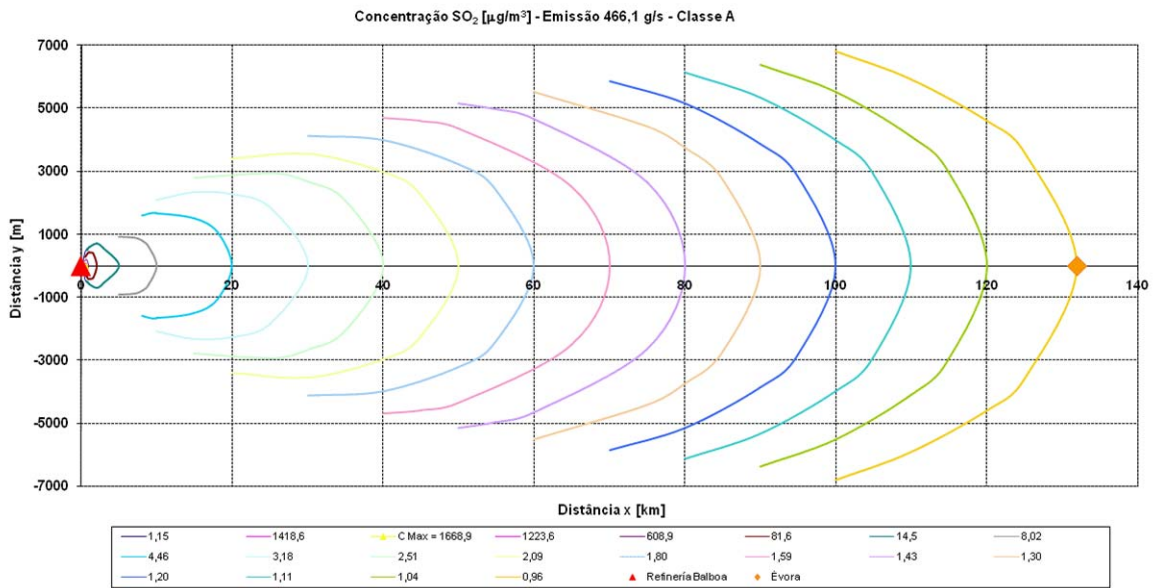
## **8.2. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE SO<sub>2</sub>**

Para a modelação de dispersão do poluente SO<sub>2</sub>, os resultados obtidos, encontram-se divididos de acordo com as três situações consideradas para o caudal mássico do poluente (ponto 7.2.) e por classe de estabilidade atmosférica. Encontram-se representados nas figuras e nas tabelas apresentadas em seguida.

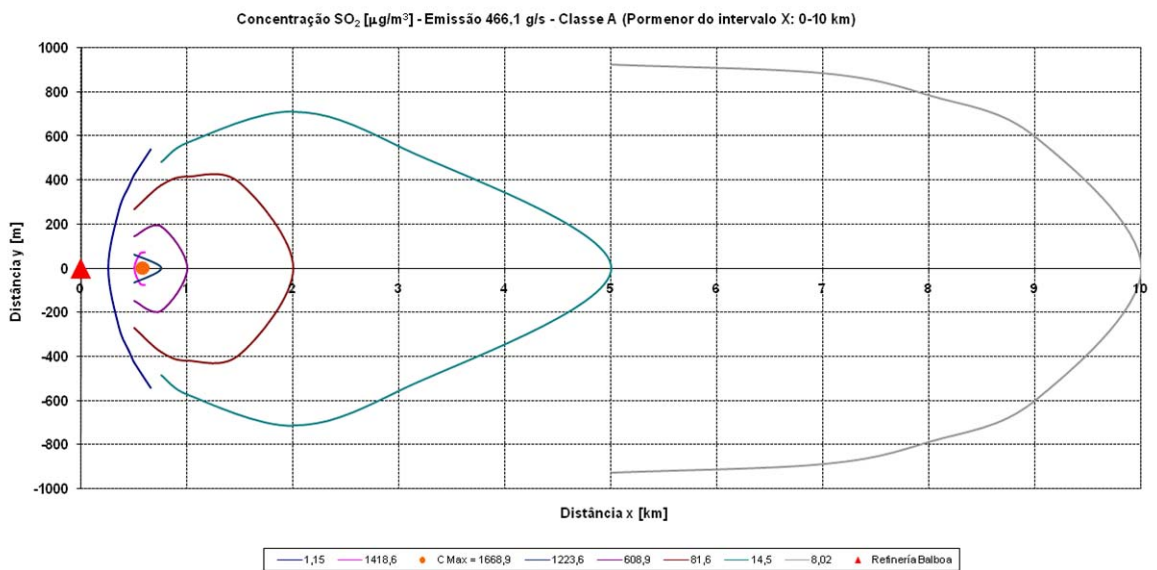
### **8.2.1. CAUDAL DE EMISSÃO – 466,1 g/s**

Para o caudal de emissão considerado apresentam-se nos pontos seguintes, sob a forma de figuras, para cada classe de estabilidade atmosférica, as respectivas curvas de isoconcentração, a distância a que é obtida a concentração máxima de SO<sub>2</sub> ao nível do solo, qual o seu valor e a concentração obtida no local receptor. Os gráficos apresentados nas figuras representam a evolução da concentração do SO<sub>2</sub> desde a sua emissão (Refinería Balboa) até ao local receptor Évora.

**8.2.1.1. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA A**

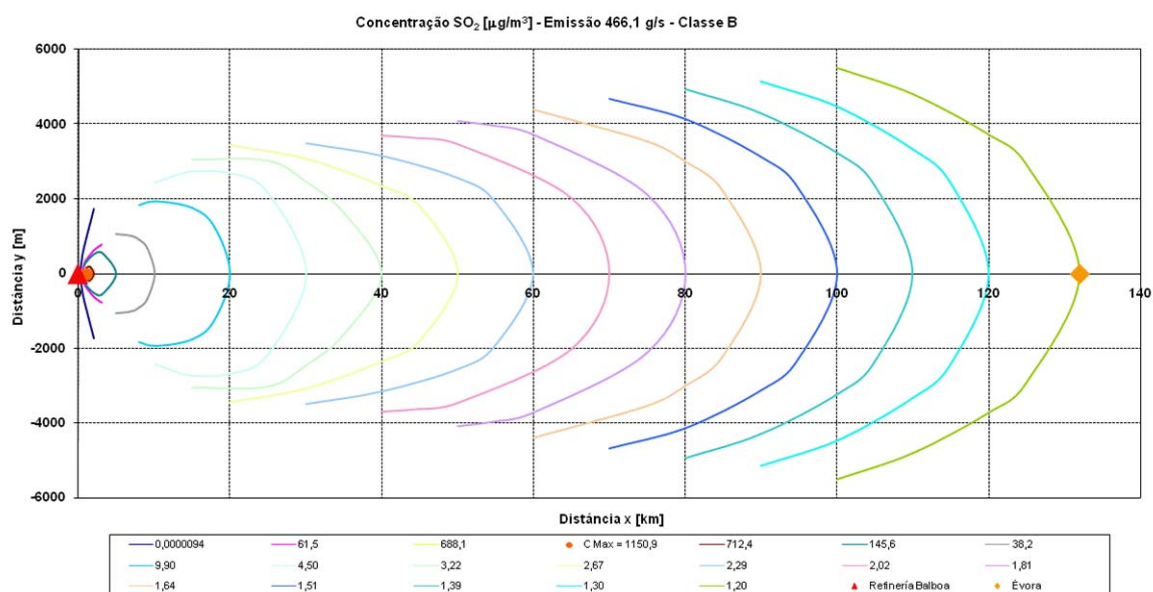


**Figura 8.9.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora

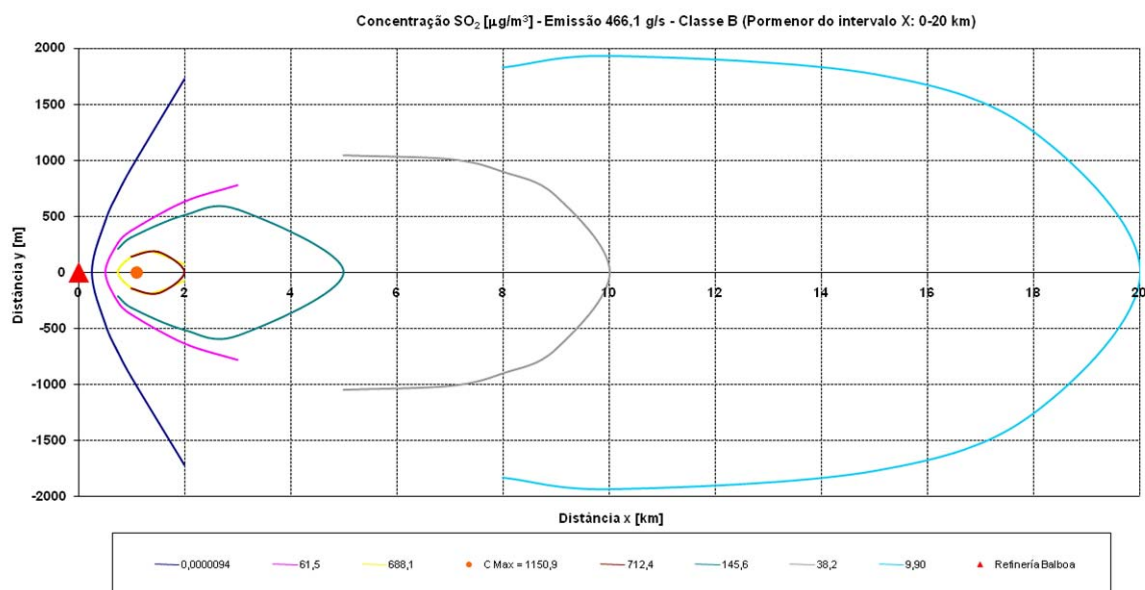


**Figura 8.10.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora

**8.2.1.2. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA B**

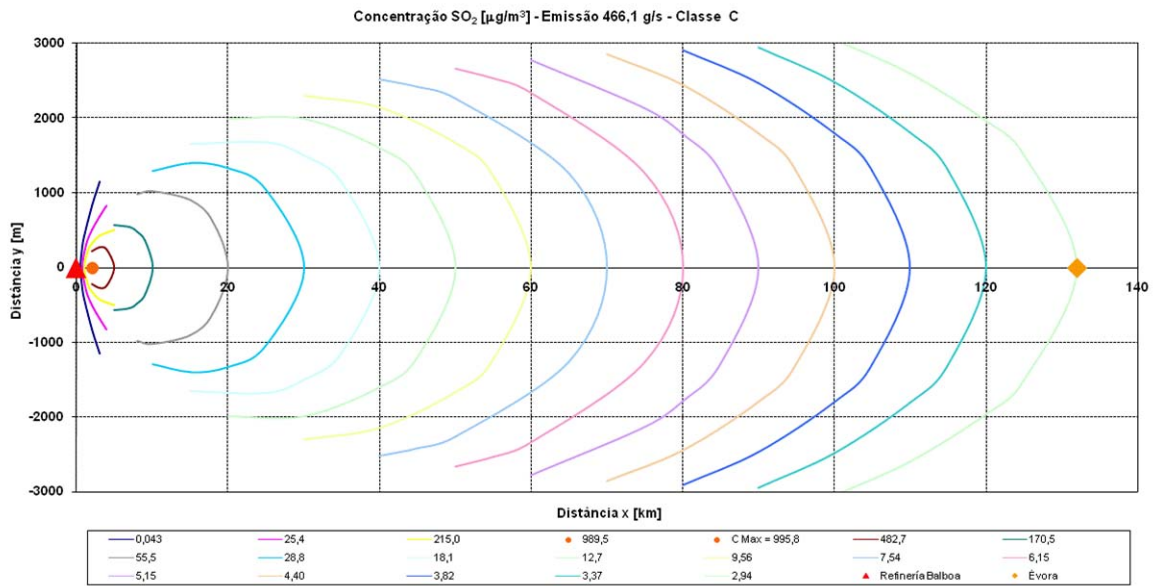


**Figura 8.11.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora



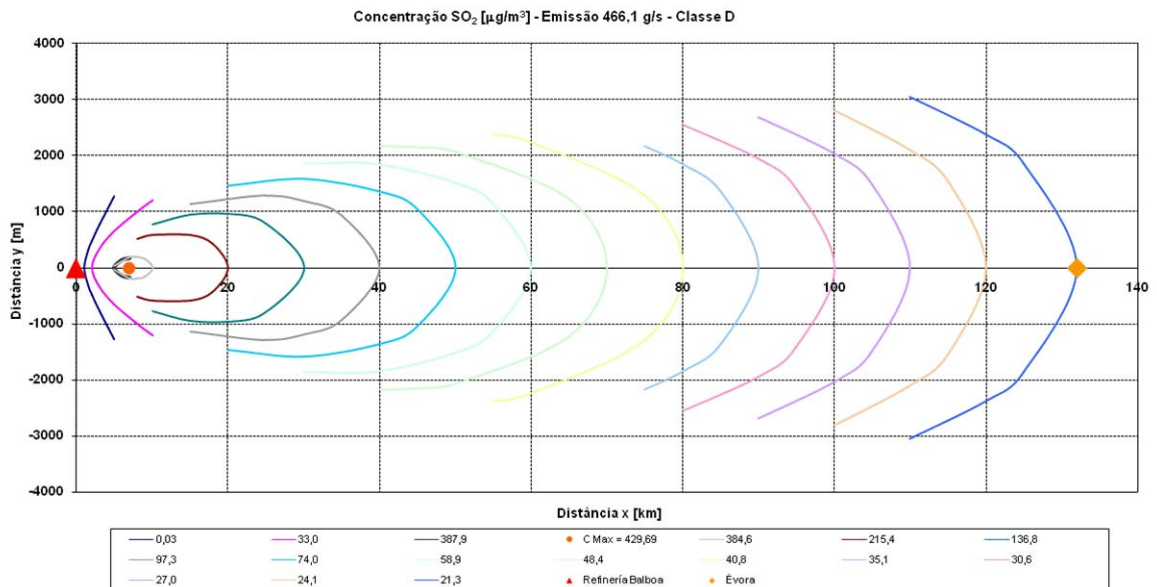
**Figura 8.12.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora

**8.2.1.3. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA C**



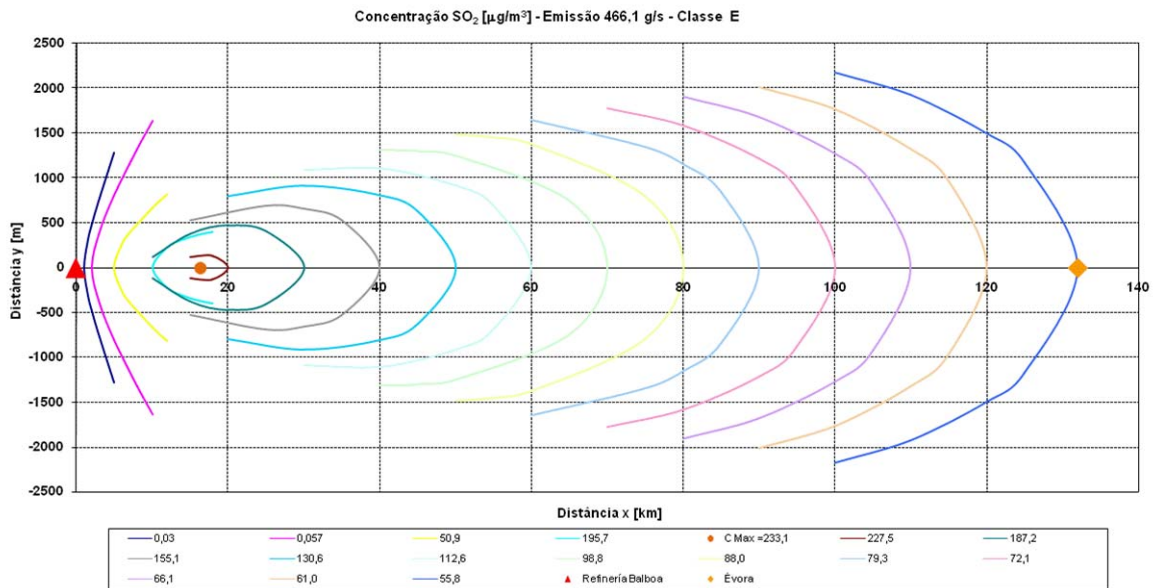
**Figura 8.13.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Évora

**8.2.1.4. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA D**



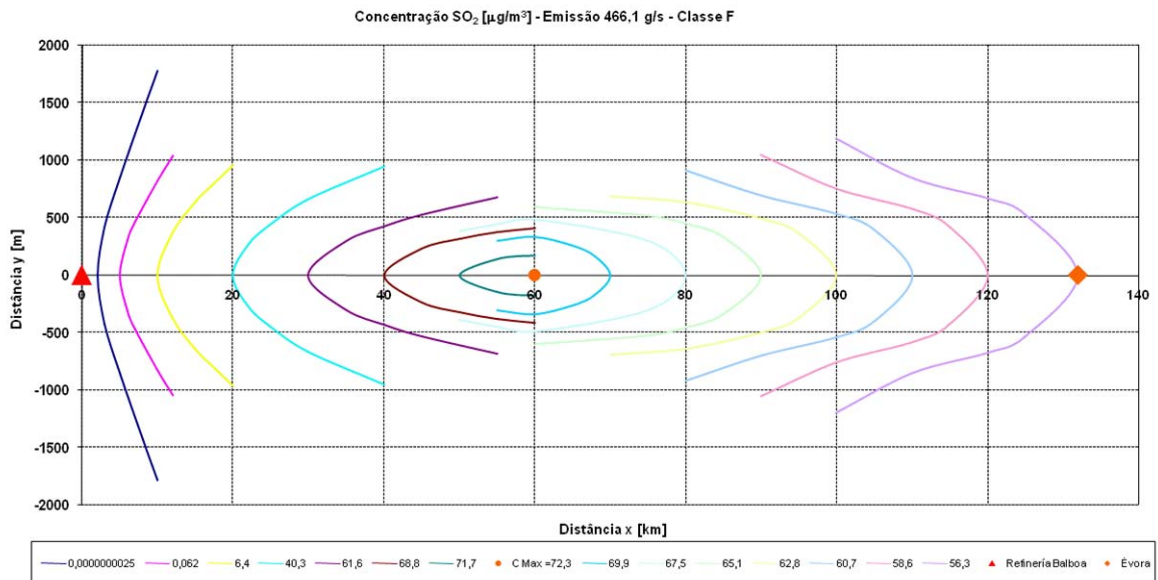
**Figura 8.14.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Évora

**8.2.1.5. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA E**



**Figura 8.15.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Évora

**8.2.1.6. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA F**



**Figura 8.16.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Évora

Em Évora obteve-se os valores de concentração de SO<sub>2</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,96 µg/m<sup>3</sup>, 1,20 µg/m<sup>3</sup>, 2,94 µg/m<sup>3</sup>, 21,3 µg/m<sup>3</sup>, 55,8 µg/m<sup>3</sup> e 56,3 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Relativamente à concentração máxima ao nível do solo, obteve-se respectivamente, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, os valores de 1668,9 µg/m<sup>3</sup>, 1150,9 µg/m<sup>3</sup>, 995,8 µg/m<sup>3</sup>, 429,7 µg/m<sup>3</sup>, 233,1 µg/m<sup>3</sup> e 72,3 µg/m<sup>3</sup>, às respectivas distâncias de 0,58 km, 1,1 km, 2,1 km, 6,9 km, 16,3 km e 60 km da fonte emissora (Refinería Balboa).

### **8.2.2. CAUDAL DE EMISSÃO – 23,1 g/s**

Considerando o caudal de emissão de SO<sub>2</sub> igual a 23,1 g/s e avaliando as concentrações obtidas ao nível do solo em função da distância na direcção vento (distância x) obtêm-se concentrações díspares face ao caudal de emissão de 466,1 g/s utilizado anteriormente.

Contudo, verifica-se que as curvas de isoconcentração, para cada distância na direcção do vento (distância x) avaliada, apesar de representarem valores de concentração diferentes, apresentam exactamente a mesma configuração, visto os valores determinados para a distância perpendicular à direcção do vento (distância y), serem os mesmos para cada curva obtida.

Para o caudal de emissão em consideração, optou-se por não apresentar os gráficos que representam a evolução da concentração do SO<sub>2</sub> desde a sua emissão (Refinería Balboa) até ao local receptor Évora e as respectivas curvas de isoconcentração.

Desta forma, optou-se por apresentar os resultados obtidos, para todas as classes de estabilidade atmosférica, sob a forma de uma tabela, que se apresenta em seguida. Esta tabela apresenta as concentrações de SO<sub>2</sub> obtidas ao nível do solo em função da direcção vento (distância x) para o caudal de emissão de 23,1 g/s.

Os gráficos obtidos com a utilização deste caudal de emissão de SO<sub>2</sub>, para cada classe de estabilidade atmosférica, encontram-se no Anexo C.3.

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

**Tabela 8.3.** Concentrações obtidas de SO<sub>2</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 23,1 g/s e local receptor Évora

Distância x [km]	Classes de Estabilidade Atmosférica					
	A	B	C	D	E	F
	Concentração SO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]					
0,25	0,057	0,00000047	-	-	-	-
0,5	70,3	3,05	0,0021	-	-	-
0,58	<b>82,7 (CMax)</b>	-	-	-	-	-
0,75	60,6	34,1	1,26	-	-	-
1	30,2	55,0	10,7	0,0013	0,15x10 <sup>-9</sup>	-
1,1	-	<b>57,0 (CMax)</b>	-	-	-	-
2	4,04	35,3	49,0	1,63	0,0028	0,12x10 <sup>-9</sup>
2,1	-	-	<b>49,4 (CMax)</b>	-	-	-
5	0,72	7,22	23,9	19,2	2,52	0,0031
6,9	-	-	-	<b>21,3 (CMax)</b>	-	-
10	0,40	1,89	8,45	19,1	9,70	0,32
16,3	-	-	-	-	<b>11,6 (CMax)</b>	-
20	0,22	0,49	2,75	10,7	11,3	2,00
30	0,16	0,22	1,43	6,78	9,28	3,05
40	0,12	0,16	0,90	4,82	7,69	3,41
50	0,10	0,13	0,63	3,67	6,47	3,55
60	0,089	0,11	0,47	2,92	5,58	<b>3,58 (CMax)</b>
70	0,079	0,10	0,37	2,40	4,90	3,47
80	0,071	0,090	0,30	2,02	4,36	3,35
90	0,065	0,081	0,26	1,74	3,93	3,23
100	0,059	0,075	0,22	1,52	3,58	3,11
110	0,055	0,069	0,19	1,34	3,28	3,01
120	0,051	0,064	0,17	1,20	3,03	2,90
132 (Évora)	<b>0,048</b>	<b>0,060</b>	<b>0,15</b>	<b>1,06</b>	<b>2,77</b>	<b>2,79</b>

Em Évora obteve-se os valores de concentração de SO<sub>2</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,048 µg/m<sup>3</sup>, 0,060 µg/m<sup>3</sup>, 0,15 µg/m<sup>3</sup>, 1,06 µg/m<sup>3</sup>, 2,77 µg/m<sup>3</sup> e 2,79 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Relativamente à concentração máxima ao nível do solo, obteve-se respectivamente, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, os valores de 82,7 µg/m<sup>3</sup>, 57,0 µg/m<sup>3</sup>, 49,4 µg/m<sup>3</sup>, 21,3 µg/m<sup>3</sup>, 11,6 µg/m<sup>3</sup> e 3,58 µg/m<sup>3</sup>, às respectivas distâncias de 0,58 km, 1,1 km, 2,1 km, 6,9 km, 16,3 km e 60 km da fonte emissora (Refinería Balboa).

**8.2.3. CAUDAL DE EMISSÃO – 349,6 g/s**

Para o caudal de emissão de 349,6 g/s, de acordo com as considerações efectuadas para o caudal de emissão de 23,1 g/s, no ponto 8.2.2., optou-se por apresentar os resultados obtidos, para todas as classes de estabilidade atmosférica, sob a forma de uma tabela, que apresenta as concentrações de SO<sub>2</sub> obtidas ao nível do solo em função da direcção vento (distância x) para o caudal de emissão de 349,6 g/s.

**Tabela 8.4.** Concentrações de SO<sub>2</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 349,6 g/s e local receptor Évora

Distância x [km]	Classes de Estabilidade Atmosférica					
	A	B	C	D	E	F
	Concentração SO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]					
0,25	0,86	0,0000071	-	-	-	-
0,5	1064,0	46,2	0,032	-	-	-
0,58	<b>1251,8(CMax)</b>	-	-	-	-	-
0,75	917,8	516,1	19,0	-	-	-
1	456,7	832,9	161,2	0,020	0,23x10 <sup>-8</sup>	-
1,1	-	<b>863,3(CMax)</b>	-	-	-	-
2	61,2	534,4	742,1	24,7	0,043	0,19x10 <sup>-8</sup>
2,1	-	-	<b>746,9(CMax)</b>	-	-	-
5	10,9	109,2	362,0	290,9	38,2	0,047
6,9	-	-	-	<b>322,3(CMax)</b>	-	-
10	6,01	28,7	127,9	288,5	146,8	4,83
16,3	-	-	-	-	<b>174,9(CMax)</b>	-
20	3,35	7,42	41,6	161,5	170,6	30,2
30	2,39	3,37	21,6	102,6	140,4	46,2
40	1,88	2,41	13,6	73,0	116,3	51,6
50	1,57	2,00	9,54	55,5	97,9	53,8
60	1,35	1,72	7,17	44,2	84,4	<b>54,2(CMax)</b>
70	1,19	1,51	5,65	36,3	74,1	52,5
80	1,07	1,36	4,61	30,6	66,0	50,6
90	0,98	1,23	3,86	26,3	59,5	48,8
100	0,90	1,13	3,30	22,9	54,1	47,1
110	0,83	1,05	2,87	20,3	49,6	45,5
120	0,78	0,97	2,53	18,1	45,8	44,0
132 (Évora)	<b>0,72</b>	<b>0,90</b>	<b>2,20</b>	<b>16,0</b>	<b>41,9</b>	<b>42,2</b>

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

---

Em Évora obteve-se os valores de concentração de SO<sub>2</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,72 µg/m<sup>3</sup>, 0,90 µg/m<sup>3</sup>, 2,20 µg/m<sup>3</sup>, 16,0 µg/m<sup>3</sup>, 41,9 µg/m<sup>3</sup> e 42,2 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Relativamente à concentração máxima ao nível do solo, obteve-se respectivamente, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, os valores de 1251,8 µg/m<sup>3</sup>, 863,3 µg/m<sup>3</sup>, 746,9 µg/m<sup>3</sup>, 322,3 µg/m<sup>3</sup>, 174,9 µg/m<sup>3</sup> e 54,2 µg/m<sup>3</sup>, às respectivas distâncias de 0,58 km, 1,1 km, 2,1 km, 6,9 km, 16,3 km e 60 km da fonte emissora (Refinería Balboa).

Os gráficos obtidos com a utilização deste caudal de emissão de SO<sub>2</sub>, para cada classe de estabilidade atmosférica, encontram-se no Anexo C.4..



## **9. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE POLUENTES - LOCAL RECEPTOR BEJA**

Para o local receptor Beja, utilizando as condições referidas e definidas no ponto 7., realizou-se a modelação de dispersão atmosférica para os poluentes  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_2$ .

Considerou-se, neste estudo de dispersão dos poluentes, todas as Classes de Estabilidade de Pasquill-Gifford.

Com o estudo determinou-se a concentração dos poluentes obtida em Beja (local receptor), a concentração máxima obtida ao nível do solo, bem como a que distância esta se atinge da fonte emissora e as respectivas curvas de isoconcentração ao longo do percurso dos poluentes.

Os resultados obtidos, divididos por poluente, apresentam-se em seguida.

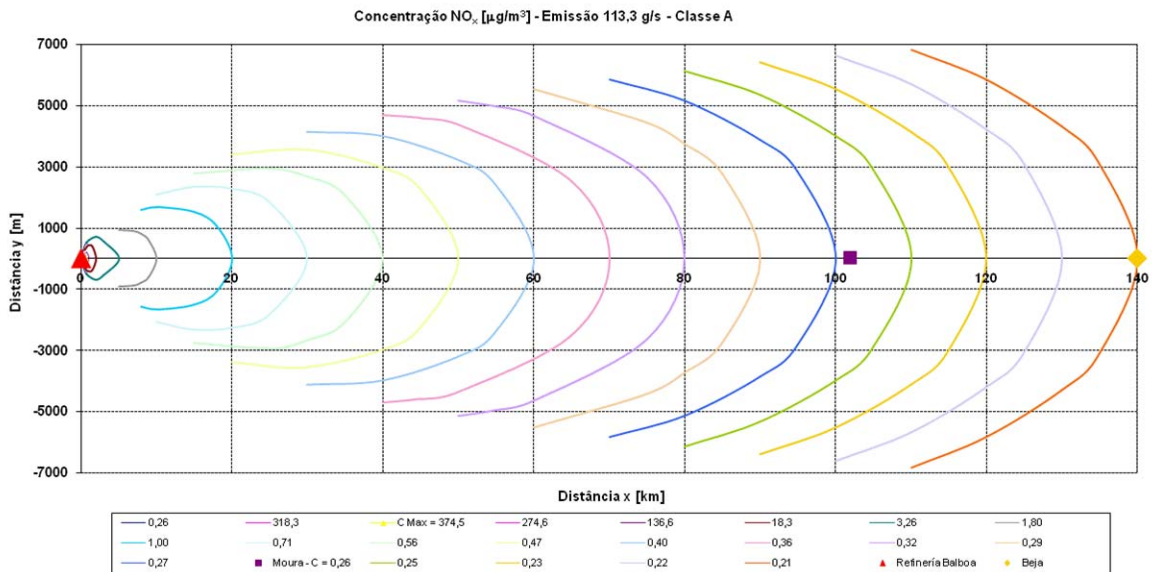
### **9.1. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE $\text{NO}_x$**

Para a modelação de dispersão do poluente  $\text{NO}_x$ , os resultados obtidos, encontram-se divididos de acordo com as três situações consideradas para o caudal mássico do poluente (ponto 7.2.) e por classe de estabilidade atmosférica. Encontram-se representados nas figuras e nas tabelas apresentadas nos pontos seguintes.

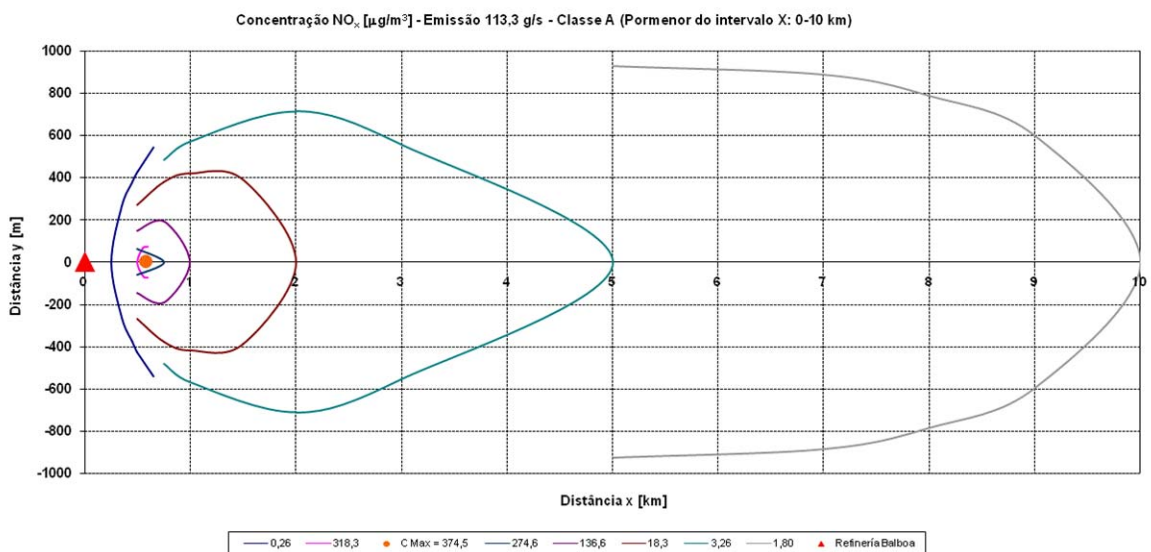
#### **9.1.1. CAUDAL DE EMISSÃO – 113,3 g/s**

Para o caudal de emissão considerado apresentam-se nos pontos seguintes, sob a forma de figuras, para cada classe de estabilidade atmosférica, as respectivas curvas de isoconcentração, a distância a que é obtida a concentração máxima de  $\text{NO}_x$  ao nível do solo, qual o seu valor e a concentração obtida no local receptor. Os gráficos apresentados nas figuras representam a evolução da concentração do  $\text{NO}_x$  desde a sua emissão (Refineria Balboa) até ao local receptor Beja.

**9.1.1.1. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA A**

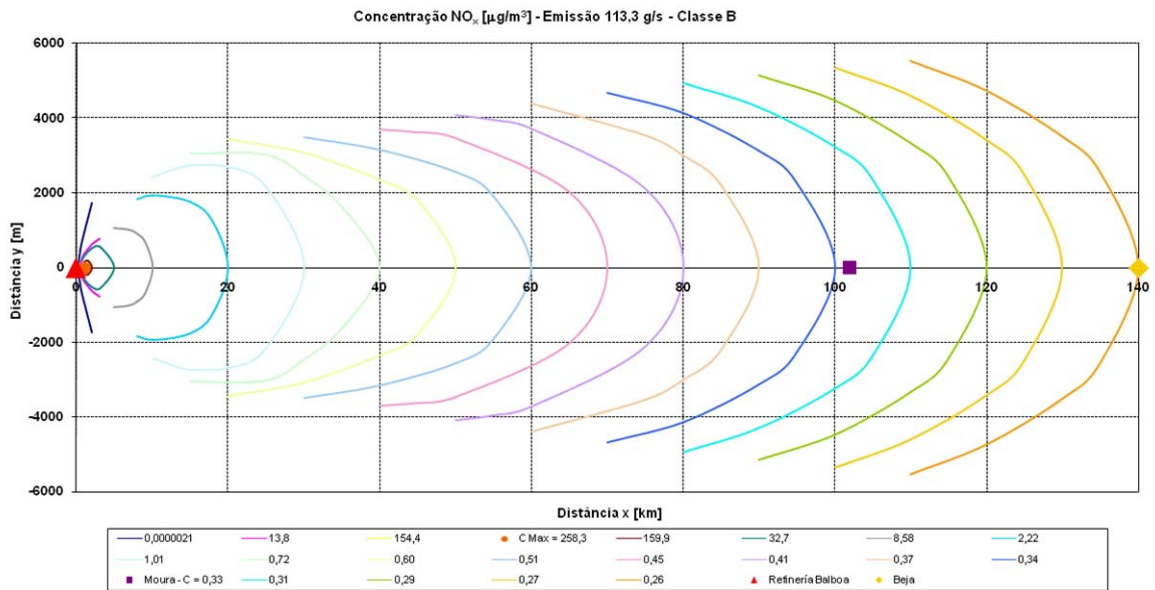


**Figura 9.1.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja

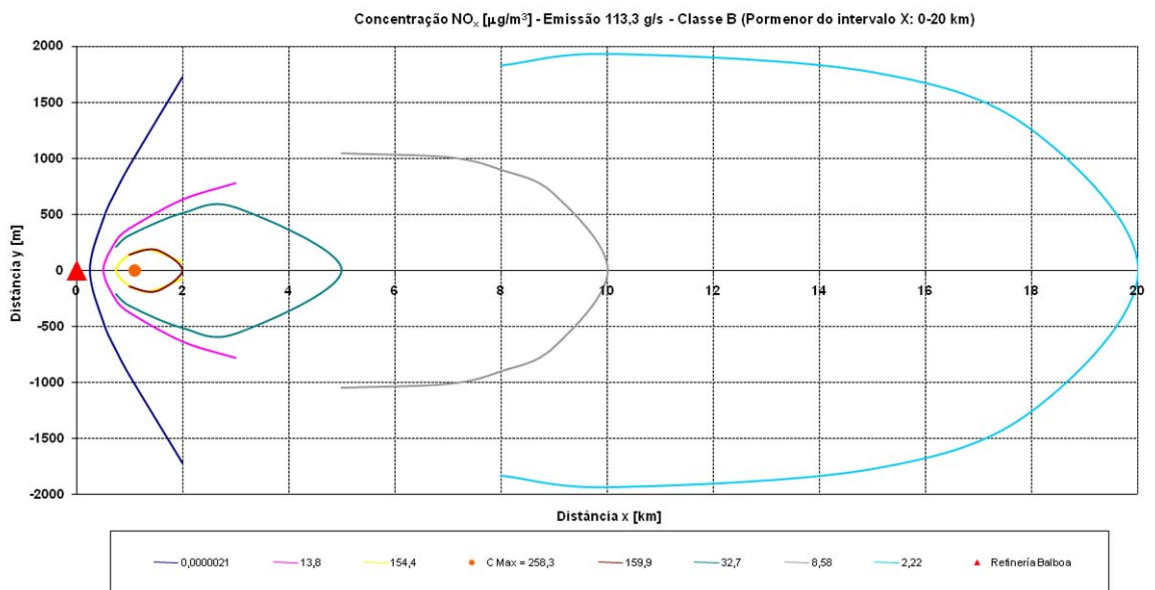


**Figura 9.2.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja

**9.1.1.2. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA B**

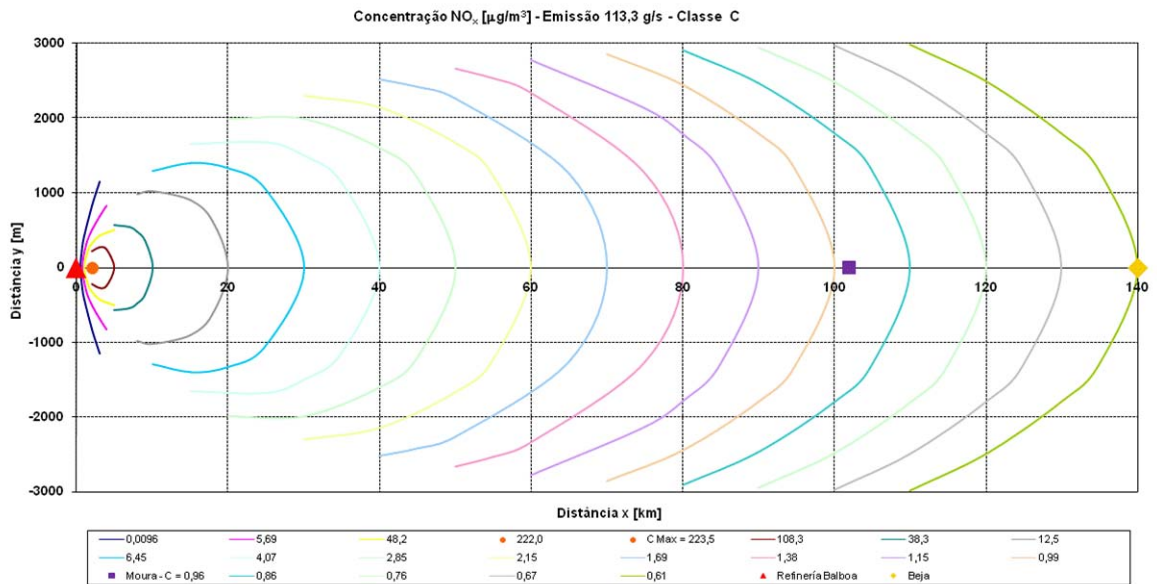


**Figura 9.3.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja



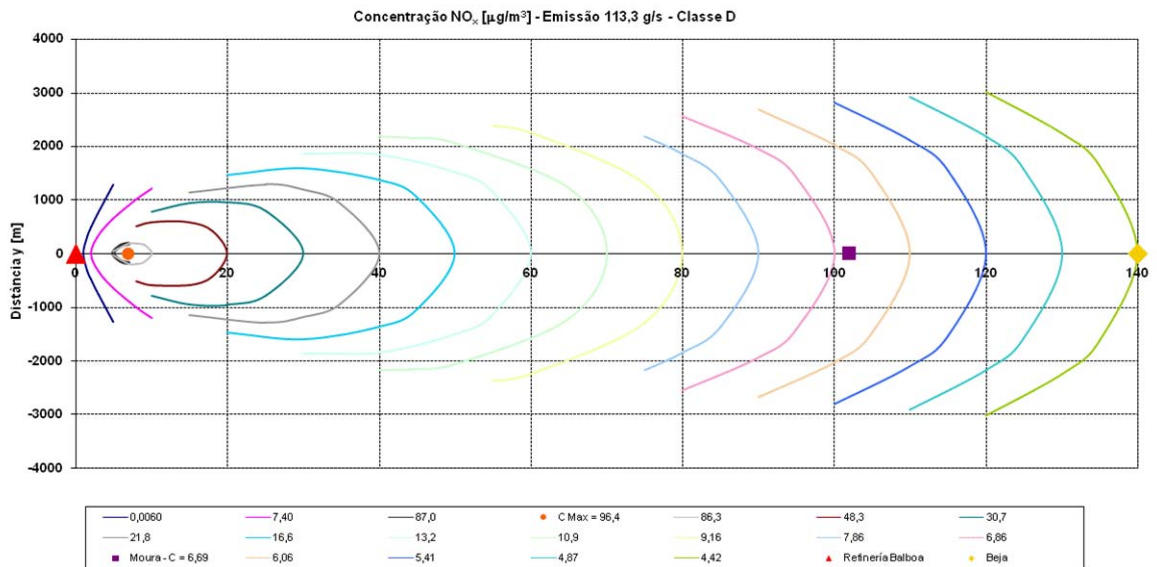
**Figura 9.4.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja

**9.1.1.3. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA C**



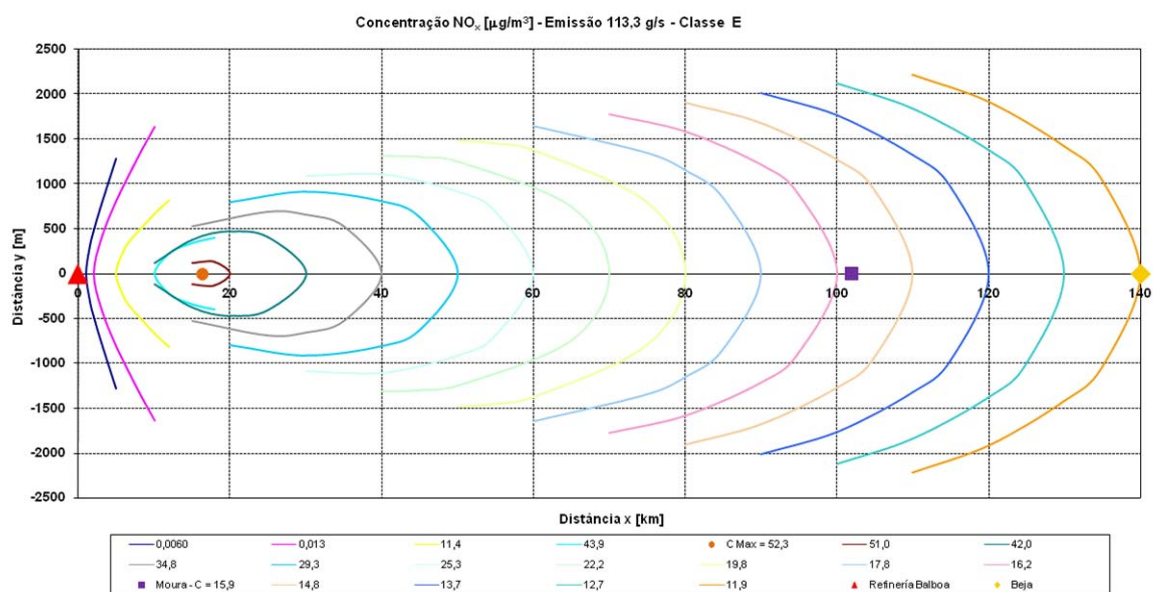
**Figura 9.5.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Beja

**9.1.1.4. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA D**



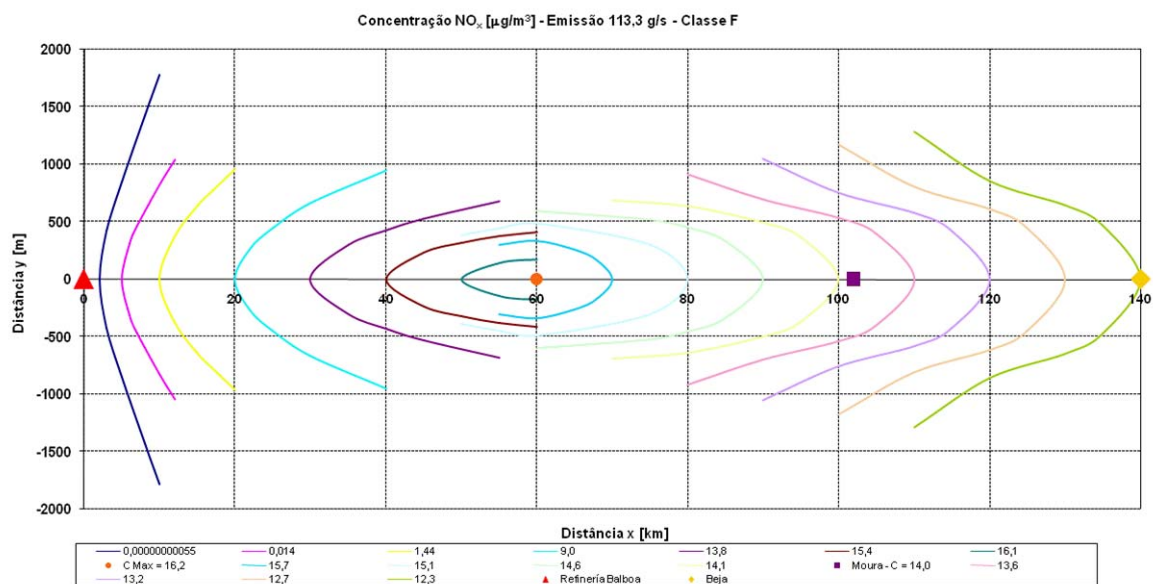
**Figura 9.6.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Beja

**9.1.1.5. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA E**



**Figura 9.7.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Beja

**9.1.1.6. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA F**



**Figura 9.8.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 113,3 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Beja

Em Beja obteve-se os valores de concentração de NO<sub>x</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,21 µg/m<sup>3</sup>, 0,26 µg/m<sup>3</sup>, 0,61 µg/m<sup>3</sup>, 4,42 µg/m<sup>3</sup>, 11,9 µg/m<sup>3</sup> e 12,3 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Em Moura obteve-se os valores de concentração de NO<sub>x</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,26 µg/m<sup>3</sup>, 0,33 µg/m<sup>3</sup>, 0,96 µg/m<sup>3</sup>, 6,69 µg/m<sup>3</sup>, 15,9 µg/m<sup>3</sup> e 14,0 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Relativamente à concentração máxima ao nível do solo, obteve-se respectivamente, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, os valores de 374,5 µg/m<sup>3</sup>, 258,3 µg/m<sup>3</sup>, 223,5 µg/m<sup>3</sup>, 96,4 µg/m<sup>3</sup>, 52,3 µg/m<sup>3</sup> e 16,2 µg/m<sup>3</sup>, às respectivas distâncias de 0,58 km, 1,1 km, 2,1 km, 6,9 km, 16,3 km e 60 km da fonte emissora (Refinería Balboa).

### **9.1.2. CAUDAL DE EMISSÃO – 22,0 g/s**

Considerando o caudal de emissão de NO<sub>x</sub> igual a 22,0 g/s e avaliando as concentrações obtidas ao nível do solo em função da distância na direcção vento (distância x) obtêm-se concentrações díspares face ao caudal de emissão de 113,3 g/s utilizado anteriormente.

Contudo, verifica-se que as curvas de isoconcentração, para cada distância na direcção do vento (distância x) avaliada, apesar de representarem valores de concentração diferentes, apresentam exactamente a mesma configuração, visto os valores determinados para a distância perpendicular à direcção do vento (distância y), serem os mesmos para cada curva obtida.

Para o caudal de emissão em consideração, optou-se por não apresentar os gráficos que representam a evolução da concentração do NO<sub>x</sub> desde a sua emissão (Refinería Balboa) até ao local receptor Beja e as respectivas curvas de isoconcentração.

Desta forma, optou-se por apresentar os resultados obtidos, para todas as classes de estabilidade atmosférica, sob a forma de uma tabela, que se apresenta em seguida. Esta tabela apresenta as concentrações de NO<sub>x</sub> obtidas ao nível do solo em função da direcção vento (distância x) para o caudal de emissão de 22,0 g/s.

Os gráficos obtidos com a utilização deste caudal de emissão de NO<sub>x</sub>, para cada classe de estabilidade atmosférica, encontram-se no Anexo D.1..

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

**Tabela 9.1.** Concentrações de NO<sub>x</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 22,0 g/s e local receptor Beja

Distância x [km]	Classes de Estabilidade Atmosférica					
	A	B	C	D	E	F
	Concentração NO <sub>x</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]					
0,25	0,050	0,00000041	-	-	-	-
0,5	61,8	2,68	0,0019	-	-	-
0,58	<b>72,7 (CMax)</b>	-	-	-	-	-
0,75	53,3	30,0	1,11	-	-	-
1	26,5	48,4	9,37	0,0012	0,13x10 <sup>-9</sup>	-
1,1	-	<b>50,1 (CMax)</b>	-	-	-	-
2	3,55	31,0	43,1	1,44	0,0025	0,11x10 <sup>-9</sup>
2,1	-	-	<b>43,4 (CMax)</b>	-	-	-
5	0,63	6,35	21,0	16,9	2,22	0,0027
6,9	-	-	-	<b>18,7 (CMax)</b>	-	-
10	0,35	1,67	7,43	16,8	8,53	0,28
16,3	-	-	-	-	<b>10,2 (CMax)</b>	-
20	0,19	0,43	2,42	9,38	9,91	1,75
30	0,14	0,20	1,25	5,96	8,16	2,69
40	0,11	0,14	0,79	4,24	6,76	3,00
50	0,091	0,12	0,55	3,22	5,69	3,12
60	0,079	0,10	0,42	2,57	4,90	<b>3,15 (CMax)</b>
70	0,069	0,088	0,33	2,11	4,31	3,05
80	0,062	0,079	0,27	1,78	3,84	2,94
90	0,057	0,072	0,22	1,53	3,46	2,84
100	0,052	0,066	0,19	1,33	3,14	2,74
<b>102 (Moura)</b>	<b>0,051</b>	<b>0,065</b>	<b>0,19</b>	<b>1,30</b>	<b>3,09</b>	<b>2,72</b>
110	0,048	0,061	0,17	1,18	2,88	2,64
120	0,045	0,057	0,15	1,05	2,66	2,55
130	0,042	0,053	0,13	0,95	2,47	2,47
<b>140 (Beja)</b>	<b>0,040</b>	<b>0,050</b>	<b>0,12</b>	<b>0,86</b>	<b>2,30</b>	<b>2,39</b>

Em Beja obteve-se os valores de concentração de NO<sub>x</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,040 µg/m<sup>3</sup>, 0,050 µg/m<sup>3</sup>, 0,12 µg/m<sup>3</sup>, 0,86 µg/m<sup>3</sup>, 2,30 µg/m<sup>3</sup> e 2,39 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Em Moura obteve-se os valores de concentração de NO<sub>x</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,051 µg/m<sup>3</sup>, 0,065 µg/m<sup>3</sup>, 0,19 µg/m<sup>3</sup>, 1,30 µg/m<sup>3</sup>, 3,09 µg/m<sup>3</sup> e 2,72 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Relativamente à concentração máxima ao nível do solo, obteve-se respectivamente, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, os valores de 72,7 µg/m<sup>3</sup>, 50,1 µg/m<sup>3</sup>, 43,4 µg/m<sup>3</sup>, 18,7 µg/m<sup>3</sup>, 10,2 µg/m<sup>3</sup> e 3,15 µg/m<sup>3</sup>, às respectivas distâncias de 0,58 km, 1,1 km, 2,1 km, 6,9 km, 16,3 km e 60 km da fonte emissora (Refinería Balboa).

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

**9.1.3. CAUDAL DE EMISSÃO – 87,8 g/s**

Para o caudal de emissão de 87,8 g/s, de acordo com as considerações efectuadas para o caudal de emissão de 22,0 g/s, no ponto 9.1.2., optou-se por apresentar os resultados obtidos, para todas as classes de estabilidade atmosférica, sob a forma de uma tabela, que apresenta as concentrações de NO<sub>x</sub> obtidas ao nível do solo em função da direcção vento (distância x) para o caudal de emissão de 87,8 g/s.

**Tabela 9.2.** Concentrações obtidas de NO<sub>x</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 87,8 g/s e local receptor Beja

Distância x [km]	Classes de Estabilidade Atmosférica					
	A	B	C	D	E	F
	Concentração NO <sub>x</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]					
0,25	0,20	0,0000016	-	-	-	-
0,5	246,7	10,7	0,0074	-	-	-
0,58	<b>290,2(CMax)</b>	-	-	-	-	-
0,75	212,8	119,6	4,41	-	-	-
1	105,9	193,1	37,4	0,0047	0,54x10 <sup>-9</sup>	-
1,1	-	<b>200,1(CMax)</b>	-	-	-	-
2	14,2	123,9	172,0	5,73	0,0099	0,43x10 <sup>-9</sup>
2,1	-	-	<b>173,2(CMax)</b>	-	-	-
5	2,53	25,3	83,9	67,4	8,85	0,011
6,9	-	-	-	<b>74,7(CMax)</b>	-	-
10	1,39	6,65	29,6	66,9	34,0	1,12
16,3	-	-	-	-	<b>40,5(CMax)</b>	-
20	0,78	1,72	9,66	37,4	39,6	7,00
30	0,55	0,78	5,00	23,8	32,6	10,7
40	0,44	0,56	3,15	16,9	27,0	12,0
50	0,36	0,46	2,21	12,9	22,7	12,5
60	0,31	0,40	1,66	10,2	19,6	<b>12,6(CMax)</b>
70	0,28	0,35	1,31	8,42	17,2	12,2
80	0,25	0,31	1,07	7,09	15,3	11,7
90	0,23	0,29	0,89	6,09	13,8	11,3
100	0,21	0,26	0,76	5,32	12,5	10,9
102 (Moura)	<b>0,21</b>	<b>0,26</b>	<b>0,74</b>	<b>5,18</b>	<b>12,3</b>	<b>10,8</b>
110	0,19	0,24	0,66	4,70	11,5	10,5
120	0,18	0,23	0,59	4,19	10,6	10,2
130	0,17	0,21	0,52	3,78	9,85	9,86
140 (Beja)	<b>0,16</b>	<b>0,20</b>	<b>0,47</b>	<b>3,43</b>	<b>9,19</b>	<b>9,54</b>

Em Beja obteve-se os valores de concentração de NO<sub>x</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,16 µg/m<sup>3</sup>, 0,20 µg/m<sup>3</sup>, 0,47 µg/m<sup>3</sup>, 3,43 µg/m<sup>3</sup>, 9,19 µg/m<sup>3</sup> e 9,54 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Em Moura obteve-se os valores de concentração de NO<sub>x</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,21 µg/m<sup>3</sup>, 0,26 µg/m<sup>3</sup>, 0,74 µg/m<sup>3</sup>, 5,18 µg/m<sup>3</sup>, 12,3 µg/m<sup>3</sup> e 10,8 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Relativamente à concentração máxima ao nível do solo, obteve-se respectivamente, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, os valores de 290,2 µg/m<sup>3</sup>, 200,1 µg/m<sup>3</sup>, 173,2 µg/m<sup>3</sup>, 74,7 µg/m<sup>3</sup>, 40,5 µg/m<sup>3</sup> e 12,6 µg/m<sup>3</sup>, às respectivas distâncias de 0,58 km, 1,1 km, 2,1 km, 6,9 km, 16,3 km e 60 km da fonte emissora (Refinería Balboa).

Os gráficos obtidos com a utilização deste caudal de emissão de NO<sub>x</sub>, para cada classe de estabilidade atmosférica, encontram-se no Anexo D.2.

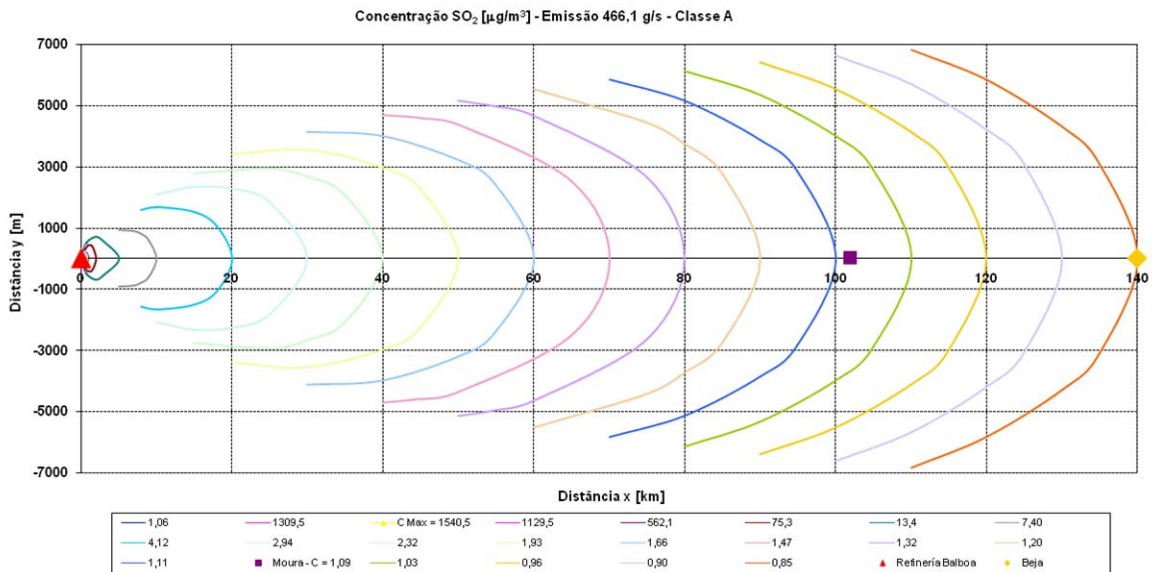
## **9.2. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE SO<sub>2</sub>**

Para a modelação de dispersão do poluente SO<sub>2</sub>, os resultados obtidos, encontram-se divididos de acordo com as três situações consideradas para o caudal mássico do poluente (ponto 7.2.) e por classe de estabilidade atmosférica. Encontram-se representados nas figuras e nas tabelas apresentadas seguidamente.

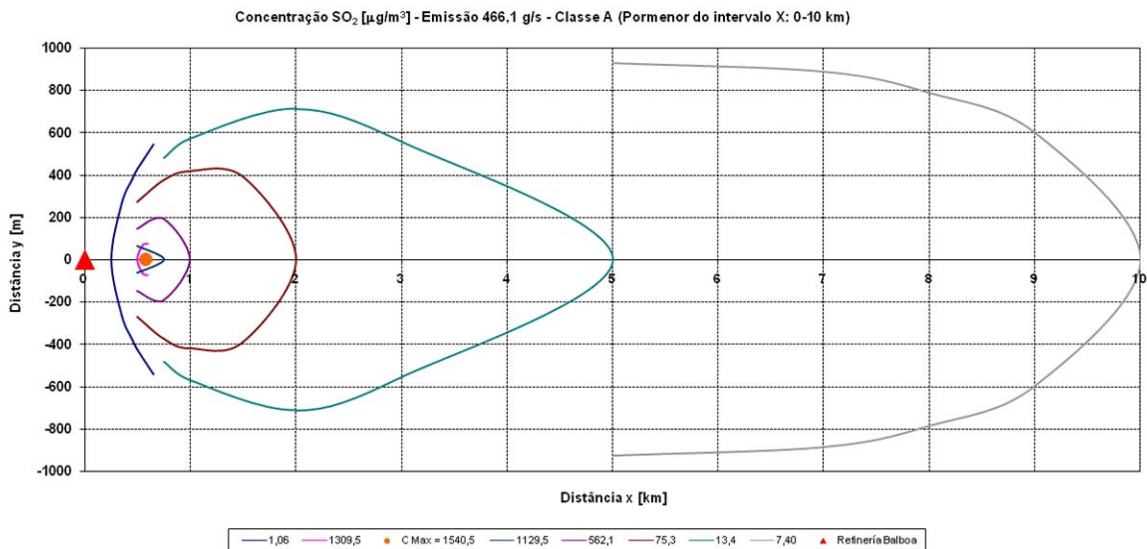
### **9.2.1. CAUDAL DE EMISSÃO – 466,1 g/s**

Para o caudal de emissão considerado apresentam-se nos pontos seguintes, sob a forma de figuras, para cada classe de estabilidade atmosférica, as respectivas curvas de isoconcentração, a distância a que é obtida a concentração máxima de SO<sub>2</sub> ao nível do solo, qual o seu valor e a concentração obtida no local receptor. Os gráficos apresentados nas figuras representam a evolução da concentração do SO<sub>2</sub> desde a sua emissão (Refinería Balboa) até ao local receptor Beja.

**9.2.1.1. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA A**

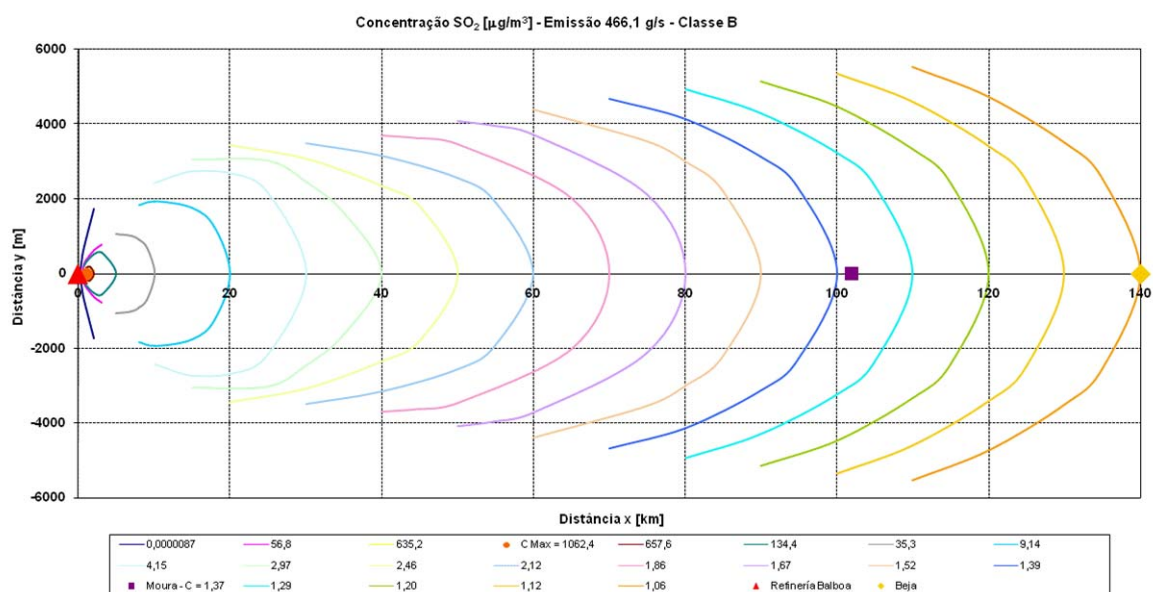


**Figura 9.9.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja

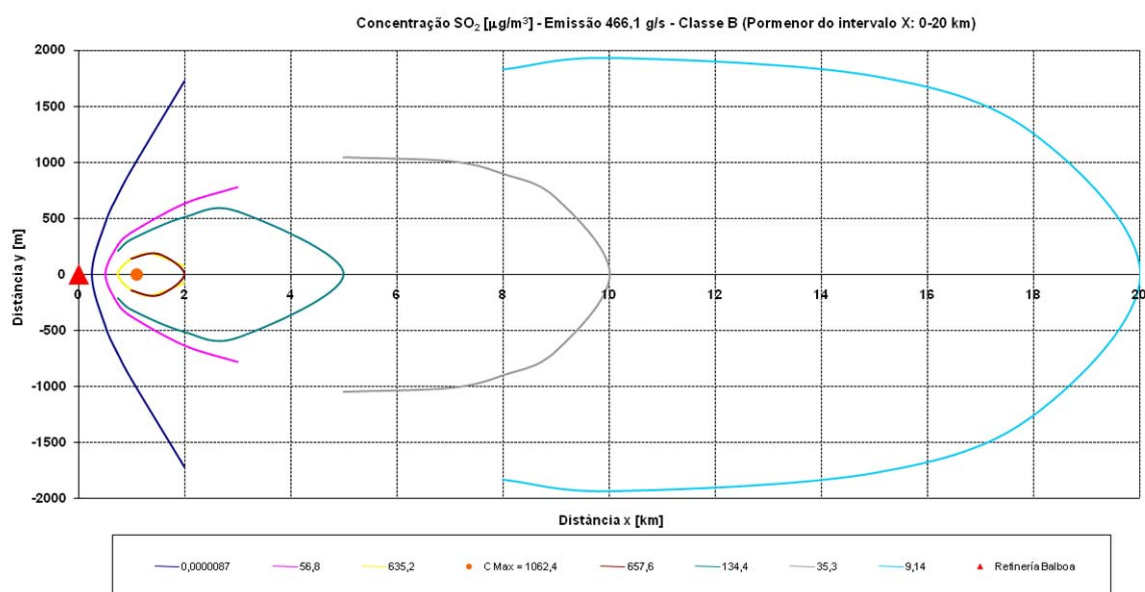


**Figura 9.10.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja

**9.2.1.2. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA B**

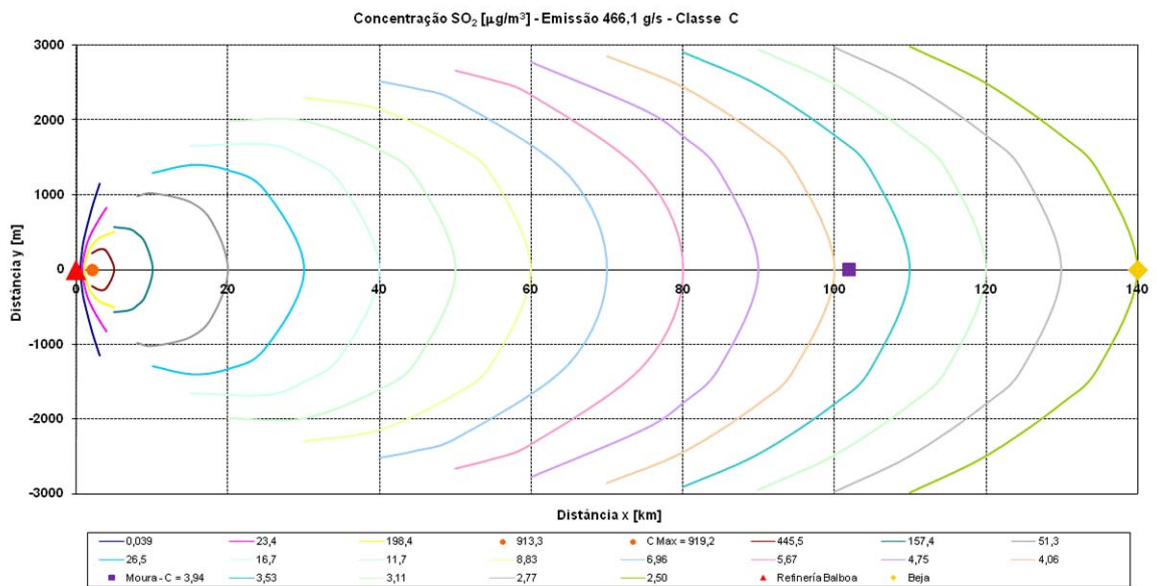


**Figura 9.11.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja



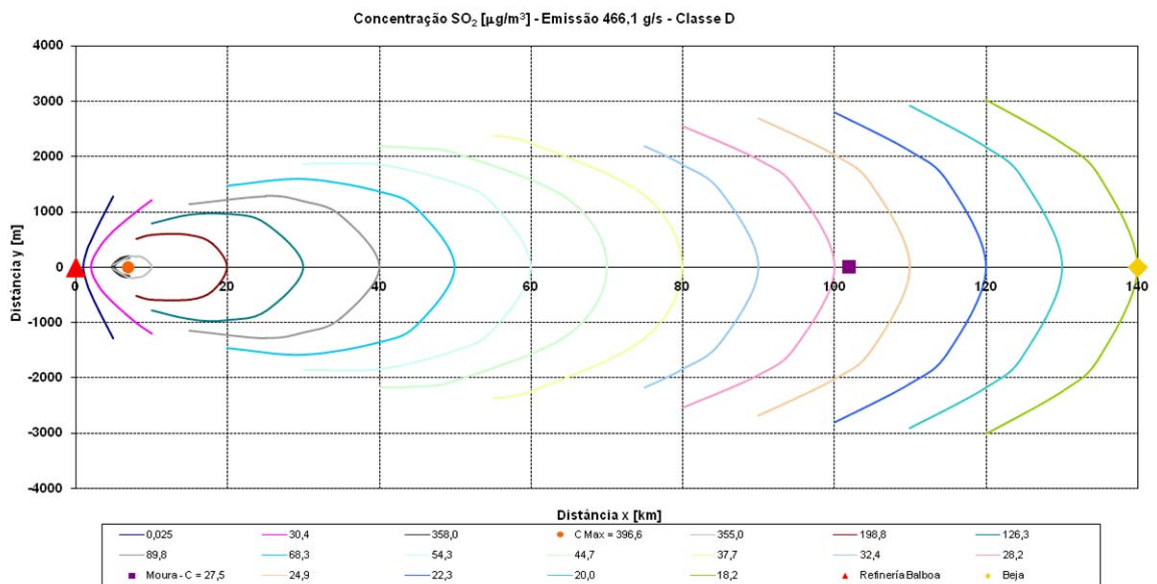
**Figura 9.12.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja

**9.2.1.3. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA C**



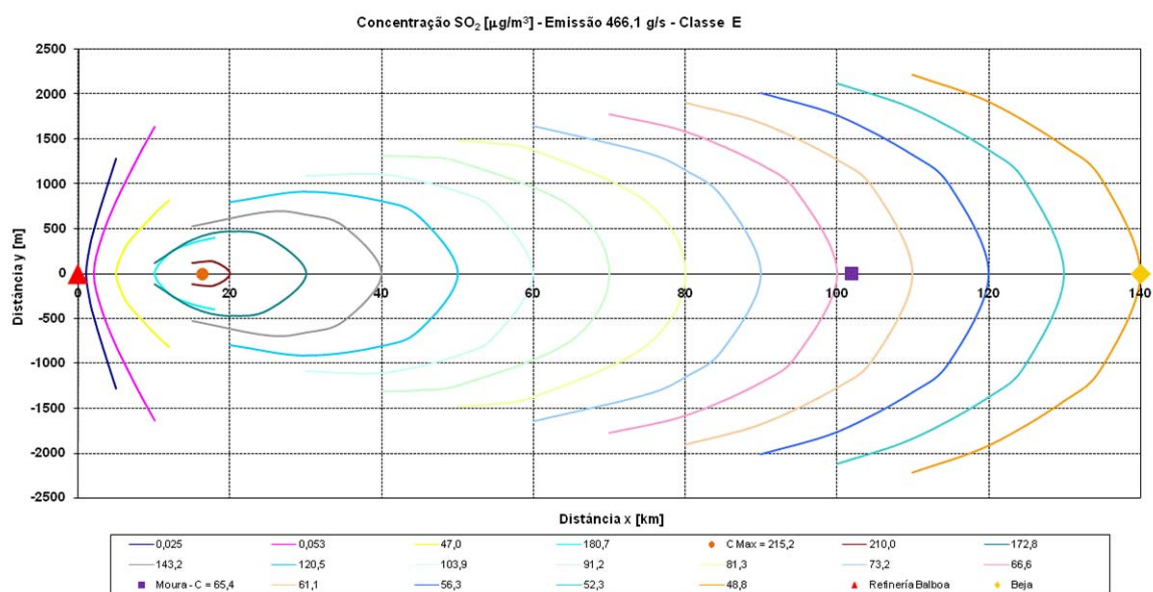
**Figura 9.13.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Beja

**9.2.1.4. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA D**



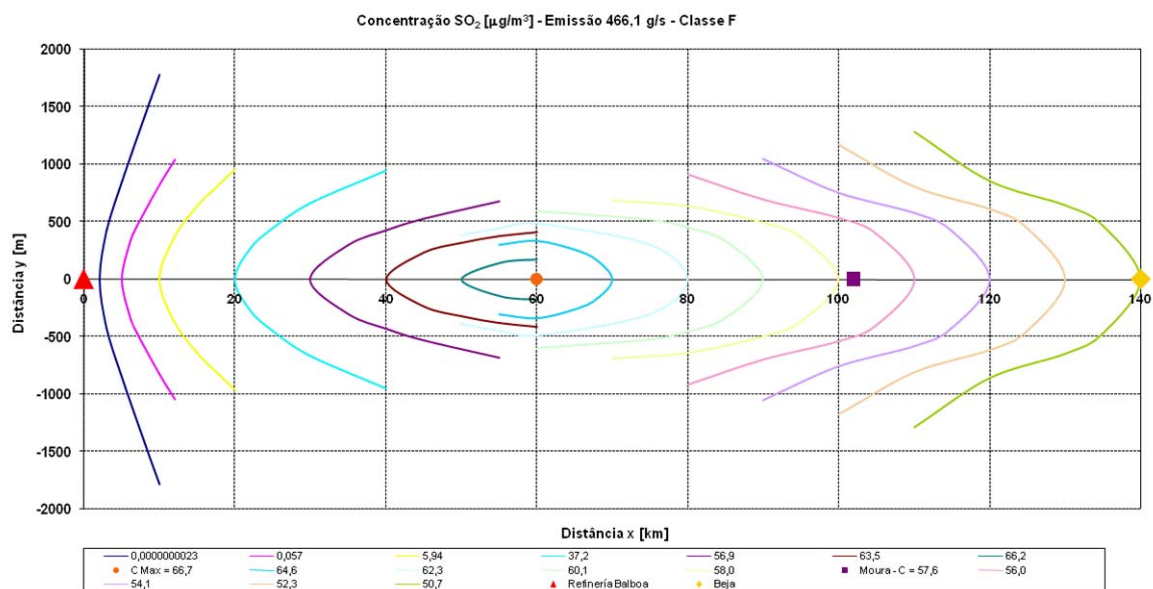
**Figura 9.14.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Beja

**9.2.1.5. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA E**



**Figura 9.15.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Beja

**9.2.1.6. CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA F**



**Figura 9.16.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 466,1 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Beja

Em Beja obteve-se os valores de concentração de SO<sub>2</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,85 µg/m<sup>3</sup>, 1,06 µg/m<sup>3</sup>, 2,50 µg/m<sup>3</sup>, 18,2 µg/m<sup>3</sup>, 48,8 µg/m<sup>3</sup> e 50,7 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Em Moura obteve-se os valores de concentração de NO<sub>x</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 1,09 µg/m<sup>3</sup>, 1,37 µg/m<sup>3</sup>, 3,94 µg/m<sup>3</sup>, 27,5 µg/m<sup>3</sup>, 65,4 µg/m<sup>3</sup> e 57,6 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Relativamente à concentração máxima ao nível do solo, obteve-se respectivamente, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, os valores de 1540,5 µg/m<sup>3</sup>, 1062,4 µg/m<sup>3</sup>, 919,2 µg/m<sup>3</sup>, 396,6 µg/m<sup>3</sup>, 215,2 µg/m<sup>3</sup> e 66,7 µg/m<sup>3</sup>, às respectivas distâncias de 0,58 km, 1,1 km, 2,1 km, 6,9 km, 16,3 km e 60 km da fonte emissora (Refinería Balboa).

### **9.2.2. CAUDAL DE EMISSÃO – 23,1 g/s**

Considerando o caudal de emissão de SO<sub>2</sub> igual a 23,1 g/s e avaliando as concentrações obtidas ao nível do solo em função da distância na direcção vento (distância x) obtêm-se concentrações díspares face ao caudal de emissão de 466,1 g/s utilizado anteriormente.

Contudo, verifica-se que as curvas de isoconcentração, para cada distância na direcção do vento (distância x) avaliada, apesar de representarem valores de concentração diferentes, apresentam exactamente a mesma configuração, visto os valores determinados para a distância perpendicular à direcção do vento (distância y), serem os mesmos para cada curva obtida.

Para o caudal de emissão em consideração, optou-se por não apresentar os gráficos que representam a evolução da concentração do SO<sub>2</sub> desde a sua emissão (Refinería Balboa) até ao local receptor Beja e as respectivas curvas de isoconcentração.

Desta forma, optou-se por apresentar os resultados obtidos, para todas as classes de estabilidade atmosférica, sob a forma de uma tabela, que se apresenta em seguida. Esta tabela apresenta as concentrações de SO<sub>2</sub> obtidas ao nível do solo em função da direcção vento (distância x) para o caudal de emissão de 23,1 g/s.

Os gráficos obtidos com a utilização deste caudal de emissão de SO<sub>2</sub>, para cada classe de estabilidade atmosférica, encontram-se no Anexo D.3..

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

**Tabela 9.3.** Concentrações de SO<sub>2</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 23,1 g/s e local receptor Beja

Distância x [km]	Classes de Estabilidade Atmosférica					
	A	B	C	D	E	F
	Concentração SO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]					
0,25	0,053	0,00000043	-	-	-	-
0,5	64,9	2,82	0,0019	-	-	-
0,58	<b>76,3 (CMax)</b>	-	-	-	-	-
0,75	56,0	31,5	1,16	-	-	-
1	27,9	50,8	9,84	0,0012	0,14x10 <sup>-9</sup>	-
1,1	-	<b>52,7 (CMax)</b>	-	-	-	-
2	3,73	32,6	45,3	1,51	0,0026	0,11x10 <sup>-9</sup>
2,1	-	-	<b>45,6 (CMax)</b>	-	-	-
5	0,66	6,66	22,1	17,7	2,33	0,0028
6,9	-	-	-	<b>19,7 (CMax)</b>	-	-
10	0,37	1,75	7,80	17,6	8,95	0,29
16,3	-	-	-	-	<b>10,7 (CMax)</b>	-
20	0,20	0,45	2,54	9,85	10,4	1,84
30	0,15	0,21	1,32	6,26	8,57	2,82
40	0,11	0,15	0,83	4,45	7,10	3,15
50	0,096	0,12	0,58	3,38	5,97	3,28
60	0,083	0,10	0,44	2,69	5,15	<b>3,31 (CMax)</b>
70	0,073	0,092	0,34	2,21	4,52	3,20
80	0,065	0,083	0,28	1,87	4,03	3,09
90	0,060	0,075	0,24	1,60	3,63	2,98
100	0,055	0,069	0,20	1,40	3,30	2,87
102 (Moura)	<b>0,054</b>	<b>0,068</b>	<b>0,20</b>	<b>1,36</b>	<b>3,24</b>	<b>2,85</b>
110	0,051	0,064	0,17	1,24	3,03	2,77
120	0,047	0,059	0,15	1,10	2,79	2,68
130	0,045	0,056	0,14	0,99	2,59	2,59
140 (Beja)	<b>0,042</b>	<b>0,052</b>	<b>0,12</b>	<b>0,90</b>	<b>2,42</b>	<b>2,51</b>

Em Beja obteve-se os valores de concentração de SO<sub>2</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,042 µg/m<sup>3</sup>, 0,052 µg/m<sup>3</sup>, 0,12 µg/m<sup>3</sup>, 0,90 µg/m<sup>3</sup>, 2,42 µg/m<sup>3</sup> e 2,51 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Em Moura obteve-se os valores de concentração de NO<sub>x</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,054 µg/m<sup>3</sup>, 0,068 µg/m<sup>3</sup>, 0,20 µg/m<sup>3</sup>, 1,36 µg/m<sup>3</sup>, 3,24 µg/m<sup>3</sup> e 2,85 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Relativamente à concentração máxima ao nível do solo, obteve-se respectivamente, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, os valores de 76,3 µg/m<sup>3</sup>, 52,7 µg/m<sup>3</sup>, 45,6 µg/m<sup>3</sup>, 19,7 µg/m<sup>3</sup>, 10,7 µg/m<sup>3</sup> e 3,31 µg/m<sup>3</sup>, às respectivas distâncias de 0,58 km, 1,1 km, 2,1 km, 6,9 km, 16,3 km e 60 km da fonte emissora (Refinería Balboa).

### 9.2.3. CAUDAL DE EMISSÃO – 349,6 g/s

Para o caudal de emissão de 349,6 g/s, de acordo com as considerações efectuadas para o caudal de emissão de 23,1 g/s, no ponto 9.2.2., optou-se apresentar os resultados obtidos, para todas as classes de estabilidade atmosférica, sob a forma de uma tabela, que apresenta as concentrações de SO<sub>2</sub> obtidas ao nível do solo em função da direcção de vento (distância x) para o caudal de emissão de 349,6 g/s.

**Tabela 9.4.** Concentrações de SO<sub>2</sub> ao nível do solo: caudal de emissão de 349,6 g/s e local receptor Beja

Distância x [km]	Classes de Estabilidade Atmosférica					
	A	B	C	D	E	F
	Concentração SO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]					
0,25	0,80	0,0000065	-	-	-	-
0,5	982,2	42,6	0,029	-	-	-
0,58	<b>1155,5(CMax)</b>	-	-	-	-	-
0,75	847,2	476,4	17,6	-	-	-
1	421,6	768,8	148,8	0,019	0,21x10 <sup>-8</sup>	-
1,1	-	<b>796,9(CMax)</b>	-	-	-	-
2	56,5	493,3	685,1	22,8	0,039	0,17x10 <sup>-8</sup>
2,1	-	-	<b>689,5(CMax)</b>	-	-	-
5	10,1	100,8	334,2	268,6	35,2	0,043
6,9	-	-	-	<b>297,5(CMax)</b>	-	-
10	5,55	26,5	118,1	266,3	135,5	4,45
16,3	-	-	-	-	<b>161,4(CMax)</b>	-
20	3,09	6,85	38,4	149,1	157,5	27,9
30	2,20	3,11	19,9	94,7	129,6	42,7
40	1,74	2,23	12,5	67,4	107,4	47,6
50	1,45	1,85	8,8	51,2	90,4	49,6
60	1,25	1,59	6,62	40,8	77,9	<b>50,1(CMax)</b>
70	1,10	1,40	5,22	33,5	68,4	48,4
80	0,99	1,25	4,25	28,2	61,0	46,7
90	0,90	1,14	3,56	24,3	54,9	45,1
100	0,83	1,04	3,05	21,2	50,0	43,5
102 (Moura)	<b>0,82</b>	<b>1,03</b>	<b>2,96</b>	<b>20,6</b>	<b>49,1</b>	<b>43,2</b>
110	0,77	0,97	2,65	18,7	45,8	42,0
120	0,72	0,90	2,33	16,7	42,3	40,6
130	0,68	0,84	2,08	15,0	39,2	39,2
140 (Beja)	<b>0,64</b>	<b>0,79</b>	<b>1,87</b>	<b>13,6</b>	<b>36,6</b>	<b>38,0</b>

Em Beja obteve-se os valores de concentração de SO<sub>2</sub>, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de 0,64 µg/m<sup>3</sup>, 0,79 µg/m<sup>3</sup>, 1,87 µg/m<sup>3</sup>, 13,6 µg/m<sup>3</sup>, 36,6 µg/m<sup>3</sup> e 38,0 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Em Moura obteve-se os valores de concentração de NO<sub>x</sub>, para

as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, de  $0,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $1,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $2,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $20,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $49,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $43,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente.

Relativamente à concentração máxima ao nível do solo, obteve-se respectivamente, para as classes de estabilidade A, B, C, D, E e F, os valores de  $1155,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $796,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $689,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $297,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $161,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $50,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , às respectivas distâncias de 0,58 km, 1,1 km, 2,1 km, 6,9 km, 16,3 km e 60 km da fonte emissora (Refinería Balboa).

Os gráficos obtidos com a utilização deste caudal de emissão de  $\text{SO}_2$ , para cada classe de estabilidade atmosférica, encontram-se no Anexo D.4..



## **10. COMPARAÇÃO COM A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PORTUGUESA (DECRETO-LEI N.º 111/2002 DE 16 DE ABRIL)**

O Decreto-Lei n.º 111/2002 de 16 de Abril<sup>[1]</sup> define os valores limite e os limiares de alerta para as concentrações de determinados poluentes no ar ambiente, 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.

Entre os poluentes abrangidos pelo regime do presente diploma encontram-se o dióxido de enxofre, o dióxido de azoto e os óxidos de azoto, sendo que este último apenas se aplica à protecção da vegetação.

Os óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ) englobam o dióxido de azoto ( $\text{NO}_2$ ) e o óxido de azoto ( $\text{NO}$ ), sendo que no ar ambiente, a maior parte do  $\text{NO}_x$  corresponde ao  $\text{NO}_2$ , uma vez que na maior parte das situações o  $\text{NO}$  emitido para a atmosfera é posteriormente transformado em  $\text{NO}_2$  por oxidação fotoquímica.

Em termos de emissões atmosféricas gasosas em fontes fixas, os Valores de Emissão Atribuídos são referentes ao  $\text{NO}_x$  (expressos como  $\text{NO}_2$ ), pelo que na monitorização destas emissões, para verificação de cumprimento/incumprimento, apenas é analisado este poluente.

Desta forma, optou-se por comparar directamente o valor de  $\text{NO}_x$  obtido, através da modelação de dispersão atmosférica efectuada anteriormente, nos locais receptores, com os valores limite existentes para o  $\text{NO}_2$  no Ar Ambiente. Esta aproximação apenas poderá resultar numa análise por excesso do valor de  $\text{NO}_2$  determinado para os locais receptores, uma vez que se assume que todo o  $\text{NO}_x$  se encontra sob a forma de  $\text{NO}_2$ .

Em seguida, apresentam-se na tabela 10.1. e 10.2., os valores limites no ar ambiente para o  $\text{SO}_2$  e para o  $\text{NO}_2$ , obtidos do Decreto-Lei n.º 111/2002 de 16 de Abril, Anexo I e Anexo II, respectivamente. Os valores limite encontram-se normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa.

No anexo E. apresenta-se, para consulta, as tabelas completas provenientes do Decreto-Lei n.º 111/2002 de 16 de Abril.<sup>[1]</sup>

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

**Tabela 10.1.** Valores limite para o SO<sub>2</sub> no ar ambiente

	<b>Período considerado</b>	<b>Valor Limite [µg/Nm<sup>3</sup>]</b>
Valor limite horário para protecção da saúde humana	1 h	350 (valor a não exceder mais de 24 vezes em cada ano civil)
Valor limite diário para protecção da saúde humana	24 h	125 (valor a não exceder mais de 3 vezes em cada ano civil)

**Tabela 10.2.** Valores limite para o NO<sub>2</sub> no ar ambiente

	<b>Período considerado</b>	<b>Valor Limite [µg/Nm<sup>3</sup>]</b>	<b>Margem de tolerância [µg/Nm<sup>3</sup>]</b>
Valor limite horário para protecção da saúde humana	1 h	200 (valor a não exceder mais de 18 vezes em cada ano civil)	32
Valor limite anual para protecção da saúde humana	Ano civil	20	6,4

Considerando o pior cenário possível de modelação da dispersão dos poluentes atmosféricos, que para o poluente SO<sub>2</sub> corresponde a um caudal de emissão de 466,1 g/s e para o poluente NO<sub>x</sub> a um caudal de emissão de 113,3 g/s, ambos na classe de estabilidade atmosférica F, obteve-se, em Évora, uma concentração ao nível do solo igual a 56,3 µg/m<sup>3</sup> para o SO<sub>2</sub> e igual a 13,7 µg/m<sup>3</sup> para o NO<sub>x</sub>.

De notar que, estes valores, nas condições referidas, apenas são obtidos quando os ventos sopram nesta direcção, o que, considerando as rosas dos ventos utilizadas, corresponde a uma frequência de 3,45 %, pelo que nas restantes situações os valores serão consideravelmente inferiores.

Efectuando as mesmas considerações para o local receptor Beja, obteve-se uma concentração ao nível do solo de 50,7 µg/m<sup>3</sup> para o SO<sub>2</sub> e de 12,3 µg/m<sup>3</sup> para o NO<sub>x</sub>.

Para o local receptor Moura, o pior cenário possível não é obtido na classe de estabilidade atmosférica F, mas sim na classe de estabilidade atmosférica E. Obteve-se, assim, em Moura, uma concentração ao nível do solo de 65,4 µg/m<sup>3</sup> para o SO<sub>2</sub> e de 15,9 µg/m<sup>3</sup> para o NO<sub>x</sub>.

De notar que, os valores obtidos, nas condições referidas, para os locais receptores Beja e consequentemente Moura, apenas são obtidos quando os ventos sopram nesta direcção, o que, considerando as rosas dos ventos utilizadas, corresponde a uma

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

---

frequência de 3,78 %, pelo que nas restantes situações os valores serão consideravelmente inferiores.

Admite-se que a pressão atmosférica é igual a 101,3 kPa e que a temperatura ambiente é de 20 °C (293 K), pelo que as concentrações obtidas para os poluentes se encontram nas mesmas condições que os valores limite legislados.

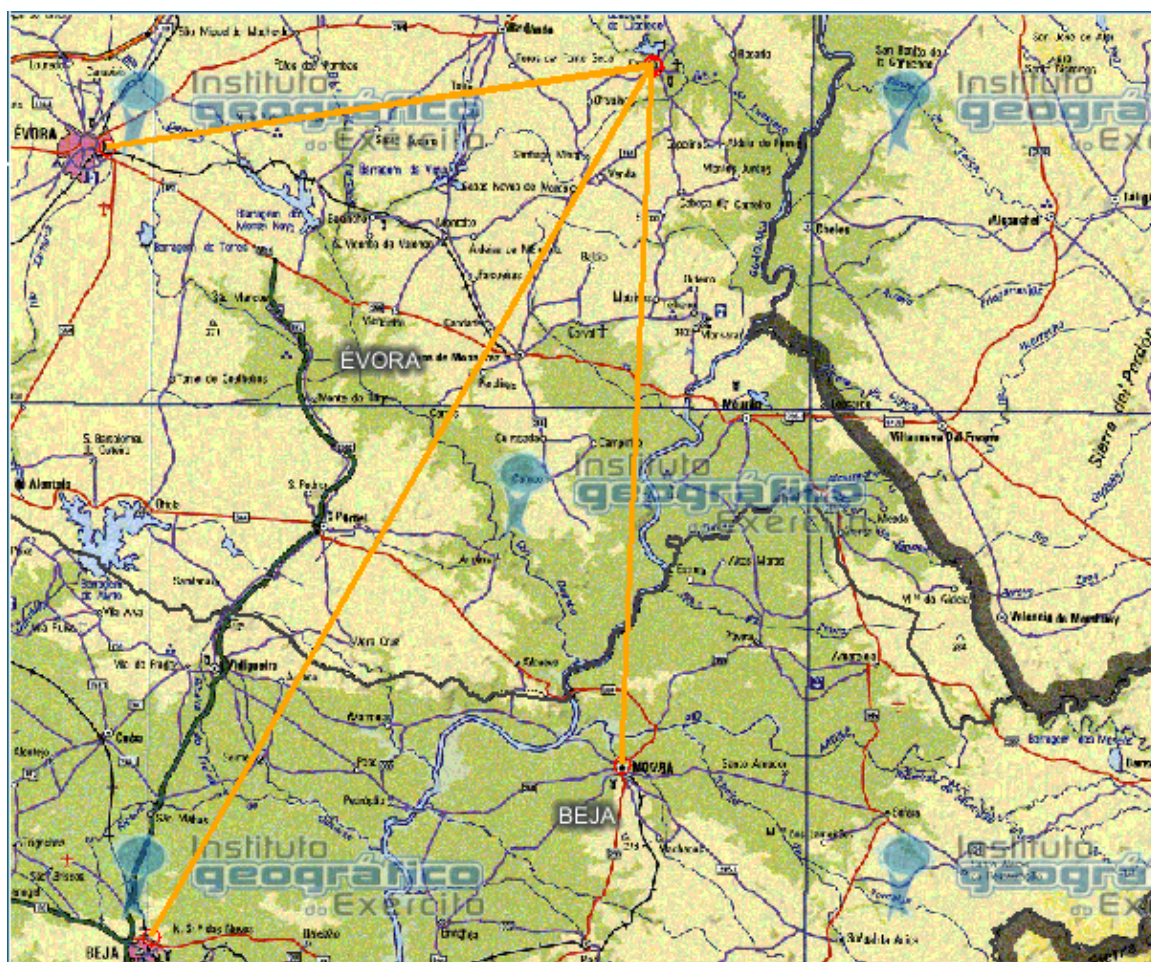
Por comparação dos valores obtidos com os valores limite legislados, verifica-se que estes são cumpridos integralmente, em todos os locais receptores considerados, pelo que, mesmo nos períodos menos favoráveis e no pior cenário possível, o impacto da Refineria Balboa não causará incumprimento da legislação ambiental, no que concerne à qualidade do ar.



## 11. DADOS DE QUALIDADE DO AR – ESTAÇÃO DE QUALIDADE DO AR DE TERENA

Para possibilitar a definição de uma linha de base da qualidade do ar nas zonas em estudo e avaliar qual o incremento de poluição que poderá ser atribuído à futura instalação da refinaria, é importante obter-se os dados actuais de qualidade do ar registados, relativamente aos poluentes em estudo, nas zonas em avaliação (Évora, Beja e Moura), antes da implementação da Refineria Balboa.

Para este efeito, consultou-se a QualAr - base de dados on-line sobre a qualidade do ar da Agência Portuguesa do Ambiente<sup>[34]</sup>, sendo que a única estação existente no Alentejo interior e mais próxima dos locais seleccionados como receptores é a estação da qualidade do ar de Terena, cuja localização se apresenta na figura 11.1., Esta figura representa também a sua distância relativa face aos locais receptores.



**Figura 11.1.** Localização da estação de qualidade do ar de Terena (Alandroal)<sup>[27]</sup>

A distância obtida entre a estação de qualidade do ar de Terena e Évora, Beja e Moura é de 42 km, 118 km e 88 km, respectivamente.

Recolheu-se dados da estação de qualidade do ar de Terena referentes ao ano de 2005. Para o poluente SO<sub>2</sub> obteve-se o valor médio anual de 4,05 µg/m<sup>3</sup>, o valor máximo horário de 36,0 µg/m<sup>3</sup> e o valor máximo diário de 9,67 µg/m<sup>3</sup>. Para o poluente NO<sub>x</sub> obteve-se o valor médio anual de 4,94 µg/m<sup>3</sup> e o valor máximo horário de 36,0 µg/m<sup>3</sup>. Como se verifica através da tabela 10.1. e da tabela 10.2., apresentadas no ponto 10., os valores limite para o SO<sub>2</sub> referem-se a limites horários e diários e os valores limite para o NO<sub>x</sub> referem-se a limites diários e anuais.

Uma vez que se admite o valor mais elevado obtido para cada poluente, como termo de comparação, para cada um dos períodos em questão, pode-se dizer que os restantes valores são inferiores. Os valores obtidos são substancialmente inferiores aos respectivos valores limite.

Assumindo que os valores obtidos representam a linha base de qualidade do ar, dos poluentes em questão, para os locais receptores Évora, Beja e Moura, verifica-se que, o incremento de poluição proporcionado pela Refinería Balboa, de acordo com as condições mencionadas no ponto 10., não é suficiente para violar o cumprimento dos valores limite legislados, sendo que os valores obtidos são inferiores aos respectivos valores limite.

Devido à distância da estação de qualidade do ar de Terena face aos locais receptores, não parece muito rigoroso considerar que os valores fornecidos por esta estação, para o SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>, sejam os mesmos que se encontram presentes em Évora, Beja e Moura.

Um outro factor importante, mas que também se encontra relacionado com a localização da estação de qualidade do ar, é que quer Évora quer Beja se tratam de centros com uma densidade populacional muito mais elevada, com algum grau de industrialização e com uma rede de transportes mais intensa do que a que encontramos na região da estação de qualidade do ar, pelo que os valores dos poluentes, no que à qualidade do ar diz respeito, devem ser superiores nestes dois locais.

## **12. MODELAÇÃO COMPUTACIONAL DA DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES**

Encontrando-se cumprido o objectivo proposto para o trabalho, como forma de complemento, optou-se por tentar também realizar a modelação de dispersão dos poluentes recorrendo a um modelo computacional de dispersão atmosférica do tipo Gaussiano, acrescentando valor ao trabalho.

### **12.1. CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS SISTEMAS DE MODELAÇÃO COMPUTACIONAIS**

Os modelos computacionais actuais permitem entrar em consideração com mapas topográficos da área em estudo com a inclusão do relevo do terreno, com informações do uso do terreno e com dados meteorológicos complexos.<sup>[5]</sup>

Com a modelação computacional, todas as condições iniciais para a modelação apenas são determinantes no instante e na localização iniciais, sendo que, durante a realização da modelação da dispersão, podem sofrer variações constantes ao longo do percurso do poluente.

Assim, as condições meteorológicas, que afectam directamente a dispersão, orientação e deposição do poluente, tais como a direcção e velocidade do vento, parâmetros de estabilidade, pluviosidade e outros fenómenos atmosféricos, podem ser simulados e apresentam uma variabilidade quer ao longo do percurso, devido a efeitos relacionados com o terreno existente, quer devido ao período em que se está a efectuar o estudo, visto que habitualmente, estas condições variam ao longo do período diário.<sup>[35]. [36]</sup>

Desta forma, com esta ferramenta, para a realização da modelação da dispersão de poluentes atmosféricos, deixa-se de se usar dados médios relativos às condições meteorológicas das zonas em estudo, constantes ao longo quer do espaço quer do tempo, para se utilizar dados, com uma melhor aproximação às reais condições do transporte atmosférico, obtidos através de uma simulação de condições de dispersão, que podem apresentar variabilidade ao longo do tempo e do espaço.<sup>[35]. [36]</sup>

Esta situação pode ser preponderante na avaliação do impacto de um poluente cujo percurso se encontre sujeito à influência de condições altamente variáveis.<sup>[3]. [4]. [5]</sup>

Para melhor poderem representar o transporte e dispersão atmosférica, os modelos de transporte de poluentes necessitam de integrar na sua formulação dados referentes a

condições meteorológicas complexas, e como tal, normalmente encontram-se acoplados a um modelo de previsão meteorológica específico.<sup>[3], [5], [37]</sup>

Habitualmente cada modelo de transporte tem um modelo de previsão meteorológica, ou de simulação de condições atmosféricas, pré-definido, apesar de poder também funcionar correctamente com outros modelos alternativos, constituindo assim, os chamados sistemas de modelos, ou seja, modelos de dispersão associados a modelos atmosféricos.<sup>[5], [37]</sup>

Esta situação acrescentou uma vantagem aos modelos de transporte e dispersão de poluentes, uma vez que as informações meteorológicas até então disponíveis, fornecidas por estações de superfície, eram relativamente escassas e com a agregação dos dois tipos de modelos (de dispersão e meteorológicos), consegue-se aumentar enormemente a quantidade de informação, e conseqüentemente obter-se uma melhor representação da dispersão dos poluentes.<sup>[5], [36]</sup>

Os significativos avanços conseguidos durante as últimas décadas, na modelação atmosférica, devem-se principalmente aos avanços obtidos nos modelos de previsão meteorológica, que actualmente permitem prever, com elevado grau de precisão, as condições atmosféricas relevantes para a dispersão de poluentes num determinado local, para um tempo futuro próximo.<sup>[5]</sup>

## **12.2. A ESCOLHA DO SISTEMA DE MODELAÇÃO**

Para a escolha de um modelo computacional, achou-se necessário utilizar um modelo aprovado, para regulamentação da qualidade do ar, por uma qualquer agência ambiental governamental. Esta imposição deve-se ao facto de os modelos aprovados terem sido alvo de testes intensivos, aplicados em situações reais, cujos valores obtidos são comparados com os obtidos por estações de qualidade do ar, garantindo a validade dos resultados fornecidos.

Decidiu-se que se utilizaria um modelo aprovado pela Environmental Protection Agency (EPA), a agência ambiental dos E.U.A., visto esta agência ambiental ser a que maiores avanços tem proporcionado na área da modelação da qualidade do ar e cujos modelos aprovados são testados de forma mais exaustiva. Trata-se também de uma agência governamental ambiental que contempla um grande número de modelos aprovados.<sup>[5], [36]</sup>

Entre os modelos de dispersão atmosférica mais utilizados encontram-se os modelos gaussianos de pluma em estado estacionário, como o AERMOD, ISC3, CALINE,

CTDMPLUS e AUSPLUME e modelos de dispersão “avançados” (nova geração), mais complexos que os primeiros, em estado não estacionário, como o TAPM e o CALPUFF, que se tratam de modelos gaussianos de *puff*.<sup>[5]</sup>

Entre estes, encontram-se actualmente aprovados pela EPA os seguintes modelos de dispersão atmosférica: AERMOD, CALPUFF, CALINE e CTDMPLUS. Esta informação foi obtida no site de Internet da EPA: [http://www.epa.gov/scram001/dispersion\\_prefrec.htm](http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm).  
[38]

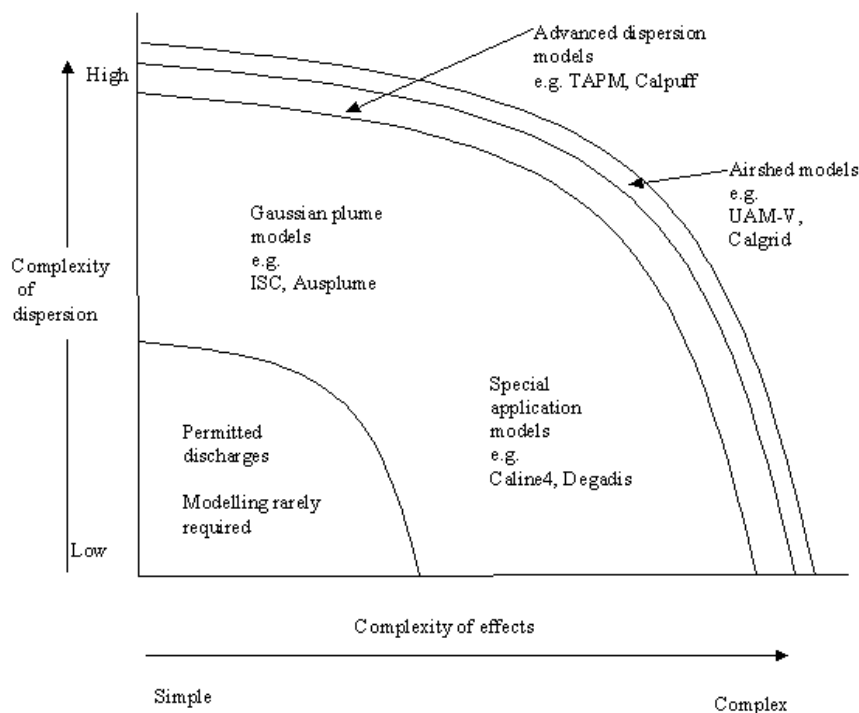
É preciso ressaltar que apesar de se denominarem como tal, todos os modelos de dispersão mencionados são altamente sofisticados e não necessariamente gaussianos; contudo têm como base a equação de dispersão gaussiana.<sup>[5]</sup>

Do ponto de vista prático, a maior diferença entre os dois tipos de modelos mencionados são as suas necessidades de informações meteorológicas e de recursos computacionais. Apesar de actualmente se encorajar a utilização de modelos de dispersão denominados de “avançados”, pois por princípio estes oferecem resultados mais realistas, dependendo das situações a utilização de um modelo de dispersão “avançado”, apesar de mais sofisticado, pode não ser a opção mais correcta.<sup>[5]</sup>

Para se escolher o modelo mais adequado os pontos principais a considerar são: a complexidade da dispersão (ex: terreno e efeitos meteorológicos) e a sensibilidade do ambiente receptor aos potenciais efeitos da descarga poluente.<sup>[5]</sup>

A figura 12.1. ilustra os diversos tipos de modelos aplicados a problemas típicos, dependendo da sua escala e complexidade.

Mediante condições atmosféricas médio/complexas e condições topográficas, com efeitos pouco significativos ou relativamente simples na dispersão dos poluentes, os modelos gaussianos de pluma podem produzir resultados fiáveis. Em condições atmosféricas e topográficas mais complexas, os modelos “avançados” em conjunto com a modelação atmosférica fornecem resultados mais satisfatórios. Como tal, a escolha de um determinado modelo de dispersão atmosférica está muito dependente da aplicação pretendida.<sup>[5]</sup>



**Figura 12.1.** Modelos tipicamente aplicados consoante a complexidade do problema<sup>[5]</sup>

Em situações com terreno complexo ou próximas de costas marítimas, podem ocorrer mudanças significativas nas condições meteorológicas em pequenas distâncias. Os modelos “avançados” permitem simular os efeitos das áreas costeiras e do terreno no transporte de poluentes de uma forma muito mais realista que os modelos gaussianos de pluma. Isto também significa que, os modelos “avançados” necessitam de informação meteorológica mais detalhada para simularem com exactidão os complexos efeitos de dispersão.<sup>[5]</sup>

Outra situação preponderante para a escolha do modelo de dispersão a utilizar é a distância a que se encontra o local receptor da fonte emissora, sendo que, para transporte de poluentes a distâncias consideráveis (>50 km), os modelos “avançados” fornecem resultados bastante mais fidedignos.<sup>[5], [39]</sup>

Relativamente às reacções químicas ocorridas durante o percurso dos poluentes, nomeadamente o SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>, os modelos gaussianos de pluma consideram para estes dois poluentes um simples decaimento exponencial, não contemplando os mecanismos detalhados da química atmosférica. Alternativamente, podem simular alguns processos químicos, tais como a produção de NO<sub>2</sub> a partir do NO<sub>x</sub>, mas sob uma forma de pós-processamento. Os modelos “avançados” conseguem processar a química atmosférica do SO<sub>x</sub>, o NO<sub>x</sub> e reacções químicas orgânicas, químicas da fase aquosa e produção de aerossóis secundários.<sup>[5]</sup>

Para a modelação de dispersão atmosférica dos poluentes produzidos pela futura Refinaria Balboa, considerando como locais receptores Évora, Beja e Moura, escolheu-se o modelo de dispersão de nova geração CALPUFF.

Este modelo foi escolhido devido à sua aplicabilidade à situação de estudo proposta, sendo que o factor preponderante para a escolha foi a obtenção de resultados mais fidedignos para o transporte de poluentes a longa distância, visto que a distância entre a fonte emissora e os locais receptores é superior a 100 km.

O CALPUFF encontra-se aprovado pela EPA, para efeitos regulamentares, como o modelo de dispersão a utilizar para aplicações que envolvam o transporte de poluentes em longas distâncias (>50 km).<sup>[38], [39]</sup>

Uma outra razão para a escolha recair sobre o sistema de modelos CALPUFF, foi o facto de ser um programa de domínio público, incluindo os seus manuais, para utilização com interface gráfica em ambiente Windows/Mac, podendo ser obtido no endereço de Internet: [www.src.com](http://www.src.com)<sup>[40]</sup>. A interface gráfica em ambiente Windows facilita o tratamento dos dados, a sua inserção, bem como a interligação entre os diferentes processadores necessários, incluídos no sistema de modelos, sendo que a apresentação dos resultados obtidos também são visualizados neste ambiente gráfico.<sup>[39], [40]</sup>

### **12.3. SISTEMA DE MODELAÇÃO CALPUFF**

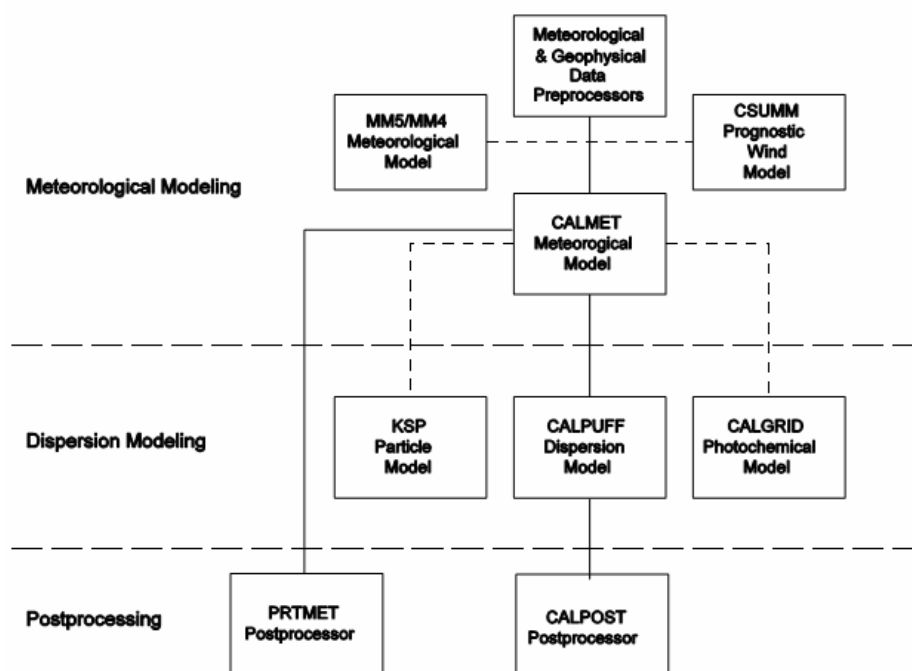
O sistema de modelação CALPUFF tem três principais componentes: CALMET (um modelo meteorológico diagnóstico tridimensional), CALPUFF (o modelo de transporte e dispersão) e CALPOST (um programa de pós-processamento). Cada um destes componentes apresenta uma interface gráfica própria.<sup>[37], [41], [42]</sup>

O CALMET é um modelo meteorológico diagnóstico que incorpora observações meteorológicas e saídas de modelos meteorológicos prognósticos com gerador de campos de velocidade, temperatura e as restantes variáveis necessárias para as simulações com o modelo CALPUFF.<sup>[39]</sup>

O CALPOST trata-se de um programa de pré-processamento para o tratamento dos arquivos de saída do modelo CALPUFF e produz, por exemplo, gráficos e tabelas com valores máximos de concentração para um receptor qualquer. Os arquivos de saída do modelo CALPUFF contêm, por exemplo, medidas horárias de concentrações e/ou deposição de um poluente qualquer em um dado receptor ou posição no domínio.<sup>[37], [39]</sup>

A figura 12.2., permite visualizar uma representação esquemática simplificada do sistema de modelos CALPUFF.

No Anexo F. apresentam-se as representações esquemáticas do modelo de transporte e dispersão CALPUFF, do respectivo modelo meteorológico CALMET e do programa de pós-processamento CALPOST.



**Figura 12.2.** Representação esquemática simples do sistema de modelos CALPUFF [37], [41]

O CALPUFF trata-se de um modelo de dispersão gaussiano de *puff*, em estado não estacionário, de multicamadas e múltiplas espécies. Este modelo é capaz de simular os efeitos do tempo e do espaço, variando as condições meteorológicas ao longo do percurso dos poluentes. [5], [39], [43], [44]

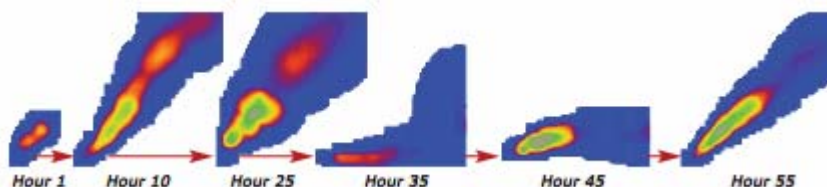
O modelo em causa entra em consideração com uma enorme variedade de efeitos na modelação, tais como: variabilidade espacial das condições meteorológicas, efeitos de casualidade, deposição seca e húmida, elevação da pluma (fumigação), dispersão sob baixas velocidades de vento ou condições de estagnação, efeitos da direcção de vento variável, transformações químicas dos poluentes, dispersão sobre terreno complexo e dispersão sobre a água e influência de zonas costeiras. [39], [43], [44]

O modelo proposto, como já foi anteriormente referido, trata as emissões como *puffs*, ou seja, simula a emissão de poluentes como uma série constante de *puffs*.

Cada *puff* representa uma quantidade discreta de material poluente, que se encontra distribuída inicialmente de forma gaussiana e cujo volume aumenta ao longo do seu percurso, devido à mistura turbulenta na atmosfera.<sup>[3]</sup>

O *puff* é transportado, de acordo com a trajetória do seu centro de massa, determinada pela direção e velocidade do vento no instante temporal considerado e no específico local onde este se situa, enquanto se expande de forma gaussiana no tempo, de acordo com os coeficientes de dispersão  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$ . Estes coeficientes são dependentes do tempo e responsáveis pelo crescimento de cada *puff*. À medida que o *puff* é transportado a concentração do material poluente nele existente vai diminuindo.<sup>[3], [39]</sup>

A figura 12.3. representa uma emissão atmosférica sob a forma de *puffs*.



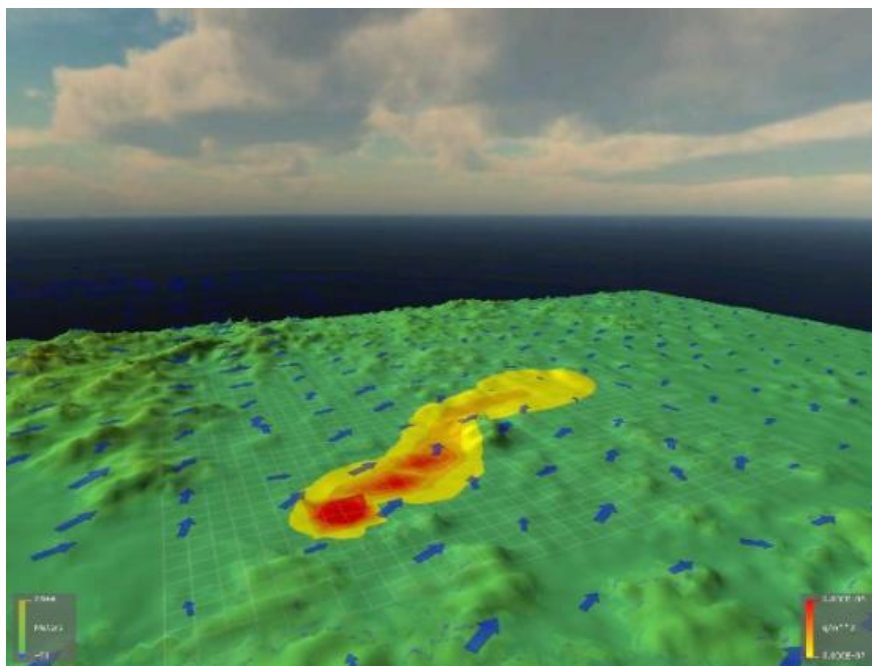
**Figura 12.3.** Exemplo da evolução de uma emissão atmosférica modelada como *puff*<sup>[39]</sup>

Esta forma de representação das emissões atmosféricas poluentes permite que o *puff* responda, de forma quase imediata às condições meteorológicas que em cada momento se encontram ao seu redor.

Para informações mais detalhadas sobre o modelo CALPUFF visitar: [www.src.com/calpuff](http://www.src.com/calpuff).<sup>[45]</sup>

Segundo, a EPA<sup>[38]</sup>, algumas das aplicações em que o sistema de modelos CALPUFF pode ser utilizado são: transporte de longa distância (>50 km), impactos a curta distância em situações complexas de dispersão, tais como, terreno complexo, condições de estagnação, inversão, recirculação, fumigação e transporte sobre água, influência de áreas costeiras e situações de baixa velocidade de vento.<sup>[38], [39], [43], [44], [46]</sup>

Como conclusão, o modelo CALPUFF pode ser considerado como uma das ferramentas mais modernas no estudo do transporte e dispersão de poluentes na atmosfera.<sup>[5], [39], [44], [47]</sup>



**Figura 12.4.** Exemplo de uma modelação de dispersão efectuada com CALPUFF<sup>[48]</sup>

#### **12.4. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE MODELAÇÃO CALPUFF**

Para a modelação do transporte e dispersão atmosférica dos poluentes que hipoteticamente serão produzidos pela Refinería Balboa, primariamente definiu-se qual a grelha global de alcance do modelo bem como as grelhas de integração, para o modelo CALPUFF. As grelhas de modelação definidas têm que englobar a fonte emissora, bem como os locais receptores escolhidos.

O modelo necessita obrigatoriamente de uma série de informações, geofísicas e meteorológicas referentes à região de simulação, ou seja, para as grelhas anteriormente definidas.

O primeiro passo efectuado foi a implementação dos parâmetros geofísicos.

Os dados necessários para a configuração das informações geofísicas são: os mapas topográficos, dados de elevação do terreno e dados de utilização do terreno. Estes dados são obtidos através do site oficial do CALPUFF, [www.src.com](http://www.src.com).<sup>[40]</sup>

Os dados topográficos são obtidos mais especificamente no endereço: [http://www.src.com/datasets/datasets\\_topographic.html](http://www.src.com/datasets/datasets_topographic.html).<sup>[49]</sup>

Os dados de elevação do terreno encontram-se disponíveis no formato digital, nomeadamente em modelos de elevação digital (DEM), produzidos pela USGS (United States Geological Survey), com resoluções horizontais que variam, consoante a região, entre 30 a 900 m. Para a Europa, apenas se encontram disponíveis dados com 900 m de resolução. Obteve-se estes dados para a região definida no seguinte endereço electrónico: [http://www.src.com/datasets/datasets\\_terrain.html](http://www.src.com/datasets/datasets_terrain.html).<sup>[50]</sup>

Os dados referentes ao uso e cobertura do solo foram obtidos no seguinte endereço: [http://www.src.com/datasets/datasets\\_lulc.html](http://www.src.com/datasets/datasets_lulc.html)<sup>[51]</sup>, no formato GLCC (Global Land Cover Characterization), para a região EuroAsia.

Utilizaram-se os mapas topográficos, conseguindo criar-se no respectivo pré-processador o ficheiro a utilizar pelo modelo, para gerar posteriormente o mapa em ficheiro visualizável. Com o pré-processador TERREL e os dados recolhidos de elevação de terreno, processou-se os diversos arquivos de saída para utilização no CALPUFF, bem como aquele que é utilizado no pré-processador final dos dados geofísicos, o MAKEGEO. Com os dados de uso e cobertura do solo e com a utilização do pré-processador CTGPROC, processou-se o arquivo de saída a ser utilizado no MAKEGEO.<sup>[37]. [41]. [52]</sup>

No modelo CALPUFF considerou-se apenas, como fonte de emissão, a fonte fixa (“chaminé virtual”) que representa a Refinería Balboa, apesar do modelo permitir inúmeras conjugações com outras fontes de emissão, tais como outras fontes fixas que podem encontrar-se na área de estudo, fontes de linha, área e volume e emissões não antropogénicas.

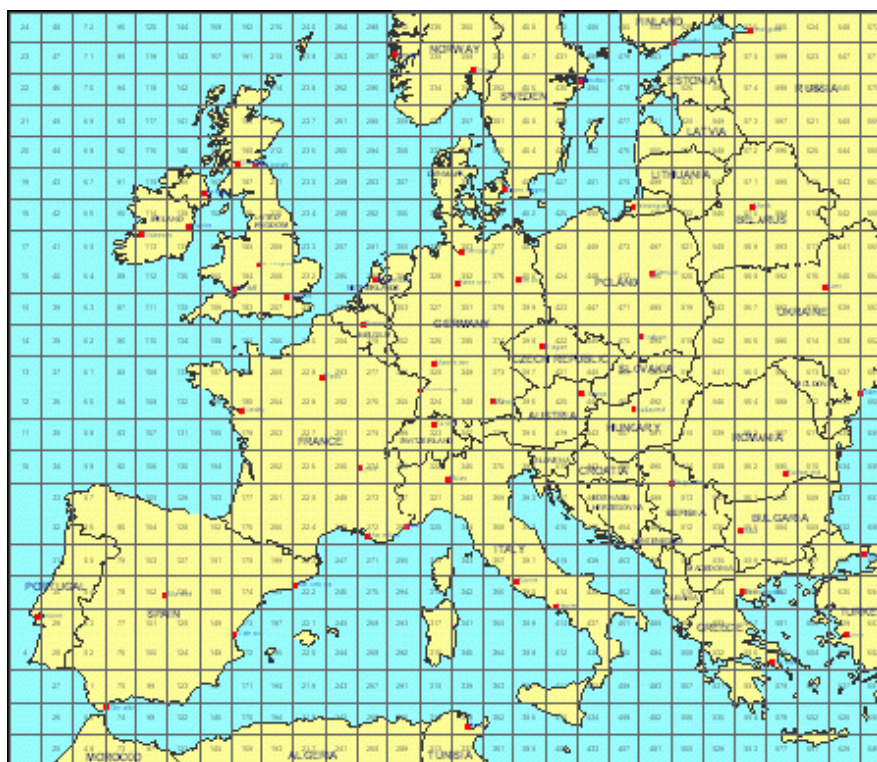
Conseguiu-se definir a emissão dos poluentes considerados, no processador principal do modelo, e pré-processar o ficheiro de modelação no que às emissões diz respeito, bem como em relação aos poluentes considerados.

Relativamente às informações meteorológicas, para introdução no CALMET, também se podem obter através do site oficial do CALPUFF; contudo estes dados já não são de utilização livre, necessitam de ser adquiridos.<sup>[53]</sup>

Não foi possível a criação do ficheiro de informação meteorológica complexa, utilizando o CALMET, visto não se ter adquirido os dados necessários.

As informações meteorológicas necessitam de ser adquiridos por quadricula necessária, conforme o apresentado na figura 12.5. Cada quadricula cobre uma area de 120 km por 120 km e inclui dados horários para um ano inteiro.

Os parâmetros meteorológicos tridimensionais incluídos nos dados fornecidos são: velocidade e direcção do vento, temperatura, pressão, velocidade vertical, humidade relativa, razões de mistura para vapor de água, nebulosidade, chuva, gelo e neve. Os parâmetros bidimensionais incluídos são: pressão ao nível do mar, pluviosidade, área coberta por neve, radiação superficial de onda curta e longa, temperatura do ar e humidade específica a 2 m, velocidade e direcção do vento a 10 m e temperatura da superfície do mar.



**Figura 12.5.** Quadriculas de dados meteorológicos existentes<sup>[53]</sup>

Desta forma, tentou-se, sem a obtenção de resultado favorável, utilizar dados meteorológicos simples nos pré-processadores do CALMET, realizando algumas aproximações permitidas pelo modelo, por forma depois a este gerar uma simulação de dados atmosféricos. Contudo nunca se consegue que o modelo crie um ficheiro de informação meteorológica que permita realizar uma simulação com o CALMET e posteriormente seja input do CALPUFF, pelo que a aquisição de dados meteorológicos é obrigatória, para a realização da modelação do transporte e dispersão de poluentes.

Não se adquiriram os dados meteorológicos, devido a dois motivos que se encontram interligados: as dificuldades sentidas com o funcionamento do software do CALPUFF e ao mesmo tempo as limitações temporais, que não permitiam aplicar a dedicação necessária à resolução das dificuldades mencionadas sob o risco de comprometer o restante trabalho desenvolvido.

O CALPUFF é um programa de modelação complexo e apesar da sua utilização se encontrar facilitada pelo ambiente gráfico simples proporcionado, contempla inúmeras variáveis, factores específicos e tem uma linguagem técnica própria, pelo que existem diversos cursos de aprendizagem específicos para funcionamento com o mesmo, sobre quais podem ser obtidas informações em: <http://www.src.com/calpuff/training.htm>.<sup>[54]</sup>

As principais dificuldades sentidas, prenderam-se com a correcta utilização do software, nomeadamente na interligação entre os diversos pré-processadores existentes, exigindo uma disponibilidade temporal bastante considerável, visto o ambiente gráfico do sistema de modelação ser novidade e estar a ser interpretado e compreendido, de uma forma “autodidacta”, apenas com o recurso ao manual de utilizador do CALPUFF.

O manual não fornece respostas imediatas a todas as questões que eventualmente são colocadas na utilização do programa, por um utilizador sem experiência, sendo que a aprendizagem, neste caso, é limitada e demorada no tempo.



### **13. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO**

Com este trabalho, pretendeu-se avaliar o impacto ambiental, em termos de qualidade do ar, provocado em Évora, Beja e Moura, com a futura instalação de uma refinaria em Espanha, Refinería Balboa, na província de Badajoz, próxima da fronteira portuguesa. Para esta avaliação, realizou-se a modelação do transporte e dispersão dos poluentes atmosféricos que, no futuro poderão ser emitidos pela referida refinaria.

Com recurso a dados de emissão de poluentes atmosféricos, provenientes de refinarias situadas no espaço da União Europeia e referentes aos anos de 2006 e 2007, elaborou-se um inventário das emissões gasosas médias destas unidades industriais. Este inventário permitiu determinar quais os principais poluentes atmosféricos emitidos pelas refinarias, ou seja, aqueles que maior contribuição exercem no conjunto das emissões gasosas totais, bem como determinar os seus valores de emissão médios em termos de caudal mássico.

Obteve-se como principais poluentes emitidos pelas refinarias, o SO<sub>2</sub> e o NO<sub>x</sub>, representando respectivamente 76,3% e 18,6% das emissões atmosféricas totais das refinarias em estudo.

Obteve-se, para o SO<sub>2</sub> e o NO<sub>x</sub>, os caudais mássicos médios de 466,1 g/s e 113,3 g/s, respectivamente, sendo que os valores anunciados como futuras emissões atmosféricas, pela Refinería Balboa, para estes dois poluentes, são bastante inferiores.

A segunda fase deste trabalho compreendeu a modelação do transporte e dispersão dos poluentes atmosféricos considerados para a Refinería Balboa, nomeadamente o NO<sub>x</sub> e o SO<sub>2</sub>, tendo-se utilizado uma modelação da dispersão gaussiana de pluma em estado estacionário.

A modelação efectuada permitiu a determinação das concentrações dos poluentes NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>, ao nível do solo, desde a fonte emissora (Refinería Balboa) até aos locais definidos como receptores, Évora, Beja e Moura.

A modelação da dispersão foi realizada para três situações distintas de emissão de cada poluente atmosférico (NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>) e considerando todas as classes de estabilidade atmosférica de Pasquill-Gifford.

Considerando, para a modelação da dispersão dos poluentes atmosféricos, o pior cenário possível, relativamente ao impacto ambiental provocado nos locais receptores escolhidos, obteve-se em Évora, uma concentração ao nível do solo igual a 56,3 µg/m<sup>3</sup>

para o SO<sub>2</sub> e igual a 13,7 µg/m<sup>3</sup> para o NO<sub>x</sub>. Este cenário corresponde à utilização dos caudais de emissão, para os poluentes SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, obtidos no inventário de emissões atmosféricas realizado, na classe de estabilidade atmosférica F (estável).

Efectuando as mesmas considerações para o local receptor Beja, obteve-se uma concentração ao nível do solo de 50,7 µg/m<sup>3</sup> para o SO<sub>2</sub> e de 12,3 µg/m<sup>3</sup> para o NO<sub>x</sub>. Para o local receptor Moura, o pior cenário possível não é obtido na classe de estabilidade atmosférica F, mas sim na classe de estabilidade atmosférica E (moderadamente estável), tendo-se obtido uma concentração ao nível do solo de 65,4 µg/m<sup>3</sup> para o SO<sub>2</sub> e de 15,9 µg/m<sup>3</sup> para o NO<sub>x</sub>.

Desta forma conclui-se que, para os restantes cenários, as concentrações obtidas ao nível do solo dos poluentes SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, para os locais receptores considerados, serão inferiores às indicadas anteriormente.

Por comparação dos valores obtidos com os valores limite legislados (Decreto-Lei n.º 111/2002 de 16 de Abril), verifica-se que estes são cumpridos integralmente, em qualquer dos locais receptores considerados, pelo que, mesmo nos períodos menos favoráveis e no pior cenário possível, o impacto provocado pela Refineria Balboa não causará incumprimento da legislação ambiental, no que concerne à qualidade do ar.

É importante referir que os valores apresentados, para as concentrações de SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> ao nível do solo, são obtidos através da realização da modelação de dispersão considerando a orientação dos ventos na direcção dos locais receptores.

De acordo com os dados de ventos utilizados, a situação descrita, para a orientação dos ventos, corresponde a uma frequência de 3,45 % (proveniência Este) e velocidade média de 2,4 m/s para o local receptor Évora e a uma frequência de 3,78 % (proveniência Este-Nordeste) e velocidade média de 2,6 m/s para os locais receptores Beja e Moura, pelo que nas restantes situações, em que os ventos soprem noutras direcções, que não as dos locais receptores escolhidos, os valores serão consideravelmente inferiores.

A Refineria Balboa, não produzirá assim, um impacto negativo significativo, no que concerne à qualidade do ar, nas regiões designadas como locais receptores.

Tendo em conta a envolvência atmosférica considerada, nomeadamente a distribuição das frequências dos ventos, sugere-se, como trabalho futuro, a realização da modelação do transporte e dispersão dos poluentes atmosféricos SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, para os sectores cuja orientação dos ventos é preferencial. Deste modo, procede-se à avaliação do possível

impacto ambiental, em termos de qualidade do ar, provocado pela implementação da Refinaria Balboa em locais (centros populacionais) que se encontrem nas direcções preferenciais, estabelecendo-se para esse efeito novos locais receptores.

Como forma de complemento, optou-se por tentar também realizar a modelação de dispersão dos poluentes recorrendo a um sistema de modelação computacional de dispersão atmosférica, o CALPUFF.

A modelação utilizando o CALPUFF não foi conseguida integralmente, tendo-se contudo avançado consideravelmente na compreensão e interpretação do sistema de modelos, que é de uma complexidade elevada, bem como da sua correspondente interface gráfica. Conseguiu-se recolher, proceder à sua implementação e posterior configuração no modelo CALPUFF, dos dados necessários à realização da modelação de dispersão de poluentes, tais como, mapas topográficos, dados de elevação do terreno, dados de uso e cobertura do solo, bem como interligar os diversos pré-processadores existentes neste sistema de modelação e criar os respectivos arquivos de saída para utilização no CALPUFF. Configurou-se a fonte de emissão e os respectivos caudais de emissão dos poluentes no processador principal do modelo, e conseguiu-se pré-processar o ficheiro de modelação, para os poluentes considerados, no que às emissões diz respeito.

Sugere-se como trabalho futuro, a continuação do estudo sobre o sistema de modelação da dispersão de poluentes atmosféricos CALPUFF, aproveitando os avanços alcançados, no sentido de aprofundar o conhecimento sobre o sistema de modelos e funcionamento do mesmo, bem como da interface gráfica disponibilizada, de forma a descobrir todas as suas potencialidades e usufruir delas.

A continuação do estudo sobre o sistema de modelos CALPUFF permitirá que a aplicação deste modelo seja possível, a curto prazo, em futuros trabalhos na área da modelação da dispersão de poluentes atmosféricos, para situações em que a sua aplicação seja adequada, de acordo com as suas características intrínsecas.



**14. LISTA DE REFERÊNCIAS** (por ordem de aparecimento)

- [<sup>1</sup>] *Decreto-Lei n.º 111/2002 de 16 de Abril*, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Diário da República – I Série-A n.º 89 de 16 de Abril de 2002, 3711-3722, Imprensa Nacional-Casa da Moeda, S.A.;
- [<sup>2</sup>] Almeida, J.P., Rodrigues, J., 2003, *Um Modelo Gaussiano Incorporado em SIG para Estudo de Impactos Ambientais – Aplicação a um Caso na Zona de Coimbra*, Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra;
- [<sup>3</sup>] Moraes, M., 2001, *Implementação de um Sistema de Modelos para a Qualidade do Ar*, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica;
- [<sup>4</sup>] Moreira, D., Tirabassi, T., 2004, *Modelo Matemático de Dispersão de Poluentes na Atmosfera: Um Instrumento Técnico para a Gestão Ambiental*, Ambiente & Sociedade – Vol. VII n.º. 2 jul./dez.;
- [<sup>5</sup>] *Good Practice Guide for Atmospheric Dispersion Modelling*, 2004, preparado por National Institute of Water and Atmospheric Research, Aurora Pacific Limited e Earth Tech Incorporated, Ministry for the Environmental, New Zealand, <http://www.mfe.govt.nz>;
- [<sup>6</sup>] Lisboa, H., 2005, *Controle da Poluição Atmosférica: Meteorologia e Dispersão*, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental;
- [<sup>7</sup>] Zanetti, P., 1990, *Air Pollution Modeling*, Van Nostrand, Reinhold;
- [<sup>8</sup>] Longhetto, A., 1980, *Atmospheric Planetary Boundary Layer Physics*, New York, Elsevier;
- [<sup>9</sup>] Miranda, A., 2007, *Efeitos da Poluição Atmosférica – Exposição e Saúde*, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro;
- [<sup>10</sup>] Vale, E., Pinto, M., Oliveira, S., 2006, *Dimensionamento de uma Unidade de Farinhas Animais*, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia do Porto;
- [<sup>11</sup>] *Memoria-Resumen: “Proyecto para la instalación de una Refinería de Petróleo en Extremadura”*, 2005, Sociedad Refinería Balboa, S.A., Grupo Industrial Alfonso Gallardo;
- [<sup>12</sup>] *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector refino de petróleo*, 2004 Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental;
- [<sup>13</sup>] *Reference document on best available techniques for mineral oil and gas refineries*, 2001, IPCC, Sevilla;

- [14] CONCAWE, 1998, *Sulphur dioxide emissions from oil refineries and combustion of oil products in Western Europe and Hungary (1995)*, Report No. 3/98 Brussels, <http://www.concawe.be/>;
- [15] Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, 2001 *apud Memoria-Resumen: "Proyecto para la instalación de una Refinería de Petróleo en Extremadura"*, 2005, Sociedad Refinería Balboa, S.A., Grupo Industrial Alfonso Gallardo;
- [16] *Petroleum Industry: Fluid Catalytic Cracking Unit*, 2005, EGTEI (Expert Group on Techno-economic Issues);
- [17] *Licença Ambiental n.º 14/2007*, 2007, Agência Portuguesa do Ambiente, Portugal;
- [18] *Licença Ambiental n.º 48/2007*, 2007, Agência Portuguesa do Ambiente, Portugal;
- [19] *Licença Ambiental n.º 16/2007*, 2007, Agência Portuguesa do Ambiente, Portugal;
- [20] *Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries BREF*, Comissão Europeia (JOC 40, de 19 Fevereiro de 2003), <http://eippcb.jrc.es>;
- [21] *Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries BREF*, Comissão Europeia (JOC 40, de 19 Fevereiro de 2003), <http://eippcb.jrc.es>;
- [22] *Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector – BREF WWWG*, Comissão Europeia (JOC 12, de 16 de Janeiro de 2002), <http://eippcb.jrc.es>;
- [23] *Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage – BREF ESB* (JO C 253, de 19 de Outubro de 2006), <http://eippcb.jrc.es>;
- [24] *Reference Document on the Application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems – BREF CV*, Comissão Europeia (JOC 12, de 16 de Janeiro de 2002), <http://eippcb.jrc.es>;
- [25] *Reference Document on the General Principles of Monitoring – BREF MON*, Comissão Europeia (JOC 170, de 19 de Julho de 2003), <http://eippcb.jrc.es>;
- [26] *Refinería Balboa – La nueva referencia del refino en España*, 2005, Presentación, 2005, Sociedad Refinería Balboa, S.A., Grupo Industrial Alfonso Gallardo;
- [27] <http://www.igeoe.pt/igeoesig/igeoesig.asp>;
- [28] Hernández, S. et al, 2007, *Proyecto de Investigación para el Diagnóstico y Vigilancia del Impacto por Vía Atmosférica de un Complejo Refinero en Extremadura*, Universidad de Extremadura y la Fundación CEAM;
- [29] Boubel, R.W., Fox, D.L., Turner, D.B. and Stem, A.C., 1994, *Fundamentals of Air Pollution*, Academic Press;
- [30] Mahoney, J.R., 1974, *Metereological Aspects of Air Pollution*, In *Industrial Pollution*, 15, pp. 409-455 *apud* Almeida, J.P., Rodrigues, J., 2003, *Um Modelo Gaussiano*

*Incorporado em SIG para Estudo de Impactos Ambientais – Aplicação a um Caso na Zona de Coimbra*, Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra;

[31] Kiely, G., 1997, *Environmental Engineering*, McGraw-Hill International, UK *apud* Almeida, J.P., Rodrigues, J., 2003, *Um Modelo Gaussiano Incorporado em SIG para Estudo de Impactos Ambientais – Aplicação a um Caso na Zona de Coimbra*, Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra;

[32] Pasquill, F., 1974, *Atmospheric Diffusion*, New York;

[33] Pasquill, F., 1961, *Meteorological Mag.*, New York;

[34] Qualar - base de dados on-line sobre a qualidade do ar da Agência Portuguesa do Ambiente; <http://www.qualar.org>;

[35] Miranda, A., 2007, *Gestão da Qualidade do Ar – Modelação da Qualidade do Ar*, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro;

[36] Miranda, A., 2007, *Gestão da Qualidade do Ar – Os Modelos Gaussianos de Qualidade do Ar*, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro;

[37] Scire, Joseph S. et al, 2000, *A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model (Version 5)*, Earth Tech, Inc.;

[38] [http://www.epa.gov/scram001/dispersion\\_prefrec.htm](http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm);

[39] <http://support.lakes-environmental.com/brochures/CALPUFF.pdf>;

[40] <http://www.src.com>;

[41] Scire, Joseph S. et al, 2000, *A User's Guide for the CALMET Meteorological Model (Version 5)*, Earth Tech, Inc.;

[42] [http://www.weblakes.com/calpuff/calpuff\\_overview.html](http://www.weblakes.com/calpuff/calpuff_overview.html);

[43] [http://www.weblakes.com/calpuff/calpuff\\_features.html](http://www.weblakes.com/calpuff/calpuff_features.html);

[44] [http://www.weblakes.com/calpuff/calpuff\\_advantages.html](http://www.weblakes.com/calpuff/calpuff_advantages.html);

[45] [www.src.com/calpuff](http://www.src.com/calpuff);

[46] <http://www.src.com/calpuff/regstat.htm>;

[47] Jonas C. Carvalho, 2001, comunicação pessoal *apud* Moraes, M., 2001, *Implementação de um Sistema de Modelos para a Qualidade do Ar*, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica;

[48] <http://www.breeze-software.com>;

[49] [http://www.src.com/datasets/datasets\\_topographic.html](http://www.src.com/datasets/datasets_topographic.html);

[50] [http://www.src.com/datasets/datasets\\_terrain.html](http://www.src.com/datasets/datasets_terrain.html);

[51] [http://www.src.com/datasets/datasets\\_lulc.html](http://www.src.com/datasets/datasets_lulc.html);

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

---

<sup>[52]</sup> CALMET/CALPUFF BART Protocol for Class I Federal Area Individual Source, Attribution Visibility, Impairment Modeling Analysis, 2005, Technical Services Program, Air Pollution Control Division, Colorado Department of Public Health and Environment;

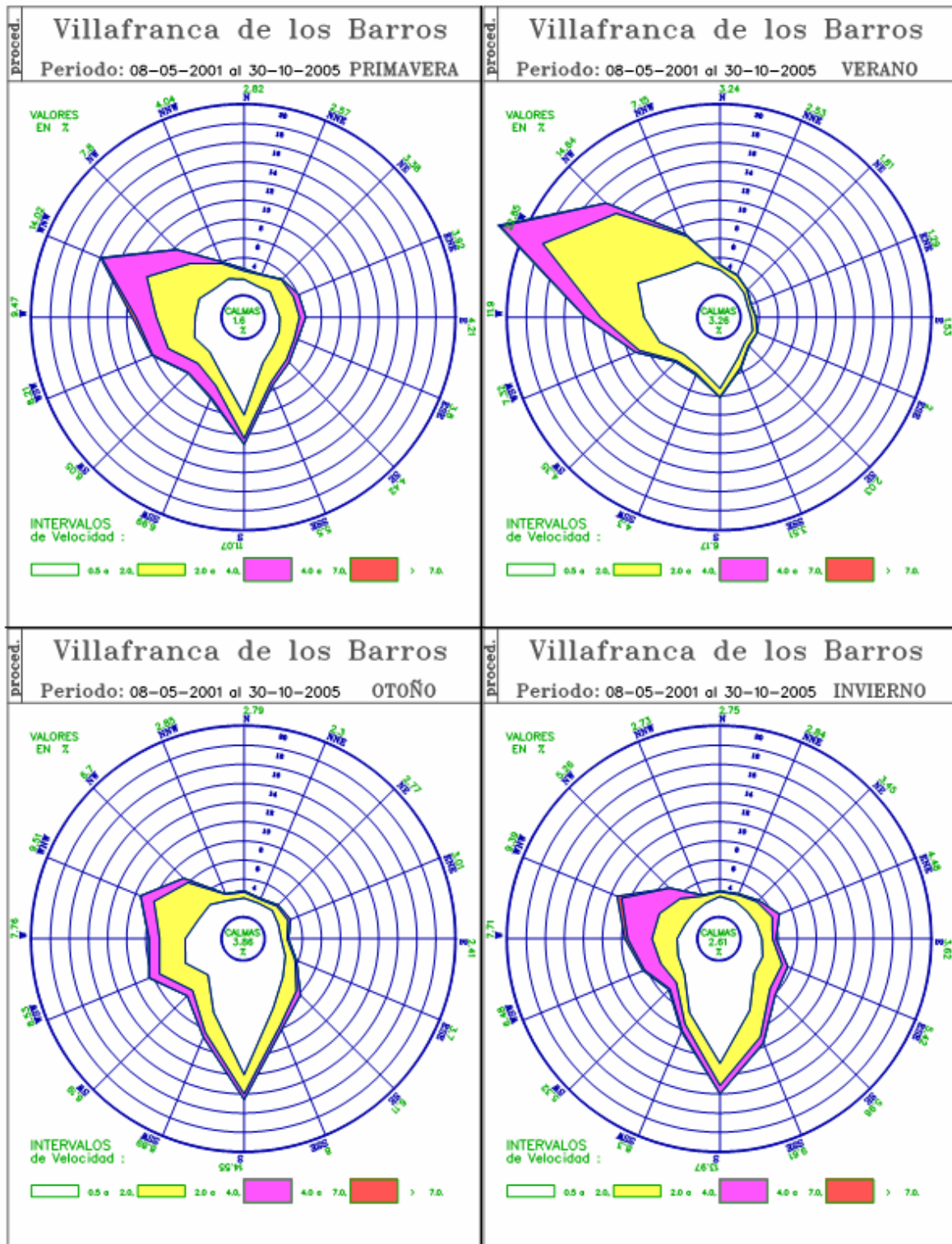
<sup>[53]</sup> [http://www.src.com/mm5/MM5\\_Europe.html#TILES](http://www.src.com/mm5/MM5_Europe.html#TILES);

<sup>[54]</sup> <http://www.src.com/calpuff/training.htm>;

<sup>[55]</sup> Point Source Dispersion Parameteres, <http://www.lakes-environmental.com>;

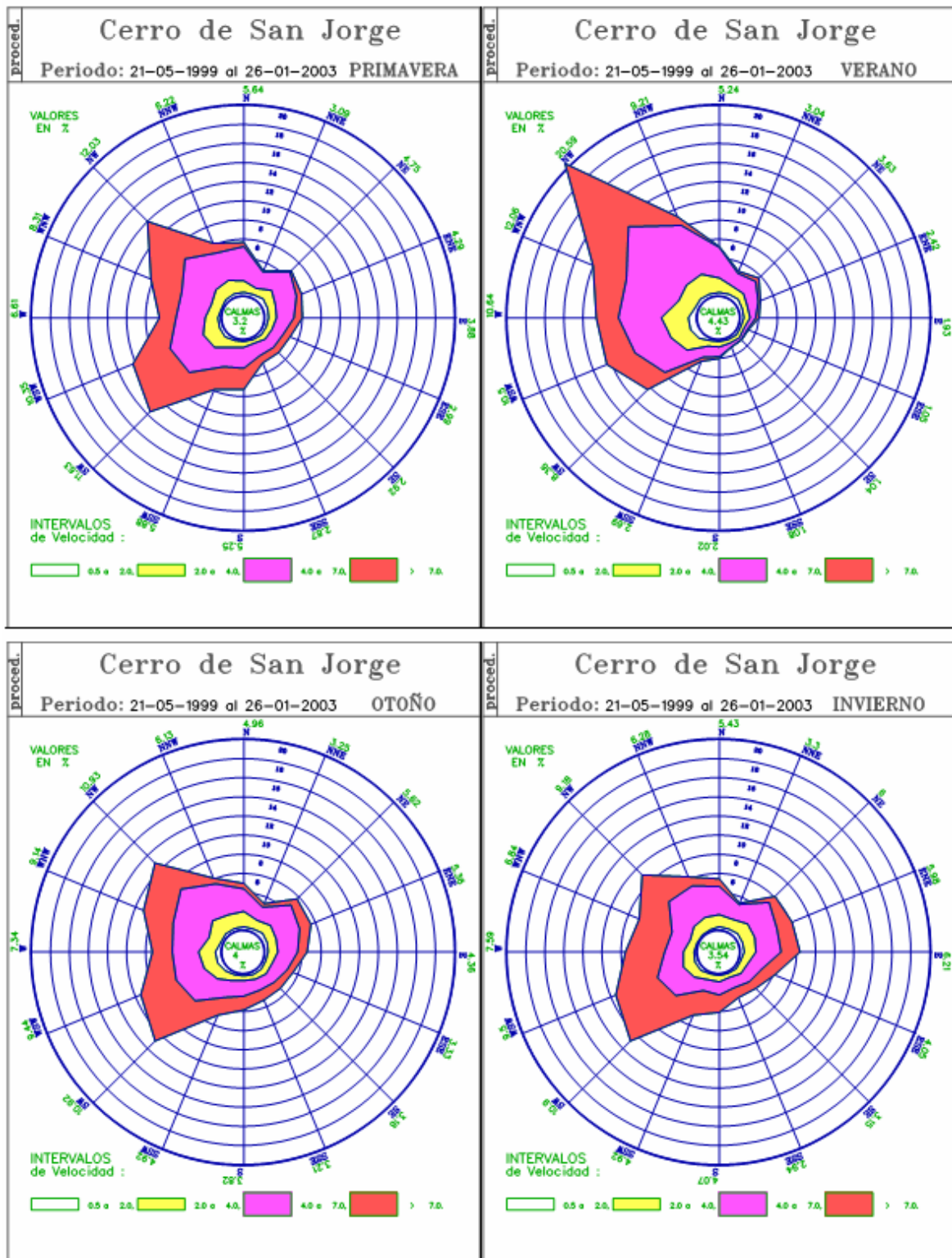
<sup>[56]</sup> Pasquill, F., 1976, *Atmospheric dispersion parameters in gaussian plume modeling: Part II. Possible requirements for change in the Turner workbook values*, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park;

**ANEXO A. ROSAS DOS VENTOS DAS ESTAÇÕES METEREOLÓGICAS PARA AS QUATRO  
ESTAÇÕES ANUAIS**



**Figura A.1.** Estação de Villafranca de los Barros: rosa dos ventos para as quatro estações do ano<sup>[28]</sup>

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**



**Figura A.2.** Estação de Cerro de San Jorge: rosa dos ventos para as quatro estações do ano<sup>[28]</sup>

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

**ANEXO B. FÓRMULAS DE CÁLCULO PARA OS COEFICIENTES DE DISPERSÃO**

$$\sigma_z [m] = a \times x^b [km] \quad \text{(equação B.1.)}$$

**Tabela B.1.** Parâmetros para determinação do coeficiente de dispersão vertical ( $\sigma_z$ )<sup>[55]. [56]</sup>

Classe de Estabilidade Atmosférica	x [km]	a	b
<b>A *</b>	>3,11	**	**
	[0,5-3,11]	453,85	2,1166
	[0,4-0,5[	346,75	1,7283
	[0,3-0,4[	258,89	1,4094
	[0,25-0,3[	217,41	1,2644
	[0,2-0,25[	179,52	1,1262
	[0,15-0,2[	170,22	1,0932
	[0,1-0,15[	158,08	1,0542
<0,1	122,8	0,9447	
<b>B *</b>	>35	**	**
	[0,4-35]	109,3	1,0971
	[0,2-0,4[	98,483	0,98332
<0,2	90,673	0,93198	
<b>C *</b>	todo x	61,141	0,91465
<b>D</b>	>30	44,053	0,51179
	[10,0-30,0]	36,65	0,56589
	[3,0-10,0[	33,504	0,60486
	[1,0-3,0[	32,093	0,64403
	[0,3-1,0[	32,093	0,81066
<0,3	34,459	0,86974	
<b>E</b>	>40	47,618	0,29592
	[20,0-40,0]	35,42	0,37615
	[10,0-20,0[	26,97	0,46713
	[4,0-10,0[	24,703	0,50527
	[2,0-4,0[	22,534	0,57154
	[1,0-2,0[	21,628	0,63077
	[0,3-1,0[	21,628	0,7566
[0,1-0,3[	23,331	0,81956	
<0,1	24,26	0,8366	
<b>F</b>	>60	34,219	0,21716
	[30,0-60,0]	27,074	0,27436
	[15,0-30,0[	22,651	0,32681
	[7,0-15,0[	17,836	0,415
	[3,0-7,0[	16,187	0,4649
	[2,0-3,0[	14,823	0,54503
	[1,0-2,0[	13,953	0,63227
	[0,7-1,0[	13,953	0,68465
	[0,2-0,7[	14,457	0,78407
<0,2	15,209	0,81558	

\*\* Se o valor determinado de  $\sigma_z$  for superior a 5000, admite-se que  $\sigma_z$  é igual a 5000 m.

\*\*  $\sigma_z$  é igual a 5000 m.

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

---

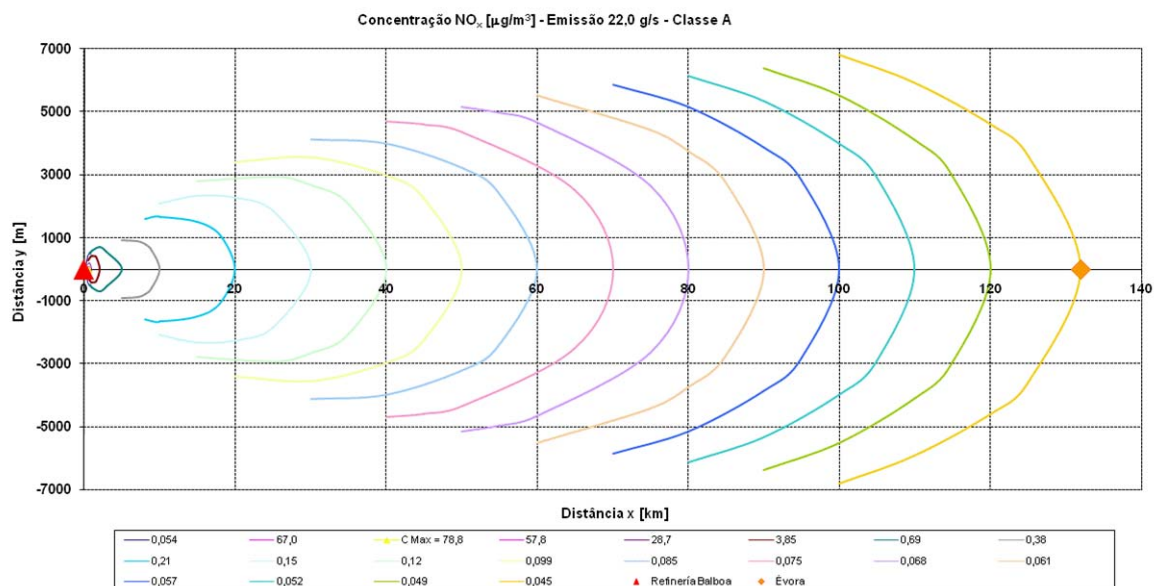
$$\sigma_y \text{ [m]} = \frac{1000 \times x \text{ [km]} \times \text{tg}(c - d \times \ln(x \text{ [km]})) \text{ [}^\circ\text{]}}{2,15} \quad (\text{equação B.2.})$$

**Tabela B.2.** Parâmetros para determinação do coeficiente de dispersão horizontal ( $\sigma_y$ )<sup>[55], [56]</sup>

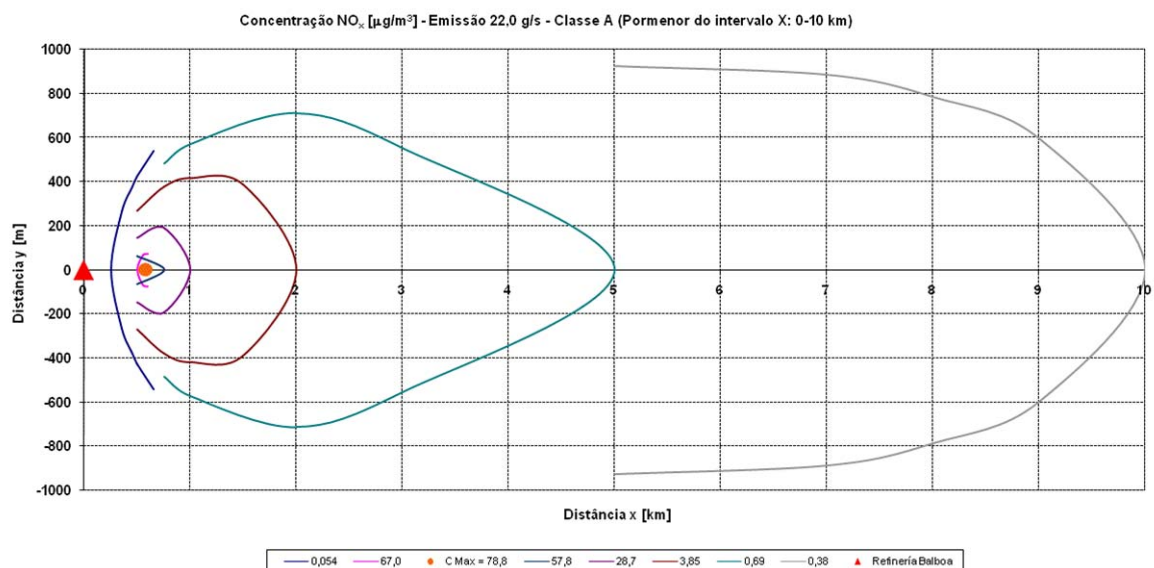
Classe de Estabilidade Atmosférica	c	d
A	24,1670	2,53340
B	18,3330	1,80960
C	12,5000	1,80570
D	8,3330	0,72382
E	6,2500	0,54287
F	4,1667	0,36191

**ANEXO C. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE POLUENTES EM ÉVORA – GRÁFICOS OBTIDOS**

**ANEXO C.1. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE NO<sub>x</sub>: CAUDAL DE EMISSÃO – 22,0 g/s**

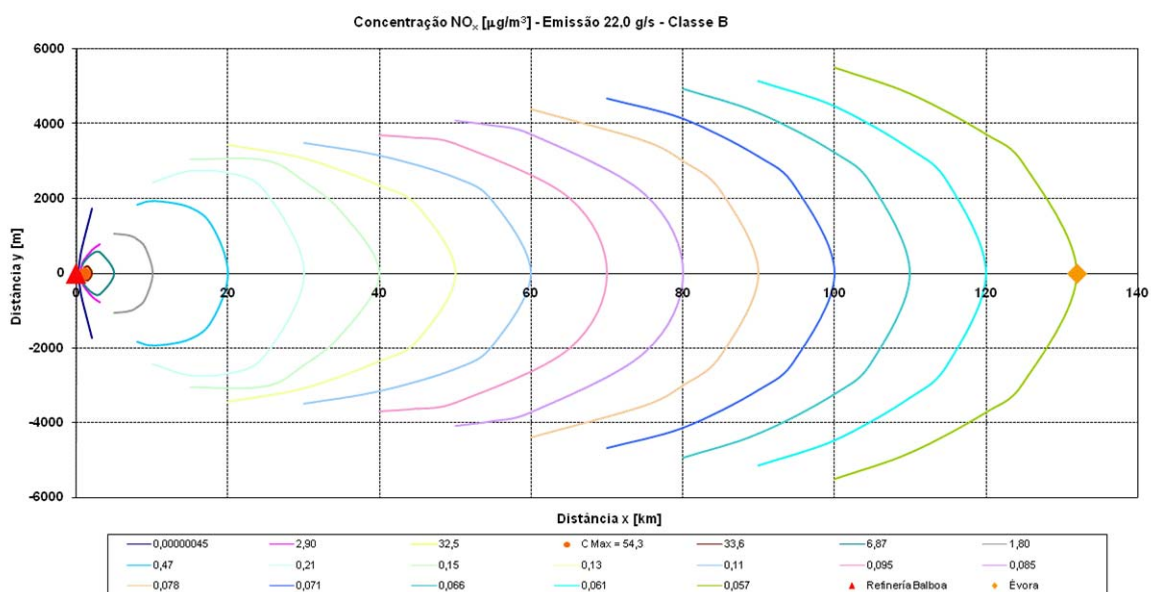


**Figura C.1.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora

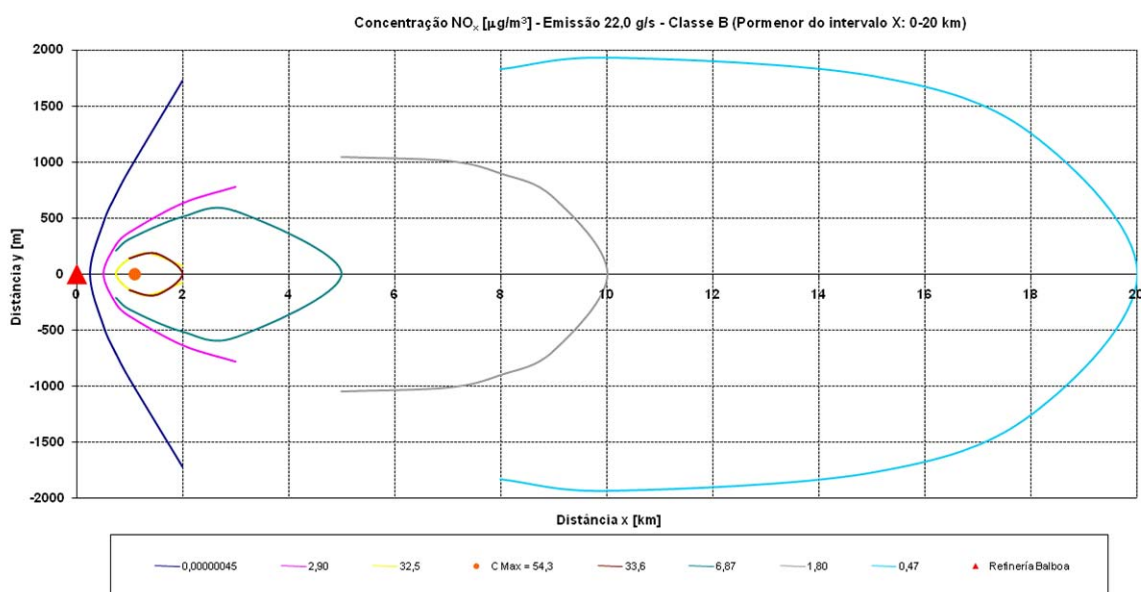


**Figura C.2.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

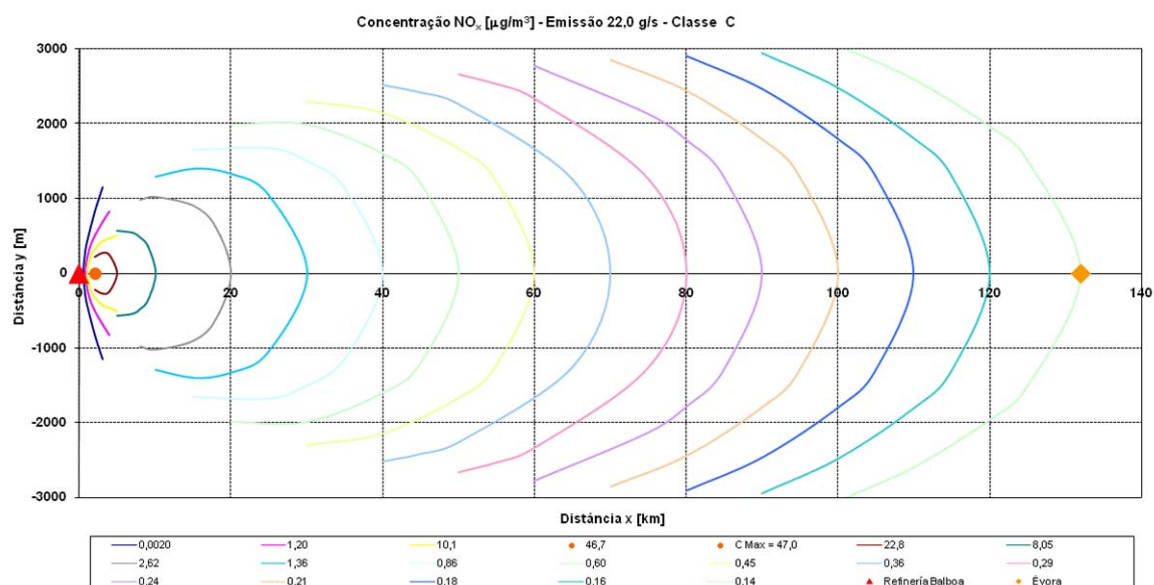


**Figura C.3.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora

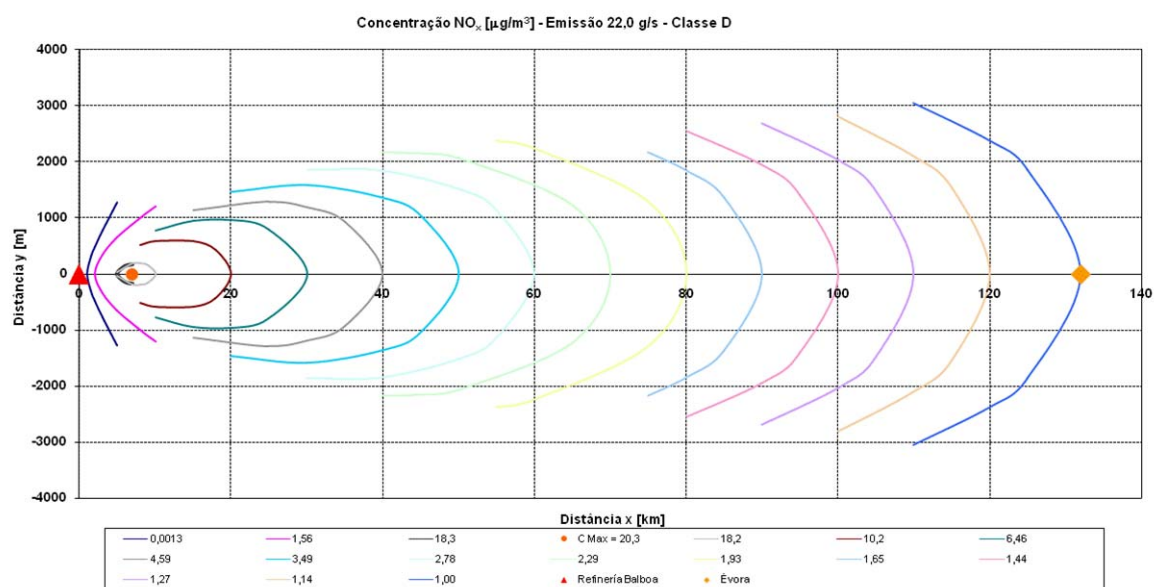


**Figura C.4.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

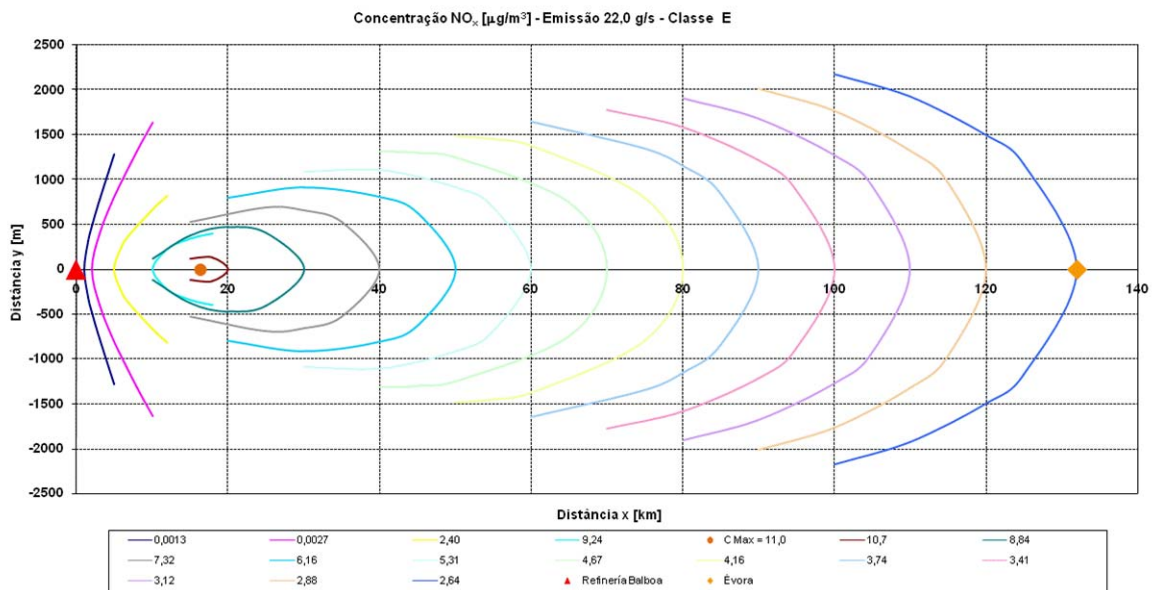


**Figura C.5.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Évora

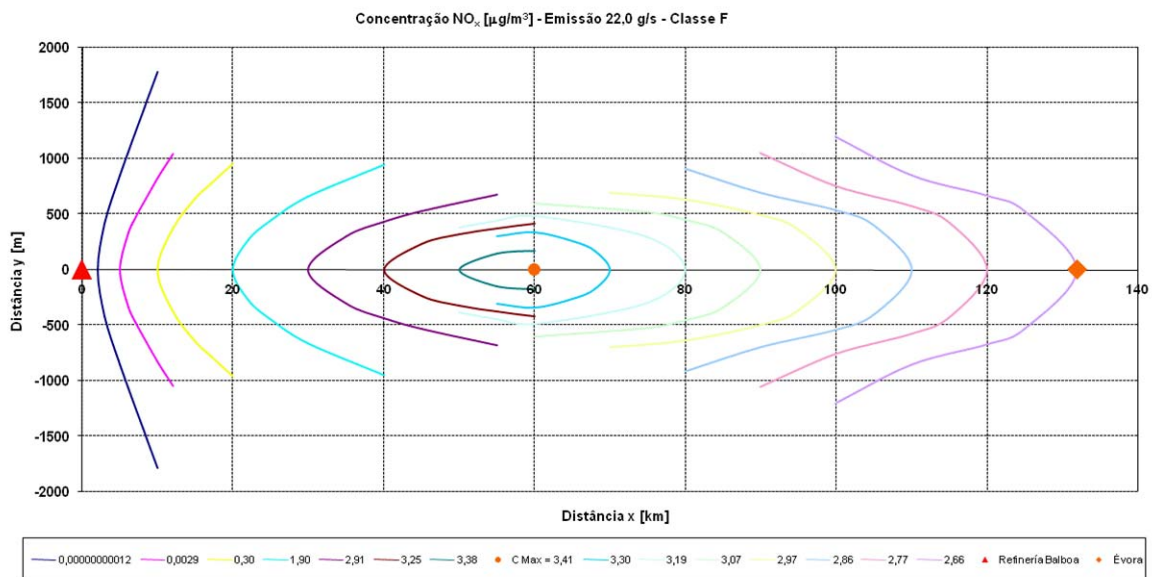


**Figura C.6.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Évora

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

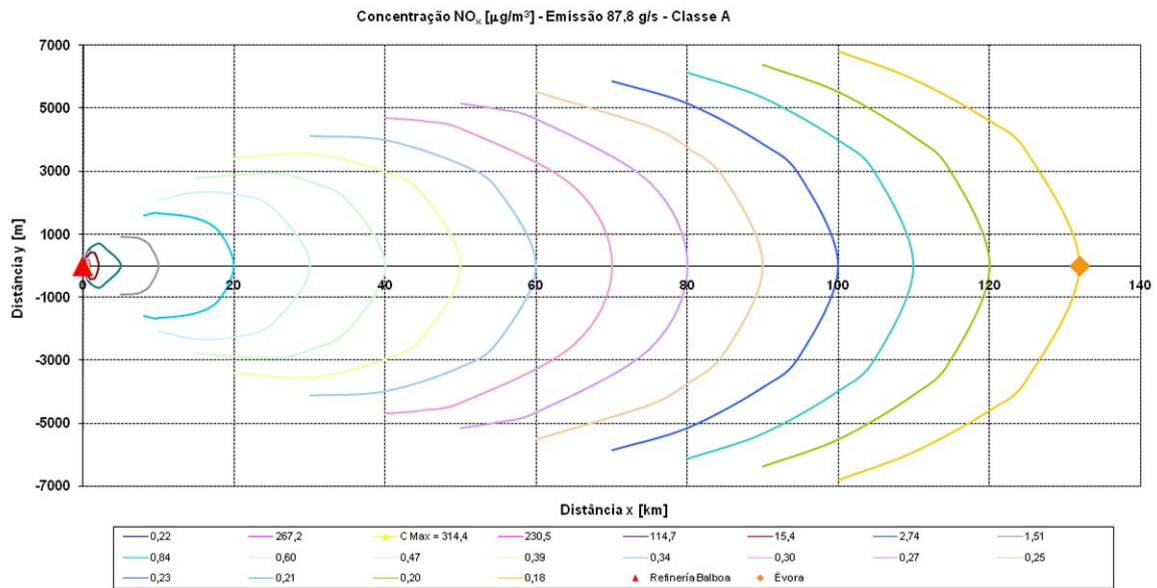


**Figura C.7.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Évora

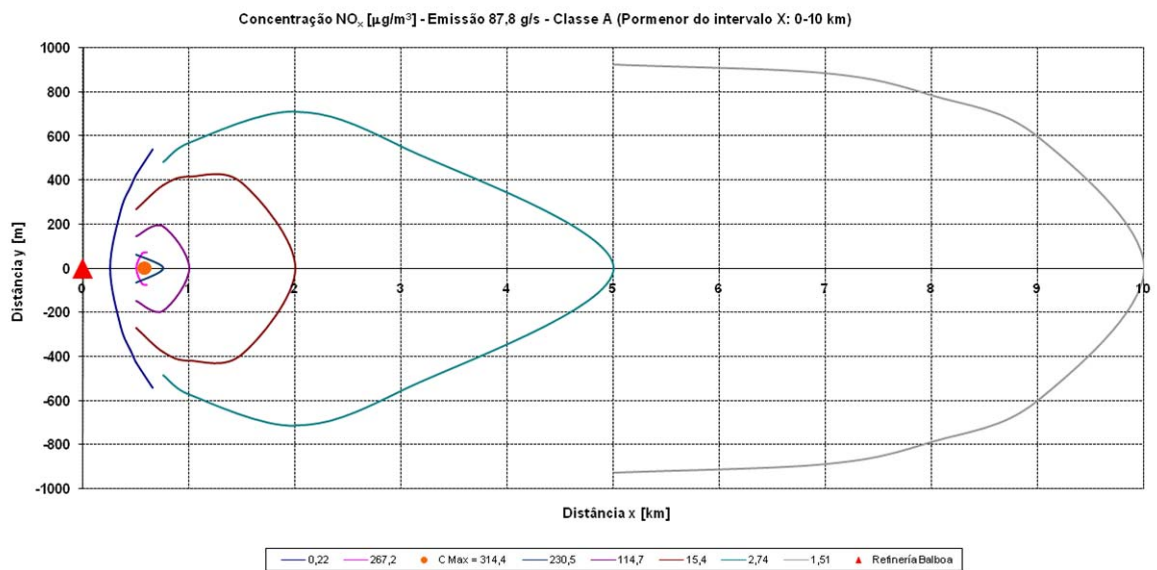


**Figura C.8.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Évora

**ANEXO C.2. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE NO<sub>x</sub>: CAUDAL DE EMISSÃO – 87,8 g/s**

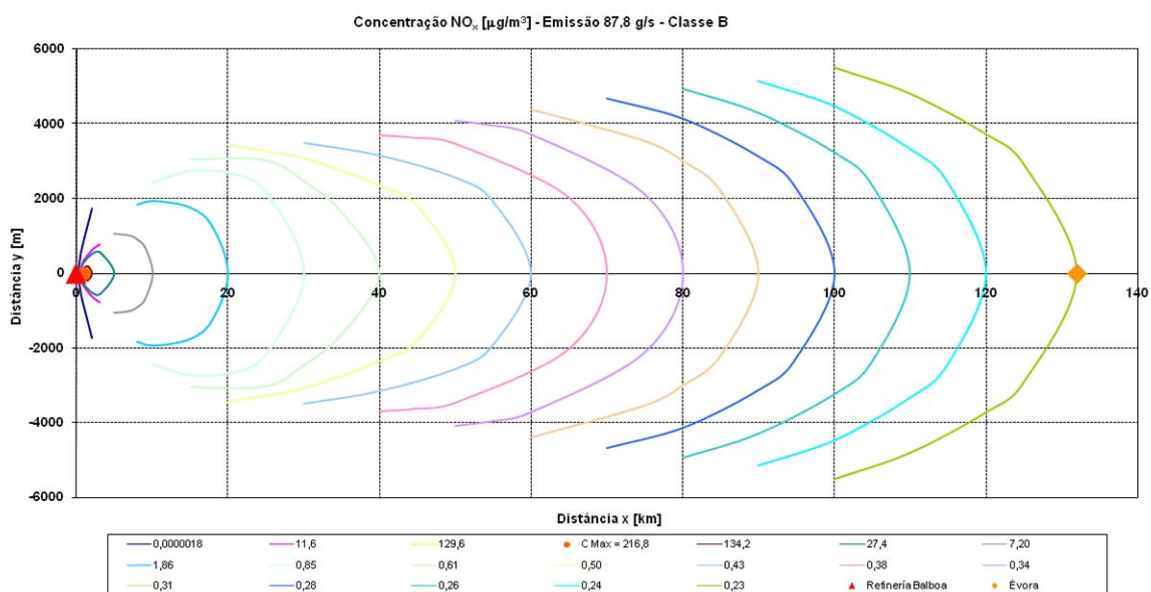


**Figura C.9.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora

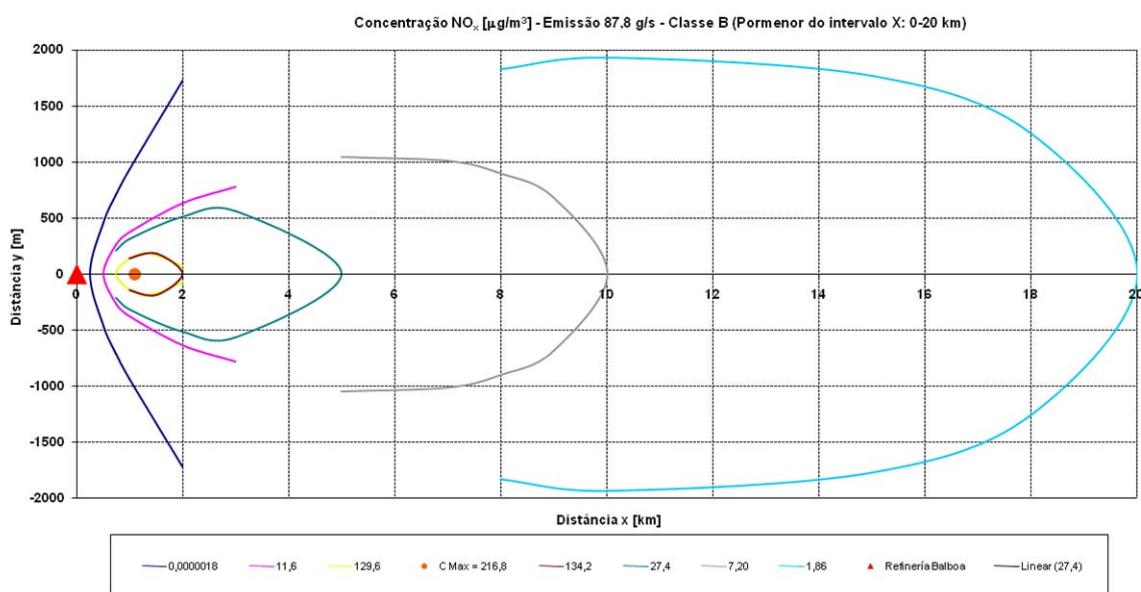


**Figura C.10.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

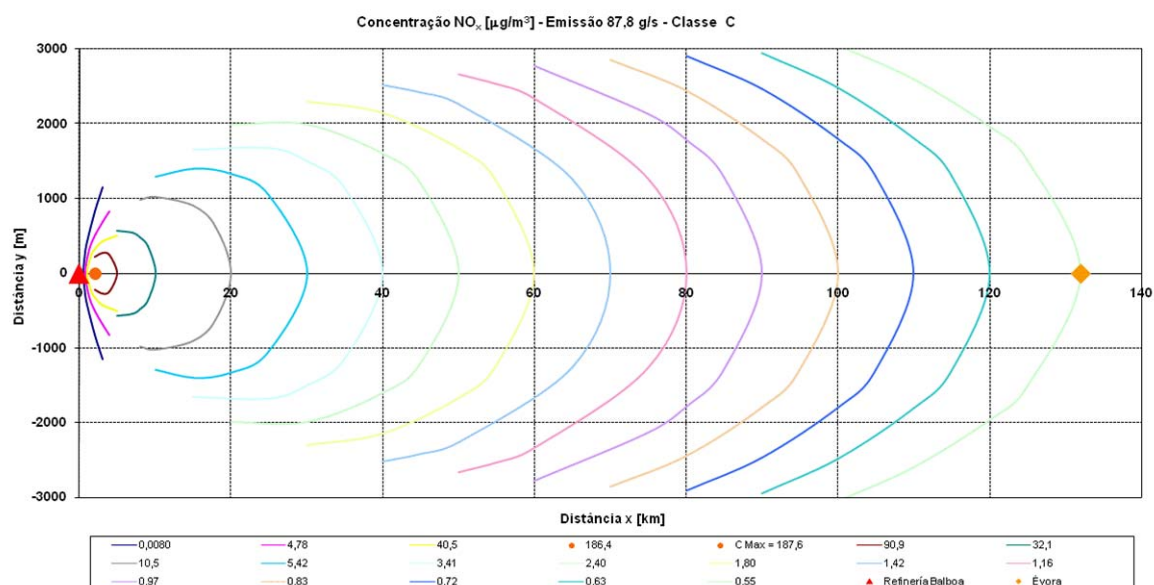


**Figura C.11.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora

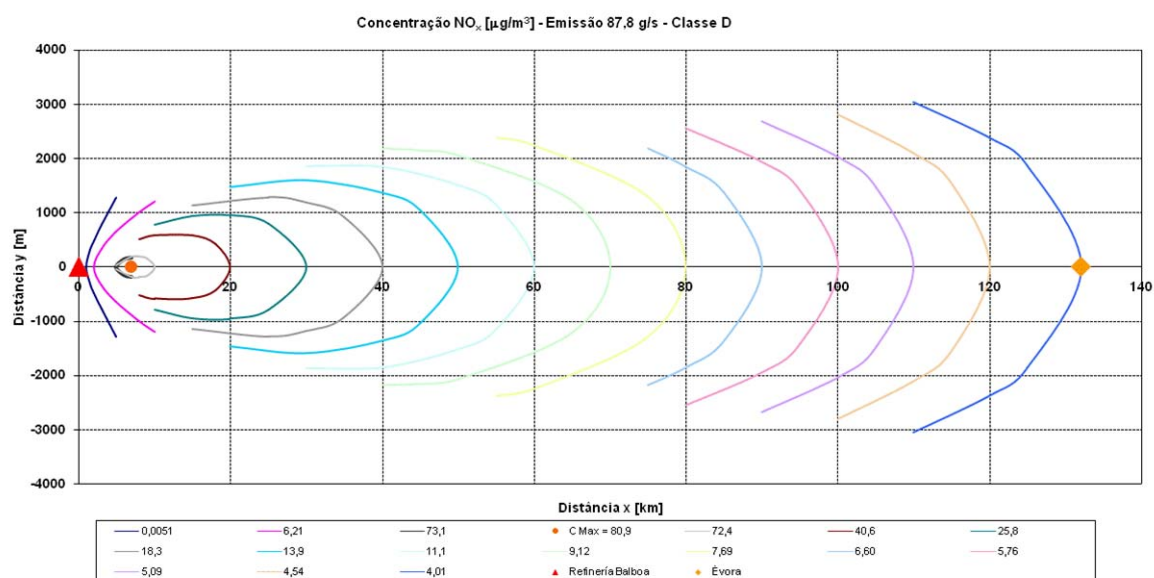


**Figura C.12.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

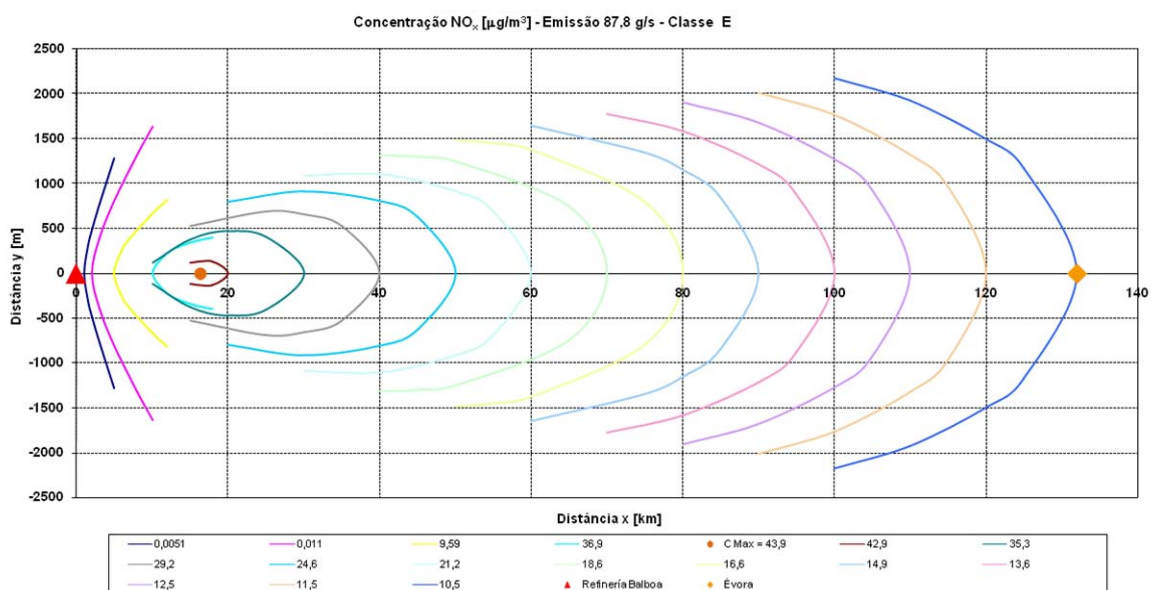


**Figura C.13.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Évora

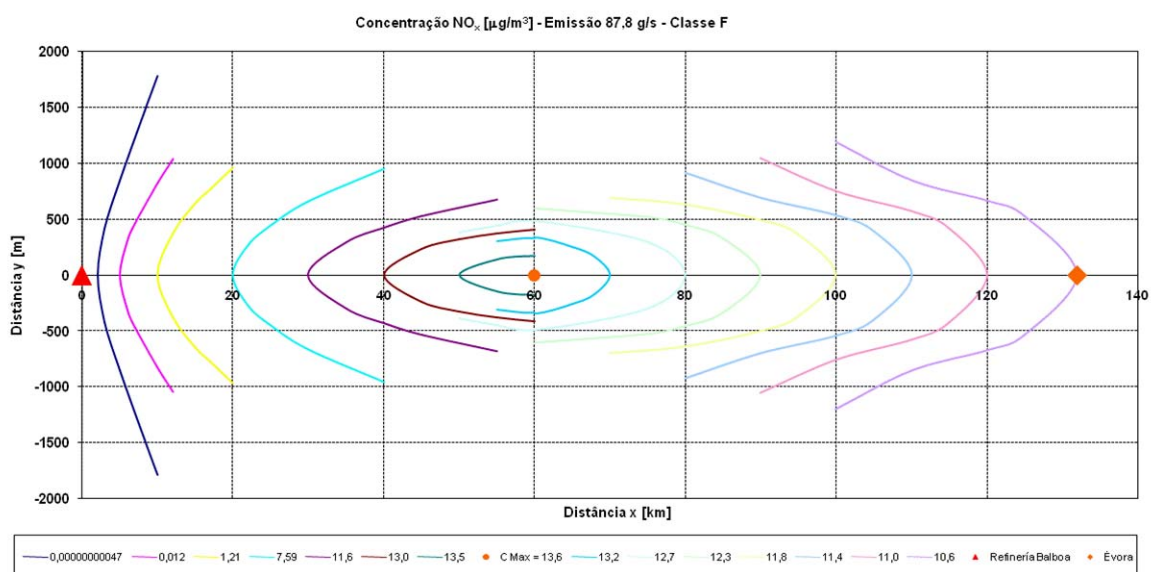


**Figura C.14.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Évora

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

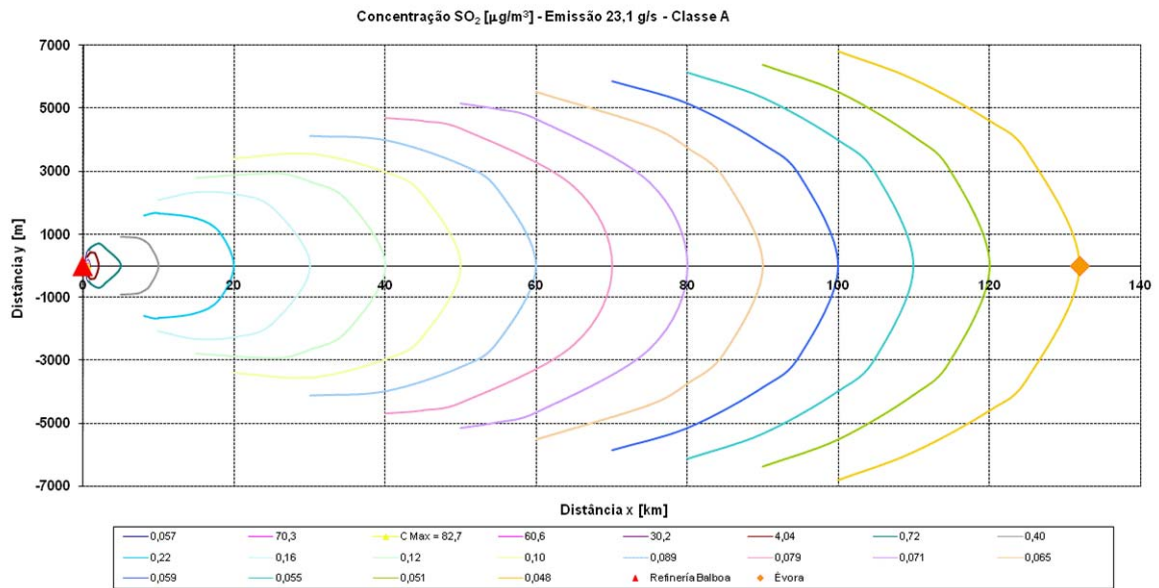


**Figura C.15.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Évora

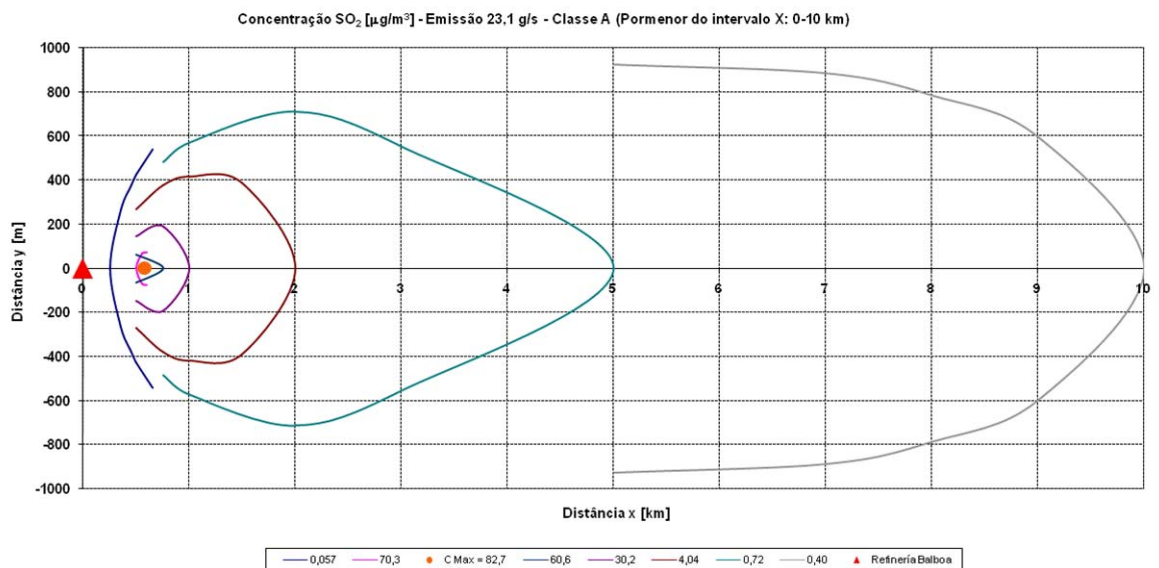


**Figura C.16.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Évora

**ANEXO C.3. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE SO<sub>2</sub>: CAUDAL DE EMISSÃO – 87,8 g/s**

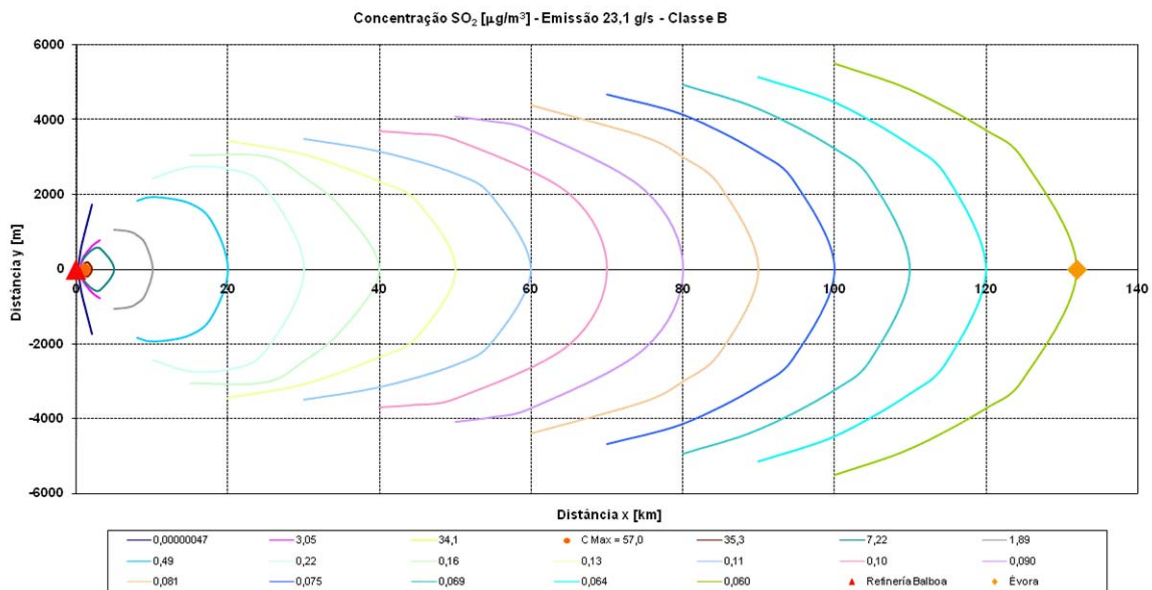


**Figura C.17.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora

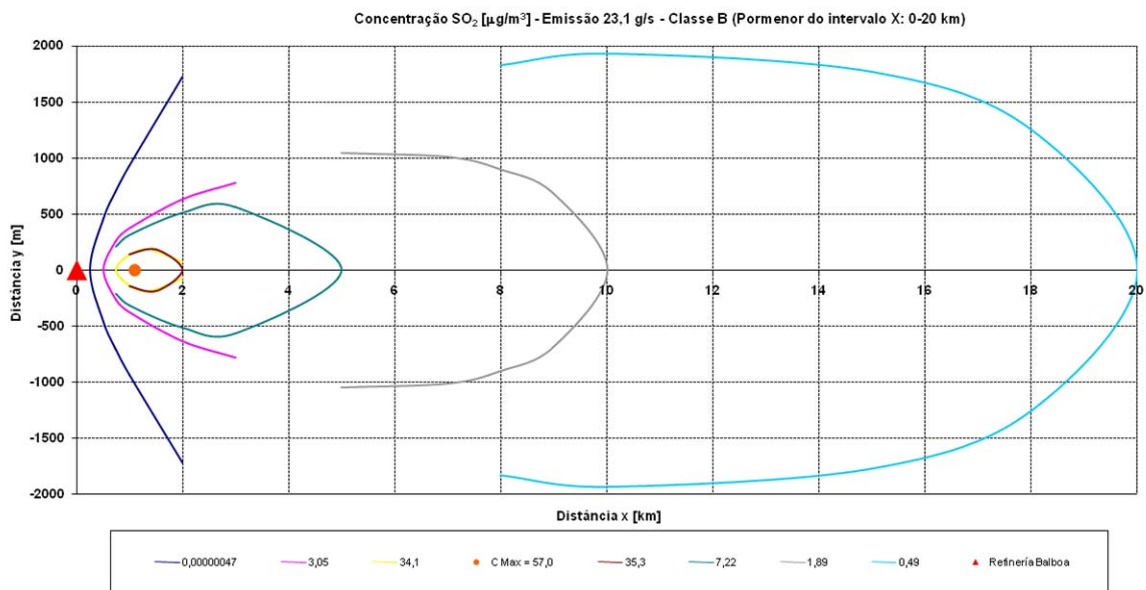


**Figura C.18.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

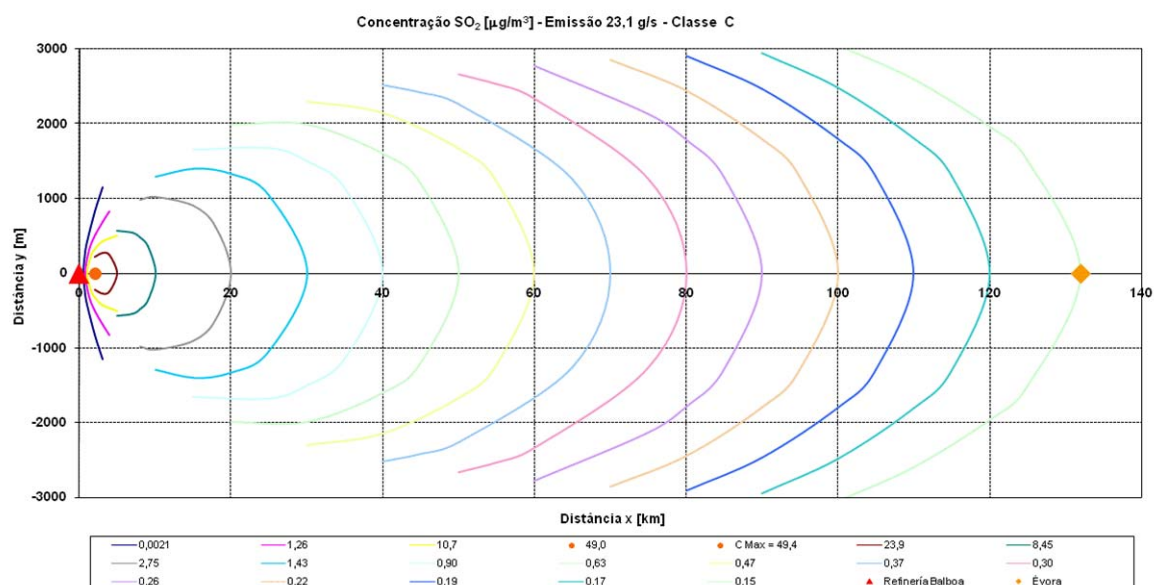


**Figura C.19.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora

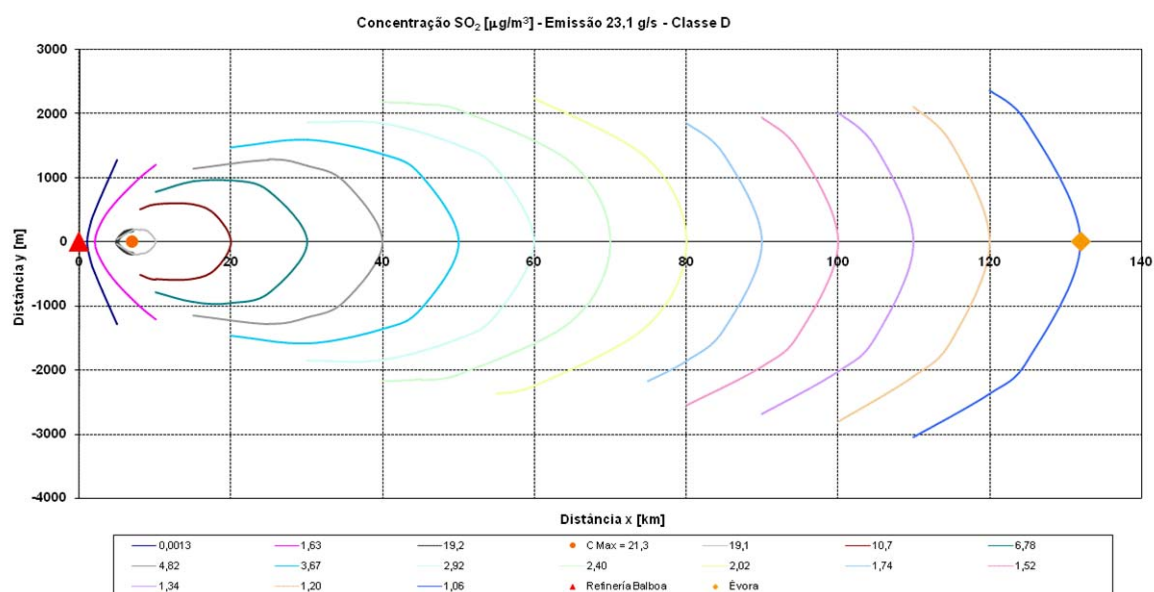


**Figura C.20.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

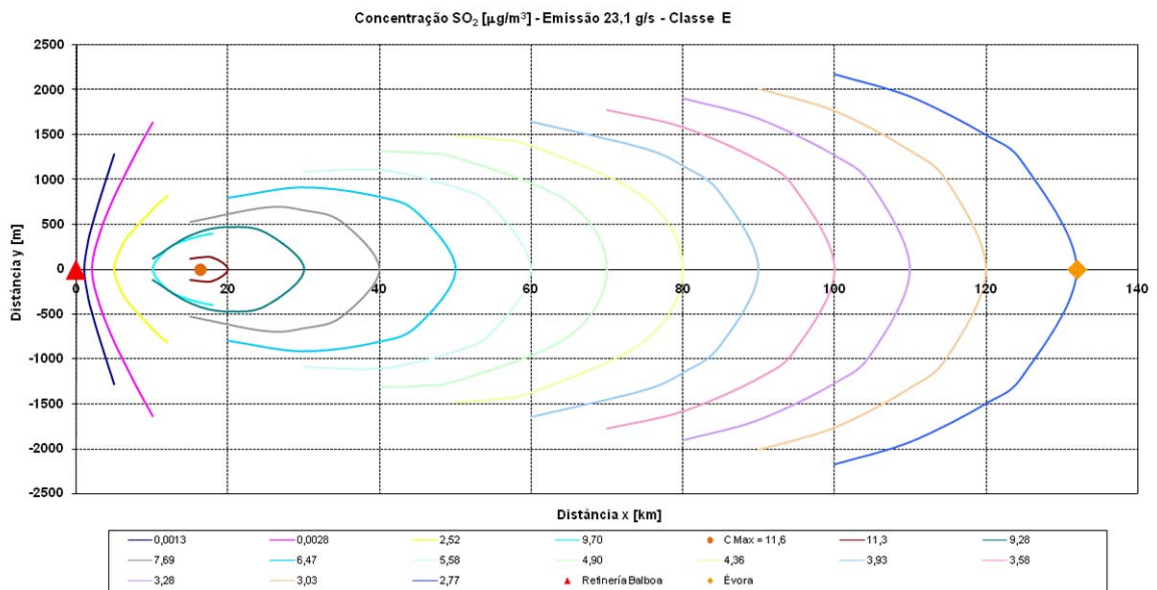


**Figura C.21.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Évora

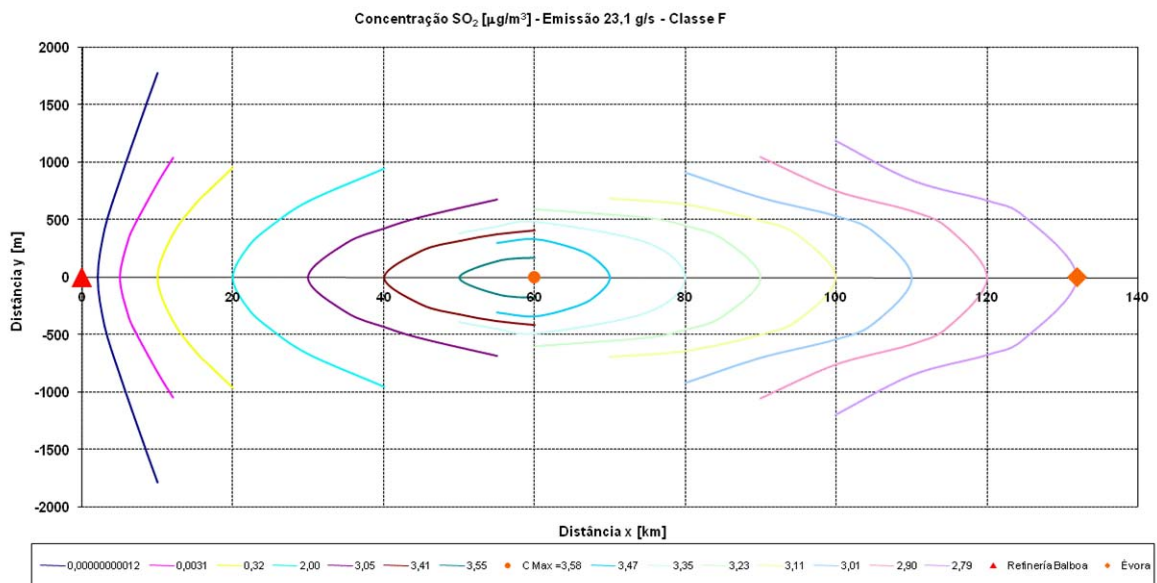


**Figura C.22.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Évora

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

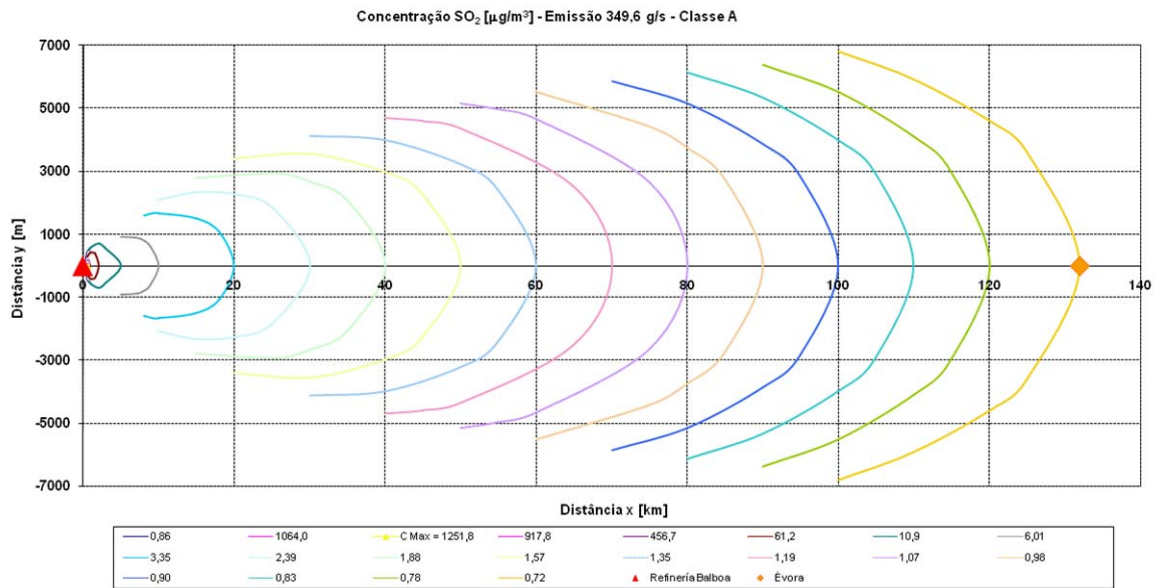


**Figura C.23.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Évora

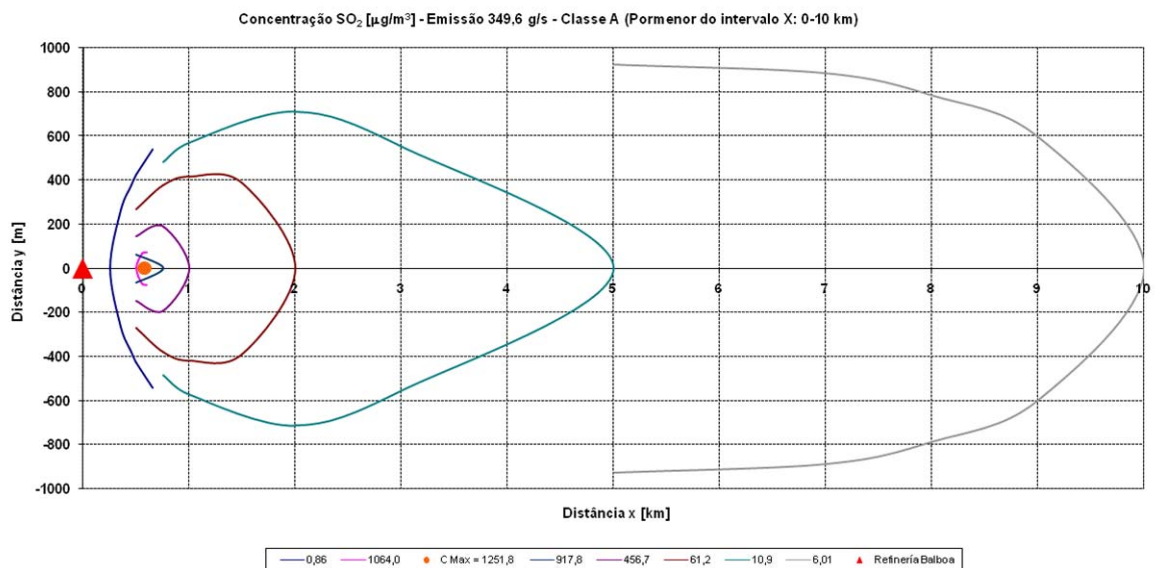


**Figura C.24.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Évora

**ANEXO C.4. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE SO<sub>2</sub>: CAUDAL DE EMISSÃO – 349,6 g/s**

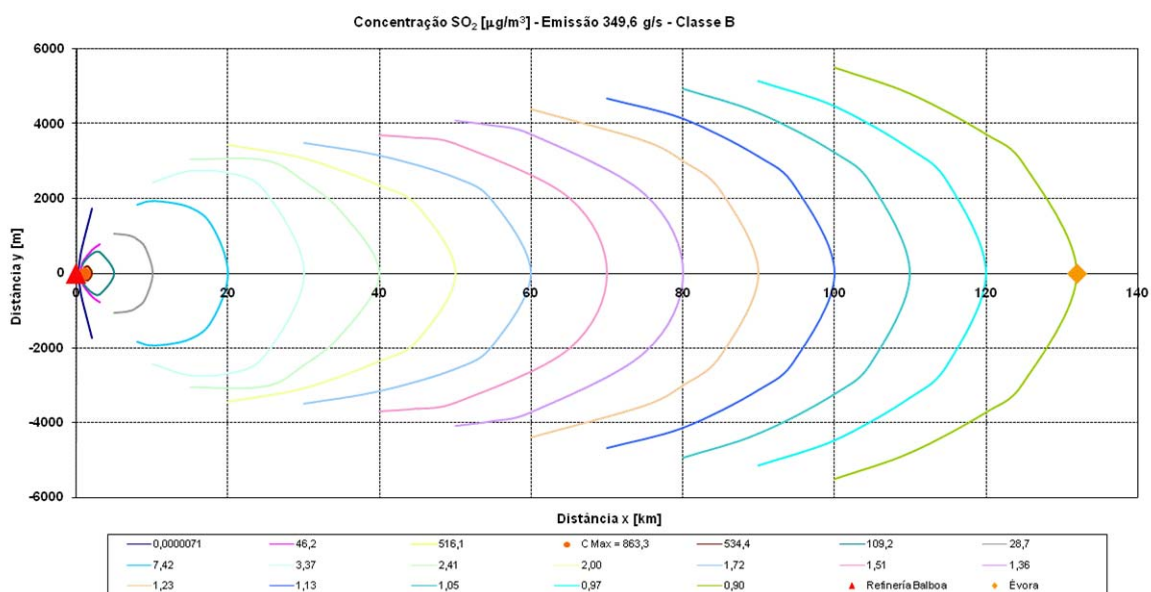


**Figura C.25.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora

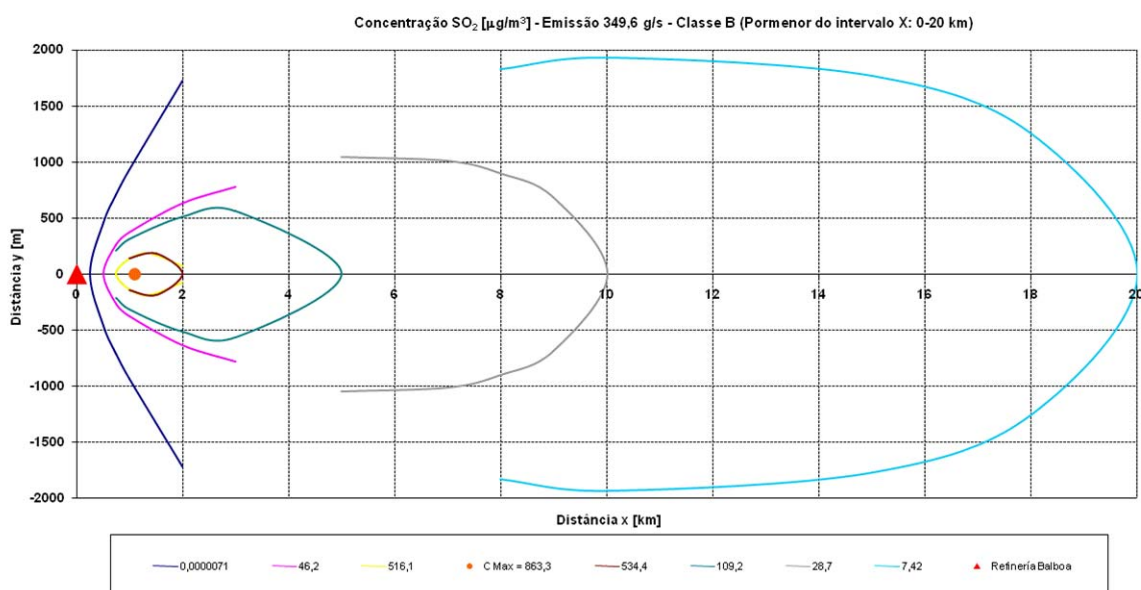


**Figura C.26.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Évora

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

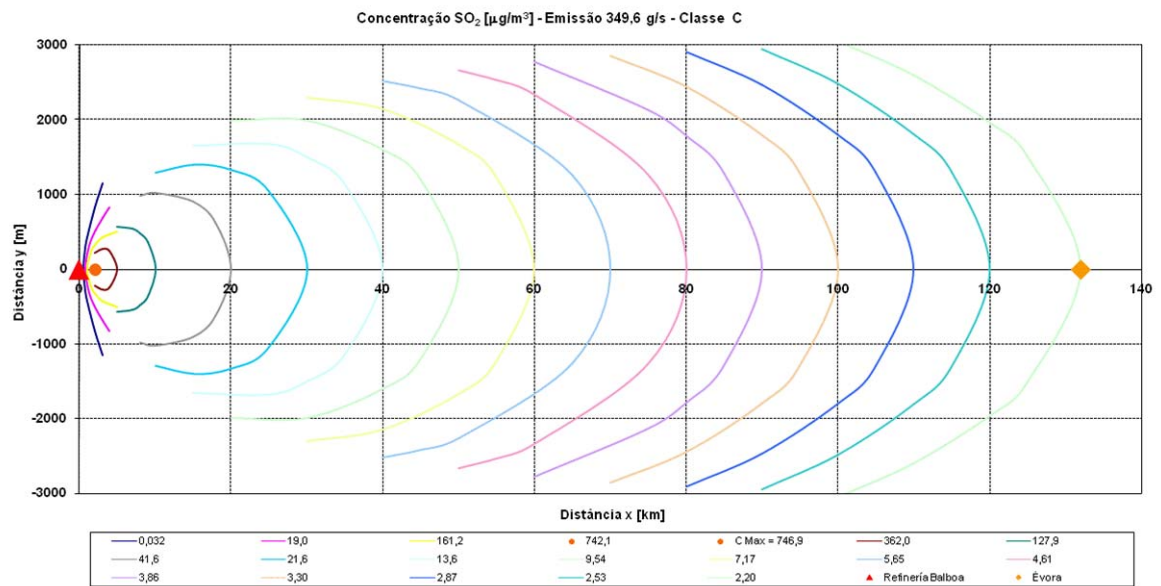


**Figura C.27.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora

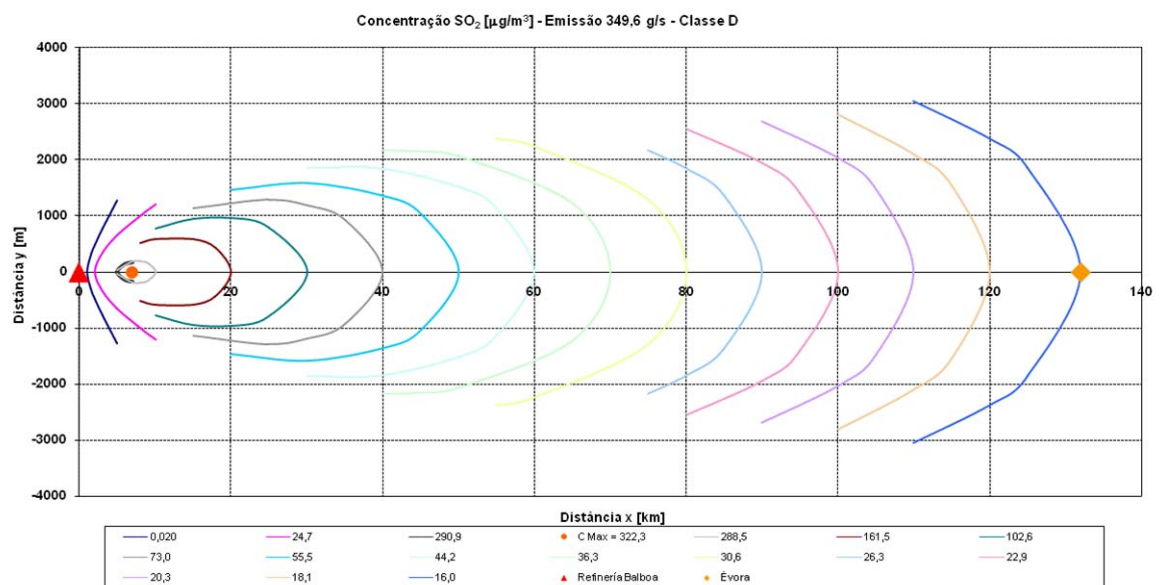


**Figura C.28.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Évora

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

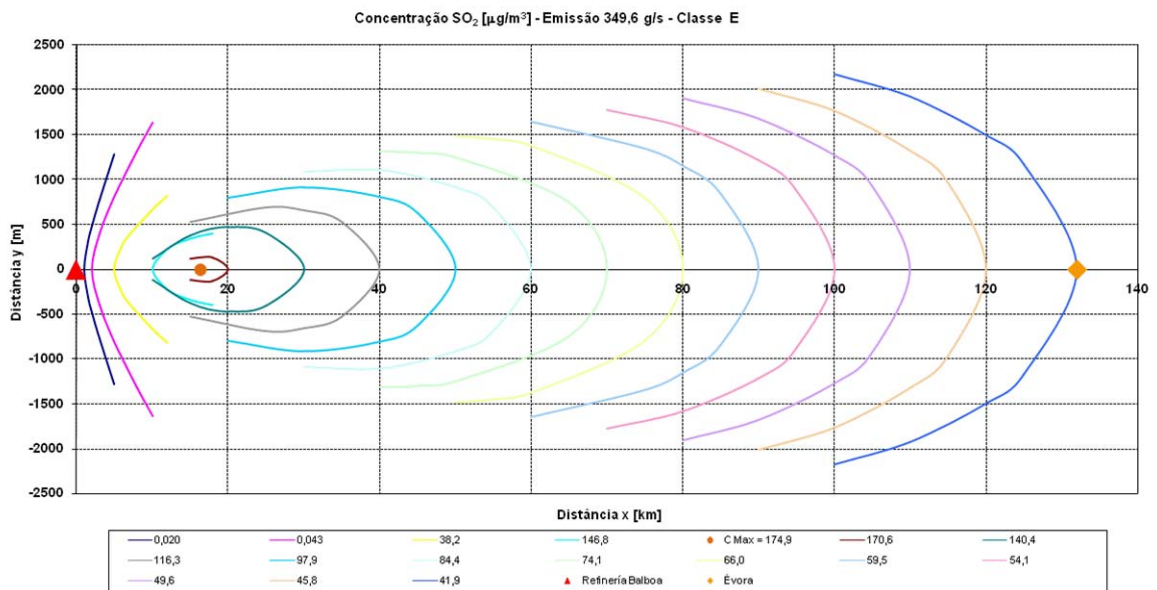


**Figura C.29.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Évora

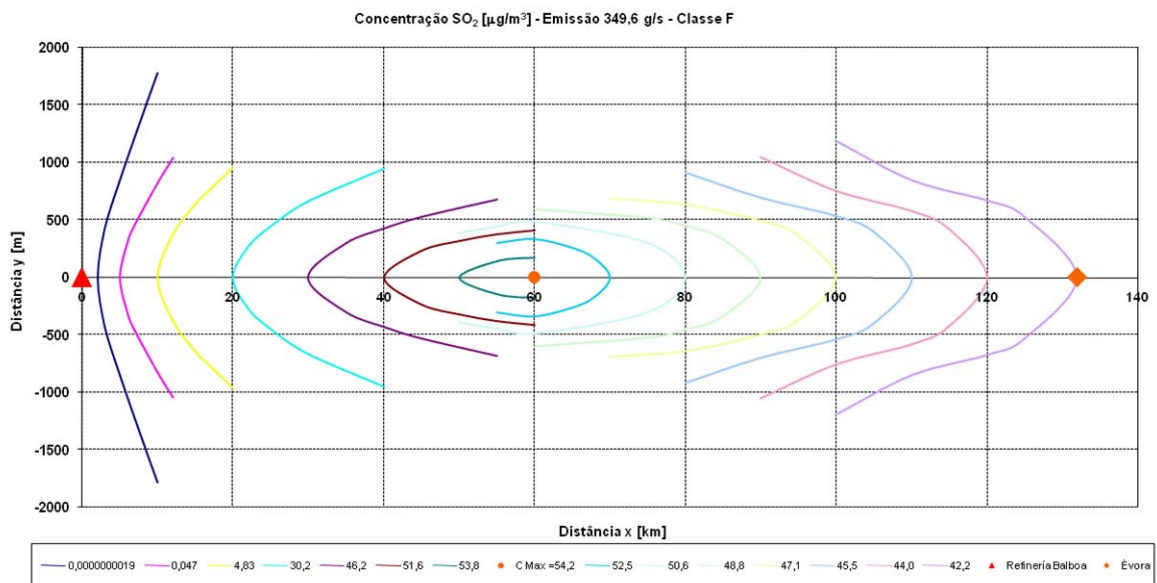


**Figura C.30.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Évora

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**



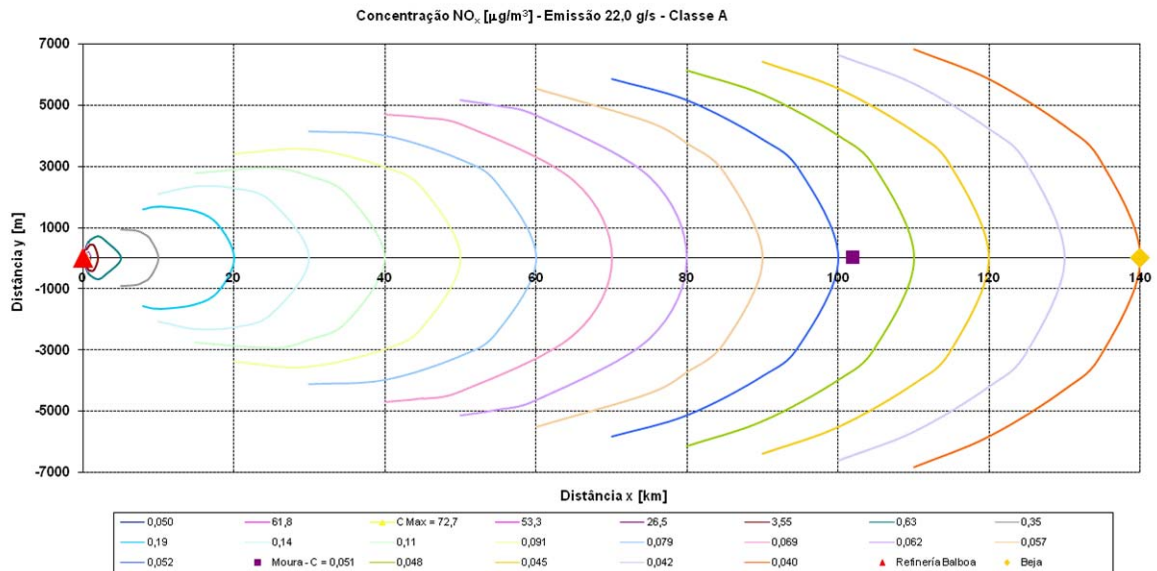
**Figura C.31.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Évora



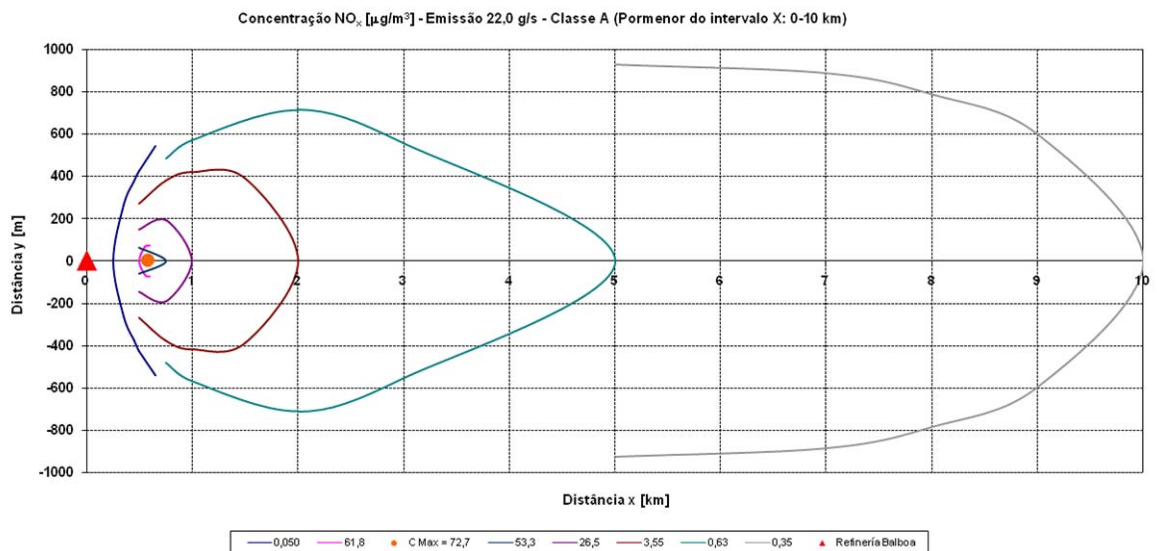
**Figura C.32.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Évora

**ANEXO D. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE POLUENTES EM BEJA – GRÁFICOS OBTIDOS**

**ANEXO D.1. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE NO<sub>x</sub>: CAUDAL DE EMISSÃO – 22,0 g/s**

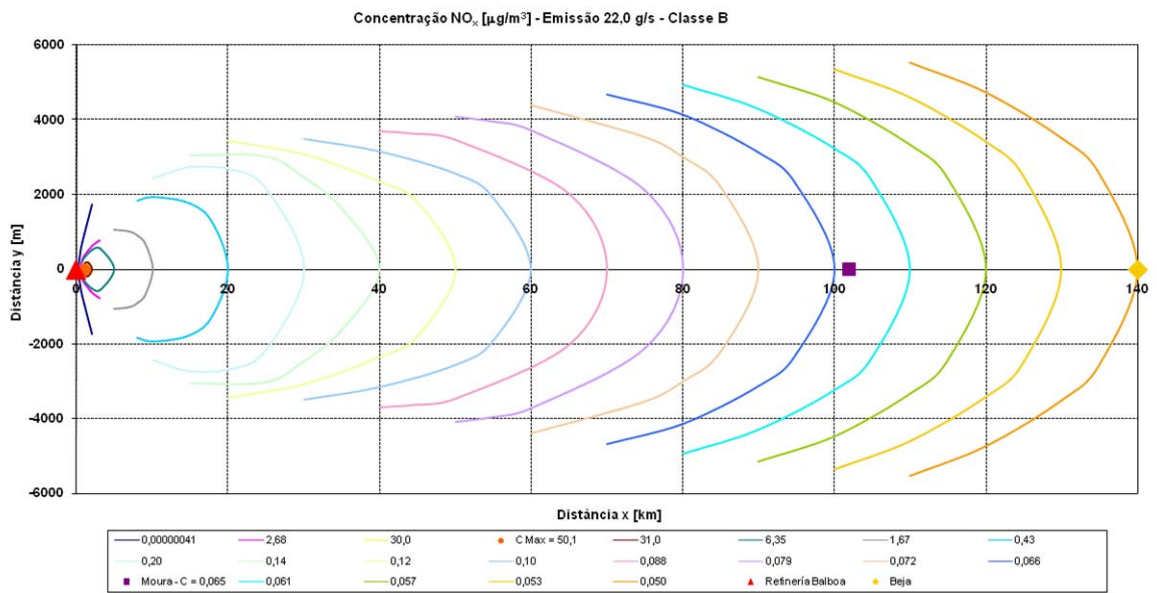


**Figura D.1.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja

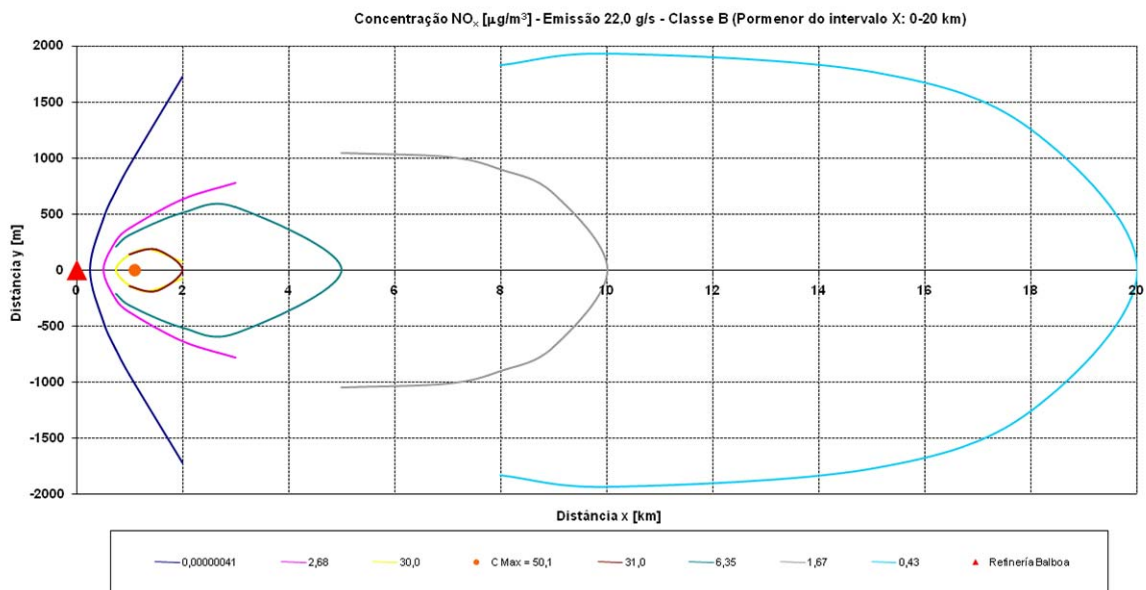


**Figura D.2.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

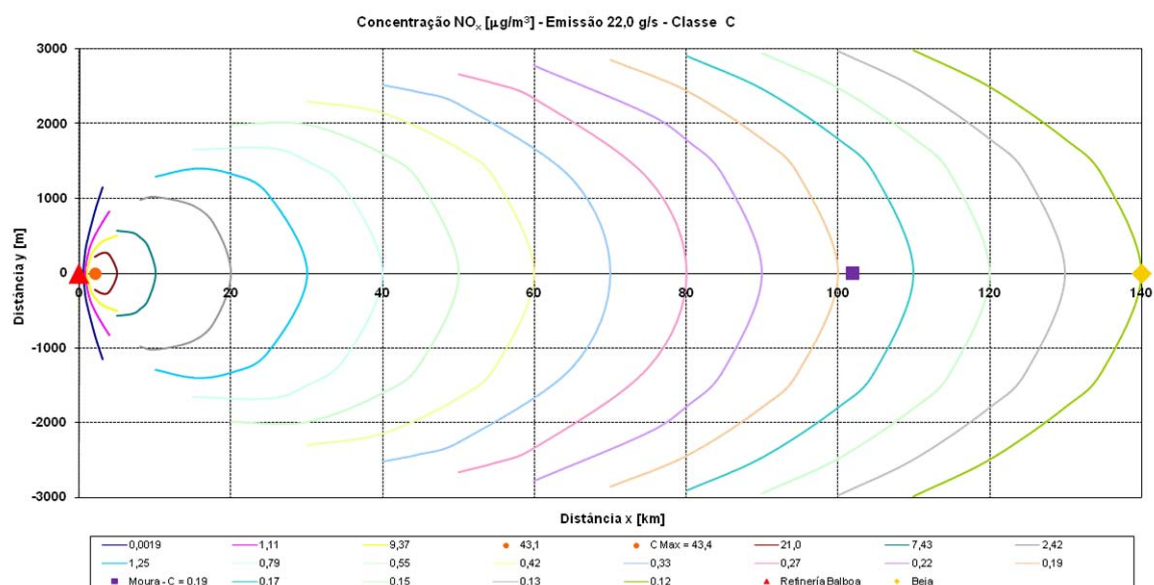


**Figura D.3.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja

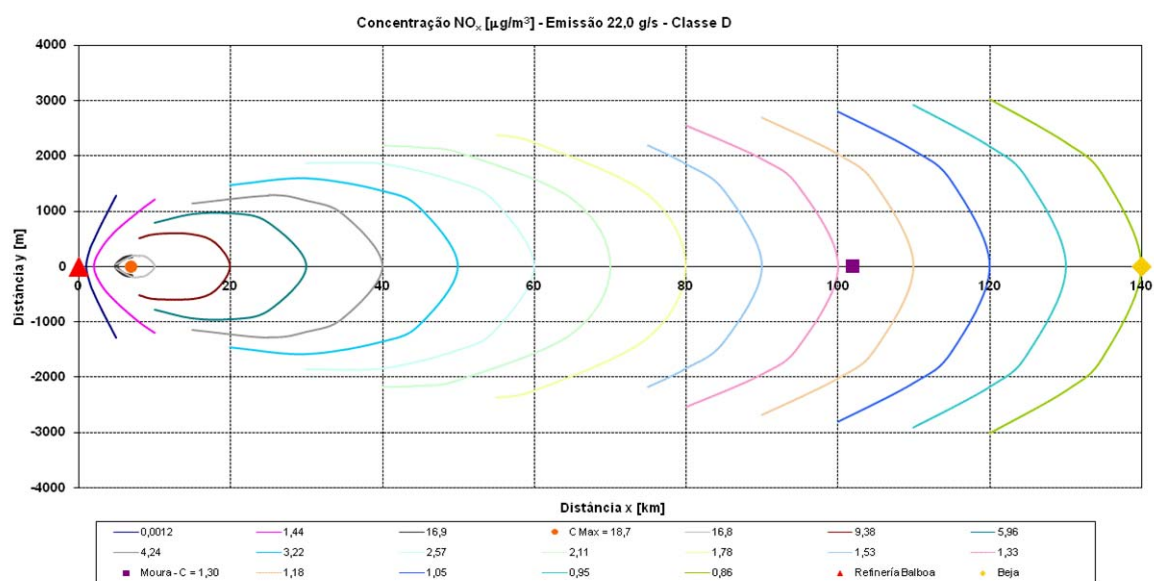


**Figura D.4.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

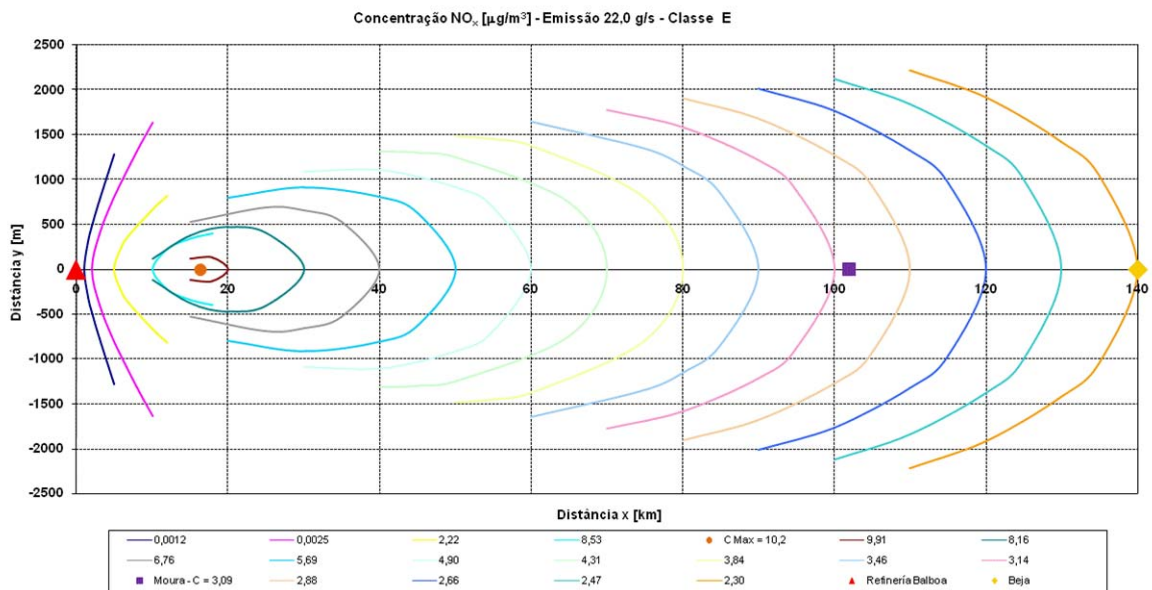


**Figura D.5.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Beja

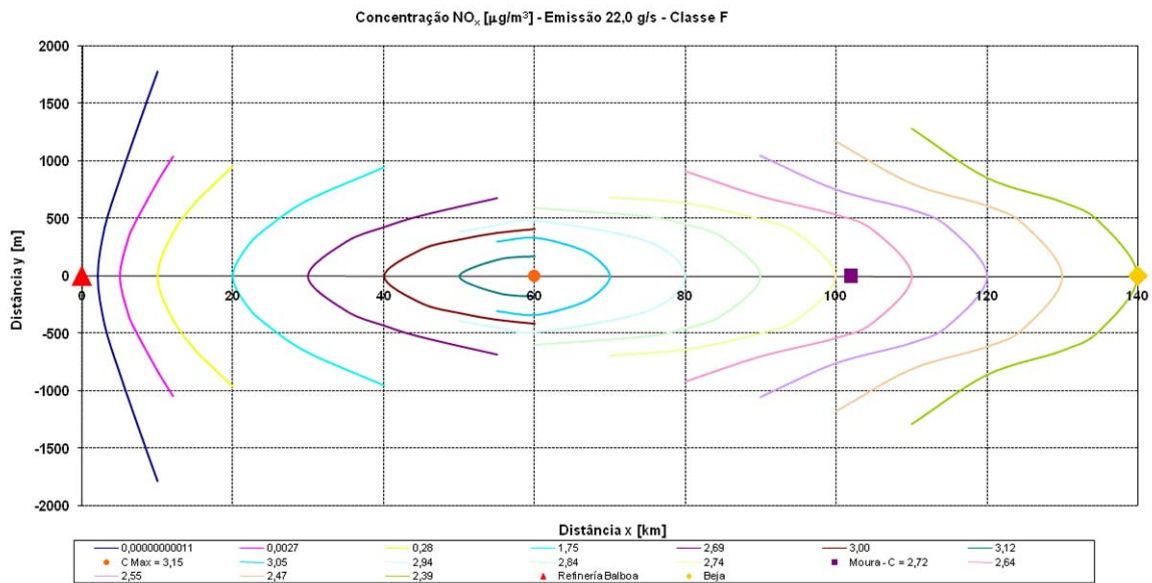


**Figura D.6.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Beja

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

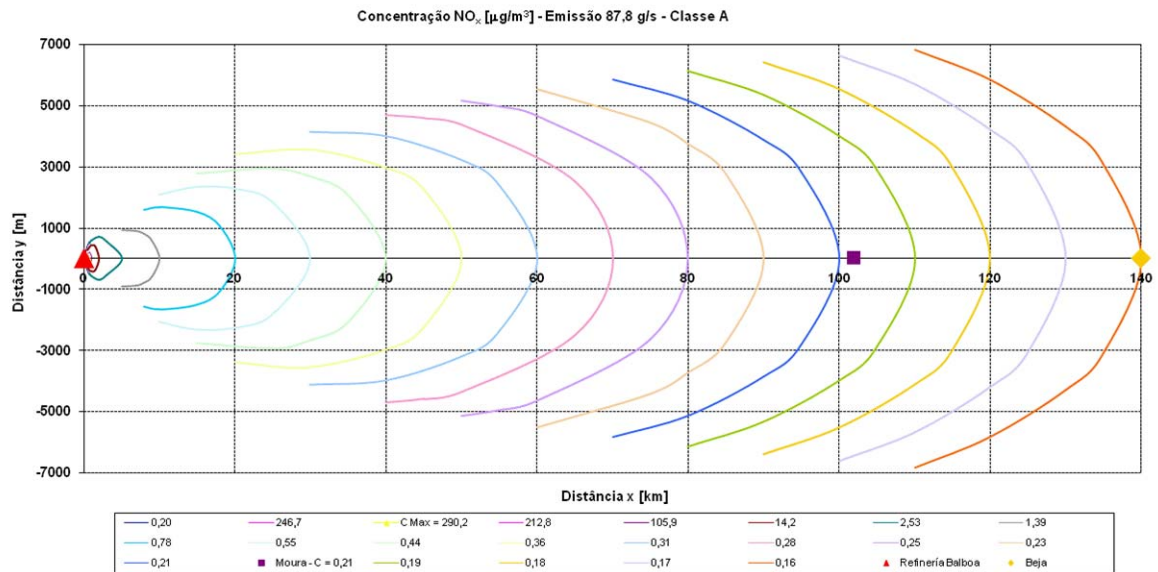


**Figura D.7.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Beja

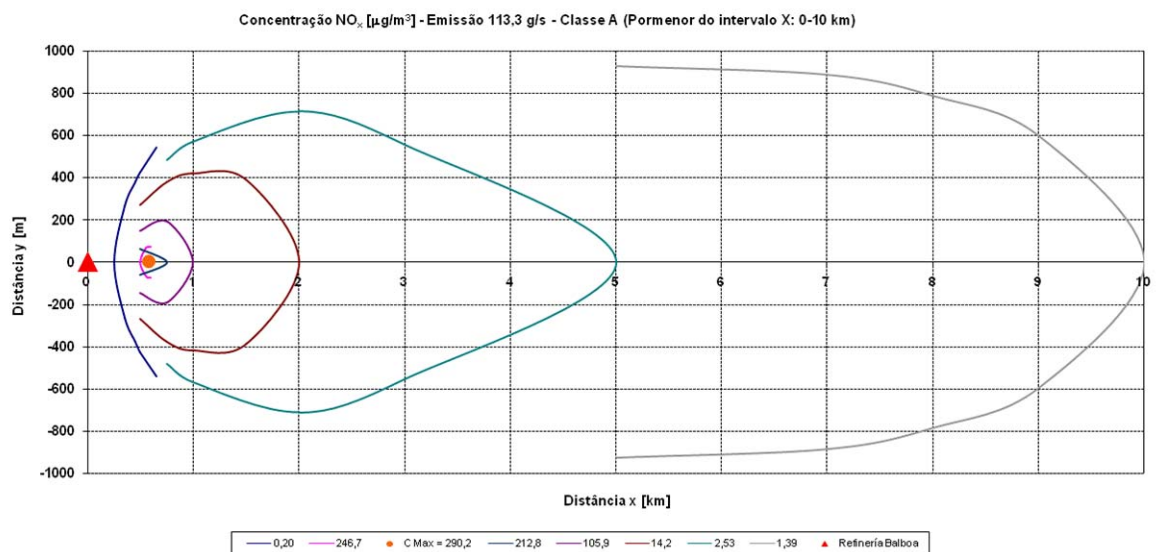


**Figura D.8.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 22,0 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Beja

**ANEXO D.2. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE NO<sub>x</sub>: CAUDAL DE EMISSÃO – 87,8 g/s**

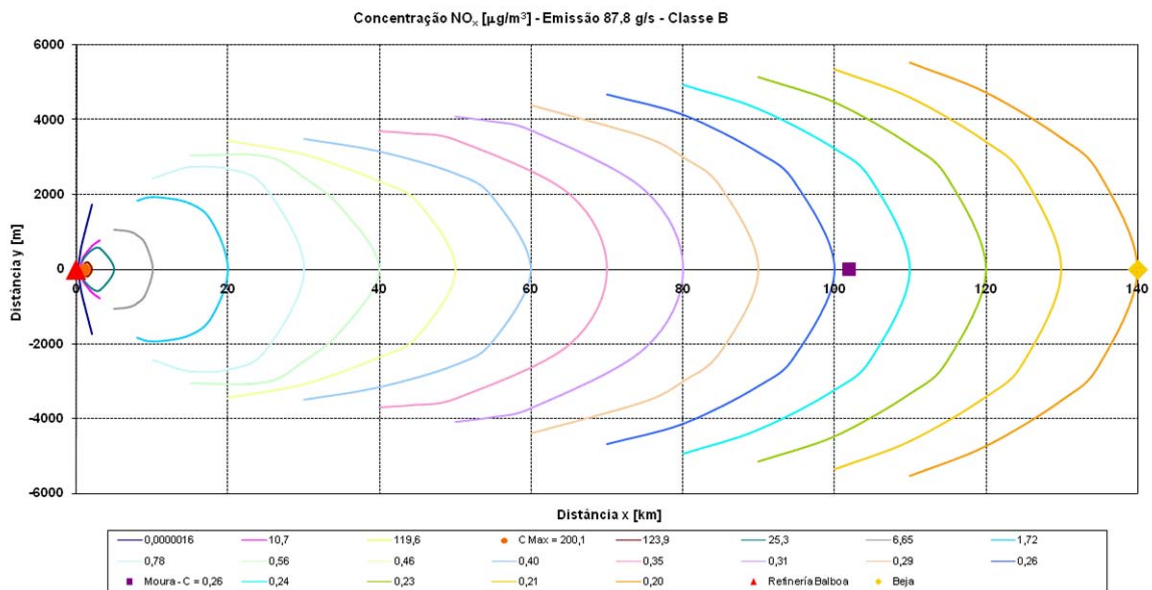


**Figura D.9.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja

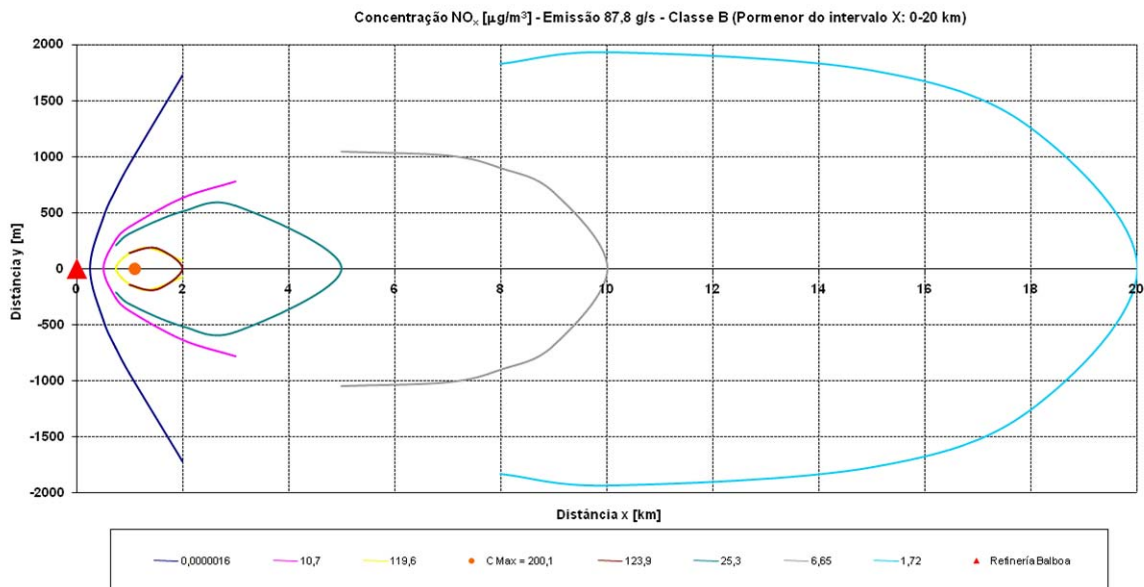


**Figura D.10.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

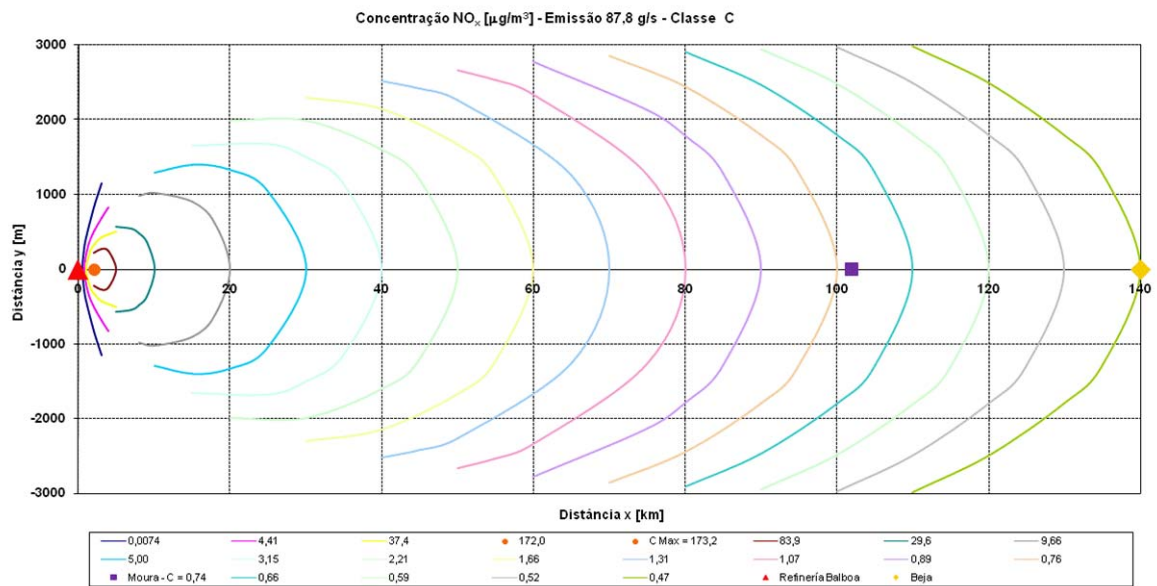


**Figura D.11.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja

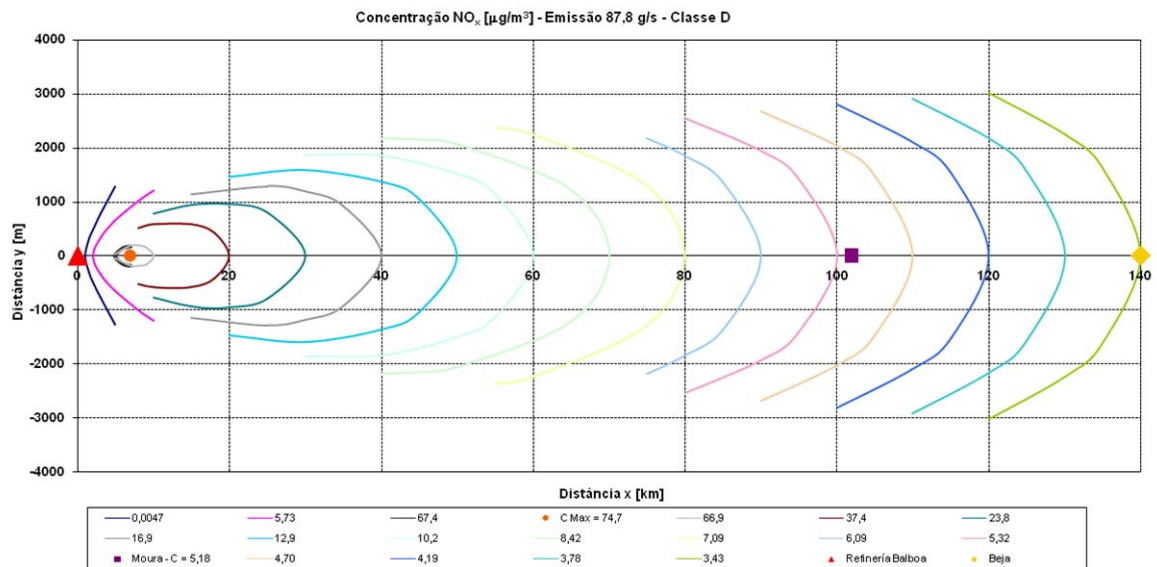


**Figura D.12.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

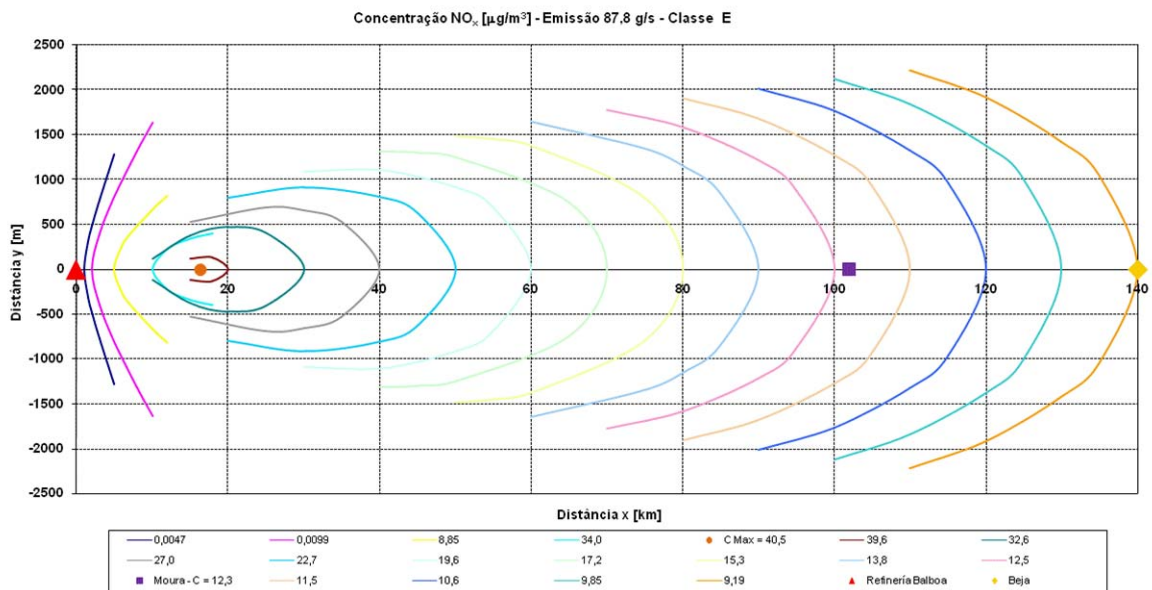


**Figura D.13.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Beja

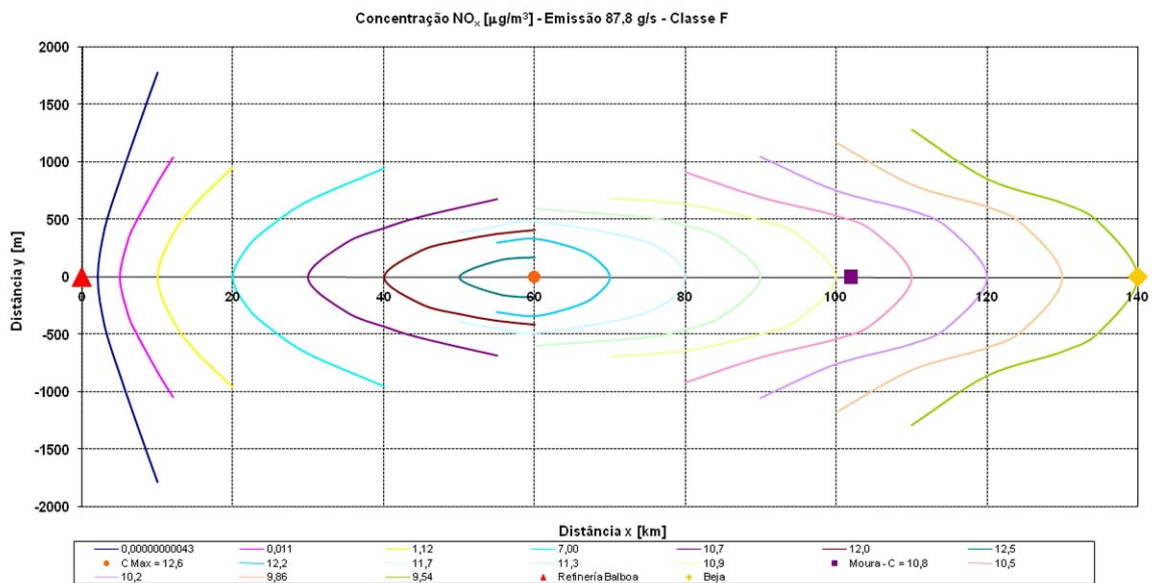


**Figura D.14.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Beja

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

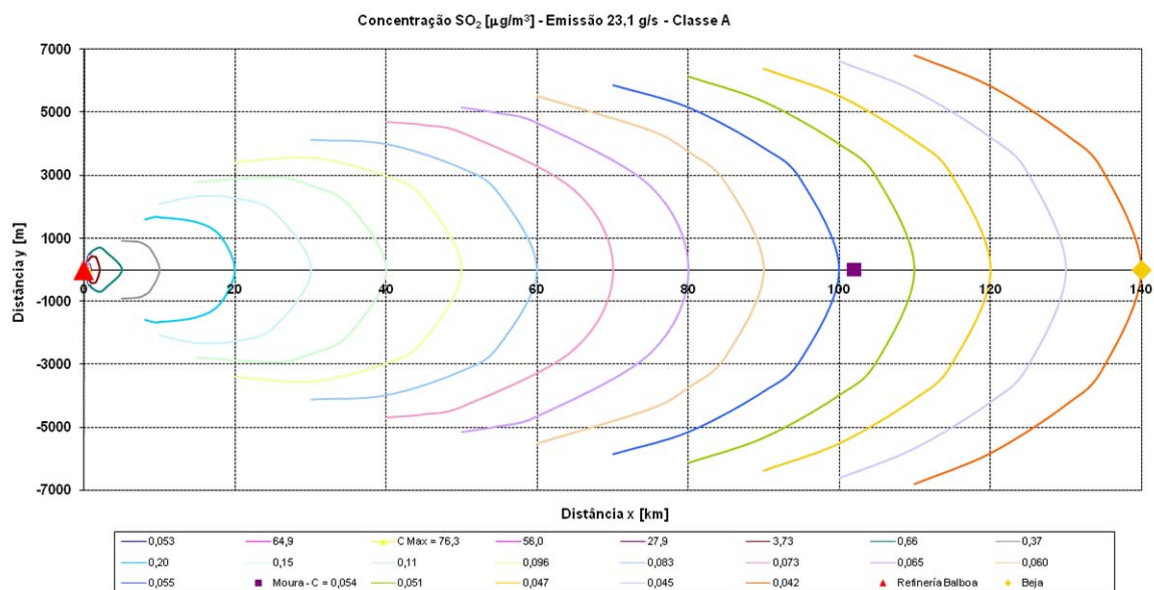


**Figura D.15.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Beja

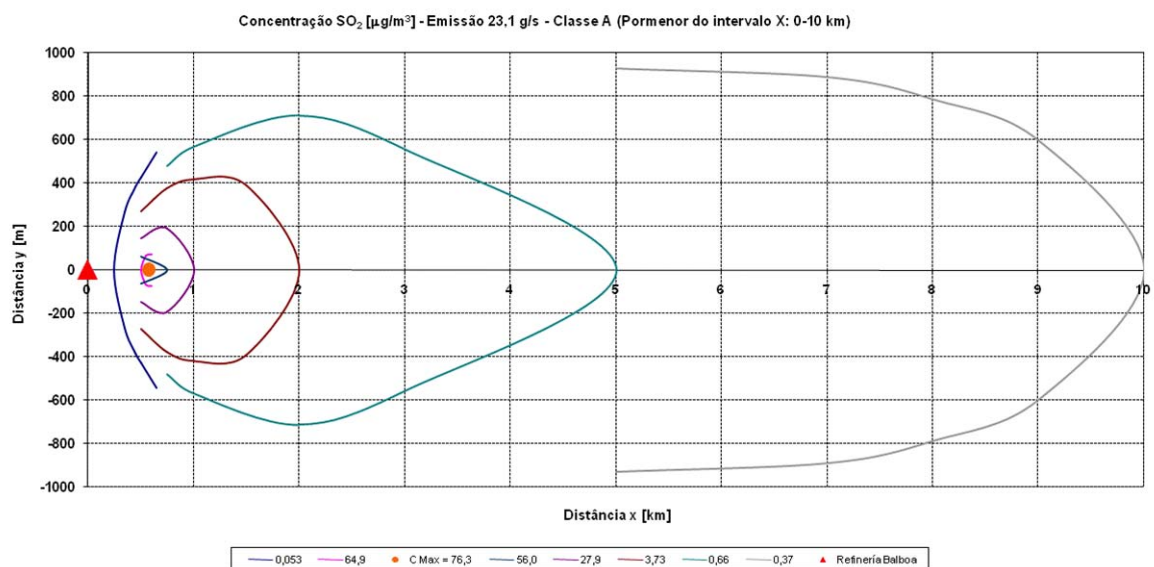


**Figura D.16.** Modelação da dispersão do poluente NO<sub>x</sub>: caudal de emissão de 87,8 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Beja

**ANEXO D.3. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE SO<sub>2</sub>: CAUDAL DE EMISSÃO – 23,1 g/s**

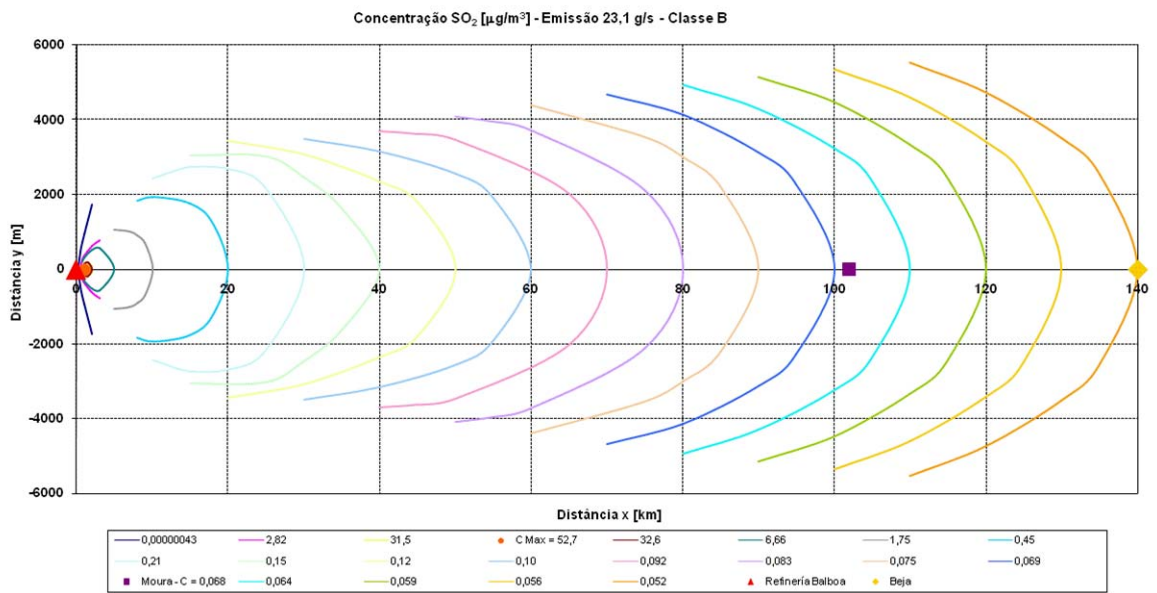


**Figura D.17.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja

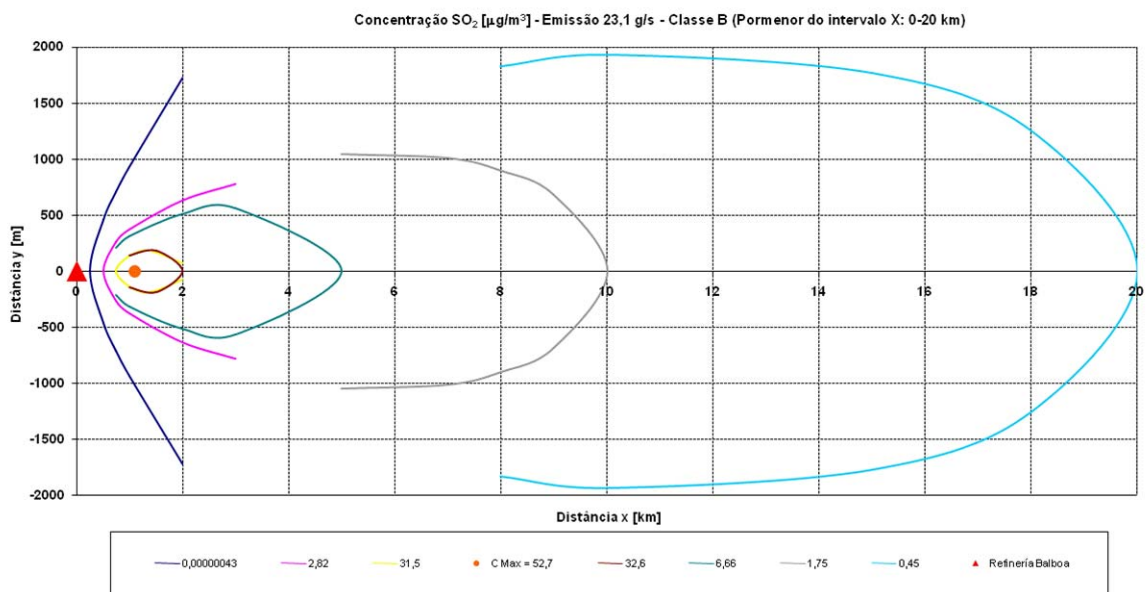


**Figura D.18.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

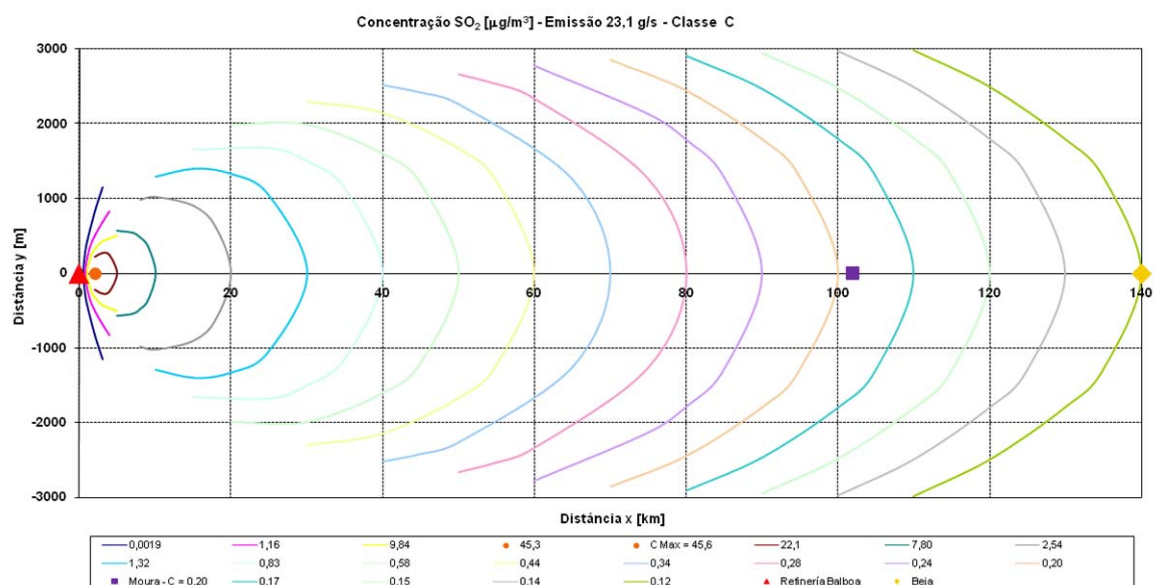


**Figura D.19.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja

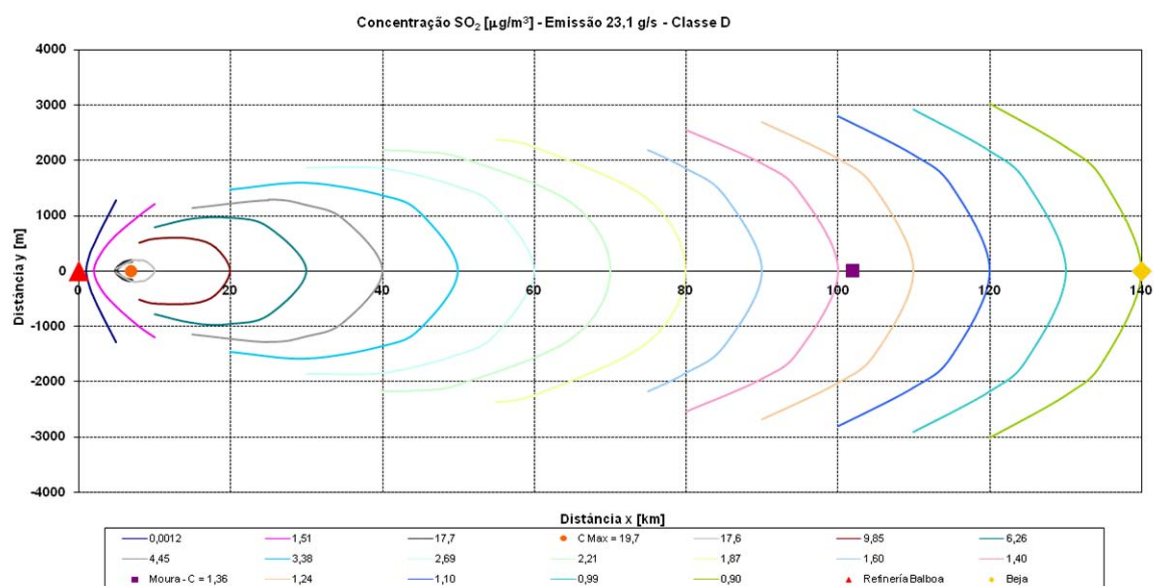


**Figura D.20.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

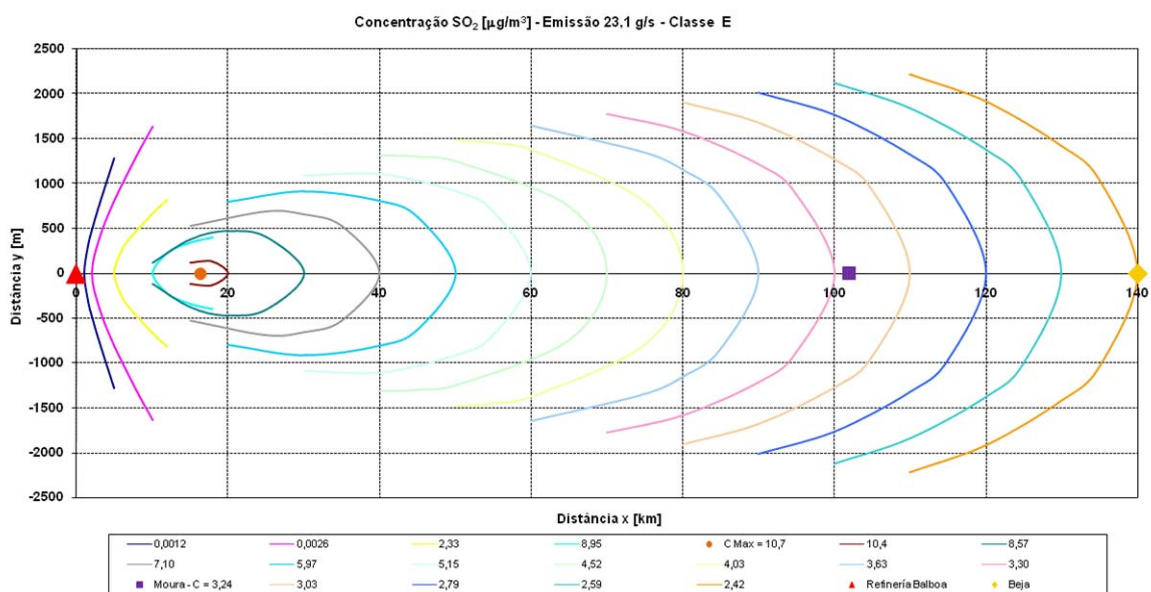


**Figura D.21.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Beja

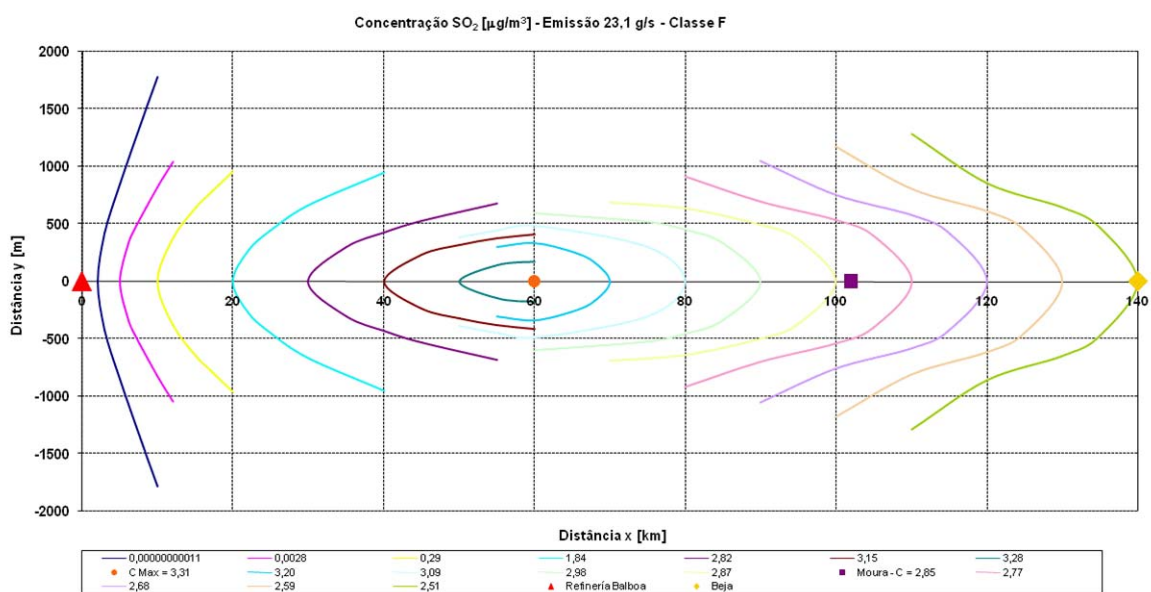


**Figura D.22.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Beja

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

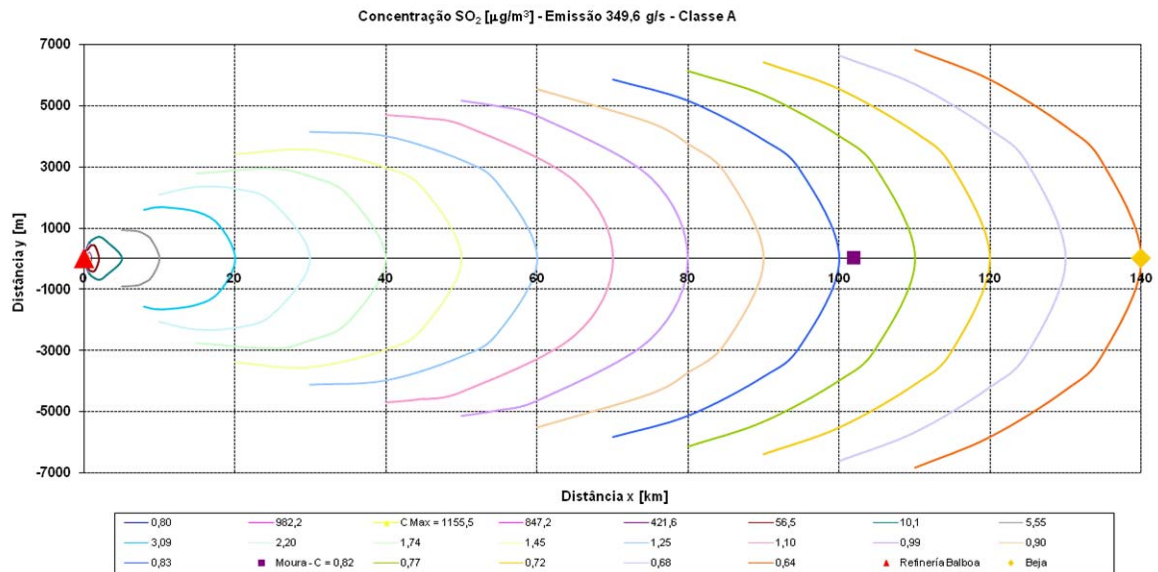


**Figura D.23.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Beja

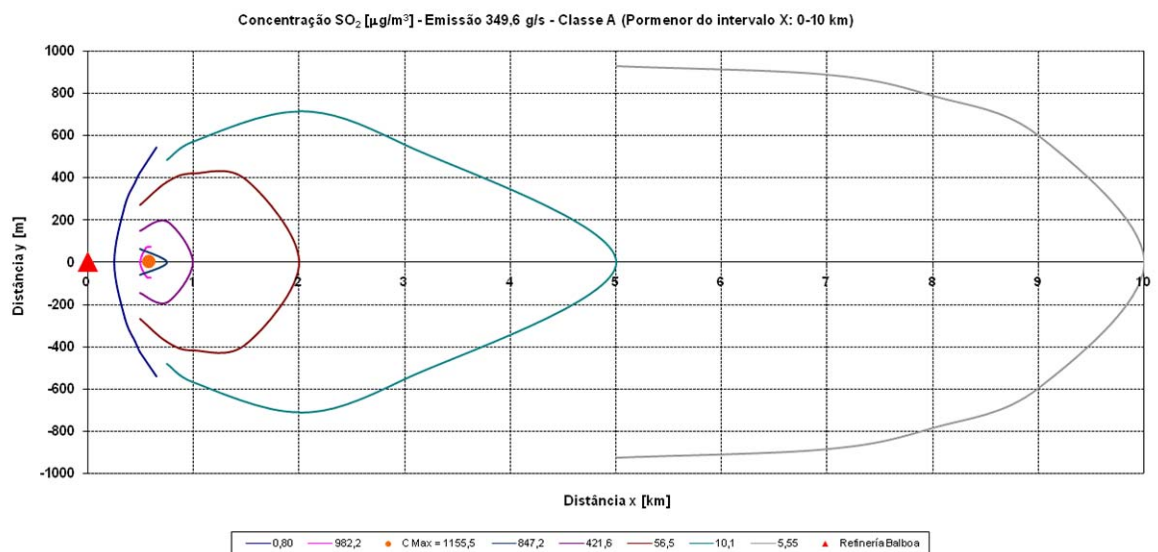


**Figura D.24.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 23,1 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Beja

**ANEXO D.4. MODELAÇÃO DA DISPERSÃO DE SO<sub>2</sub>: CAUDAL DE EMISSÃO – 349,6 g/s**

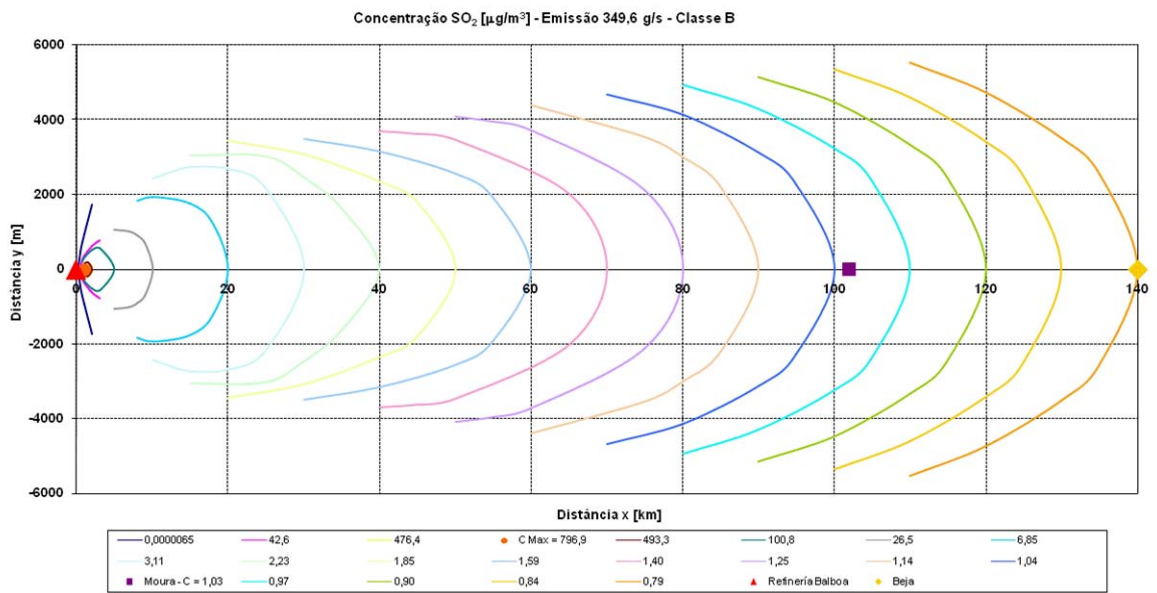


**Figura D.25.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja

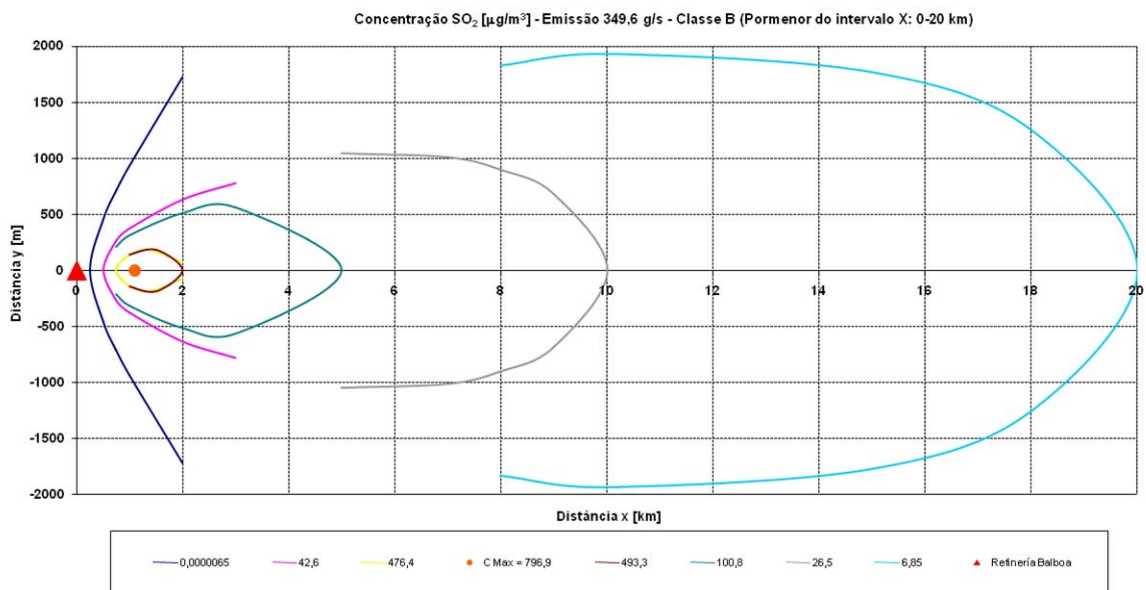


**Figura D.26.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-10 km): caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade A e local receptor Beja

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

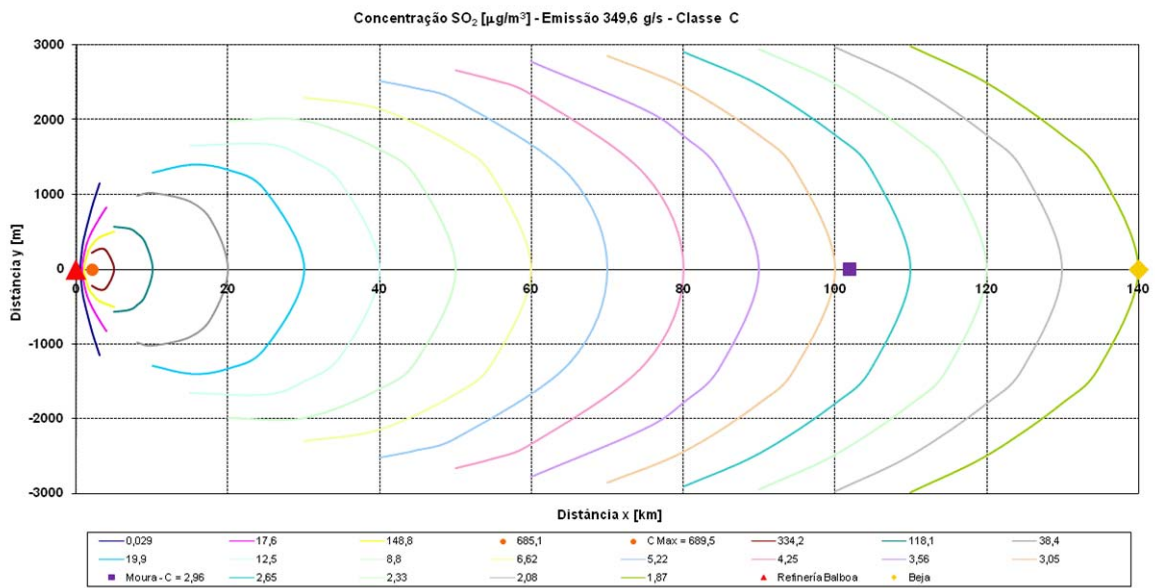


**Figura D.27.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja

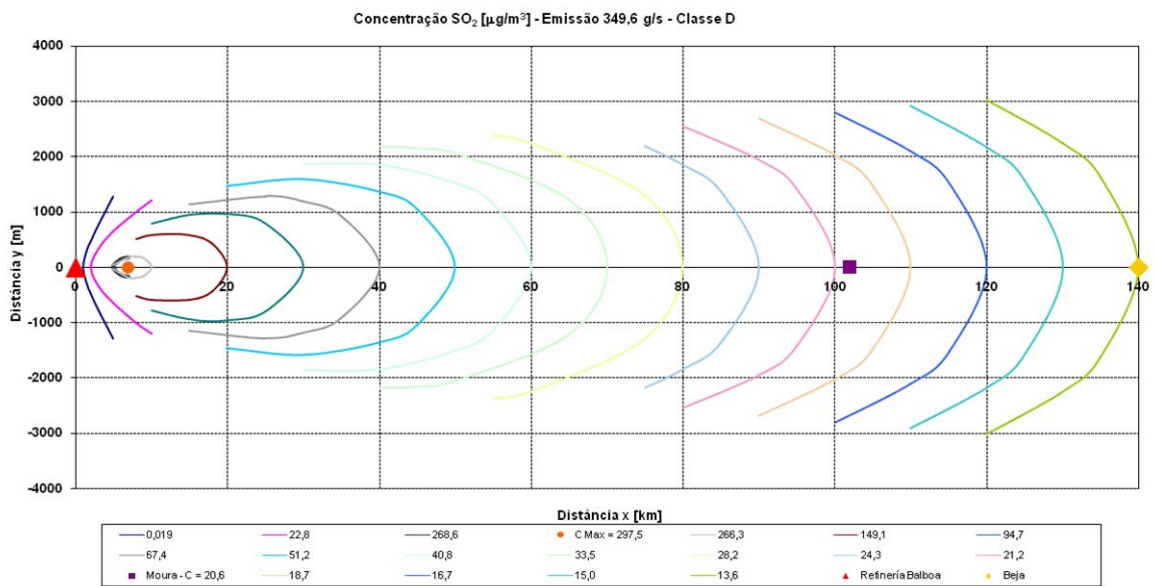


**Figura D.28.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub> (pormenor do intervalo x: 0-20 km): caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade B e local receptor Beja

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

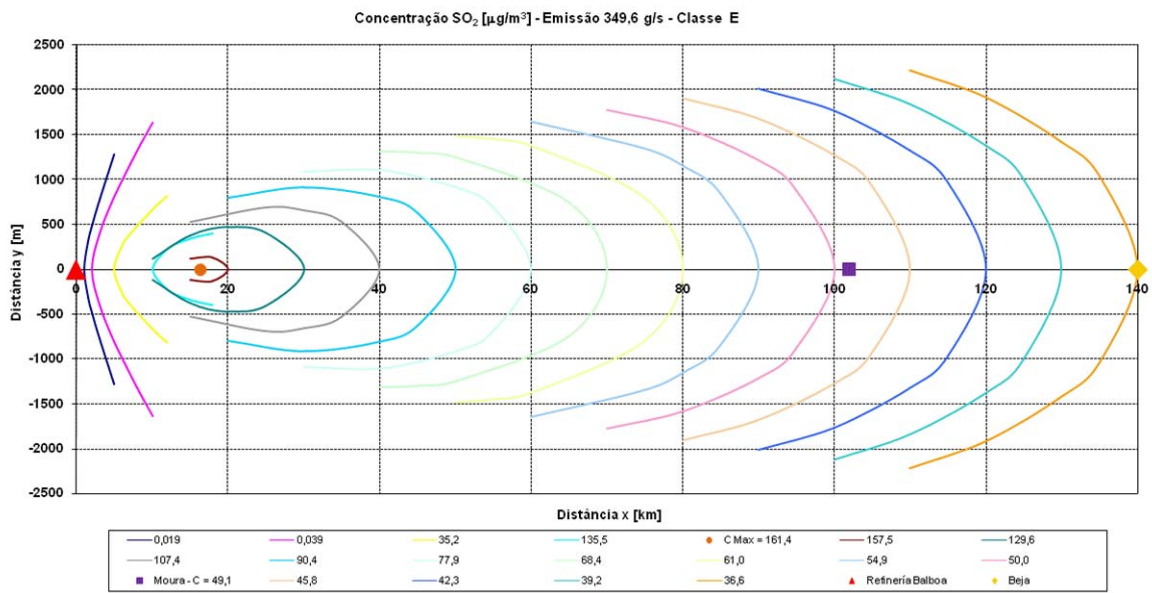


**Figura D.29.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade C e local receptor Beja

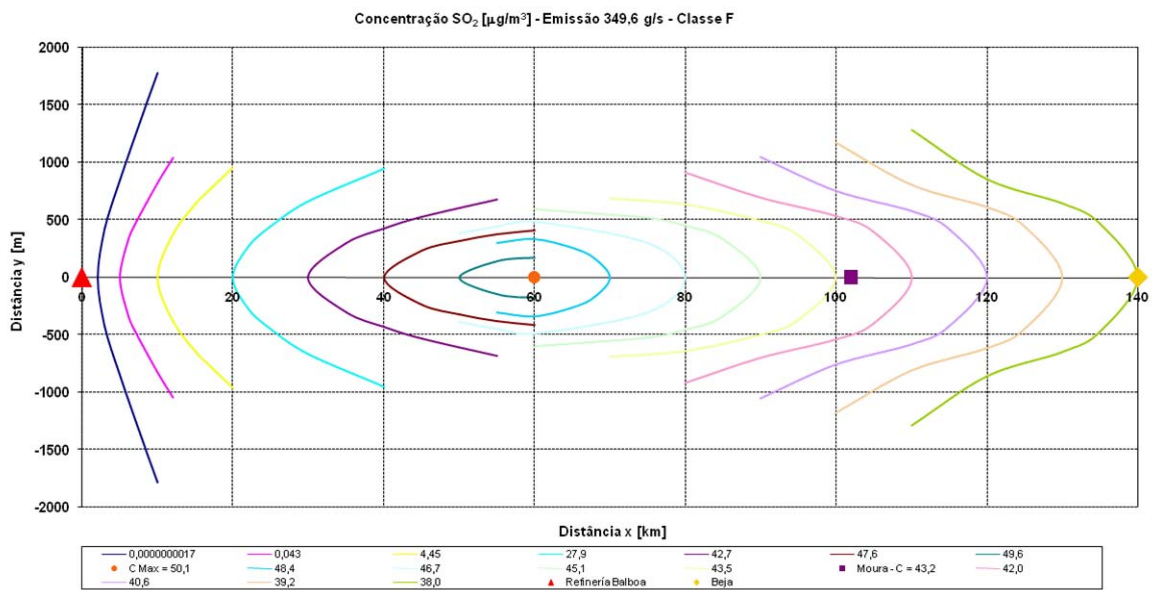


**Figura D.30.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade D e local receptor Beja

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**



**Figura D.31.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade E e local receptor Beja



**Figura D.32.** Modelação da dispersão do poluente SO<sub>2</sub>: caudal de emissão de 349,6 g/s, classe de estabilidade F e local receptor Beja

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**

**ANEXO E. VALORES LIMITE PARA O SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> E NO<sub>x</sub> NO AR AMBIENTE – DECRETO-LEI N.º 111/2002 DE 16 DE ABRIL<sup>[1]</sup>**

**Secção I — Valores limite para o dióxido de enxofre**

Os valores limite serão expressos em microgramas por metro cúbico, normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa.

	Período considerado	Valor limite	Margem de tolerância	Data de cumprimento
Valor limite horário para protecção da saúde humana.	Uma hora . . . . .	350 µg/m <sup>3</sup> (valor a não exceder mais de 24 vezes em cada ano civil)	90 µg/m <sup>3</sup> à data de entrada em vigor do presente decreto-lei, devendo sofrer uma redução, a partir de 1 de Janeiro de 2003 e depois, de 12 em 12 meses, numa percentagem anual idêntica, até atingir 0% em 1 de Janeiro de 2005.	1 de Janeiro de 2005.
Valor limite diário para protecção da saúde humana.	Vinte e quatro horas	125 µg/m <sup>3</sup> (valor não exceder mais de três vezes em cada ano civil)	Não se aplica.	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 µg/m <sup>3</sup>	Não se aplica . . . . .	Data de entrada em vigor do presente diploma.

**Figura E.1. Valores limite para o SO<sub>2</sub> no ar ambiente<sup>[1]</sup>**

**Secção I — Valores limite para o dióxido de azoto e óxidos de azoto**

Os valores limite serão expressos em microgramas por metro cúbico, normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa.

	Período considerado	Valor limite	Margem de tolerância	Data de cumprimento
Valor limite horário para protecção da saúde humana.	Uma hora . . . . .	200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> (valor a não exceder mais de 18 vezes em cada ano civil)	80 µg/m <sup>3</sup> à data de entrada em vigor do presente decreto-lei, devendo sofrer uma redução, a partir de 1 de Janeiro de 2003 e depois, de 12 em 12 meses, numa percentagem anual idêntica, até atingir 0% em 1 de Janeiro de 2010.	1 de Janeiro de 2010.
Valor limite anual para protecção da saúde humana.	Ano civil . . . . .	40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	16 µg/m <sup>3</sup> à data de entrada em vigor do presente decreto-lei, devendo sofrer uma redução, a partir de 1 de Janeiro de 2003 e depois, de 12 em 12 meses, numa percentagem anual idêntica, até atingir 0% em 1 de Janeiro de 2010.	1 de Janeiro de 2010.
Valor limite anual para protecção da vegetação.	Ano civil . . . . .	30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>x</sub>	Não se aplica . . . . .	Data de entrada em vigor do presente diploma.

**Figura E.2. Valores limite para o NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> no ar ambiente<sup>[1]</sup>**



**ANEXO F. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO CALPUFF, CALMET E CALPOST**

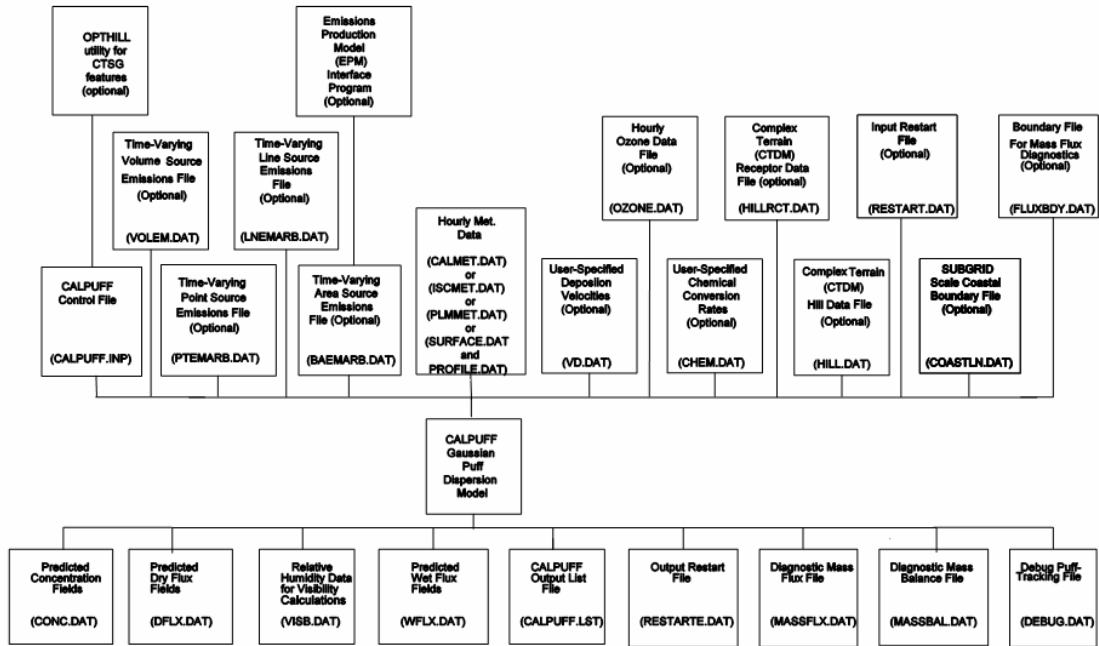


Figura F.1. Representação esquemática do modelo de transporte e dispersão CALPUFF<sup>[37]</sup>, [41]

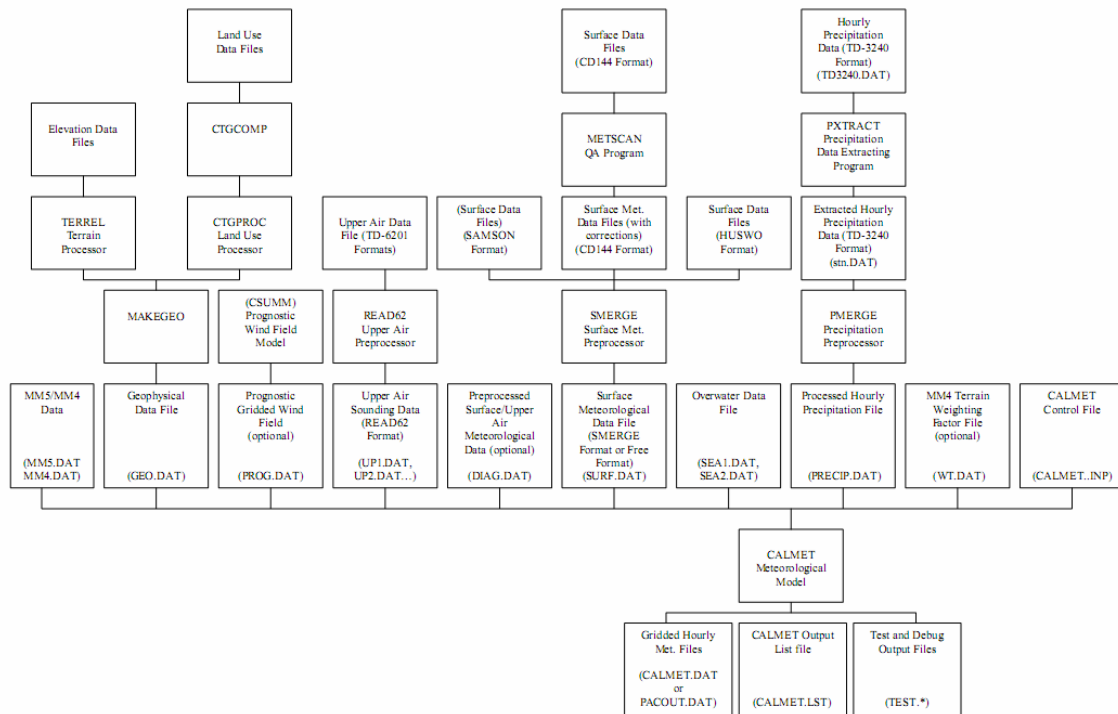
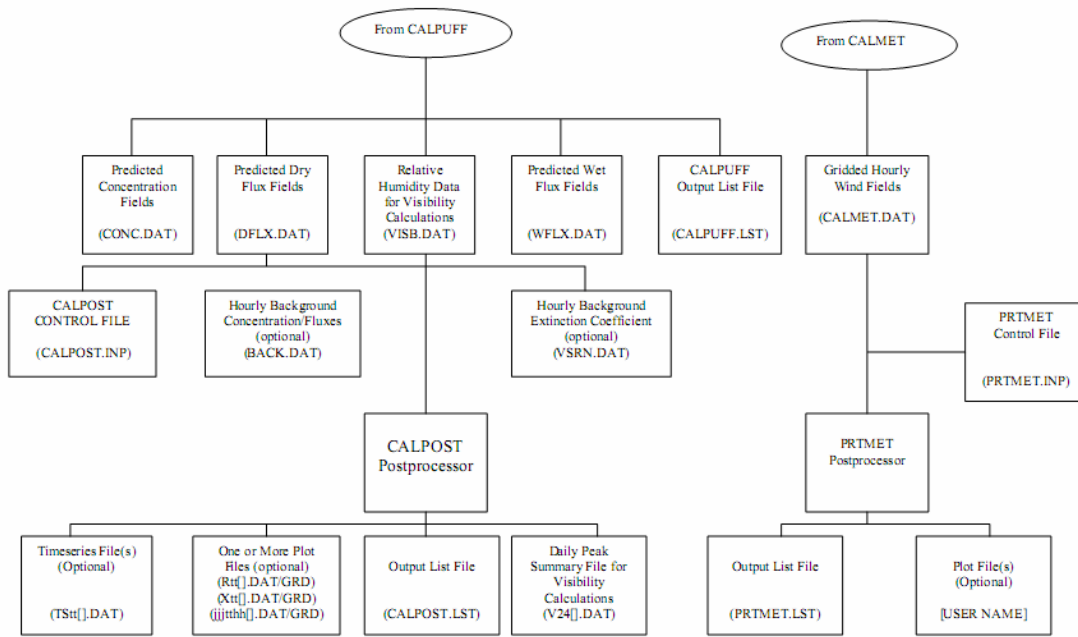


Figura F.2. Representação esquemática do modelo meteorológico CALMET<sup>[37]</sup>, [41]

**MODELAÇÃO DO TRANSPORTE E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PRODUZIDOS  
POR UMA REFINARIA: ESTUDO DE CASO**



**Figura F.3.** Representação esquemática do programa de pós-processamento CALPOST<sup>[37], [41]</sup>