



**Universidade de Aveiro**  
2012

Departamento de Ambiente e Ordenamento

**Bruno Miguel  
Oliveira Duarte**

**Contributo de fontes de emissão na qualidade do ar  
em Estarreja**



Universidade de Aveiro  
2012

Departamento de Ambiente e Ordenamento

**Bruno Miguel  
Oliveira Duarte**

## **Contributo de fontes de emissão na qualidade do ar em Estarreja**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Joana Ferreira, Estagiária de Pós Doutoramento - Centro de Estudos do Ambiente e do Mar – CESAM, do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro; e coorientação científica da Doutora Joana Valente, Estagiária de Pós Doutoramento - Centro de Estudos do Ambiente e do Mar – CESAM, do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Apoio financeiro do Painel Consultivo  
Comunitário do Programa Atuação  
Responsável de Estarreja  
(PACOPAR).

Este trabalho é financiado por  
Fundos FEDER através do  
Programa Operacional Fatores de  
Competitividade (COMPETE) e por  
Fundos nacionais através da FCT  
no âmbito do projeto INSPIRAR  
(PTDC/AAC-AMB/103895/2008)

Dedico este trabalho aos meus pais e ao meu irmão.

## **O júri**

Presidente

**Prof. Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda**

Professora Associada com Agregação, Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Alexandre Filipe Fernandes Caseiro**

Equiparado a Professor Adjunto, Escola Superior de Tecnologia de Tomar

**Doutora Joana Cardoso Ferreira**

Estagiária de Pós-Doutoramento, Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Doutora Joana Da Fonseca Valente**

Estagiária de Pós-Doutoramento, Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

## **Agradecimentos**

Este espaço é dedicado a aqueles que deram o seu contributo para que fosse possível a realização desta dissertação. A todos eles deixo aqui o meu agradecimento sincero.

À Doutora Joana Ferreira quero endereçar um enorme agradecimento pela forma incansável como sempre acompanhou e orientou cientificamente todas as tarefas desenvolvidas no âmbito da presente dissertação.

Dirijo à Doutora Joana Valente um enorme agradecimento pela zelosa coorientação, pelo apoio científico prestado e pelos seus pertinentes e valiosos comentários, que muito contribuíram para este trabalho.

Ao Doutor Richard Tavares dirijo uma grande palavra de apreço pela disponibilidade prestada e pelo acompanhamento de todas as tarefas inerentes ao processo de modelação.

Agradeço à Mestre Cláudia Pimentel a ajuda e a disponibilidade prestadas na realização de tarefas no âmbito da presente dissertação.

A todos os meus amigos e aos membros do NEEA, que ainda da forma mais subtil contribuíram para o resultado final desta dissertação, um muito obrigado.

Para terminar, um especial agradecimento à minha família pela compreensão e todo o apoio prestado ao longo de todo este tempo.

## Palavras-chave

Qualidade do ar, Estarreja, modelação numérica, indústria, tráfego.

## Resumo

O crescente aumento, verificado nas últimas décadas, da atividade industrial, do tráfego e da densidade populacional nas áreas urbanas tem contribuído de forma significativa para a progressiva deterioração da qualidade do ar ambiente nestas áreas. A cidade de Estarreja é um interessante local de estudo do ponto de vista da qualidade do ar, dada a proximidade ao Complexo Químico de Estarreja (CQE) e a algumas vias de comunicação, podendo todas estas fontes emissoras representar um forte contributo para a qualidade do ar na região.

A presente dissertação teve como principal objetivo avaliar o contributo das várias fontes emissoras de poluentes atmosféricos na qualidade do ar no concelho de Estarreja recorrendo a modelação numérica. Para atingir este objetivo foram realizadas diversas tarefas que se descrevem de seguida.

Foi efetuada uma caracterização da qualidade do ar na região de estudo com base nos dados medidos na estação de monitorização da qualidade do ar da Teixugueira.

Foram recolhidos dados de emissões de poluentes atmosféricos de fontes industriais do CQE, contagens de tráfego rodoviário nas principais vias do concelho de Estarreja, localização dos edifícios e dados meteorológicos referentes à região de estudo.

De forma a avaliar o contributo das fontes emissoras na qualidade do ar da região foi aplicado um modelo de dispersão de poluentes atmosféricos à escala urbana, o modelo URBAIR, com o objetivo de avaliar a dispersão dos poluentes ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{SO}_2$ ), num domínio de estudo definido. Foram considerados apenas dois tipos de fontes: indústria e tráfego rodoviário. Os resultados foram analisados em termos da evolução temporal das concentrações dos poluentes simulados em locais específicos da área de estudo, comparação com os valores monitorizados na estação de qualidade do ar da Teixugueira, e em termos de distribuição espacial, com o intuito de fazer uma caracterização do perfil diário de concentrações no ar ambiente. Esta análise foi feita de forma individual para os dois tipos de fontes de emissão consideradas, com o intuito de avaliar o seu contributo individual para a qualidade do ar na região.

Com base no estudo efetuado, pode-se concluir que o tráfego rodoviário é a fonte que mais contribui para a emissão de  $\text{CO}$ , registando-se as maiores concentrações junto às principais linhas de tráfego rodoviário (A1, A29), no centro de Estarreja e junto ao CQE, nos períodos das 6h, 9h e 22h. Para os poluentes  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{SO}_2$ , a fonte que mais contribui para a concentração destes poluentes na atmosfera é a indústria, registando-se, de um modo geral, concentrações mais elevadas destes poluentes às 6h, 9h e 22h, junto ao CQE. É na zona junto ao CQE que ocorrem concentrações mais elevadas para todos os poluentes em estudo, podendo afetar a saúde da população residente nesse local.

Em estudos próximos é aceitável considerar as emissões do tráfego e da indústria como representativas das emissões que afetam a qualidade do ar na zona de Estarreja, para os poluentes  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ . Contudo, para o  $\text{CO}$ , é necessário considerar outras fontes, pois apresentam uma contribuição relativa bastante elevada, comparativamente com as fontes consideradas.

## Keywords

Air quality, Estarreja, numerical modeling, industry, traffic.

## Abstract

The significant growth, verified in the last decades, of the industrial activity, the traffic and the population density in the urban areas has contributed for the increasing deterioration of the air quality in these areas. The town of Estarreja is an interesting area of study from the air quality point of view, given the proximity to the Chemical Complex of Estarreja (CCE) and to some major roadways, having these emitting sources a potential impact in the air quality of the region.

The present work had as main objective to evaluate the contribution of distinct sources of atmospheric pollutants in the air quality of Estarreja area, using numerical modelling. To reach this objective the tasks described below have been carried out.

A characterization of air quality in the study region based on data monitored at the Teixugueira monitoring station's air quality was performed.

The following data was collected for the study region: air pollutant emissions from industrial sources of CCE, traffic counts on major roads in the municipality of Estarreja, location of buildings and meteorology.

To evaluate the contribution of emission sources of air pollutants (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>) on the air quality in the region a dispersion model of air pollutants at an urban scale, the URBAIR model, was applied. Only two types of sources were considered: industry and road traffic.

The results were analyzed in terms of temporal evolution of the simulated pollutant concentrations at specific locations of the study area, comparison with monitored concentrations at Teixugueira air quality station, and in terms of spatial distribution, in order to make a characterization of the daily profile of ambient air concentrations. This analysis was done individually for the two types of emission sources considered, in order to evaluate their individual contribution to the air quality in the region. .

Based on this study, it may be concluded that road traffic is the source that contributes the most to the CO emission, registering the highest concentrations along main traffic lines (A1 and A29), in the center of Estarreja and near the CCE at 6h, 9h and 22h. For the pollutants NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub>, the most contributing source to the concentration of these pollutants in the atmosphere is the industry, registering, in general, higher concentrations of these pollutants at 6h, 9h and 22h, near the CCE. It is in the area near to CCE that higher concentrations for all pollutants that can affect the health of the population living there occur.

In future studies it is acceptable to consider traffic and industry emissions as representative of the emissions affecting the air quality in the area of Estarreja for the pollutants SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub>. However, for CO, it is necessary to consider other sources because they represent a very high relative contribution compared to the sources considered.

# Índice

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Modelação da qualidade do ar .....</b>	<b>5</b>
2.1. Modelos de qualidade do ar.....	5
2.2. Modelação gaussiana.....	7
2.3. Modelo URBAIR .....	9
2.3.1. Módulo meteorológico.....	10
2.3.2. Módulo de emissões .....	11
2.3.3. Módulo de Geoinformação.....	13
2.3.4. Módulo de dispersão.....	13
<b>3. Caraterização da área de estudo .....</b>	<b>15</b>
3.1. Caraterização geográfica .....	15
3.2. Caracterização socioeconómica.....	16
3.3. Transportes e vias de comunicação.....	18
3.4. Caracterização climatológica.....	19
3.5. Qualidade do Ar .....	20
3.5.1. Estações de monitorização da qualidade do ar .....	21
3.5.2. Avaliação do cumprimento de legislação .....	22
3.6. Contributo de fontes emissoras de poluentes atmosféricos .....	33
<b>4. Aplicação do modelo URBAIR ao caso de estudo .....</b>	<b>35</b>
4.1. Dados de entrada no modelo .....	35
4.2. Dados de saída do modelo.....	44
<b>5. Resultados.....</b>	<b>45</b>
5.1. Emissões.....	45
5.2. Distribuição espacial.....	48
5.3. Comparação com valores medidos .....	76
5.4. Qualidade do ar em locais estratégicos.....	86
<b>6. Conclusão.....</b>	<b>93</b>
<b>7. Referências bibliográficas.....</b>	<b>97</b>

## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Características da Estação de monitorização da qualidade do ar de Teixugueira/Estarreja .....	22
Tabela 3.2 - Resumo dos parâmetros definidos no DL 102/2010 de 23 de Setembro para as concentrações dos diferentes poluentes no ar ambiente. ....	23
Tabela 3.3 - Eficiência dos dados (%) relativos a cada poluente em análise, para os anos de 2010 e 2011. .	25
Tabela 4.1 – Nomes das vias consideradas no domínio de estudo. ....	39
Tabela 4.2 – Categorias de veículos consideradas para as diferentes vias de comunicação da zona de estudo .....	43
Tabela 5.1 – Comparação de valores das emissões referentes a fontes industriais e tráfego rodoviário, tendo por base o Inventário Nacional de Emissões para o concelho de Estarreja e as Emissões consideradas no domínio de estudo. ....	47

## Índice de Figuras

Figura 2.1 – Esquema de uma Pluma que segue uma distribuição Gaussiana.....	8
Figura 2.2 - Organização funcional do modelo URBAIR.....	8
Figura 3.1 - Enquadramento geográfico do concelho de Estarreja.....	15
Figura 3.2 - Valores de altimetria na região de Estarreja.....	16
Figura 3.3- Densidade populacional no concelho de Estarreja, por freguesia (dados dos censos 2011) .....	17
Figura 3.4 - Imagem de satélite com a localização do Complexo Químico de Estarreja. ....	18
Figura 3.5 - Representação da rede rodoviária (a) e da rede ferroviária (b) do concelho de Estarreja .....	19
Figura 3.6 - Variação da temperatura e precipitação média mensal, entre 1981-2010.....	20
Figura 3.7 - Localização da Estação de monitorização da qualidade do ar da Teixugueira .....	21
Figura 3.8 – Concentração máxima horária de NO <sub>2</sub> , valor limite horário e nº de excedências. ....	25
Figura 3.9 - Concentração média anual de NO <sub>2</sub> e valor limite anual. ....	25
Figura 3.10 - Concentração máxima horária de SO <sub>2</sub> , valor limite horário e nº de excedências. ....	26
Figura 3.11 - Concentração máxima diária de SO <sub>2</sub> , valor limite diário e nº de excedências. ....	27
Figura 3.12 - Concentração máxima das médias octo-horárias de O <sub>3</sub> , valor alvo e nº de excedências. ....	28
Figura 3.13 - Nº de excedências ao limiar horário de alerta, para o O <sub>3</sub> . ....	29
Figura 3.14 - Nº de excedências ao limiar horário de informação, para o O <sub>3</sub> . ....	29
Figura 3.15 - Máximo da média octo-horária de O <sub>3</sub> e respetivo objetivo a longo prazo. ....	30
Figura 3.16 - Concentração máxima diária de PM <sub>10</sub> , valor limite diário e número de excedências. ....	31
Figura 3.17 - Concentração média anual de PM <sub>10</sub> e valor limite anual. ....	31
Figura 3.18 - Concentração média anual de PM <sub>2,5</sub> e valor limite anual (com margem de tolerância) .....	32
Figura 3.19 – Contribuição das emissões de fontes industriais, tráfego rodoviário e outras fontes no concelho de Estarreja, com base no Inventário Nacional de Emissões. ....	34
Figura 4.1 – Imagem de satélite do domínio de estudo .....	36

Figura 4.2 – Velocidade horária do vento a 2m de altura, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011, na estação meteorológica de Aveiro.....	37
Figura 4.3 – Velocidade do vento, a 2m de altitude, para o período entre 20 e 21 de maio de 2011, na estação meteorológica de Aveiro.....	37
Figura 4.4 – Direção horária do vento para a 2m de altura, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.....	38
Figura 4.5 – Representação e localização das vias de comunicação consideradas no domínio de estudo. ...	40
Figura 4.6 – Representação do perfil diário de tráfego rodoviário típico de um dia da semana. ....	41
Figura 4.7 – Representação do perfil diário de tráfego rodoviário típico de um dia de fim de semana.....	41
Figura 5.1 – Contributo de fontes industriais e tráfego rodoviário com base em emissões consideradas no modelo URBAIR.....	45
Figura 5.2 – Contributo de fontes industriais e tráfego rodoviário com base em emissões consideradas no Inventário Nacional de Emissões para o concelho de Estarreja. ....	46
Figura 5.3 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de CO, resultantes das simulações para Estarreja, para as 6h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	49
Figura 5.4 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de CO, resultantes das simulações para Estarreja, para as 9h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	50
Figura 5.5 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de CO, resultantes das simulações para Estarreja, para as 12h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	51
Figura 5.6 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de CO, resultantes das simulações para Estarreja, para as 15h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	52
Figura 5.7 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de CO, resultantes das simulações para Estarreja, para as 18h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	53
Figura 5.8 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de CO, resultantes das simulações para Estarreja, para as 22h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	54
Figura 5.9 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de NO <sub>x</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 6h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	56
Figura 5.10 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de NO <sub>x</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 9h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	57
Figura 5.11 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de NO <sub>x</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 12h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	58
Figura 5.12 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de NO <sub>x</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 15h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	59
Figura 5.13 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de NO <sub>x</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 18h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	60
Figura 5.14 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de NO <sub>x</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 22h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	61
Figura 5.15 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de PM <sub>10</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 6h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	63
Figura 5.16 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de PM <sub>10</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 9h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	64
Figura 5.17 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de PM <sub>10</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 12h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	65
Figura 5.18 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de PM <sub>10</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 15h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	66

Figura 5.19 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja, para as 18h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	67
Figura 5.20 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja, para as 22h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	68
Figura 5.21 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de SO <sub>2</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 6h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	70
Figura 5.22 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de SO <sub>2</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 9h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	71
Figura 5.23 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de SO <sub>2</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 12h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	72
Figura 5.24 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de SO <sub>2</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 15h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	73
Figura 5.25 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de SO <sub>2</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 18h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	74
Figura 5.26 - Distribuição espacial das concentrações médias horárias de SO <sub>2</sub> , resultantes das simulações para Estarreja, para as 22h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total. ....	75
Figura 5.27 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de SO <sub>2</sub> , resultantes das simulações para Estarreja e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.....	77
Figura 5.28 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de SO <sub>2</sub> , resultantes das simulações para Estarreja e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para os dias 20 e 21 de maio de 2011. ....	78
Figura 5.29 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.....	79
Figura 5.30 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para os dias 20 e 21 de maio de 2011. ....	79
Figura 5.31 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de NO <sub>x</sub> , resultantes das simulações para Estarreja e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.....	80
Figura 5.32 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de NO <sub>x</sub> , resultantes das simulações para Estarreja e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para os dias 20 e 21 de maio de 2011. ....	81
Figura 5.33 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de SO <sub>2</sub> , resultantes das simulações para Estarreja corrigidas com valores de fundo e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.....	82
Figura 5.34 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de SO <sub>2</sub> , resultantes das simulações para Estarreja corrigidas com valores de fundo e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para os dias 20 e 21 de maio de 2011. ....	82
Figura 5.35 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja corrigidas com valores de fundo e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.....	83
Figura 5.36 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja corrigidas com valores de fundo e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para os dias 20 e 21 de maio de 2011. ....	84
Figura 5.37 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de NO <sub>x</sub> , resultantes das simulações para Estarreja corrigidas com valores de fundo e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.....	85

Figura 5.38 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de NO <sub>x</sub> , resultantes das simulações para Estarreja corrigidas com valores de fundo e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para os dias 20 e 21 de maio de 2011. ....	85
Figura 5.39 – Concentrações horárias de NO <sub>x</sub> , para os três locais selecionados no domínio, relativamente ao período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.....	87
Figura 5.40 – Concentrações horárias de NO <sub>x</sub> , para os três locais selecionados no domínio, relativamente aos dias 20 e 21 de maio de 2011.....	87
Figura 5.41 – Concentrações horárias de PM10, para os três locais selecionados no domínio, relativamente ao período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.....	88
Figura 5.42 – Concentrações horárias de PM10, para os três locais selecionados no domínio, relativamente aos dias 20 e 21 de maio de 2011.....	88
Figura 5.44 – Concentrações horárias de PM10, para os três locais selecionados no domínio, relativamente aos dias 20 e 21 de maio de 2011.....	89
Figura 5.45 – Concentrações horárias de CO, para os três locais selecionados no domínio, relativamente ao período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.....	90
Figura 5.46 – Concentrações horárias de CO, para os três locais selecionados no domínio, relativamente aos dias 20 e 21 de maio de 2011.....	90

# 1. Introdução

O crescente avanço tecnológico e um conseqüente aumento da produção industrial originaram um crescimento desenfreado das zonas urbanas e um fluxo crescente da população residente nessas mesmas áreas. Este crescimento conduziu a uma maior consciencialização por parte da sociedade relativamente à necessidade do controle da poluição atmosférica, uma vez que se tem verificado um aumento das emissões de poluentes atmosféricos e uma conseqüente degradação da qualidade do ar, que potencia o aumento de problemas de saúde humana.

Diariamente, são emitidos para o ar poluentes atmosféricos prejudiciais para a saúde humana, principalmente provenientes do tráfego rodoviário e das chaminés das indústrias. Grande parte dessas emissões para a atmosfera não apresentam um controle efetivo, devido maioritariamente a uma incorreta monitorização dessas fontes ou até mesmo pela pouca, ou nenhuma, preocupação e consciencialização ambiental por parte dos indivíduos (Ferreira, 2008).

Existem vários tipos de fontes de poluição e estas podem ser classificadas, quanto à sua origem, em *fontes de poluição naturais*: incluindo o solo, animais, vulcões, plantas, entre outras; ou em *fontes de poluição artificiais ou antropogénicas*: decorrem da atividade humana e incluem, entre outras, os meios de transporte e as instalações industriais. Além da classificação quanto à origem, as fontes emissoras podem ainda ser classificadas relativamente à natureza das emissões em *fontes pontuais*, ou seja, requerem um tratamento individual, devido à sua dimensão ou contributo nas emissões totais da área em estudo; *fontes em área*, que são referentes a emissões difusas, distribuídas de forma maioritariamente homogénea na área de estudo, podendo incluir fontes de pequenas dimensões ou de difícil identificação; e *fontes em linha*, que normalmente são alusivas a fontes móveis (Seinfeld e Pandis, 2006).

A dispersão dos poluentes na atmosfera urbana é influenciada e limitada por vários fatores, tais como as condições meteorológicas (velocidade e direção do vento, temperatura e humidade), turbulência atmosférica, ocorrência de camadas de inversão, altura da camada de mistura e a topografia do local (altura e disposição do edificado), que pode influenciar e limitar a dispersão dos poluentes na atmosfera (Cerdeira et al., 2007).

O tráfego rodoviário constitui uma das principais fontes de poluição do ar em zonas urbanas e é responsável por uma fração significativa das emissões geradas por fontes antropogénicas. De forma a efetuar uma análise consistente do impacto gerado pelo tráfego rodoviário, é fundamental uma quantificação precisa dos poluentes emitidos pelos veículos motorizados. Uma das principais

formas utilizadas para este fim é a modelação de emissões, recorrendo a modelos de tráfego (DAO, 2007).

Atualmente, a modelação numérica da qualidade do ar é assumida como uma poderosa ferramenta de avaliação e gestão da qualidade do ar. O uso da ferramenta modelação na previsão da qualidade do ar e na representação da dispersão de poluentes atmosféricos é recomendado e incluído na legislação da qualidade do ar da União Europeia (Diretiva n.º 2008/50/CE, de 21 de Maio) como sendo um dos métodos que proporcionam um adequado nível de informação sobre a qualidade do ar ambiente. Esta Diretiva, é transposta para o direito interno pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro, relativo à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa, tem como intuito evitar, prevenir ou limitar as emissões de certos poluentes atmosféricos, assim como os efeitos desses poluentes sobre a saúde humana e o ambiente de um modo global. Este Diploma fixa os objetivos para a qualidade do ar ambiente tendo em conta as normas, as orientações e os programas da Organização Mundial da Saúde (OMS).

O principal objetivo da presente dissertação é analisar o contributo dos vários tipos de fontes de emissão de poluentes atmosféricos (indústria e tráfego rodoviário) para a qualidade de ar na zona de Estarreja, tendo como recurso a modelação da dispersão de poluentes à escala urbana. Pretende-se assim, avaliar o contributo de cada tipo de fonte, relativamente aos poluentes atmosféricos: óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ), partículas em suspensão com diâmetro aerodinâmico inferior a  $10\ \mu\text{m}$  (PM10), monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ). Este trabalho surge no âmbito do projeto INSPIRAR que tem como principal objetivo avaliar os impactes da qualidade do ar na exposição e na saúde humana, resultantes da emissão de poluentes atmosféricos pela atividade industrial, tráfego rodoviário, comércio e serviços, assim como outras fontes consideradas relevantes, para a zona de Estarreja (GEMAC, 2011) .

O concelho de Estarreja é sem dúvida uma zona urbana que possui um dos mais importantes complexos químicos de Portugal, o Complexo Químico de Estarreja (CQE). Este complexo industrial, que tem sofrido uma forte ampliação nos últimos anos devido à expansão de algumas empresas, é detentor das fontes de emissão mais importantes e que contribuem maioritariamente para a emissão de poluentes atmosféricos na zona Estarreja (Lopes et al., 2011).

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos. No segundo capítulo é feita uma abordagem à modelação da qualidade do ar em geral e é apresentado e descrito o modelo URBAIR (modelo aplicado ao caso de estudo) incluindo o modelo TREM (módulo de emissões do modelo URBAIR). No terceiro capítulo é feita uma caracterização da área de estudo, incluindo uma descrição geográfica, da socio economia, dos transportes e vias de comunicação, da climatologia e da qualidade do ar na região. A aplicação do modelo URBAIR ao caso de estudo é apresentada

no quarto capítulo, onde é elaborada uma descrição sobre a preparação dos dados de entrada no modelo e respetivo tratamento dos dados de saída, até a obtenção dos resultados finais. No quinto capítulo é efetuada uma apresentação e discussão dos resultados obtidos a partir do modelo URBAIR. O sexto capítulo inclui as conclusões e algumas considerações finais relativas ao caso de estudo e aos resultados obtidos.



## 2. Modelação da qualidade do ar

Modelação é um termo utilizado para descrever um processo de reprodução, ou seja uma simulação da realidade, onde estão envolvidas um conjunto de variáveis que tentam fazer uma representação o mais aproximado possível de uma realidade. Um modelo é utilizado quando a complexidade de uma realidade inviabiliza a sua análise e o seu estudo direto. Os modelos possuem vários contextos de aplicação, mas são amplamente utilizados em ciência pra prever e/ou resolver problemas, e para identificar a melhor solução para a gestão de um problema ambiental específico (Alley, 1988; Ferreira, 2007).

O recurso à modelação atmosférica permite conhecer e estudar a atmosfera, os seus constituintes e os fenómenos que nela ocorrem, com o objetivo de uma melhor gestão da qualidade do ar. Desta forma, os modelos numéricos, através de ferramentas matemáticas, permitem uma reprodução desses fenómenos atmosféricos, com base na manipulação de um conjunto de variáveis (Alley, 1988).

### 2.1. Modelos de qualidade do ar

Utilizados como ferramenta de investigação, os modelos atmosféricos são vistos como um meio para o conhecimento do comportamento físico e químico da atmosfera. Os modelos atmosféricos constituem também uma ferramenta de apoio à decisão política, uma vez que permitem estabelecer uma relação quantitativa entre as emissões de poluentes num ou mais locais e as concentrações consequentes, ou doses, a que ficam expostos os seres humanos ou outros recetores inseridos na biosfera, permitindo assim controlar potenciais problemas de saúde pública (Reid et al., 2003; Ferreira, 2007).

Existem vários tipos de modelos atmosféricos consoante as características e a sua gama de aplicação. São considerados três grandes grupos de modelos, quanto ao seu tipo: modelos de dispersão, químicos e de recetor (Liu, 1999). Os modelos de dispersão são usados para estimar a concentração de um determinado poluente em pontos específicos rodeados por fontes emissoras, tendo apenas em consideração a dispersão do poluente e não a sua possível transformação química. Os modelos químicos *de transporte* possuem escalas espaciais de aplicação maiores e simulam o impacte de todas as fontes emissoras de uma dada região nas concentrações de poluentes atmosféricos e na deposição de espécies químicas inertes ou reativas, incluindo os processos de transformação química. Os modelos de recetor fundamentam-se em concentrações

de poluentes medidas e no conhecimento da composição das emissões das fontes relevantes, para estimar as contribuições relativas das fontes no ponto recetor, assumindo uma relação linear entre concentrações e emissões (Seinfeld e Pandis, 2006).

Tendo em conta a escala espacial de aplicação dos modelos, podem ser consideradas quatro escalas de modelação: local, urbana, mesoscala – regional e global.

A modelação à escala local é particularmente usada para avaliar o impacto de fontes emissoras individuais, ou de pequenos grupos de fontes, sobre distâncias até algumas dezenas de quilómetros, assumindo uma distribuição gaussiana das concentrações do poluente na horizontal e na vertical, caso sejam utilizados modelos gaussianos. Existem alguns exemplos de modelos gaussianos, tais como: AUSPLUME (URL 1), ISCST3 (URL 2) e AERMOD (URL 3) (Ferreira, 2007).

Ao nível urbano, recorre-se frequentemente a modelos gaussianos de escala urbana para simular a dispersão de poluentes atmosféricos provenientes de diversos tipos de fontes, nomeadamente emissões de fontes industriais e emissões resultantes do tráfego rodoviário nas vias urbanas. Neste tipo de modelos é aplicável uma escala espacial que varia desde alguns metros até a algumas centenas de quilómetros. Um modelo de dispersão de poluentes à escala urbana requer um conjunto de informação que varia, por exemplo, desde as emissões dos vários tipos de fontes, topografia e dados meteorológicos à superfície. A modelação a esta escala é uma ferramenta bastante útil para tomadas de decisão ao nível do planeamento regional e urbano e na gestão do tráfego rodoviário na área urbana e sua envolvente, do ponto de vista da qualidade do ar (Borrego et al., 2012).

Os modelos da mesoscala à escala regional consideram escalas espaciais desde algumas dezenas a alguns milhares de quilómetros. Esta é uma gama de escalas nas quais os problemas de poluição atmosférica atravessam frequentemente as fronteiras jurisdicionais. Deste modo, os modelos usados nestas escalas são também relevantes como uma ferramenta de suporte à tomada de decisão política (Ferreira, 2007). Existem dois tipos de modelos de escala regional, tendo por base a aproximação matemática que usam para descrever o movimento de uma partícula: modelos lagrangeanos e modelos eulerianos:

- Os *modelos lagrangeanos* descrevem a trajetória de massas de ar ou de partículas individuais num fluxo turbulento, com um sistema de coordenadas que segue o movimento individual de cada partícula considerada do poluente (Arbage, 2005).

- Os *modelos eulerianos* descrevem a variação local da concentração medida, num sistema de coordenadas fixo em relação à superfície da terra, uma grelha tridimensional fixa (Arbage, 2005). Os poluentes percorrem a grelha, sob a influência dos ventos locais, sofrendo transformações químicas e físicas.

Os modelos lagrangeanos, que são relativamente simples em termos computacionais, são incapazes de tratar uma série de processos (estrutura vertical da atmosfera, incluindo variação de velocidade e direção do vento com a altitude, e transporte de poluentes para as camadas superiores). Contrastando com os modelos lagrangeanos, os modelos eulerianos são bastante mais complexos, contudo apresentam a desvantagem de necessitarem de uma elevada exigência computacional. Como exemplos de modelos lagrangeanos existem o CALPUFF (URL 3) e o HYSPLIT (URL 4). Por outro lado, como exemplos de modelos eulerianos, bastante divulgados e utilizados em todo o mundo, tem-se o CMAQ (URL 5), o CAMx (ENVIRON, 2005), o CHIMERE (URL 6), o UAM (USEPA, 1990) e o TAPM (URL 7) (Ferreira, 2007).

De acordo com o tipo de modelo, tendo em conta a escala espacial de aplicação, resta fazer referência aos modelos de escala global, normalmente com uma formulação euleriana, que consideram o transporte através da atmosfera e a transformação química, sem restrição do domínio. Este tipo de modelos tem sido aplicados, maioritariamente, em estudos de alterações climáticas (Ferreira, 2007).

## **2.2. Modelação gaussiana**

Os modelos Gaussianos são frequentemente usados em problemas de dispersão de poluentes atmosféricos. Estes modelos baseiam-se no facto de que, em média, para uma fonte fixa a pluma se dispersa segundo uma distribuição Gaussiana. A Figura 2.1 ilustra uma dispersão do tipo Gaussiana.

Os modelos Gaussianos clássicos baseiam-se numa fórmula simples de descrever um campo de concentrações tri-dimensional gerado por uma fonte contínua pontual elevada, sob condições meteorológicas constantes (condições estacionárias), ou seja, que não se alteram com o tempo, pelo menos no período em que o poluente é transportado desde a fonte até ao recetor. Este tipo de modelos é largamente utilizado, nomeadamente para cálculo de concentrações de poluentes ao nível do solo, no entanto apresentam algumas limitações de aplicabilidade (Arya, 1999).

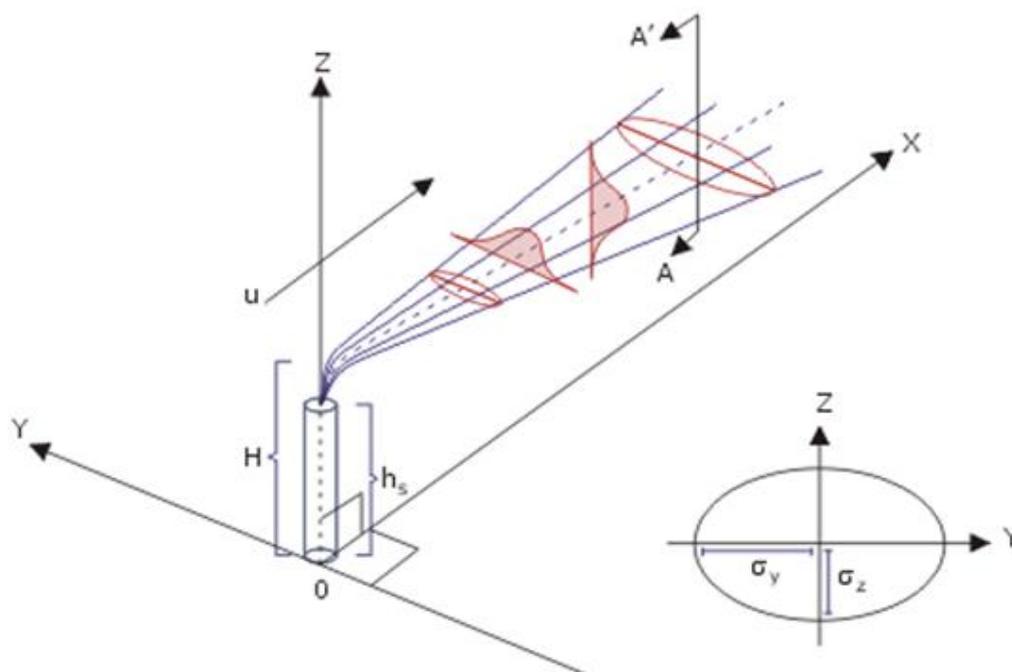


Figura 2.1 – Esquema de uma Pluma que segue uma distribuição Gaussiana. Fonte: URL 8.

Ao longo do tempo os modelos Gaussianos foram sendo aperfeiçoados, permitindo cada vez mais fazer uma representação, de forma realista, do comportamento da dispersão de poluentes na atmosfera, nomeadamente na incorporação de situações complexas de topografia e do terreno, variações ao nível da camada limite atmosférica (CLA), mudança da direção e intensidade do vento e, reações químicas dos poluentes. Estes aperfeiçoamentos efetuados aos modelos Gaussianos clássicos permitiram a criação de uma nova geração de modelos Gaussianos, denominados de *modelos gaussianos de segunda ordem* (Moreira e Tirabassi, 2004).

No presente trabalho utilizou-se um modelo Gaussiano de segunda ordem (modelo URBAIR), que tem como principal objetivo simular a dispersão de poluentes atmosféricos à escala urbana. A opção pela utilização deste modelo deveu-se aos seguintes fatores: (1) a escala de aplicação do modelo e dimensão do domínio de estudo encontram-se dentro dos requisitos estipulados para a aplicação de um modelo Gaussiano; (2) a opção por um modelo Gaussiano de segunda ordem é a mais adequada ao local de estudo, pois permite considerar informação detalhada das características atmosféricas do local, dos parâmetros meteorológicos, da topografia, do edificado, entre outras variáveis, que possibilitam efetuar simulações da dispersão de poluentes mais precisas para o local de estudo, comparativamente com a aplicação de um modelo Gaussiano clássico.

## 2.3. Modelo URBAIR

O modelo *Urban Air Quality Integrated Modelling System* (URBAIR) foi desenvolvido pela Universidade de Aveiro (Amorim et al., 2010; Borrego et al., 2012) como ferramenta de suporte à avaliação da qualidade do ar de curto e longo prazo à escala urbana, tendo em conta a variabilidade temporal e espacial das emissões do tráfego rodoviário e fontes pontuais (industriais), as condições meteorológicas sinóticas e a localização/configuração de espaço edificado.

O modelo URBAIR permite estimar padrões de qualidade do ar para um determinado domínio espacial (com distância até cerca de 50 quilómetros do centro do domínio da cidade) e período (por exemplo, períodos horários, diários ou anuais, em conformidade com a Diretiva 2008/50/CE) para diferentes poluentes atmosféricos, nomeadamente, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e CO. Esta ferramenta numérica é atualmente operacional, permitindo ao utilizador configurar todas as etapas necessárias para realizar uma simulação de uma determinada área industrial e/ou urbana em estudo (Borrego et al., 2012).

Este sistema integrado de modelação foi desenvolvido para ser uma ferramenta modular que inclui o pré-processamento da informação sobre uso do solo e a geometria dos elementos edificados (industriais e urbanos) (com o possível recurso a ferramentas de *sistema de informação geográfica* (SIG)), as condições meteorológicas e as emissões dos poluentes atmosféricos, juntamente com o módulo de dispersão atmosférica. O núcleo central do URBAIR é um modelo de dispersão Gaussiano avançado, que foi desenvolvido a partir do modelo POLARIS (Borrego et al., 1997) e aperfeiçoado com várias funcionalidades, em particular o tratamento dos elementos urbanos em 3D e a estimativa das emissões resultantes do tráfego rodoviário. O sistema, cuja estrutura e organização se encontra esquematizada na Figura 2.2., é constituído por três módulos de pré-processamento de informação (geoinformação, emissões e meteorologia) e um módulo de dispersão.

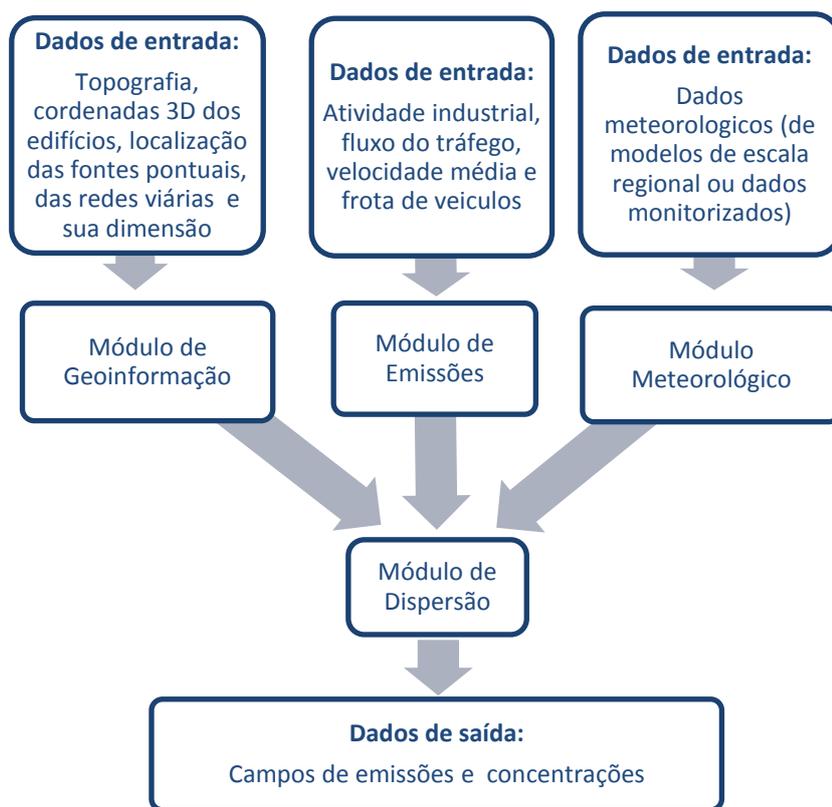


Figura 2.2 - Organização funcional do modelo URBAIR. Adaptado de (Borrego et al., 2012)

A estrutura do modelo foi projetada para que as entradas/saídas dos diferentes módulos sejam compartilhadas e utilizadas ao longo do processo de modelação. A organização modular e os métodos implementados permitem a sua aplicação a uma ampla gama de cenários de planeamento urbano e/ou industrial de interesse. Os quatro módulos que constituem o modelo serão descritos de seguida (Borrego et al., 2012).

### 2.3.1. Módulo meteorológico

Com o objetivo de caracterizar a dinâmica da CLA durante o período de simulação, os parâmetros meteorológicos necessários para o módulo de dispersão são pré-processados pelo módulo de meteorologia. Este módulo usa bases de dados meteorológicos de superfície e em altitude fornecidos por modelos meteorológicos de escala regional, ou em alternativa, com base em dados de monitorizações registadas em torres meteorológicas. As principais saídas deste módulo consistem nos parâmetros da escala de turbulência da CLA (comprimento de Monin-Obukhov, velocidade superficial de atrito e a escala de velocidade convectiva) e a altura de mistura da CLA.

### **2.3.2. Módulo de emissões**

Tendo em conta que os padrões temporais e espaciais das concentrações de poluente no ar, dentro das áreas urbanas, estão intimamente relacionados com as emissões provenientes dos veículos motorizados que circulam na estrada, a sua estimativa é um passo chave de toda a metodologia, além da contribuição das fontes pontuais relevantes (por exemplo industriais).

Neste sentido, o módulo de emissões foi preparado para processar a informação necessária para caracterizar temporal e espacialmente as emissões de poluentes atmosféricos a partir de fontes pontuais e fontes em linha (tráfego rodoviário).

#### **2.3.2.1. Fontes pontuais**

Relativamente às fontes pontuais, o módulo processa a informação sobre a atividade em condições operacionais regulares, nomeadamente caudais médios de emissão, temperatura e dimensões da fonte. Desta forma, o modelo oferece a possibilidade de determinar as taxas de emissão relativas a fontes pontuais relevantes, tais como instalações industriais e atividade de combustão no sector residencial e de serviços.

#### **2.3.2.2. Fontes em linha**

Dada a complexidade na caracterização das emissões em linha, resultantes do tráfego rodoviário, o modelo de emissões TREM (Transport Emission Model for Line Sources) (Borrego et al, 2003; Tchepel, 2003) foi integrado no módulo de emissões.

No que concerne às fontes em linha este módulo usa informação detalhada sobre os fluxos de tráfego, obtidos a partir de medições ou através da sua previsão através de modelos de tráfego (por exemplo os modelos VISUM ou TRANUS), comprimento dos troços rodoviários em estudo e fatores de emissão. Estes últimos são obtidos em função da velocidade média e da classe dos veículos em circulação (com base na idade, tipo e capacidade, peso do veículo, tipo de combustível, e tecnologia de redução de emissões). No URBAIR, as fontes em linha são determinadas através duma distribuição de fontes pontuais dispostas em série, com diâmetros compatíveis com as dimensões dos segmentos de estrada.

O modelo TREM foi concebido para quantificar as emissões de tráfego rodoviário. Este modelo é recomendado para a estimativa de emissões em ambientes urbanos com uma resolução horária e, particularmente adequado a fontes de emissão em linha. O modelo possui um algoritmo que permite calcular a emissão dos seguintes poluentes emitidos pelo tráfego rodoviário: CO, NO<sub>x</sub>, compostos orgânicos voláteis (COV), CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e PM (DAO, 2007).

Em termos gerais, a estimativa de emissões de poluentes dos transportes, que é considerada pelo modelo TREM, baseia-se na seguinte equação 1:

$$E = Fe \times a \quad (\text{Equação 1})$$

Onde, “E” é a quantidade emitida, “Fe” o fator de emissão por unidade de atividade, e “a” a quantidade de atividade do transporte. A equação 1 pode ser aplicada a cada categoria de veículos, uma vez que os fatores de emissão e a atividade variam consoante a categoria. O fator de emissão, “Fe”, é usualmente expresso em g.km<sup>-1</sup>.veículo<sup>-1</sup> e primariamente relacionado com as condições de condução e tipo de veículo. A atividade, “a”, é o produto entre o número de veículos de cada categoria e a distância percorrida por veículo numa determinada unidade de tempo, em quilómetros (DAO, 2007).

O modelo TREM baseia os fatores de emissão na velocidade média devido à ausência de informação mais detalhada sobre a dinâmica dos veículos. Considera ainda diferentes tecnologias (tipo de motor, idade do veículo) e a cilindrada para calcular os fatores de emissão (DAO, 2007). O cálculo das emissões do tráfego rodoviário resulta do somatório das emissões a quente (e.i. motor em completo funcionamento), emissões em arranque a frio (temperatura de água inferior a 70 °C) e emissões evaporativas (originárias da evaporação dos combustíveis) (DAO, 2007).

Para que seja feita uma estimativa precisa das emissões de poluentes provenientes do tráfego rodoviário é necessário separar os veículos em diferentes categorias. No modelo TREM faz-se a distinção entre as seguintes categorias: ligeiros de passageiros a gasolina, diesel e GPL; ligeiros de mercadorias a gasolina, diesel e GPL; pesados de mercadorias a diesel; autocarros; motociclos; novas tecnologias. Adicionalmente, é inserida uma classificação detalhada dos veículos no modelo de emissão. Esta classificação baseia-se no ano do modelo do veículo motorizado, tipo de motor, norma de emissão e cilindrada (DAO, 2007).

### **2.3.3. Módulo de Geoinformação**

A topografia e as características dos edifícios possuem uma forte influência na dispersão dos poluentes atmosféricos, particularmente em áreas urbanas. O URBAIR requer a caracterização da variação espacial da elevação superficial do terreno, uso do solo, distribuição 3D dos edifícios, localização e dimensão das fontes de emissão e distribuição espacial dos recetores dentro do domínio de simulação. A geoinformação é processada com base num sistema de coordenadas cartesianas, cuja informação pode ser incluída na forma de malha regular ou pontos discretos.

A resolução da malha de recetores pode ir de poucos metros a centenas de metros, em função das dimensões do domínio e grau de detalhe desejado. A topografia é especificada na forma de altura do terreno nos recetores locais. A influência do espaço edificado na dispersão dos poluentes atmosféricos depende da orientação dos obstáculos em relação à fonte, da direção do vento e da forma dos edifícios. Os parâmetros que permitem caracterizar a influência da presença de edifícios na dispersão de poluentes a jusante da fonte, tendo em conta a dimensão dos edifícios (altura e largura) são estimados com base na metodologia do modelo *Building Profile Input Program PRIME* (BPIP-PRIME) da *Environmental Protection Agency* (EPA) (Schulman et al., 2000). A informação de entrada neste módulo pode ser fornecida sob a forma de mapas previamente gerados através de ferramentas SIG, num formato compatível, para estar pronto a ser processado pelo sistema.

### **2.3.4. Módulo de dispersão**

Com o objetivo de calcular os padrões de concentração dos poluentes emitidos (gases e partículas) na área urbana, foi implementada uma versão melhorada do modelo de dispersão gaussiano de segunda geração POLARIS (Borrego et al., 1997). Usando uma abordagem relativamente simples sobre modelação de dispersão Gaussiana multifonte em estado estacionário, o URBAIR tem em consideração o efeito das condições meteorológicas, topografia e a presença de edifícios na simulação do transporte e dispersão dos poluentes atmosféricos em áreas urbanas e/ou industriais. Em condições estáveis da CLA, o modelo assume que a distribuição espacial da concentração dos poluentes é Gaussiana em ambos os comprimentos verticais e horizontais. Em condições convetivas (instáveis), a distribuição horizontal assume-se também como Gaussiana, no entanto a distribuição vertical é descrita através de uma função de densidade de probabilidade bi-Gaussiana. As condições meteorológicas são consideradas como horizontalmente homogéneas e estáveis em cada registo horário no período de modelação.

As variações verticais também podem ser consideradas, especialmente se os campos de concentração forem estimados para diferentes alturas. O modelo também incorpora a influência dos edifícios na ascensão e dispersão da pluma, dentro das áreas edificadas, com base na metodologia do modelo *Plume Rise Model Enhancements* (PRIME) (Schulman et al., 2000). Uma característica adicional é a capacidade de considerar o aumento da turbulência em áreas urbanas resultante do fluxo de calor urbano durante o período noturno, à semelhança do modelo AERMOD (Cimorelli et al., 2005). Com base nesta abordagem, o URBAIR fornece, como dados de saída, a concentração de poluentes nos pontos recetores discretos definidos pelo utilizador ou padrões de concentração obtidos através da malha de recetores regular. As concentrações podem ser estimadas para períodos de tempo variados definidos pelo utilizador.

### 3. Caraterização da área de estudo

O presente trabalho tem como área de estudo o concelho de Estarreja. De forma a fazer uma caracterização deste município, apresenta-se de seguida uma breve caracterização em termos de localização geográfica, caracterização socioeconómica, acessibilidade, caracterização meteorológica e climatológica do concelho de Estarreja, bem como uma caraterização e avaliação da qualidade do ar face à legislação em vigor.

#### 3.1. Caraterização geográfica

O concelho de Estarreja encontra-se localizado na zona litoral da região Centro de Portugal, pertencendo ao Distrito de Aveiro, sendo parte integrante da sub-região do Baixo Vouga. Este concelho ocupa uma área de 10836 hectares, na qual se encontram abrangidas 7 freguesias: Avanca, Beduído, Salreu, Pardilhó, Veiros, Fermelã e Canelas (Lopes et al., 2011). Este concelho insere-se ainda na área territorial da ria de Aveiro. Os concelhos limítrofes ao concelho de Estarreja são: o concelho de Ovar a noroeste (NW); o de Oliveira de Azeméis a nordeste (NE); o de Albergaria-a-Velha a sudeste (SE), o da Murtosa a oeste (W) e o de Aveiro a sul (S) (Figueiredo, 2011), como mostra a Figura 3.1.

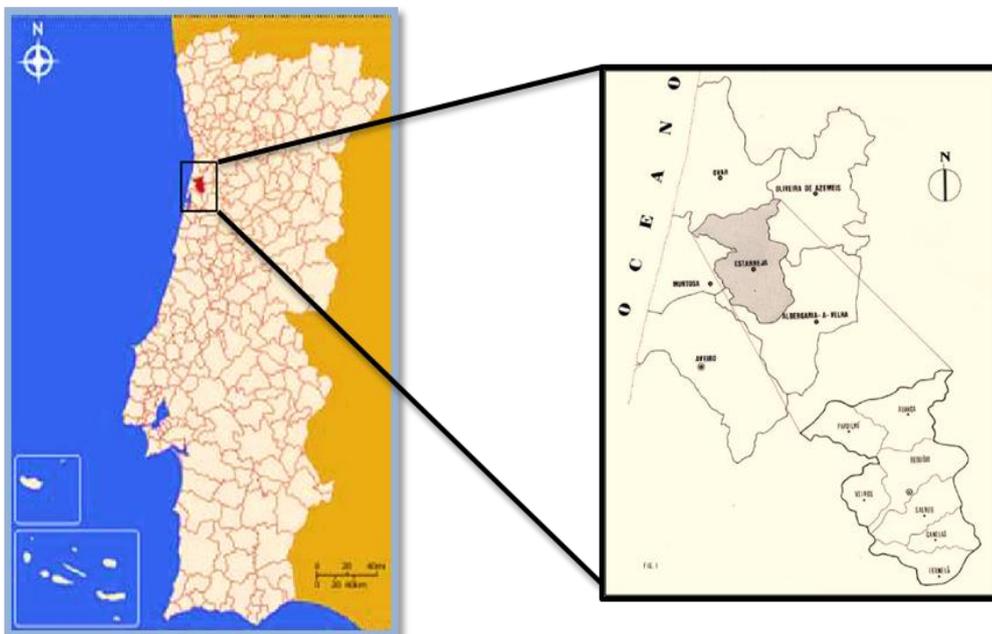


Figura 3.1 - Enquadramento geográfico do concelho de Estarreja. Adaptado de (Figueiredo, 2011).

Em termos topográficos verifica-se que não existem variações significativas da altimetria na área afeta ao concelho de Estarreja. Como pode ser observado na Figura 3.2 apenas as zonas de vale de algumas linhas de água são um pouco acidentados morfologicamente, apresentando as encostas bem protegidas por floresta. Segundo os estudos prévios do Plano Diretor Municipal (PDM) de Estarreja (1988/1989) a carta hipsométrica procede à distinção de três zonas (Figueiredo, 2011): a zona Baixa (com níveis inferiores a 10 metros) localiza-se em parte das freguesias de Pardilhó, Beduído, Veiros, Fermelã, Salreu e Canelas. É nesta zona do concelho de Estarreja que ficam localizadas as áreas húmidas que se enquadram nas margens da Ria de Aveiro. Esta zona é pouco ocupada pela população; a zona Intermédia (com níveis que variam aproximadamente entre os 10 e os 50 metros), integra parte de todas as freguesias do concelho. Esta é uma zona essencialmente agrícola e já possui alguns aglomerados habitacionais; a zona Alta (com níveis superiores a 50 metros), integra parte das freguesias de Avanca, Beduído, Salreu, Fermelã e Canelas. Esta zona é essencialmente constituída por floresta, com exceção da parte de alta de Salreu, onde se encontra localizada uma mancha de terrenos com elevado potencial e uso agrícola.

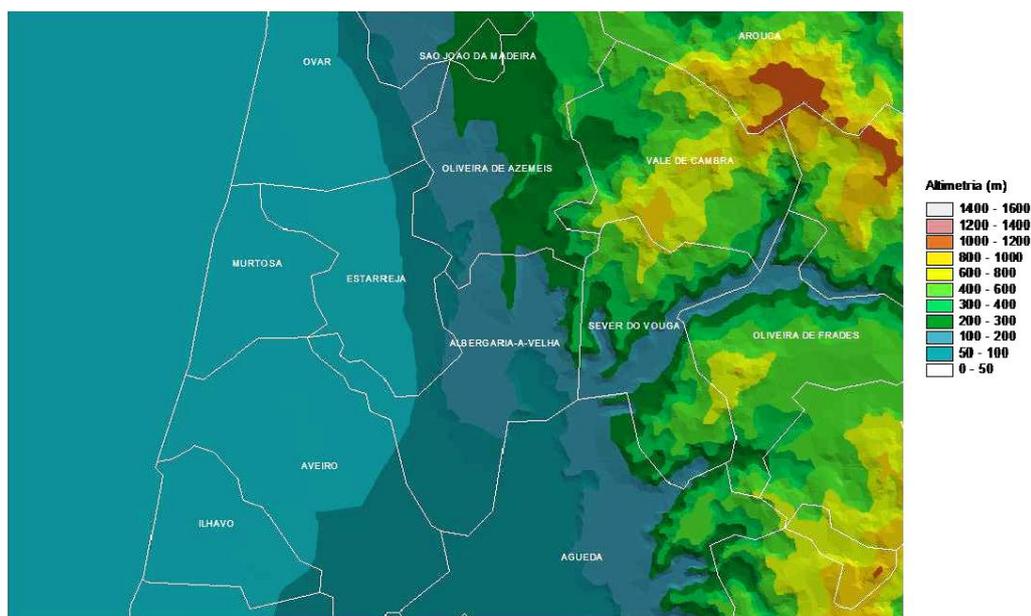


Figura 3.2 - Valores de altimetria na região de Estarreja. Fonte:(APA, 2012a)

### 3.2. Caracterização socioeconómica

O concelho de Estarreja, tendo em conta os dados que constam nos Censos de 2011, apresenta um total de população residente de 26 997 habitantes. No entanto existem contrastes entre a densidade populacional residente nas freguesias do concelho: as zonas Norte, Centro e Oeste do

concelho (freguesias de Avanca, Beduído, Pardilhó, Salreu e Vieiros) possuem densidades populacionais mais elevadas, enquanto que as zonas mais a sul (Canelas e Fermelã) apresentam uma densidade populacional mais reduzida, como pode ser observado na Figura 3.3 (INE, 2012). A elevada densidade populacional no Norte, Centro e Oeste do concelho de Estarreja poderá ter origem no desenvolvimento industrial destas zonas e na acessibilidade facilitada devido às vias de comunicação existentes (Figueiredo, 2011).

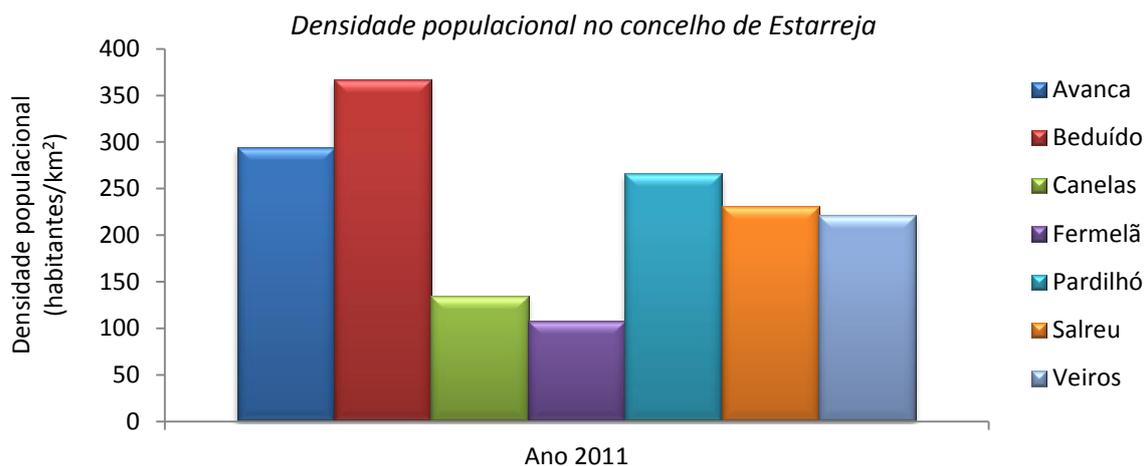


Figura 3.3- Densidade populacional no concelho de Estarreja, por freguesia (dados dos censos 2011). Fonte: (INE, 2012)

Segundo dados do Instituto Nacional de Estatística, de 2001, a população ativa no concelho de Estarreja encontra-se empregada principalmente no sector secundário (atividades industriais transformadoras, construção, produção de energia) e sector terciário (serviços). O sector primário (agricultura) apresenta uma fração de população ativa de 4%. Os sectores secundário e terciário apresentam uma taxa de população ativa de 50% e 46%, respetivamente (Figueiredo, 2011).

Em Estarreja, o tecido industrial é composto maioritariamente por pequenas/médias empresas inseridas em áreas industriais. Na década de 30 do século XX, este concelho assistiu à instalação de algumas unidades industriais que tornaram esta região um dos pólos mais relevantes da indústria química em Portugal. A primeira unidade fabril instalada tinha como principal objetivo a produção de cloro e soda e pertencia a uma empresa belga denominada Sapec. No entanto, só a partir da II Guerra Mundial é que a região de Estarreja se afirmou em termos de indústria química, dando início à produção de amoníaco. A norte do centro urbano de Estarreja encontra-se localizado o Complexo Químico de Estarreja (CQE), como pode ser observado na Figura 3.4, que é composto atualmente por um conjunto de várias unidades industriais que desenvolvem atividades nas diversas vertentes da indústria química: a Dow – fabricante de produtos poliuretanos; a Cires – desenvolve atividades produtivas de materiais termoplásticos; a CUF –

produz produtos químicos orgânicos e inorgânicos (*cloro-alcalis*, anilina e derivados); e a Air Liquide – fabricante de gases para a indústria (PACOPAR, 2011).



Figura 3.4 - Imagem de satélite com a localização do Complexo Químico de Estarreja. Fonte: URL 9.

### 3.3. Transportes e vias de comunicação

O concelho de Estarreja possui uma vasta variedade de vias de comunicação. A acessibilidade é facilitada por um conjunto de redes rodoviárias e pela existência de uma rede ferroviária, simplificando assim a mobilidade nesta região. Este concelho possui uma extensão de redes viárias de aproximadamente 400 km, sendo atravessado por relevantes vias rodoviárias, tais como: a A1 que faz a ligação Porto – Lisboa; a A29 que liga Porto – Albergaria; a Estrada Nacional nº 109 que liga Leiria – Porto e a Estrada Nacional nº 224 que liga Murtosa – Castelo de Paiva. Estas vias rodoviárias facilitam o transporte de mercadorias para a região, sendo também um local de passagem de veículos transportadores para outras regiões do país. No que diz respeito a linhas ferroviárias, todo o concelho de Estarreja é atravessado pela linha do Norte. Na Figura 3.5 encontram-se ilustradas as redes viárias e ferroviárias deste concelho (Figueiredo, 2011).

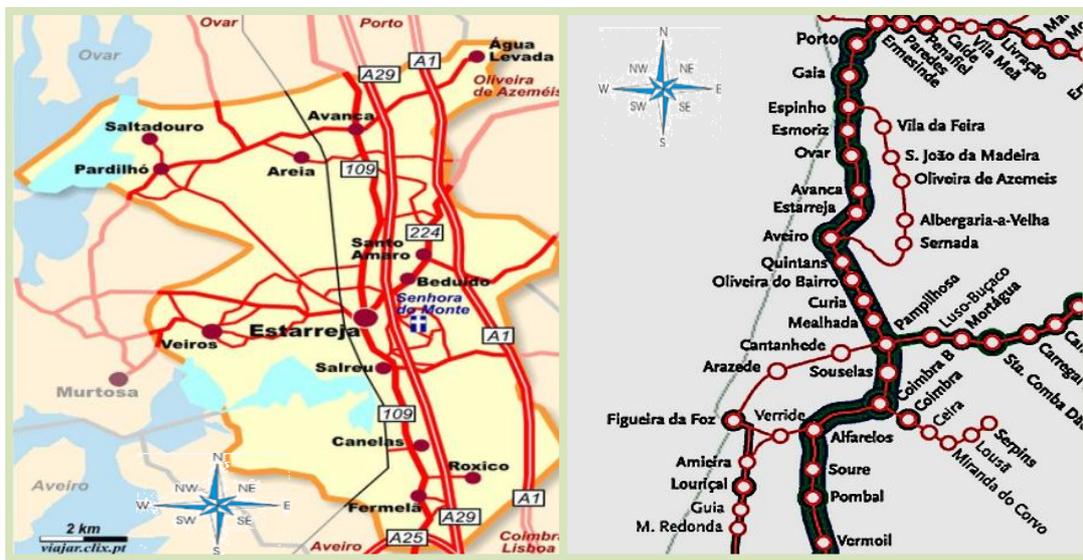


Figura 3.5 - Representação da rede rodoviária (a) e da rede ferroviária (b) do concelho de Estarreja (Fonte: URL 10; URL 11)

### 3.4. Caracterização climatológica

O clima da região de Estarreja é classificado como *clima temperado húmido*, com a estação seca no Verão. De acordo com a Classificação climática de Köppen-Geiger, mais conhecida por Classificação de Köppen, o clima desta região corresponde à classificação Csb – clima temperado húmido com verão seco e temperado (Peel et al., 2007).

De acordo com a monitorização climatológica efetuada na proximidade da zona de Estarreja, tendo por base os dados do Instituto de Meteorologia - Estação Climatológica da Universidade de Aveiro (estação nº 102/702; localização: latitude: 40°38'N, longitude: 08°39'W e altura: 5m), entre os anos de 1981 e 2010, verifica-se que a média das temperaturas médias mensais, relativamente ao período de dados obtidos, é de 15,6 °C e a precipitação média mensal é de 78,7 mm, como ilustra a Figura 3.6. Os dados climatológicos usados são considerados representativos da região de Estarreja, devido à proximidade geográfica entre esta estação e o concelho de Estarreja.

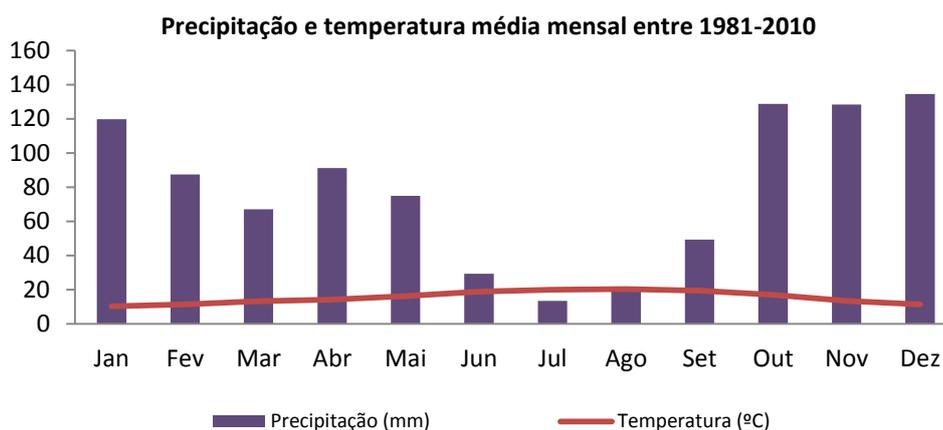


Figura 3.6 - Variação da temperatura e precipitação média mensal, entre 1981-2010. Fonte: (IM, 2012)

Tendo por base os dados da Estação Meteorológica de São Jacinto (1954-1980), pode-se verificar que esta zona se encontra sujeita a ventos de todos os quadrantes, embora dominem os ventos do quadrante Norte, seguindo-se os ventos do quadrante Noroeste. Estes ventos justificam-se pela proximidade oceânica, tratando-se de massas de ar tropical húmido, trazidas por perturbações ciclónicas em direção ao Oriente, que pela sua passagem originam tempo instável e chuvoso. Os ventos dominantes do quadrante Norte e Noroeste sopram com maior intensidade nos meses de Verão, enquanto que os ventos do quadrante Este e Sudeste, apesar de menos significativos, sopram sobretudo nos meses de Inverno. Devido à proximidade do concelho de Estarreja a São Jacinto, assume-se esta caracterização relativa ao fator vento, como representativa da zona de estudo (ICN, 2002).

### 3.5. Qualidade do Ar

Neste ponto é apresentada uma caracterização da zona de Estarreja em termos de qualidade do ar. É feita uma descrição da rede de estações de monitorização de qualidade do ar em Estarreja; uma averiguação do cumprimento dos parâmetros da legislação de qualidade do ar, tendo em conta os valores relativos aos vários poluentes registados na estação de monitorização de qualidade do ar de Teixugueira.

### 3.5.1. Estações de monitorização da qualidade do ar

Em Estarreja existiam duas estações de monitorização da qualidade do ar (estação da Teixugueira/Estarreja e a estação de Avanca) até ao ano de 2005. Na atualidade apenas uma dessas duas estações se encontra ativa (Estação da Teixugueira/Estarreja), estando a sua gestão a cargo da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro (APA, 2012 b). Na Figura 3.7 encontra-se representada a localização da estação de monitorização da qualidade do ar da Teixugueira/Estarreja e o seu enquadramento geográfico face ao Complexo Químico de Estarreja e à zona urbana de Estarreja.

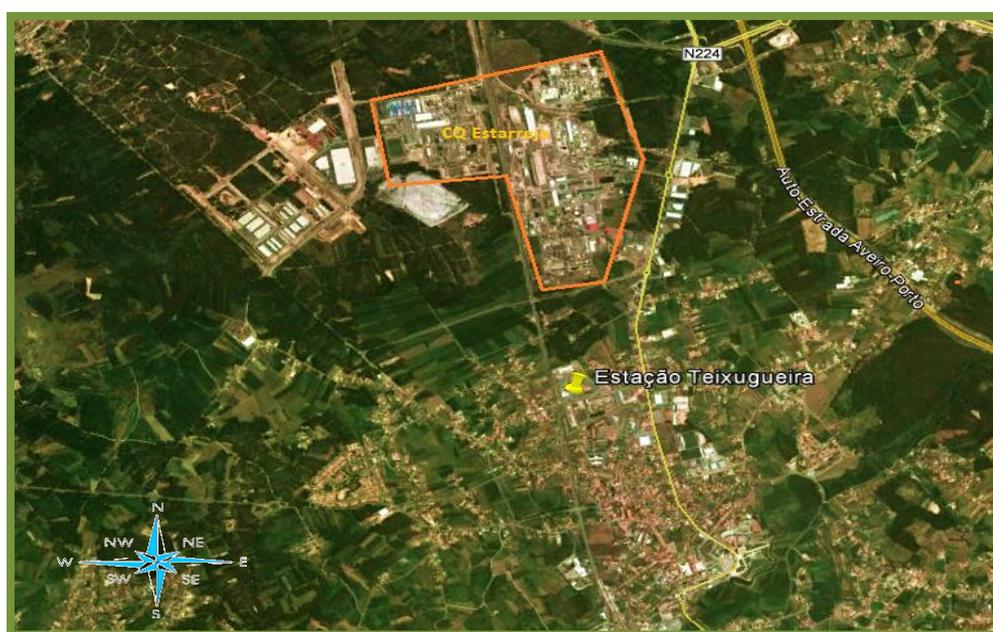


Figura 3.7 - Localização da Estação de monitorização da qualidade do ar da Teixugueira. Fonte: Google Earth

A estação de monitorização da qualidade do ar da Teixugueira/Estarreja localiza-se a sul do Complexo Químico de Estarreja e é classificada, quanto ao tipo de ambiente, como suburbana, sofrendo uma influência do tipo Industrial (APA, 2012b).

A estação de monitorização da qualidade do ar de Avanca, que atualmente se encontra inativa, encontra-se localizada a norte do Complexo Químico de Estarreja e foi desativada em Abril de 2005. Esta estação era caracterizada como estação do tipo rural de fundo (APA, 2012b).

Na Tabela 3.1 encontram-se representadas as características da estação de monitorização da qualidade do ar de Teixugueira/Estarreja.

Tabela 3.1 - Características da Estação de monitorização da qualidade do ar de Teixugueira/Estarreja. Fonte: (APA, 2012b).

Estação	Tipo de Ambiente	Tipo de Influência	Altitude (m)	Início de funcionamento	Estado atual	Poluentes medidos				
						NO <sub>x</sub>	PM10	PM2,5	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>
Teixugueira/ Estarreja	Suburbana	Industrial	20	01-05-1990	Em funcionamento					

### 3.5.2. Avaliação do cumprimento de legislação

A caracterização efetuada em seguida tem como principal objetivo analisar os dados de qualidade do ar, relativamente aos anos de 2010 e 2011 e de seguida averiguar se existe cumprimento da legislação atualmente em vigor, de acordo com os parâmetros legislados relativos a cada poluente em análise (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM10 e PM2,5).

Pretende-se também apresentar uma perspetiva evolutiva dos dados de qualidade do ar obtidos, entre os anos 2000 e 2011, tendo em conta o cumprimento da legislação vigente. Desta forma, para o período entre os anos 2000 e 2009, a análise será baseada num estudo realizado anteriormente, por Figueiredo (2011).

Para o desenvolvimento deste trabalho foram escolhidos os valores das concentrações dos poluentes medidos na estação de Estarreja/Teixugueira, para um período considerado como representativo das concentrações de qualidade do ar ambiente atuais (2010 e 2011), a partir da base de dados da Agência Portuguesa do Ambiente - QualAr (APA, 2012b).

O Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro, que representa a transposição da Diretiva Quadro da qualidade do ar (Diretiva nº 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de Maio de 2008) para o direito nacional, estabelece os Valores Limite<sup>(1)</sup>, Valores Alvo<sup>(2)</sup>, Valores Limiar de Alerta<sup>(3)</sup> e Valore Limiar de Informação<sup>(4)</sup> para os diversos poluentes atmosféricos, de acordo com a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Resumo dos parâmetros definidos no DL 102/2010 de 23 de Setembro para as concentrações dos diferentes poluentes no ar ambiente.

Parâmetro	Período considerado	VL + MT ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ a 293 °K e 101,3 KPa)
<b>Dióxido de Azoto – NO<sub>2</sub></b>		
Valor limite horário para proteção da saúde humana	1 Hora	200 (Não exceder mais de 18 vezes por ano civil)
Valor limite anual para proteção da saúde humana	Ano civil	40
Limiar de alerta	Base horária (medido em 3 horas consecutivas)	400
<b>Dióxido de Enxofre – SO<sub>2</sub></b>		
Valor limite horário para proteção da saúde humana	1 Hora	350 (Não exceder mais de 24 vezes por ano civil)
Valor limite diário para proteção da saúde humana	24 Horas	125 (Não exceder mais de 3 vezes por ano civil)
Limiar de alerta	Base horária (medido em 3 horas consecutivas)	500
<b>Partículas em Suspensão – PM10</b>		
Valor limite diário para proteção da saúde humana	24 Horas	50 (Não exceder mais de 35 vezes por ano civil)
Valor limite anual para proteção da saúde humana	Ano civil	40
<b>Ozono – O<sub>3</sub></b>		
Limiar de informação	1 Hora	180
Limiar de alerta	1 Hora	240
Valor alvo para proteção da saúde humana (medido a partir de 01/01/2010)	Máximo das médias octo-horárias do dia <sup>(5)</sup>	120 (Não exceder mais de 25 dias por ano civil)
Objetivo a longo prazo para proteção da saúde humana	Máximo da média diária octo-horária no ano civil <sup>(5)</sup>	120
<b>Benzeno</b>		
Valor limite anual para proteção da saúde humana	Ano civil	5
<b>Monóxido de Carbono - CO</b>		
Valor limite para proteção da saúde humana	Máximo diário das médias octo-horárias <sup>(5)</sup>	10 000

Chumbo - Pb								
Valor limite para proteção da saúde humana	Ano civil	0,5						
Partículas em Suspensão – PM2,5								
Limite de concentração de exposição	---	20						
Valor alvo	Ano civil	25						
Valor limite (1ª fase)	Ano civil	25 + MT						
		Margens de Tolerância						
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
		5	4,28	3,56	2,84	2,13	1,42	0,71
Valor limite (2ª fase)	Ano civil	20 <sup>(6)</sup>						

(1) Valor Limite - nível de poluentes na atmosfera, fixado com base em conhecimentos científicos, cujo valor não pode ser excedido, durante períodos previamente determinados, com o objetivo de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e ou no meio ambiente.

(2) Valor Alvo – nível fixado com o objetivo de evitar a longo prazo efeitos nocivos para a saúde humana e ou meio ambiente, a ser alcançado, na medida do possível, num período determinado.

(3) Limiar de Alerta – nível de poluentes na atmosfera acima do qual uma exposição de curta duração apresenta riscos para a saúde humana e a partir do qual devem ser adotadas medidas imediatas, segundo as condições fixadas no presente diploma.

(4) Limiar de Informação - um nível acima do qual uma exposição de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ou ozono de curta duração apresenta riscos para a saúde humana de grupos particularmente sensíveis da população, a partir do qual é necessária a divulgação imediata de informações adequadas.

(5) A média octo-horária é determinada para períodos consecutivos de 8 horas, calculada a partir de dados horários e atualizada hora a hora. Cada média octo-horária assim calculada será atribuída ao dia em que termina, desta forma, o primeiro período de cálculo para um determinado dia será o período decorrido entre as 17h00 do dia anterior e a 01h00 desse dia; o último período de cálculo será entre as 16h00 e as 24h00 desse dia.

(6) Valor limite indicativo a rever pela Comissão em 2013.

Fazendo numa primeira fase uma análise dos objetivos da qualidade dos dados obtidos na estação de Estarreja/Teixugueira, para os anos 2010 e 2011, o Decreto-lei nº 102/2010 de 23 de Setembro, Anexo II, estabelece que a taxa mínima de recolha de dados (eficiência dos dados) para todos os poluentes em análise é de 90%, excetuando-se o O<sub>3</sub> (para o qual o valor estabelecido é de 90% para o Verão e 75% para o Inverno). Para os anos de 2010 e 2011, todos os poluentes em análise cumprem a taxa mínima de recolha de dados estabelecidos no diploma, com exceção das *partículas em suspensão com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 µm (PM2,5)*, para o ano de 2010, que apresenta uma eficiência de dados inferior a 90% como estabelecido legalmente, como pode ser observado na Tabela 3.3. No entanto, o poluente PM2,5 não foi excluído da análise do âmbito deste trabalho.

Tabela 3.3 - Eficiência dos dados (%) relativos a cada poluente em análise, para os anos de 2010 e 2011.

Ano	NO <sub>2</sub> (µg.m <sup>-3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg.m <sup>-3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg.m <sup>-3</sup> )	PM10 (µg.m <sup>-3</sup> )	PM2,5 (µg.m <sup>-3</sup> )
2010	98,32%	93,37%	93,31%	80,45%	74,60%
2011	99,74%	98,66%	99,78%	98,79%	94,89%

Numa segunda fase foi feita uma verificação da conformidade legal relativa a cada poluente em análise, no âmbito do cumprimento dos valores limite, valores limiar de alerta e valores alvo, para proteção da saúde humana, definidos na legislação para cada ano civil.

No tratamento estatístico dos dados relativos a cada um dos poluentes, foram determinadas as concentrações médias anuais, médias diárias, médias horárias e médias octo-horárias (para um período de 8 horas consecutivas), consoante o parâmetro em análise, de acordo com a legislação em vigor, cuja informação relativa a cada parâmetro pode ser consultada na Tabela 3.2.

### a) Dióxido de Azoto – NO<sub>2</sub>

A legislação em vigor, relativamente ao NO<sub>2</sub>, tem em consideração como parâmetros de análise as médias horárias e a média anual deste poluente.

Na Figura 3.8, encontram-se representados os valores das médias horárias máximas de NO<sub>2</sub>, o valor limite horário (200 µg.m<sup>-3</sup>) que tem em vista a proteção da saúde humana e o número de excedências a esse valor limite horário. Estes valores são registados na estação da Teixugueira nos anos de 2010 e 2011. Relativamente à avaliação de longo prazo, podem ser consultados na Figura 3.9 os valores relativos à média anual para os anos de 2010 e 2011 e o valor limite anual (40 µg.m<sup>-3</sup>) legislado.



Figura 3.8 – Concentração máxima horária de NO<sub>2</sub>, valor limite horário e nº de excedências.

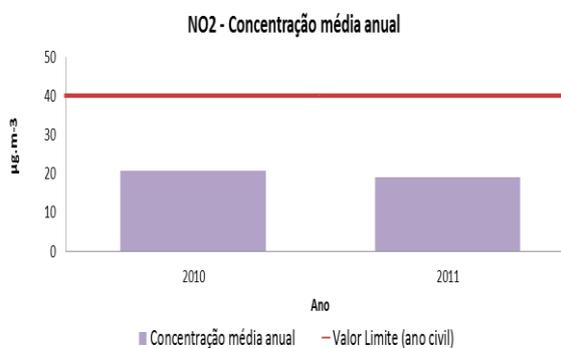


Figura 3.9 - Concentração média anual de NO<sub>2</sub> e valor limite anual.

Durante os anos de 2010 e 2011, para o poluente NO<sub>2</sub> não foram registadas ultrapassagens ao valor limite horário nem ao valor limite anual legislados. Desta forma, o poluente NO<sub>2</sub>, apresenta conformidade com os valores legislados.

Relativamente ao limiar de alerta estabelecido pela legislação (400 µg.m<sup>-3</sup>, registado em 3 horas consecutivas), relativamente ao NO<sub>2</sub>, não foram registadas excedências durante o ano de 2010. Sumariamente, o NO<sub>2</sub> não apresenta qualquer incumprimento da legislação em vigor, nos anos de 2010 e 2011, encontrando-se todos os valores registados na estação da Teixugueira dentro dos valores limite permitidos legalmente.

De acordo com o estudo realizado anteriormente sobre a qualidade do ar em Estarreja, tendo por base dados da estação de Teixugueira, para um período temporal entre 2000 e 2009, verificou-se que neste período não ocorreram excedências ao valor limite horário e anual legislado, relativamente ao NO<sub>2</sub> (Figueiredo, 2011).

## b) Dióxido de Enxofre – SO<sub>2</sub>

A legislação em vigor, relativamente ao SO<sub>2</sub>, tem em consideração como parâmetros de análise as médias horárias e as médias diárias deste poluente. Desta forma, na Figura 3.10, encontra-se representado o máximo das médias horárias de SO<sub>2</sub>, o valor limite horário (350 µg.m<sup>-3</sup>) que tem em vista a proteção da saúde humana e o número de excedências a esse valor limite horário (não deve ultrapassar as 24 vezes num ano civil).

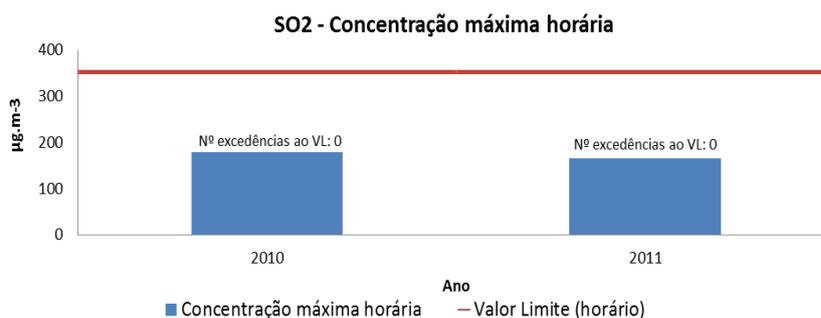


Figura 3.10 - Concentração máxima horária de SO<sub>2</sub>, valor limite horário e nº de excedências.

Durante os anos de 2010 e 2011, para o poluente SO<sub>2</sub> não foram registados valores superiores ao valor limite horário legislado. Desta forma, o poluente SO<sub>2</sub>, apresenta-se conformidade com os valores legislados.

A Figura 3.11, apresenta a concentração máxima diária relativamente aos anos de 2010 e 2011, para o poluente SO<sub>2</sub>, o valor limite diário legislado (125 µg.m<sup>-3</sup>) e o número de excedências a esse valor limite diário (máximo de 3 vezes num ano civil).

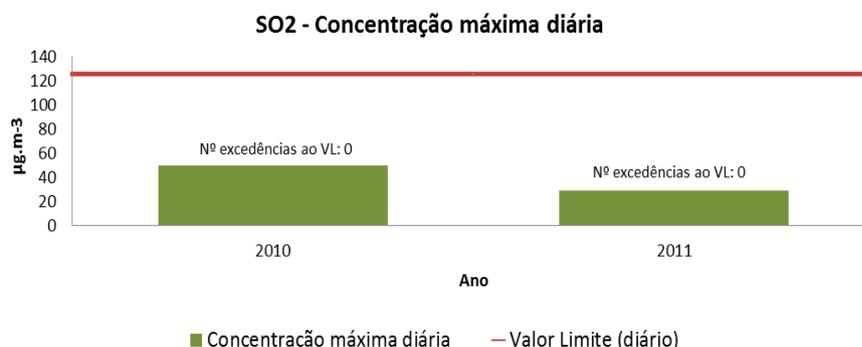


Figura 3.11 - Concentração máxima diária de SO<sub>2</sub>, valor limite diário e nº de excedências.

Para os anos de 2010 e 2011 não existem excedências ao valor limite diário estabelecido pela legislação, para o SO<sub>2</sub>, como pode ser observado na Figura 3.11. Relativamente ao limiar de alerta estabelecido pela legislação (500 µg.m<sup>-3</sup>, registado em 3 horas consecutivas), relativamente ao SO<sub>2</sub>, não foram registadas excedências durante os anos de 2010 e 2011.

Não existiu qualquer incumprimento da legislação em vigor, nos anos de 2010 e 2011, relativamente ao poluente SO<sub>2</sub>, pois todos os valores registados se encontram dentro dos valores limite permitidos legalmente.

Para o período total estudado (2000 a 2011), para a estação da Teixugueira, verifica-se que apenas nos anos de 2000 e 2008 ocorreram excedências ao valor limite horário legalmente estabelecido para o SO<sub>2</sub>, enquanto que nos restantes anos os valores máximos horários se encontram significativamente abaixo do valor limite, não se tendo assim registado excedências. Relativamente aos valores médios diários, para o mesmo período de referência, verifica-se que apenas no ano de 2000 o valor limite diário para o SO<sub>2</sub> é superado, enquanto que nos restantes anos os valores registados se encontram abaixo do valor limite legislado (Figueiredo, 2011). Entre 2000 e 2011, apenas no ano de 2000 houve excedência ao valor estipulado como limiar de alerta para o SO<sub>2</sub>, mantendo-se nos restantes anos registos de valores inferiores a esse mesmo limiar de alerta.

### c) Ozono – O<sub>3</sub>

Relativamente ao O<sub>3</sub>, a legislação considera os parâmetros de análise os valores horários (em termos de limiar de alerta e limiar de informação), as médias octo-horárias do dia (valor alvo para a proteção da saúde humana – valor de cumprimento obrigatório a partir do ano de 2010) e o valor máximo das médias octo-horárias do ano civil (objetivo a longo prazo para proteção da saúde humana).

Na Figura 3.12, encontram-se representados os valores da concentração máxima das médias octo-horárias de O<sub>3</sub>, o valor alvo (120 µg.m<sup>-3</sup>) e o número de excedências a esse valor alvo (não deve ultrapassar as 25 vezes num ano civil).

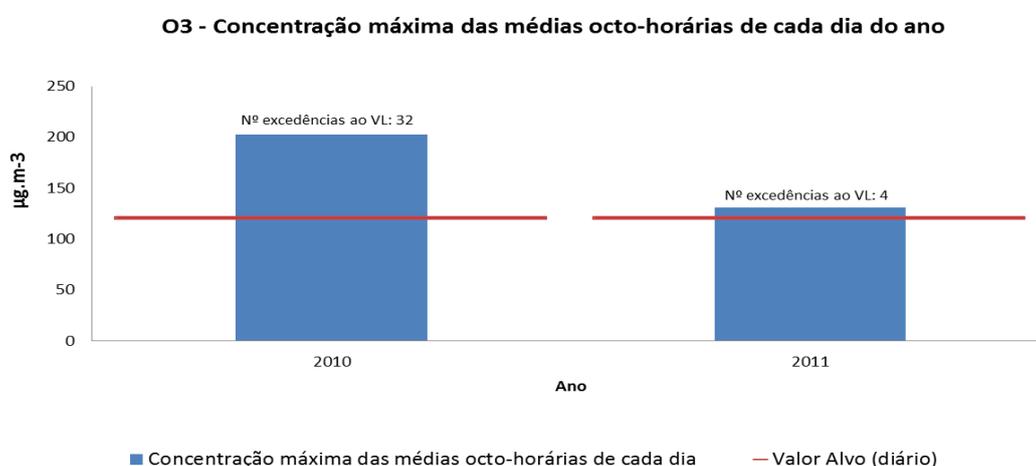


Figura 3.12 - Concentração máxima das médias octo-horárias de O<sub>3</sub>, valor alvo e nº de excedências.

Verifica-se que, para o ano de 2010, o valor alvo imposto legalmente foi ultrapassado 32 vezes, número de excedências superior ao máximo permitido (25 vezes para um ano civil). No ano de 2011, o valor alvo apenas foi ultrapassado 4 vezes, o que significa que para este ano há um cumprimento da legislação relativamente a este parâmetro do O<sub>3</sub>. Assim, verifica-se que o poluente O<sub>3</sub> não cumpre os valores estipulados pelo Decreto-lei nº 102/2010 de 23 de Setembro, apresentando assim um incumprimento da legislação vigente, para o ano de 2010.

Além do valor alvo, é importante realizar uma análise às ultrapassagens ao limiar horário de alerta (240 µg.m<sup>-3</sup>) e limiar horário de informação (180 µg.m<sup>-3</sup>) estabelecidos legalmente. Assim, as concentrações máximas horárias e as excedências ao limiar horário de alerta e limiar horário de informação encontram-se representados nas Figuras 3.13 e 3.14, respetivamente.

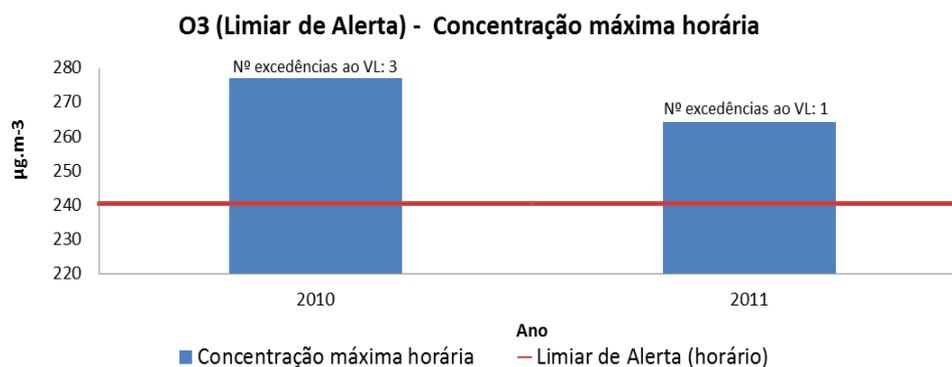


Figura 3.13 - Nº de excedências ao limiar horário de alerta, para o O<sub>3</sub>.

Tendo em conta a Figura 3.13, constata-se que no ano de 2010, o limiar horário de alerta foi ultrapassado 3 vezes, enquanto que no ano de 2011 houve apenas uma excedência a este valor.

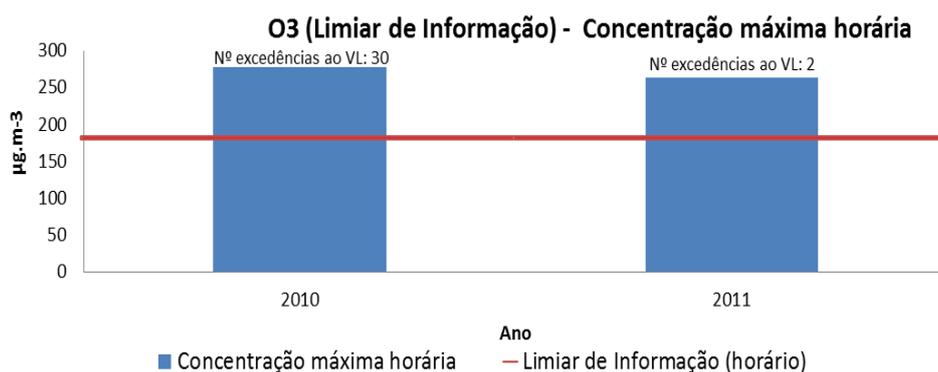


Figura 3.14 - Nº de excedências ao limiar horário de informação, para o O<sub>3</sub>.

Verifica-se que no ano de 2010, o limiar horário de informação foi excedido 30 vezes, tendo o número de excedências diminuído significativamente no ano de 2011 (foram registadas apenas duas excedências ao valor limiar horário de informação).

Relativamente ao objetivo a longo prazo para proteção da saúde humana, referente ao máximo diário das médias octo-horárias no ano civil, como pode ser observado na Figura 3.15, nos anos de 2010 e 2011 houve excedências ao valor limite de 120 µg.m<sup>-3</sup> estabelecido legalmente.

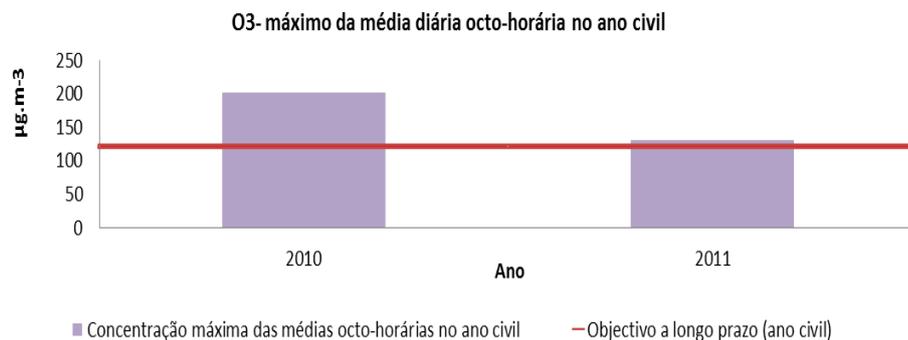


Figura 3.15 - Máximo da média octo-horária de O<sub>3</sub> e respetivo objetivo a longo prazo.

Com base nesta análise e no estudo de Figueiredo (2011), do período 2000-2011, para o O<sub>3</sub>, verifica-se que em todos os anos foram registadas excedências superiores às excedências máximas permitidas na legislação (25 vezes para um ano civil), com exceção do ano de 2011, registando-se assim um incumprimento da legislação entre os anos de 2000 e 2010 para este parâmetro.

Relativamente aos valores limiar de informação e alerta, para o período entre 2000 e 2011, foram registadas excedências aos valores legislados, com exceção do ano 2000 onde não ocorreram excedências aos valores estabelecidos legalmente. O ano de 2005 foi o que registou um maior número de ultrapassagens a ambos os limiares, seguindo-se o ano de 2010, 2006 e 2001 (Figueiredo, 2011).

Considerando o objetivo a longo prazo, para o período entre 2000 e 2011, apenas nos anos de 2005, 2010 e 2011 se registaram excedências ao valor legislado (Figueiredo, 2011).

Face à análise apresentada, parece haver uma tendência para um aumento das concentrações de O<sub>3</sub> na região.

#### **d) Partículas – PM10**

As PM10, no âmbito da qualidade do ar, são analisadas de acordo com dois parâmetros: as médias diárias e médias anuais das concentrações registadas.

A Figura 3.16 apresenta a concentração máxima das médias diárias registadas para os anos de 2010 e 2011, o valor limite diário estabelecido legalmente (50 µg.m<sup>-3</sup>) e o número de excedências ao valor limite diário (não devendo ser excedido mais de 35 vezes num ano civil), para os anos de 2010 e 2011.

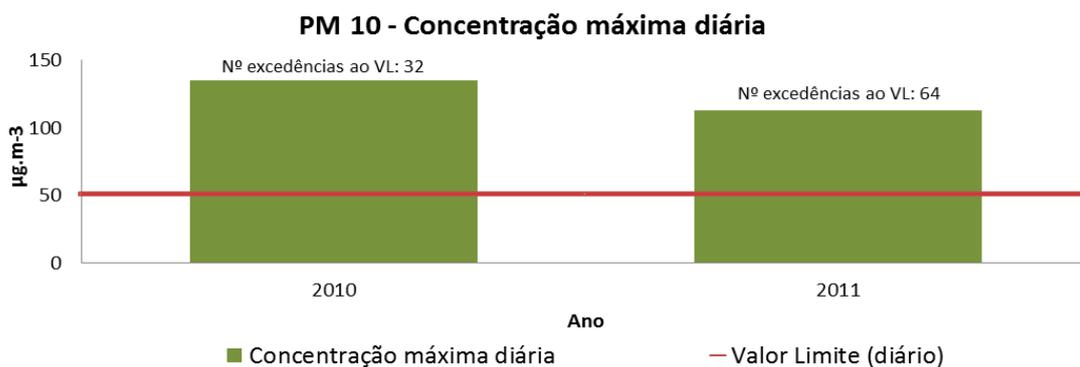


Figura 3.16 - Concentração máxima diária de PM10, valor limite diário e número de excedências.

Pela observação da Figura 3.16, pode-se verificar que ocorreram ultrapassagens ao valor limite diário (32 vezes) no ano 2010, e 64 vezes no ano de 2011, para as PM10. Contudo, no ano de 2010, o número de excedências registadas é inferior ao máximo permitido pela legislação (35 excedências num ano civil), havendo assim um cumprimento da legislação. Assim, no ano de 2011 ocorre um incumprimento da legislação relativamente a este parâmetro, para as PM10.

A Figura 3.17 apresenta as concentrações médias anuais de PM10 registadas em 2010 e 2011 e o respetivo valor limite anual (40 µg.m<sup>-3</sup>).

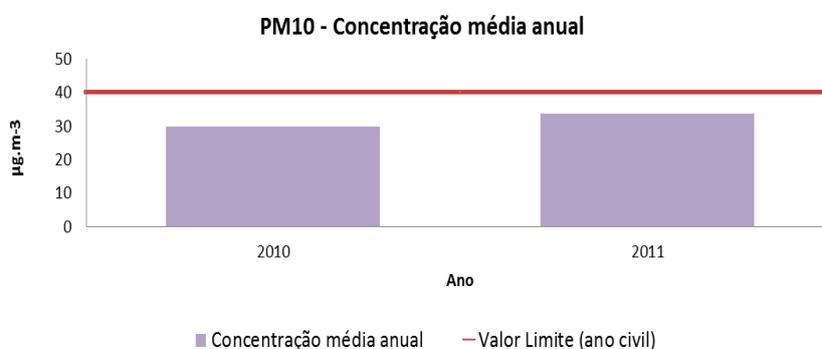


Figura 3.17 - Concentração média anual de PM10 e valor limite anual.

Verifica-se que as PM10 apresentam uma concentração média anual inferior ao valor limite anual estabelecido, cumprindo-se assim a legislação relativamente a este parâmetro.

Em suma, as PM10, no ano de 2010, não originam incumprimento da legislação vigente pois todos valores registados se encontram dentro dos valores limite permitidos na legislação. Contudo, no ano de 2011, este poluente apresenta um incumprimento legal, pois o valor limite diário é excedido.

Analisando a tendência dos resultados obtidos, para o período 2000 a 2011, para as PM10, verifica-se que em todos os anos se registaram ultrapassagens ao valor limite diário estabelecido legalmente, com exceção do ano 2010 onde o número de excedências foi inferior ao valor máximo permitido. Relativamente ao valor limite anual, verifica-se que nos anos de 2003, 2004 e 2005 ocorreram excedências a este valor limite legislado, tendo sido no ano de 2004 onde ocorreu um maior número de excedências, comparativamente com os restantes anos analisados. A partir do ano 2007 verifica-se um ligeiro decréscimo das concentrações médias anuais. Contudo, os valores das concentrações máximas diárias tiveram um decréscimo entre 2007 e 2009, voltando o valor a aumentar no ano de 2010 (Figueiredo, 2011).

### e) Partículas – PM2,5

Para as PM2,5 não estavam definidos os valores limite na legislação que se encontrava em vigor até à publicação do Decreto-lei nº 102/2010 de 23 de Setembro. No âmbito deste Decreto-lei foi definido um valor alvo, para as PM2,5, de  $25 \mu\text{g.m}^{-3}$  para um ano civil. Foi ainda estabelecido um valor limite indicativo para 2020 de  $20 \mu\text{g.m}^{-3}$  para um ano civil, que será revisto pela Comissão em 2013. No entanto, de 2008 a 2014 são aplicadas margens de tolerância ao valor alvo que entrará em vigor em 2015 como valor limite, valores estes que podem ser consultados na Tabela 3.2.

Com o objetivo de se proceder à análise do cumprimento da legislação relativamente à concentração de PM2,5, para os anos de 2010 e 2011, determinou-se a concentração média anual deste poluente e uma posterior comparação com o valor limite anual (acrescido da respetiva margem de tolerância estipulada para o ano de 2010 –  $3,56 \mu\text{g.m}^{-3}$  e para o ano de 2011 –  $2,84 \mu\text{g.m}^{-3}$ ). Assim, na Figura 3.18 podem ser consultados os valores da concentração média anual de PM2,5 e o valor limite anual legalmente estabelecido.

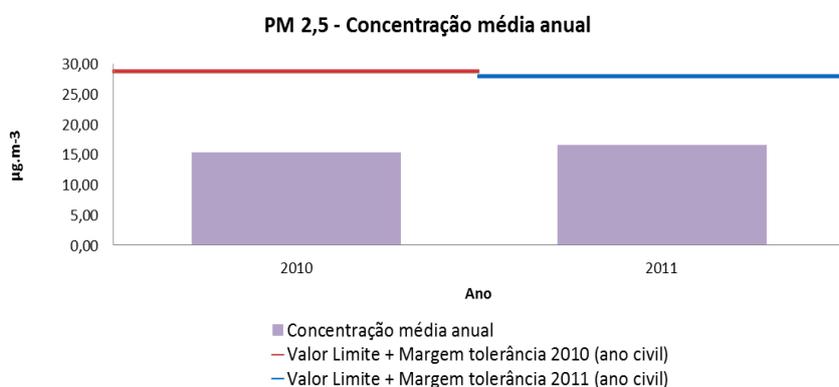


Figura 3.18 - Concentração média anual de PM2,5 e valor limite anual (com margem de tolerância).

Pode verificar-se que a concentração média anual de PM<sub>2,5</sub> não excede o valor limite com margem de tolerância estabelecido para o ano de 2010 (28,56 µg.m<sup>-3</sup>) e o ano de 2011 (27,84 µg.m<sup>-3</sup>). Assim, existe um cumprimento da legislação vigente relativamente ao poluente PM<sub>2,5</sub>.

Fazendo uma análise da tendência dos resultados obtidos, entre os anos 2000 e 2011, para o poluente PM<sub>2,5</sub>, verifica-se que apenas no ano de 2005 se registaram ultrapassagens ao valor limite anual e no ano de 2006, apesar de não ter sido superado o valor limite, a concentração média anual para esse ano ficou muito próximo do valor limite. A partir do ano 2005, verifica-se uma tendência decrescente das concentrações médias anuais para este poluente (Figueiredo, 2011).

Fazendo uma avaliação global dos resultados apresentados neste ponto (3.5.2 – avaliação do cumprimento da legislação), pode-se concluir que Estarreja apresenta atualmente problemas de qualidade do ar relativamente aos poluentes PM<sub>10</sub> e O<sub>3</sub>. Estes problemas registados em Estarreja seguem uma tendência nacional face a estes poluentes. Segundo um estudo elaborado sobre a evolução da qualidade do ar em Portugal (APA, 2008) é possível verificar que no restante território português ocorre incumprimentos da legislação relativamente aos poluentes PM<sub>10</sub> e O<sub>3</sub>, o mesmo se verifica em Estarreja.

### **3.6. Contributo de fontes emissoras de poluentes atmosféricos**

Tendo por base os dados do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas para o concelho de Estarreja (APA, 2012c), procedeu-se a uma análise da contribuição de algumas fontes emissoras de poluentes atmosféricos neste concelho, para o ano de 2009. Devido à inexistência de dados relativos para o ano de 2009 para o poluente CO, foram considerados dados do ano de 2008 para este poluente. Assim, foi avaliado o contributo das emissões provenientes da indústria (combustão industrial e processos industriais), tráfego rodoviário e “outras fontes” (restantes fontes consideradas no inventário), como pode ser observado Figura 3.19.

*Emissões do inventário Nacional (ano 2009):  
indústria, tráfego rodoviário e outras fontes*

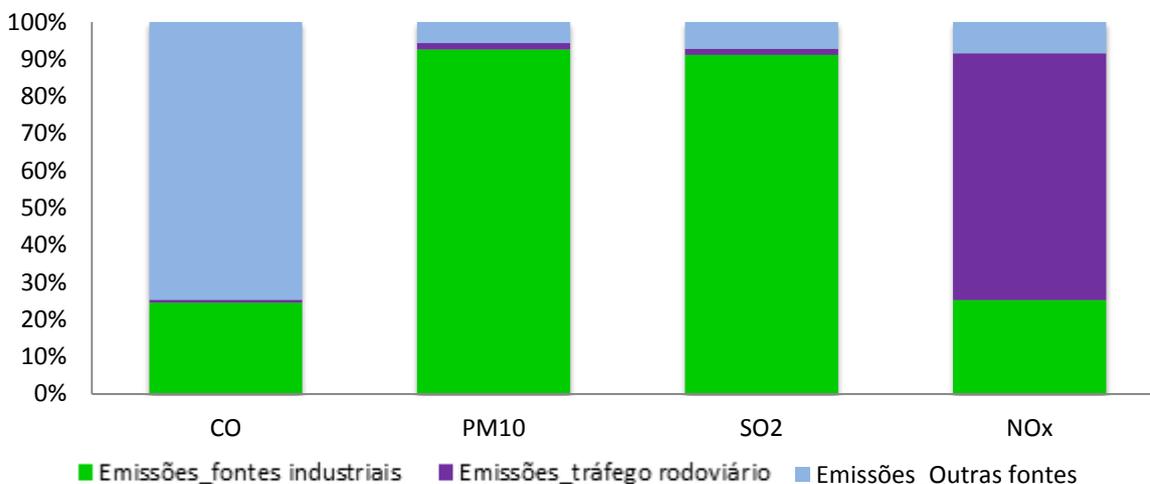


Figura 3.19 – Contribuição das emissões da indústria, tráfego rodoviário e outras fontes no concelho de Estarreja, com base no Inventário Nacional de Emissões.

Com base nos resultados apresentados na Figura 3.19, pode-se verificar que os poluentes atmosféricos PM10 e SO<sub>2</sub> são maioritariamente emitidos por fontes industriais. Para estes poluentes, a contribuição de “outras fontes” é de aproximadamente 6% e 7% para as PM10 e SO<sub>2</sub> respetivamente.

Analisando os poluentes CO e NO<sub>x</sub> pode-se constatar que as fontes industriais apresentam um contributo na emissão destes dois poluentes de aproximadamente 25%, para o CO e NO<sub>x</sub>. Contudo, a contribuição de “outras fontes” é bastante relevante para o CO, apresentando um valor de aproximadamente 75%. Para o NO<sub>x</sub> apenas representa um contributo de aproximadamente 8,5%.

O tráfego rodoviário possui um contributo pouco relevante na emissão de CO, PM10 e SO<sub>2</sub> para a atmosfera, comparativamente com as restantes fontes consideradas. Contudo o NO<sub>x</sub> apresenta uma emissão proveniente do tráfego rodoviário de aproximadamente 66%.

## **4. Aplicação do modelo URBAIR ao caso de estudo**

O presente trabalho tem como objetivo a aplicação do modelo de escala urbana URBAIR à zona de estudo. Para avaliar o contributo das várias fontes emissoras de poluentes atmosféricos na qualidade do ar da área de estudo. Desta forma, a aplicação do modelo URBAIR incide exclusivamente na avaliação do contributo da indústria (fontes pontuais) e tráfego rodoviário (fontes em linha), para a qualidade do ar da região, tendo as restantes fontes emissoras de poluentes atmosféricos sido desprezadas no presente caso de estudo. Para a aplicação do referido modelo foi necessário definir um período de simulação (15 de maio a 31 de julho de 2011), período coincidente com o período da campanha INSPIRAR, sendo todo o tratamento de dados a fornecer ao modelo referente a esse período de simulação. Com o objetivo de recolher informação necessária ao presente trabalho foram, numa fase inicial, realizadas reuniões com as empresas do Complexo Químico de Estarreja e com a Câmara Municipal de Estarreja, tendo sido uma grande parte da informação utilizada no presente trabalho facultada por estas entidades.

### **4.1. Dados de entrada no modelo**

Antes de se proceder à simulação da dispersão dos poluentes em estudo, com recurso ao modelo URBAIR, foi necessário efetuar um conjunto de tarefas preliminares para a obtenção dos dados necessários/requeridos por este modelo. Assim, nos pontos seguintes será descrita a informação que é necessário fornecer ao modelo e as tarefas realizadas para a obtenção adequada dos dados de entrada no modelo URBAIR.

#### **a) Definição do domínio de estudo**

A definição do domínio de estudo é uma etapa bastante importante, pois é sobre este domínio que o caso de estudo vai incidir. O domínio de estudo definido está centrado no concelho de Estarreja e abrange áreas estratégicas tendo em conta o objetivo do decorrente estudo, nomeadamente o Complexo Químico de Estarreja e a zona urbana de Estarreja. Assim, o domínio representado na Figura 4.1 tem uma dimensão de 14 km por 17 km, apresentando um espaçamento entre recetores de 500 m.

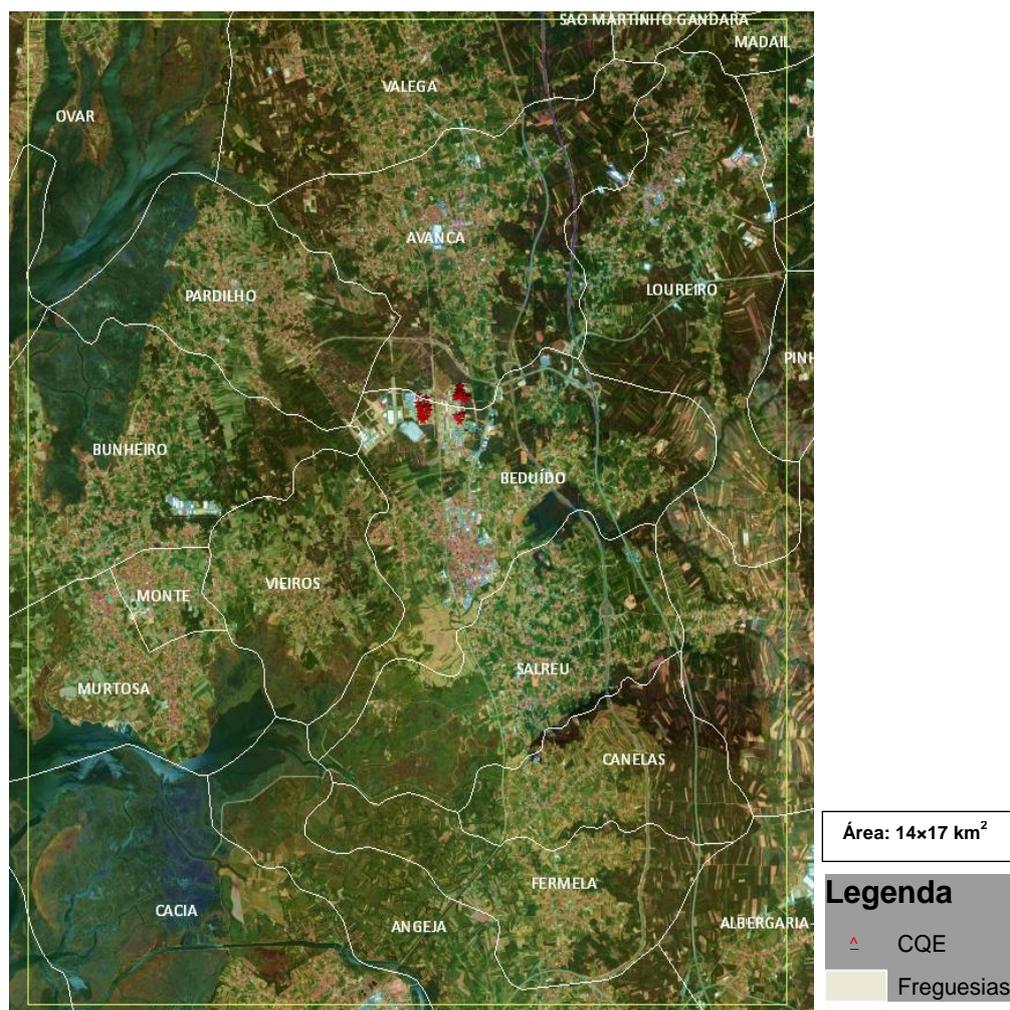


Figura 4.1 – Imagem de satélite do domínio de estudo

## b) Preparação de dados meteorológicos à superfície

Para a preparação dos dados meteorológicos à superfície foram usados os dados medidos na Estação Meteorológica da Universidade de Aveiro. Foram calculadas as médias horárias, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011, a 2 m e 10 m de altura, para as seguintes variáveis: temperatura, velocidade do vento, direção do vento, humidade relativa, albedo e razão de Bowen. Considerou-se que a superfície apresentava uma altura de rugosidade média de 0,5 m.

Na Figura 4.2 e 4.3 encontra-se representada a velocidade horária do vento, a 2m de altura, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011 e a velocidade horária do vento para os dias 20 e 21 de maio de 2011, respetivamente. Estes dados meteorológicos foram incluídos nos dados de entrada do modelo URBAIR.

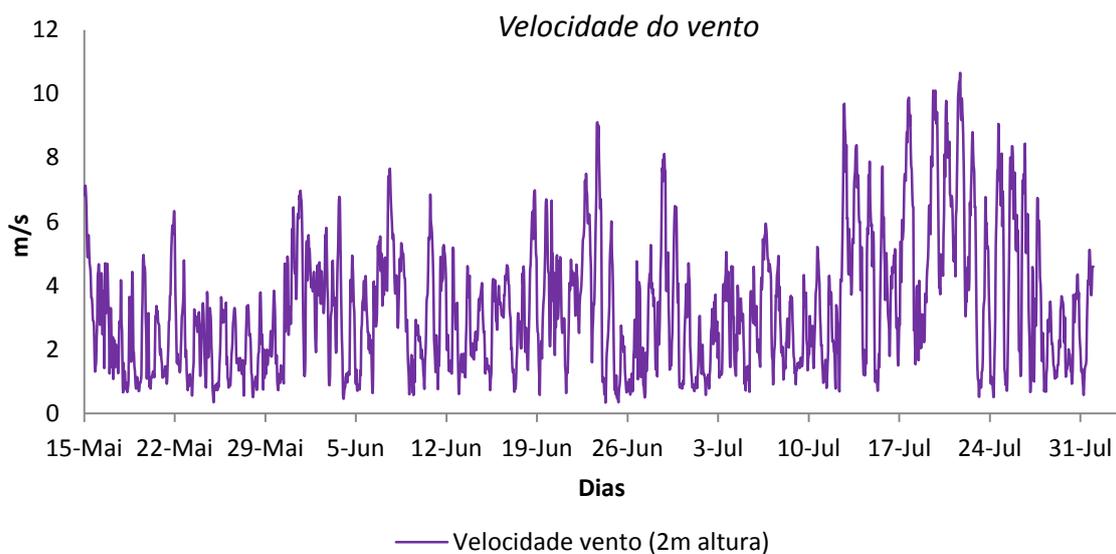


Figura 4.2 – Velocidade horária do vento a 2m de altura, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011, na estação meteorológica de Aveiro.

Segundo os resultados apresentados na Figura 4.2, para o referido período temporal, a velocidade do vento apresenta tendencialmente o mesmo comportamento diário, com valores mais baixos durante a noite e manhã e aumentando gradualmente ao início da tarde. Com o objetivo de representar a variação horária do vento típica de um dia na zona de estudo, procedeu-se à representação da velocidade do vento a 2m de altura, para os dias 20 e 21 de maio de 2011, de forma a verificar como a ocorre variação da velocidade do vento horária ao longo de um dia (ver Figura 4.3). A seleção dos dias 20 e 21 de maio de 2011 deve-se a, no capítulo resultados, ser efetuada uma análise das concentrações simuladas para estes dias.

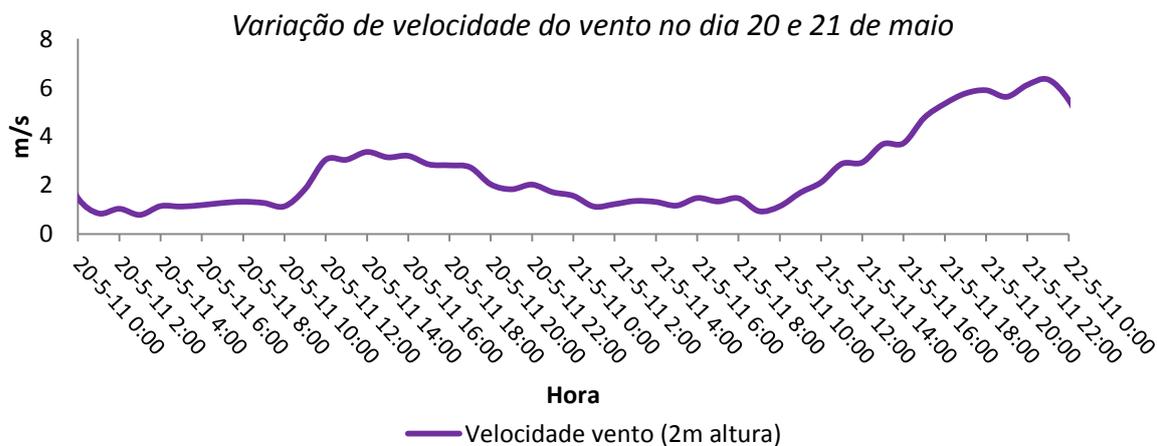


Figura 4.3 – Velocidade do vento, a 2m de altitude, para o período entre 20 e 21 de maio de 2011, na estação meteorológica de Aveiro.

Fazendo uma análise generalizada do perfil horário de velocidades do vento típicos de um dia, com base na Figura 4.3, pode-se verificar que a velocidade do vento é menor durante a noite e nas primeiras horas da manhã, aumentando durante o período diurno.

Na Figura 4.4 encontra-se representada a direção horária do vento, a 2m de altitude, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011. Estes dados de direção do vento foram incluídos nos dados de entrada do modelo.

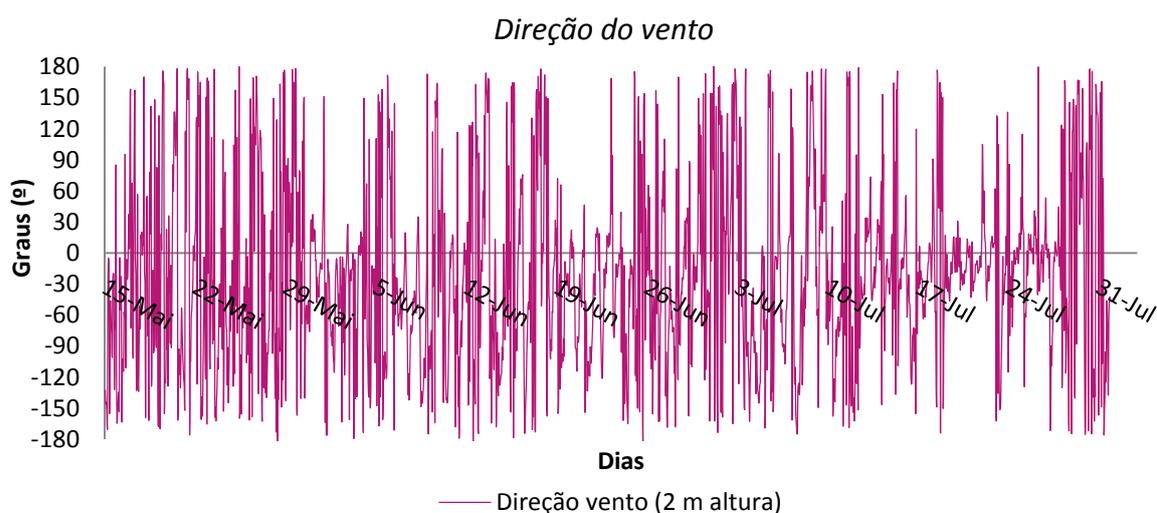


Figura 4.4 – Direção horária do vento para a 2m de altura, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.

Como pode ser observado na Figura 4.4, a direção do vento apresenta tendencialmente o mesmo comportamento diário. Desta forma, pode-se verificar que de uma forma generalizada o vento apresenta uma direção de Noroeste, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.

Neste trabalho foram utilizados dados meteorológicos de radiossondagem da estação da Corunha (Espanha), dada a proximidade geográfica à zona de estudo. Os dados de radiossondagem permitem efetuar uma caracterização meteorológica a diferentes altitudes. Procedeu-se ao tratamento dos dados, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011, para vários níveis vertical (podendo estes variar na quantidade de níveis e altura entre eles, de dia para dia consoante a disponibilidade de dados) até aos 6000 m de altitude, para as 0h de cada dia, o que permitiu obter uma caracterização a diferentes altitudes do perfil de temperatura, velocidade do vento, direção do vento e pressão atmosférica.

### c) Preparação dos dados relativos às fontes pontuais

Efetuiu-se um levantamento de informação relativa às emissões da indústria, das empresas do Complexo Químico de Estarreja e da região de estudo que poderiam ter maior impacto na qualidade do ar da zona de estudo, nomeadamente a Dow, a Cires, a CUF e a Air Liquide. Assim, foram consultados os relatórios do autocontrolo das emissões atmosféricas disponibilizados pelas empresas para os últimos 5 anos, por cada fonte fixa de cada uma destas indústrias, para um posterior tratamento de informação necessária ao modelo URBAIR. Todos os dados recolhidos foram compilados numa base de dados com toda a informação de forma a preparar os ficheiros de entrada para o modelo URBAIR com a informação mais recente dos parâmetros: código de cada fonte fixa, caudal de emissão de cada poluente, altura da chaminé da fonte fixa, velocidade de emissão e diâmetro da chaminé. Este tratamento de dados foi efetuado para cada um dos poluentes em análise: NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO e PM10. Sempre que possível foram considerados dados das emissões das fontes pontuais relativos ao ano de 2011.

### d) Preparação dos dados das fontes em linha (tráfego)

Com o objetivo de avaliar a contribuição do tráfego rodoviário para as emissões de poluentes atmosféricos na região de Estarreja foram consideradas 13 principais vias de comunicação (ver Tabela 4.1), nomeadamente duas autoestradas (A1 e A29), a Estrada Nacional (EN-109) e dez itinerários secundários (estradas municipais), representadas na Figura 4.5.

Tabela 4.1 – Nomes das vias consideradas no domínio de estudo.

	Nome da via comunicação
Autoestradas	A1
	A29
Estrada nacional	EN – 109
Estradas municipais	Rua Cabo Correia
	Rua Desembargador Correia Teles
	Rua Doutor Souto Alves
	Praça Francisco Barbosa
	Rua Manuel Marques Pires
	Rua Padre António Tavares
	Rua sem nome
	Rua da Saudade
	Travessa de Santo António
	Avenida Visconde Salreu

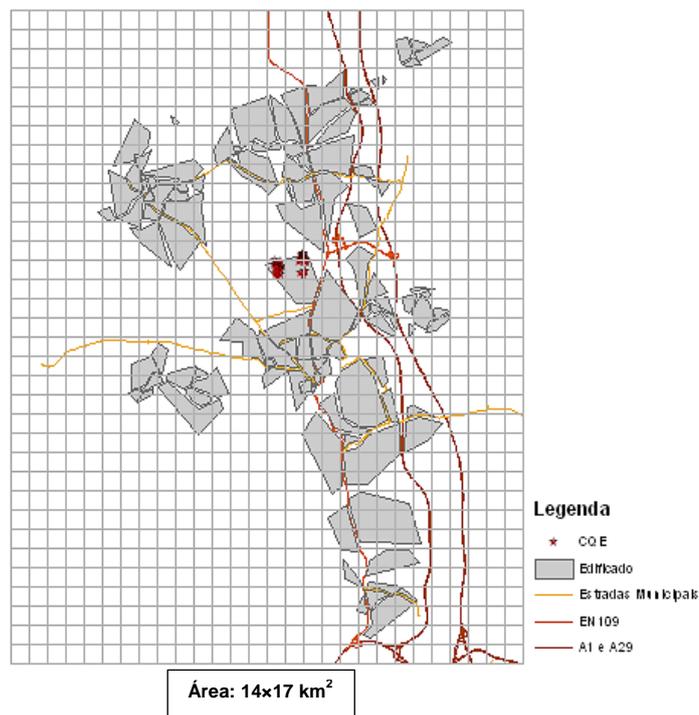


Figura 4.5 – Representação e localização das vias de comunicação consideradas no domínio de estudo.

A definição da rede viária integrada no domínio de estudo teve em consideração a informação disponível e volume de tráfego rodoviário típico. De modo a caracterizar a variação do tráfego rodoviário foi analisada a informação disponibilizada pela Câmara Municipal de Estarreja (dBlab, 2011) e pela Estradas de Portugal (INIR, 2011) para o período de maio a julho de 2011. Para os itinerários principais (A1, A29 e EN-109) foi possível discriminar o tráfego médio horário para cada uma das vias em dias típicos de semana e fim de semana para cada um dos meses; enquanto que para as restantes vias (itinerários secundários) não foi possível ter em conta esta variação semanal.

Ao contrário dos itinerários principais, nos secundários, apenas se distinguiram três períodos de tempo, nomeadamente noite (0h-7h), dia (7-20h) e entardecer (20-24h), sendo assim apenas possível ajustar o tráfego médio horário para os períodos referidos. Apesar de ser uma aproximação pouco pormenorizada, permite ter em consideração a variação/perfil típico de tráfego rodoviário nas vias de comunicação, em particular as que se localizam no centro urbano do município.

De acordo com as contagens de tráfego analisadas, pode-se verificar que existe uma variação acentuada do tráfego rodoviário em circulação ao longo do dia nos três tipos de vias de comunicação consideradas (Figuras 4.6 e 4.7). Nestas figuras são apresentados os perfis diários de tráfego rodoviário, considerando os valores médios horários para as diferentes vias de comunicação.

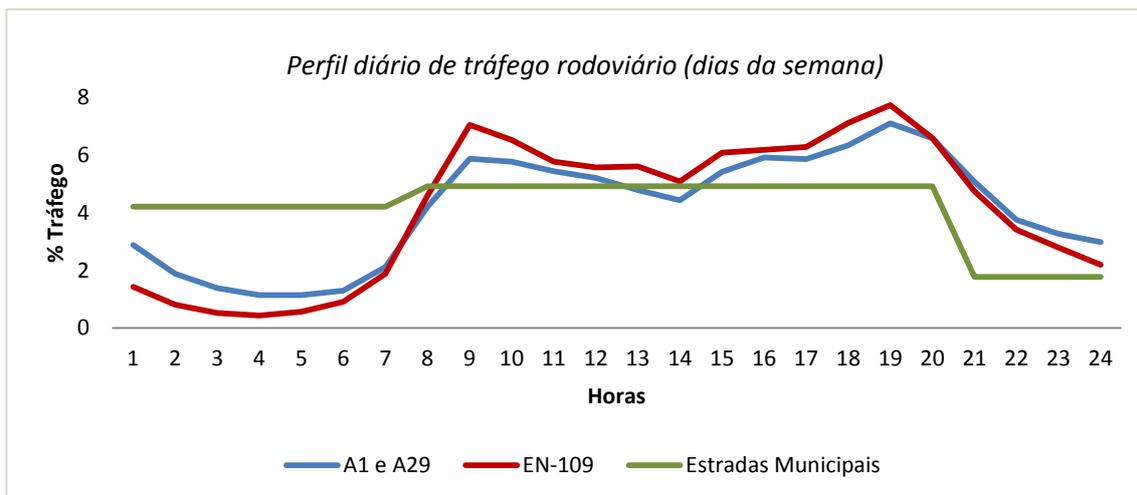


Figura 4.6 – Representação do perfil diário de tráfego rodoviário típico de um dia da semana.

Através da Figura 4.6, verifica-se que o maior volume de tráfego circula pela EN-109 entre as 8h e as 20h, durante o período semanal. Durante este período, os valores mais elevados de tráfego rodoviário registam-se por volta das 9h e entre as 18h e as 19h, registando-se esta tendência na A1, A29 e EN-109. Apesar dos valores horários de tráfego em estradas municipais não serem apresentados de forma detalhada, comparativamente com as restantes vias de comunicação, verifica-se que neste tipo de vias se regista um maior volume de tráfego entre as 8h e as 20h. Contudo, de um modo geral, o tráfego nas vias municipais é ligeiramente inferior, comparativamente com a A1, A29 e EN-109.

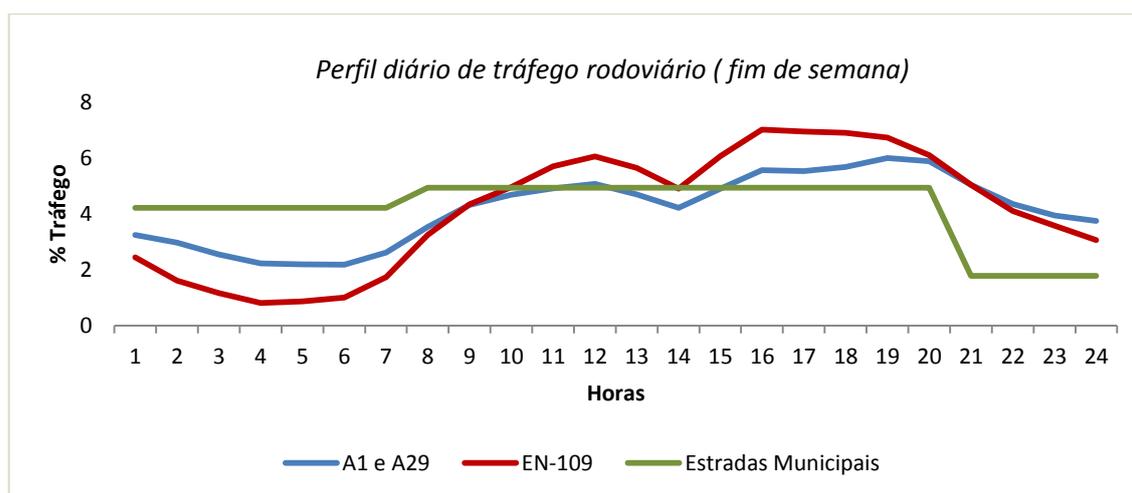


Figura 4.7 – Representação do perfil diário de tráfego rodoviário típico de um dia de fim de semana.

Segundo a Figura 4.7, verifica-se que há uma ligeira alteração do perfil diário de tráfego rodoviário para o período de fim de semana, comparativamente com o restante período semanal. Assim, continuam-se a registar volumes de tráfego mais elevados na EN-109, comparativamente com as restantes vias, para o período diurno. Contudo, ao fim de semana, há uma maior homogeneidade do volume diurno de tráfego rodoviário, comparativamente com o restante período semanal.

As contagens de tráfego rodoviário efetuadas permitiram diferenciar as percentagens médias das diferentes categorias de veículos e assim fazer uma caracterização mais realista do parque automóvel em circulação no concelho de Estarreja. Estes dados resultaram da análise das contagens de tráfego disponibilizadas pela Câmara Municipal de Estarreja, pela Estradas de Portugal, mas também com base em estudos anteriormente realizados para o distrito de Aveiro, como por exemplo Borrego et al (2009) e Bandeira et al (2011).

Com o objetivo de efetuar uma caracterização das categorias de veículos para as diferentes vias consideradas no domínio foram utilizados dados diferenciados de contagens de tráfego rodoviário por categorias, tendo em consideração o tipo de via a caracterizar. Para a A1, A29 e EN-109 foram consideradas percentagens médias de contagens de tráfego por categoria de veículos, realizadas na rede viária da zona norte de Portugal, segundo dados de INIR (2011). Para as estradas municipais foram considerados valores percentuais médios de contagens por categoria de veículos, tendo em conta estatísticas mais recentes existentes sobre o parque automóvel no distrito de Aveiro, segundo ACAP (2010) e Bandeira et al (2011). Desta forma, o parque automóvel representativo da região de Estarreja foi determinado com base em aproximações, que apesar de não ser a metodologia mais rigorosa, permite caracterizar os padrões de circulação automóvel na região de estudo.

Na Tabela 4.2 encontram-se representadas as diferentes categorias de veículos consideradas no modelo URBAIR, para as diferentes vias de comunicação da zona de estudo. Podem também ser observadas as diferentes percentagens de categorias de veículos em circulação nas diferentes vias. Devido à informação das contagens obtida possuir diversas fontes, faz com que por vezes sejam atribuídas denominações diferentes às categorias de veículos, originando uma imprecisão na quantidade de veículos em cada categoria.

Tabela 4.2 – Categorias de veículos consideradas para as diferentes vias de comunicação da zona de estudo.

Vias de comunicação	Categorias de veículos						
	Ligeiro de passageiros a gasolina	Ligeiro de passageiros a diesel	Ligeiro de passageiros a GPL	Ligeiros de mercadorias a diesel	Pesados de mercadorias a diesel	Pesados de passageiros a diesel	Motos a gasolina
A1, A29 e EN-109	49%	13%	15%	11%	12%	-	-
Estradas Municipais	53%	23%	-	21%	1%	1%	1%

Seguindo a abordagem sugerida por Karamchandani et al (2009) e aplicada por Borrego et al (2012), as fontes em linha foram definidas como conjuntos de fontes pontuais equidistantes. A rede viária foi caracterizada por um total de 10.054 fontes pontuais, com um espaçamento de cerca de 10 m entre cada uma. Assim, a A1 apresenta uma extensão de aproximadamente 17.600 m no domínio de estudo, onde foram consideradas 1762 fontes pontuais; a A29 possui um comprimento de aproximadamente 17.800 m, tendo sido consideradas 1781 fontes pontuais; para a EN-109 foram consideradas 2121 fontes para uma extensão de cerca de 21.500 m. Relativamente às estradas municipais, estas apresentam na totalidade uma extensão de aproximadamente 44.500 m, para as quais foram consideradas na totalidade 4390 fontes pontuais.

### e) Preparação da informação relativa ao edificado

Com o intuito de efetuar uma caracterização do edificado que poderá servir como obstáculo ao escoamento atmosférico, procedeu-se, de grosso modo, a essa caracterização em torno das vias de comunicação na zona de estudo. Desta forma, recorreu-se à ferramenta de georreferenciação ArcGis com o objetivo de traçar polígonos que fizessem a representação do edificado. Através dos vértices desses polígonos, recorrendo novamente à ferramenta ArcGis, foi possível determinar as coordenadas desses mesmos vértices, o que permitiu georreferenciar o edificado, para posterior utilização dessa informação nos dados de entrada do modelo URBAIR (ver Figura 4.5). Considerou-se que o edificado apresentava uma altura média de 7,5 m.

### f) Preparação efetiva do ficheiro de entrada no modelo URBAIR

Após a preparação de toda a informação mencionada nos pontos anteriores, foi necessário organizar de forma cuidada e organizada, de acordo com as especificações técnicas exigidas pelo

modelo URBAIR, todos os dados de entrada necessários para as simulações da dispersão dos poluentes. Foram preparados vários ficheiros de entrada do modelo, em formato "txt", com a informação relativa às especificações do domínio; características, localização e respetivas emissões das fontes pontuais e de tráfego; localização e características do edificado; informação meteorológica de superfície e de radiossondagem.

Efetuar-se simulações com o modelo URBAIR para estimar a dispersão dos seguintes poluentes atmosféricos: NO<sub>x</sub>, PM10, SO<sub>2</sub> e CO. Foram criados ficheiros de entrada no modelo com toda a informação mencionada anteriormente para cada um destes quatro poluentes em estudo.

## **4.2. Dados de saída do modelo**

Uma vez efetuadas as simulações da dispersão dos poluentes em estudo, no domínio definido, é necessário efetuar um pós processamento dos dados obtidos, para uma posterior representação dos resultados gerados pelo modelo.

Os dados de saída do modelo URBAIR fornecem a concentração média horária, para cada recetor no domínio, referente a todas horas do período de simulação (15 de maio a 31 julho de 2011).

Após um correto processamento da informação de saída do modelo URBAIR, procedeu-se a uma representação dos resultados, com recurso ao software SURFER 10. Este software interpola valores de concentrações, obtidos para o domínio de estudo, com base nos valores de concentrações de cada recetor.

Foram efetuadas duas simulações, para todo o período, considerando separadamente as fontes pontuais e as fontes em linha respetivamente. Para a obtenção das concentrações de poluentes para a área de estudo, somaram-se as concentrações obtidas nas duas simulações realizadas.

## 5. Resultados

Nesta seção serão apresentados os principais resultados obtidos através da modelação, com recurso ao modelo URBAIR, para a área de estudo, e será feita uma análise e discussão desses mesmos resultados.

Foi efetuada uma análise da contribuição de dois tipos de fontes: indústria (fontes pontuais) e tráfego rodoviário (fontes em linha) para a zona de Estarreja. Esta análise foi avaliada segundo: (1) um perfil diário, onde foi feita uma análise dos resultados considerando as concentrações simuladas com fontes pontuais e com fontes em linha e as concentrações totais resultantes. Os resultados apresentados são referentes aos poluentes atmosféricos CO, NO<sub>x</sub>, PM10 e SO<sub>2</sub>, para diferentes períodos representativos de um dia (6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 22h); (2) uma comparação com as concentrações medidas na estação da Teixugueira, através da análise da evolução temporal das concentrações horárias; (3) uma análise das concentrações simuladas obtidas em três locais na área de estudo.

Procedeu-se também a uma análise do contributo relativo das várias fontes emissoras para o concelho de Estarreja, tendo por base os dados do Inventário Nacional de Emissões. Este contributo relativo das fontes do Inventário Nacional foi comparado com as emissões consideradas para o domínio de estudo relativamente a fontes pontuais e em linha.

### 5.1. Emissões

Com o objetivo de avaliar o contributo das diversas fontes consideradas neste estudo (fontes industriais e tráfego rodoviário), foram usados dados de emissões provenientes das diversas fontes, que serviram de entrada no modelo URBAIR. Tendo em conta estes dados procedeu-se ao somatório das emissões quer para fontes industriais, quer para o tráfego rodoviário, relativamente ao período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011, procedendo-se assim a uma análise da contribuição de cada uma destas fontes (ver Figura 5.1).

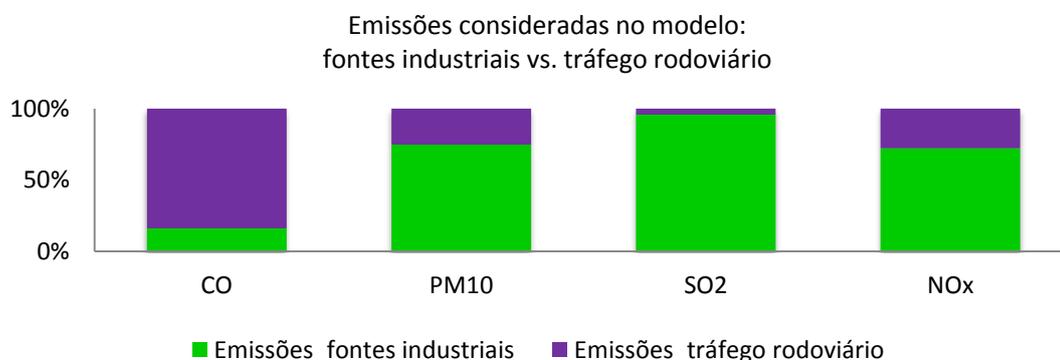


Figura 5.1 – Contributo de fontes industriais e tráfego rodoviário com base em emissões consideradas no modelo URBAIR.

Analisando as representações exibidas pela Figura 5.1, pode-se verificar que o CO emitido no domínio de estudo é aproximadamente 84% proveniente do tráfego rodoviário e 16% de fontes industriais. Ao contrário do CO, os poluentes PM10, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> são maioritariamente emitidos por fontes industriais, contribuindo o tráfego rodoviário apenas com uma taxa de emissão de aproximadamente 25%, 4% e 28%, para PM10, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> respetivamente.

Na Figura 5.2 encontra-se representada a contribuição da emissão dos poluentes CO, PM10, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, considerando fontes industriais (combustão industrial e processos industriais) e tráfego rodoviário, com base no Inventário Nacional de Emissões para o concelho de Estarreja, relativamente ao ano 2009. Devido à falta de dados relativos ao ano 2009 para o poluente atmosférico CO, foram assumidos valores do ano de 2008 para este mesmo poluente.

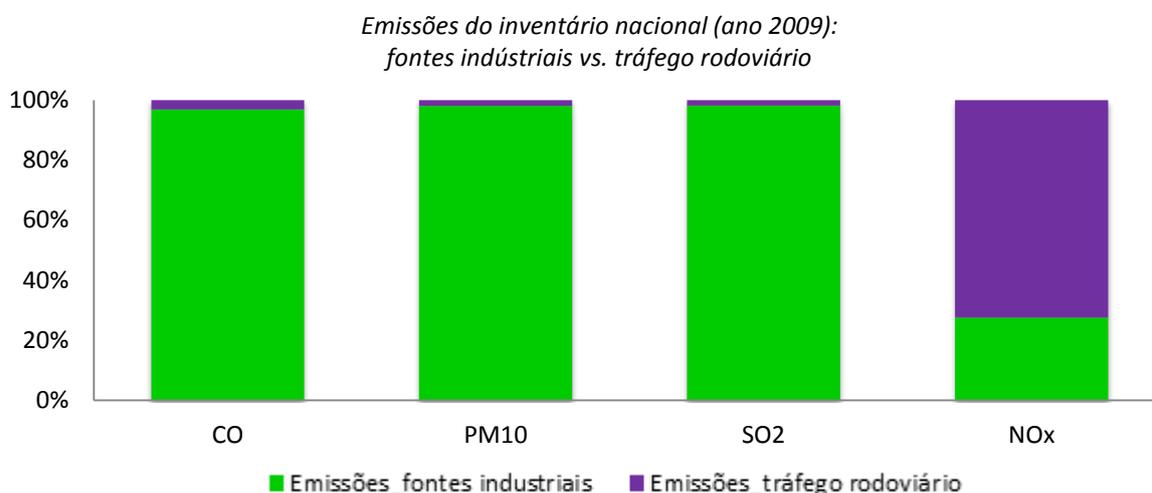


Figura 5.2 – Contributo de fontes industriais e tráfego rodoviário com base em emissões consideradas no Inventário Nacional de Emissões para o concelho de Estarreja.

Comparando a contribuição das emissões das fontes industriais e tráfego rodoviário consideradas no domínio de estudo (ver Figura 5.1) com os valores do Inventário Nacional de Emissões para o concelho de Estarreja (ver Figura 5.2), verifica-se que existe uma discrepância entre as percentagens de contribuição de cada fonte para alguns dos poluentes considerados. Os dados do Inventário Nacional de Emissões para o concelho de Estarreja indicam que os poluentes CO, PM10, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> são emitidos maioritariamente (valores superiores a aproximadamente 90%) por fontes industriais. O poluente NO<sub>x</sub> é maioritariamente emitido pelo tráfego rodoviário, apresentando um valor de aproximadamente 79% relativamente a este tipo de fontes.

Após uma análise do contributo relativo das várias fontes, tendo por base os dados do Inventário Nacional de Emissões e as emissões consideradas para o domínio de estudo, apresentada anteriormente, é importante fazer uma análise às várias fontes de emissão tendo como suporte os

valores absolutos das emissões correspondentes a cada tipo de fonte emissora, de forma a obter uma maior perceção da ordem de grandeza dos valores referentes a cada uma das fontes de dados (Inventário Nacional de Emissões e as emissões consideradas no domínio de estudo). Os valores absolutos das emissões das várias fontes de emissão encontram-se apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Comparação de valores das emissões referentes a fontes industriais e tráfego rodoviário, tendo por base o Inventário Nacional de Emissões para o concelho de Estarreja e as Emissões consideradas no domínio de estudo.

		CO [kg/h]	PM10 [kg/h]	SO <sub>2</sub> [kg/h]	NO <sub>x</sub> [kg/h]
Inventário Nacional de Emissões	Fontes industriais	28,07	136,00	14,85	20,53
	Tráfego rodoviário	0,88	2,55	0,26	54,10
	Total	28,94	138,55	15,12	74,63
Emissões consideradas no domínio de estudo	Fontes industriais	10,78	5,75	35,25	132,20
	Tráfego rodoviário	56,14	1,93	1,52	50,40
	Total	66,92	7,69	36,77	182,60

De um modo geral, segundo os valores apresentados na Tabela 5.1, é possível concluir que, segundo o Inventário Nacional de Emissões, os valores das emissões de fontes industriais são duas ordens de grandeza superior aos valores das emissões de tráfego rodoviário, para os poluentes CO, PM10 e SO<sub>2</sub>, sendo estes aproximadamente 32 vezes, 53 vezes e 56 vezes superiores, respetivamente. Contudo, a emissão de NO<sub>x</sub> pelo tráfego rodoviário apresenta um valor que é aproximadamente 2,6 vezes superior do referente às fontes industriais.

Analisando os valores das emissões consideradas no processo de modelação para o domínio de estudo, é possível verificar que para o poluente CO, o valor da emissão referente ao tráfego rodoviário é aproximadamente 5 vezes superior ao das fontes industriais. Contudo, os poluentes PM10, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> possuem uma maior emissão por parte de fontes industriais, apresentando valores de emissão referentes a este tipo de fontes aproximadamente 3 vezes, 23 vezes e 2,6 vezes superiores, comparativamente com o tráfego.

É importante salientar que segundo a comparação dos valores das emissões totais referentes a cada poluente e tendo em consideração os dois tipos de fontes de dados (Inventário Nacional de Emissões e as emissões consideradas no domínio de estudo), existem diferenças nos valores totais de cada poluente comparativamente entre os dois tipos de fontes de dados obtidas. Assim, verifica-se que de um modo geral as emissões do tráfego consideradas no do domínio de estudo são bastante superiores às emissões de tráfego contabilizadas no Inventário Nacional de Emissões. Contudo, também se verificam alguns desajustes dos valores das emissões das fontes pontuais, para alguns poluentes, se forem comparados os dois tipos de fontes de dados.

Esta diferença entre os valores de emissões obtidos pelo Inventário Nacional de Emissões para o concelho de Estarreja e os valores de emissão que foram considerados no domínio de estudo pode ser justificada pelos seguintes aspetos: (1) os valores considerados no Inventário Nacional de Emissões são relativos ao ano 2009 e 2008 (no caso do poluente CO) e os dados das emissões considerados no processo de modelação são relativos ao ano de 2011. Durante este período poderá ter havido alterações nos processos industriais, originando alterações nas emissões industriais; (2) o Inventário Nacional de Emissões apenas considera dados de emissões relativos ao concelho de Estarreja, enquanto que os dados de emissões referentes ao processo de modelação consideram o concelho de Estarreja e alguns concelhos limítrofes, podendo haver uma subestimativa de valores de emissões considerados nesta análise, principalmente no que refere ao tráfego rodoviário. As vias de comunicação principais (A1, A29 e EN-109) consideradas no domínio de estudo não abrangem apenas o concelho de Estarreja, sendo que desta forma foram contabilizadas emissões de tráfego rodoviário nas emissões referentes ao domínio de estudo, que por sua vez a sua totalidade não é contabilizada no Inventário Nacional de Emissões para o concelho de Estarreja; (3) a estimativa das emissões de tráfego efetuada para o Inventário Nacional de Emissões não é realizada de forma tão pormenorizada, comparativamente com aquela que foi realizada para o presente estudo, podendo haver subestimativa do volume de tráfego automóvel considerado no Inventário Nacional de Emissões para o concelho de Estarreja.

## **5.2. Distribuição espacial**

Os resultados apresentados são referentes aos poluentes atmosféricos CO, NO<sub>x</sub>, PM10 e SO<sub>2</sub>, para diferentes períodos representativos de um dia (6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 22h). Para os mesmos poluentes serão representadas as concentrações relativas aos dois tipos de fontes (pontuais e em linha) e os totais resultantes do somatório das concentrações destas duas fontes.

### **(a) Monóxido de Carbono – CO**

Da Figura 5.3 à Figura 5.8 encontram-se representados os resultados da simulação de CO, em concentrações médias horárias, considerando todo o período de simulação, obtidas ao nível do solo, às 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 22h, para o domínio de estudo. Estas imagens contemplam os resultados das simulações com as fontes pontuais, fontes em linha e o somatório das duas, para as várias horas do dia, permitindo avaliar o contributo das várias fontes para a qualidade do ar na zona de estudo, relativamente ao poluente atmosférico CO.

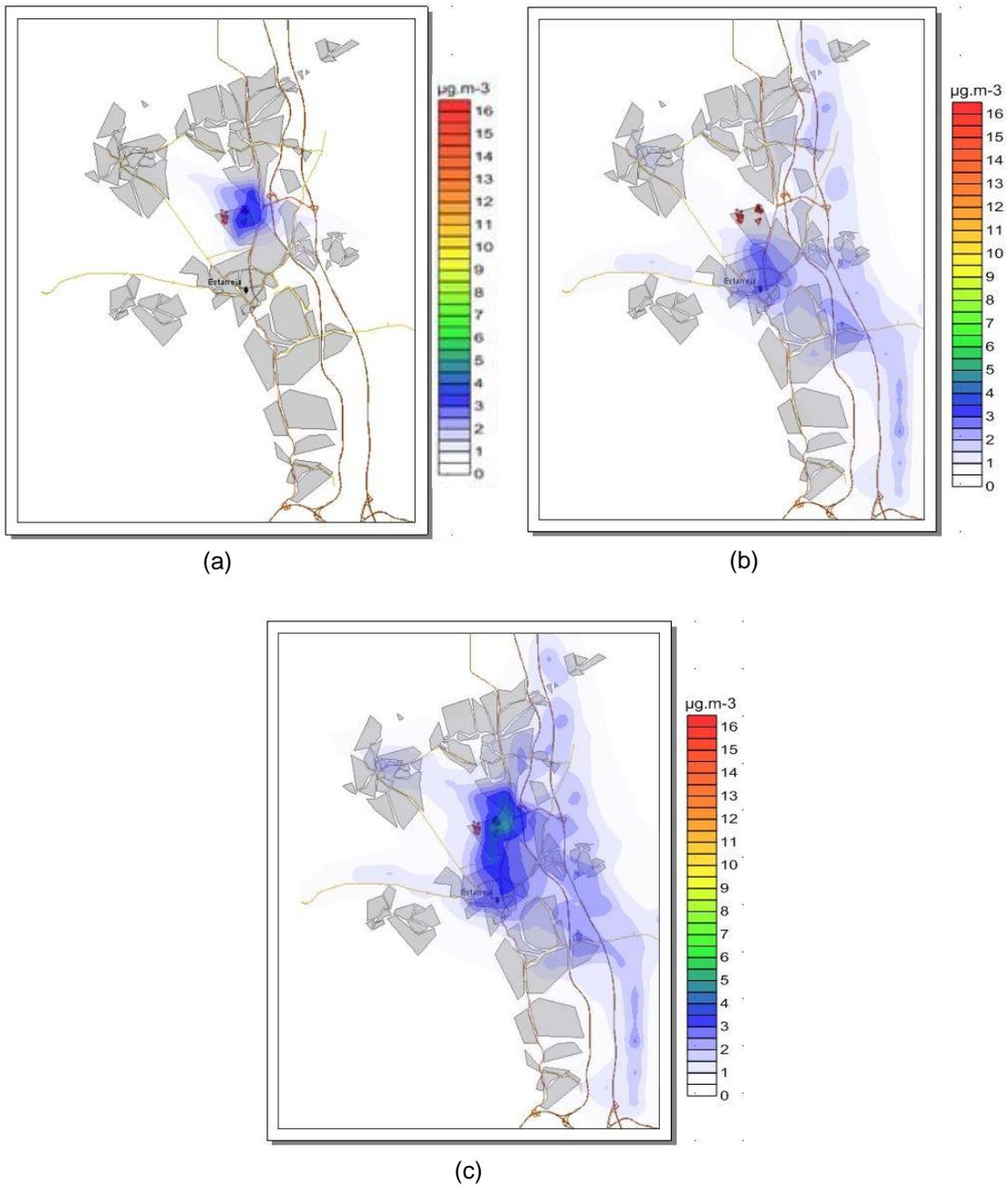


Figura 5.3 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de CO, resultantes das simulações para Estarreja, para as 6h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

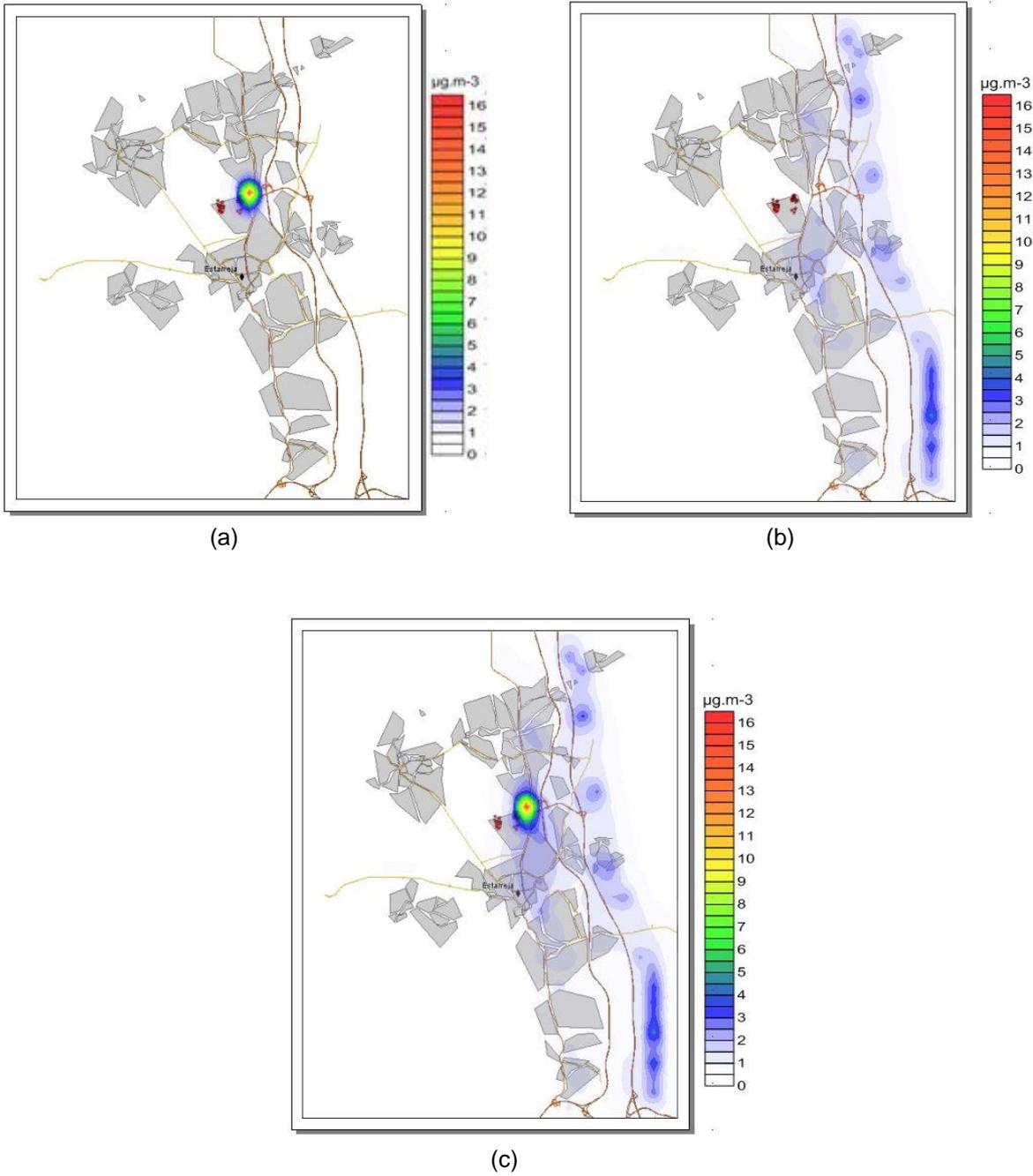


Figura 5.4 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de CO, resultantes das simulações para Estarreja, para as 9h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

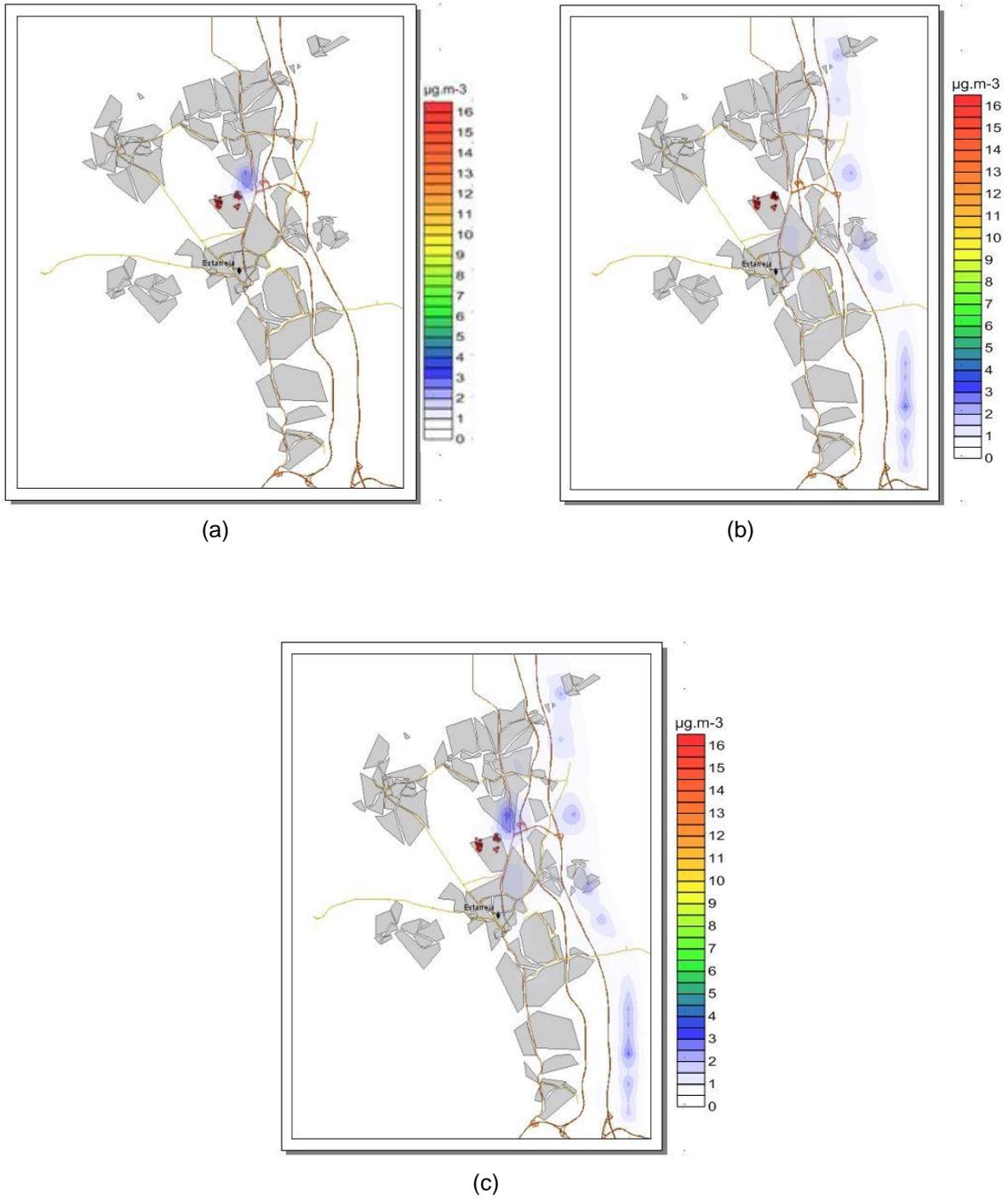


Figura 5.5 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de CO, resultantes das simulações para Estarreja, para as 12h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

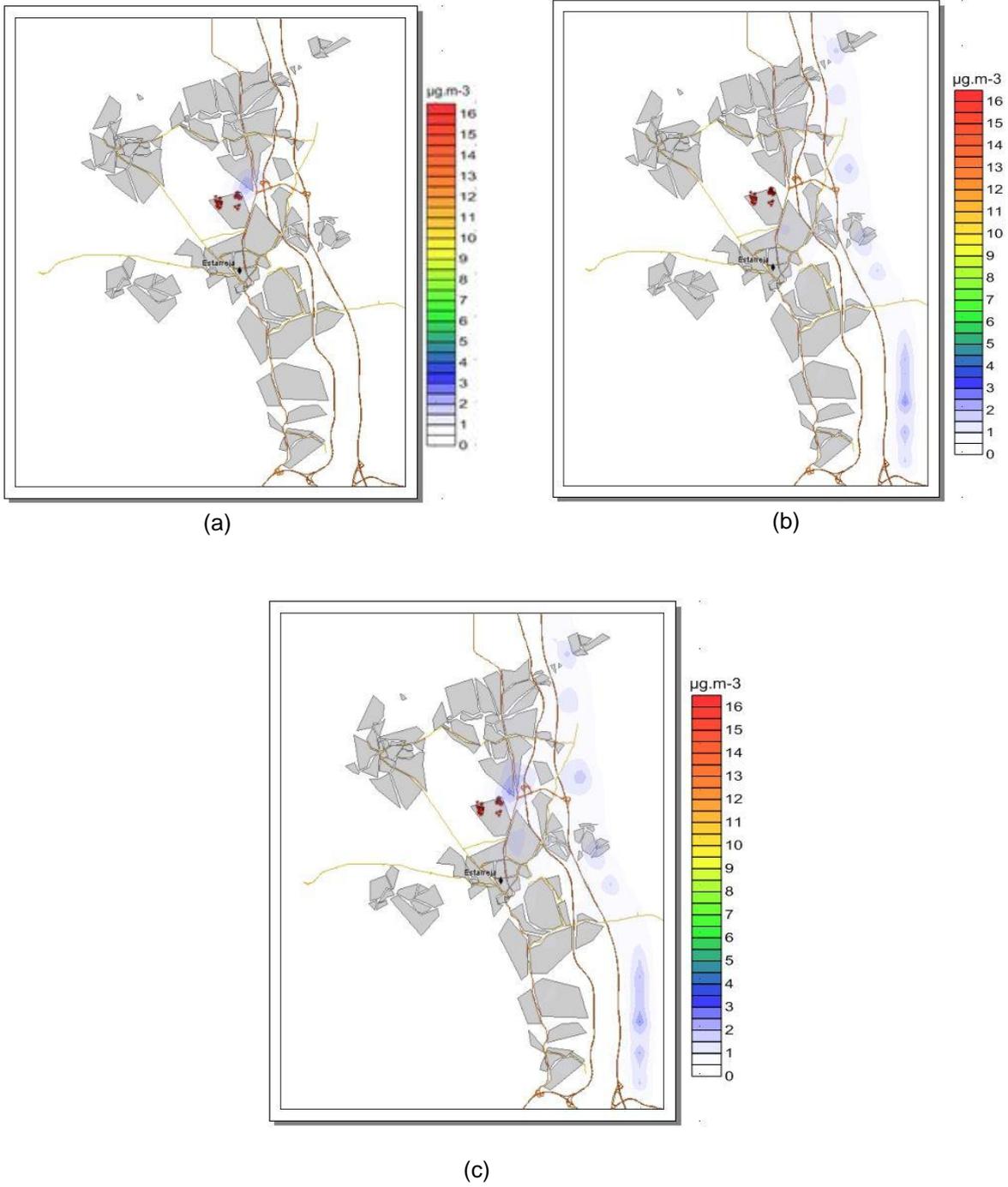


Figura 5.6 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de CO, resultantes das simulações para Estarreja, para as 15h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

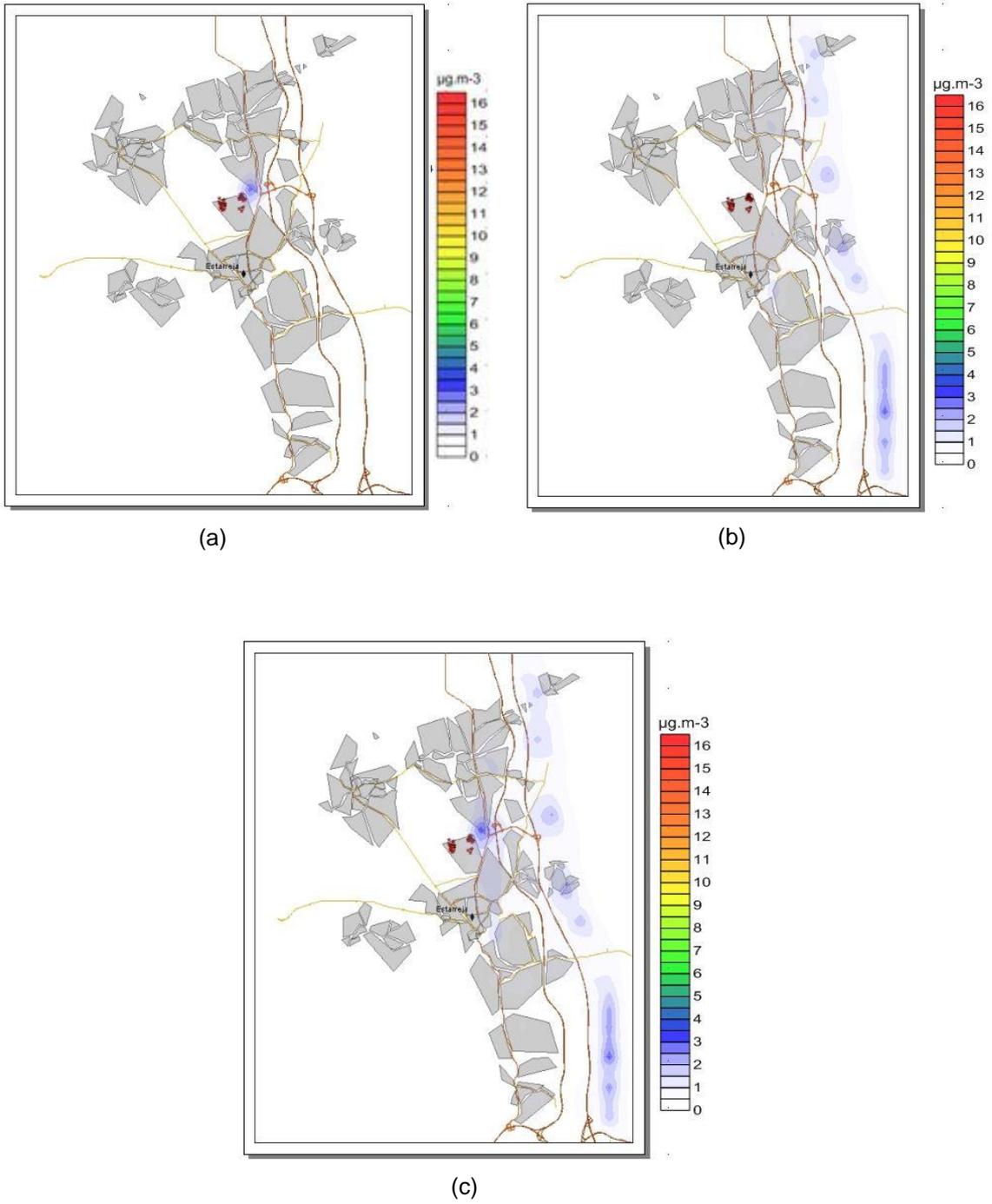


Figura 5.7 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de CO, resultantes das simulações para Estarreja, para as 18h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

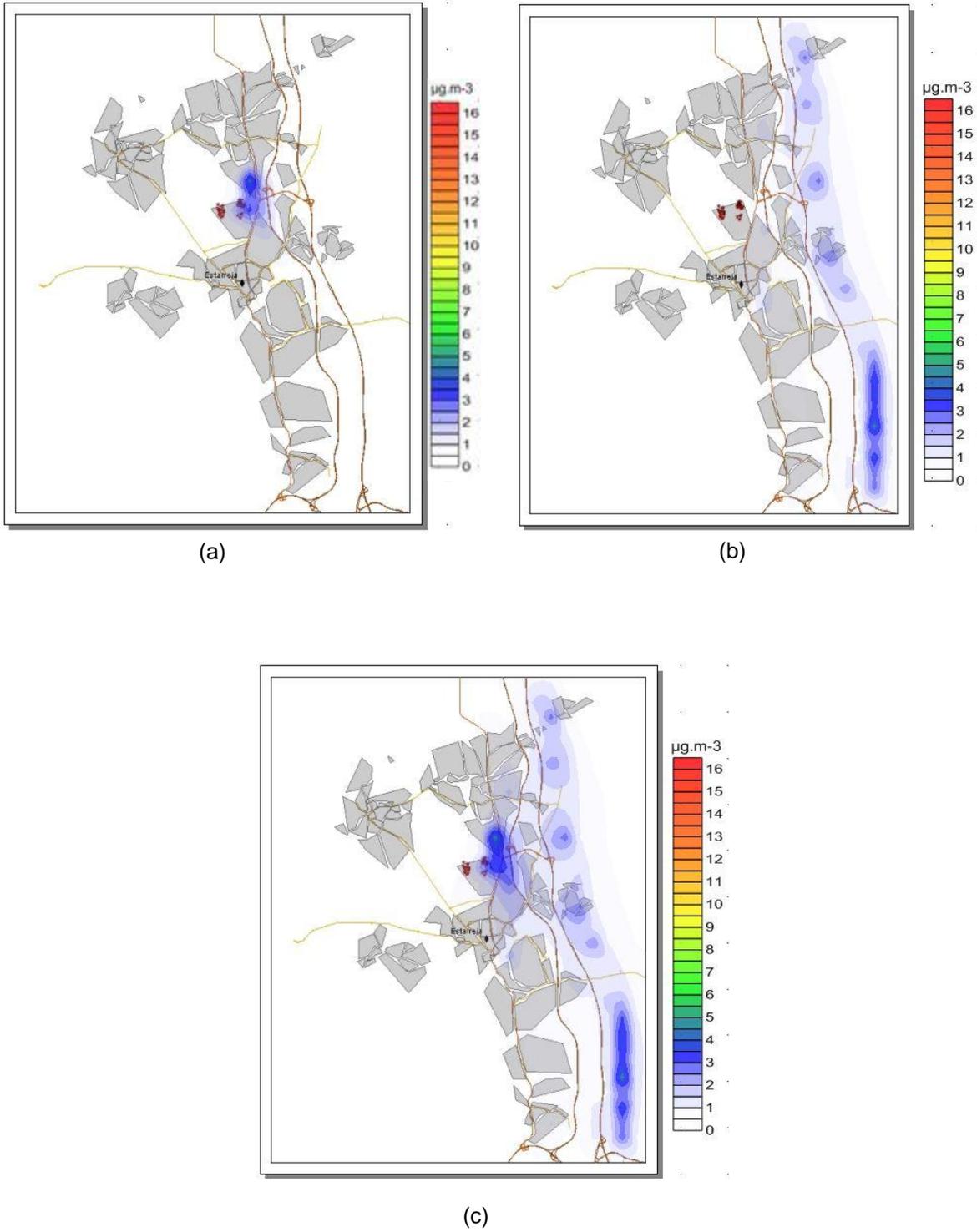


Figura 5.8 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de CO, resultantes das simulações para Estarreja, para as 22h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

Fazendo uma análise generalizada do perfil diário obtido para todo o domínio, relativamente ao poluente CO (ver Figuras 5.3 a 5.8), há várias ilações que podem ser assumidas:

(1) De um modo geral, para todas as horas analisadas as fontes em linha contribuem mais significativamente com CO para a qualidade do ar da zona de estudo, apresentando uma maior área de abrangência, na zona de estudo, de concentrações mais elevadas, comparativamente com as fontes pontuais. As concentrações resultantes das fontes pontuais afetam uma área reduzida na zona de estudo.

(2) O valor da concentração máxima de CO registada é de  $16 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Esta concentração apenas se verifica às 9h junto ao Complexo Químico de Estarreja. Para os restantes períodos do dia os valores das concentrações de CO são inferiores a este valor para todo o domínio de estudo;

(3) De um modo geral, as concentrações de CO são mais elevadas junto ao Complexo Químico de Estarreja, A1 e A29 para todos os períodos do dia, comparativamente com a restante área do domínio. Contudo, também se regista um aumento da concentração deste poluente junto ao centro de Estarreja e algumas vias municipais de acesso à cidade (Rua Desembargador Correia Teles e Rua Manuel Marques Pires), principalmente às 6h.

(4) Às 9h há um aumento da concentração de CO junto às A1 e A29 comparativamente com outros períodos do dia, aumento este que é justificado pelos valores máximos de tráfego rodoviário registados no período semanal nestas vias, a essa hora, (ver Figura 4.6) e pela baixa velocidade do vento à superfície (ver Figura 4.3) que minimiza a dispersão do poluente, fazendo com que se registem concentrações de CO mais elevadas ao nível do solo nessa hora.

(5) Os valores mais significativos de CO junto ao centro de Estarreja e junto a algumas vias municipais de acesso à cidade, às 6h, podem ser justificados por existir um volume de tráfego superior nas vias municipais nessa hora, comparativamente com a EN-109, A1 e A29 e por nessa hora existir uma reduzida velocidade do vento à superfície, como já foi referido.

(6) O aumento das concentrações deste poluente às 22h pode ser explicado pela altura da Camada Limite Atmosférica neste período do dia. No período noturno a CLA apresenta-se mais baixa, comparativamente com o período diurno, devido à diminuição da temperatura. Desta forma, como a CLA é mais baixa nesse período origina um aumento da concentração de poluentes à superfície. Este aumento de concentração só ocorre se as emissões ocorrerem abaixo da CLA.

## (b) Óxidos de Azoto - NO<sub>x</sub>

Da Figura 5.9 à Figura 5.14 encontra-se representado o perfil diário de NO<sub>x</sub>, obtido através das concentrações médias horárias ao nível do solo, às 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 22h, para o domínio de estudo.

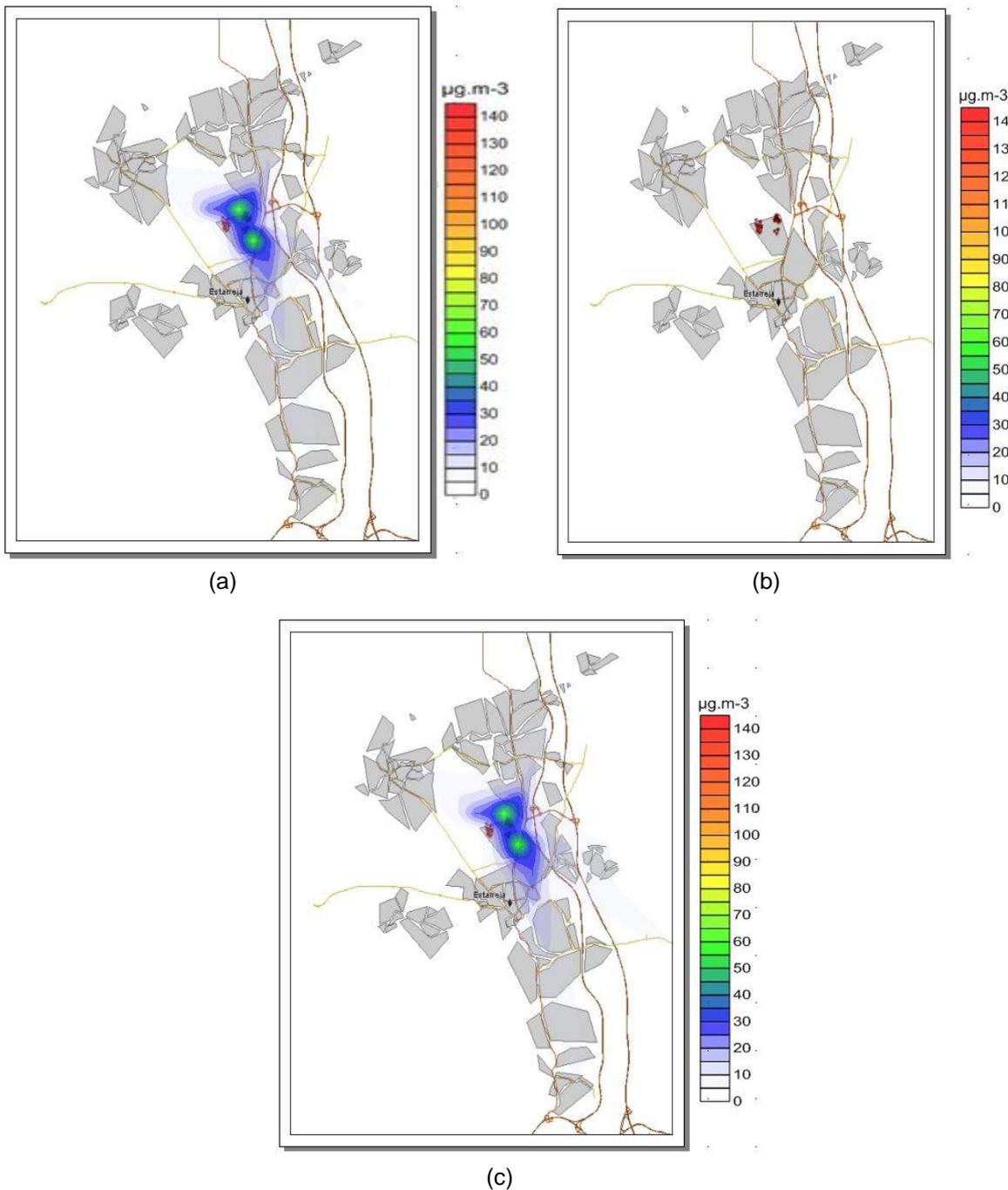


Figura 5.9 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de NO<sub>x</sub>, resultantes das simulações para Estarreja, para as 6h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

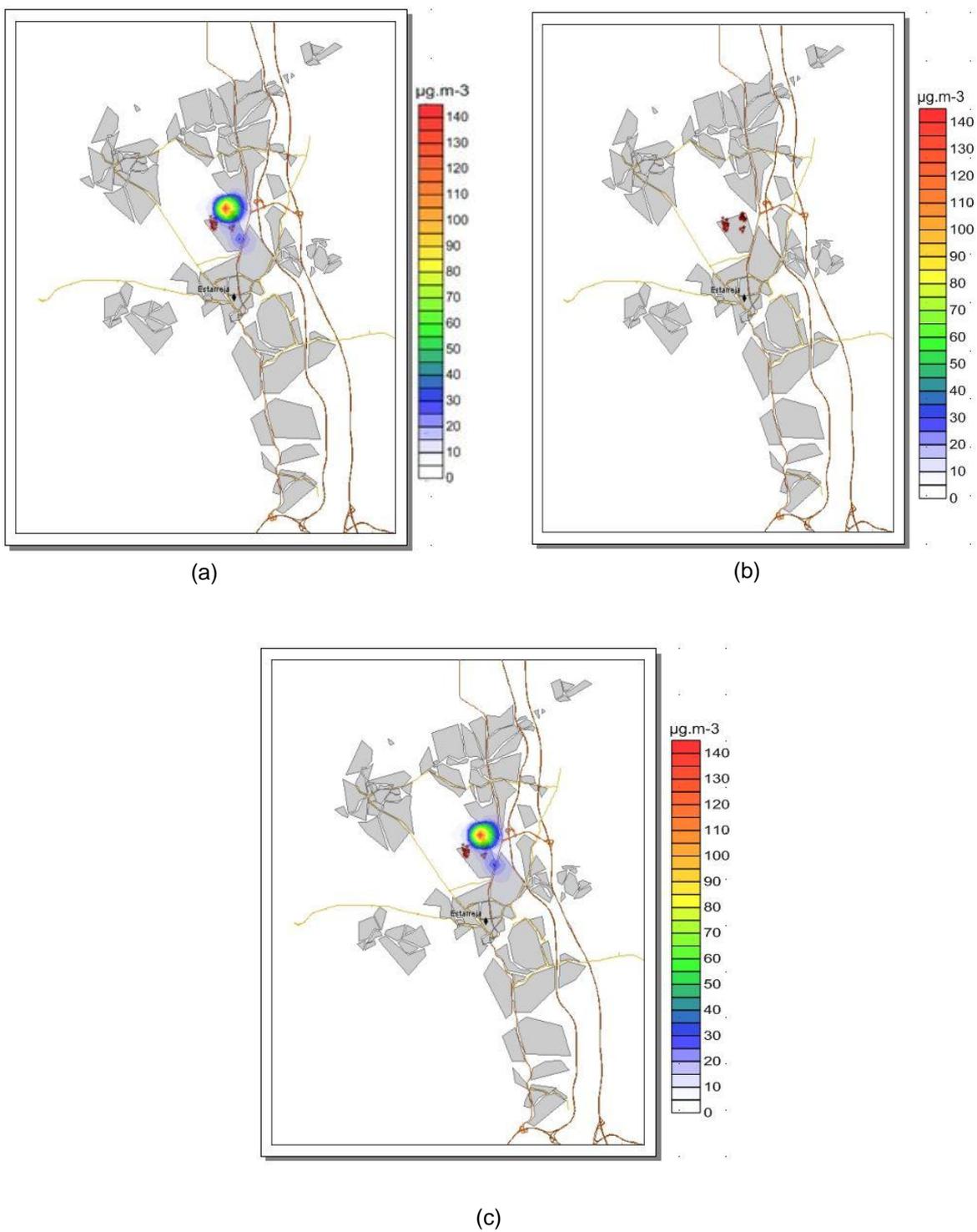


Figura 5.10 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de  $\text{NO}_x$ , resultantes das simulações para Estarreja, para as 9h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

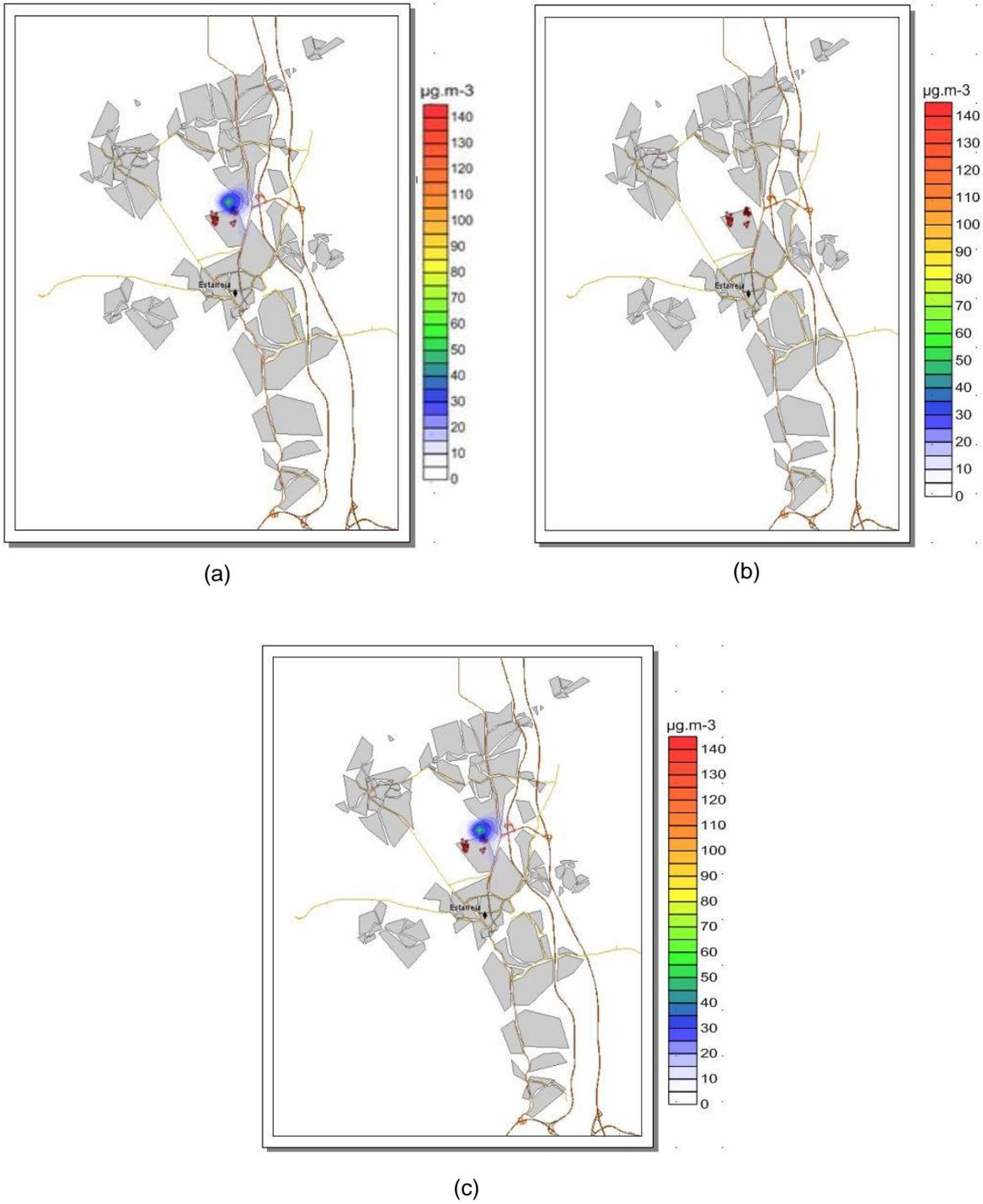


Figura 5.11 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de  $\text{NO}_x$ , resultantes das simulações para Estarreja, para as 12h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

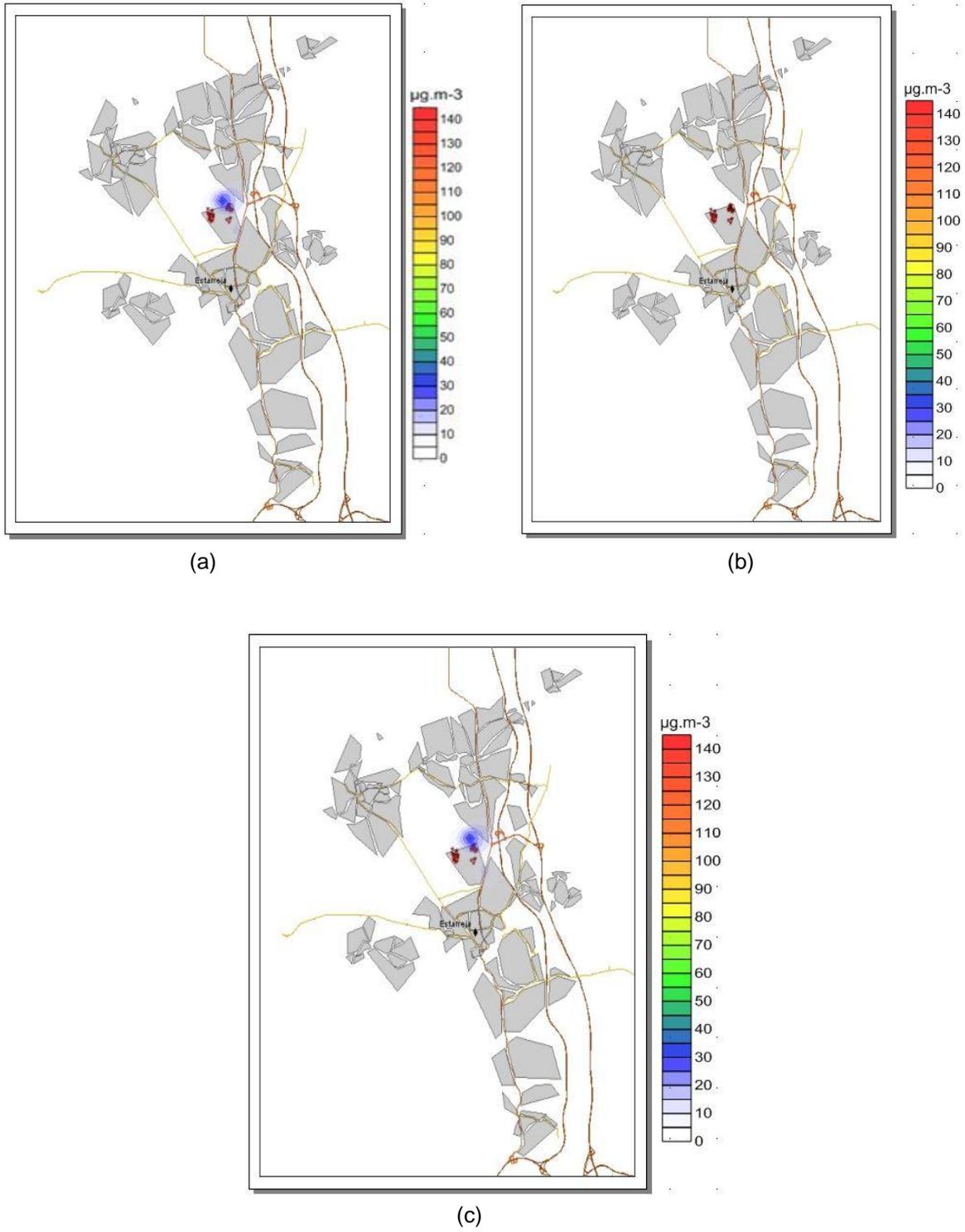


Figura 5.12 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de  $\text{NO}_x$ , resultantes das simulações para Estarreja, para as 15h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

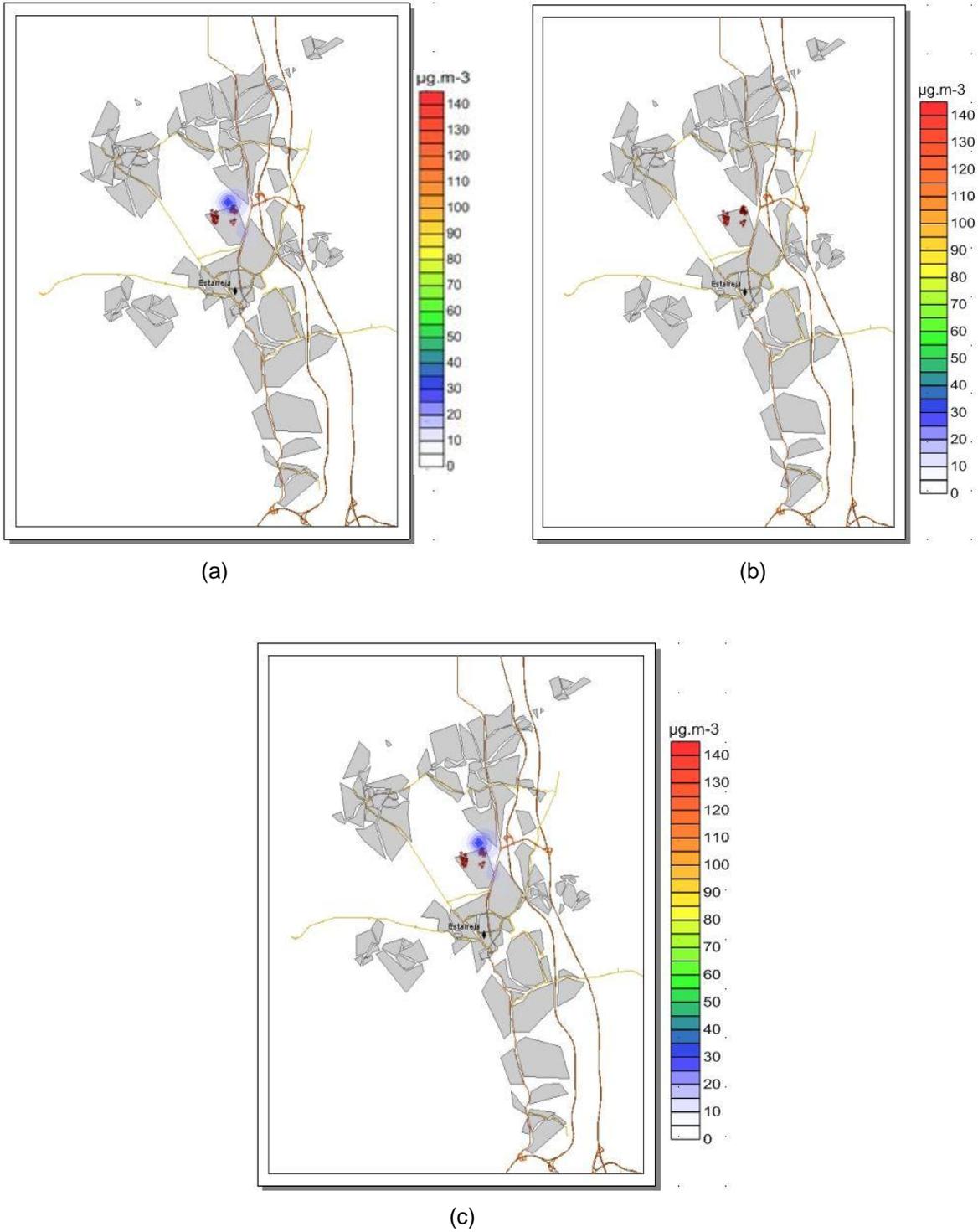


Figura 5.13 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de  $\text{NO}_x$ , resultantes das simulações para Estarreja, para as 18h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

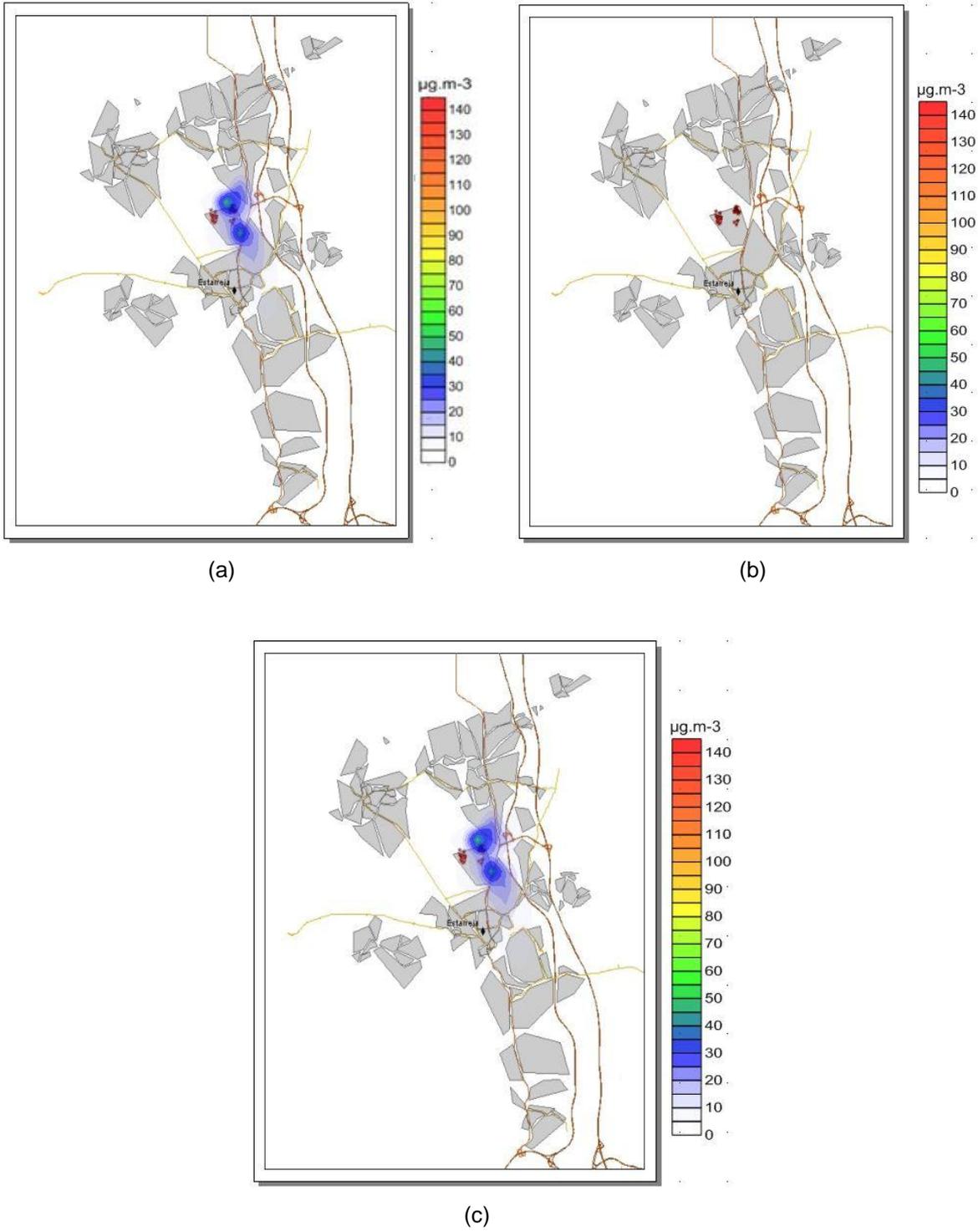


Figura 5.14 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de  $\text{NO}_x$ , resultantes das simulações para Estarreja, para as 22h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

De acordo com os resultados obtidos para o poluente atmosférico NO<sub>x</sub> (ver Figura 5.9 a 5.14), pode-se referir que:

- (1) As fontes industriais possuem um significativo contributo para a qualidade do ar ambiente, relativamente ao poluente NO<sub>x</sub>, comparativamente com o tráfego rodoviário.
- (2) O valor máximo da concentração de NO<sub>x</sub> simulado é de 140 µg.m<sup>-3</sup>, verificando-se exclusivamente às 9h junto ao Complexo Químico de Estarreja. Para as 6h também se registam concentrações próximas dos 65 µg.m<sup>-3</sup> junto ao Complexo Químico de Estarreja. Para os restantes períodos temporais as concentrações de NO<sub>x</sub> são inferiores as 65 µg.m<sup>-3</sup>. Fazendo uma análise global, as concentrações de NO<sub>x</sub> são mais significativas junto ao Complexo Químico de Estarreja principalmente às 6h e 9h. Contudo às 6h a dispersão de poluentes corre tendencialmente em direção ao centro de Estarreja, facto este que pode ser justificado pela reduzida velocidade média do vento para esta hora (ver Figura 4.3) que origina um aumento da concentração deste poluente, devido à fraca dispersão, e pela direção do vento característica de noroeste também para esta hora, que transporta este poluente em direção ao centro de Estarreja.

### **(c) Matéria Particulada – PM10**

À semelhança da análise realizada anteriormente para os outros poluentes, da Figura 5.15 à Figura 5.20, são apresentados os resultados da simulação de PM10, em concentrações médias horárias ao nível do solo às 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 22h, considerando todo o período de simulação.

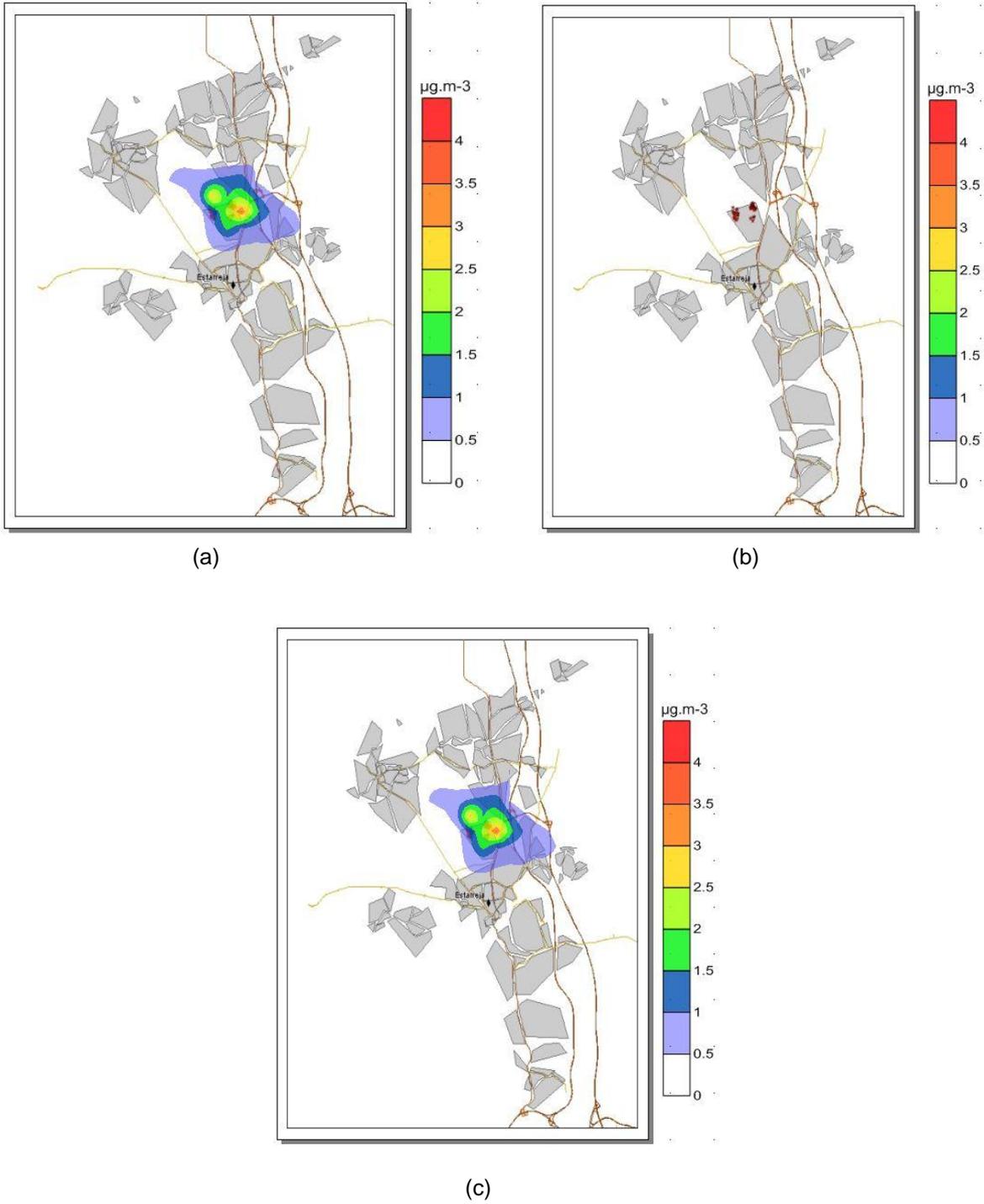


Figura 5.15 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja, para as 6h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

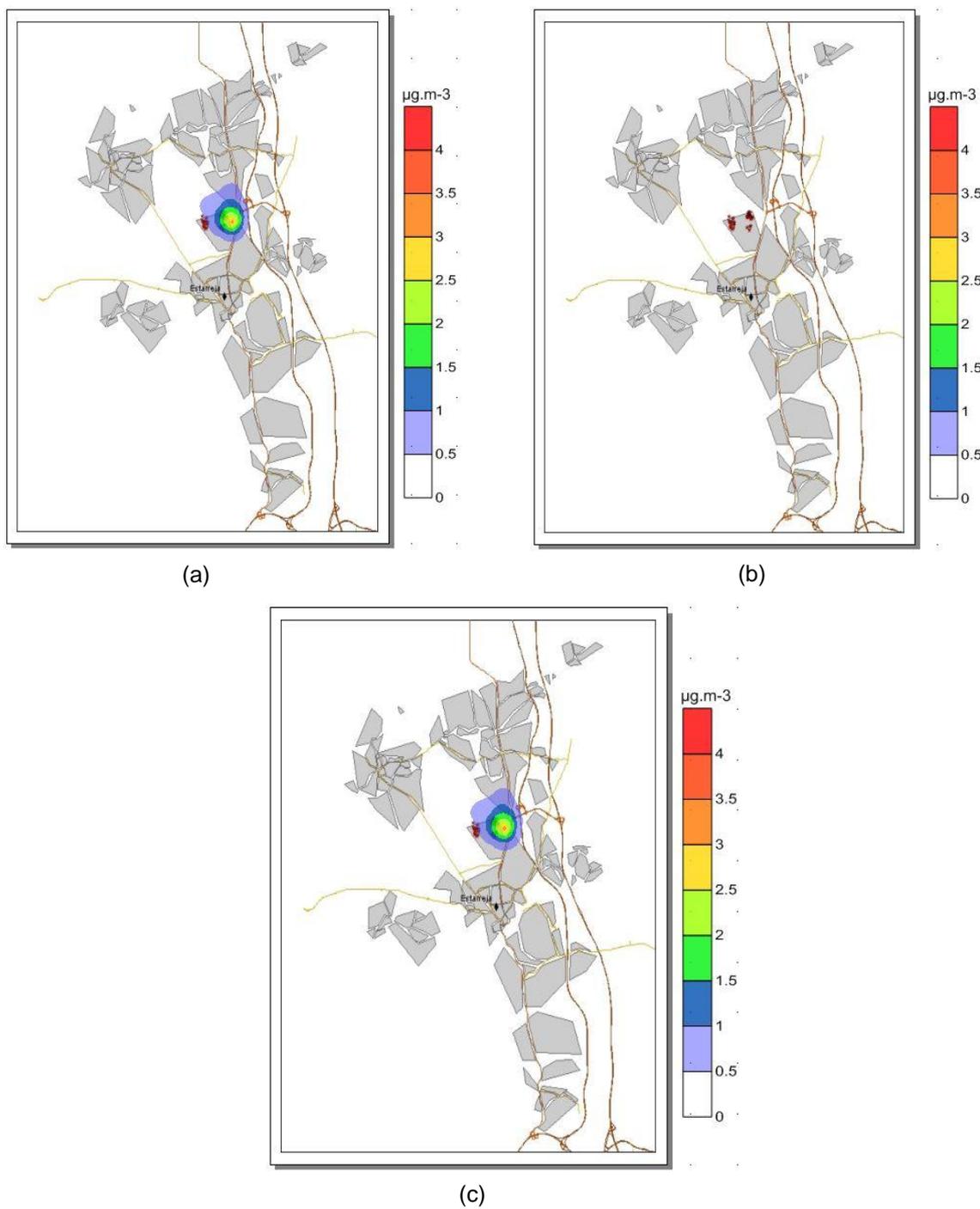


Figura 5.16 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja, para as 9h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

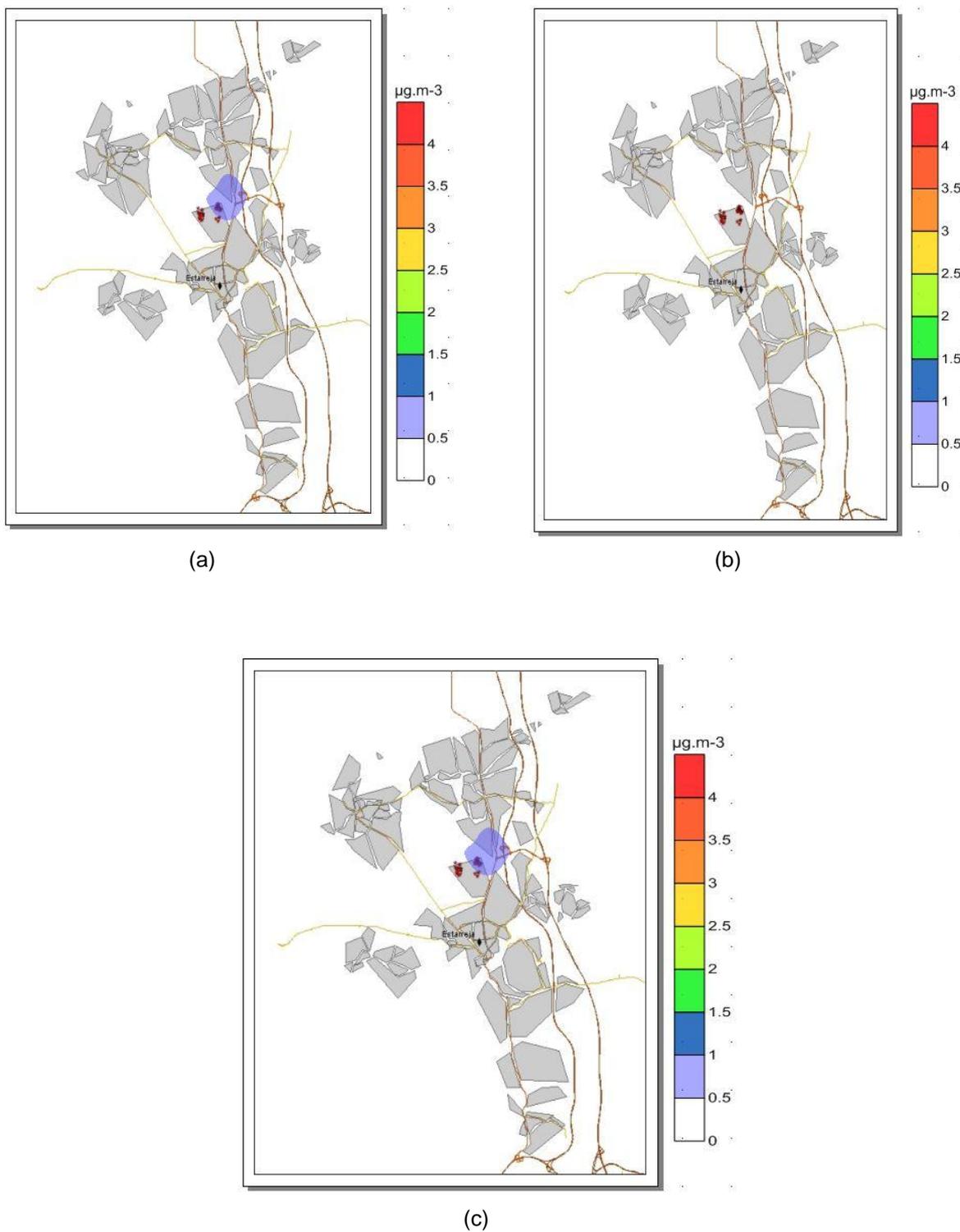


Figura 5.17 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja, para as 12h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

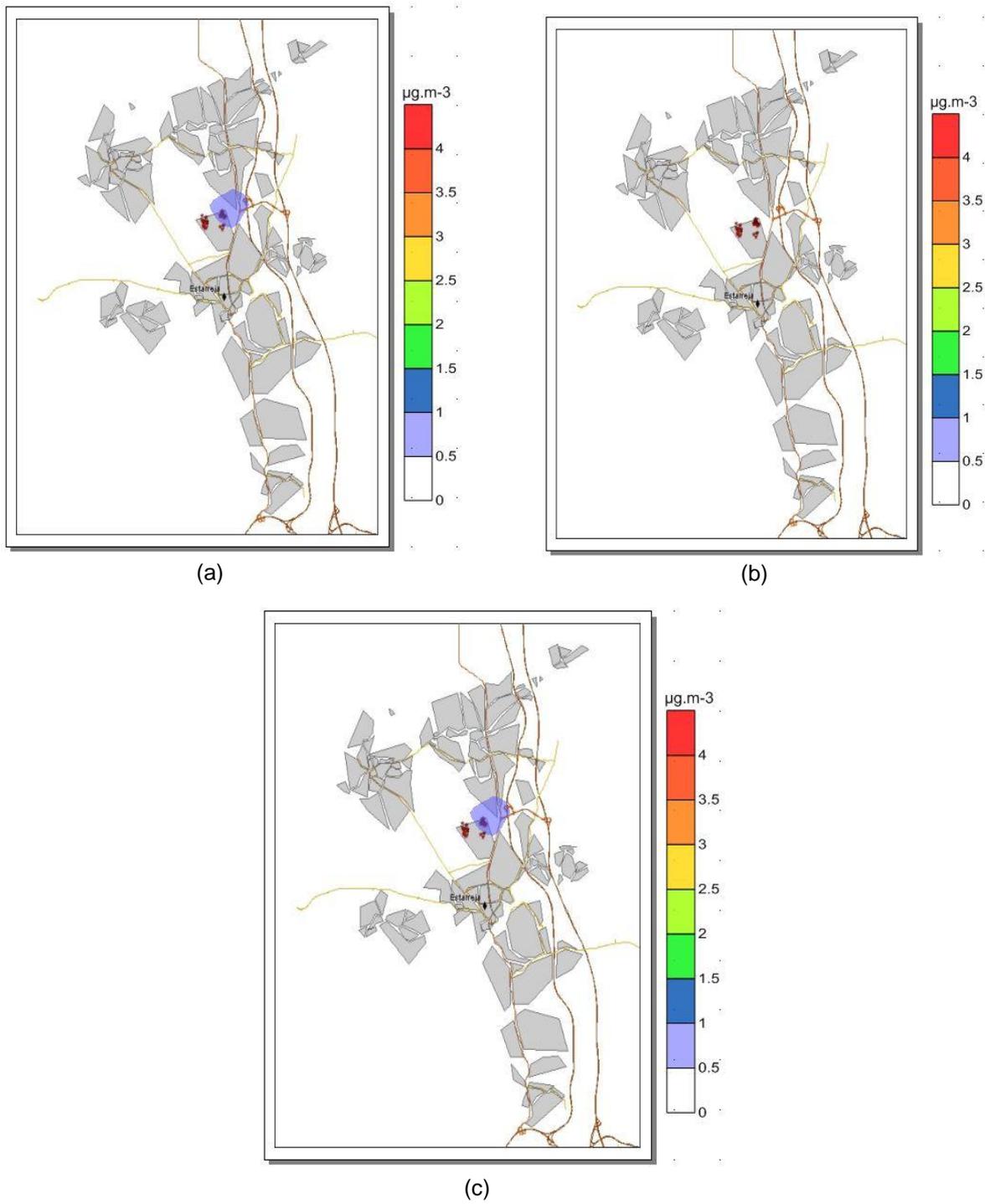


Figura 5.18 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja, para as 15h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

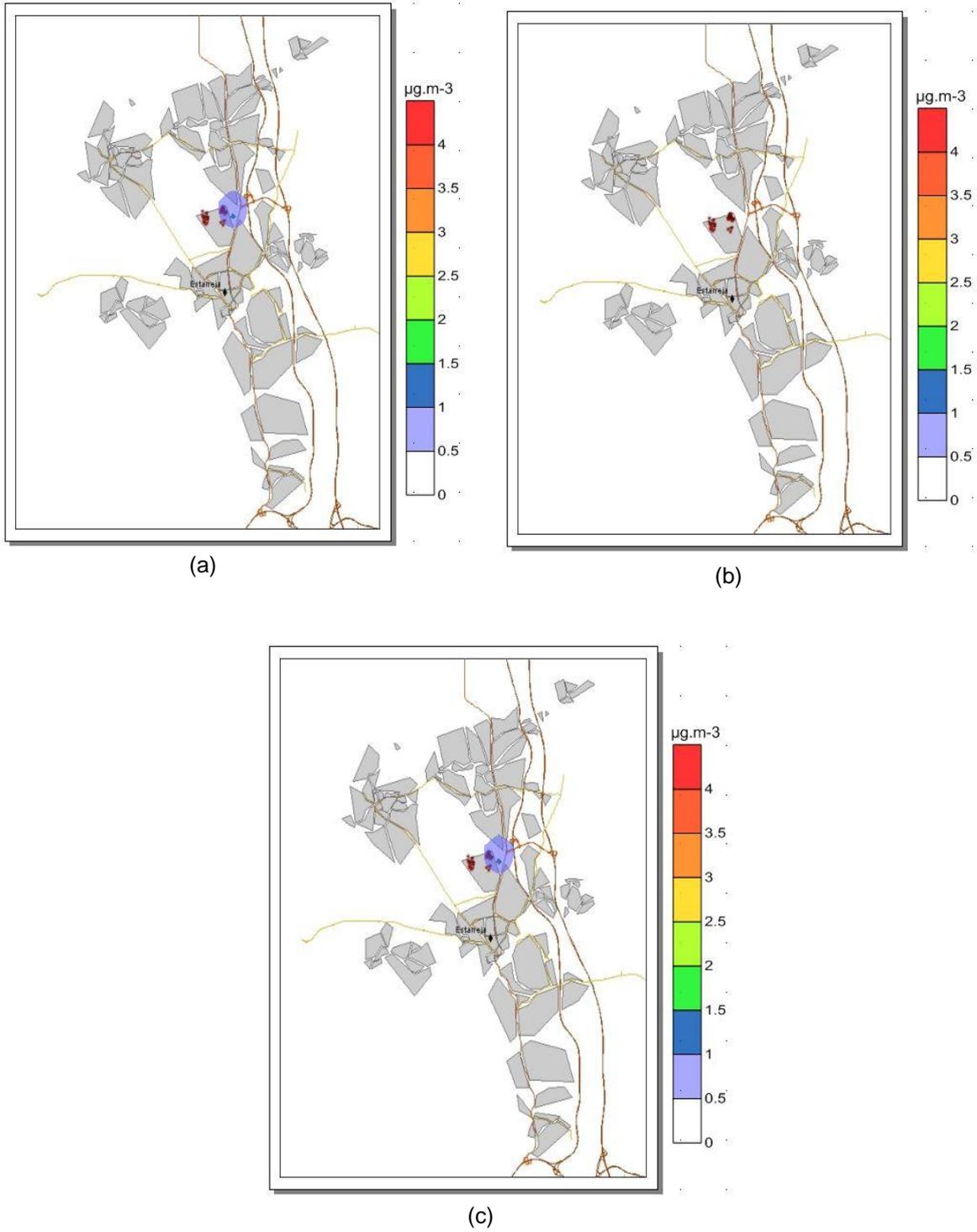


Figura 5.19 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja, para as 18h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

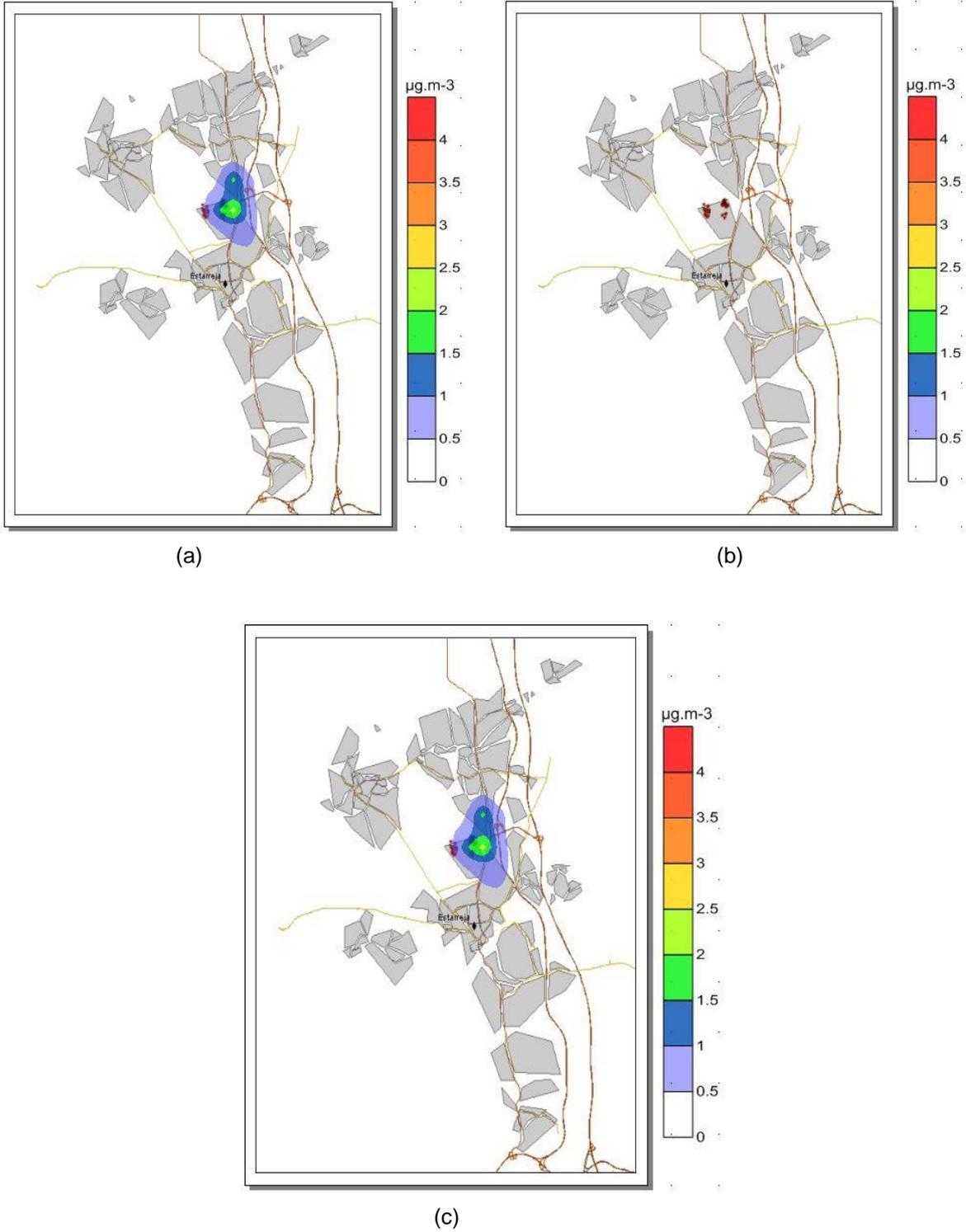


Figura 5.20 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja, para as 22h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

Analisando os resultados obtidos a partir do modelo URBAIR (ver Figura 5.15 a 5.20), relativamente ao poluente PM10, pode-se constatar que:

- (1) As concentrações de PM10 são muito baixas, o que pode indicar uma subestimativa por parte do modelo;
- (2) Dos tipos de fontes emissoras apresentadas, as que contribuem mais significativamente para a qualidade do ar ambiente, relativamente ao poluente PM10, são as fontes pontuais, comparativamente com as fontes em linha;
- (3) A concentração máxima verificada no domínio de estudo, relativamente ao poluente PM10, é de  $4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Este valor máximo pode ser verificado apenas junto ao Complexo Químico de Estarreja, às 6h e 9h;
- (4) Em termos globais, as concentrações de PM10 são mais elevadas junto ao Complexo Químico de Estarreja, principalmente às 6h e 9h, apresentando o restante domínio de estudo concentrações reduzidas ou até mesmo nulas. Estas concentrações de PM10 junto ao Complexo Químico de Estarreja resultam do contributo das fontes pontuais em relação a este poluente. Junto às vias de comunicação consideradas no estudo as concentrações de PM10 são reduzidas ou nulas. O máximo das concentrações médias simuladas às 6h e 9h são justificadas pela existência de velocidades do vento relativamente baixas comparativamente com os restantes períodos de simulação (ver Figura 4.3), resultando numa fraca dispersão do poluente, aumentando conseqüentemente a concentração junto à fonte emissora. Nos restantes períodos, as concentrações de PM10 no ar ambiente são mais reduzidas devido a uma velocidade do vento superior que origina uma maior dispersão do poluente.
- (5) As concentrações mais elevadas deste poluente às 22h podem ser explicadas pela altura da camada limite atmosférica neste período do dia. Como a CLA é mais baixa nesse período origina um aumento da concentração de poluentes à superfície.

#### **(d) Dióxido de Enxofre – SO<sub>2</sub>**

Da Figura 5.21 à Figura 5.26 encontram-se retratados os resultados da simulação de SO<sub>2</sub>, em concentrações médias horárias obtidas ao nível do solo, às 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 22h, para o domínio de estudo. Estas imagens contemplam os resultados das simulações das fontes pontuais, fontes em linha e fontes pontuais, para as várias horas do dia, permitindo avaliar o contributo das várias fontes para a qualidade do ar na zona de estudo, relativamente ao poluente atmosférico SO<sub>2</sub>.

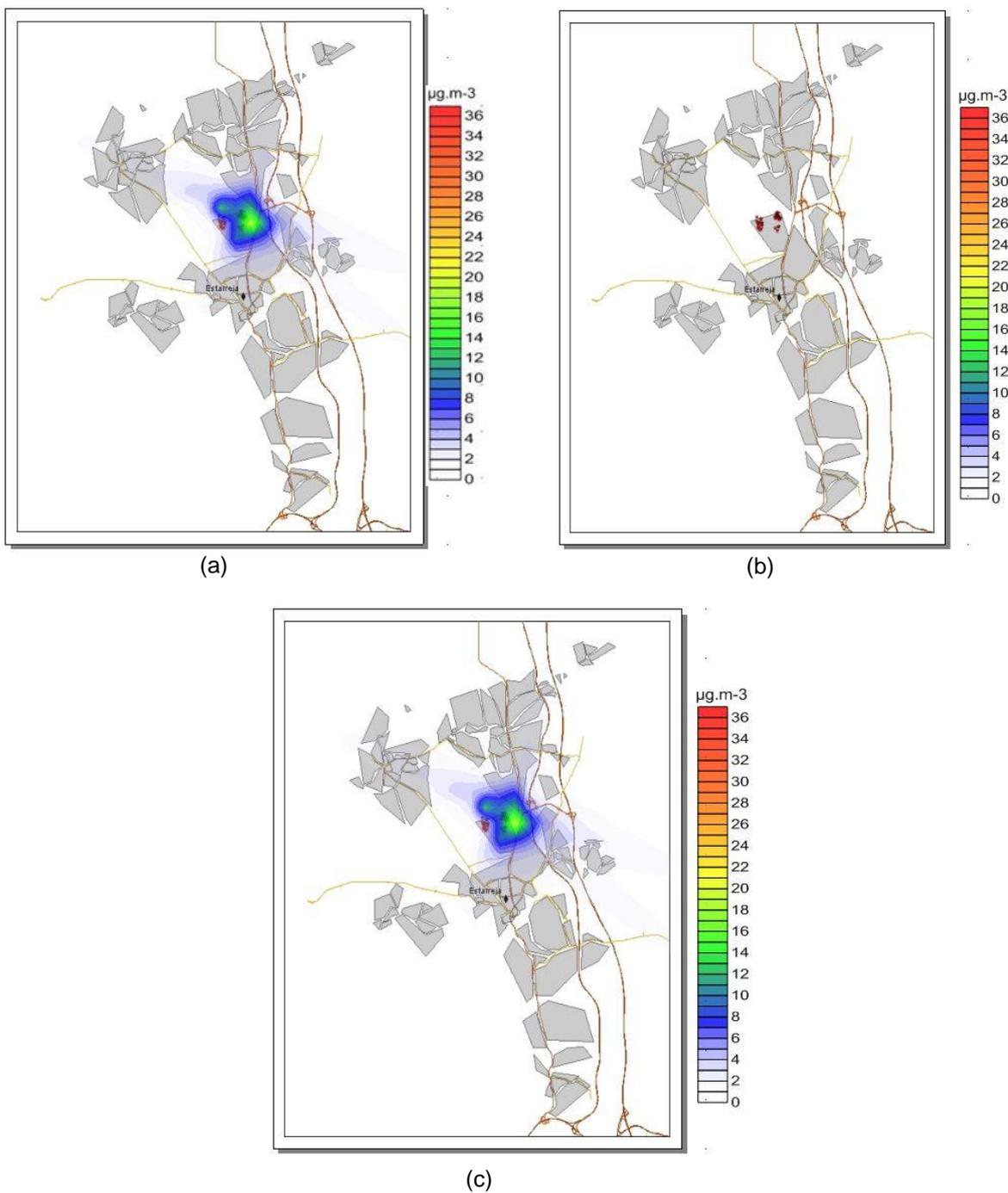


Figura 5.21 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de SO<sub>2</sub>, resultantes das simulações para Estarreja, para as 6h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

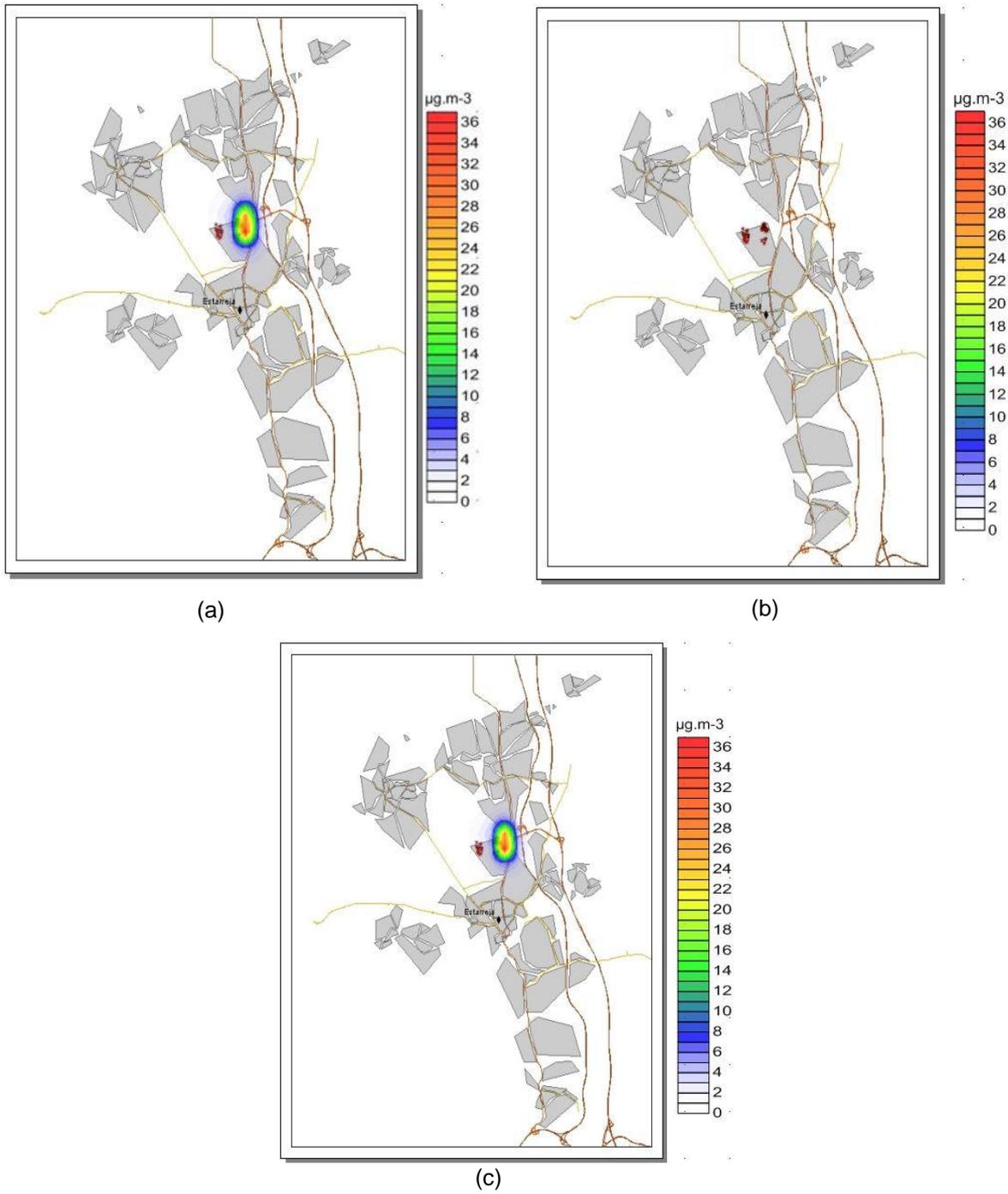


Figura 5.22 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de SO<sub>2</sub>, resultantes das simulações para Estarreja, para as 9h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

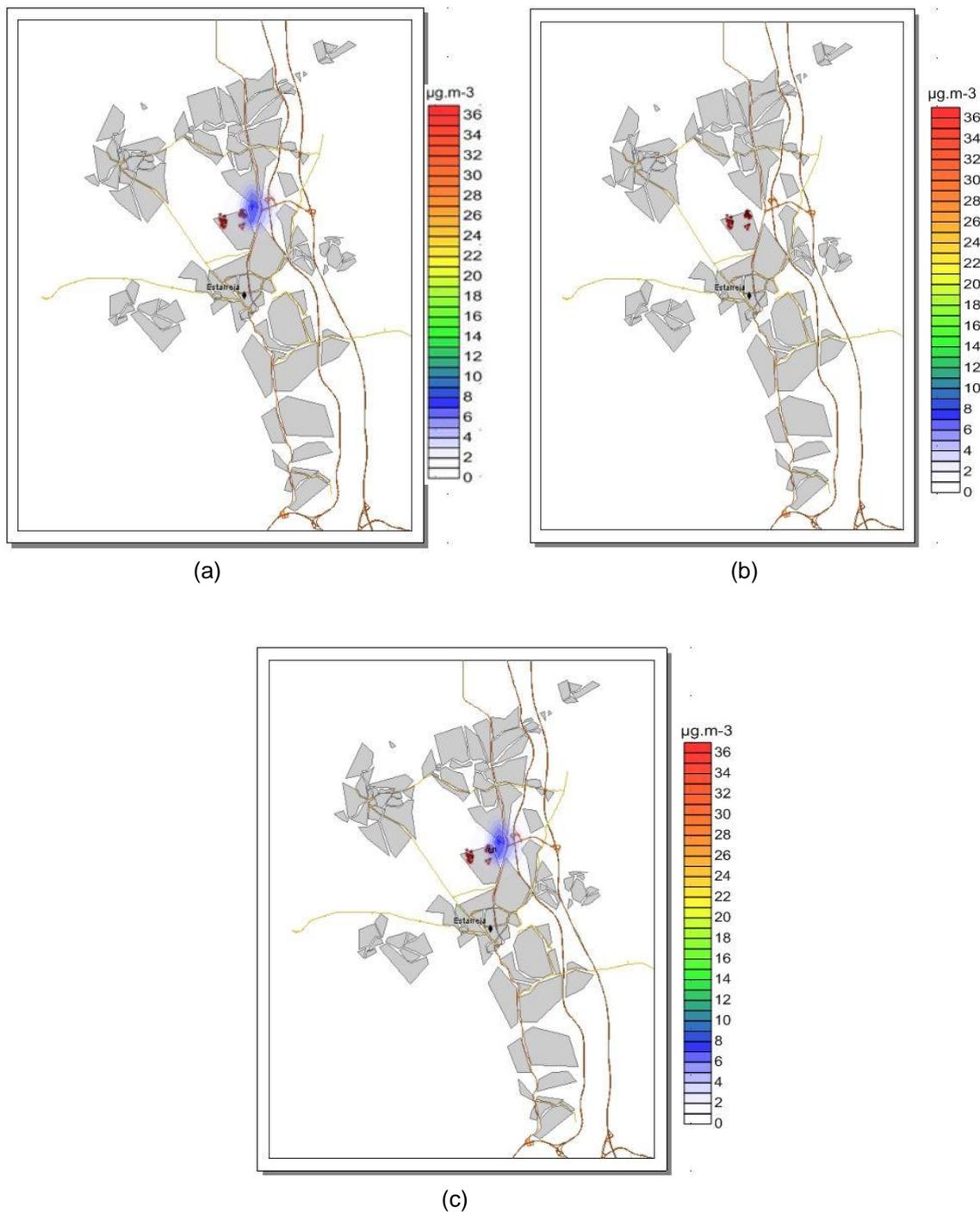


Figura 5.23 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de SO<sub>2</sub>, resultantes das simulações para Estarreja, para as 12h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

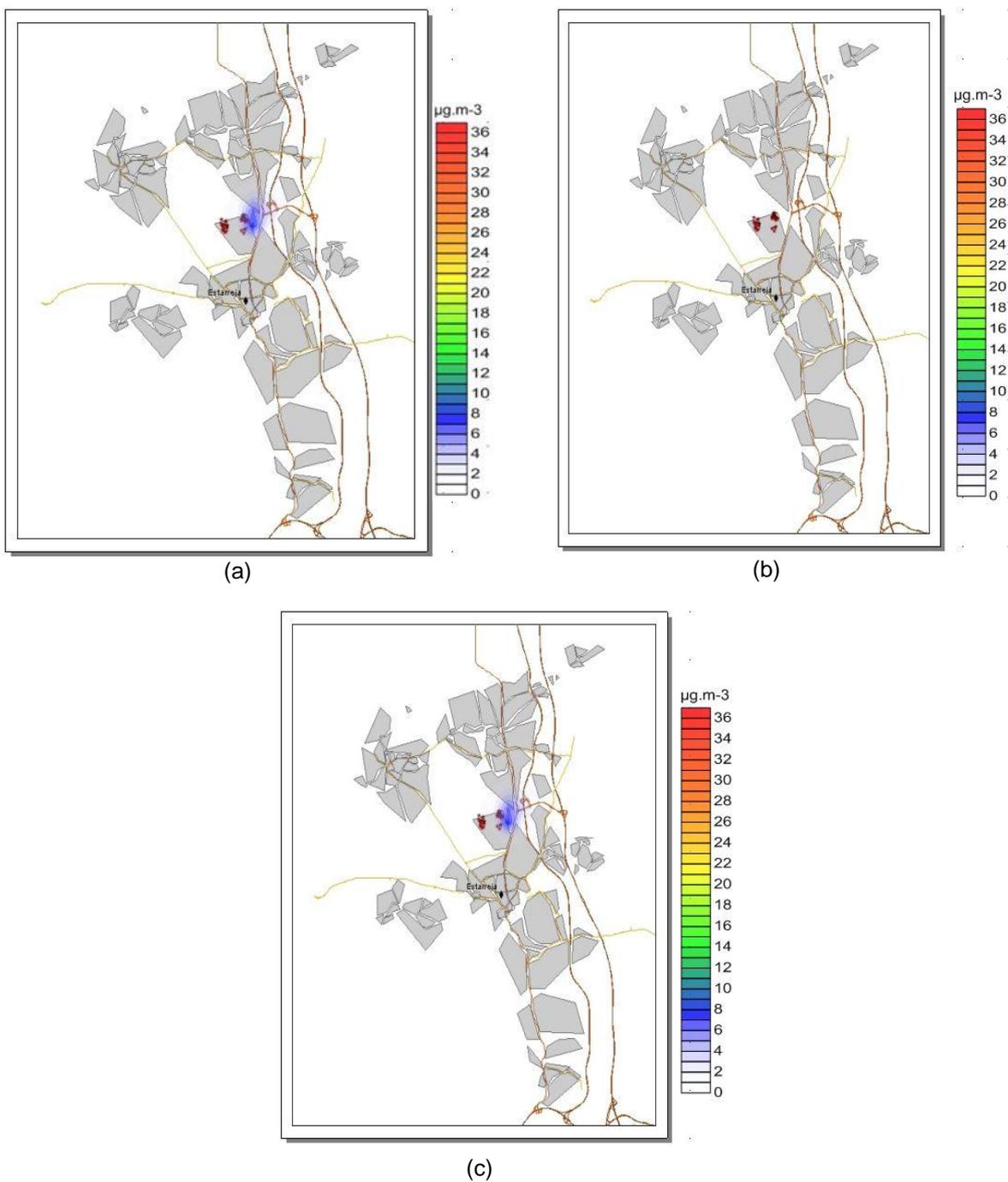


Figura 5.24 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de SO<sub>2</sub>, resultantes das simulações para Estarreja, para as 15h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

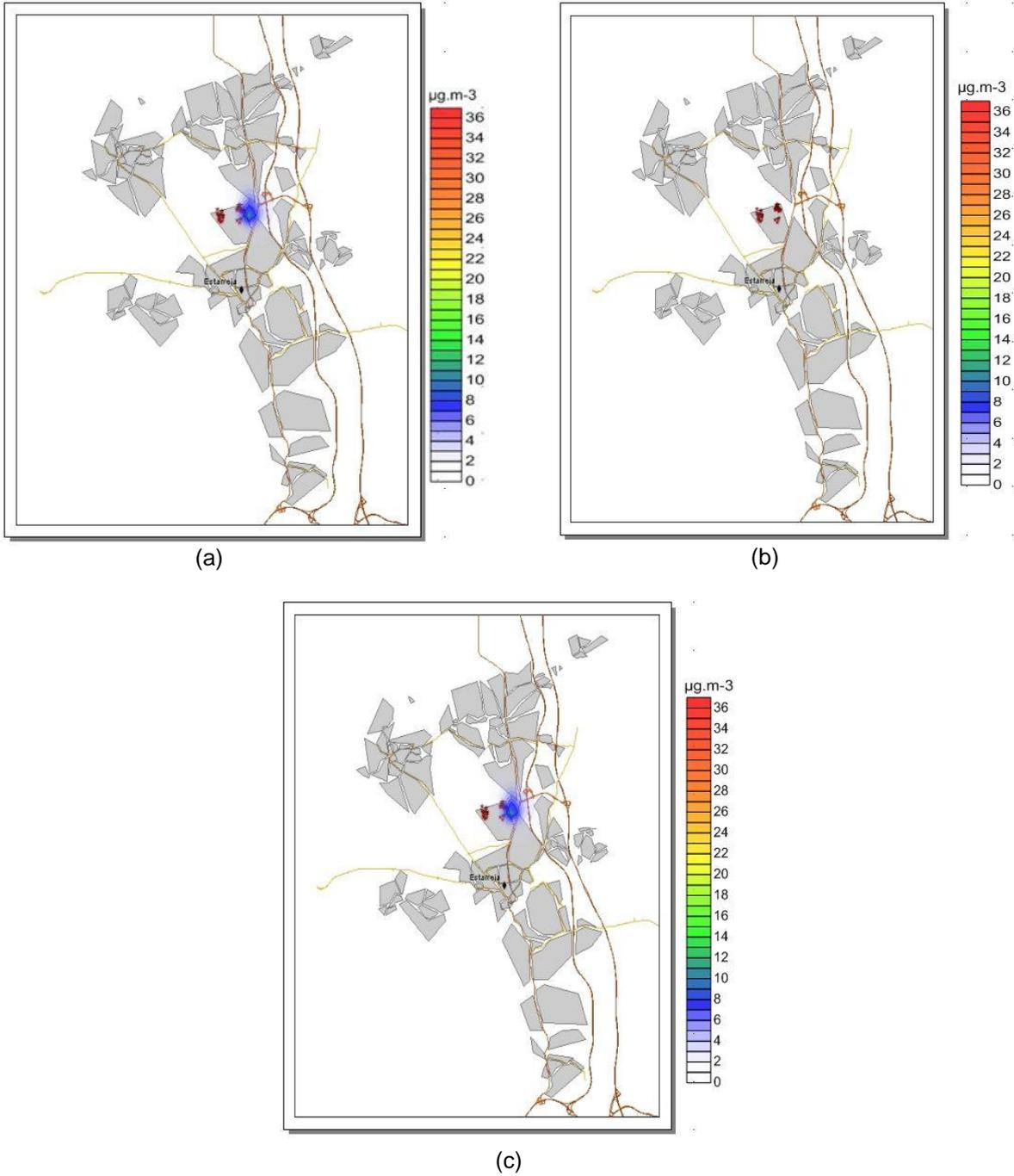


Figura 5.25 – Distribuição espacial das concentrações médias horárias de SO<sub>2</sub>, resultantes das simulações para Estarreja, para as 18h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

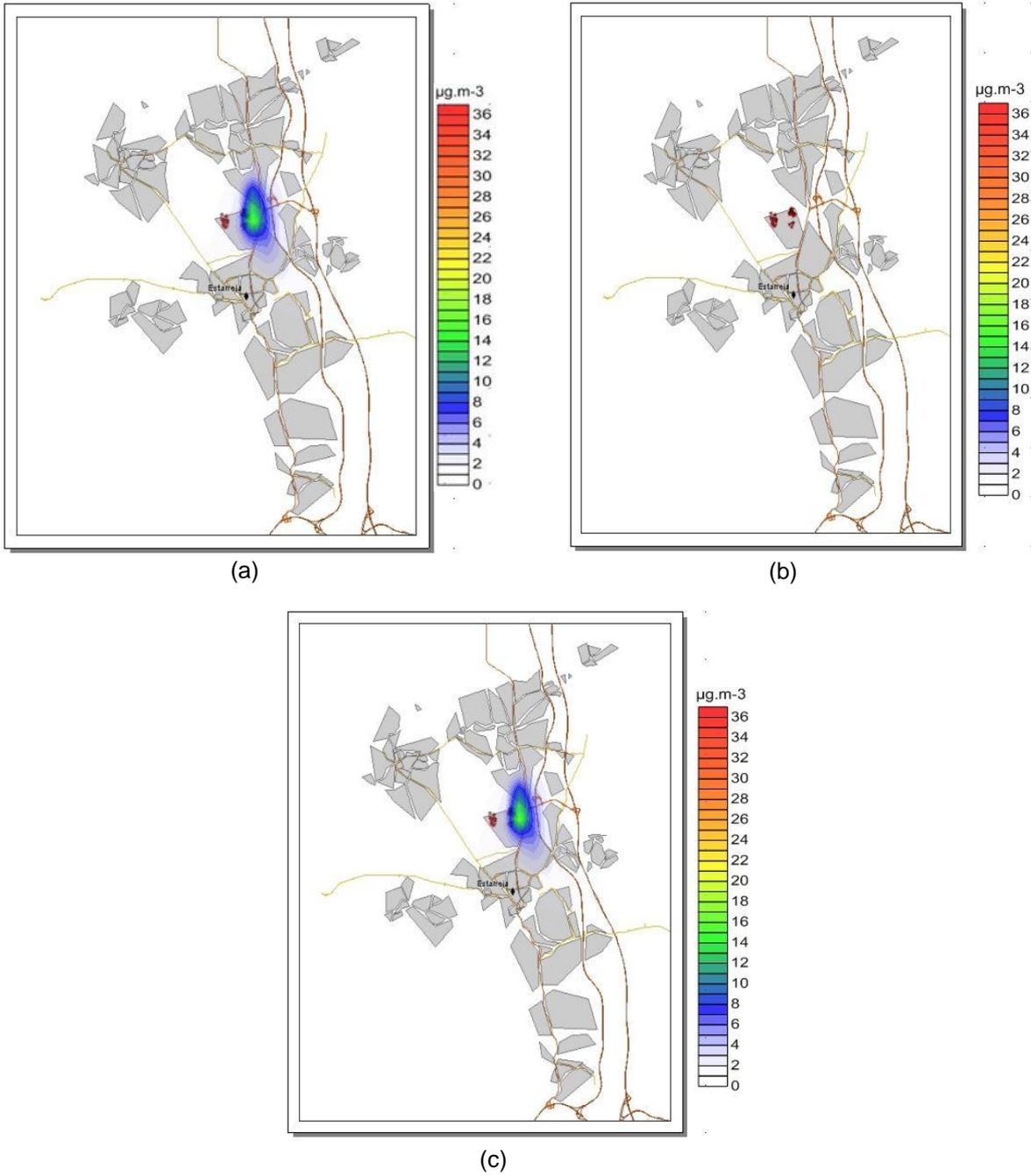


Figura 5.26 - Distribuição espacial das concentrações médias horárias de SO<sub>2</sub>, resultantes das simulações para Estarreja, para as 22h, considerando as (a) fontes pontuais, (b) fontes em linha e (c) total.

Com base nos resultados obtidos segundo o processo de modelação efetuado para o poluente atmosférico SO<sub>2</sub> (ver Figura 5.21 a 5.26), pode-se verificar o seguinte:

- (1) As fontes pontuais apresentam uma contribuição mais significativa que as fontes em linha para a qualidade do ar ambiente;
- (2) A concentração máxima registada de SO<sub>2</sub> na zona de estudo é de 36 µg.m<sup>-3</sup>. Este valor de concentração apenas é verificado às 9h junto ao Complexo Químico de Estarreja. Contudo, às 6h e 22h registam-se valores próximos dos 17 µg.m<sup>-3</sup> próximo desta zona. Para as restantes horas do dia, as concentrações são bastante inferiores a estes valores mencionados anteriormente. As concentrações mais elevadas às 9h podem ser justificadas pela reduzida velocidade do vento nessa hora (ver Figura 4.3) resultando numa maior concentração deste poluente ao nível do solo, ao contrário do que acontece para os restantes períodos do dia;
- (3) Tendo em consideração todo o domínio de estudo, as concentrações de SO<sub>2</sub> apenas são mais elevadas junto ao Complexo Químico de Estarreja, apresentando a restante área do domínio concentrações baixas ou até mesmo nulas deste poluente;
- (4) As concentrações mais elevadas deste poluente às 22h podem ser explicadas pela altura da camada limite atmosférica neste período do dia. Como a CLA é mais baixa nesse período origina um aumento da concentração de poluentes à superfície.

Efetuada uma comparação entre o contributo relativo de fontes em linha e pontuais para a qualidade do ar, e o contributo relativo das emissões destas duas fontes (Figura 5.1), é possível verificar que a contribuição relativa das várias fontes para a qualidade do ar está de acordo com a sua contribuição relativa para as emissões totais. Esta concordância de resultados era expectável uma vez que as emissões são o principal dado de entrada para a modelação da qualidade do ar.

### **5.3. Comparação com valores medidos**

De forma a avaliar o comportamento do modelo URBAIR na área de estudo, as concentrações simuladas, para a zona da estação de monitorização da qualidade do ar da Teixugueira, foram comparadas com os valores de qualidade do ar medidos na referida estação. Esta análise foi efetuada apenas para NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> e PM10, pois eram os únicos poluentes em estudo monitorizados em contínuo na estação da Teixugueira.



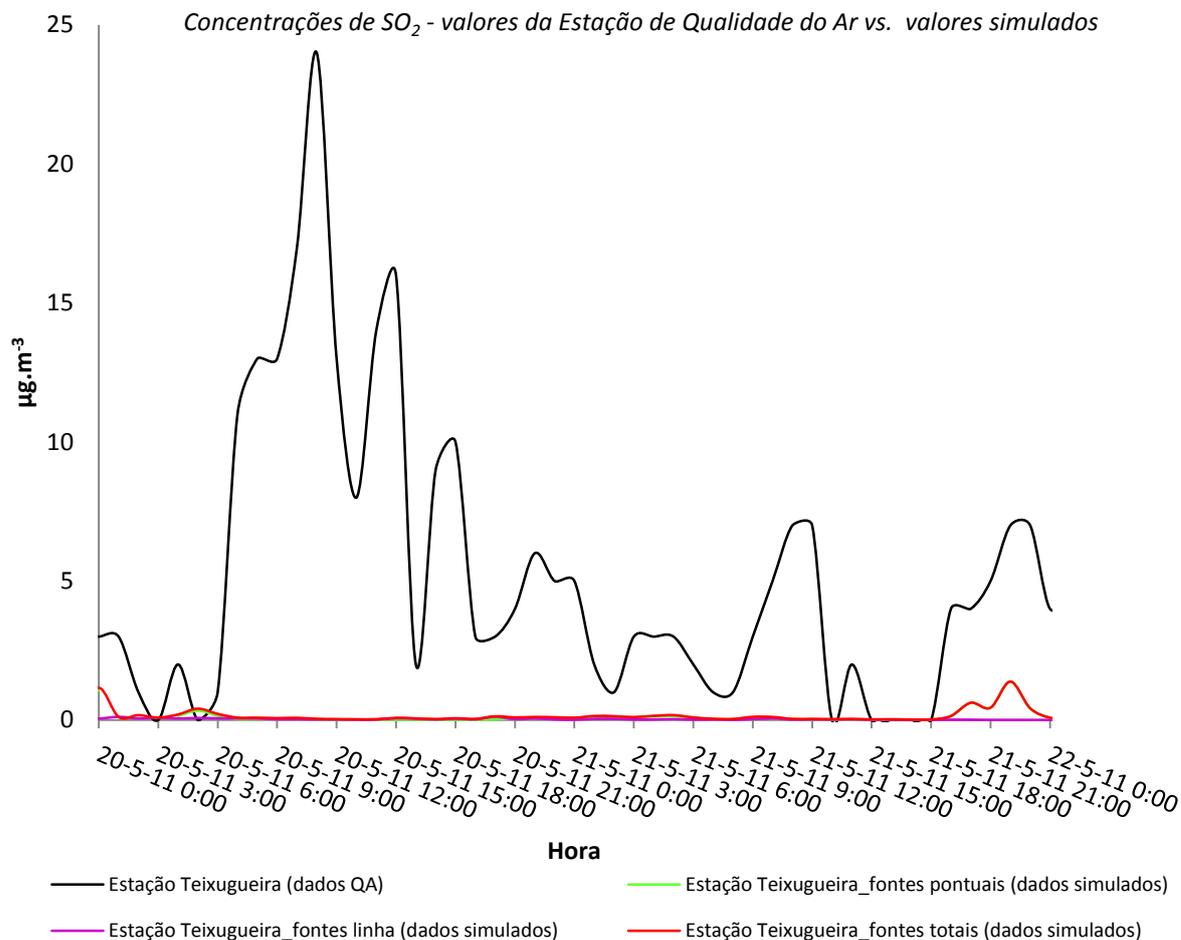


Figura 5.28 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de SO<sub>2</sub>, resultantes das simulações para Estarreja e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para os dias 20 e 21 de maio de 2011.

Segundo os resultados apresentados nas Figuras 5.27 e 5.28, verifica-se que os valores de qualidade do ar referentes ao SO<sub>2</sub> observados na estação da Teixugueira são bastante mais elevados que os valores simulados. Além disso, os valores simulados não apresentam variações horárias significativas, ao contrário do que acontece com os valores de reais da estação da Teixugueira. Desta forma, verifica-se que existe um desajuste entre os valores medidos e os valores simulados. Os valores totais simulados apresentam uma variação semelhante aos valores simulados para as fontes pontuais.

Relativamente a PM<sub>10</sub>, na Figura 5.29 encontram-se apresentadas as concentrações registadas na estação de qualidade do ar da Teixugueira e os valores de concentração simulados com recurso ao modelo URBAIR, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.

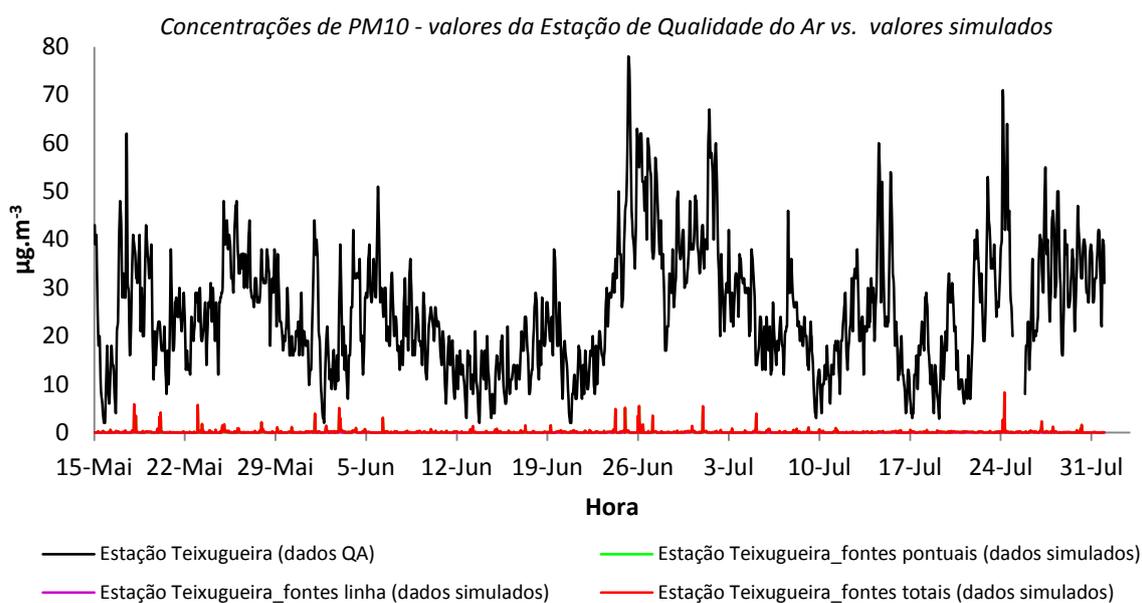


Figura 5.29 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.

Com o intuito de analisar os resultados relativos às PM10 mais pormenorizadamente, na Figura 5.30 serão apresentados para os dias 20 e 21 de maio de 2011 as concentrações médias horárias, à semelhança deste tipo de análise efetuada anteriormente para o SO<sub>2</sub>.

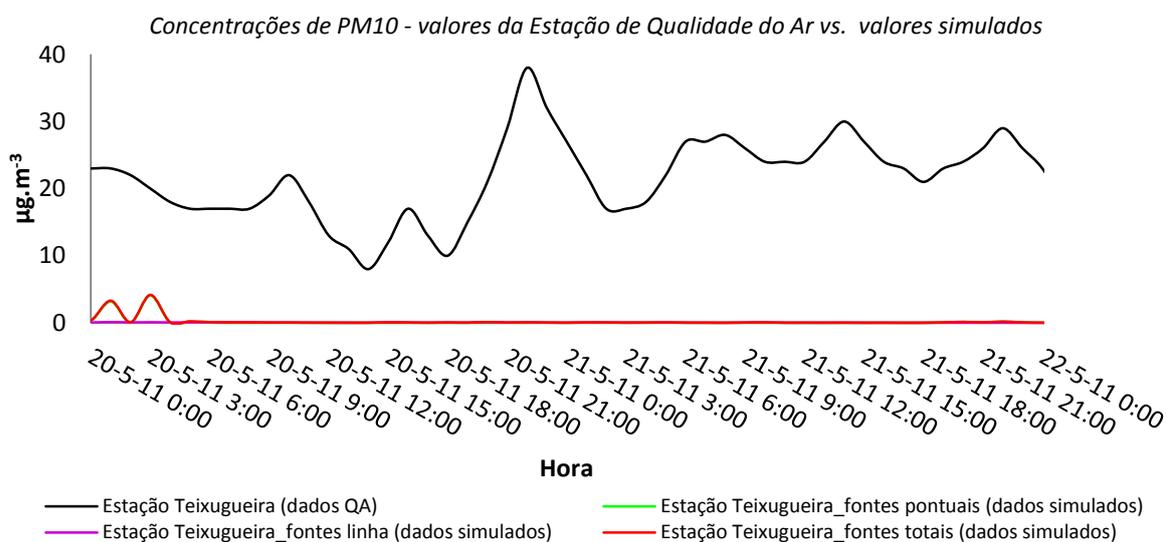


Figura 5.30 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para os dias 20 e 21 de maio de 2011.

De acordo com a Figura 5.29 e 5.30 é possível verificar que os valores das concentrações resultantes das simulações efetuadas são bastante inferiores aos valores reais medidos na estação de qualidade do ar da Teixugueira, relativamente ao poluente PM10.

Na Figura 5.31 encontra-se apresentada a evolução das concentrações de NO<sub>x</sub> registadas na estação de qualidade do ar da Teixugueira e os valores de concentração simulados com recurso ao modelo URBAIR.

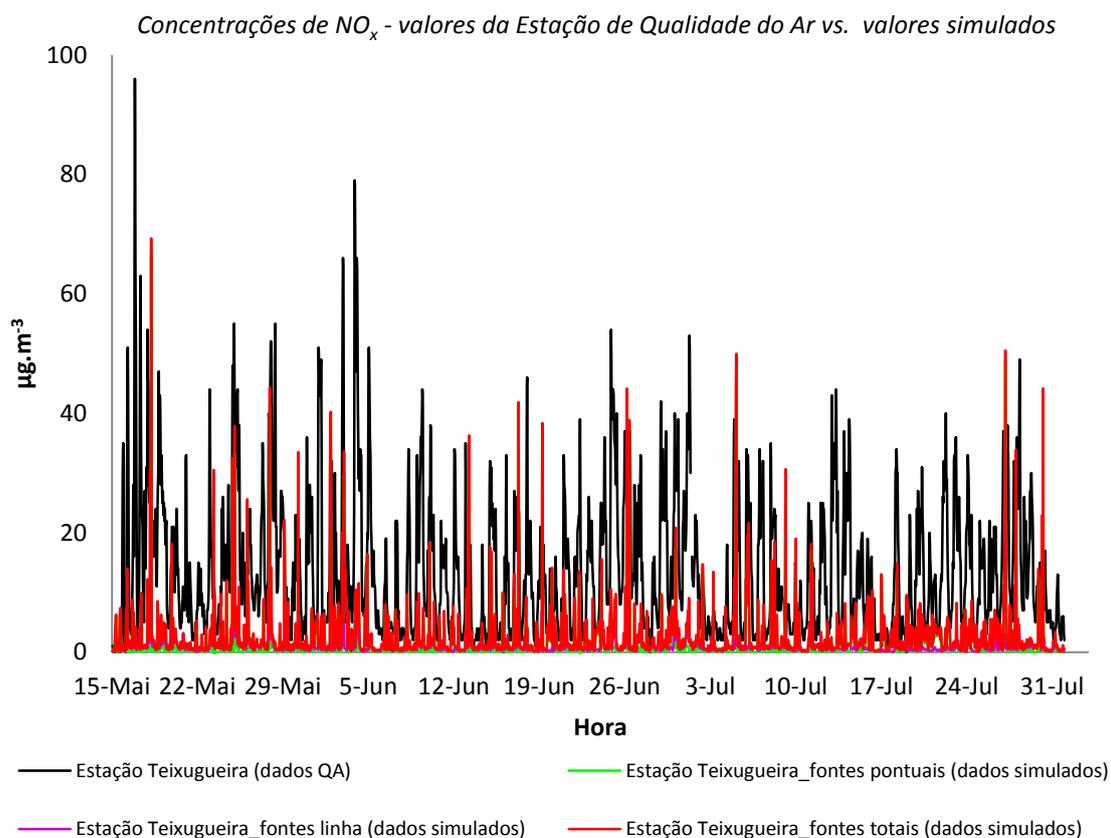


Figura 5.31 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de NO<sub>x</sub>, resultantes das simulações para Estarreja e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.

Analogamente ao anteriormente apresentado para as PM10, na Figura 5.32 encontram-se representados os valores de concentrações de NO<sub>x</sub> referentes aos dias 20 e 21 de maio de 2011.

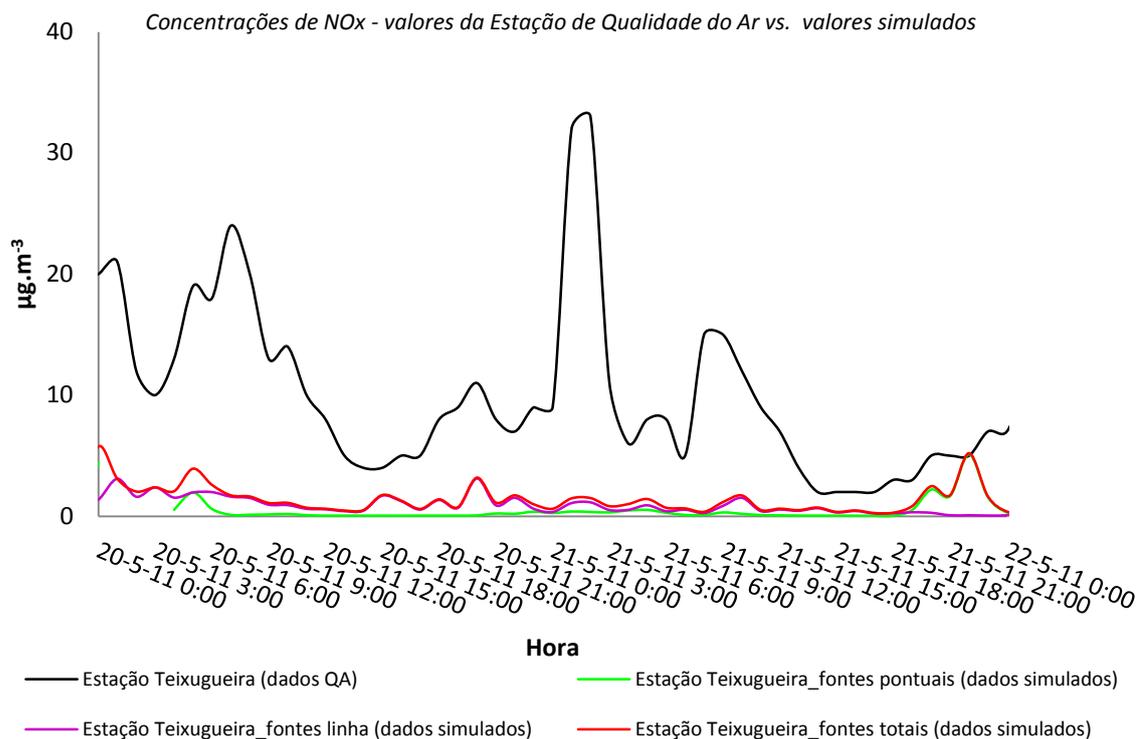


Figura 5.32 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de NO<sub>x</sub>, resultantes das simulações para Estarreja e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para os dias 20 e 21 de maio de 2011.

Analisando os resultados das Figuras 5.31 e 5.32, é possível verificar que os valores de NO<sub>x</sub> registados na estação de qualidade do ar da Teixugueira são superiores aos valores simulados relativamente a este poluente atmosférico. Contudo, os valores totais simulados apresentam uma variação horária semelhante aos valores medidos.

Face aos resultados obtidos para a estação de qualidade do ar da Teixugueira pode-se concluir que as emissões de grandes fontes pontuais e do tráfego rodoviário não justificam os níveis de qualidade do ar na região. Assim, procurou-se obter uma explicação para as diferenças encontradas entre as concentrações simuladas e as medidas na referida estação.

Uma vez que nas simulações realizadas não foram considerados níveis de fundo, optou-se por considera-los à posteriori. Assim, às concentrações horárias simuladas pelo modelo URBAIR somaram-se as concentrações medidas na estação classificada como suburbana de fundo mais próxima da área de estudo, a estação de monitorização de qualidade do ar de Ílhavo.

Nas Figuras 5.33, 5.35 e 5.37 encontram-se representados os valores da concentração de SO<sub>2</sub>, PM10 e NO<sub>x</sub>, respetivamente, medidos na estação da Teixugueira e os valores simulados acrescidos dos valores de fundo da estação de Ílhavo, para esses mesmos poluentes,

relativamente ao período de 15 de maio a 31 de julho de 2011. De forma a analisar com maior detalhe a variação das concentrações de SO<sub>2</sub>, PM10 e NO<sub>x</sub> procedeu-se à representação desses valores para os dias 20 e 21 de maio de 2011, como pode ser observado as Figuras 5.34, 5.36 e 5.38, respetivamente.

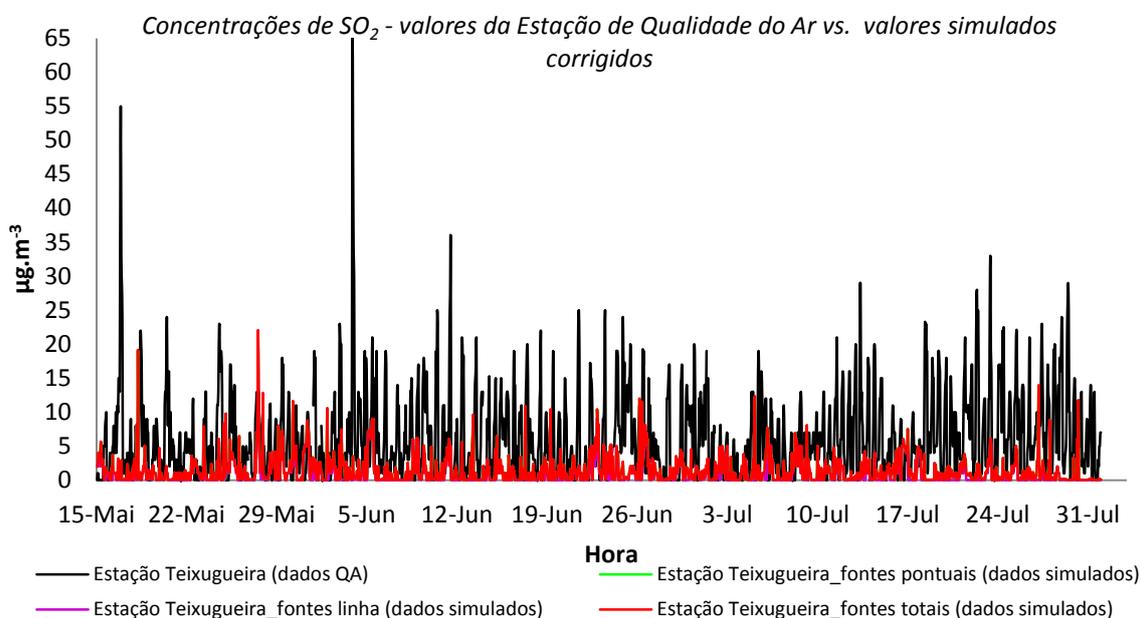


Figura 5.33 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de SO<sub>2</sub>, resultantes das simulações para Estarreja corrigidas com valores de fundo e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.

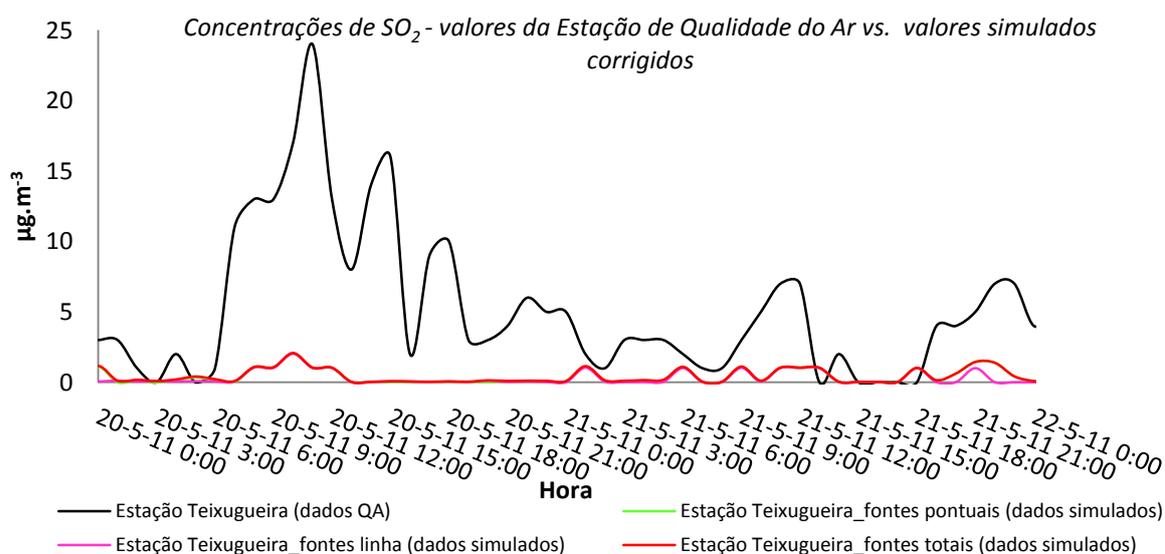


Figura 5.34 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de SO<sub>2</sub>, resultantes das simulações para Estarreja corrigidas com valores de fundo e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para os dias 20 e 21 de maio de 2011.

Analisando os resultados das Figuras 5.33 e 5.34 pode-se verificar que mesmo após terem sido adicionados valores de fundo aos valores simulados, continua a haver uma diferença entre as concentrações simuladas, já considerando o transporte regional de poluentes (valores de fundo) e os valores registados na estação da Teixugueira. Esta discrepância de valores poderá ser devida ao facto de nas simulações efetuadas apenas terem sido consideradas as fontes pontuais e em linha, não tendo sido consideradas outras fontes emissoras de SO<sub>2</sub>. Assim, pode-se concluir que “outras fontes” possuem um forte contributo na para a qualidade do ar ambiente, relativamente ao poluente SO<sub>2</sub>, devido a haver uma amplitude tão grande entre os valores simulados e os registados na estação da Teixugueira. Fazendo uma comparação entre os resultados da Figura 5.28 e 5.34 é possível verificar que a contribuição das concentrações de fundo não é muito relevante, o que significa que o SO<sub>2</sub> existente na zona de Estarreja não é devido principalmente ao transporte regional de poluentes atmosféricos.

Comparando os valores da Figura 5.33 com o valor limite horário (350 µg.m<sup>-3</sup>) e valor limite diário (125 µg.m<sup>-3</sup>) legislados para o SO<sub>2</sub>, pode-se verificar que as concentrações simuladas para a zona da estação da Teixugueira, incluindo os valores de fundo, apresentam valores inferiores aos valores limite legislados, cumprindo desta forma a legislação em vigor para este poluente.

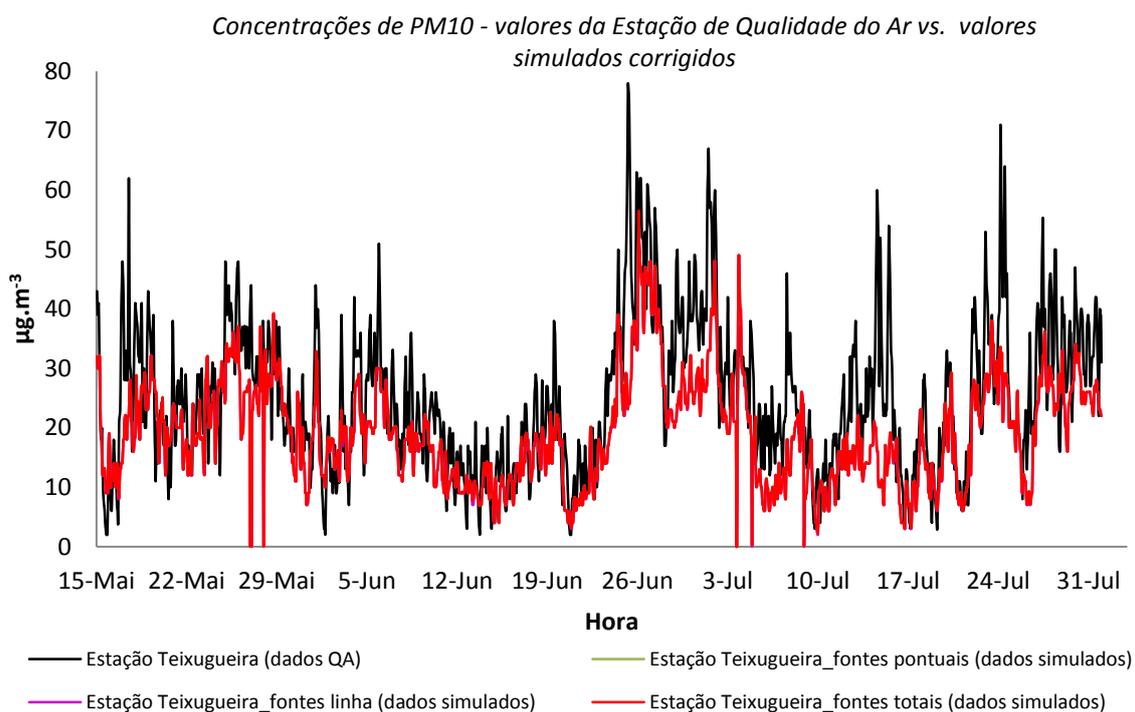


Figura 5.35 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja corrigidas com valores de fundo e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.

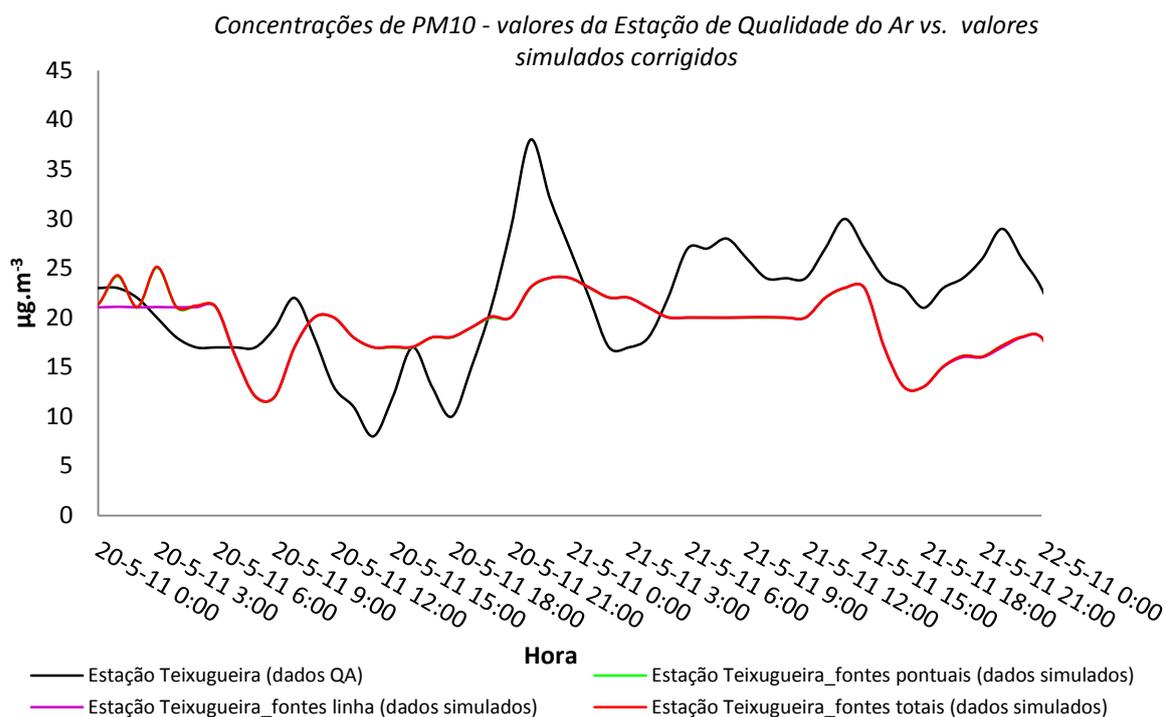


Figura 5.36 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de PM10, resultantes das simulações para Estarreja corrigidas com valores de fundo e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para os dias 20 e 21 de maio de 2011.

Segundo os resultados apresentados nas Figuras 5.35 e 5.36 pode-se verificar que após a soma dos valores de fundo aos valores simulados, os valores das concentrações simuladas apresentam-se muito próximos dos valores reais de qualidade do ar registados na estação da Teixugueira, para o poluente PM10. Desta forma pode-se concluir que as concentrações de PM10 registadas na zona de Estarreja são maioritariamente devidas ao transporte regional de poluentes, dado que as concentrações simuladas totais deste poluente sem valores de fundo são muito reduzidas (ver Figura 5.29).

Comparando os valores da Figura 5.35 com o valor limite diário ( $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) e valor limite anual ( $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) legislados para as PM10, pode-se verificar que apesar de para algumas horas se ultrapassar os  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$  as concentrações simuladas para a zona da estação da Teixugueira, incluindo os valores de fundo, apresentam valores inferiores aos valores limite legislados para os respetivos períodos temporais (dia e ano), cumprindo desta forma a legislação em vigor para este poluente.

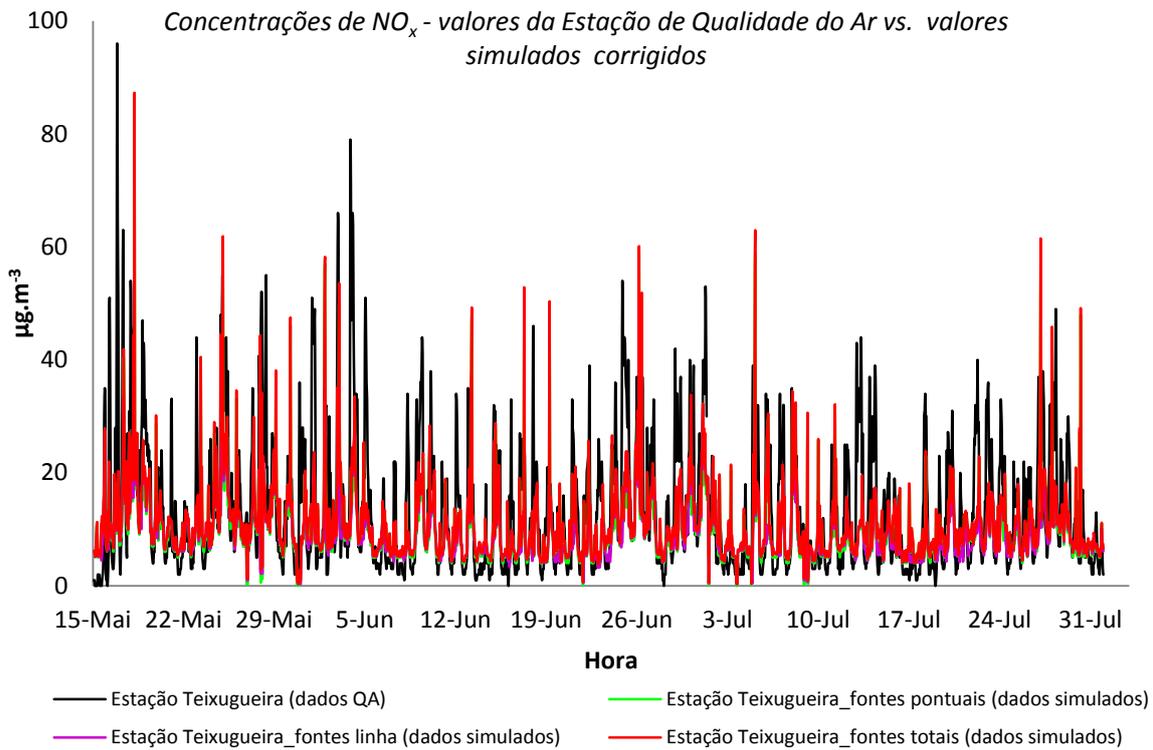


Figura 5.37 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de NO<sub>x</sub>, resultantes das simulações para Estarreja corrigidas com valores de fundo e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.

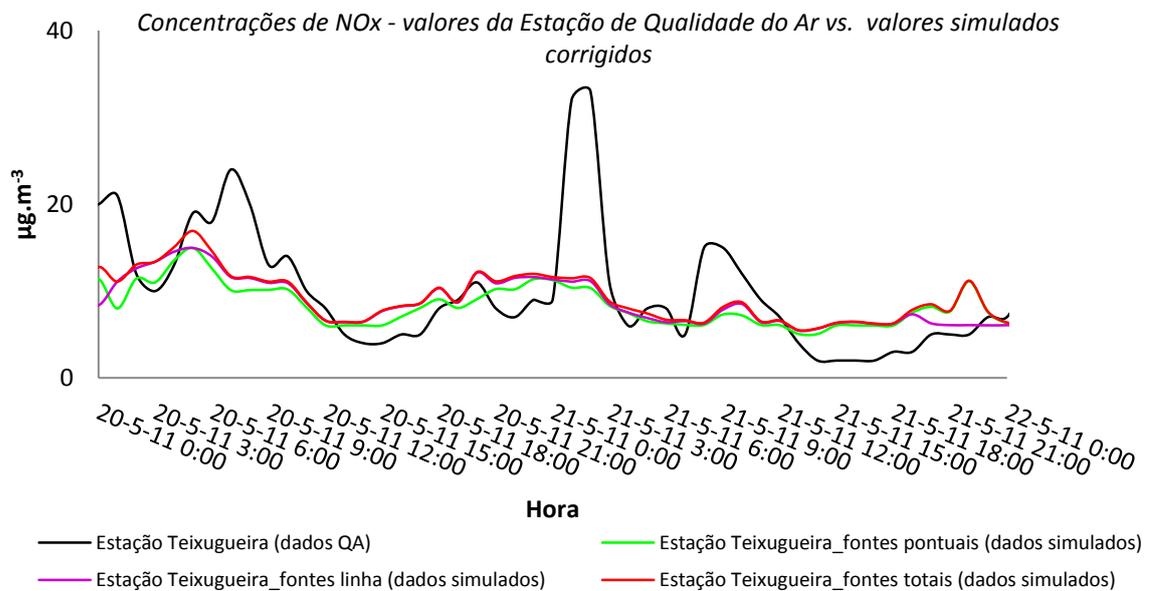


Figura 5.38 – Evolução temporal das concentrações médias horárias de NO<sub>x</sub>, resultantes das simulações para Estarreja corrigidas com valores de fundo e dos valores de qualidade do ar medidos na Estação da Teixugueira, para os dias 20 e 21 de maio de 2011.

De acordo com os resultados observáveis nas Figuras 5.37 e 5.38, pode-se verificar que com a adição de valores de fundo os resultados simulados já se encontram muito próximos dos valores registados na estação de qualidade do ar da Teixugueira. Contudo, durante a tarde registam-se valores de  $\text{NO}_x$  inferiores aos simulados. Este facto pode ser justificado por o modelo não considerar a fotoquímica da atmosfera, não contabilizando assim o consumo de  $\text{NO}_x$  na atmosfera nestes períodos. Comparando a Figura 5.32 com a Figura 5.38 pode-se verificar mais de metade do  $\text{NO}_x$  resulta de valores de fundo, ou seja, é proveniente de regiões próximas à zona de estudo. Comparando os valores da Figura 5.37 com o valor limite horário ( $200 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) e valor limite anual ( $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) legislados para o poluente  $\text{NO}_2$ , pode-se verificar que as concentrações simuladas para a zona da estação da Teixugueira, incluindo os valores de fundo, apresentam valores inferiores aos valores limite legislados, cumprindo desta forma a legislação em vigor para este poluente. Não é correto fazer esta análise de uma forma direta, pois está-se a fazer uma comparação entre  $\text{NO}_x$  e  $\text{NO}_2$ , contudo, tendo em conta que o  $\text{NO}_x$  é composto por  $\text{NO}_2$  e  $\text{NO}$  e como os valores de  $\text{NO}_x$  são inferiores aos valores limite legislados, significa que há um cumprimento da legislação face ao poluente  $\text{NO}_2$  incluído nas simulações.

#### **5.4. Qualidade do ar em locais estratégicos**

Para uma caracterização da qualidade do ar mais detalhada sobre a região de estudo, mais concretamente com vista à proteção da saúde humana definiram-se três locais estratégicos, habitualmente “ocupados” pela população, dentro do domínio de estudo, de forma a realizar esta análise. A seleção destes três locais dentro do domínio de estudo teve como principal critério de seleção estarem situados em zonas residenciais.

Assim, os três locais selecionados foram: (1) zonas habitacionais junto ao Complexo Químico de Estarreja; (2) centro de Estarreja; (3) zona habitacional próxima da Avenida Visconde Salreu, da EN-109 e da A1 e A29. A escolha destes locais distintos teve como principal objetivo avaliar as concentrações de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{CO}$  em locais no domínio de estudo, sob influência de diferentes fontes emissoras de poluentes atmosféricos. Para esta análise, foram consideradas as concentrações simuladas pelo modelo nos recetores correspondentes aos locais, corrigidos com os valores horários das concentrações de fundo medidos na estação de Ílhavo, para os poluentes  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{SO}_2$ . Para o  $\text{CO}$ , devido à estação de Ílhavo não realizar medições para este poluente, esta análise apenas considera as concentrações simuladas.

Nas Figuras 5.39, 5.41, 5.43 e 5.45 encontram-se representadas as concentrações horárias de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{CO}$ , respetivamente, para os três locais selecionados no domínio de estudo, para o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011. De forma a apresentar os resultados de

forma mais detalhada, as Figuras 5.40, 5.42, 5.44 e 5.46 representam as concentrações horárias, respetivamente para o  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{CO}$ , para os dias 20 e 21 de maio de 2011.

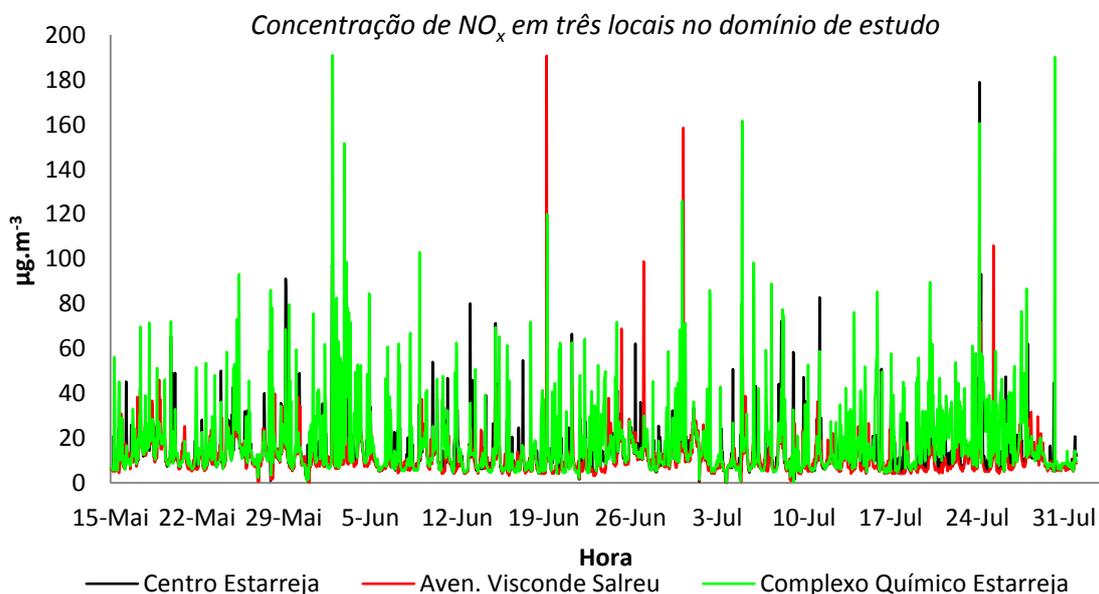


Figura 5.39 – Concentrações horárias de  $\text{NO}_x$ , para os três locais selecionados no domínio, relativamente ao período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.

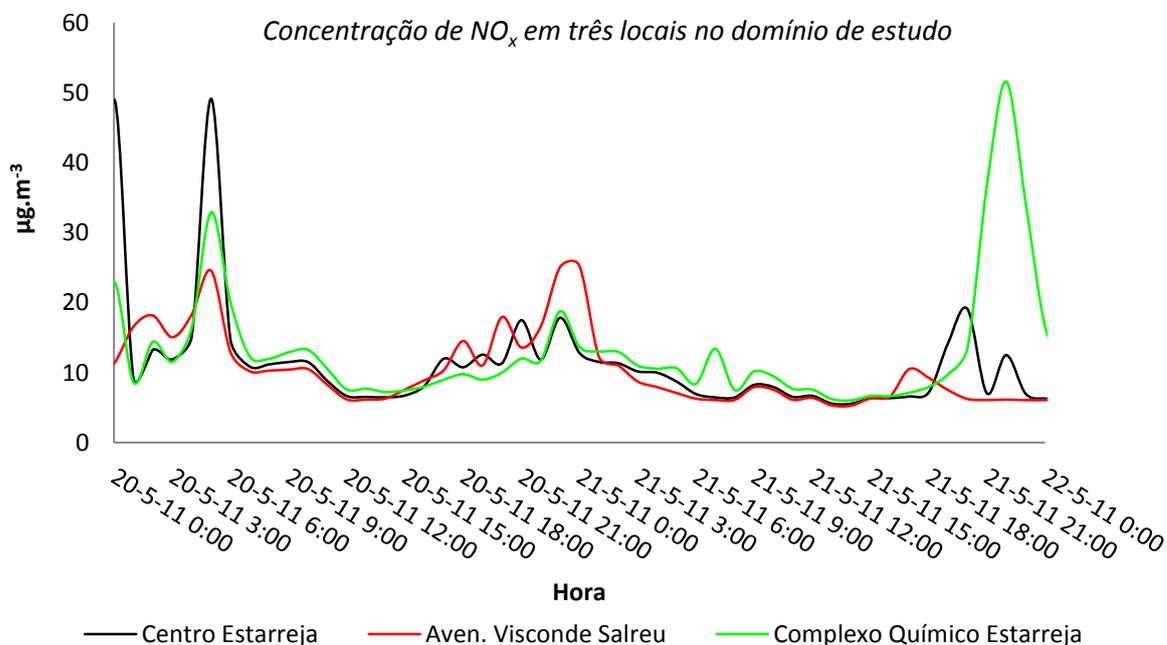


Figura 5.40 – Concentrações horárias de  $\text{NO}_x$ , para os três locais selecionados no domínio, relativamente aos dias 20 e 21 de maio de 2011.

De acordo com os resultados apresentados nas Figuras 5.39 e 5.40, pode-se verificar que de uma modo geral as concentrações de  $\text{NO}_x$  são mais elevadas nas zonas habitacionais junto ao Complexo Químico de Estarreja. A zona habitacional junto à Avenida Visconde Salreu, A1, A29 e EN-109 é a que apresenta menores valores de concentrações de  $\text{NO}_x$ . A Figura 5.40 evidencia que, pontualmente, poderão ocorrer níveis de concentrações mais elevados tanto no centro de Estarreja como na Avenida Visconde Salreu.

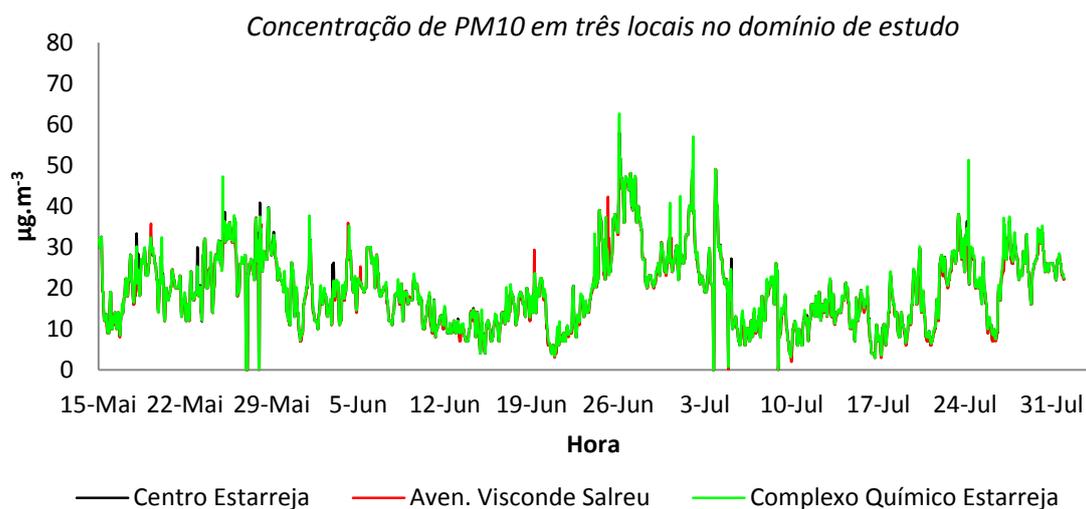


Figura 5.41 – Concentrações horárias de PM10, para os três locais selecionados no domínio, relativamente ao período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.

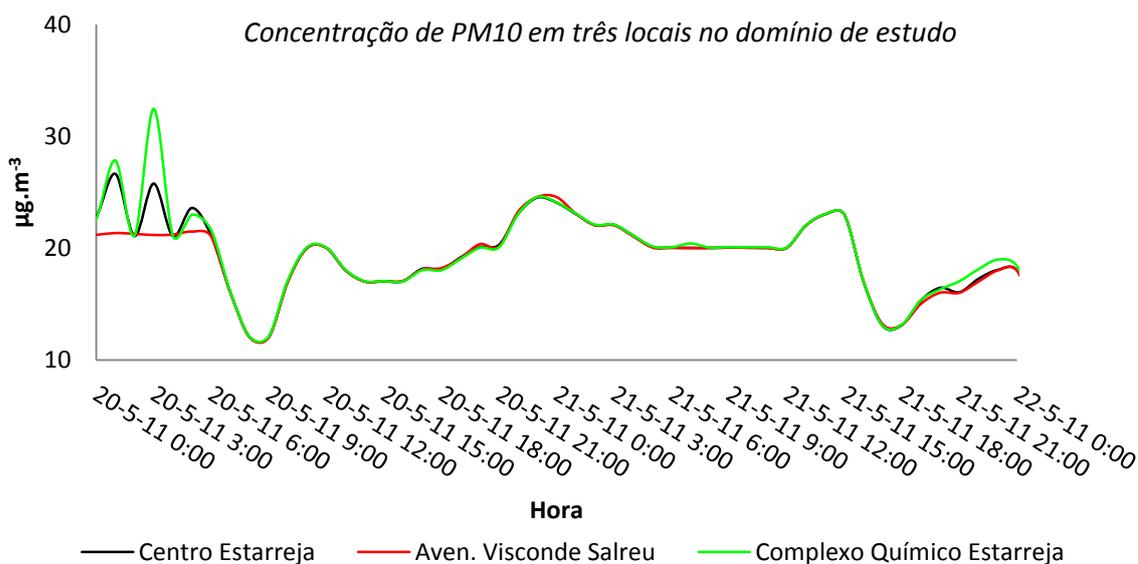


Figura 5.42 – Concentrações horárias de PM10, para os três locais selecionados no domínio, relativamente aos dias 20 e 21 de maio de 2011.

Relativamente a PM10 (Figuras 5.41 e 5.42), pode-se verificar que as concentrações de PM10 são bastante similares nos três locais em estudo, registando-se valores ligeiramente superiores junto ao Complexo Químico de Estarreja, comparativamente com os restantes dois locais.

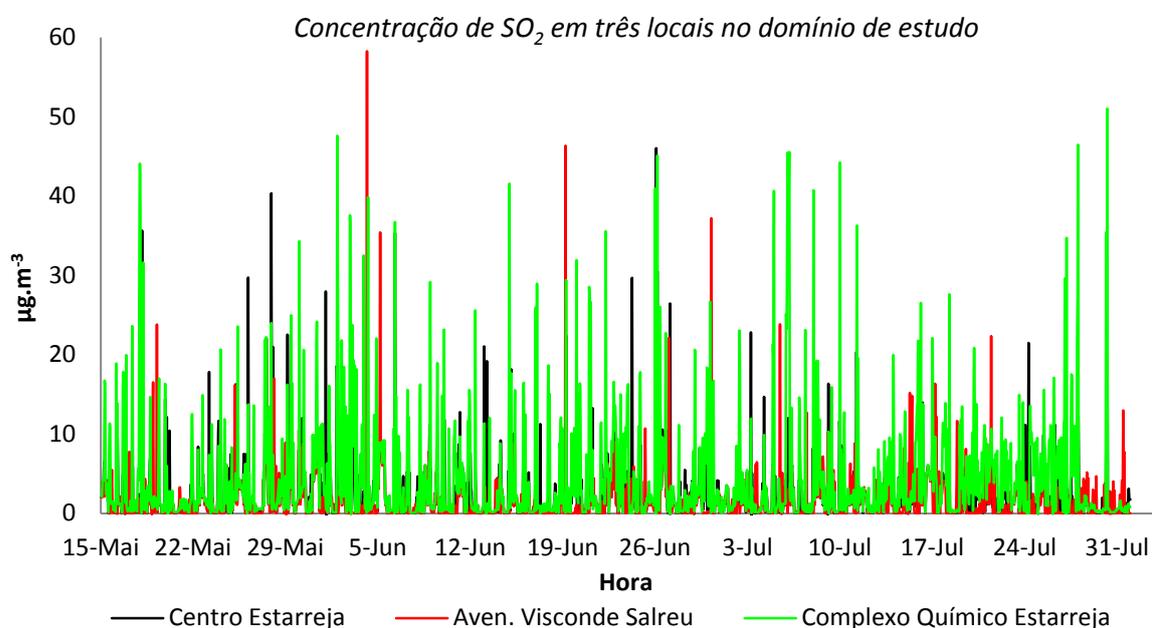


Figura 5.43 – Concentrações horárias de SO<sub>2</sub>, para os três locais selecionados no domínio, relativamente ao período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.

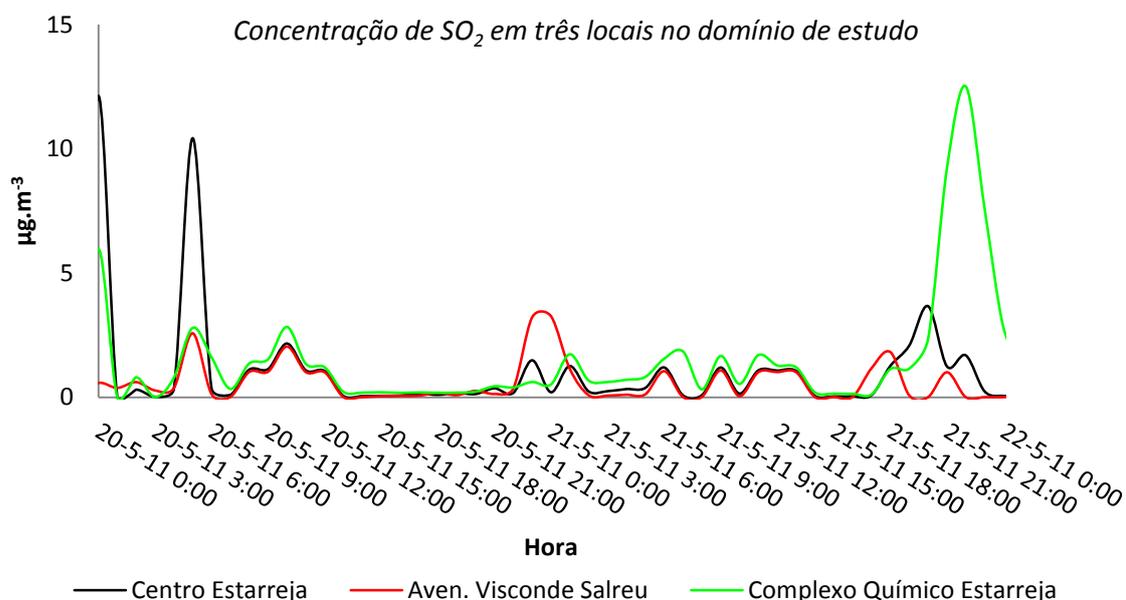


Figura 5.44 – Concentrações horárias de PM10, para os três locais selecionados no domínio, relativamente aos dias 20 e 21 de maio de 2011.

Fazendo uma interpretação dos resultados apresentados nas Figuras 5.43 e 5.44, pode-se concluir que de um modo geral as concentrações de SO<sub>2</sub> são mais elevadas nas zonas habitacionais junto ao Complexo Químico de Estarreja. A zona habitacional junto à Avenida Visconde Salreu, A1, A29 e EN-109 é a que apresenta concentrações de SO<sub>2</sub> mais reduzidas, comparativamente com os restantes dois locais em estudo. No entanto, de acordo com a Figura 5.44, eventualmente poderão ocorrer níveis de concentrações mais elevadas na Avenida Visconde Salreu e no centro de Estarreja.

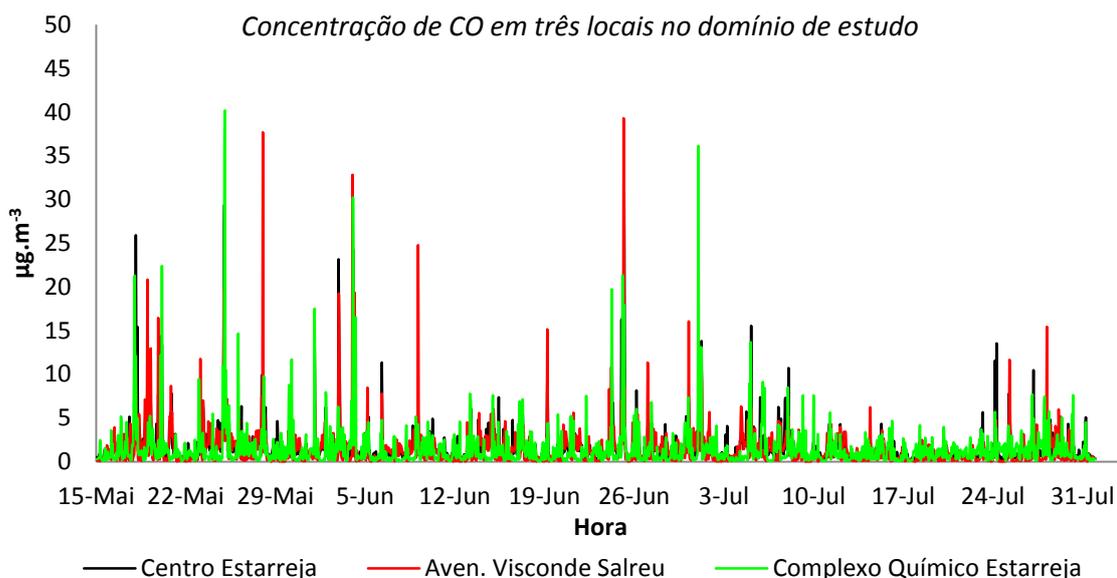


Figura 5.45 – Concentrações horárias de CO, para os três locais selecionados no domínio, relativamente ao período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011.

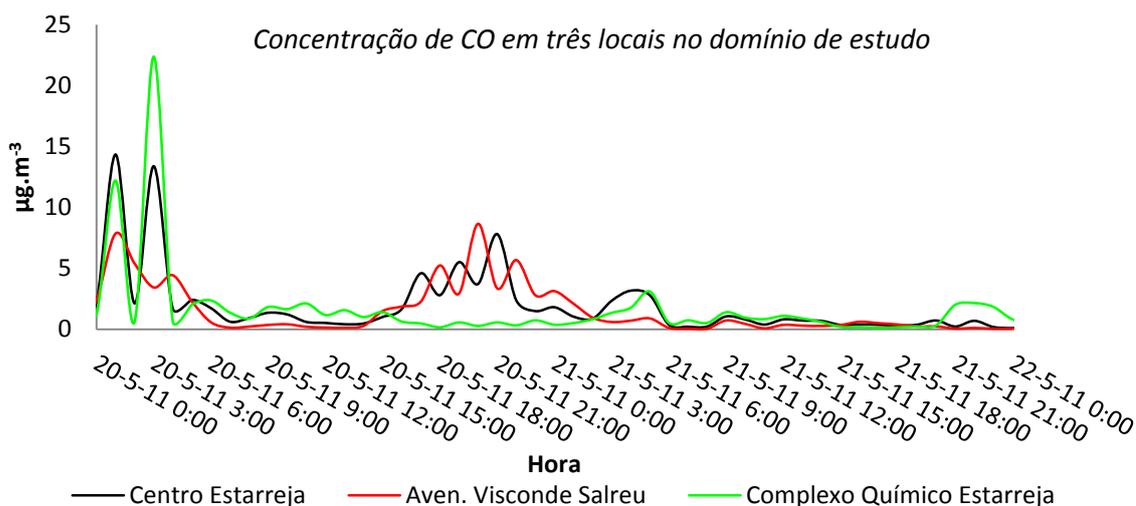


Figura 5.46 – Concentrações horárias de CO, para os três locais selecionados no domínio, relativamente aos dias 20 e 21 de maio de 2011.

Fazendo uma interpretação dos resultados apresentados nas Figuras 5.45 e 5.46, pode-se verificar que de um modo geral as concentrações de CO são mais elevadas nas zonas habitacionais junto ao Complexo Químico de Estarreja. Contudo, pontualmente, ocorrem níveis de concentrações mais elevados tanto no centro de Estarreja como na Avenida Visconde Salreu.

É de salientar que de acordo com a análise do Inventário Nacional de Emissões relativamente à contribuição relativa das fontes emissoras, efetuada anteriormente, as “outras fontes” têm um contributo relevante para este poluente. Desta forma, as concentrações de CO apresentadas nas Figuras 5.45 e 5.46 não são representativas da qualidade do ar em cada um dos locais, apresentando-se subestimadas.



## 6. Conclusão

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo principal de avaliar o contributo das várias fontes, indústria e tráfego rodoviário, na qualidade do ar no município de Estarreja. Para tal recorreu-se a um modelo Gaussiano de 2ª ordem denominado URBAIR. Este modelo foi desenvolvido no Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e é principalmente utilizado para simular a dispersão de poluentes à escala urbana.

Desta forma, efetuaram-se simulações para os poluentes CO, NO<sub>x</sub>, PM10 e SO<sub>2</sub>, tendo em conta dois cenários distintos: (1) considerando apenas as fontes industriais e (2) considerando exclusivamente o tráfego, de forma a avaliar a contribuição relativa de cada uma delas, para a qualidade do ar na zona de estudo. A zona de estudo apresenta um domínio de simulação de 17000 m por 14000 m, abrangendo o centro de Estarreja, o Complexo Químico de Estarreja e as principais vias de tráfego rodoviário (A1, A29, EN-109 e algumas vias municipais).

Para uma melhor interpretação dos resultados obtidos, efetuou-se uma análise detalhada dos valores de emissões gerados pelos diversos setores de atividade no concelho de Estarreja, tendo por base os dados do Inventário Nacional de Emissões para este concelho para o ano de 2009. Assim, considerando as emissões geradas pela indústria, pelo tráfego e por outras fontes, para os compostos CO, PM10, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, pode-se concluir que as emissões geradas pelo tráfego rodoviário são reduzidas comparativamente com as emissões geradas pelas fontes industriais, para todos estes poluentes, com exceção do NO<sub>x</sub> cujo tráfego rodoviário apresenta uma emissão superior à indústria. A contribuição de outras fontes na emissão de PM10, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> é reduzida, comparativamente com as fontes analisadas, apresentando uma contribuição de aproximadamente 6%, 7% e 8,5% respetivamente. Contudo, para o CO, a contribuição das outras fontes é bastante relevante, comparativamente com as fontes em análise, apresentando uma contribuição de aproximadamente 75%.

Em estudos futuros efetuados para a zona de Estarreja, relativamente à qualidade do ar ambiente, é aceitável considerar a indústria e o tráfego rodoviário como as fontes representativas que afetam a qualidade do ar da zona, para os poluentes SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM10, uma vez que outras fontes apresentam um contributo pouco relevante face ao somatório das fontes industriais e de tráfego. Contudo, para o CO já é necessário considerar outras fontes pois estas apresentam uma contribuição relativa bastante elevada, comparativamente com as fontes industriais e o tráfego rodoviário.

Comparando os valores do Inventário Nacional de Emissões para o concelho de Estarreja com as emissões calculadas para cada poluente para o domínio de estudo, verifica-se que existem diferenças da contribuição relativa de cada uma das duas fontes emissoras consoante a origem dos dados considerada. Assim, de grosso modo, as diferenças da contribuição relativa de cada uma das fontes é mais notória para o CO e NO<sub>x</sub>, pois o Inventário Nacional de Emissões para o concelho de Estarreja indica que as fontes industriais são as principais emissoras de CO e o tráfego rodoviário o principal emissor de NO<sub>x</sub>, registando-se o contrário segundo os dados de emissões referentes ao domínio de estudo, onde as contribuições relativas das várias fontes indicam que o tráfego rodoviário é o principal emissor de CO e a indústria a principal emissora de NO<sub>x</sub>. Esta diferença entre os dados das emissões do Inventário Nacional de Emissões e as emissões consideradas para o domínio de estudo pode ser explicada pelo facto de o ano base ser diferente (2009 para o Inventário Nacional de Emissões e 2011 para as emissões no domínio de estudo), pelas diferenças na área de abrangência (o Inventário Nacional apenas considera o concelho de Estarreja e o domínio de estudo inclui concelhos limítrofes, havendo assim uma subestimativa das emissões do tráfego automóvel por parte do Inventário Nacional de Emissões para o concelho de Estarreja face ao domínio de estudo).

Para se proceder a uma representação espacial no domínio de estudo das concentrações de cada poluente, tendo como intuito fazer a representação de um perfil diário, determinaram-se valores de concentrações médios para as 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 22h, considerando o período entre 15 de maio e 31 de julho de 2011. Com base nos resultados de concentrações obtidos a partir do processo de modelação é possível verificar que os dois tipos de fontes não possuem contribuições iguais para todos os poluentes atmosféricos. Assim as concentrações dos diferentes poluentes variam consoante o tipo de fonte e espacialmente consoante a localização de cada tipo de fonte no domínio de estudo. A partir da aplicação do modelo URBAIR ao caso de estudo, é possível concluir que o tráfego rodoviário é o principal responsável pelas concentrações de CO no ar ambiente do domínio de estudo, pois geram concentrações deste poluente numa área bastante abrangente, comparativamente com a área de abrangência das concentrações geradas pela indústria.

As concentrações mais elevadas de CO registam-se junto às principais linhas de tráfego (A1 e A29), centro de Estarreja e Complexo Químico de Estarreja (local onde é registado o valor de concentração máximo). Estas concentrações mais elevadas registam-se principalmente às 6h, 9h e 22h, sendo a reduzida velocidade do vento verificada no período das 6h e 9h um fator determinante no aumento das concentrações deste poluente, e a baixa altura da CLA registada no período noturno também a principal responsável pelo aumento das concentrações deste poluente às 22h.

Relativamente aos restantes poluentes atmosféricos (PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>), pode-se concluir que as fontes industriais são as principais responsáveis pelos valores de concentrações simuladas. As

concentrações mais elevadas destes poluentes são obtidas junto ao Complexo Químico de Estarreja, principalmente às 6h, 9h e 22h. Estes valores mais elevados nestes períodos, comparativamente com os restantes períodos do dia em estudo, são devidos a fatores como a velocidade do vento e altura da CLA nestes períodos, como já foi explicado anteriormente.

Após uma análise da evolução temporal das concentrações simuladas, considerando três cenários (apenas fontes industriais, apenas tráfego e o total - somatório dos valores dos dois tipos de fontes), para os poluentes SO<sub>2</sub>, PM10 e NO<sub>x</sub> é possível concluir que: (1) O SO<sub>2</sub> existente na zona de Estarreja é resultante de fontes locais, tendo as “outras fontes” um contributo relevante para as concentrações de SO<sub>2</sub> no ar ambiente nesta zona; (2) as concentrações de PM10 e mais de metade das concentrações de NO<sub>x</sub> obtidas na zona de Estarreja são maioritariamente devidas ao transporte regional de poluentes; (3) Os poluentes SO<sub>2</sub>, PM10 e NO<sub>2</sub> na zona de estudo, considerando apenas as concentrações resultantes de fontes em linha e pontuais e concentrações de fundo, apresentam tendencialmente valores inferiores aos valores limite definidos no Decreto-lei nº 102/2010, de 23 de Setembro.

Analisando globalmente todos os resultados, pode-se concluir que a proximidade do Complexo Químico de Estarreja é a zona onde ocorrem concentrações mais elevadas para todos os poluentes em estudo, podendo desta forma a saúde da população residente junto a zona ser afetada.

No decorrer do trabalho realizado surgiram algumas limitações, nomeadamente referentes às fontes em linha. Houve uma especial dificuldade em quantificar o volume de tráfego que circulava nas diferentes vias do domínio de estudo, dado haver um desajuste entre a informação obtida a partir de diversas fontes (Estradas de Portugal e Câmara Municipal de Estarreja) relativa ao volume de tráfego para a zona de estudo, encontrando-se esta informação desatualizada face ao panorama viário atual na zona de Estarreja. Outra limitação encontrada foi a falta de detalhe relativamente às contagens de tráfego efetuadas para as vias municipais, sendo apenas possível ter informação distinta para três períodos durante um dia. Esta falta de detalhe da informação relativa ao tráfego poderá originar uma desajustada quantificação das emissões de poluentes atmosféricos, face à situação atual, para este tipo de fontes emissoras.

De forma a obter valores de emissões de tráfego representativos do panorama atual da zona de Estarreja, em estudos posteriores deverá ser utilizada informação de contagens de tráfego mais pormenorizada, preferencialmente contagens horárias, para todas as vias rodoviárias a considerar no domínio de estudo.



## 7. Referências bibliográficas

ACAP - Associação Automóvel de Portugal (em linha) (2010). Estatísticas do sector automóvel. [Acedido em: Junho de 2012], Disponível em: <http://www.autoinforma.pt/estatisticas/estatisticas.html?MIT=36458>.

Alley, E. R. (1988). "Air Quality Control Handbook." ISBN 0-07-001411-6, McGrawHill.

Almeida, G. L. (2005). Análise da Dispersão de Poluentes na Atmosfera Usando a Técnica da Transformada Integral Generalizada, Tese D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Amorim, J. H.; Lopes M.; et al. (2010). Air quality modelling as a tool for sustainable urban traffic management. Air Pollution XVIII, 21-23 June, Kos, Grécia.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (em linha) (2012a). Agência Portuguesa do Ambiente - Atlas do Ambiente. [Acedido em: Abril de 2012], Disponível em: <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (em linha) (2012b). Qualar - Base de dados online sobre Qualidade do Ar. [Acedido em: Abril de 2012], Disponível em: <http://www.qualar.org/>.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (em linha) (2012c). Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (INERPA). [Acedido em: 15 Maio de 2012], Disponível em: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=150>.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (em linha) (2008). Evolução da qualidade do ar em Portugal entre 2001 e 2005. [Acedido em: Julho de 2011], Disponível em: [http://www.apambiente.pt/\\_zdata/DAR/Evolucao\\_qualidade\\_ar\\_Portugal\\_2001\\_2005.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Evolucao_qualidade_ar_Portugal_2001_2005.pdf).

Arbage, M. (2005). Simulação euleriana da dispersão local da pluma de poluente atmosférico de Candiota-RS. Departamento de Física Universidade Federal de Santa Maria-Brasil.

Arya, S. P. (1999). Air Pollution Meteorology and Dispersion, Oxyford University Press.

Bandeira J.M.; Coelho M.C.; et al. (2011). "Impact of land use on urban mobility patterns, emissions and air quality in a Portuguese medium-sized city." Science of the Total Environment. 409, 6, 1154-1163

Borrego, C.; Lopes M.; et al. (2012). Integrated air quality modelling for sustainable urban planning guidance. CESAM & Department of Environment and Planning, University of Aveiro.

Borrego, C.; Martins J. M.; et al. (1997). "Second generation Gaussian dispersion model: the POLARIS model." International Journal of Environment and Pollution 1997 - Vol. 8, No.3/4/5/6 pp. 789 – 795.

Borrego, C.; Tchepel O.; Costa A.; Amorim J.; Miranda A. (2003). "Emission and dispersion modelling of Lisbon air quality at local scale." Atmospheric Environment, 37: pág. 5197-5205.

Borrego C.; Miranda A. I.; et al. (2009). "Melhoria do actual inventário de emissões de poluentes atmosféricos da Região Norte." Universidade de Aveiro. AMB – QA – 09/2009, Aveiro, Portugal.

Lameiras, H. (2010). Relatório da Qualidade do Ar na Região Centro 2010. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento regional do Centro, Direcção de Serviços de Ambiente - Divisão de Avaliação Ambiental.

Cerdeira, R.; Louro C.; et al. (2007). "Traffic pollutant emissions in Barreiro city." WIT Transactions on Ecology and Environment. Volume 101 (ISSN 1743-3541): página 311.

- Cimorelli, A.; Venkatram, P.; et al (2005). "AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part I: General model formulation and boundary layer characterization." *Journal of Applied Meteorology*. 44: Pág. 682-693.
- DAO (2007). *Modelo de Emissões dos Transportes para Fontes em Linha – Metodologia*. Relatório técnico - Intelligent Energy for Europe. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.
- dBlab-Laboratório de Acústica e Vibrações, L. (2011). *Actualização do Mapa de Ruído do Município de Estarreja*, Relatório.
- ENVIRON (2005). "CAMx v4.20 User's Guide." ENVIRON International Corporation, Novato, California, EUA.
- Ferreira, J. C. (2007). *Relação Qualidade do Ar e Exposição Humana a Poluentes Atmosféricos*. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.
- Ferreira, M. A. M. (2008). *Avaliação da Qualidade do Ar no Município de Leiria*. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.
- Figueiredo, M. L. M. (2011). *Contributo para a Gestão da Qualidade do Ar em Estarreja*. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.
- GEMAC (em linha) (2011). INSPIRAR. [Acedido em: 07 de Novembro de 2011], Disponível em: <http://www.ua.pt/gemac/inspirar>.
- ICN (2002). *Plano de Ordenamento da Reserva Natural das Dunas de S. Jacinto - Volume I*. Relatório Síntese. Coimbra
- IM - Instituto de Meteorologia (em linha) (2012). Normais Climatológicas. [Acedido em: Abril de 2012], Disponível em: <http://www.meteo.pt/pt/oclima/normais.clima/>.
- INE - Instituto Nacional de Estatística (em linha) (2012). Dados estatísticos - população. [Acedido em: Abril de 2012], Disponível em: [www.ine.pt](http://www.ine.pt).
- INIR - Instituto de Infraestruturas Rodoviária IP (2011). *Relatório de Tráfego na Rede Nacional de Auto-estradas - 1º Trimestre de 2011*.
- Karamchandani, P.; Lohman, K.; Seigneur, C. (2009). Using a sub-grid scale modeling approach to simulate the transport and fate of toxic air pollutants. *Environmental Fluid Mechanics* 9, 59-71.
- Liu, D. H. F; Lipták, B. G. (1999). *Air Pollution*. ISBN 1-56670-518-4, Lewis Publishers.
- Lopes, A.; Garrido J.; et al. (2011). *Inventário de Emissões de poluentes Atmosféricos para a zona de Estarreja*. Relatório de projeto de Licenciatura em Engenharia do Ambiente. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro.
- Moreira, D. e T. Tirabassi (2004). "Modelo Matemático de Dispersão de Poluentes na Atmosfera: Um Instrumento Técnico para a Gestão Ambiental." *Ambiente & Sociedade*, v 7, n 2.
- PACOPAR (em linha) (2011). PACOPAR – Painel Consultivo Comunitário do Programa Actuação Responsável. [Acedido em: 05 de Novembro de 2011], Disponível em: <http://www.pacopar.org>.
- Peel, M. C.; Finlayson B. L.; et al. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*: 1633–1644.

Reid, N.; et al. (2003). "Air Quality Modelling - NERAM/AIRNET Colloquium on Strategies for Clean Air and health." 5-7 Novembro 2003. Draft Background paper for discussion.

Schulman L.L.; Strimaitis D.G., et al. (2000). Development and evaluation of the PRIME plume rise and building downwash model. Journal Air Waste Management Association.

Seinfeld, J. H. e Pandis S. N. (2006). "Atmospheric chemistry and physics – From air pollution to climate change". ISBN 0-471-17816-0. John Wiley & Sons, inc. Wiley Interscience.

Tchepele, O. (2003). Emission modelling as a decision support tool for air quality management. Phd in Environmental Application Sciences, Universidade de Aveiro.

USEPA (1990). "User's Guide for the Urban Airshed Model-Volume I; User's Manual for UAM(CB-IV)." U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, EPA-450/4-90-007a.

URL 1 – (Modelo AUSPLUME) - <http://www.epa.vic.gov.au/air/epa/ausplume-pub391.asp>

URL 2 – (Modelo ISCST3) - <http://www.geology-software.com/iscst3.html>

URL 3 – (Modelo AERMOD e CALPUFF) - [http://www.weblakes.com/products/air\\_dispersion.html](http://www.weblakes.com/products/air_dispersion.html)

URL 4 – (Modelo HYSPLIT) - <http://www.arl.noaa.gov/>

URL 5 – (Modelo CMAQ) - <http://www.epa.gov/asmdner/>

URL 6 – (Modelo CHIMERE) - <http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>

URL 7 – (Modelo TAPM) - <http://www.cmar.csiro.au/research/tapm/>

URL 8 - [http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_meteoro/lecc6/lecc6\\_4.html](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc6/lecc6_4.html)

URL 9 - <http://maps.google.pt/>

URL 10 - <http://viajar.clix.pt/mapa.php?c=77&lg=pt&w=estareja>

URL 11 - <http://www.algodres.com/01/01.6.2/mapacomboios.htm>