

AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE DAS ESTAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR DA REGIÃO NORTE

Abril 2021



NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL
SCIENCES AND ENGINEERING

Título	AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE DAS ESTAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR DA REGIÃO NORTE Relatório
Data	Abril 2021
CCDR-N	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDR-N)
	
FCT NOVA	Nova School of Science and Technology (Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa - FCT NOVA)
	
Equipa técnica	Francisco Ferreira (FCT NOVA – Interlocutor científico e coordenação geral) Paulo Pereira (FCT NOVA) Sofia Teixeira (FCT NOVA)

Índice

1	Nota introdutória	6
2	Poluentes atmosféricos – fontes, efeitos, objetivos ambientais, influência da meteorologia	7
2.1	Dióxido de azoto (NO ₂)	7
2.2	Dióxido de enxofre (SO ₂).....	8
2.3	Ozono (O ₃).....	9
2.4	Benzeno (C ₆ H ₆)	10
3	Rede de monitorização da qualidade do ar da região Norte	12
3.1	Critérios de localização definidos pelo Decreto-Lei 102/2010	15
3.2	Observações efetuadas durante as visitas de campo de 2020	18
4	Metodologia de avaliação da qualidade do ar	19
4.1	Amostragem através do método de difusão passiva.....	19
4.1.1	Método de difusão passiva	19
4.1.2	Vantagens e desvantagens do método de difusão passiva	20
4.1.3	Controlo e garantia de qualidade	21
4.1.4	Incerteza e exatidão do método de difusão passiva.....	22
4.1.5	Sazonalidade	23
4.2	Campanha de avaliação da qualidade do ar	24
4.2.1	Período de amostragem.....	24
4.2.2	Grelhas de amostragem	25
5	Resultados da campanha de avaliação da qualidade do ar	27
5.1	Controlo e garantia de qualidade do método de difusão passiva	27
5.2	Dióxido de Azoto (NO ₂) e Dióxido de Enxofre (SO ₂).....	29
5.3	Ozono (O ₃).....	33
5.4	Benzeno (C ₆ H ₆)	36
6	Considerações finais	38
7	Referências bibliográficas.....	39

Índice de Figuras

Figura 1 - Representação da rede de estações de monitorização da qualidade do ar da CCDR-N	14
Figura 2 – Fotos da EQA CRCL (esquerda), EQA HOR (meio) e EQA ANT (direita)	18
Figura 3 - Tubo de difusão <i>Radiello</i> e esquema de difusão molecular	19
Figura 4 – Instalação de tubos de difusão no terreno	20
Figura 5 - Concentração média semanal de NO ₂ registada em cada ponto de avaliação	29
Figura 6 – Mapa de concentrações de NO ₂	30
Figura 7 - Concentração média semanal de SO ₂ registada em cada ponto de avaliação	32
Figura 8 - Mapa de concentrações de SO ₂	32
Figura 9 - Concentração média semanal de O ₃ registada em cada ponto de avaliação	33
Figura 10 – Mapa de concentrações de O ₃	34
Figura 11 – Concentração média diária de ozono nas EQA seleccionadas no período da campanha de amostragem passiva	35
Figura 12 - Concentração média semanal de C ₆ H ₆ registada em cada ponto de avaliação.....	36
Figura 13 - Mapa de concentrações de C ₆ H ₆	37

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Objetivos ambientais definidos para o poluente NO ₂ no Decreto-Lei n.º 102/2010.....	8
Tabela 2 - Objetivos ambientais em matéria de qualidade do ar definidos para o SO ₂ no Decreto-Lei n.º 102/2010.....	9
Tabela 3 - Objetivos ambientais em matéria de qualidade do ar definidos para o O ₃ no Decreto-Lei n.º 102/2010.....	10
Tabela 4 - Objetivos ambientais em matéria de qualidade do ar definidos para o C ₆ H ₆ no Decreto-Lei n.º 102/2010	11
Tabela 5 - Constituição da rede de estações de monitorização da qualidade do ar gerida pela CCDR-N (em 2019).....	13
Tabela 6. Composição da rede de monitorização da CCDR-N por tipo de ambiente envolvente e por fonte de emissão dominante	14
Tabela 7 - Critérios de localização em macro escala de pontos de amostragem (Anexo IV do Decreto-Lei 102/2010)	15
Tabela 8 - Critérios de localização em macro escala de pontos de amostragem de ozono (Anexo IX do Decreto-Lei 102/2010)	16
Tabela 9 - Critérios de localização em microescala dos pontos de amostragem (Anexo III e Anexo VIII da Diretiva 2008/50/CE)	17
Tabela 10 - Critérios de localização em microescala dos pontos de amostragem (Anexo III e Anexo VIII da Diretiva 2008/50/CE)	18
Tabela 11 - Principais vantagens e desvantagens do uso de amostragem por difusão passiva.....	20
Tabela 12 – Grelhas de amostragem adotadas para o método de avaliação passiva da qualidade do ar	26
Tabela 13 - Parâmetros estatísticos da avaliação do controlo de qualidade QA/QC	27
Tabela 14 - Análise estatística das concentrações de NO ₂ e SO ₂	29
Tabela 15 - Análise estatística das concentrações de O ₃	33
Tabela 16 – Avaliação particularizada da EQA de Burgães – Santo Tirso	34
Tabela 17 - Avaliação particularizada da EQA Douro - Norte	35
Tabela 18 - Análise estatística das concentrações de C ₆ H ₆	36

1 Nota introdutória

O presente documento diz respeito ao relatório de progresso das atividades desenvolvidas no âmbito do contrato de cooperação, celebrado entre a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDR-N) e a Nova School of Science and Technology (FCT - NOVA), no âmbito da elaboração de estudos técnico-científicos na área da qualidade do ar ambiente na região Norte. Mais concretamente refere-se à tarefa de avaliação da representatividade das estações da rede da região Norte.

De acordo com a solicitação da CCDR-N pretendeu-se efetuar o estudo da representatividade da rede de monitorização da região Norte, assim como de eventuais áreas onde exista falta de informação relativa à concentração de poluentes atmosféricos, relevante à tomada de decisões estratégicas. Para a execução desta tarefa, procedeu-se a realização de campanhas de amostragem de avaliação sistemática da distribuição espacial dos poluentes NO_2 , SO_2 , O_3 , C_6H_6 .

A metodologia selecionada para a avaliação da distribuição espacial dos poluentes recorre a campanhas de medição pontual (com duração de 7), através do método da difusão passiva, com recurso a tubos de difusão *Radiello*® (dos poluentes NO_2 , SO_2 , O_3 e C_6H_6).

Relativamente à definição das grelhas de amostragem dos poluentes NO_2 , SO_2 , O_3 e C_6H_6 , as equipas técnicas da FCT NOVA e da CCDR-N, foram tidos em consideração diversos fatores, tais como: histórico de concentrações médias de cada poluente, distribuição e escala espacial dos casos mais críticos de poluição atmosférica.

Complementarmente ao estudo de representatividade de carácter mais abrangente a toda a rede de monitorização, foi aplicada uma avaliação particularizada das estações de tráfego de Frei Bartolomeu Mártires-S. Vítor, João Gomes Laranjo-Senhora da Hora e Francisco Sá Carneiro-Campanhã, de forma a aprofundar o conhecimento acerca da gama de concentrações medidas na área envolvente às atuais localizações, para os principais poluentes associados ao tráfego rodoviário.

Assim, o plano de monitorização da qualidade do ar assentou nos seguintes princípios:

- Poluentes NO_2 , SO_2 e O_3 :
 - avaliação da qualidade do ar através de campanha de amostragem por difusão passiva, dos poluentes NO_2 , SO_2 e O_3 , numa grelha composta por 53 pontos de NO_2/SO_2 e 35 pontos O_3 , distribuídos geograficamente no território de abrangência da CCDR-N;
 - avaliação particularizada de NO_2 na envolvente das três estações de tráfego com concentrações mais elevadas: Fr. Bartolomeu Mártires – S. Vítor, João Gomes Laranjo-Senhora da Hora e Francisco Sá Carneiro-Campanhã;
 - avaliação particularizada de O_3 na envolvente das estações de Burgães – Santo Tirso e Douro – Norte.
- Poluente C_6H_6 :
 - avaliação da representatividade numa grelha focada em localizações de influência refinaria de Matosinhos.
 - realização de duas campanhas, com duração de 7 a 10 dias cada, nos períodos de Verão e Inverno, distribuídas numa malha de 50 a 60 pontos de amostragem (de acordo com o poluente a amostrar);

2 Poluentes atmosféricos – fontes, efeitos, objetivos ambientais, influência da meteorologia

2.1 Dióxido de azoto (NO₂)

O dióxido de azoto resulta da combinação do azoto e do oxigénio do ar. Esta reação pode originar compostos de fórmulas químicas diversas, agrupados sob a designação comum de óxidos de azoto (NO_x). Os mais relevantes como poluentes atmosféricos são o monóxido de azoto (NO) e o dióxido de azoto (NO₂) embora apenas este último seja objeto de regulamentação.

O NO₂ é um gás reativo que resulta da queima de combustíveis fósseis a temperaturas elevadas, especialmente nas unidades industriais e nos motores dos veículos, destacando-se os seguintes aspetos relativos às suas fontes e efeitos:

- Na combustão a elevadas temperaturas o azoto e o oxigénio moleculares do ar formam os óxidos de azoto, sobretudo monóxido de azoto que, na atmosfera, se oxida em grande parte a dióxido de azoto;
- A exceção à emissão predominante de NO_x sob a forma de NO verifica-se no caso dos veículos a gasóleo, sendo que estes emitem uma maior proporção de NO₂ (cerca de 70%) devido aos sistemas de pós-tratamento de escape;
- Relativamente às emissões do sector do transporte rodoviário, a nível europeu, há uma clara tendência de aumento significativo das emissões da fração primária de NO₂, principalmente em veículos mais recentes (como os das Normas Euro 4 e 5), devido à combinação da proporção de veículos a gasóleo na constituição das frotas (que aumentou como resultado dos incentivos que visavam a redução das emissões de CO₂) com a maior quantidade de quilómetros percorridos, o que contribui para ultrapassagens mais frequentes dos limites de NO₂ em locais de tráfego;
- Em termos de efeitos na saúde, tem-se verificado que o NO₂, ao ter pouca afinidade pela água das mucosas, alcança as regiões profundas do trato respiratório e inibe algumas funções dos pulmões, tais como a resposta imunológica, diminuindo a resistência às infeções;
- Os efeitos do NO₂ na saúde humana traduzem-se no aumento da suscetibilidade a doenças respiratórias, principalmente em crianças, potenciando por exemplo o risco de ataques de asma.

Para o poluente NO₂ a legislação em vigor define, com o objetivo de proteção da saúde humana, um valor limite horário (VLH) de 200 µg/m³, que não deve ser excedido mais do que 18 vezes no ano, e um valor limite anual (VLA) de 40 µg/m³, ambos de cumprimento obrigatório desde 2010.

Para este poluente está ainda definido um limiar de alerta horário, de 400 µg/m³, medido durante três horas consecutivas. Este limiar nunca foi excedido no período compreendido entre 2012 e 2018.

A Tabela 1 sumariza os objetivos ambientais para a proteção da saúde humana definidos no Decreto-Lei n.º 102/2010 para o NO₂.

Tabela 1 - Objetivos ambientais definidos para o poluente NO₂ no Decreto-Lei n.º 102/2010

Poluente	Objetivo	Tipo de objetivo ambiental e Ano de entrada em vigor	Período de referência das avaliações	Unidades do objetivo ambiental	Valores numéricos do objetivo ambiental (número de excedências autorizadas)
NO ₂	Proteção da Saúde Humana	Valor Limite (VL) 2010	Uma hora (VLH)	Horas de excedência num ano civil	200 µg/m ³ (18)
			Um ano civil (VLA)	Média anual	40 µg/m ³
		Limiar de Alerta (LA)	Uma hora	Três horas consecutivas em ultrapassagem (em locais representativos da qualidade do ar)	400 µg/m ³
	Regime de Avaliação	Limiar Superior de Avaliação (LSA)	Uma hora	Horas de excedência num ano civil	140 µg/m ³ (18)
		Limiar Inferior de Avaliação (LIA)			100 µg/m ³ (18)
		Limiar Superior de Avaliação (LSA)	Um ano civil	Média anual	32 µg/m ³
		Limiar Inferior de Avaliação (LIA)			26 µg/m ³

2.2 Dióxido de enxofre (SO₂)

Este gás resulta fundamentalmente da combustão de combustíveis fósseis que contêm enxofre e de processos industriais. É emitido principalmente por fontes industriais tais como refinarias, petrolíferas, indústria do papel, indústria química, centrais térmicas e as unidades de aquecimento doméstico. Nos últimos anos as emissões de origem industrial têm vindo também a diminuir em consequência das medidas técnicas e regulamentares que têm sido tomadas e da diminuição da utilização de fuelóleo e de carvão com um elevado teor de enxofre. No que concerne às fontes móveis, as emissões provenientes dos veículos têm vindo a baixar com a diminuição progressiva do enxofre nos combustíveis.

As emissões assumem um papel mais importante no Inverno devido às condições atmosféricas de anticiclone. Estas favorecem o fenómeno de inversão térmica que tem um efeito de bloqueio dos poluentes ao nível do solo e impede a sua dispersão.

Trata-se de um gás irritante que altera as defesas pulmonares e agrava as doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Tem uma ação em sinergia com outras substâncias, em particular, com as partículas em suspensão. Associado a estas últimas pode, a partir de determinadas concentrações conduzir a uma degradação da função pulmonar nas crianças e a uma acentuação dos sintomas respiratórios agudos nos adultos (tosse, obstrução respiratória). As pessoas asmáticas são particularmente sensíveis ao SO₂.

Em presença de humidade o SO₂ forma ácido sulfúrico e contribui indiretamente na formação das chuvas ácidas com as suas consequências nos solos e vegetação. A acidificação das chuvas ataca igualmente o calcário e o aço e atua na degradação da pedra e de materiais de certas construções.

O efeito do SO₂ na vegetação, pode causar diminuição das taxas de crescimento e fotossintética devido à degradação da clorofila e aumento da sensibilidade a outros fatores como o gelo e/ou parasitas. Os líquenes são as espécies mais sensíveis, sendo por isso bons indicadores da presença deste tipo de poluição.

A Tabela 2 sumariza os objetivos ambientais para a proteção da saúde humana definidos no Decreto-Lei n.º 102/2010 para o SO₂.

Tabela 2 - Objetivos ambientais em matéria de qualidade do ar definidos para o SO₂ no Decreto-Lei n.º 102/2010

Poluente	Objetivo	Tipo de objetivo ambiental e Ano de entrada em vigor	Período de referência das avaliações	Unidades do objetivo ambiental	Valores numéricos do objetivo ambiental (número de excedências permitidas)
SO ₂	Proteção da Saúde Humana	Valor Limite (VL)	Uma hora	Horas de excedência num ano civil	350 µg/m ³ (24)
			Um dia	Dias de excedência num ano civil	125 µg/m ³ (3)
		Limiar de Alerta (LA)	Uma hora	Três horas consecutivas em excesso (em locais representativos da qualidade do ar, numa área mínima de 100 km ² ou na totalidade de uma zona ou aglomeração, consoante o que for menor)	500 µg/m ³
	Proteção da Vegetação	Nível Crítico (NC)	Um ano civil	Média anual	20 µg/m ³
			Inverno	Valor médio durante os meses de Inverno, ou seja, de 1 de Outubro do ano x-1 a 31 de Março do ano x	20 µg/m ³

2.3 Ozono (O₃)

O ozono (O₃) troposférico (ao nível do solo) é um poluente secundário, que não é diretamente emitido para a atmosfera, mas é formado a partir de reações químicas, na presença da luz solar e gases precursores naturais e antropogénicos, principalmente óxidos de azoto (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV). Trata-se de uma molécula (formada por três átomos de oxigénio) muito reativa e com um forte poder oxidante. O O₃ troposférico é caracterizado por mecanismos complexos de formação baseados na foto-oxidação de COV na presença de NO_x, seguindo caminhos de formação não lineares: o NO_x está envolvido na formação de O₃, mas também na sua remoção por titulação (caso da reação de O₃ com NO para formar NO₂ e O₂). À escala continental, o CH₄ e CO também desempenham um papel na formação de O₃, que é intensificada no verão, resultando em episódios característicos de O₃.

Os grandes polos urbanos e industriais são os principais emissores de gases precursores. Estes são então transportados pelas massas de ar, à escala local/regional, para áreas suburbanas e rurais, que são impactadas por episódios de poluição de O₃ (embora nas grandes cidades os limites de O₃ também possam ser excedidos). Os episódios de elevadas concentrações de ozono na Península Ibérica podem estar associados à combinação de vários mecanismos:

- produção fotoquímica local/regional e transporte, ao nível da superfície, desde aglomerações costeiras até regiões interiores;
- transporte de O₃ a partir de camadas atmosféricas a maiores altitudes (1 500 a 3 000 m acima do nível do solo), com origem na recirculação de massas de ar de dias anteriores;
- transporte a longa distância de O₃ e dos seus precursores.

O O₃ é responsável por danos na saúde humana e nos ecossistemas:

- trata-se de um gás agressivo para as mucosas oculares e respiratórias. A ação do O₃ pode manifestar-se por irritações nos olhos, nariz e garganta, dores de cabeça e por problemas

respiratórios, tais como dificuldade em respirar, dores no peito e tosse. No trato respiratório este poluente atinge as vias respiratórias profundas, afetando os brônquios e os alvéolos pulmonares. A presença deste poluente pode também provocar o agravamento de patologias respiratórias já existentes e reduzir a resistência a infecções respiratórias;

- tem um efeito nocivo sobre a vegetação, perturbando a atividade respiratória e fotossintética. Afeta o crescimento e o rendimento das culturas agrícolas;
- por se tratar de um oxidante forte, o O₃ afeta também materiais como a borracha, têxteis e pinturas.

O número e a variedade de objetivos ambientais definidos para este poluente refletem a sua complexidade. Os objetivos ambientais definidos para o O₃ no Decreto-Lei n.º 102/2010 encontram-se sintetizados na Tabela 3.

Tabela 3 - Objetivos ambientais em matéria de qualidade do ar definidos para o O₃ no Decreto-Lei n.º 102/2010

Poluente	Objetivo	Tipo de objetivo ambiental	Período de referência das avaliações	Unidades do objetivo ambiental	Valores numéricos do objetivo ambiental (número de excedências permitidas)
O ₃	Proteção da Saúde Humana	Valor Alvo (VA)	Um dia (máximo diário das médias móveis octo-horárias)	Dias em que o máximo da média diária de 8 horas ultrapassou o valor de referência, em média, ao longo de 3 anos	120 µg/m ³ (25)
		Objetivo a Longo Prazo (OLP)	Um dia (máximo diário das médias móveis octo-horárias)	Dias em que o máximo da média diária de 8 horas ultrapassou o OLP num ano civil	120 µg/m ³
		Limiar de Informação ao Público (LInfo)	Uma hora	Horas de excedência num ano civil	180 µg/m ³
		Limiar de Alerta (LA)			240 µg/m ³

2.4 Benzeno (C₆H₆)

O benzeno é um hidrocarboneto aromático monocíclico, incolor à temperatura ambiente e levemente solúvel em água. Com uma temperatura de combustão de 80,1°C à pressão atmosférica, encontra-se normalmente presente na atmosfera em quantidades que variam de alguns microgramas a centenas de microgramas, por metro cúbico, dependendo basicamente de fontes emissoras, fatores meteorológicos, transporte atmosférico e fatores fotoquímicos (CE, 1998). Este poluente juntamente com o tolueno, etilbenzeno e xileno (BTX) pertencem à família dos compostos orgânicos voláteis (COV), classe que inclui espécies químicas de natureza orgânica como os alcanos, alcenos, aromáticos, cetonas, aldeídos e álcoois (Pilidis *et al*, 2005).

A molécula de benzeno é pouco reativa devido à sua estrutura estável, onde seis átomos de carbono estão unidos através de três ligações duplas, ao contrário do tolueno e dos isómeros de xileno, que apresentam uma intensa atividade fotoquímica devido à capacidade de fornecer radicais livres estáveis para a fotólise. O resultado combinado destas características verifica-se em períodos de alta insolação, altura em que o tolueno e o xileno são removidos por ação fotoquímica, reagindo com outros constituintes atmosféricos, tornando-se assim menos abundantes que o benzeno. Esta diferença diminui durante os meses frios, quando a insolação e a temperatura ambiente são mais reduzidas (Pilidis *et al*, 2005).

As emissões de C_6H_6 para a atmosfera resultam principalmente dos processos de combustão para a produção de energia e dos processos de evaporação através dos quais são libertadas enormes quantidades de hidrocarbonetos aromáticos (tal como no aquecimento doméstico e no transporte de combustível) (CE, 1998). Este é utilizado também como aditivo nos combustíveis dos veículos, substituindo em parte o chumbo, tratando-se desta forma de um composto orgânico resultante da volatilização de combustíveis (EMEP/EEA, 2009).

Na Europa, o C_6H_6 presente na atmosfera resulta essencialmente de fontes antropogénicas. Nas fontes naturais, as emissões mais significativas provêm dos incêndios florestais e da queima de biomassa, contribuindo apenas com uma pequena parte.

Em termos de saúde humana, o benzeno, quando inalado, afeta principalmente o fígado, a placenta e a medula óssea, podendo causar efeitos nefastos tais como leucemia, cancro da pele e do pulmão (CE, 1998). O benzeno é um carcinogénico genotóxico para o ser humano, não existindo um limiar identificável abaixo do qual não haja qualquer risco para a saúde humana (CE, 2000).

As indústrias de refinação de petróleo convertem o petróleo bruto em mais de 2.500 produtos refinados, incluindo os combustíveis líquidos (da gasolina de motor, ao óleo residual), como combustíveis de produtos e matérias-primas (como o asfalto, lubrificantes, gases, coque), produtos petroquímicos primários (por exemplo: etileno, tolueno e xileno). Este processo começa com a receção do petróleo e posterior armazenamento na refinaria, inclui todas as operações de movimentação e refinamento de petróleo, e termina com o armazenamento dos produtos refinados e transporte para fora da refinaria (EMEP/EEA, 2009).

A Tabela 4 resume os objetivos ambientais para a proteção da saúde humana definidos no Decreto-Lei n.º 102/2010 para o C_6H_6 .

Tabela 4 - Objetivos ambientais em matéria de qualidade do ar definidos para o C_6H_6 no Decreto-Lei n.º 102/2010

Poluente	Objetivo	Tipo de objetivo ambiental e Ano de entrada em vigor	Período de referência das avaliações	Unidades do objetivo ambiental	Valores numéricos do objetivo ambiental (número de excedências autorizadas)
C_6H_6	Proteção da Saúde Humana	Valor Limite (VL)	Um ano civil (VLA)	Média anual	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Regime de Avaliação	Limiar Superior de Avaliação (LSA)	Um ano civil	Média anual	3,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		Limiar Inferior de Avaliação (LIA)			2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3 Rede de monitorização da qualidade do ar da região Norte

De acordo com o Decreto-Lei n.º 102/2010 compete às Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR), na área da respetiva competência territorial, a manutenção e gestão das redes de qualidade do ar (RMQA).

A rede de monitorização da qualidade do ar da região Norte, em 2019, era constituída por 21 estações de monitorização. Na Tabela 5 apresentam-se as características das estações de monitorização e na Figura 1 a sua localização. Nas estações de monitorização são medidos os poluentes NO, NO₂, NO_x, partículas PM₁₀ e PM_{2,5}, O₃, CO, SO₂ e C₆H₆, para os quais a regulamentação comunitária e nacional define níveis de concentração que não devem ser ultrapassados.

As estações da RMQA da CCDR-N, instaladas em diferentes tipos de ambientes envolventes - rurais, suburbanos e urbanos - apresentam tipologias distintas, dependendo das emissões dos poluentes dominantes nas zonas onde se encontram instaladas, sendo classificadas como estações de tráfego, de fundo e industriais, representando, assim, diferentes tipos de exposição da população à poluição atmosférica. Os vários tipos de estações apresentam as seguintes características:

- estações de tráfego:
 - situadas na proximidade de vias de tráfego intenso, permitem avaliar o risco máximo de exposição da população às emissões com origem no transporte rodoviário;
 - tipo de exposição: de curta duração, mas os níveis de poluição observados são normalmente elevados;
- estações industriais:
 - situadas na proximidade de zonas industriais ou em zonas sob a influência das suas emissões;
 - tipo de exposição: permitem conhecer as concentrações máximas de certos poluentes de origem industrial, aos quais a população pode estar pontualmente exposta;
- estações urbanas/suburbanas de fundo:
 - não se encontram sob a influência direta de vias de tráfego ou de outras fontes próximas de poluição;
 - tipo de exposição: permitem avaliar a qualidade do ar ambiente à qual a maioria da população está exposta e são representativas de uma vasta área na sua envolvente;
- estações rurais de fundo:
 - encontram-se afastadas de qualquer atividade poluidora importante e de zonas densamente habitadas. As concentrações dos poluentes, registadas nestas estações, devem-se ao transporte à escala regional e a longa distância. São também locais fundamentais para a monitorização de poluentes com origem natural (ex: poeiras do Norte de África) e decorrentes de incêndios florestais;
 - tipo de exposição: permitem avaliar a exposição da população e dos ecossistemas à poluição atmosférica de fundo, nomeadamente a poluentes secundários como o O₃.

Relativamente às técnicas de medição fixa obrigatória e indicativa, indicadas na Tabela 5 por poluente, o Decreto-Lei 102/2010 define-as da seguinte forma:

- medição fixa: medição efetuada num local fixo, quer de modo contínuo, quer por amostragem aleatória, a fim de determinar os níveis de acordo com os objetivos de qualidade dos dados relevantes;
- medição indicativa: medição que respeita objetivos de qualidade dos dados menos rigorosos do que os definidos para as medições fixas.

No que diz respeito aos critérios mínimos de recolha de dados para medições fixas e indicativas estes são:

- medições fixas em contínuo (para a maioria dos poluentes): a recolha de dados anual deve cobrir um mínimo de 90% do ano;
- medições indicativas: o período mínimo de referência de recolha anual de dados deve ser de 14%, distribuído ao longo do ano.

Tabela 5 - Constituição da rede de estações de monitorização da qualidade do ar gerida pela CCDR-N (em 2019)

Zona	Estação		Tipo de estação		Poluentes medidos						
	Nome	Abreviatura	Influência dominante	Ambiente envolvente	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃	SO ₂	CO	C ₆ H ₆
Porto Litoral	Anta-Espinho	AES	Fundo	Suburbana	✓ind	✓fix	✗	✓fix	✗	✗	✗
	Avintes	AVI	Fundo	Urbana	✓ind	✓ind	✗	✓fix	✗	✗	✗
	Custóias-Matosinhos	CUS	Fundo	Suburbana	✓ind	✓ind	✗	✓fix	✗	✗	✗
	D. Manuel II-Vermoim	VER	Tráfego	Urbana	✓fix	✓fix	✓fix		✗	✗	✗
	Ermesinde-Valongo	ERM	Fundo	Urbana	✓fix	✓ind	✗	✓fix	✗	✗	✗
	Francisco Sá Carneiro-Campanha	ANT	Tráfego	Urbana	✓fix	✓fix	✗	✗	✗	✓ind	✗
	João Gomes Laranjo-S. Hora	HOR	Tráfego	Urbana	✓fix	✓fix	✗	✗	✗	✓ind	✗
	Leça do Balio-Matosinhos	LEC	Fundo	Suburbana	✗	✓ind	✗	✓fix	✗	✗	✗
	Meco-Perafita	PER	Industrial	Suburbana	✗	✓fix	✗	✓fix	✓fix	✗	✓fix
	Mindelo-Vila do Conde	MVCO	Fundo	Suburbana	✓ind	✓ind	✗	✓fix	✗	✗	✗
	Seara-Matosinhos	SEA	Industrial	Urbana	✗	✓ind	✗	✗	✓fix	✗	✓fix
	Sobreiras-Lordelo do Ouro	SOB	Fundo	Urbana	✓ind	✓fix	✓fix	✓fix	✗	✗	✗
	VN Telha-Maia	VNT	Fundo	Suburbana	✓ind	✓ind	✗	✓fix	✗	✗	✗
Entre Douro e Minho	Burgães-Santo Tirso	BSTI	Fundo	Urbana	✓fix	✓fix	✗	✓fix	✗	✗	✗
	Cónego Dr. Manuel Faria-Azurém	GMR	Tráfego	Urbana	✓fix	✓fix	✗	✗	✗	✗	✓fix
	Fr Bartolomeu Mártires-S. Vitor	CRCL	Tráfego	Urbana	✓fix	✓fix	✗	✗	✗	✗	✗
	Frossos-Braga	HORT	Fundo	Suburbana	✓ind	✓fix	✗	✓fix	✗	✗	✗
	Paços de Ferreira	LACT	Fundo	Urbana	✓ind	✓fix	✓fix	✓fix	✗	✗	✗
	Pe Moreira Neves-Castelões de Cepeda	PRD	Tráfego	Urbana	✓fix	✓fix	✗	✗	✗	✗	✗
Norte Litoral	Minho-Lima	MNH	Fundo	Rural	✓ind	✓ind	✓fix	✓fix	✗	✗	✗
Norte Interior	Douro Norte	OLO	Fundo	Rural	✓ind	✓ind	✓fix	✓fix	✓ind	✗	✗

✓fix: poluente medido com regime de monitorização fixa
 ✓ind: poluente medido com regime de monitorização indicativa
 ✗: poluente não medido

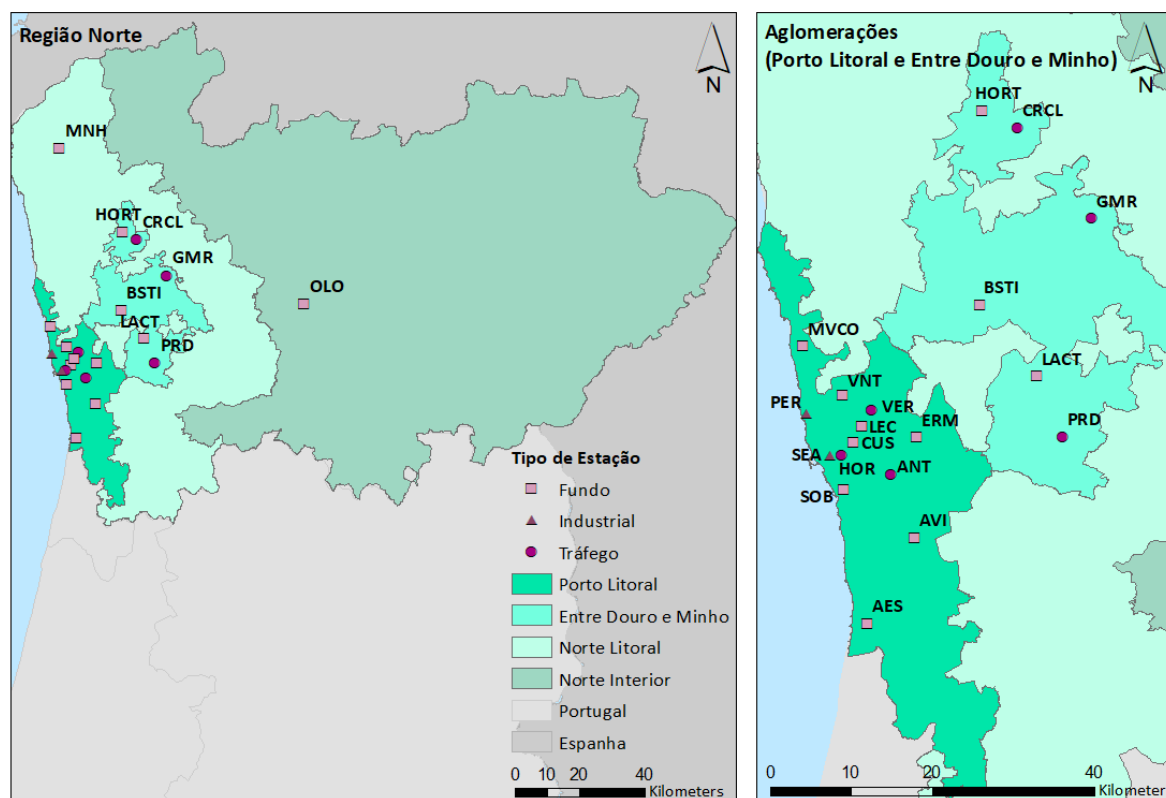


Figura 1 - Representação da rede de estações de monitorização da qualidade do ar da CCDR-N

A composição da rede de monitorização da CCDR Norte em 2019 está indicada, de modo mais agregado, na Tabela 6. Atualmente a composição da rede de monitorização da CCDR-N é equilibrada, quer na proporção de estações de Tráfego e Industriais face às de Fundo, quer na proporção de estações do tipo Urbano e Suburbano, de acordo com as recomendações legais.

Nas zonas que não são aglomerações existem estações rurais de fundo, em concordância com o objetivo de se pretender monitorizar a exposição da população e dos ecossistemas à poluição atmosférica de fundo, designadamente a fotoquímica à escala regional.

A distribuição do número de analisadores por zonas e aglomerações depende de critérios de população e dos níveis médios de poluentes habitualmente registados, definidos no Decreto-Lei n.º 102/2010.

Tabela 6. Composição da rede de monitorização da CCDR-N por tipo de ambiente envolvente e por fonte de emissão dominante

Zona	Tipo de Ambiente	Tipo de Influência Dominante		
		Tráfego	Industrial	Fundo
Porto Litoral	Urbana	3	1	3
	Suburbana	-	1	5
Entre Douro e Minho	Urbana	3	-	2
	Suburbana	-	-	1
Norte Litoral	Rural	-	-	1
Norte Interior	Rural	-	-	1
Total		6	2	13

3.1 Critérios de localização definidos pelo Decreto-Lei 102/2010

Na Tabela 7 indicam-se as orientações, estabelecidas no Anexo IV do Decreto-Lei 102/2010 de 23 de Setembro, que permitem averiguar o cumprimento da localização em macro escala das estações da rede da Região Norte e na Tabela 8 constam os critérios de macro escala definidos especificamente para o ozono (Anexo IX do Decreto-Lei 102/2010) Na Tabela 9, encontram-se os critérios de localização de micro escala, estabelecidos no Anexo III da Diretiva 2008/50/CE.

Tabela 7 - Critérios de localização em macro escala de pontos de amostragem (Anexo IV do Decreto-Lei 102/2010)

Objetivo da medição	Critérios de localização
Proteção da saúde humana	• Áreas no interior de zonas e aglomerações em que ocorram as concentrações mais elevadas às quais a população possa estar exposta, direta ou indiretamente, por um período significativo relativamente ao período utilizado para o cálculo do(s) valor(es) limite; Níveis de outras áreas no interior das zonas e aglomerações representativas da exposição da população em geral; • Os pontos de amostragem devem, em geral, ser instalados de forma a evitar a realização de medições em microambientes que se encontram na sua vizinhança imediata, o que significa que o ponto de amostragem deve localizar –se de forma a que o ar recolhido seja representativo da qualidade do ar ambiente num segmento de rua de comprimento não inferior a 100 m em zonas de tráfego, e não inferior a 250 m x 250 m em zonas industriais, se tal for viável; • As estações de medição da poluição urbana de fundo, consideradas as que se localizam em zonas onde os níveis são representativos da exposição da população urbana em geral, devem ser instaladas de tal forma que os níveis de poluição medidos sejam influenciados pela contribuição combinada de todas as fontes a barlavento da estação. O nível de poluição não deve ser dominado por uma única fonte, excepto se essa situação for característica de uma área urbana mais vasta. Os pontos de amostragem devem, regra geral, ser representativos de uma área de vários quilómetros quadrados; • Se o objetivo consistir na avaliação dos níveis de fundo rurais, o ponto de amostragem não deve ser influenciado pela presença de aglomerações ou locais industriais na sua vizinhança, ou seja, distantes de menos de 5 km; • Caso seja necessário avaliar a contribuição de fontes industriais, deve instalar -se, pelo menos, um ponto de amostragem a sotavento da fonte, na zona residencial mais próxima. Se a concentração de fundo não for conhecida, deve instalar -se um ponto de amostragem adicional no sentido do vento dominante; • Os pontos de amostragem devem, sempre que possível, ser também representativos de localizações semelhantes não situadas na sua vizinhança imediata;
Proteção da vegetação e dos ecossistemas naturais	• Instalação de pontos de amostragem para além de 20 km das aglomerações e a mais de 5 km de outras zonas urbanizadas, instalações industriais ou auto estradas ou estradas principais com um tráfego superior a 50 000 veículos por dia; • Os pontos de amostragem devem localizar-se de forma que o ar amostrado seja representativo da qualidade do ar ambiente numa área circundante não inferior a 1000 km².

Tabela 8 - Critérios de localização em macro escala de pontos de amostragem de ozono (Anexo IX do Decreto-Lei 102/2010)

Tipo de estação	Objetivos da medição	Representatividade	Critérios
Urbana	<u>Proteção da saúde humana:</u>	Alguns km ²	• Fora da área de influência das emissões locais devida ao tráfego, estações de serviço, etc; • Locais ventilados que permitam obter níveis homogêneos; • Localização tais como escolas, zonas residenciais, praças de grandes dimensões com tráfego reduzido.
	avaliação da exposição da população urbana ao ozono, em zonas de densidade populacional e concentração de ozono relativamente elevadas, representativas da exposição da população em geral		
Suburbana	<u>Proteção da saúde humana e vegetação:</u>	Algumas dezenas de km ²	• A uma certa distância das zonas de emissão máxima, a sotavento das principais direções do vento, em condições favoráveis à formação de ozono; • Casos em que a população e os ecossistemas naturais localizados na parte exterior de uma aglomeração se encontram expostos a níveis elevados de ozono; • Algumas estações suburbanas podem situar-se a barlavento das zonas de emissão máxima, de modo a determinar os níveis regionais de ozono de fundo.
	avaliação da exposição da população e da vegetação situada na periferia da aglomeração, onde ocorrem as concentrações mais elevadas de ozono às quais a população e a vegetação poderão ser direta ou indiretamente expostas		
Rural	<u>Proteção da saúde humana e vegetação:</u>	Algumas centenas de km ²	• As estações podem ser implantadas em localidades de pequenas dimensões e/ou zonas que possuam ecossistemas naturais, florestas ou culturas; • Podem situar-se em espaços abertos, com exceção de cumes montanhosos elevados.
	Avaliação da exposição da população, das culturas e dos ecossistemas naturais às concentrações de ozono à escala sub-regional		
Rural de fundo	<u>Proteção da vegetação e da saúde humana:</u>	Níveis regional/nacional/continental (1 000 a 10 000 km ²)	• Estações localizadas em zonas com densidade populacional inferior, que possuam, nomeadamente, ecossistemas naturais ou florestas, a uma distância de pelo menos 20 km das zonas urbanas e industriais e isentas de emissões locais; • Devem evitar-se as localizações sujeitas à ocorrência de fenómenos de inversão térmica, bem como os cumes das montanhas de maior altitude; • Não são recomendáveis as zonas costeiras com ciclos eólicos diurnos locais acentuados.
	avaliação da exposição das culturas e dos ecossistemas naturais a concentrações de ozono à escala regional, bem como da exposição da população		

Tabela 9 - Critérios de localização em microescala dos pontos de amostragem (Anexo III e Anexo VIII da Diretiva 2008/50/CE)

	Critérios
Orientações	• O fluxo de ar em torno da entrada da sonda de amostragem deve ser livre (pelo menos num ângulo de 270°), sem que exista qualquer obstrução que afete o fluxo de ar na proximidade do dispositivo de amostragem, em geral, a alguns metros de árvores, edifícios, varandas ou outros obstáculos e no mínimo a 0,5 metros do edifício mais próximo, no caso de pontos de amostragem representativos da qualidade do ar na linha de edificação. • Em geral, a entrada da sonda deve estar a uma distância entre 1,5 metros da zona de respiração e 4 metros do solo. Poderá ser necessário, em alguns casos, colocá-la em posições mais elevadas até cerca de 8 metros. A localização em posições mais elevadas pode também ser apropriada se a estação for representativa uma área mais vasta. • A entrada da sonda não deve ser instalada na vizinhança imediata das fontes, a fim de evitar a captura direta de emissões não difundidas no ar ambiente. O exaustor da sonda não deve ser posicionado de modo a evitar a recirculação do ar expelido para a entrada da sonda. • No respeitante a todos os poluentes, as sondas de amostragem orientadas para o tráfego devem ser instaladas a uma distância mínima de 25 metros da berma dos principais cruzamentos e, no máximo, a 10 metros da berma. • Para o Ozono na medida do possível, o procedimento a adotar deverá ser o mesmo descrito nos critérios de micro localização, assegurando também a colocação da sonda ao abrigo de fontes de emissões tais como fornos e efluentes de incineração e a mais de 10 metros da infraestrutura rodoviária mais próxima, distância esta que deverá aumentar em função do tráfego.
Outros fatores	• Fontes interferentes; • Segurança; • Acessibilidade; • Disponibilidade de energia elétrica e comunicações elétrica e comunicações telefónicas; • Visibilidade do local em relação ao espaço circundante; • Segurança do público e dos operadores; • Conveniência de efetuar no mesmo local a amostragem de diversos poluentes; • Requisitos em matéria de planeamento.

3.2 Observações efetuadas durante as visitas de campo de 2020

A Tabela 10 apresenta o resumo das observações de campo realizadas em 2020, na visita de campo às estações de qualidade do ar de Francisco Sá Carneiro - Campanhã, João Gomes Laranjo – Senhora da Hora e Frei Bartolomeu dos Mártires – S. Vítor (Figura 2).

Tabela 10 - Critérios de localização em microescala dos pontos de amostragem (Anexo III e Anexo VIII da Diretiva 2008/50/CE)

Zona	Tipo de ambiente	Tipo de influência	Estação	Distância à berma (m)	Distância a cruzamentos (m)	Volume de tráfego (TMD num raio de 25 m)	Outros fatores de emissão observados
Porto Litoral	Urbana	Tráfego	Francisco Sá Carneiro – Campanhã (ANT)	8	>25	>10 000	Semáforo a 15m da estação. Pequeno parque de estacionamento nas traseiras da estação.
			João Gomes Laranjo – Senhora da Hora (HOR)	10	15	2 000 - 10 000	Situada nas traseiras da estação está o recinto da feira da Sr ^a da Hora que se realiza ao Sábado. Funciona como parque de estacionamento nos restantes dias. A28 a 150m. A4 a 550m
Entre Douro e Minho	Urbana	Tráfego	Frei Bartolomeu Mártires – Vítor (CRCL)	5	>25	>10 000	Situada a 5m da Av. Frei Bartolomeu dos Mártires (Circular Sul) com elevado tráfego rodoviário. Via com 3 faixas em cada sentido. Posto de abastecimento de combustíveis a 100m da estação.



Figura 2 – Fotos da EQA CRCL (esquerda), EQA HOR (meio) e EQA ANT (direita)

4 Metodologia de avaliação da qualidade do ar

4.1 Amostragem através do método de difusão passiva

4.1.1 Método de difusão passiva

Para a realização da campanha de avaliação da qualidade do ar através de difusão molecular passiva, recorreu-se à utilização de tubos de difusão da marca *Radiello*[®]. Este tipo de amostragem permite calcular as concentrações médias de um determinado poluente no ar ambiente, durante o período de exposição. Este tipo de equipamento é de manuseamento simples e permite amostrar simultaneamente uma extensa área, sendo assim possível criar mapas de distribuição espacial das concentrações dos poluentes medidos recorrendo a técnicas de interpolação dos resultados.

A amostragem por difusão passiva é feita através da utilização de tubos, os quais se colocam por um tempo determinado nas áreas a amostrar. Estes tubos contêm no seu interior um cilindro, revestido de material adsorvente, que fixa o poluente (Figura 3). Durante esse período de amostragem o ar flui para o interior do tubo, a uma taxa controlada por difusão molecular, e o poluente é adsorvido no cilindro interior, que fornecerá um valor médio de concentração desse poluente para o período total de exposição. Uma vez que a velocidade de adsorção está relacionada com a temperatura, é necessário corrigi-la com a temperatura média observada durante o período de exposição.

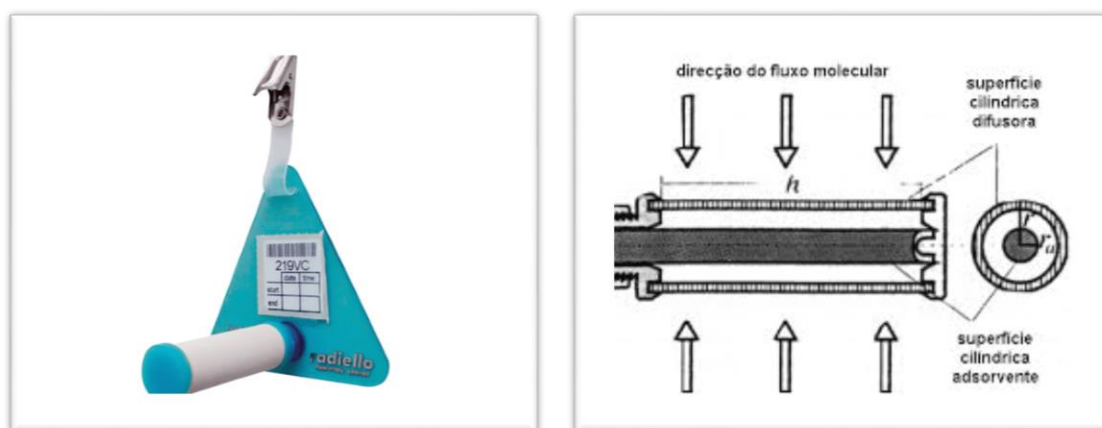


Figura 3 - Tubo de difusão *Radiello* e esquema de difusão molecular

Os tubos difusores são colocados no interior de abrigos de polipropileno que os protegem da chuva, da radiação solar e permitem reduzir a velocidade do vento (Figura 4). Os abrigos são por sua vez instalados, na sua maioria, em postes de iluminação pública, de eletricidade, ou telefónicos, a cerca de 2 m de altura, de forma a evitar furtos ou danos por parte dos transeuntes e por ser ainda representativa da altura à qual se dá a inalação dos poluentes por parte da população exposta.



Figura 4 – Instalação de tubos de difusão no terreno

4.1.2 Vantagens e desvantagens do método de difusão passiva

No processo de avaliação foi utilizada a técnica por difusão passiva, um método simples, rápido e relativamente pouco oneroso que permite a avaliação simultânea das concentrações médias de poluentes gasosos, em áreas extensas. Este método passivo é frequentemente utilizado como complemento do método de referência, efetuado através da monitorização em contínuo por estações fixas e cuja utilização está prevista pela legislação em vigor, permitindo a elaboração de mapas da distribuição espacial das concentrações dos poluentes medidos recorrendo a técnicas de interpolação geo-estatística.

A utilização de tubos de difusão é particularmente útil em situações em que se pretendam conhecer as concentrações de determinados poluentes a longo termo, de forma a permitir uma comparação aproximada com os limites legislados baseados na média anual, bem como, para obter uma imagem da distribuição espacial das concentrações mais elevadas, e onde a instalação de analisadores automáticos não é possível.

As vantagens e desvantagens da utilização deste tipo de método de medição encontram-se sumariadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Principais vantagens e desvantagens do uso de amostragem por difusão passiva

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo, dispensando inclusive o consumo de energia elétrica	Método com uma margem de erro significativa, não tendo o mesmo nível de exatidão de medições automáticas
Especialmente indicados para avaliações em áreas extensas ou largos períodos de tempo	Não fornecem dados em tempo real, apenas uma concentração média para o período total de exposição, não podendo muitas vezes ser comparados com os limites legislados (ex: quando se trate de médias horárias)
São muito úteis na monitorização de concentrações em localizações de fundo e também de tráfego (fonte de emissão sem uma grande amplitude de variação de dia para dia, excetuando o caso do fim de semana)	Não permitem identificar variações bruscas de concentrações, uma vez que os valores máximos são diluídos num valor médio integrado ao longo do período de amostragem (ex: picos de concentrações de emissão industrial)
Dão indicação de concentrações médias a longo termo	Não dão indicação de concentrações médias a curto termo
Operação simples, não necessitam de calibração no terreno	Tubos são, por vezes, roubados/ vandalizados

Vantagens	Desvantagens
Possibilidade de reutilização de alguns componentes	
Possibilidade de serem instalados em locais remotos, onde a instalação de equipamentos automáticos não é viável	

4.1.3 Controlo e garantia de qualidade

A utilização dos tubos de difusão requer a necessidade de se trabalhar com critérios de controlo e garantia de qualidade (Quality Assurance/Quality Control – QA/QC) muito estritos. Desta forma, as questões pertinentes relativamente à aplicação deste método a determinados poluentes e o respetivo QA/QC relacionam-se essencialmente com:

- Limites de deteção - a bibliografia recomenda que os amostradores sejam expostos durante períodos de tempo suficientemente longos para que os valores médios obtidos estejam acima do limite de deteção (este tipo de tubos tem sido utilizado sobretudo em ambientes ocupacionais ou ambientes interiores com concentrações mais altas do que as geralmente encontradas no ar ambiente);
- Conformidade com os métodos que sejam utilizados numa avaliação permanente (analísadores em contínuo, por exemplo). Estudos de comparação das medidas dos amostradores com as respostas integradas dos analisadores em contínuo (para determinação da exatidão) demonstram a linearidade entre os resultados de ambos para o NO₂;
- Interferências e perdas de material absorvido. Os tubos de difusão standard apresentam correlações significativas com os dados de analisadores de NO₂ e NO_x (por quimiluminescência) mas sobrestimam de forma significativa as concentrações de NO₂. O grau de sobrestimação aumenta de forma inversamente proporcional à relação média NO₂/NO_x num dado local. Este facto pode ser explicado pela reação química no tubo entre o NO e o O₃ para gerar o excesso de NO₂. Para tal não é possível aplicar uma correção quantitativa satisfatória aos dados individuais. Este efeito de sobrestimação só é provavelmente significativo em ambiente urbano onde as fontes locais diretas de NO aumentam substancialmente a relação NO/NO₂;
- Tempo de exposição. As concentrações medidas como resultado da exposição dos tubos durante quatro semanas são inferiores às medidas no caso em que a concentração média foi obtida durante o mesmo período por exposições de uma semana, o que poderá resultar de uma perda subsequente do material retido (explicação mais razoável do que por saturação do absorvente).

Há vários fatores que influenciam a resposta dos tubos de difusão, uma vez que estes são afetados por vários mecanismos que podem causar um efeito de sobrestimação ou subestimação das concentrações em relação às obtidas através dos métodos de referência. Algumas das razões que podem causar uma sobrestimação, por exemplo no caso dos tubos de NO₂, podem resultar do efeito individual ou combinado dos três seguintes fatores de interferência:

- Encurtamento do caminho de difusão, devido a turbulência na área circundante do tubo por ação do vento (por exemplo, em localizações de tráfego onde os tubos possam ser afetados pela turbulência da passagem de viaturas a velocidades elevadas);

- Bloqueio da radiação UV pelo material do tubo resultando numa redução da fotólise do NO₂ no tubo;
- Efeito de interferência pelo poluente PAN (peroxi-acetil nitrato), oxidante fotoquímico associado a emissões provenientes do tráfego rodoviário.

Alguns dos fatores conhecidos como causadores de subestimação, no caso dos tubos de NO₂, são:

- Aumento do período de exposição. Períodos de exposição mais curtos originam leituras de concentrações mais elevadas do que períodos de exposição mais longos. Este fenómeno deve-se à degradação do nitrito absorvido ao longo do tempo;
- Extração insuficiente de nitrito das *cartridges*;
- Degradação fotoquímica do complexo de nitrito-trietanolamina pela luz, apesar de este efeito ser minimizado pela utilização de tubos difusores opacos.

4.1.4 Incerteza e exatidão do método de difusão passiva

A legislação de qualidade do ar ambiente em vigor, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de Setembro (alterado pelo Decreto-Lei n.º 43/2015 de 27 de Março), especifica objetivos de qualidade de dados. A incerteza deve ser entendida, neste contexto, como sendo a medida quantitativa do desvio mais provável do valor medido em relação ao “valor real”. Por isso, existem formas de quantificação da exatidão associada aos métodos de avaliação introduzidas de forma harmonizada para a União Europeia por um grupo de trabalho da Comissão Europeia.

O valor de referência proposto por Van Aalst *et al* (1999) para medições indicativas, como é o caso destas medições recorrendo a tubos de difusão, é de 30%. O cálculo da incerteza pode efetuar-se, tendo por base os tubos de difusão expostos em duplicado ou triplicado e o resultado da estação de monitorização da qualidade do ar selecionada para o mesmo período. A forma de cálculo da incerteza, disposta na Norma Europeia EN 13528-1:2002, encontra-se indicada de seguida:

$$incerteza(\%) = \frac{|\bar{x} - x_{ref}| + 2S}{x_{ref}} \times 100$$

Em que:

$\bar{x}$ é o valor da média dos resultados das repetições de medições

x_{ref} é o valor de concentração “real” (aceite como tal, dado ser medido através do método de referência)

S é o desvio padrão das medições

Outras causas de erro, a considerar na análise dos resultados obtidos, resultam de:

- erros no manuseamento dos tubos, quer na sua abertura, quer na colocação da substância adsorvente no difusor;
- erros na análise, resultantes da contaminação da amostra e da utilização de reagentes não padronizados;

Assim, aquando da análise de resultados torna-se necessário recorrer a técnicas de verificação de erros e a critérios para desprezar valores considerados inconsistentes.

4.1.5 Sazonalidade

As diferentes características dos poluentes atmosféricos começam logo pelos diferentes modos de como estes são gerados, sendo, assim, possível distinguir dois tipos: os poluentes primários (caso dos óxidos de azoto e benzeno) e os secundários (como é o caso do ozono). Os primeiros são emitidos diretamente para a atmosfera, os segundos resultam da transformação na atmosfera dos poluentes primários por diferentes reações químicas, potenciadas pela ação da radiação solar. A maioria dos poluentes evolui segundo um ciclo sazonal bem marcado:

- os poluentes primários apresentam geralmente concentrações mais elevadas durante os períodos de Inverno do que durante os de Verão, devido nomeadamente a condições de maior estabilidade atmosférica;
- o invés, as concentrações de ozono são mais elevadas durante a Primavera e Verão em comparação com as de Outono e Inverno. Trata-se de um poluente secundário cuja produção está essencialmente relacionada com a intensidade da radiação solar.

Os parâmetros meteorológicos observados durante o período de amostragem têm uma influência significativa quer ao nível das reações químicas dos poluentes na atmosfera, quer ao nível da interferência com o funcionamento dos tubos de difusão. Estudos laboratoriais efetuados por Hangartner (2001) permitiram estabelecer intervalos de segurança de medições para a temperatura, pressão e humidade:

- na amostragem de NO₂, o intervalo de segurança relativamente à temperatura está entre os 5°C e os 50°C;
- a influência da pressão atmosférica resulta numa diminuição da eficácia da amostragem com o aumento desta. Para o NO₂ estima-se que a influência da pressão atmosférica nos locais de medição esteja na ordem dos 5% por cada 1000m. Em países montanhosos esta influência pode ser significativa, no entanto, desde que seja conhecida a altitude pode ser facilmente calculado um factor de correção;
- relativamente à humidade relativa (HR), não foram registadas alterações na eficácia da adsorção entre os 20% e 80% de humidade relativa.

No sentido de minimizar potenciais problemas provocados por fatores como velocidades de vento elevadas ou muito reduzidas e precipitação, tiveram-se em conta as seguintes orientações:

- a Norma Europeia EN 13528-1:2002, de 11 de Outubro de 2002, para este método, aconselha a utilização de abrigos protetores. No entanto, o mesmo documento recomenda que os abrigos sejam concebidos de modo a garantir que o movimento de ar no seu interior seja representativo do ar na sua envolvente, e que o seu desenho não afete significativamente a direção do vento e a taxa de difusão no tubo;
- deve ser evitada a exposição dos tubos em áreas de fraca movimentação do ar. A velocidade de circulação do ar na parte aberta do tubo deve ser da ordem de 10cm/s para que 99% do NO₂ seja recolhido. Para velocidades inferiores cria-se uma zona de estagnação à entrada do tubo que impede a renovação do ar.

4.2 Campanha de avaliação da qualidade do ar

A campanha de avaliação da qualidade do ar, de acordo com o protocolado entre a FCT NOVA e a CCDR-N, pretendeu efetuar o estudo da representatividade da rede de monitorização da região Norte, assim como de eventuais áreas onde exista falta de informação relativa à concentração de poluentes atmosféricos, relevante à tomada de decisões estratégicas. Para a execução desse estudo, procedeu-se à realização de campanha de amostragem de avaliação sistemática da distribuição espacial dos poluentes.

A metodologia selecionada para a avaliação da distribuição espacial dos poluentes recorre a campanhas de medição pontual, através do método da difusão passiva, com recurso a tubos de difusão *Radiello*[®] (poluentes NO₂, SO₂, O₃ e C₆H₆).

Relativamente às características das campanhas, ponderaram-se fatores tais como: histórico de concentrações médias de cada poluente, distribuição e escala espacial dos casos mais críticos de poluição atmosférica. Complementarmente ao estudo de representatividade de caráter mais abrangente a toda a rede de monitorização, foi adotada uma avaliação mais particularizada (para o poluente NO₂) nas estações de tráfego, nomeadamente nas de Frei Bartolomeu Mártires-Vítor (CRCL), João Gomes Laranjo-Senhora da Hora (HOR) e Francisco Sá Carneiro-Campanhã (ANT), de forma a aprofundar o conhecimento acerca da gama de concentrações medidas na área envolvente às atuais localizações, para os principais poluentes associados ao tráfego rodoviário.

No que concerne à avaliação da representatividade do poluente ozono, foi definida uma malha de amostragem por toda a região Norte (malha 40x40 km), adaptada à Área Metropolitana do Porto, tendo sido ainda aplicada uma medição particularizada nas estações de Douro Norte (OLO) e Burgães – Santo Tirso (BST), através da adoção de malhas circulares de avaliação.

A grelha de amostragem do poluente benzeno foi direcionada para a zona de Leça da Palmeira – Matosinhos, na área envolvente à Refinaria de Leça da Palmeira, visto que indústria de refinação de petroquímicos constitui uma das principais fontes de emissão do poluente em avaliação.

4.2.1 Período de amostragem

As campanhas da avaliação da qualidade do ar dos poluentes NO₂, SO₂, O₃ e C₆H₆, através do método de difusão passiva, foram realizadas durante o período meteorológico de Verão de 2020, mais concretamente entre 13 e 22 de Julho de 2020.

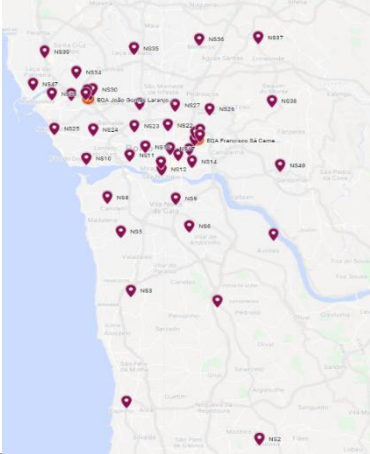
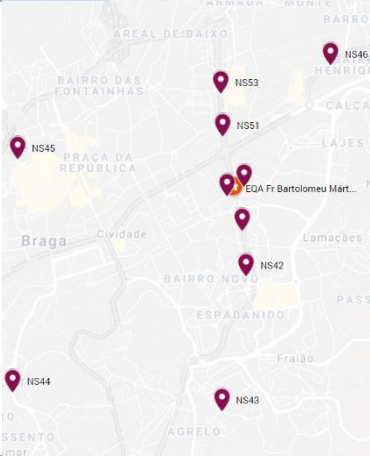
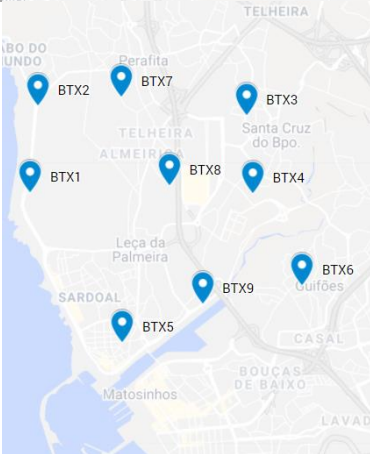
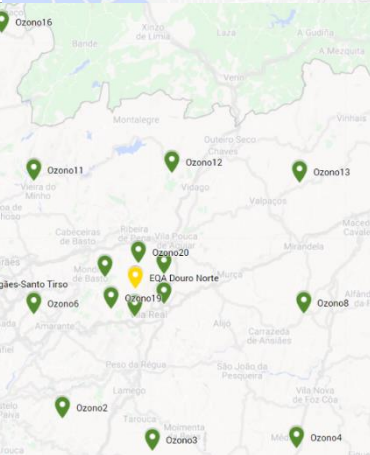
- Ponto de controlo de qualidade para os poluentes (QA/QC):
 - **NO₂ e SO₂**: EQA Frei Bartolomeu Mártires-S. Vítor (CRCL) e EQA Burgães-Santo Tirso (BST)
 - **O₃**: EMQA Burgães-Santo Tirso (BST)
- Número Total de Pontos de Amostragem:
 - **NO₂ e SO₂**: 53 pontos
 - **O₃**: 35 pontos
 - **C₆H₆**: 9 pontos

4.2.2 Grelhas de amostragem

A campanha de avaliação da qualidade do ar através do método de difusão molecular passiva foi composta por 4 grelhas de amostragem (Tabela 12). As grelhas de amostragem foram conjuntamente pelas equipas técnicas da FCT NOVA e da CCDR-N, tendo em conta os objetivos de avaliação da representatividade da rede de monitorização da qualidade do ar da região Norte e a avaliação particularizada de cinco EQA da rede gerida pela CCDR-N:

- EQA Francisco Sá Carneiro – Campanhã (ANT);
- EQA João Gomes Laranjo – Senhora da Hora (HOR);
- EQA Frei Bartolomeu Mártires – S. Vitor (CRCL);
- EQA Burgães – Santo Tirso (BST);
- EQA Douro Norte (OLO)

Tabela 12 – Grelhas de amostragem adotadas para o método de avaliação passiva da qualidade do ar

	Avaliação de dióxido de azoto (NO₂) e dióxido de enxofre (SO₂) na aglomeração de Porto Litoral. Avaliação particularizada das EQA de Francisco Sá Carneiro – Campanhã e João Gomes Laranjo – Senhora da Hora, através da colocação de pontos de amostragem na área envolvente das estações.
	Avaliação de dióxido de azoto (NO₂) e dióxido de enxofre (SO₂) na aglomeração de Porto Litoral e Entre Douro e Minho. Avaliação particularizada da EQA Frei Bartolomeu Mártires – S. Vitor, através da colocação de pontos de amostragem de NO₂ e SO₂ na área envolvente das estações.
	Avaliação de benzeno (C₆H₆) na área envolvente à refinaria de Matosinhos
	Avaliação de ozono (O₃) na região de jurisdição da CCDDR-N. Avaliação particularizada das EQA Burgães – Santo Tirso e Douro Norte, através da colocação de pontos de amostragem de O₃ na área envolvente das estações.

5 Resultados da campanha de avaliação da qualidade do ar

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos na avaliação da qualidade do ar através do método de difusão passiva, obtidos no decurso da campanha realizada no mês de Julho de 2020.

5.1 Controlo e garantia de qualidade do método de difusão passiva

Na presente campanha de avaliação da qualidade do ar através do método de difusão passiva, desenvolveram-se procedimentos de controlo e garantia de qualidade para medições indicativas (*Quality Assurance/Quality Control – QA/QC*), tal como foi mencionado anteriormente na secção relativa à metodologia.

No que diz respeito à avaliação de NO_2 e SO_2 , os procedimentos de QA/QC envolveram a colocação de pontos triplicados (3 amostradores de NO_2/SO_2 no mesmo local) nas EQA de Frei Bartolomeu Mártires – S. Vítor e Burgães – Santo Tirso.

Relativamente à avaliação de O_3 , o ponto triplicado foi instalado na EQA de Burgães – Santo Tirso.

No que concerne à avaliação de benzeno, não foi possível, por questões de índole técnica, a colocação de um ponto triplicado numa das EQA existentes na área envolvente à refinaria de Matosinhos. Assim, adotou-se uma estratégia metodológica que envolveu a colocação de 1 ponto duplicado e 1 triplicado em duas localizações da grelha de amostragem de benzeno (BTX8 e BTX5 respetivamente).

Em termos do estudo da precisão, o nível de reprodutibilidade das medições efetuadas por difusão passiva num mesmo local pode ser avaliado através do coeficiente de variação (razão entre o desvio padrão e a média). Um CV satisfatório, significando uma baixa dispersão dos resultados, estará abaixo dos 10%.

Relativamente à exatidão, este parâmetro permite avaliar a qualidade da resposta das medições dos tubos difusores em relação aos analisadores automáticos, identificando-se possíveis tendências de sobrestimação ou subestimação das concentrações obtidas por difusão passiva.

O cálculo da incerteza (que integra o grau de precisão e exatidão das medições através do método passivo) é feito com base na fórmula apresentada na secção da metodologia relativa a este aspeto.

A Tabela 13 apresenta os resultados do cálculo dos parâmetros de avaliação QA/QC.

Tabela 13 - Parâmetros estatísticos da avaliação do controlo de qualidade QA/QC

PARÂMETRO	NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	C_6H_6 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	EQA BST	EQA CRCL	EQA BST	EQA CRCL	EQA BST	TRIPLO	DUPLO
Média tubos QA/QC (x)	8,3	42,7	0,6	0,4	68,3	2,1	1,6
Média EQA (x_{ref})	19,2	43,9			53,6		
Desvio Padrão (S)	0,3	12,1	0,3	0,0	3,2	0,3	0,1
Precisão (%)	4%	28%	51%		5%	12%	9%
$X - X_{\text{ref}}$	10,9	1,3			14,8		
Exatidão (%)	57%	3%			28%		
Incerteza (%)	60%	58%			40%		
Precisão = $S \cdot 100 / X$ Exatidão = $ X - X_{\text{ref}} / X_{\text{ref}}$ Incerteza = $(X - X_{\text{ref}} + 2S) / X_{\text{ref}}$							

Relativamente aos parâmetros estatísticos da avaliação do controlo de qualidade para os poluentes em análise verifica-se que:

- Os resultados obtidos nesta campanha resultaram em CV satisfatórios na EQA BST para os poluentes NO₂ e O₃ (inferior a 10%). Isto significa que verificou-se uma baixa dispersão dos resultados das concentrações dos amostradores dos poluentes analisados. No que concerne à EQA CRCL, os resultados para o NO₂ não foram tão satisfatórios, mas ainda assim reprodutíveis (inferior a 40%). A precisão do poluente SO₂ não foi considerada satisfatória, o que pode estar relacionado com as baixas concentrações avaliadas;
- Relativamente à exatidão, fator de aproximação entre a medição passiva e a concentração do poluente (tida como real), os tubos de NO₂ apresentaram bons níveis de exatidão face ao método de referência na EQA CRCL e o O₃ níveis satisfatórios na EQA BST;
- No que respeita à incerteza, nos poluentes NO₂ e O₃ obteve-se uma incerteza de superior a 30% (considerada aceitável para este método de medição), o que, neste caso, se deveu a uma exatidão reduzida causada por um maior afastamento entre os valores medidos pelos dois métodos e não a falhas ao nível da precisão (uma vez que o método passivo apresentou uma boa reprodutibilidade de concentrações).
- A precisão do método de amostragem do poluente C₆H₆ foi satisfatória;
- Para o poluente SO₂ não foi possível realizar o cálculo de alguns parâmetros devido às EQA selecionadas não medirem este poluente. Como o amostrador de SO₂ é o mesmo que mede NO₂, optou-se por privilegiar o QA/QC de NO₂.

5.2 Dióxido de Azoto (NO₂) e Dióxido de Enxofre (SO₂)

A campanha de avaliação através do método de difusão passiva (tubos de difusão) dos poluentes NO₂ e SO₂ obteve uma taxa de sucesso de 96%, dado que apenas dois dos 53 tubos colocados não foram recolhidos por ter sido vandalizados. As concentrações foram determinadas com recursos a análises realizadas no Laboratório de Referência do Ambiente da Agência Portuguesa do Ambiente.

Relativamente ao poluente NO₂ verificou-se que a média dos 51 tubos amostrados foi de 23,6 µg/m³, sendo que o valor mais elevado foi amostrado no ponto NS51 (63,0 µg/m³) e o mais reduzido foi NS7 (7,1 µg/m³). Relativamente ao poluente SO₂, a média da campanha foi de 1,3 µg/m³, não se tendo verificado níveis elevados de concentração deste poluente nos pontos de amostragem. A Tabela 14 apresenta a análise estatística realizada aos resultados obtidos na campanha de amostragem de NO₂ e SO₂.

Tabela 14 - Análise estatística das concentrações de NO₂ e SO₂

Parâmetros	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
Número de pontos válidos	52	52
Média	23,6	1,3
Máximo	63,0	5,3
Mínimo	7,1	0,4
Desvio Padrão	7,2	1,1

A Figura 5 apresenta a concentração média semanal obtida em cada ponto de avaliação. A análise de conformidade legal não constitui objetivo deste trabalho, nem deve ser encarado como tal, visto que os períodos de exposição dos amostradores (7 dias) não correspondem aos períodos de exposição dispostos no Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro, para o NO₂ (médias horárias ou anuais). Pode, contudo, comparar-se os valores obtidos com o valor limite anual para este poluente, por forma a obter-se uma avaliação global de concentrações para o concelho e identificar potenciais áreas com níveis mais elevados, comparativamente com outras. Tendo isso em consideração, verificam-se seis pontos de amostragem com uma concentração média semanal superior ao valor-limite anual. Os seis pontos com concentrações superiores ao valor-limite anual situavam-se nos concelhos de Porto (2 pontos), Valongo (1 ponto) e Braga (3 pontos).

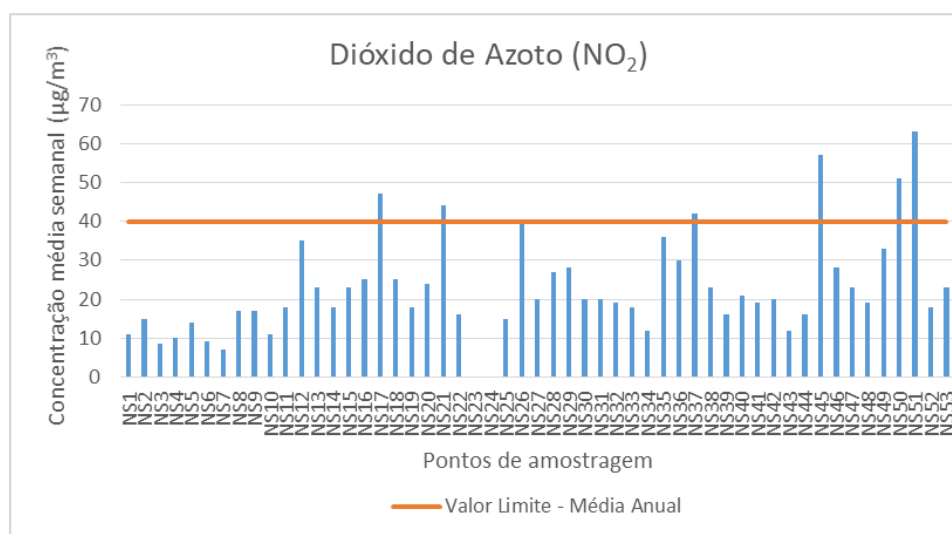


Figura 5 - Concentração média semanal de NO₂ registada em cada ponto de avaliação

A Figura 6 apresenta a representação geo-estatística das concentrações médias semanais do poluente NO₂.

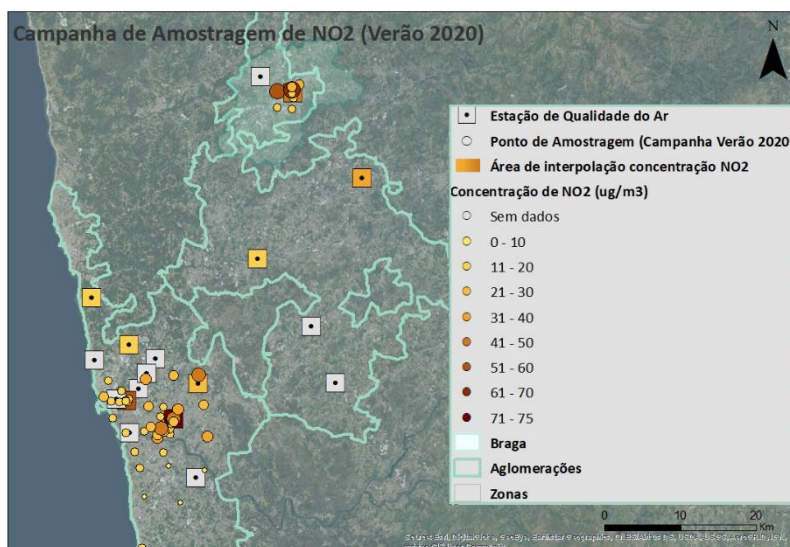


Figura 6 – Mapa de concentrações de NO₂

Relativamente à avaliação particularizada das EQA de Francisco Sá Carneiro – Campanhã, João Gomes Laranjo – Senhora da Hora e Frei Bartolomeu Mártires – S. Vitor constatou-se o seguinte:

- EQA Frei Bartolomeu Mártires – S. Vitor: os pontos NS50 e NS51, localizados a Sul e Norte a uma distância de 200m da EQA, obtiveram concentrações de NO₂ de 51 µg/m³ e 63 µg/m³ respetivamente.

Relativamente aos restantes quatro pontos colocados na envolvente da mesma EQA, constatou-se que por se encontrarem em vias paralelas à EQA (NS48 e NS52), com menor tráfego rodoviário, ou a uma distância superior a 800m da EQA (NS53 e NS42), apresentaram concentrações entre 18 e 23 µg/m³.

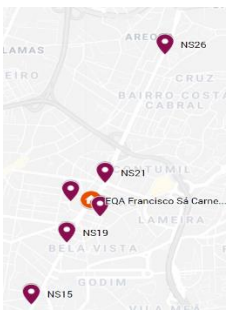
A concentração média de NO₂ monitorizada na EQA no período em análise foi de 43,9 µg/m³;

	Concentração média NO ₂ (µg/m ³)			
EQA CRCL	43,9	Ponto	NO ₂ (µg/m ³)	
Pontos de amostragem	32,3	NS 42	20,0	
		NS 48	19,0	
		NS 50	51,0	
		NS 51	63,0	
		NS 52	18,0	
		NS 53	23,0	

- EQA Francisco Sá Carneiro - Campanhã: dos seis pontos localizados na área envolvente a esta EQA, apenas os localizados a Norte (NS21 a 200m ; NS26 a 1600m) obtiveram concentrações $\geq 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

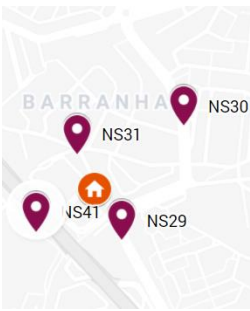
Os restantes quatro pontos, NS20 e NS40 (Este e Oeste a 160m da EQA) e NS19 e NS15 (Sul a 480 e 1200m da EQA), obtiveram concentrações entre $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A concentração média de NO_2 monitorizada na EQA no período em análise foi de $75,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$;

	Concentração média NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
EQA ANT	75,4	Ponto	NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Pontos de amostragem	28,3	NS 15	23,0	
		NS 19	18,0	
		NS 20	24,0	
		NS 21	44,0	
		NS 26	40,0	
		NS 40	21,0	

- EQA João Gomes Laranjo – Senhora da Hora: os quatro pontos colocados na envolvente à EQA obtiveram concentrações entre $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O ponto NS29, que obteve a concentração mais elevada, foi instalado na Av. Calouste Gulbenkian a 200m da EQA.

A concentração média de NO_2 monitorizada na EQA no período em análise foi de $59,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

	Concentração média NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
EQA HOR	59,0	Ponto	NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Pontos de amostragem	21,8	NS 29	28,0	
		NS 30	20,0	
		NS 31	20,0	
		NS 41	19,0	

Constatou-se que a concentração média de NO_2 nas três EQA analisadas foi superior à concentração média dos pontos de amostragem na envolvente das EQA. Isto significa que o método de difusão molecular passiva subestimou as concentrações de NO_2 nas zonas envolventes às estações de monitorização da qualidade do ar geridas pela CCDR-N.

A Figura 7 apresenta a concentração média semanal de dióxido de enxofre (SO₂) obtida em cada ponto de avaliação. A análise de conformidade legal não constitui objetivo deste trabalho, nem deve ser encarado como tal, visto que os períodos de exposição dos amostradores (7 dias) não correspondem aos períodos de exposição dispostos no Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro, para o SO₂. Apesar disso, constatou-se que as concentrações obtidas situaram-se em níveis inferiores ao Valor Limite Diário (125 µg/m³) estabelecido para este poluente.

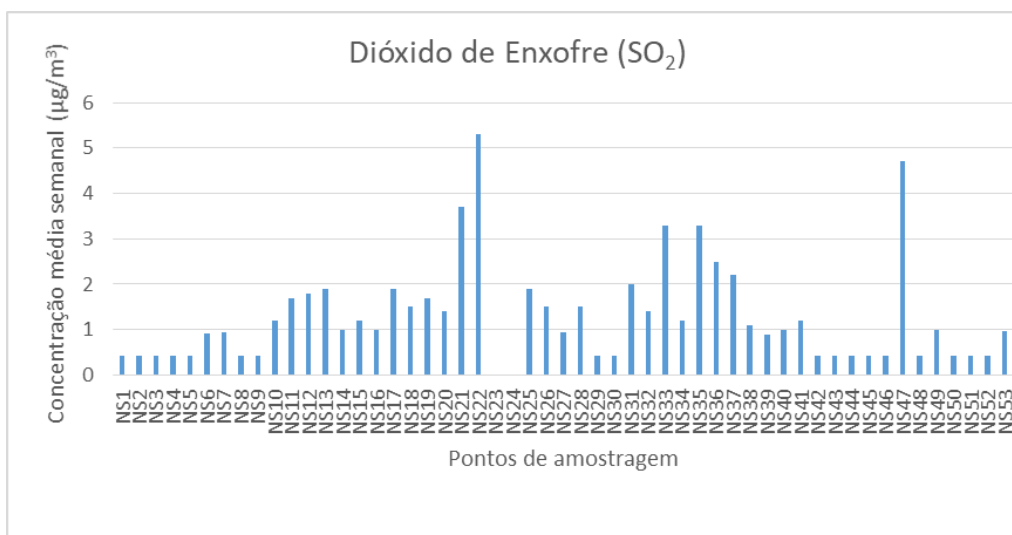


Figura 7 - Concentração média semanal de SO₂ registada em cada ponto de avaliação

A Figura 8 apresenta o mapa de concentrações de SO₂ obtidas na campanha de amostragem realizada em Julho de 2020. Apesar das concentrações médias semanais obtidas terem sido reduzidas, constatou-se que foi nos pontos localizados no concelho do Porto e limítrofes (Matosinhos, Gondomar e Valongo) que foram amostradas concentrações superiores aos restantes pontos de avaliação.

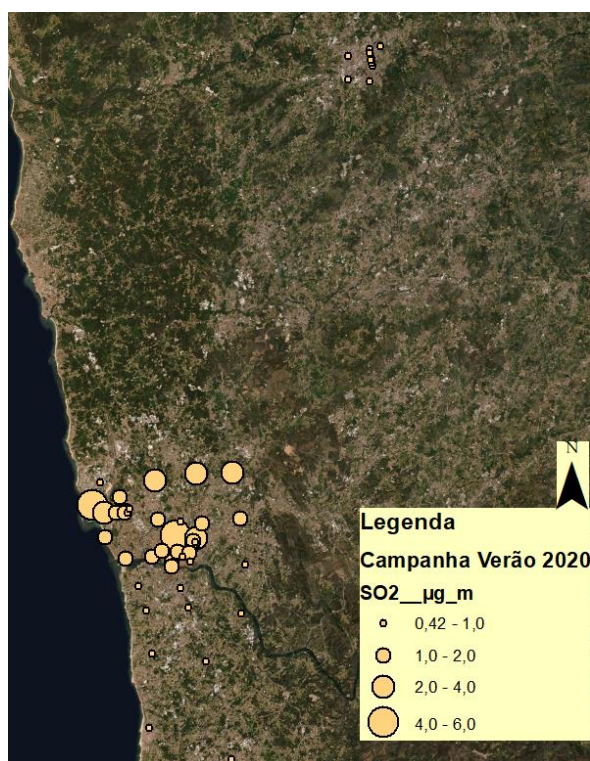


Figura 8 - Mapa de concentrações de SO₂

5.3 Ozono (O₃)

O poluente ozono foi avaliado em 35 pontos de amostragem distribuídos numa malha de 40x40km em toda a região norte de Portugal, e ainda numa avaliação particularizada através de uma distribuição circular de pontos, no raio de 6km e 9km na envolvente das EQA Burgães – Santo Tirso e Douro Norte, respetivamente.

A Tabela 15 apresenta a análise estatística elaborada para as concentrações amostradas nos 35 pontos de avaliação de ozono, obtidas na campanha realizada em Julho de 2020. Verificou-se que a concentração média foi de 49,6 µg/m³.

Tabela 15 - Análise estatística das concentrações de O₃

Parâmetros	O ₃ (µg/m ³)
Número de pontos válidos	35
Média	49,6
Máximo	95,0
Mínimo	2,4
Desvio Padrão	3,2

A Figura 9 apresenta a concentração média semanal de ozono obtida em cada um dos 35 pontos de avaliação da grelha de amostragem adotada. Apesar do Valor-Alvo definido pela legislação nacional não ter sido alcançado em nenhum dos pontos de amostragem, ressalva-se que as concentrações amostradas englobam um período de avaliação de uma semana (7 dias) e não de base diária.

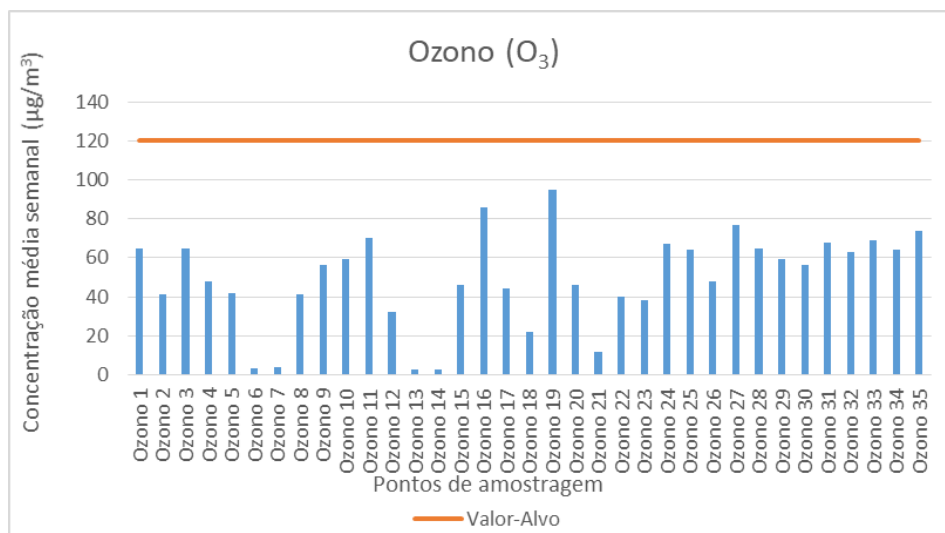


Figura 9 - Concentração média semanal de O₃ registada em cada ponto de avaliação

O mapa de concentrações de ozono obtido com base nos resultados da campanha de amostragem realizada no mês de Julho de 2020 encontra-se representado na Figura 10.

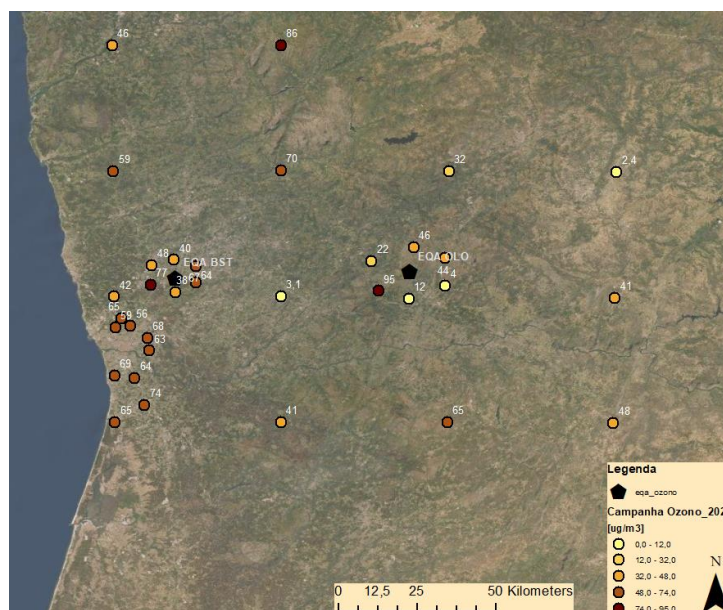


Figura 10 – Mapa de concentrações de O₃

A avaliação particularizada realizada às EQA de Burgães – Santo Tirso e Douro – Norte, de forma a caracterizar a representatividade das mesmas nas suas áreas envolventes, recorreu a uma metodologia de amostragem através de colocação de pontos à volta das referidas EQA.

Como é possível verificar na Tabela 16, os seis pontos foram colocados à volta da EQA de Burgães – Santo Tirso, a uma distância de 6km entre cada amostrador e a estação. A concentração média obtida nos seis pontos de amostragem foi semelhante à avaliada na EQA, o que demonstra uma boa representatividade da mesma para o poluente ozono.

Tabela 16 – Avaliação particularizada da EQA de Burgães – Santo Tirso

	Concentração média O ₃ (μg/m ³)			
EQA BST	53,6	Ponto	O ₃ (μg/m ³)	
Pontos de amostragem (Raio 6km)	55,7	Ozono 22	40,0	
		Ozono 23	38,0	
		Ozono 24	67,0	
		Ozono 25	64,0	
		Ozono 26	48,0	
		Ozono 27	77,0	

A Tabela 17 apresenta a avaliação particularizada realizada para a EQA de Douro – Norte. Verificou-se uma fraca influência do poluente em análise nas localizações respeitantes aos pontos 7 e 21 (Sudeste e Sul da EQA, respetivamente), apresentando valores inferiores aos restantes. Constatou-se ainda que o ponto Ozono 19 foi o que obteve a concentração mais elevada desta malha e, ainda, de toda a campanha de amostragem.

Tabela 17 - Avaliação particularizada da EQA Douro - Norte

	Concentração média O ₃ (µg/m ³)			
EQA OLO	99,9	Ponto	O₃ (µg/m³)	
Pontos de amostragem (Raio 9km)	37,2	Ozono 7	4,0	
		Ozono 17	44,0	
		Ozono 18	22,0	
		Ozono 19	95,0	
		Ozono 20	46,0	
		Ozono 21	12,0	

A análise particularizada das estações de monitorização da qualidade do ar seleccionadas para a avaliação da representatividade do poluente ozono na área envolvente das mesmas, permitiu verificar que:

- A concentração média de O₃ dos pontos de amostragem na envolvente da EQA Burgães – Santo Tirso foi muito semelhante à concentração média da estação para o mesmo período, o que indica uma boa representatividade da EQA na área envolvente;
- A concentração média de O₃ dos pontos de amostragem na envolvente da EQA Douro - Norte apresentou algum distanciamento em relação à concentração média da estação para o mesmo período. Este facto pode ser explicado pelas baixas concentrações obtidas nos pontos 7 e 21; que influenciaram a média dos amostradores. No entanto, a concentração obtida no ponto 19 foi muito semelhante à média da EQA.

A Figura 11 apresenta a evolução da concentração média diária do poluente O₃ nas EQA de Burgães – Santo Tirso (BST) e Douro – Norte (OLO).

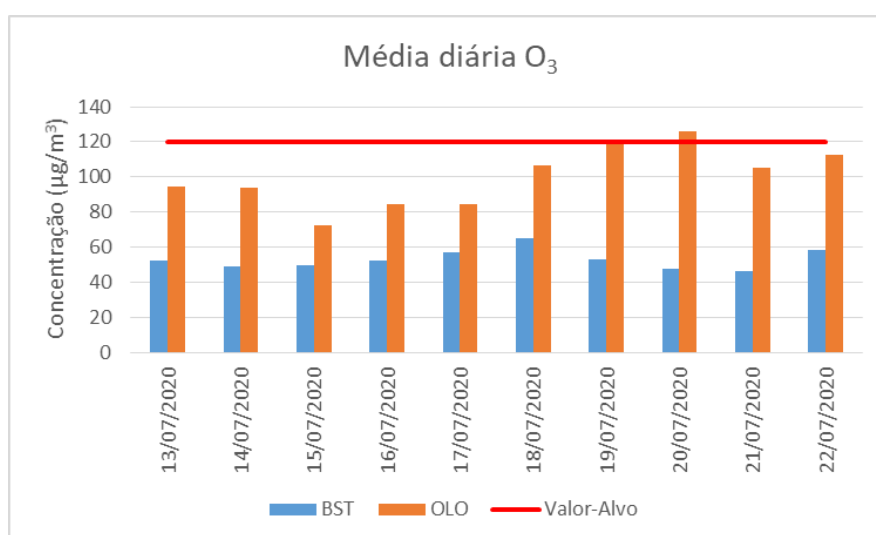


Figura 11 – Concentração média diária de ozono nas EQA seleccionadas no período da campanha de amostragem passiva

5.4 Benzeno (C₆H₆)

A avaliação do poluente benzeno incidiu na área envolvente à refinaria de Matosinhos, através da colocação de 9 pontos de amostragem. A Tabela 18 apresenta a análise estatística elaborada para as concentrações obtidas na grelha de amostragem do poluente benzeno.

Tabela 18 - Análise estatística das concentrações de C₆H₆

Parâmetros	C ₆ H ₆ (µg/m ³)
Número de pontos válidos	9,0
Média	1,5
Máximo	2,3
Mínimo	0,7
Desvio Padrão	0,5

As concentrações médias semanais obtidas em cada ponto de amostragem da grelha de avaliação de benzeno encontram-se representadas na Figura 12. Verificou-se que os pontos BTX2, BTX5 e BTX9 apresentaram as concentrações ligeiramente mais elevadas que os restantes. Constatou-se ainda que as concentrações de benzeno obtidas, na semana em análise, foram inferiores ao Valor-Limite, ainda que de base anual.

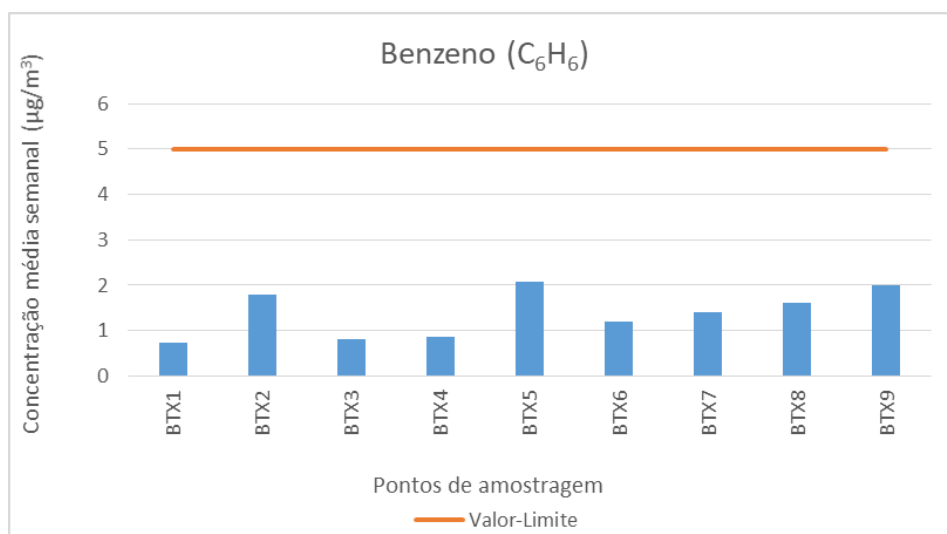


Figura 12 - Concentração média semanal de C₆H₆ registada em cada ponto de avaliação

A Figura 13 apresenta o mapa de concentrações de benzeno nos nove pontos da grelha de amostragem. Constatou-se que as concentrações mais elevadas registaram-se a Sul da refinaria de Matosinhos, nas imediações do Porto de Leixões e na freguesia de Leça da Palmeira.



Figura 13 - Mapa de concentrações de C_6H_6

6 Considerações finais

A avaliação da representatividade das estações de monitorização da qualidade do ar da região Norte envolveu a realização de uma campanha de avaliação da qualidade do ar através do método passivo decorreu entre 13 e 23 de Julho de 2020. Os poluentes avaliados foram o dióxido de azoto (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2), ozono (O_3) e benzeno (C_6H_6).

Os resultados obtidos na avaliação de NO_2 permitiram concluir que a média deste poluente nesta campanha de amostragem foi de $23,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O valor mais elevado foi amostrado no ponto NS51 ($63,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Os resultados da campanha de NO_2 , com especial enfoque nas avaliações particularizadas da representatividade das EQA Francisco Sá Carneiro – Campanhã, João Gomes Laranjo - S. Hora e Frei Bartolomeu Mártires – S. Vítor, permitiram considerar que as concentrações dos amostradores passivos subestimaram os níveis de NO_2 em ar ambiente, visto que a concentração média dos pontos na envolvente das EQA foi inferior à concentração média deste poluente nas estações em análise.

No que diz respeito ao poluente SO_2 considera-se que, tendo em conta os resultados obtidos, que os níveis de concentração deste em ar ambiente, na área de avaliação definida, não constituem um fator de preocupação ambiental, uma vez que não foram identificados eventuais focos de poluição atmosférica associados a este poluente. Assim sendo, considera-se que a rede de monitorização de qualidade do ar da região norte apresenta características de avaliação deste poluente representativas na área da responsabilidade da CCDR-N.

Relativamente a campanha de avaliação da qualidade do ar de ozono e, particularmente, à avaliação particularizada das EQA de Burgães – Santo Tirso e Douro – Norte, considera-se que a concentração média obtida nos pontos de amostragem na área envolvente à EQA BST foi muito semelhante à concentração média registada na estação, para o mesmo período, o que indica uma boa representatividade das concentrações de ozono. No que concerne à EQA OLO, não se tornou possível estabelecer a mesma consideração, uma vez que dois dos seis pontos de amostragem obtiveram concentrações mais reduzidas, tendo influenciado a média dos pontos na envolvente da estação para níveis de concentração inferiores aos registados na EQA OLO.

No que concerne aos resultados da amostragem de benzeno, verificou-se que as concentrações obtidas foram inferiores ao valor-limite legislado e que os valores mais elevados foram registados nos pontos a Sul da refinaria de Matosinhos.

As visitas de campo realizadas às estações de Francisco Sá Carneiro – Campanhã (ANT), João Gomes Laranjo – S. Hora (HOR) e Frei Bartolomeu Mártires – S. Vítor (CRCL) permitiram constatar que:

- A existência de um semáforo rodoviário a menos de 15m da EQA ANT;
- A EQA HOR está localizada a uma distância inferior a 25m de um cruzamento.

7 Referências bibliográficas

APA – Agência Portuguesa do Ambiente, DCEA-FCT NOVA, (2001). Delimitação de zonas e aglomerações para avaliação da qualidade do ar em Portugal, Relatório, Outubro de 2001.

CCDR-N, (2009). PROT – PLANO REGIONAL DE ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO DA REGIÃO DO NORTE, Proposta de Plano, Porto, Disponível em: <https://www.ccdr-n.pt/servicos/ordenamento-territorio/documentos>.

CCDR-N, (2009). REAVALIAÇÃO DAS ZONAS E AGLOMERAÇÕES DA REGIÃO NORTE

CCDRN-DMVA/CAPER, (2011). Proposta de remodelação da rede de medida da qualidade do ar da região Norte, [Documento não publicado].

Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro. Estabelece o Regime da Avaliação e Gestão da Qualidade do Ar Ambiente, transpondo a Diretiva n.º 2008/50/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Maio.

EEA – European Environment Agency, (2014). Air quality in Europe – 2014 report. EEA Report N5/2014, Luxembourg: Publications Office of the European Union, doi: 10.2800/22847. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2014>.

Larssen, S., Sluyter, R. & Helmis, C., (1999). Criteria for EuroAirnet - The EEA Air Quality Monitoring and Information, Network Technical Report N.º 12, European Environment Agency, Copenhagen.