
RELATÓRIO FINAL
ANÁLISE TÉCNICA E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR NO CONCELHO DE CASCAIS

ÚLTIMA ACTUALIZAÇÃO: 22/07/2022

N.º PÁGINAS: 52

ELABORADO POR:

Hugo Tente (DCEA - FCT/UNL)

AGRADECIMENTOS POR COLABORAÇÃO / INTERACÇÃO A:

Ana Rita Serra (CMC)
Carlos Arieiro (CMC)
Francisco Ferreira (DCEA – FCT/UNL)
Joana Monjardino (DCEA – FCT/UNL)
Jorge Ferreira (QART)
Paulo Pereira (DCEA – FCT/UNL)
Sílvia Duarte (CMC)

COMENTÁRIOS/DÚVIDAS SOBRE ESTE CONTEÚDO:

Hugo Tente (htente@fct.unl.pt)

RELATÓRIO FINAL
ANÁLISE TÉCNICA E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR NO CONCELHO DE CASCAIS

ÚLTIMA ACTUALIZAÇÃO: 22/07/2022

N.º PÁGINAS: 52

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	A
ÍNDICE DE TABELAS	D
1. INTRODUÇÃO, CONTEXTO E OBJECTIVO	5
2. A REDE DE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM CASCAIS	5
3. OBJECTIVOS ESPECÍFICOS DESTE RELATÓRIO	9
4. RESULTADOS PRELIMINARES E DISCUSSÃO	10
EFICIÊNCIAS DE MEDIÇÃO	10
ANÁLISE DE CONCENTRAÇÕES OBTIDAS	13
Partículas atmosféricas em suspensão (PM ₁₀)	13
Dióxido de Azoto (NO ₂)	16
Ozono (O ₃)	18
COMPARAÇÃO ENTRE LOCAIS	20
MEDIÇÕES DISCREPANTES (“OUTLIERS”)	21
OUTRAS NOTAS RELEVANTES	22
GARANTIA E QUALIDADE DOS DADOS OBTIDOS (QA/QC)	23
Partículas atmosféricas inaláveis em suspensão (PM ₁₀)	23
Dióxido de Azoto (NO ₂)	24
Ozono (O ₃)	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
O EFEITO DA PANDEMIA SARS-CoV-2 NA QUALIDADE DO AR AMBIENTE	26

Partículas atmosféricas em suspensão (PM ₁₀)	27
Dióxido de Azoto (NO ₂)	30
Ozono (O ₃)	32
OS RESULTADOS INERENTES AOS SENSORES	34
RESULTADOS E PERFIS MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO LOCAL A LOCAL	38
Parede	38
Malveira da Serra	39
Guincho Cresmina	40
Abóboda	40
Murtal.....	41
Manique	42
Alcabideche	42
Rebelva São Domingos de Rana	43
Escola da Cidadela	44
Centro de Cascais	44
Estoril.....	45
MAPEAMENTO DAS CONCENTRAÇÕES REGISTADAS NO CONCELHO	46
Dióxido de azoto (NO ₂).....	47
Partículas inaláveis em suspensão (PM ₁₀).....	48
Ozono (O ₃)	49
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Algumas características da EMQA da Escola da Cidadela (fonte: qualar.apambiente.pt).....	6
Figura 2: Perspetiva do ambiente em redor da EMQA da Escola da Cidadela (fonte: Google Maps, 2020).....	7
Figura 3: Localizações selecionadas para a rede de sensores de qualidade do ar ambiente no concelho de Cascais (fonte: QART e CMC, 2020).....	8
Figura 4: Perfil das concentrações médias diárias de PM ₁₀ para os diferentes locais de medição com sensores e para a EMQA da Escola da Cidadela (dados sem pré-validação).....	14
Figura 5: Perfil das concentrações médias diárias de PM ₁₀ para os diferentes locais de medição com sensores e para a EMQA da Escola da Cidadela (dados com pré-validação).....	15
Figura 6: Diagrama de caixas (<i>boxplot</i>) para as concentrações médias diárias de PM ₁₀ medidas.....	16
Figura 7: Perfil das concentrações médias diárias de NO ₂ para os diferentes locais de medição com sensores e para a EMQA da Escola da Cidadela (dados pré-validados).....	17
Figura 8: Diagrama de caixas (<i>boxplot</i>) para as concentrações médias diárias de NO ₂ medidas.....	18
Figura 9: Perfil das concentrações médias diárias de O ₃ para os diferentes locais de medição com sensores e para a EMQA da Escola da Cidadela (dados pré-validados).....	19
Figura 10: Diagrama de caixas (<i>boxplot</i>) para as concentrações médias diárias de O ₃ medidas.....	20
Figura 11: Comparação linear entre métodos de medição para a localização da Escola da Cidadela para PM ₁₀	23
Figura 12: Comparação linear entre métodos de medição para a localização da Escola da Cidadela para NO ₂	24
Figura 13: Comparação linear entre métodos de medição para a localização da Escola da Cidadela para O ₃	25
Figura 14: Perfis de evolução diária desde 2016 até final de 2021 na EMQA da Escola da Cidadela para PM ₁₀ , NO ₂ e O ₃	27

Figura 15: Evolução das concentrações medidas de PM ₁₀ na EMQA Escola da Cidadela (01/01/2018 - 31/12/2021).....	27
Figura 16: Boletim de previsão da ocorrência de transporte de partículas do norte de África a 19/02/2021.....	28
Figura 17: Evolução das concentrações médias anuais de PM ₁₀ na EMQA Escola da Cidadela (2018 a 2021).....	29
Figura 18: Evolução das concentrações médias mensais de PM ₁₀ na EMQA Escola da Cidadela (2019 a 2021).....	30
Figura 19: Evolução das concentrações medidas de NO ₂ na EMQA Escola da Cidadela (01/01/2018 - 31/12/2021).....	31
Figura 20: Evolução das concentrações médias anuais de NO ₂ na EMQA Escola da Cidadela (2018 a 2021).....	31
Figura 21: Evolução das concentrações médias mensais de NO ₂ na EMQA Escola da Cidadela (2019 a 2021).....	32
Figura 22: Evolução das concentrações medidas de O ₃ na EMQA Escola da Cidadela (16/01/2020 - 31/12/2021).....	33
Figura 23: Evolução das concentrações médias anuais de O ₃ na EMQA Escola da Cidadela (2020 a 2021).....	33
Figura 24: Evolução das concentrações médias mensais de O ₃ na EMQA Escola da Cidadela (2020 e 2021).....	34
Figura 25: Concentrações médias diárias médias de PM ₁₀ para 2020 e 2021, por dia de semana, nas diferentes localizações (sensores e EMQA Esc. Cidadela)	35
Figura 26: Concentrações médias diárias médias de NO ₂ para 2020 e 2021, por dia de semana, nas diferentes localizações (sensores e EMQA Esc. Cidadela)	36
Figura 27: Concentrações médias diárias médias de O ₃ para 2020 e 2021, por dia de semana, nas diferentes localizações (sensores e EMQA Esc. Cidadela).....	37
Figura 28: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO ₂ , PM ₁₀ e O ₃ localizados na Parede	39
Figura 29: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO ₂ , PM ₁₀ e O ₃ localizados na Malveira da Serra	39
Figura 30: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO ₂ , PM ₁₀ e O ₃ localizados no Guincho Cresmina.....	40
Figura 31: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO ₂ , PM ₁₀ e O ₃ localizados na Abóboda.....	41
Figura 32: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO ₂ , PM ₁₀ e O ₃ localizados no Murtal	41

.....

Figura 33: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO ₂ , PM ₁₀ e O ₃ localizados em Manique	42
Figura 34: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO ₂ , PM ₁₀ e O ₃ colocados em Alcabideche	43
Figura 35: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO ₂ , PM ₁₀ e O ₃ situados na Rebelva S. Domingos de Rana	43
Figura 36: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO ₂ , PM ₁₀ e O ₃ localizados na Escola da Cidadela e comparação com os perfis obtidos para a EMQA da Escola da Cidadela	44
Figura 37: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO ₂ , PM ₁₀ e O ₃ situados no Centro de Cascais	45
Figura 38: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO ₂ , PM ₁₀ e O ₃ localizados no Estoril	46
Figura 39: Mapeamento das concentrações médias registadas pelos sensores de NO ₂ em 2021 no concelho de Cascais	47
Figura 40: Mapeamento das concentrações médias registadas pelos sensores de PM ₁₀ em 2021 no concelho de Cascais	48
Figura 41: Mapeamento das concentrações médias registadas pelos sensores de O ₃ em 2021 no concelho de Cascais	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Eficiências de medição (base horária e diária) para o período considerado nas localizações assinaladas	11
Tabela 2: Quantidade e percentagem de resultados com e sem validação prévia para as partículas inaláveis em suspensão (PM ₁₀)	13
Tabela 3: Quantidade e percentagem de resultados com e sem validação prévia para o dióxido de azoto (NO ₂)	16
Tabela 4: Quantidade e percentagem de resultados com e sem validação prévia para o ozono (O ₃)	18
Tabela 5: Correlações entre a EMQA Escola da Cidadela e as séries temporais dos restantes locais em que existiram medições	20

1. INTRODUÇÃO, CONTEXTO E OBJECTIVO

A Câmara Municipal de Cascais (CMC) tem vindo a atribuir particular importância a estratégias que promovam a qualidade de vida sustentável e saudável no concelho. Neste âmbito atribuiu importância ao acompanhamento e monitorização de um conjunto de elementos de diagnóstico dinâmico da qualidade ambiental concelhia. Entre o conjunto de indicadores ambientais que a edilidade municipal pretende monitorizar consta a qualidade do ar ambiente, tendo para o efeito instalado pioneiros sensores de qualidade do ar ambiente pelo território da sua jurisdição.

Estes sensores têm o potencial de se constituir como uma eficaz ferramenta de avaliação dinâmica (por força da regularidade e frequência com que as medições ocorrem) da qualidade do ar ambiente no concelho de Cascais. Todavia, o facto de ser um método tecnológico recente, por oposição às instituídas estações de monitorização automática da qualidade do ar ambiente (de referência mas com custos de operação e manutenção muito elevados), sugere a necessidade da avaliação detalhada da credibilidade que as medições poderão encerrar.

O objetivo deste trabalho consiste na análise técnica dos primeiros resultados produzidos, assim como numa avaliação crítica do processo assim como do potencial que esta medição da qualidade do ar ambiente tem num contexto de gestão municipal.

Este relatório final integra a totalidade das concentrações medidas durante os anos de 2020 e de 2021, ou seja todo o período inicial da monitorização da qualidade do ar ambiente utilizando esta rede de sensores.

2. A REDE DE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM CASCAIS

A Câmara Municipal de Cascais (CMC) tem, desde há uns anos (em particular desde 2002), uma estação de monitorização da qualidade do ar ambiente integrada na rede oficial de qualidade do ar de Lisboa e Vale do Tejo, gerida pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional respetiva (CCDR-LVT). Esta localização que inicialmente se situava na zona do Mercado (Av. D. Pedro I) foi, em 2016 substituída pela atual estação, situada na Escola da Cidadela (Escola Básica e Secundária da Cidadela, na Rua Jaime Thompson).



Dados da estação	
Data de início	2016-01-22
Tipo de ambiente	Urbana
Tipo de influência	Fundo
Zona	AML Norte
Morada	Escola Básica e Secundária da Cidadela, Rua Jaime Thompson
Concelho	Cascais
Coordenadas geográficas	LAT: 38.7014 LON: -9.42925
Altitude (m)	41
Entidade Gestora da Rede	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo
Contacto	21 0101 300

Poluentes	Símbolo	Início da medição
Partículas < 10 µm	PM10	2016-01-22
Ozono	O3	2020-01-16
Dióxido de Azoto	NO2	2016-01-22
Óxidos de Azoto	NOx	2016-01-22
Monóxido de Azoto	NO	2016-01-22

Figura 1: Algumas características da EMQA da Escola da Cidadela (fonte: qualar.apambiente.pt)

De referir que a estação da Escola da Cidadela mede, atualmente, os seguintes poluentes atmosféricos:

- **Óxidos de Azoto (NOx)**, em particular **Monóxido de Azoto (NO)** e **Dióxido de Azoto (NO₂)** – poluentes bastante relevantes para acompanhamento de processos de combustão, em particular provenientes do tráfego rodoviário tendo também alguma, mais reduzida, componente de combustão industrial
- **Partículas em suspensão atmosférica** de diâmetro aerodinâmico cinético equivalente inferior a 10 µm (**PM₁₀¹**) – um poluente emitido por diferentes processos, incluindo o tráfego rodoviário e a indústria. No nosso país resulta também, em alguns dias, de processos naturais como o transporte de partículas de desertos norte-africanos como o Sahara ou o Sahel. É também designado por partículas inaláveis – ver nota de rodapé para mais informação sobre esta nomenclatura
- **Ozono (O₃)**, um poluente secundário porque não é emitido diretamente pelas fontes mas o resultado da interação de poluentes primários (esses sim emitidos diretamente) como os óxidos de azoto (NOx) ou os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) com a radiação solar. É um poluente muito nocivo para a saúde humana mas também para a vegetação e para os elementos construídos, como o património cultural arquitetónico, pois é um poderoso oxidante sobre as superfícies com que contacta. Em Portugal é um problema mais associado aos maiores níveis de radiação, por isso mais normal em período estival (podendo aparecer em períodos soalheiros de primavera também). De referir que na Escola da Cidadela a medição regular de ozono começou mais tarde do

¹ PM₁₀ é um poluente atmosférico que traduz parte das partículas atmosféricas em suspensão. Neste caso partículas em suspensão na atmosfera com diâmetro aerodinâmico equivalente até 10 µm (microns), isto é até 10 milionésimos de 1 metro (1 x 10⁻⁶ m). É também designada fração inaláveis. Quanto mais se reduzir a fração granulométrica menor será a concentração na atmosfera (isto é a concentração de PM₁₀ é maior que a de PM_{2.5} pois integra o PM_{2.5} mas soma-lhe as partículas com dimensão maior que 2,5 µm até 10 µm) e mais perigosa é essa fração pois penetra mais profundamente no sistema respiratório (PM_{2.5} é a fração respirável, podendo chegar aos brônquios e mesmo à corrente sanguínea). Como comparação o diâmetro médio de um cabelo humano é de cerca de 70 µm, o que ilustra a reduzida dimensão das partículas em causa.

que os outros dois poluentes anteriores (pois estes três serão o foco do conteúdo deste relatório), tendo começado apenas em meados de Janeiro de 2020 (16/01/2020).

Ao contrário do que poderia ser pressuposto da observação dos poluentes medidos na Figura 1, pág. 6, atualmente o monóxido de carbono já não é medidos desde 13/12/2017.

Do ponto de vista da avaliação da exposição humana à qualidade do ar ambiente no concelho de Cascais, a alteração de local de Cascais (Mercado) para o local atual traduziu-se por modificar um local de medição de influência de tráfego (com algumas condicionantes locais, como sejam um semáforo na proximidade e um traçado com declive, onde as viaturas ficavam frequentemente paradas em funcionamento com maiores e menos representativas emissões inerentes) por um local urbano de fundo, tradutor de muitas áreas residenciais e comerciais do concelho. Na perspetiva dos autores do presente estudo foi uma mudança para melhor, para uma avaliação mais representativa da maioria da população que vive, trabalha e/ou visita o concelho de Cascais.

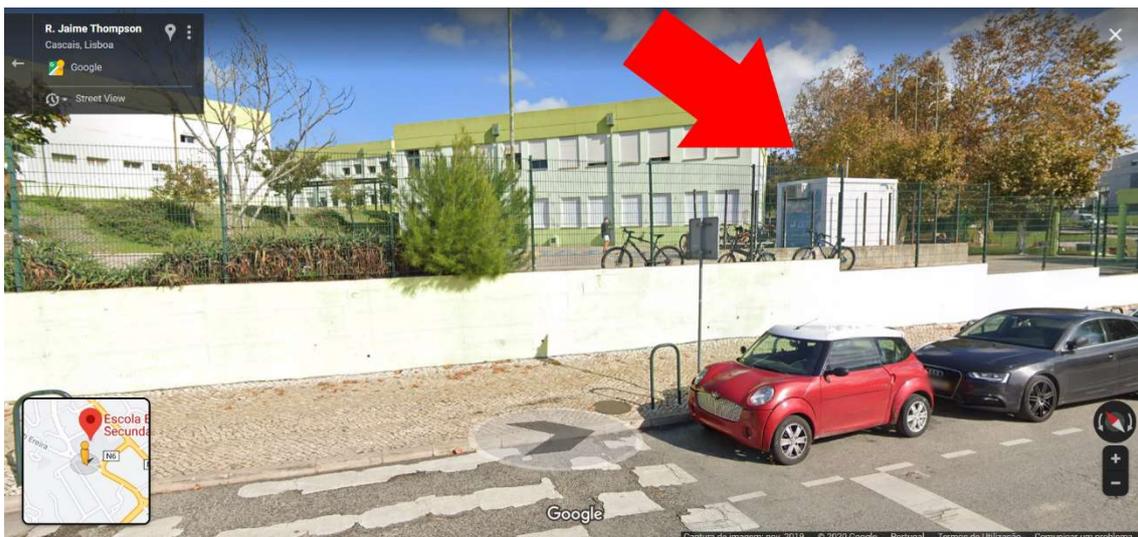


Figura 2: Perspetiva do ambiente em redor da EMQA da Escola da Cidadela (fonte: Google Maps, 2020)

Todavia, apesar do elevado detalhe temporal (as medições são integradas a cada 15 minutos, permitindo por isso um acompanhamento contínuo das concentrações dos poluentes medidos), as estações fixas de monitorização da qualidade do ar têm uma componente espacial limitada, representando uma área em redor da estação assim como outras zonas com características meteorológicas, orográficas e de emissões poluentes (por isso de fontes de poluição como níveis de tráfego ou industriais) similares.

A pensar nesta limitação espacial da avaliação da qualidade do ar, a CMC decidiu instalar onze localizações para medições, estas equipadas com sensores de monitorização da qualidade do ar e também de ruído, os quais têm sido produtos recentes da investigação no domínio das medições ambientais. Estes foram distribuídos pela área do concelho, da forma como apresentado na Figura 3, pág. 8, sendo que em Cascais existem dois sensores, um situado no centro da cidade e o

outro localizado junto à EMQA da Escola da Cidadela (bastante importante para aferir da precisão e acurácia da resposta dos sensores por comparação com esta e, portanto, com o método de referência para a medição de PM₁₀ e de NO_x, poluentes atmosféricos medidos na estação como já citado).

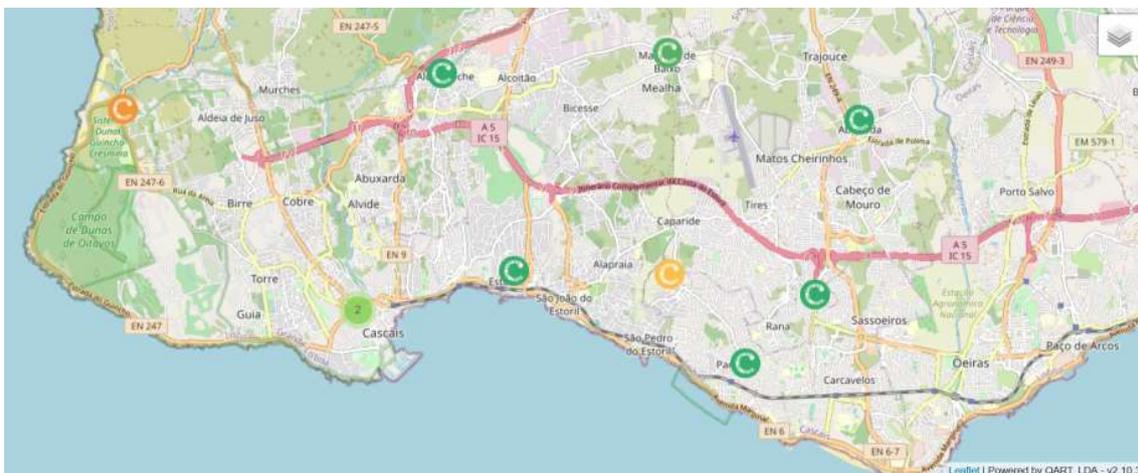


Figura 3: Localizações selecionadas para a rede de sensores de qualidade do ar ambiente no concelho de Cascais (fonte: QART e CMC, 2020)

A listagem completa de localizações para estes sensores de qualidade do ar ambiente (os quais, para além dos NO_x e PM₁₀ medem ainda: massa de partículas, PM_{2.5}, PM_{0.7}, PM_{0.5}, PM_{0.1}, CO (monóxido de carbono), O₃ (ozono), SO₂ (dióxido de enxofre), ruído e parâmetros meteorológicos relevantes para obtenção das medições como temperatura, humidade e pressão) apresenta-se de seguida:

- Parede (LUI 34)
- Malveira (LUI 35)
- Guincho /Cresmina (LUI 36)
- Abóboda (LUI 38)
- Murtal (LUI 39)
- Manique (LUI 40)
- Alcabideche (LUI 42)
- Rebelva / São Domingos de Rana (LUI 43)
- Escola da Cidadela (Referência – LUI 45)
- Centro de Cascais (LUI 47)
- Estoril (LUI 48)

A intenção da autarquia consistiu em poder assim dispor de uma ferramenta de apoio à decisão com informação mais representativa das diferentes realidades que se podem encontrar no município em matéria de qualidade do ar ambiente.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DESTE RELATÓRIO

Este relatório final visa fazer uma análise técnica detalhada da monitorização da qualidade do ar no concelho de Cascais no decorrer dos anos de 2020 e de 2021. Complementarmente, é intenção e objetivo deste trabalho definir o nível de robustez da série de dados de monitorização, em particular da capacidade comparativa de resposta dos sensores quando comparados com a metodologia de referência (o que pode comparar-se na localização EMQA Escola da Cidadela, para as gamas de concentrações que esta localização urbana de fundo normalmente regista, pois os diferentes sensores poderão apresentar gamas de resposta e de acurácia e precisão dependentes da gama de concentrações a ser medida – há equipamentos que têm belos desempenhos em concentrações elevadas mas não em quantidades vestigiais e vice-versa).

Um objetivo que este trabalho também tem é o de perceber de que forma é que esta nova informação que é disponibilizada pelos sensores de qualidade do ar pode ser melhorado, por forma a ser cada vez mais uma ferramenta de gestão municipal à disposição da CMC. Estas sugestões de melhoria foram, de resto, apresentadas à equipa técnica que tem sido responsável pela aquisição de informação (equipa da QART), numa ótica de otimização de um processo que sendo inovador terá sempre várias tarefas a implementar no sentido de garantir, cada vez mais, mais e melhores dados de qualidade do ar ambiente.

Procurar-se-á ainda fazer uma análise da qualidade do ar ambiente concelhia, integrando estes quase 2 anos de resultados de medição e permitindo assim uma visão mais consistente sobre a realidade concelhia neste aspeto. Não obstante, é importante referir que a representatividade do período (embora bastante alargado em termos temporais), poderá ser relativamente pequena, conquanto a série temporal é fortemente afetada pela situação pandémica presente, despoletada pela propagação do vírus covid-19, a qual desencadeou uma verdadeira revolução nos hábitos quotidianos em todo o mundo. O que há poucos meses era a regra em diferentes setores da sociedade, em particular na mobilidade, no mundo do trabalho e na maioria da rotina diária mudou, radicalmente, de forma quase instantânea à velocidade de propagação exponencial do vírus pelo planeta. Desta forma, a maioria dos conjuntos de trabalhos de intervenção que intervinham no espaço público foi altamente restringida por imposição direta (as palavras “confinamento”, “distanciamento social” e “teletrabalho” ganharam expressão e significado) ou reduziram-se a praticamente nada por inerência (em especial devido ao medo generalizado que condicionou atos de liberdade e rotina como a simples ida a um supermercado). Tudo isto de meados de Março de 2020 até à presente data. Não obstante e utilizando o elemento comparativo que está ao dispor (os resultados da medição regular feita pela EMQA da Escola da Cidadela) procura-se já neste momento enquadrar estes tempos na comparação com os anos anteriores, em particular 2018 e 2019.

4. RESULTADOS PRELIMINARES E DISCUSSÃO

A disponibilidade de dados integra praticamente 2 anos de monitorização. Não obstante, a representatividade destes anos é discutível, em particular relativamente ao que se classifica como um ano representativo, dado que a pandemia veio alterar substancialmente a configuração e o desempenho de fatores de pressão ambiental como p.ex. a mobilidade. A boa notícia neste aspeto é que esta disrupção da normalidade é igual para todas as zonas do concelho e do país, o que faz com que o impacto seja mais ou menos igual nos diferentes locais (poderá ser mais acentuado nos locais onde as deslocações pendulares casa-trabalho são mais relevantes mas são paralelos a todos os locais), pelo que do ponto de vista comparativo esta avaliação permite perceber comparativamente como é a qualidade do ar no concelho de Cascais para os diversos poluentes a serem avaliados.

A análise centrar-se-á nesta fase apenas nos poluentes atmosféricos medidos pela EMQA da Escola da Cidadela, em particular nas concentrações de partículas inaláveis (PM₁₀), de ozono (O₃) e de dióxido de azoto (NO₂).

EFICIÊNCIAS DE MEDIÇÃO

As eficiências de medição tratam do número de medições validadas que é possível obter num determinado período e a sua comparação com o número máximo expectável. Estas dependem, entre outros fatores, do período de integração dos dados, conquanto tipicamente em gestão da qualidade do ar ambiente se existirem muitas falhas na obtenção de resultados em períodos sucessivos de 15 minutos se acaba por invalidar essa hora. Se mais de 25% das horas diárias forem invalidadas (ou seja mais de 6 horas) então não se considera o registo diário, pois é considerado não ser totalmente representativo dos diferentes períodos diários. É por isso relevante conhecer a frequência de obtenção de dados. Para o período agora avaliado (desde 01/01/2020 até 31/08/2021), as eficiências de base horária e diária para os poluentes PM₁₀, O₃ e NO₂ encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Eficiências de medição (base horária e diária) para o período considerado nas localizações assinaladas

LOCALIZAÇÃO	PM ₁₀				NO ₂				O ₃			
	BASE HORÁRIA		BASE DIÁRIA		BASE HORÁRIA		BASE DIÁRIA		BASE HORÁRIA		BASE DIÁRIA	
	# total	14616	# total	609	# total	14616	# total	609	# total	14616	# total	609
	# registos	%	# registos	%	# registos	%	# registos	%	# registos	%	# registos	%
Parede	14523	99,4%	609	100,0%	14524	99,4%	609	100,0%	14524	99,4%	609	100,0%
Malveira da Serra	14461	98,9%	608	99,8%	14485	99,1%	609	100,0%	14496	99,2%	609	100,0%
Guincho Cresmina	14348	98,2%	601	98,7%	14379	98,4%	603	99,0%	14372	98,3%	602	98,9%
Abóboda	14235	97,4%	595	97,7%	11017	75,4%	485	79,6%	10995	75,2%	484	79,5%
Murtal	8483	58,0%	418	68,6%	8483	58,0%	418	68,6%	8441	57,8%	418	68,6%
Manique	13721	93,9%	587	96,4%	13745	94,0%	588	96,6%	13721	93,9%	587	96,4%
Alcabideche	13730	93,9%	574	94,3%	13733	94,0%	575	94,4%	13707	93,8%	574	94,3%
Rebelva S.D. Rana	13680	93,6%	572	93,9%	13704	93,8%	573	94,1%	13680	93,6%	572	93,9%
Escola da Cidadela REF	12423	85,0%	523	85,9%	12423	85,0%	522	85,7%	12423	85,0%	523	85,9%
Centro de Cascais	13323	91,2%	559	91,8%	13335	91,2%	559	91,8%	13322	91,1%	559	91,8%
Estoril	13042	89,2%	546	89,7%	13042	89,2%	546	89,7%	13042	89,2%	418	68,6%
EMQA Esc Cidadela	14616	100%	609	100%	14616	100%	609	100%	14021	96%	588	97%

De um modo geral, foram registadas eficiências elevadas nos diferentes locais, sendo importante destacar que as falhas de dados nos sensores correspondem, de forma geral, a períodos de entrada em funcionamento mais tardio de alguns sensores (p.ex. da lista indicada a localização “Estoril” foi a última a entrar em operação). De resto, das localizações avaliadas apenas a localização do MURTAL apresenta uma eficiência reduzida, o que se traduz por uma descontinuidade de dados significativa com muitos registos em branco/anulados/inválidos entre as 18:00h e as 8:00-9:00h da manhã em parte importante da série temporal. Em contacto com a equipa da QART foi possível perceber a razão: a caixa com os sensores e módulo de aquisição de dados estava ligada a um quadro elétrico local, o qual era frequentemente desligado. O problema cessou apenas quando foi instalado um painel solar que assegurou, desse momento em diante, o fornecimento elétrico a este conjunto de sensores assegurando o seu funcionamento contínuo. Este tipo de situação é normal numa abordagem pioneira, conquanto existem sempre limitações e ensinamentos empíricos em sistemas novos como este. Serve para otimizar o sistema e para enfatizar a importância da autonomia energética das unidades com os sensores.

De facto, olhando para esta série temporal a cobertura temporal (com poucas interrupções de medição e elevadas eficiências de recolha de dados) é dos pontos fortes deste sistema instalado de sensores de qualidade do ar.

Outro aspeto digno de registo é o desempenho da Estação de Monitorização da Qualidade do Ar (EMQA) da Escola da Cidadela. Na Tabela 1, pág. 11, pode ver-se que a cobertura de dados cobriu praticamente todo o período analisado (apenas para o ozono, O₃, se registou a perda de 4% do máximo de dados horários e de 3% do máximo de dados diários possível). Assumindo que a maioria dos dados não será posteriormente invalidada (o que pode acontecer no caso dos dados de 2021 pois serão sujeitos a validação pela entidade competente, a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo – CCDR-LVT – até final de Setembro do presente ano), este é um comportamento muito bom para o período analisado. Esta questão é relevante para os objetivos desta análise, conquanto é um elemento de base crucial para efeitos de avaliação da garantia e qualidade dos dados (QA/QC como é normalmente referido este processo, acrónimo do britânico *Quality Assurance / Quality Control*) obtidos através dos sensores. Esta série de dados, porque as medições são efetuadas segundo o método de referência previsto na legislação, é a série em relação à qual se poderá comparar a qualidade das medições dos sensores, em particular do sensor cuja localização é contígua à da EMQA, sensores que foram colocados exatamente com este fim.

ANÁLISE DE CONCENTRAÇÕES OBTIDAS

Partículas atmosféricas em suspensão (PM₁₀)

A análise das concentrações obtidas para as partículas inaláveis (PM₁₀) indica, em primeira medida, uma natural importância na validação dos resultados das medições. Esta validação é paralela a todos os métodos de medição, seja o de referência previsto na legislação sejam métodos indicativos que seguem outro tipo de metodologias como é o caso dos sensores. Esta necessidade de validação ocorre porque os sensores (estes ou os que servem outros métodos) medem de acordo com a intensidade mensurável de uma determinada grandeza, neste caso de acordo com sinais elétricos e estes têm, por vezes, flutuações não explicadas pelo que estão a medir mas resultado de instabilidades variadas, p.ex. uma instabilidade de fornecimento de corrente elétrica. Outras situações dizem respeito a períodos em que a leitura é sempre igual, o que é pouco provável em parâmetros ambientais como a concentração de partículas em suspensão (um exemplo disto é o início do período de medição no ponto "Guincho Cresmina" onde os resultados de 07 de Janeiro a 9 de Março de 2020 são sempre 26 µg/m³, ou adicionalmente no ponto da "Malveira da Serra" com concentração constante de 2 µg/m³ de 24 de Julho a 31 de Agosto de 2021, o que é muito pouco verosímil) Quando estes momentos ocorrem, o sistema mede concentrações irrealistas que devem ser afastadas da série temporal, conquanto criam mais ruído à análise do que servem como informação validade de base para a mesma.

O resultado é a necessidade de uma pré-validação dos resultados que remova estas leituras erróneas, o que na prática tem uma desvantagem (menos dados disponíveis para a avaliação das concentrações poluentes no período em análise) mas uma vantagem: uma leitura mais perceptível e correta dos perfis de concentração que se pretende estudar. Na Tabela 2 pode ver-se o impacte desta pré-validação na quantidade de resultados disponíveis para a avaliação de base diária (isto é com base nas médias diárias).

Tabela 2: Quantidade e percentagem de resultados com e sem validação prévia para as partículas inaláveis em suspensão (PM₁₀)

LOCALIZAÇÃO	SEM VALIDAÇÃO PRÉVIA		COM VALIDAÇÃO PRÉVIA	
	# BASE DIÁRIA	% VÁLIDOS BASE DIÁRIA	# BASE DIÁRIA	% VÁLIDOS BASE DIÁRIA
Parede	609	100,0%	600	98,5%
Malveira da Serra	608	99,8%	557	91,5%
Guincho Cresmina	601	98,7%	534	87,7%
Abóboda	595	97,7%	595	97,7%
Murtal	418	68,6%	379	62,2%
Manique	587	96,4%	563	92,4%
Alcabideche	574	94,3%	574	94,3%
Rebelva_S_D_Rana	572	93,9%	572	93,9%
Escola_da_Cidadela	523	85,9%	523	85,9%
Centro_de_Cascais	559	91,8%	559	91,8%
Estoril	546	89,7%	546	89,7%
EMQA	609	100,0%	595	97,7%

A melhor forma de ilustrar a facilidade de leitura da série de dados e, por isso mesmo, da interpretação mais clara dos níveis de poluentes registados passa por observar

comparativamente a Figura 4 e a Figura 5. Ambas representam os perfis diários (as médias diárias registadas) em cada localização, porém a primeira das figuras não retira os *outliers* (os tais pontos que não têm correspondência prática e que devem ser invalidados na série de medições) enquanto a segunda figura apresenta já critérios de validação (p.ex. elimina médias diárias acima de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valores de 0 e negativos).

Esta questão da validação de resultados é algo que deverá estar sempre presente, por forma a que a leitura e interpretações de informação tão preciosa como a que a CM Cascais agora está a obter seja não só credível como verdadeiramente útil para a gestão autárquica.

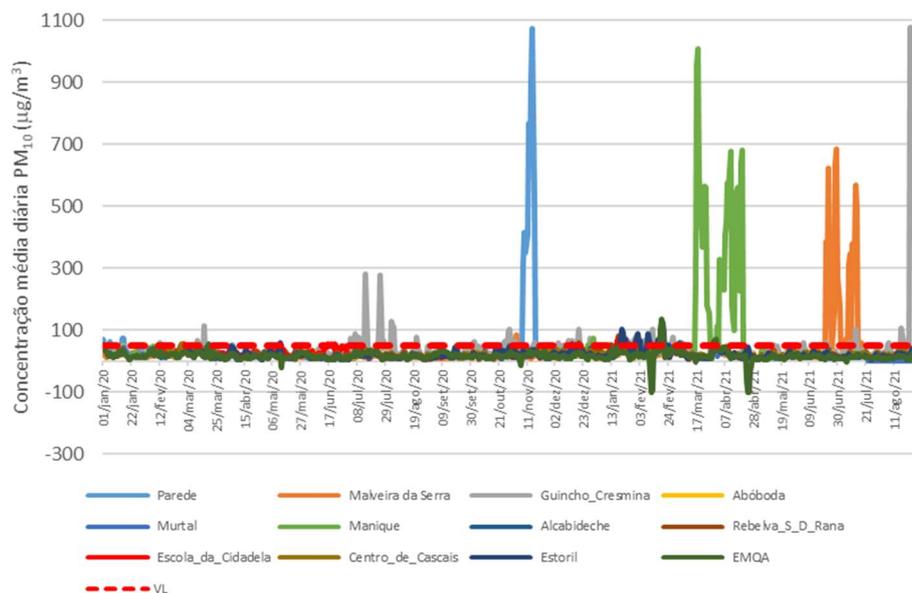


Figura 4: Perfil das concentrações médias diárias de PM₁₀ para os diferentes locais de medição com sensores e para a EMQA da Escola da Cidadela (dados sem pré-validação)

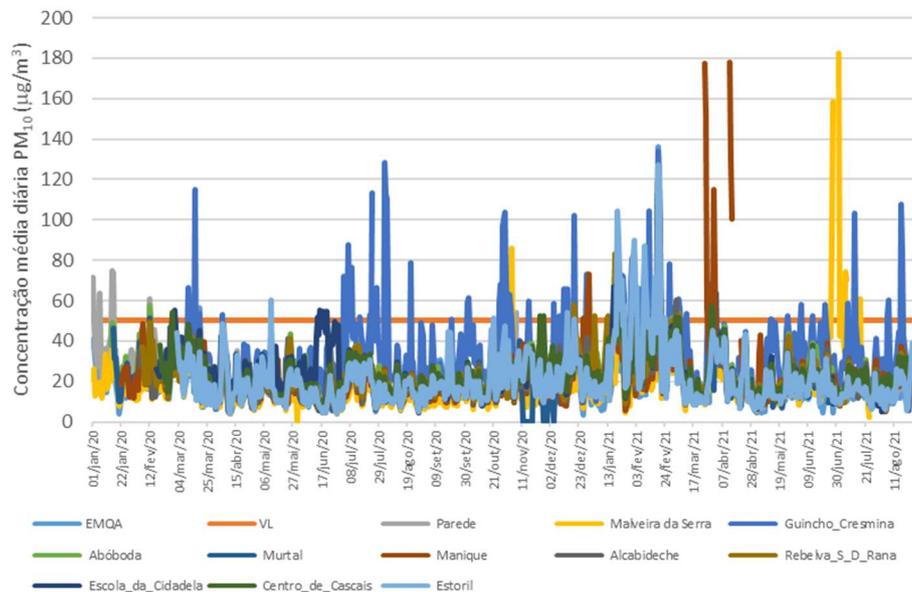


Figura 5: Perfil das concentrações médias diárias de PM₁₀ para os diferentes locais de medição com sensores e para a EMQA da Escola da Cidadela (dados com pré-validação)

A observação das concentrações de PM₁₀ registadas tem genericamente bom acompanhamento entre diferentes locais, a exceção será o final de junho de 2021 em que a uma redução genérica das médias registadas a localização “Malveira da Serra” apresenta crescimentos para valores muito elevados. Isto pode sugerir a necessidade de validação complementar ou a análise se no período de 30 de Junho a 01 de Julho de 2021 alguma situação particular foi registada nesta área (pode ser um evento com correspondência prática, p.ex. uma prova de surf – ainda que devesse ter correspondência na localização “Guincho Cresmina” nesse caso – ou algo local, p.ex. algumas obras junto ao local do sensor).

A medição utilizando sensores não deve ser utilizada para análises de conformidade legal. Por isso mesmo o que pode ser feito é ter como referência os registos obtidos na EMQA da Escola da Cidadela, analisando a evolução desta série e comparando-a com os diferentes locais onde os sensores foram instalados. Complementarmente, podem comparar-se as concentrações poluentes nos diferentes locais, permitindo perceber em termos comparativos onde é melhor (ou, por oposição, pior) a qualidade do ar ambiente em cada momento. Este exercício será feito no capítulo 5 – “RESULTADOS E DISCUSSÃO”, página 26 e seguintes.

Ainda relativamente à avaliação preliminar dos resultados obtidos, deve dizer-se que as medições não apresentam dispersões muito significativas, o que indicia alguma homogeneidade nas concentrações registadas pelo concelho e um comportamento similar dos sensores nas diferentes localizações. Isto mesmo pode ser visto no diagrama de caixas (*boxplot*) que apresenta, para cada local, os mínimos, quartis de concentração e máximos na Figura 6. É igualmente visível nesta figura que a dispersão de concentrações se situa na mesma gama de concentrações, com a Malveira da Serra e Manique a apresentarem os valores máximos mais elevados. Não obstante os valores médios para o período considerado são mínimos precisamente entre esta localização (Malveira) e a EMQA de Cascais (o que pode ser visto na figura

.....
pelo ponto ligeiramente abaixo dos 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). O que isto significa também é que, em média, os sensores medem concentrações de PM_{10} mais elevadas do que as registadas na EMQA da Escola da Cidadela, podendo pois estar a sobrestimar as concentrações reais em cada local.

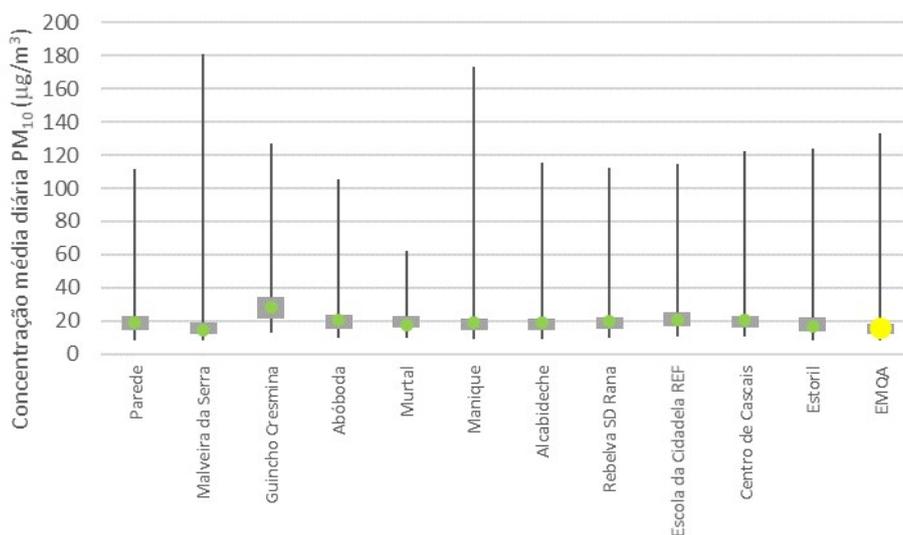


Figura 6: Diagrama de caixas (boxplot) para as concentrações médias diárias de PM_{10} medidas

Dióxido de Azoto (NO_2)

No que diz respeito às concentrações obtidas para o NO_2 a pré-validação de resultados não invalida um volume tão substancial de resultados como no caso das partículas inaláveis. A Tabela 3 resume esta pré-validação na quantidade de resultados disponíveis para a avaliação de base diária.

Tabela 3: Quantidade e percentagem de resultados com e sem validação prévia para o dióxido de azoto (NO_2)

LOCALIZAÇÃO	SEM VALIDAÇÃO PRÉVIA		COM VALIDAÇÃO PRÉVIA	
	# BASE DIÁRIA	% VÁLIDOS BASE DIÁRIA	# BASE DIÁRIA	% VÁLIDOS BASE DIÁRIA
Parede	609	100,0%	600	98,5%
Malveira da Serra	609	100,0%	552	90,6%
Guincho Cresmina	603	99,0%	598	98,2%
Abóboda	485	79,6%	485	79,6%
Murtal	418	68,6%	379	62,2%
Manique	588	96,6%	564	92,6%
Alcabideche	575	94,4%	575	94,4%
Rebelva_S_D_Rana	573	94,1%	573	94,1%
Escola_da_Cidadela	522	85,7%	498	81,8%
Centro_de_Cascais	559	91,8%	559	91,8%
Estoril	546	89,7%	546	89,7%
EMQA	609	100,0%	578	94,9%

De resto, a dispersão de concentrações é mais marcada, embora o acompanhamento genérico não seja muito discrepante (Figura 7). De notar que, ao contrário do que aconteceu com as partículas PM₁₀, as concentrações de NO₂ dos sensores é bastante mais elevada do que a correspondente concentração registada na EMQA da Escola da Cidadela. Mesmo a medição de comparação com a referência (localização "Escola da Cidadela REF") indica concentrações medidas neste sensor bastante acima das concentrações registadas pela EMQA. Estas diferenças deverão resultar de duas ordens de razões:

- as localizações selecionadas para a instalação dos sensores são locais com maior intensidade de tráfego que a envolvente próxima da EMQA da Escola da Cidadela.
- os sensores de NO₂ sobrestimam a concentração quando comparados com a medição de referência (a discutir em maior pormenor na seção dedicada à "GARANTIA E QUALIDADE DOS DADOS OBTIDOS (QA/QC)", página 23.

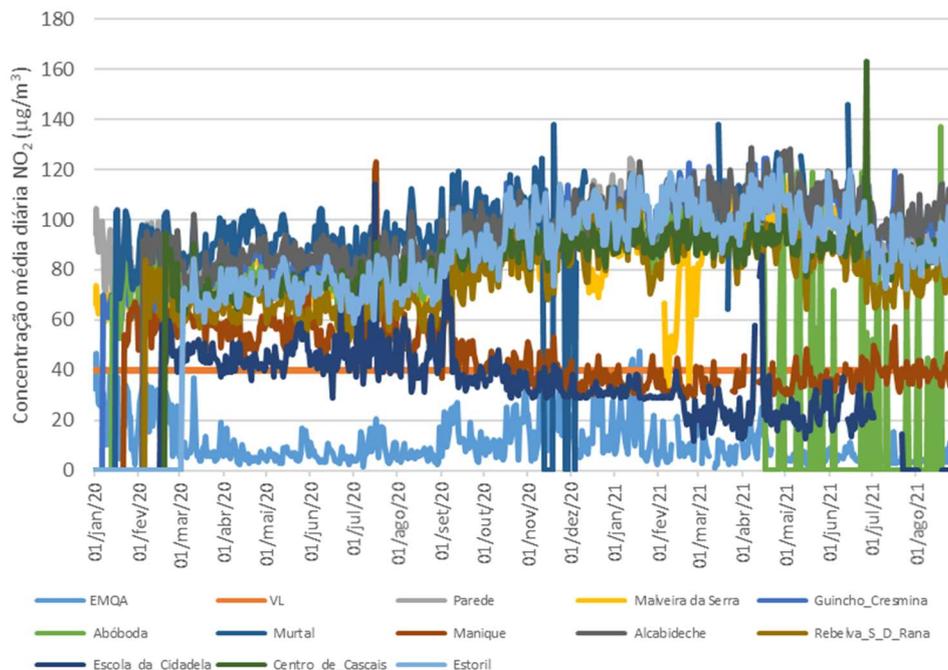


Figura 7: Perfil das concentrações médias diárias de NO₂ para os diferentes locais de medição com sensores e para a EMQA da Escola da Cidadela (dados pré-validados)

Se dúvidas existissem sobre a importância de existir um método de referência na legislação, a figura anterior ilustra bem o porquê. Embora pareça existir alguma concordância entre as variações diárias das concentrações medidas pelos sensores e pela EMQA da Escola da Cidadela (isto é quando num dia umas sobem as outras tendem também a subir), essa variação é mais aparente do que real... Isto conclui-se pela análise das correlações entre o que é medido na localização da EMQA da Escola da Cidadela e o sensor colocado junto a esta (ver pf a Tabela 5, página 20). Outro problema no caso do NO₂ é que, não obstante a empresa gestora do sistema, a QART, ter alterado o algoritmo de estimação dos níveis de NO₂ na sequência do 1º relatório entregue, a verdade é que as concentrações medidas são muito sobrestimadas quando comparadas com os níveis de referência. É isso que explica o

enorme afastamento na figura anterior entre os níveis dos sensores medidos nos diferentes locais e as concentrações da EMQA de Cascais, da Escola da Cidadela, o grande elemento de referência.

O reflexo deste afastamento é também facilmente visível no diagrama de caixas para o NO₂ (Figura 8). Este permite ver como as concentrações da EMQA da Escola da Cidadela são sempre muito inferiores às de qualquer um dos sensores, conquanto as linhas dos quartis nem sequer se tocam.

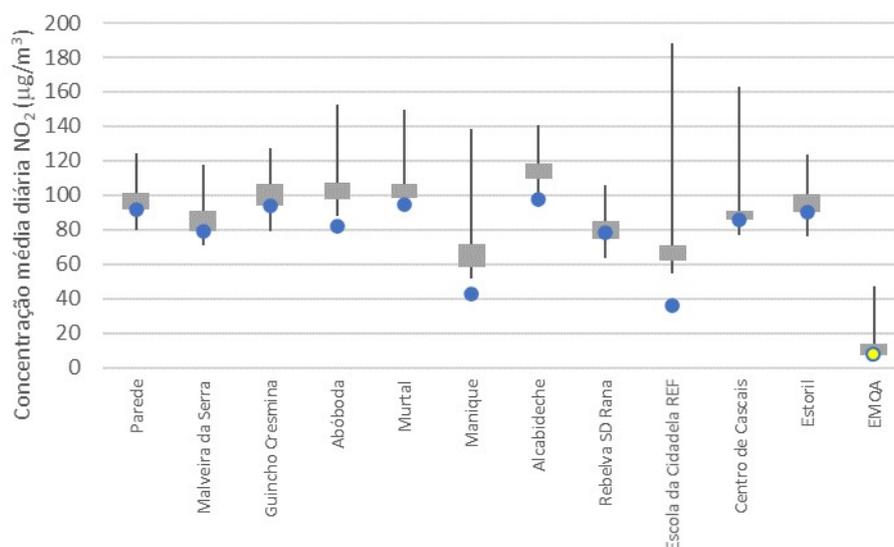


Figura 8: Diagrama de caixas (boxplot) para as concentrações médias diárias de NO₂ medidas

Ozono (O₃)

No que diz respeito às concentrações obtidas para o O₃ a eficiência de base (antes da pré-validação de resultados) já foi mais baixa do que para os restantes poluentes. De resto, a pré-validação invalidou um conjunto importante de resultados, tendo ficado o universo de resultados descrito na Tabela 3 (avaliação de base diária).

Tabela 4: Quantidade e percentagem de resultados com e sem validação prévia para o ozono (O₃)

LOCALIZAÇÃO	SEM VALIDAÇÃO PRÉVIA		COM VALIDAÇÃO PRÉVIA	
	# BASE DIÁRIA	% VÁLIDOS BASE DIÁRIA	# BASE DIÁRIA	% VÁLIDOS BASE DIÁRIA
Parede	484	79,5%	419	68,8%
Malveira da Serra	606	99,5%	606	99,5%
Guincho Cresmina	602	98,9%	602	98,9%
Abóboda	418	68,6%	418	68,6%
Murtal	572	93,9%	570	93,6%
Manique	574	94,3%	563	92,4%
Alcabideche	587	96,4%	587	96,4%
Rebelva_S_D_Rana	523	85,9%	523	85,9%
Escola_da_Cidadela	558	91,6%	557	91,5%
Centro_de_Cascais	606	99,5%	609	100,0%
Estoril	546	89,7%	546	89,7%
EMQA	588	96,6%	577	94,7%

Para este poluente, o acompanhamento de concentrações é genericamente bom, apesar de alguns momentos em que as ordens de grandeza variam um pouco mas sem retirar unidade ao conjunto (Figura 9).

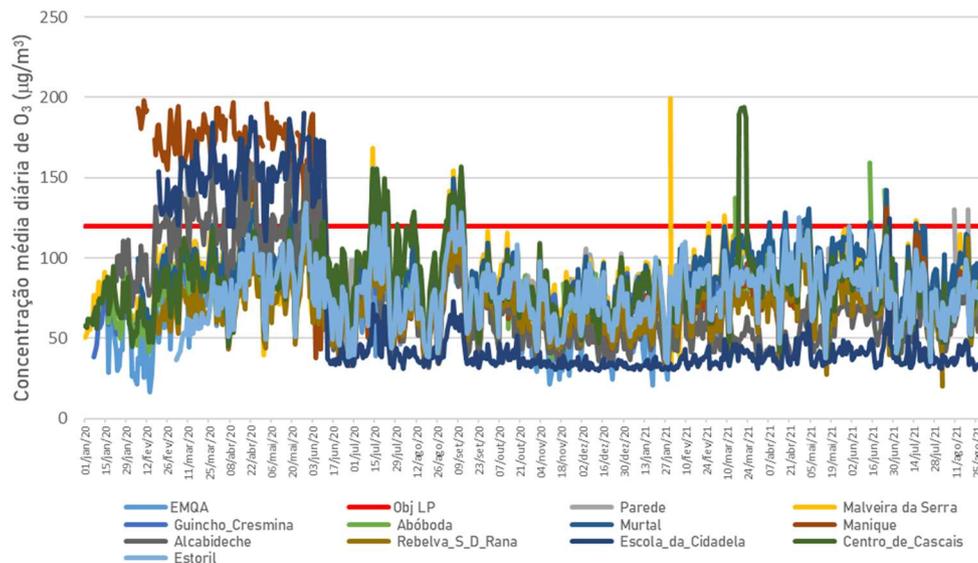


Figura 9: Perfil das concentrações médias diárias de O₃ para os diferentes locais de medição com sensores e para a EMQA da Escola da Cidadela (dados pré-validados)

Da figura anterior deriva também a relevância dos critérios de seleção para a exclusão de *outliers* (ou para a invalidação de dados). Isto é fácil ilustrar se for observada a série de ozono na “Malveira da Serra” e se se pensar que a 31 de Janeiro de 2021 a média diária é de 199 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, por isso dentro do limiar de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ definido para a aceitação de concentrações.

No caso do ozono, as concentrações medidas pelos sensores situam-se na gama de concentrações para o método de referência (EMQA da Escola da Cidadela), como se pode ver no *boxplot* (diagrama de caixas) da Figura 10. Este permite ver como as concentrações da EMQA da Escola da Cidadela se situam nas gamas dos quartis dos sensores para todas as localizações, embora existam locais como “Malveira da Serra” e “Manique” que medem níveis ligeiramente superiores, especialmente no último quartil (de maiores concentrações). Isto pode também ser o resultado do ozono ser mais elevado quando as concentrações de dióxido de azoto são mais baixas, dado que as duas espécies se consomem entre si (o ozono é resultado do consumo das concentrações de poluentes primários como o dióxido de azoto ou os compostos orgânicos voláteis por ação da radiação solar e, por isso mesmo, em localizações de cariz menos urbano o ozono tende a ser mais elevado do que nos centros de cidades próximas).

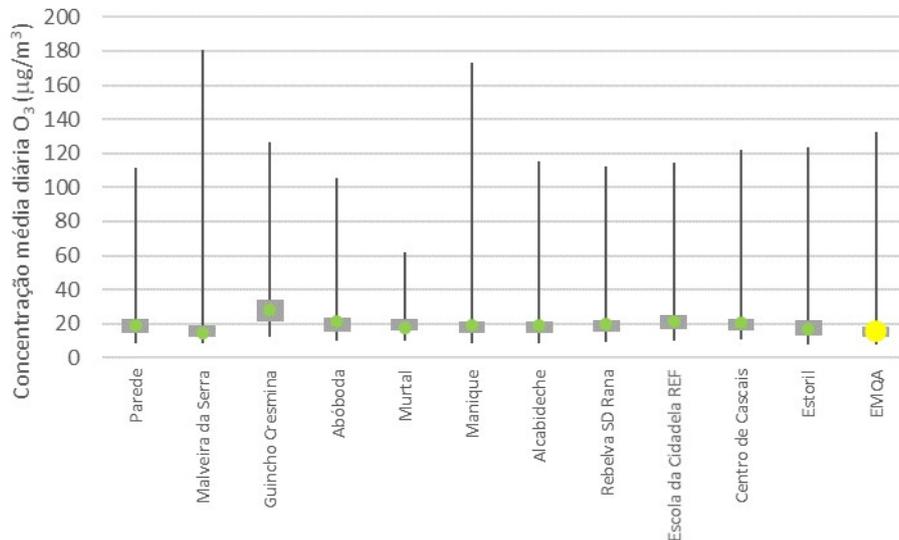


Figura 10: Diagrama de caixas (*boxplot*) para as concentrações médias diárias de O₃ medidas

COMPARAÇÃO ENTRE LOCAIS

Para além da descrição e caracterização detalhada de cada local, a qual virá a ser efetuada num momento posterior deste trabalho, existem formas de perceber o grau de dependência entre cada local para cada poluente atmosférico medido. Uma forma que é corrente consiste em analisar as correlações entre diferentes locais, percecionando assim o grau de dependência entre locais.

No caso desta série temporal e tendo em linha de conta que a EMQA da Escola da Cidadela é o elemento de referência para as medições utilizou-se essa série como a referência, calculando-se a correlação desta série com todas as restantes quer para as partículas inaláveis (PM₁₀), quer para o dióxido de azoto (NO₂) e para o ozono (O₃). Os resultados deste exercício apresentam-se na Tabela 5.

Tabela 5: Correlações entre a EMQA Escola da Cidadela e as séries temporais dos restantes locais em que existiram medições

LOCALIZAÇÃO	PM ₁₀	NO ₂	O ₃
Parede	0,78	0,30	0,81
Malveira da Serra	0,39	-0,12	0,80
Guincho Cresmina	0,47	-0,05	0,86
Abóboda	0,78	0,36	0,87
Murtal	0,65	0,17	0,90
Manique	0,44	0,05	0,48
Alcabideche	0,75	0,13	0,54
Rebelva São Domingos Rana	0,79	0,32	0,90
Escola da Cidadela REF	0,72	0,05	0,43
Centro de Cascais	0,85	0,33	0,71
Estoril	0,71	0,36	0,81

Os resultados mostram que os sensores têm desempenhos, em termos de acurácia (isto é da capacidade dos resultados traduzirem a concentração “real”, ou melhor a concentração que seria obtida usando o método de referência), muito díspares.

Para as partículas inaláveis (PM_{10}) o desempenho é bastante bom, conquanto temos uma correlação de 72% com o método de referência, o que é muito positivo para uma série temporal com mais de 600 dias de medições válidas.

Para o ozono (O_3) o método tem um desempenho razoável, com quase metade (43%) dos dados a correlacionarem bem com o método de referência, o que é aceitável para um método bem mais prático de instalar, manter e de investimento muito inferior ao de referência.

Finalmente, mas não menos importante, a *performance* para o dióxido de azoto (NO_2) é má. Não deve com isto ler-se que os sensores são para este poluente uma má aposta, dado que podendo não estar próximos das leituras/medições de referência têm sempre o valor acrescentado de, com o mesmo método de medição, permitirem leituras simultâneas destas concentrações pelo concelho, em diferentes localizações deste. Esta é uma valência que as redes de monitorização tradicionais não possuem, dado o elevado investimento que acarretam (em termos de recursos técnicos e humanos, o que deverá incluir a exigente e permanente manutenção destes equipamentos).

MEDIÇÕES DISCREPANTES (“OUTLIERS”)

A definição de medição discrepante ou anómala não é linear. A lógica é existir uma validação que, pela observação da série de dados, será efetuada. Para além disso existem outras situações passíveis de integrar esta avaliação, em particular:

- concentrações extremas, de magnitude muito elevada
- concentrações zero, o que não é expectável em ambiente urbano para estes poluentes atmosféricos
- variações bruscas de concentração sem correspondência noutros locais próximos
- registos repetidos, o que se traduz por uma série que fica, pontualmente, inalterada
- concentrações de frações granulométricas de partículas em suspensão atmosférica inferiores superiores a maiores granulometrias (p.ex. concentrações de $PM_{2.5}$ maiores que PM_{10} ou concentrações de PM_1 superiores a $PM_{2.5}$)

Para a série de dados agora avaliada existem alguns registos repetidos e algumas concentrações zero. Não são, longe disso, a regra, o que é positivo e credibiliza o uso dos sensores nas localizações selecionadas até porque as eficiências de recolha de dados são elevadas.

Existem, contudo, questões que foram detetadas e que derivam do pioneirismo, conquanto são situações que foi possível ultrapassar e que serão, cada vez mais, afinadas. Entre estas contam-se:

- na localização do “Murtal”, a série de dados apresentou muitas discontinuidades (períodos sem resultados). A quantidade de medições foi muito mais reduzida, devido a uma questão prática de instalação deste sensor, o qual utilizava um quadro elétrico local que... Era desligado recorrentemente no final do período laboral. Isto fez com que sistematicamente das 18:00h às 8 ou 9:00h da manhã do dia seguinte não se tivessem

quaisquer resultados. Estas ausências de dados recorrentes podem ser particularmente complicadas, pois podem acontecer em momentos de concentrações recorrentemente elevadas que assim passam indetetáveis. Esta questão foi bem resolvida pela equipa técnica da QART que instalou um painel fotovoltaico, assegurando assim que a série não seria mais interrompida por esta razão (o que veio a confirmar-se já nos dados agora avaliados).

- A dificuldade de não existirem valores de referência, o que era inevitável pois são localizações que não tinham monitorização anterior, fez com que alguns locais tivessem bastantes *outliers* num momento inicial. É este o caso de locais como “Cresmina Guincho” ou “Malveira da Serra”. No entanto depois dessa fase inicial talvez novos algoritmos ou a calibração já mais apurada do sensor fizeram com que os valores sejam, atualmente, coerentes entre medições e entre diferentes pontos de medição.
- Pontualmente continuam a existir concentrações de frações granulométricas de partículas em suspensão atmosférica inferiores superiores a maiores granulometrias (p.ex. concentrações de $PM_{0.5}$ maiores que $PM_{0.7}$ ou concentrações de PM_1 superiores a $PM_{2.5}$, quando as frações maiores incluem as mais pequenas também). Mas também aqui a série de dados melhorou pois existem menos registos desta natureza e já não em frações granulométricas mais relevantes como $PM_{2.5}$ ou PM_{10} (como acontecia quando se avaliou a primeira série de dados por ocasião do 1º relatório).

OUTRAS NOTAS RELEVANTES

Finalmente, existe um aspeto importante que urge alterar. Não é relacionado com a qualidade, precisão ou acurácia dos sensores mas sim com a plataforma de exportação de resultados das medições. A exportação de dados tem de gerar sempre uma série temporalmente contínua de dados e, quando estes não estão disponíveis ou são inválidos por alguma razão, deve a mesma ter células com valor em branco. Isto porque toda a manipulação e análise posterior de concentrações se irá basear nessas séries temporais pelo que não se pode ter “saltos temporais” em que a coluna da data/hora ao invés de avançar, p.ex. 1 hora como configurado, avança 2 ou mais ficando na linha seguinte (como se fosse a hora seguinte). Esta questão foi igualmente falada com a empresa que gere o sistema, a QART, que indicou que esta exportação sem discontinuidades está na lista do “a fazer” da mesma. É problema pois em vias de resolução.

GARANTIA E QUALIDADE DOS DADOS OBTIDOS (QA/QC)

Um elemento a que tipicamente se recorre quando se pretende fazer equivaler medições entre métodos distintos, em particular por comparação com um método de referência assenta no estabelecimento de uma relação linear entre medições simultâneas entre o método de referência e o outro que se quer avaliar e/ou procurar fazer com que seja equivalente.

Partículas atmosféricas inaláveis em suspensão (PM₁₀)

A relação linear entre métodos de medição para a localização da EMQA da Escola da Cidadela é indicada na Figura 11.

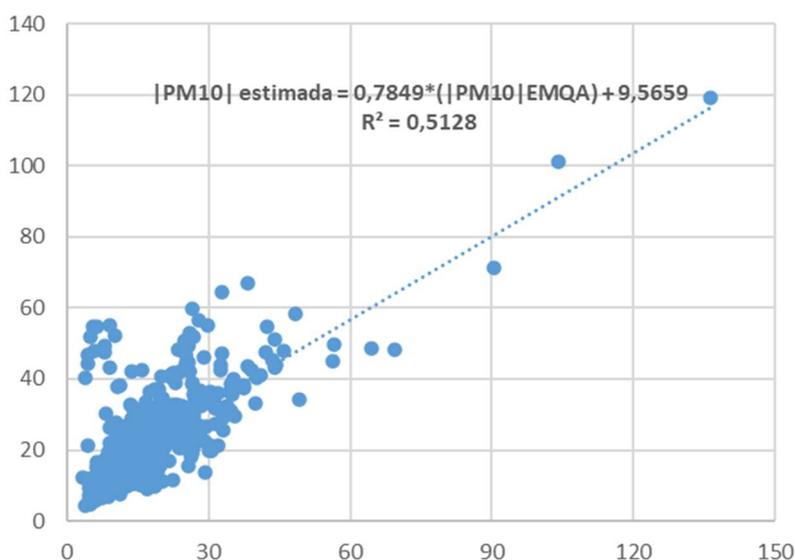


Figura 11: Comparação linear entre métodos de medição para a localização da Escola da Cidadela para PM₁₀

A concordância entre os dois métodos (método de referência e método utilizado pelos sensores) para partículas PM₁₀ é aceitável, em especial considerando que a série temporal já é alargada dado o valor de R² indicado. Este R² traduz o coeficiente de determinação, isto é quanto da variância da série de dados é explicada por este modelo linear (o que tem a equação indicada na figura anterior). E neste caso o ajustamento é bastante aceitável, pois cerca de 0,51 (ou 51%) da variância é explicado pelo modelo. No fundo esta métrica dá uma medida de quão próximo se estará da medição de referência se aplicarmos aquela equação à medição com o método alternativo (neste caso os sensores). É, uma vez mais, um valor que traduz bom desempenho dos sensores para PM₁₀.

Dióxido de Azoto (NO₂)

O exercício anterior aplicado à série de NO₂ é apresentado na Figura 12.

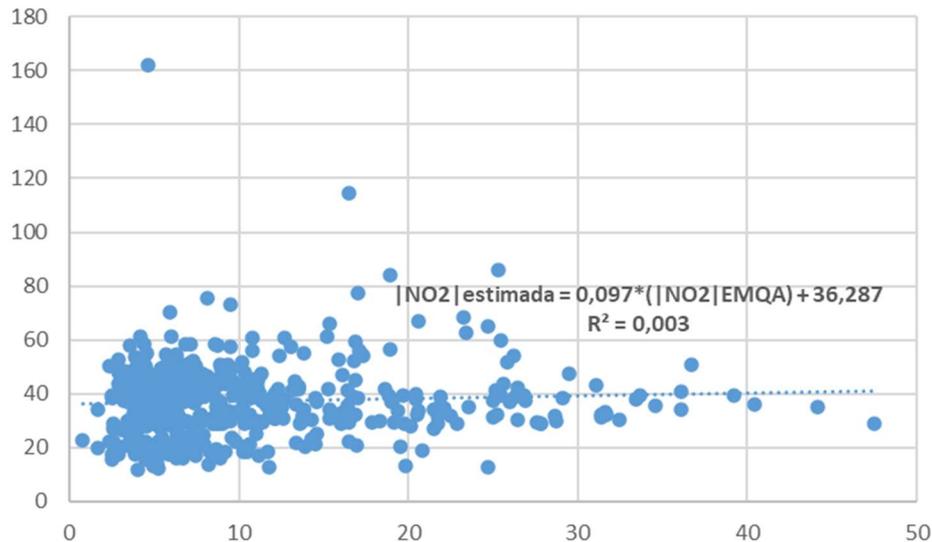


Figura 12: Comparação linear entre métodos de medição para a localização da Escola da Cidadela para NO₂

Neste caso, a situação é a inversa da anterior. O coeficiente de determinação (R^2) de 0,003 (0,3%) traduz que a variância explicada pelo modelo é quase nula, por isso há um claro desajustamento neste modelo linear. A leitura é a de que esta relação entre sensor e estação na localização "Escola da Cidadela" indica um afastamento relevante entre os dois métodos. O que, uma vez mais, indica que para o dióxido de azoto o sensor opera de forma muito díspar do método de referência. As implicações práticas é que, de facto, para análise de conformidade legal para o NO₂ não devem ser usados os sensores. Isto não afeta o que é a grande potencialidade dos sensores: a capacidade de descrever comparativamente as concentrações de NO₂ no concelho, conquanto todos os pontos medem segundo os mesmos princípios. No fundo, para o NO₂ os sensores têm a capacidade de identificar as zonas com maior ou menor concentração deste poluente não dando, contudo, a concentração exata (pelo menos de acordo com os critérios de qualidade que determinaram qual é o método de referência, no caso a quimiluminescência, descrito em detalhe na norma EN 14211:2012).

Ozono (O₃)

Para o caso do O₃ a situação é a intermédia entre uma concordância aceitável e uma quase nula, isto é a relação existe mas um eventual modelo linear entre os dois métodos consegue explicar da variância da série de dados apenas uma fração modesta (praticamente 19% da variância total da amostra). Este valor de coeficiente de determinação é aceitável para uma amostra com esta extensão mas mostra também não só a diferença nas magnitudes dos valores (os sensores também

sobrestimam a concentração de O_3 , embora não tanto como acontece com o NO_2) mas no acompanhamento das variações dia a dia. Isto mesmo pode ser observado na Figura 13.

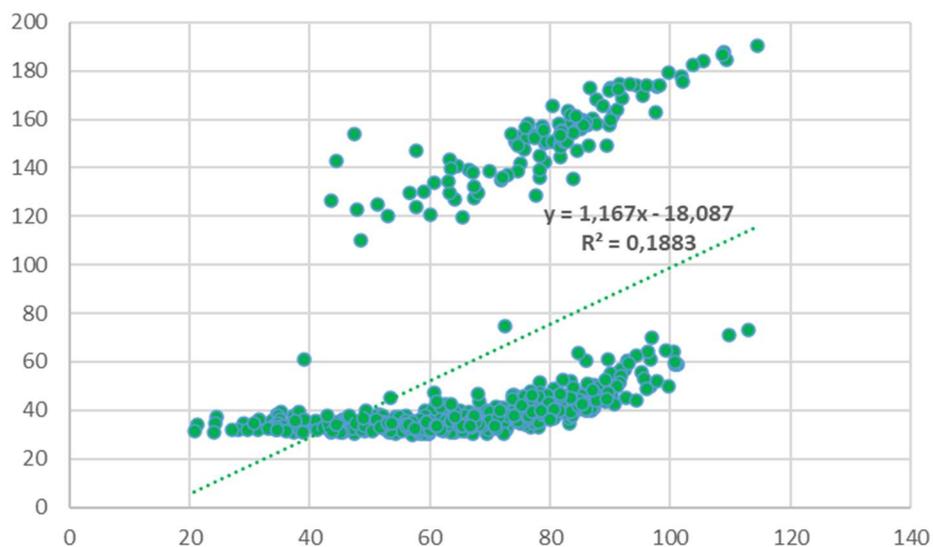


Figura 13: Comparação linear entre métodos de medição para a localização da Escola da Cidadela para O_3

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O EFEITO DA PANDEMIA SARS-CoV-2 NA QUALIDADE DO AR AMBIENTE

Os anos de 2020 e de 2021 foram bastante marcados por uma implosão do modelo socioeconómico mais recente, tudo por via do período pandémico que o vírus SARS-CoV-2 fez eclodir. Foram anos covid-19, nos quais a disrupção quotidiana fez alterar os padrões vigentes. As mudanças súbitas chegaram ao dia-a-dia de todos, alterando hábitos de partilha, hábitos de mobilidade, hábitos de vida. A qualidade do ar ambiente, dependente da nossa forma de mobilidade, da procura de transportes e da repartição modal com que esta se faz, não fugiu ao enorme impacte desta pandemia. A qualidade do ar ambiente em Portugal, como na generalidade dos países e das cidades mundiais, alterou-se grandemente com todas as estratégias de minimização dos efeitos da covid-19, em particular com as reduções drásticas de movimentos no seio das principais cidades.

Com menos tráfego rodoviário, as zonas urbanas ficaram com um ar menos poluído. O impacte foi de tal forma relevante que mesmo a Estação de Monitorização da Qualidade do Ar da Avenida da Liberdade, em Lisboa (exemplo por ser tradicionalmente das estações de monitorização da rede nacional com piores concentrações), cumpriu pela primeira vez o valor limite anual para o dióxido de azoto (NO₂) nestes dois anos.

A dúvida que agora se coloca agora é se as alterações modais introduzidas, algumas das quais relacionadas com a minimização do risco e o necessário afastamento social na fase de pandemia, vão afastar de forma mais prolongada quem deixou de ser utente dos transportes coletivos e passou para o transporte individual. Também no que concerne ao impacte do teletrabalho existem mais dúvidas que certezas, conquanto este tenha vindo para ficar parece que nestes meses de abrandamento da pandemia o recurso (agora) voluntário ao teletrabalho tem menos expressão do que esperado nos meses de pandemia.

Este contexto evolutivo será apresentado, tendo por base a evolução registada na EMQA da Escola da Cidadela. Sem prejuízo da análise posterior mais detalhada, poluente a poluente, a Figura 14 apresenta a evolução das médias diárias para todo o histórico de dados da estação até final de 2021. Observando a figura como a tendência é difícil de descortinar, dado que são muitos dados com flutuações dia a dia, foi inserida uma regressão linear identificando a tendência das concentrações para este período de tempo. Em todos os casos estas dão declives ligeiramente negativos, pois o algoritmo multiplicado por X nas três equações indicadas na figura são sempre negativos ("-0,0007" para as PM₁₀, "-0,0028" para o NO₂ e "-0,0078" para o O₃). Este declive negativo indica que as concentrações de todos os 3 poluentes tiveram uma tendência decrescente para o período considerado, isto é a qualidade do ar ambiente melhorou para estes poluentes atmosféricos desde que se iniciou a medição dos mesmos na EMQA da Escola da Cidadela.

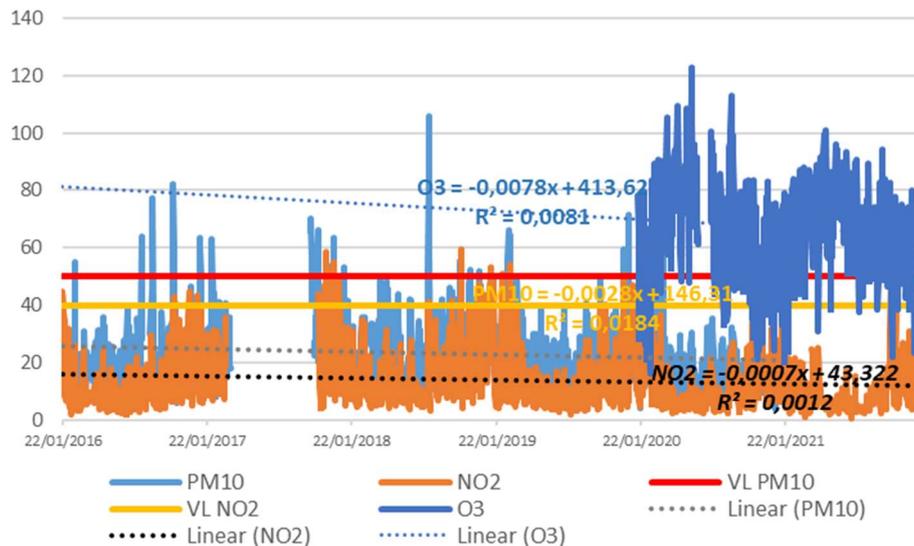


Figura 14: Perfis de evolução diária desde 2016 até final de 2021 na EMQA da Escola da Cidadela para PM₁₀, NO₂ e O₃

Partículas atmosféricas em suspensão (PM₁₀)

A análise das séries de concentrações torna-se mais fácil se efetuada ano a ano, pois consegue comparar-se os perfis diários registados ao longo de cada ano. Utilizando o período de 2018 a 2021 (inclusive). O efeito da pandemia como redutor da atividade, em particular dos transportes, é facilmente perceptível, pois retirando um pico de concentrações (aliás o máximo registado neste período) para 2021, assiste-se a uma paulatina e progressiva redução da concentração de PM₁₀ ao longo do tempo (Figura 15).

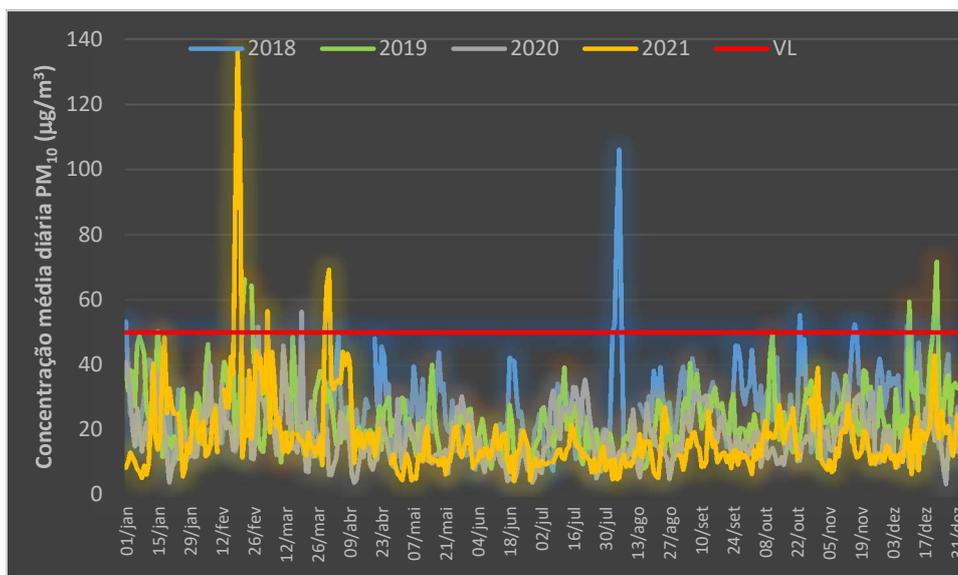


Figura 15: Evolução das concentrações medidas de PM₁₀ na EMQA Escola da Cidadela (01/01/2018 - 31/12/2021)

Este pico de concentrações serve para ilustrar a complexidade na validação dos dados. Olhando para a figura anterior poder-se-ia ter a tentação de definir esse máximo como um *outlier*, como um resultado a invalidar. A questão, em particular nas partículas inaláveis, é que tem de se procurar informação adicional para interpretar os níveis registados. Com efeito, Portugal e, de forma mais geral, a Península Ibérica, são assolados todos os anos por alguns dias em que a origem de parte significativa desta poluição por partículas é de origem natural. Esta fração da poluição medida pelos analisadores é o resultado, em alguns dias (normalmente poucos, de 10 a 20 dias na totalidade do ano), de circulações atmosféricas que conduzem massas de ar carregadas de partículas de desertos norte-africanos para a Europa. Por vezes o fenómeno é mais expressivo e noticiado mas, na maioria dos casos, passa despercebido embora a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) com o auxílio da *NOVA School of Science and Technology* vá reportando os casos em que a poluição desta natureza é relevante. O máximo da figura anterior é precisamente um destes dias: 19 de Fevereiro de 2021 (19/02/2021). Na Figura 16 apresenta-se o boletim da previsão dessa ocorrência registada neste dia (FONTE: APA, 2021).

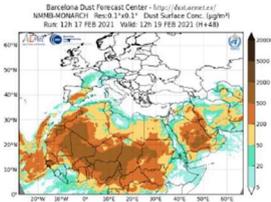
Previsão de transporte de partículas naturais com origem em regiões áridas	
Data	19/02/2021
Entidade Responsável	Agência Portuguesa do Ambiente, IP
Resumo	Prevê-se que as regiões do Algarve e Alentejo sejam influenciadas por uma massa de ar com origem no Norte de África, transportando na circulação partículas e poeiras em suspensão, durante o dia 19 de fevereiro 2021 .
Mapa de previsão	 <p>Barcelona Dust Forecast Center - https://dust.aemet.es/ NMMB-MONMOSH-1-Res-1.1.v0.11 - Dust Surface Conc. (µg/m³) Run: 12h 17 FEB 2021 - Valid: 12h 19 FEB 2021 01+48h</p>
Descrição	<p>Portugal Continental continua sob influência de uma situação sinóptica que se caracteriza por uma vasta região depressionária em deslocamento a noroeste das Ilhas Britânicas. Esta configuração resulta numa circulação do quadrante sul, nos níveis baixos da atmosfera, favorecendo a advecção e transporte da massa de ar formada sobre os desertos do Norte de África, contribuindo para o aumento de partículas e poeiras em suspensão.</p> <p>Este fenómeno natural afeta a qualidade do ar ambiente, estimando-se que possa contribuir para um aumento das concentrações de partículas em suspensão (PM₁₀) entre 20 a 50 µg/m³ no litoral das regiões do Algarve e Alentejo, e um aumento superior a 50 µg/m³ no interior das regiões do Algarve e Alentejo.</p> <p>A análise comparativa dos modelos de prognóstico de dispersão e transporte de poeiras pela circulação atmosférica indica, para o dia seguinte, que este episódio de intrusão de partículas poderá manter-se.</p> <p>A APA, IP, sugere o acompanhamento da evolução dos índices diários de qualidade do ar em http://qualar.apambiente.pt, e recomenda a consulta dos conselhos para a saúde em www.dgs.pt.</p>
Eventos naturais	<p>Transporte de partículas naturais com origem em regiões áridas:</p> <p>O transporte de longa distância de partículas com origem natural, em zonas áridas do Norte de África, como é o caso dos desertos do Sahara e Sahel pode causar elevados níveis de PM₁₀. Em Portugal e nos países Mediterrânicos estes eventos são mais frequentes nos períodos de primavera e verão. Para saber mais sobre este fenómeno clique aqui.</p>
Ficha técnica	<p>Mapas de previsão transporte de poeiras provenientes de regiões áridas (concentração de partículas à superfície às 0, 6, 12 e 18 UTC, e mapas de deposição seca e húmida, disponibilizados por NMMB/BSC-Dust model Imagens cedidas de NMMB/BSC-Dust model, operado por Barcelona Supercomputing Center (https://dust.aemet.es/forecast)</p> <p>Ficha de previsão elaborada por DCEA-FCT/UNL para APA, IP.</p>

Figura 16: Boletim de previsão da ocorrência de transporte de partículas do norte de África a 19/02/2021

Voltando à evolução das concentrações, a Figura 15 da pág. 27 indica também o cumprimento da legislação relativa ao valor limite diário para PM_{10} , o qual segundo o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, é de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentração média diária podendo esta ser excedida até 35 vezes (dias) num ano. Esta permissão é, de resto, forma de acomodar estes dias em que as concentrações podem subir por causas alheias à poluição antropogénica e, por isso, por causas alheias às emissões poluentes geradas no local e na região. Como se está a avaliar a qualidade do ar ambiente de acordo com o método de referência e como se cumprem os mínimos de eficiência para avaliação de cada um dos anos em causa (o mínimo para considerar representativa uma concentração média diária é ter 75% dos dados horários de cada dia válidos, sendo que para a concentração média anual o mesmo acontece, isto é ter pelo menos 75% dos dados diários de um ano válidos), pode afirmar-se que a EMQA da Escola da Cidadela tem cumprido o valor-limite diário definido desde 2018 (pois não se vislumbram mais de 35 concentrações diárias na Figura 15 acima do VL indicado).

No entanto, as partículas inaláveis têm igualmente de cumprir outro valor-limite. Este é de base anual (concentração média anual) e é de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A lógica deste valor limite será o de limitar não concentrações pontuais muitíssimo elevadas (como acontece no valor-limite diário) mas concentrações sistematicamente elevadas ao longo do ano. Na Figura 17 apresenta-se a evolução das concentrações médias anuais da EMQA da Escola da Cidadela e a sua comparação com o valor-limite anual definido.

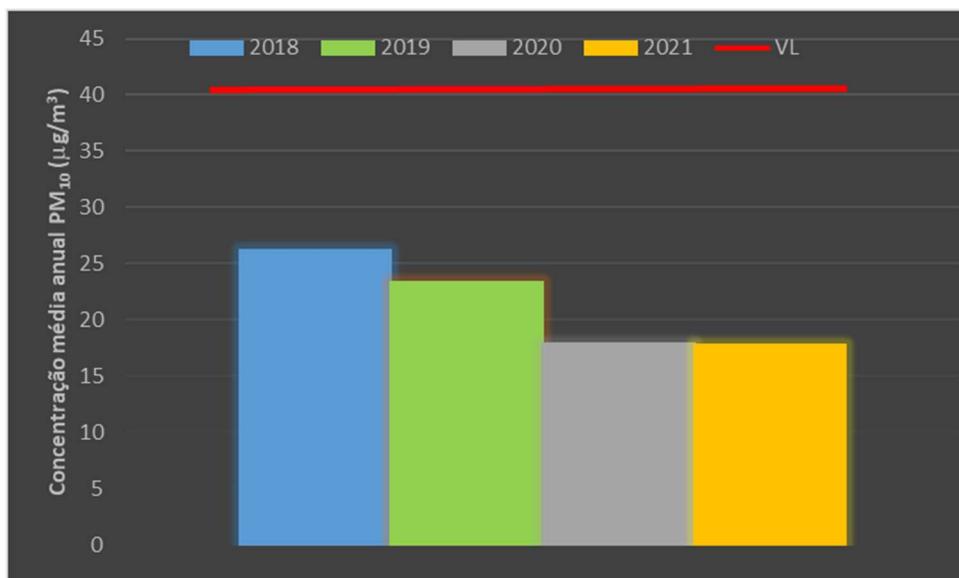


Figura 17: Evolução das concentrações médias anuais de PM_{10} na EMQA Escola da Cidadela (2018 a 2021)

Da informação anterior é, uma vez mais, patente a redução da concentração de partículas inaláveis, com mínimos para os anos pandémicos de 2020 e 2021, curiosamente registando a mesma média anual e a uma distância muito significativa do valor-limite (a média é menos de 50% do valor-limite anual).

Esta análise pode ser mais detalhada, podendo obter-se as respetivas médias mensais, em particular de 2019 em diante (sendo 2019 o ano pré-pandemia e 2020

e 2021 os anos afetados por esta). As concentrações médias mensais podem ser observadas na Figura 18.

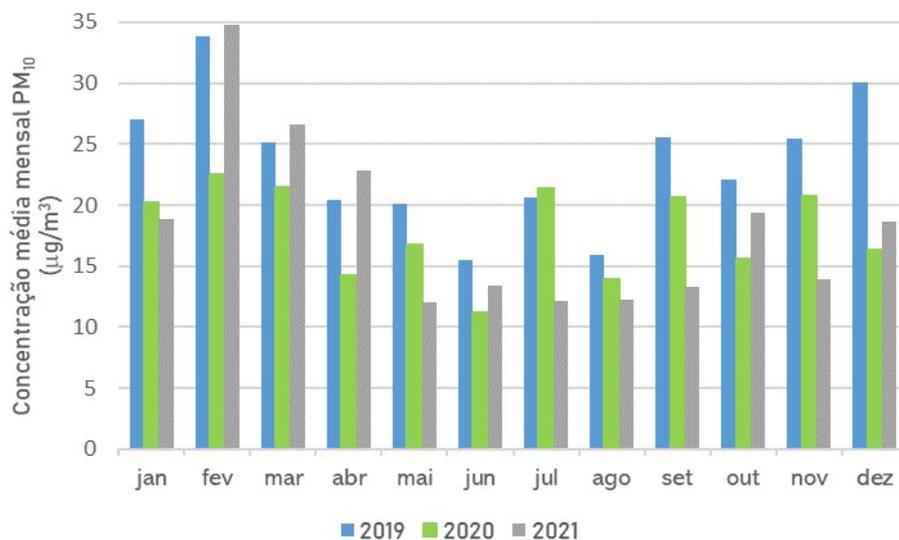


Figura 18: Evolução das concentrações médias mensais de PM₁₀ na EMQA Escola da Cidadela (2019 a 2021)

O efeito da pandemia é visível, em particular se observarmos que 2019 tem quase sempre os níveis mensais de PM₁₀ mais elevados, com exceção de fevereiro de 2019 quando ainda não tinha começado a pandemia (que se iniciou com impacte relevante apenas em Março desse ano) e de julho de 2020 (período em que, por via de diminuição da atividade pandémica se reduziram as estratégias de confinamento).

Na realidade, para partículas inaláveis e assumindo ser representativo da realidade concelhia a EMQA da Escola da Cidadela, a qualidade do ar para este parâmetro ambiental é boa no concelho de Cascais. A dúvida que se coloca é se as melhorias registadas no período pandémico foram apenas conjunturais ou se, pelo contrário, podem prosseguir em anos vindouros.

Dióxido de Azoto (NO₂)

O exercício anterior mas efetuado para o dióxido de azoto, em particular a evolução do perfil de concentração diária desde 2018, é apresentado na Figura 19.

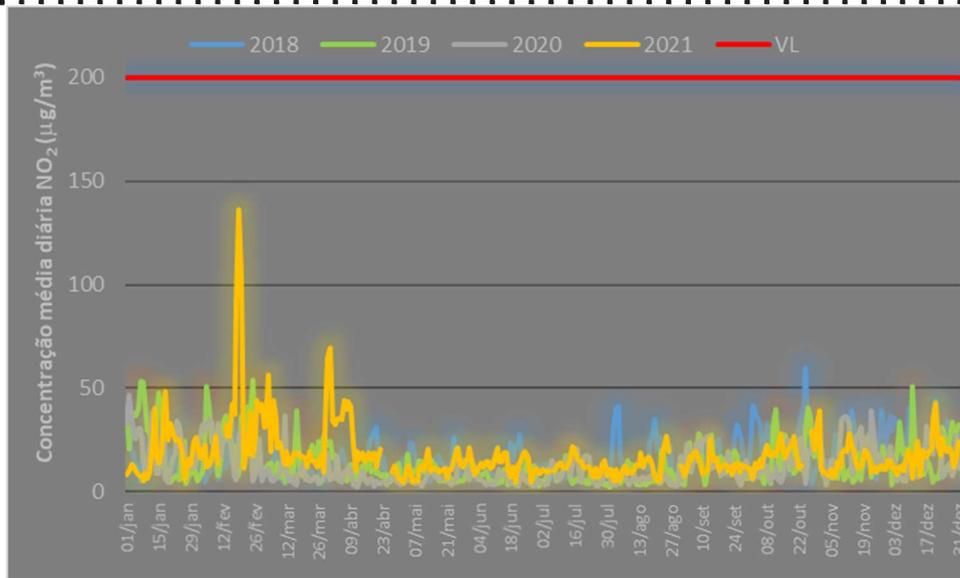


Figura 19: Evolução das concentrações medidas de NO₂ na EMQA Escola da Cidadela (01/01/2018 - 31/12/2021)

À semelhança das PM₁₀, a análise das concentrações registadas é facilitada quando se observam os perfis diários isoladamente em cada ano. Para o horizonte temporal de 2018 a 2021, estes são apresentados na Figura 20.

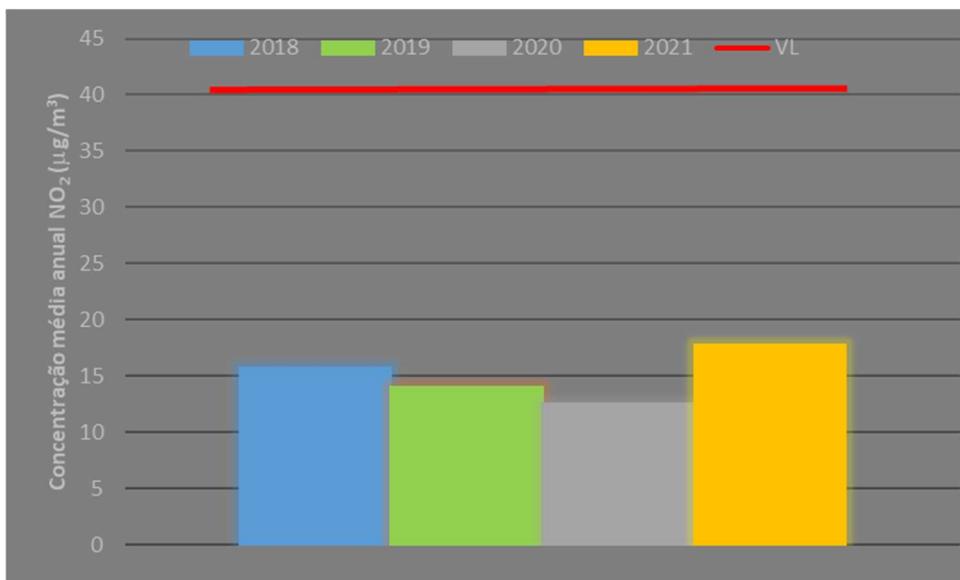


Figura 20: Evolução das concentrações médias anuais de NO₂ na EMQA Escola da Cidadela (2018 a 2021)

Apesar dos bons resultados obtidos também para o dióxido de azoto (NO₂) pois as concentrações de base diária e de base anual estão bastante distantes dos valores-límites diário e anual (marcados a vermelho nas figuras anteriores, sendo que o valor-limite diário até pode ser superado até um limite de 18 dias por ano), a qualidade do ar em termos de NO₂ não melhora sempre ao longo da série, pois o ano de 2021

interrompe essa tendência. De resto, 2021 apresenta a concentração média anual mais elevada superando mesmo o período pré-pandémico (e os anos de 2018 e 2019). Na realidade, o NO₂ é um poluente cuja estratégia europeia e nacional, em particular apontada às emissões provenientes dos transportes, tem sido menos bem sucedida que as partículas inaláveis (PM₁₀), pois as soluções inerentes às tecnologias dos veículos deram frutos claro para estas últimas mas não para o NO₂ (devido a casos como o mediático *dieseldgate*, no qual alguns construtores adulteraram os níveis reais de emissão de óxidos de azoto – NO_x - e, por isso mesmo, também de NO₂).

Faltará a análise mais detalhada, lida através das respetivas médias mensais, do potencial efeito da pandemia nos níveis de NO₂. As concentrações médias mensais de 2019, de 2020 e de 2021 podem ser observadas na Figura 21.

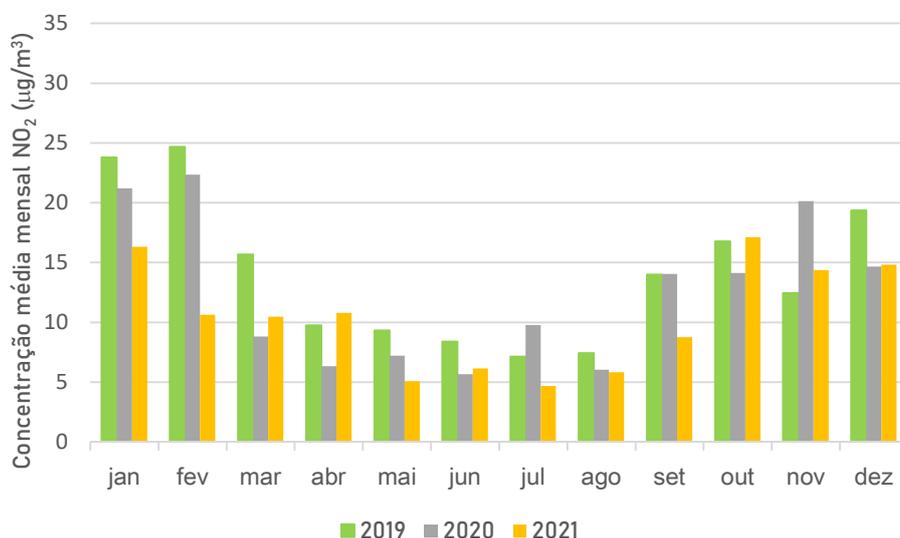


Figura 21: Evolução das concentrações médias mensais de NO₂ na EMQA Escola da Cidadela (2019 a 2021)

Na maioria do período confirma-se o efeito que a pandemia já havia tido na redução dos níveis de PM₁₀, conquanto genericamente 2019 apresenta sempre concentrações poluentes mais elevadas. A exceção é, neste caso, o mês de novembro de 2020, o qual foi um mês quente relativamente à normal 1971-2000 e com precipitação normal (IPMA, 2020). Curiosamente foi um mês em que devido ao aumento importante da incidência de casos covid-19, foram impostas restrições à mobilidade e relacionamento social importantes pelo que, por esta via, até seria de esperar menos mobilidade e, por isso mesmo, menos emissões de NO₂.

Ozono (O₃)

De forma similar ao que foi feito para os outros dois poluentes atmosféricos, para o ozono a evolução do perfil de concentração diária desde 2020, é apresentada na Figura 22.

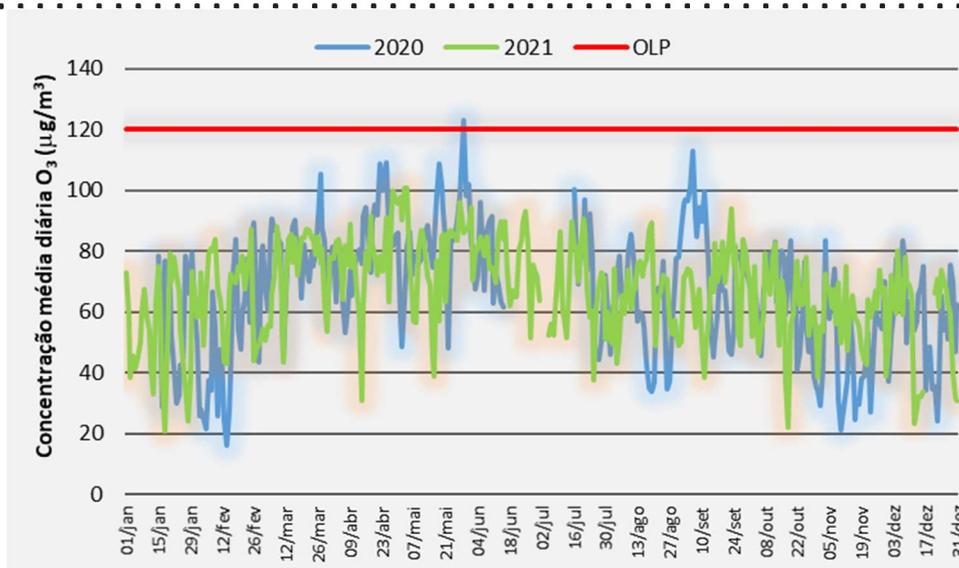


Figura 22: Evolução das concentrações medidas de O₃ na EMQA Escola da Cidadela (16/01/2020 - 31/12/2021)

A concentração média anual de ozono, mesmo no período estival (quando as concentrações, por via do aumento dos níveis de radiação solar, sobem), fica sempre distante do objetivo de longo prazo para o ozono (que não tem exatamente valores-limite mas valores-alvo e objetivos de longo prazo). Mesmo tendo em conta que o objetivo de longo prazo é na realidade um máximo diário das médias de 8 horas, os valores registados atestam boa qualidade do ar também para o ozono.

No que diz respeito às concentrações médias anuais esta manteve-se praticamente constante nestes dois anos em que existe medição (Figura 23). Na realidade, tendo só começado a medição na EMQA em 2020 não existe registo dos níveis pré-pandemia para este poluente atmosférico.

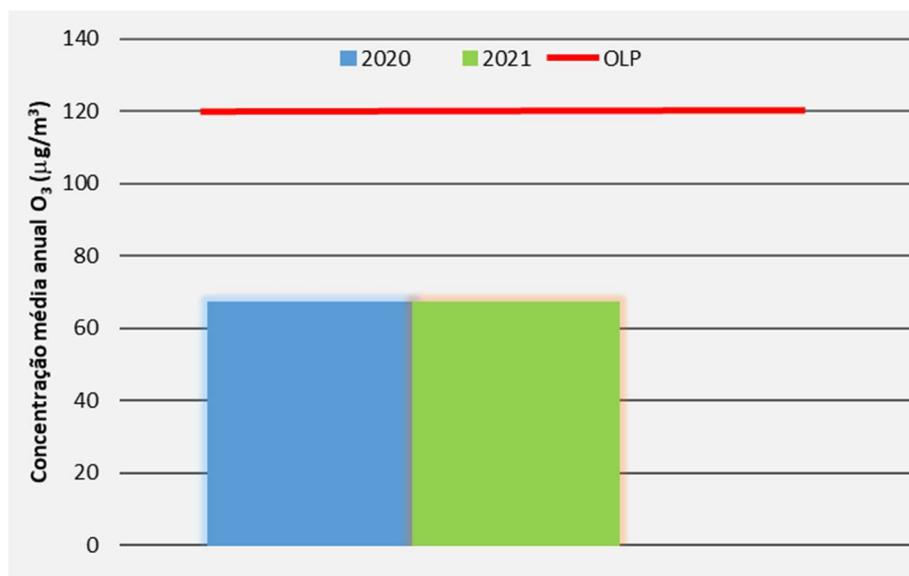


Figura 23: Evolução das concentrações médias anuais de O₃ na EMQA Escola da Cidadela (2020 a 2021)

Finalmente, não obstante não se poder comparar com o período pré-pandemia, podem apresentar-se as concentrações médias mensais para o ozono. Estas podem ser observadas na Figura 24.

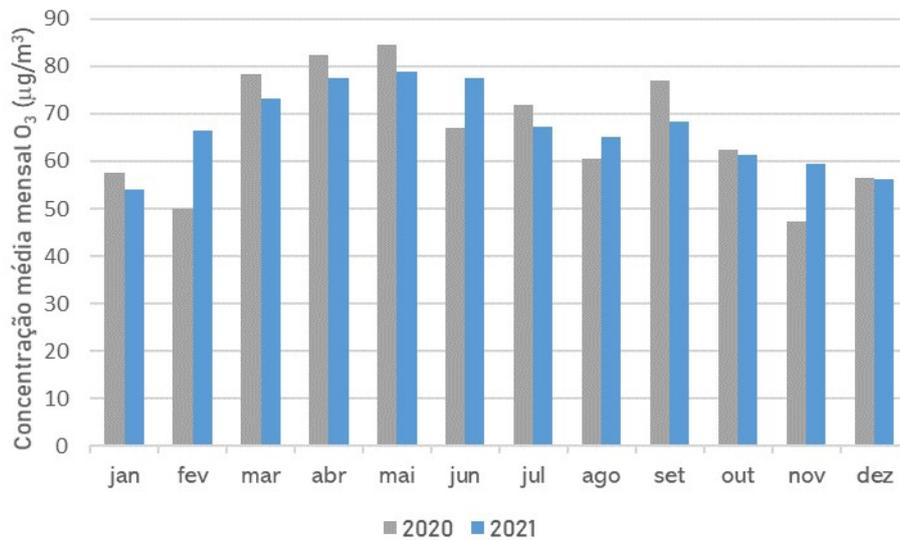


Figura 24: Evolução das concentrações médias mensais de O₃ na EMQA Escola da Cidadela (2020 e 2021)

É curioso observar que embora os mínimos correspondam aos meses de inverno para ambos os anos, o que é expectável pois os níveis de radiação solar são mais reduzidos, sendo a produção de O₃ limitada por esta via, os máximos não se registam no verão mas sim na primavera.

OS RESULTADOS INERENTES AOS SENSORES

Este relatório traduz a avaliação de um novo método de obtenção de resultados de qualidade do ar ambiente. O método tem apresentado naturais dificuldades iniciais, típicas da implementação prática de um sistema de medição. No entanto, está nesta fase a produzir já bastantes resultados, sendo que se opta por compilar todos estes (são uma infinidade de resultados de medições para os diferentes locais) para o relatório final, compilando já a globalidade dos resultados para 2020 e 2021.

Nesta fase, é patente que esta ferramenta será potencialmente muito útil na avaliação da representatividade espacial das concentrações registadas no concelho, pois permitirá perceber a ordem de grandeza em que se inserem os níveis registados na EMQA da Escola da Cidadela, possibilitando perceber se os níveis no concelho podem ser muito mais elevados. Aliás, a grande potencialidade destes resultados obtidos pelos sensores será sempre esta de permitir o mapeamento do concelho, de permitir uma representatividade espacial que seria inviável economicamente com recurso a estações de referência como a EMQA da Escola da Cidadela. Para já fica também claro que este método dos sensores não pode ser extrapolado diretamente para análises de conformidade, conquanto a acurácia e precisão destes resultados é muito diferente do método de referência.

Não obstante a comparação entre locais é um ponto forte do método, conquanto medindo todos os sensores da mesma forma e no mesmo período, permite obter mapas comparativos que de outra forma dificilmente estariam disponíveis. E sendo uma série de resultados extensa permite que se façam diversas agregações estatísticas importantes, conquanto podem permitir interpretar alguns dos ciclos da atividade quotidiana (como p.ex. a comparação entre dias da semana). As três figuras seguintes resumem as concentrações médias diárias médias, subdivididas por dias da semana, obtidas para todas as localizações amostradas para o ano de 2021 (optou-se no detalhe por este ano em detrimento de agregar também 2020, ano menos representativo por via do maior impacte da pandemia).

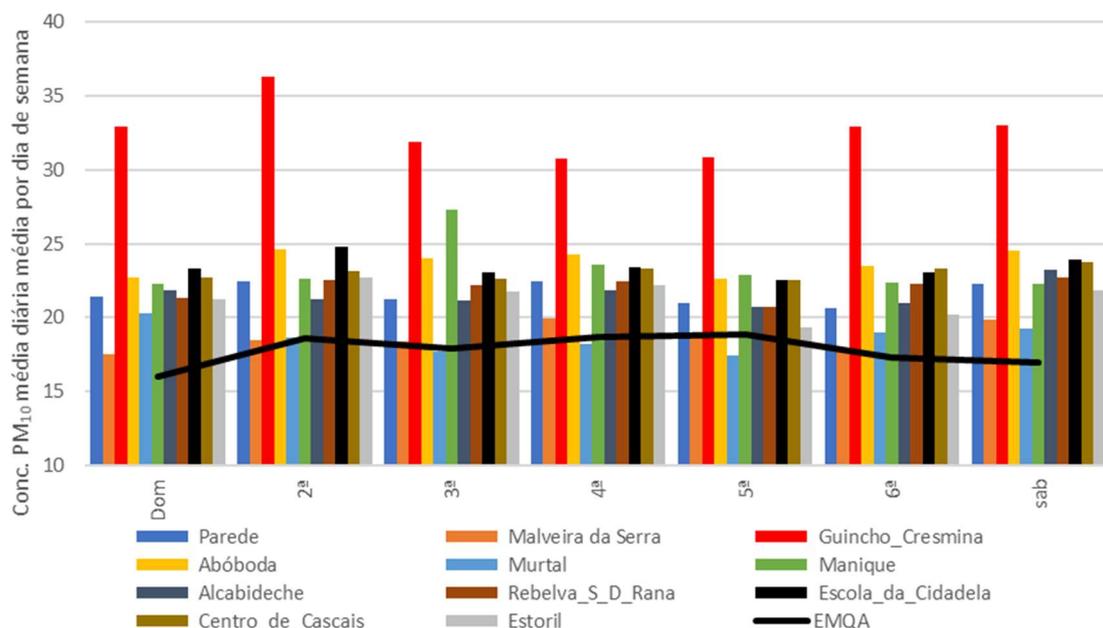


Figura 25: Concentrações médias diárias médias de PM₁₀ para 2020 e 2021, por dia de semana, nas diferentes localizações (sensores e EMQA Esc. Cidadela)

As concentrações comparativas de partículas inaláveis (PM₁₀) no Guincho Cresmina são bastante superiores às concentrações registadas nos restantes locais. Este facto ocorre apenas para este poluente atmosférico e faz pressupor o acompanhamento futuro deste aspeto, por forma a validá-lo. Pode ser o resultado de maior intensidade de vento, típico desta área, o que se traduz numa maior ressuspensão de material particulado gerando assim elevadas concentrações médias. A intensidade de vento não é um dos parâmetros registado mas uma opção de avaliação futura poderá ser recorrer a uma estação meteorológica que possa existir na envolvente ou colocando um anemómetro, por forma a poder confirmar esta leitura. Isto porque os valores poderiam também ser pouco realistas, caso a medição que é baseada em métodos óticos pudesse ser mais sensível a algum tipo ou cor de partículas nesta zona. É uma hipótese menos credível, conquanto não há *a priori* razões para crer que a constituição do material particulado seja assim tão diferente neste local por comparação com os restantes (estes fenómenos ocorrem p.ex. quando se mede com métodos óticos partículas com cor relativamente consistente como a medição em

cimenteiras, pois as partículas de base calcária apresentam cores muito claras e isso pode contribuir para perturbar a medição com métodos deste tipo).

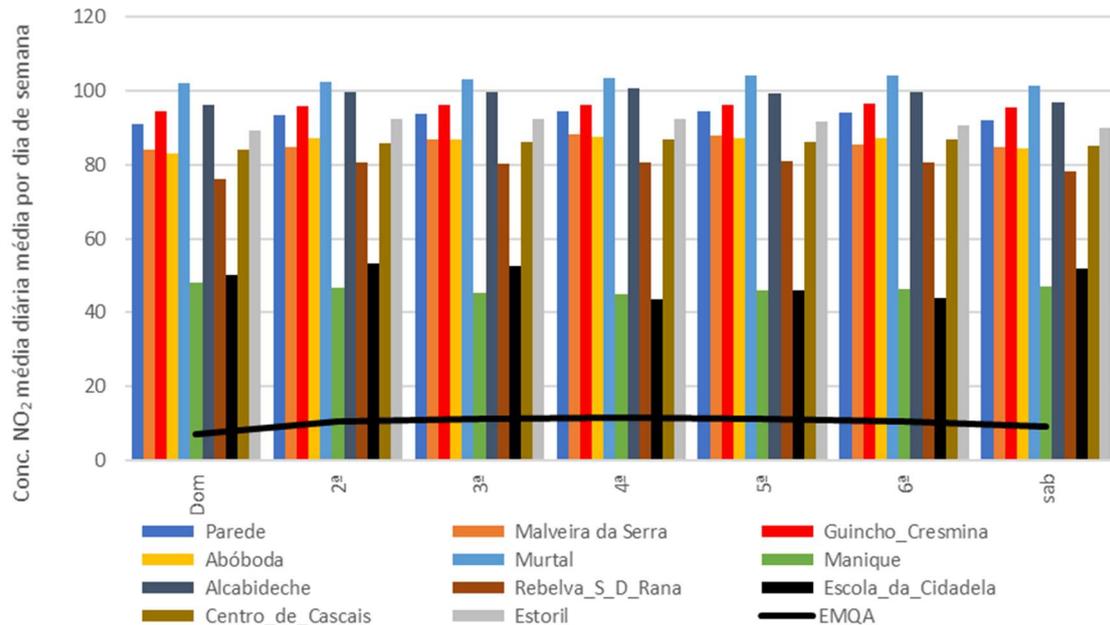


Figura 26: Concentrações médias diárias médias de NO₂ para 2020 e 2021, por dia de semana, nas diferentes localizações (sensores e EMQA Esc. Cidadela)

Para o dióxido de azoto (NO₂), referência para o já citado afastamento entre o método utilizado pelos sensores e o método de referência (usado na EMQA da Escola da Cidadela) – particularmente visível não apenas pela distância entre os sensores da Escola da Cidadela mas essencialmente pela diferente variação entre a média dos dias, a qual lembra-se agrega muitos dias pois agrega mais de 700 valores diários, o que é visível pelo aumento da concentração média dos sábados quando comparado com as 6^{as} feiras no sensor da Escola da Cidadela (assinalado a preto) enquanto que na EMQA há um ligeiro decréscimo quando comparado com a média das 5^{as} e 6^{as} feiras. Em termos de concentrações comparativas e não obstante algumas falhas de dados (quantificadas na Tabela 1, pág. 11, quando são apresentadas as eficiências de medição para os diferentes locais), é o Murtal que apresenta os valores mais elevados. Também a Alcabideche e a Parede têm valores acima da média para este poluente atmosférico. Na realidade também estas concentrações mais elevadas serão algo alvo de confirmação em momentos futuros, conquanto o Murtal não aparenta ser uma localização de tráfego tão intenso nem de configuração de ruas tão estreitas como os outros dois locais referidos, sendo que no caso do NO₂ as emissões de tráfego de proximidade tendem a ser bastante relevantes nas concentrações registadas.

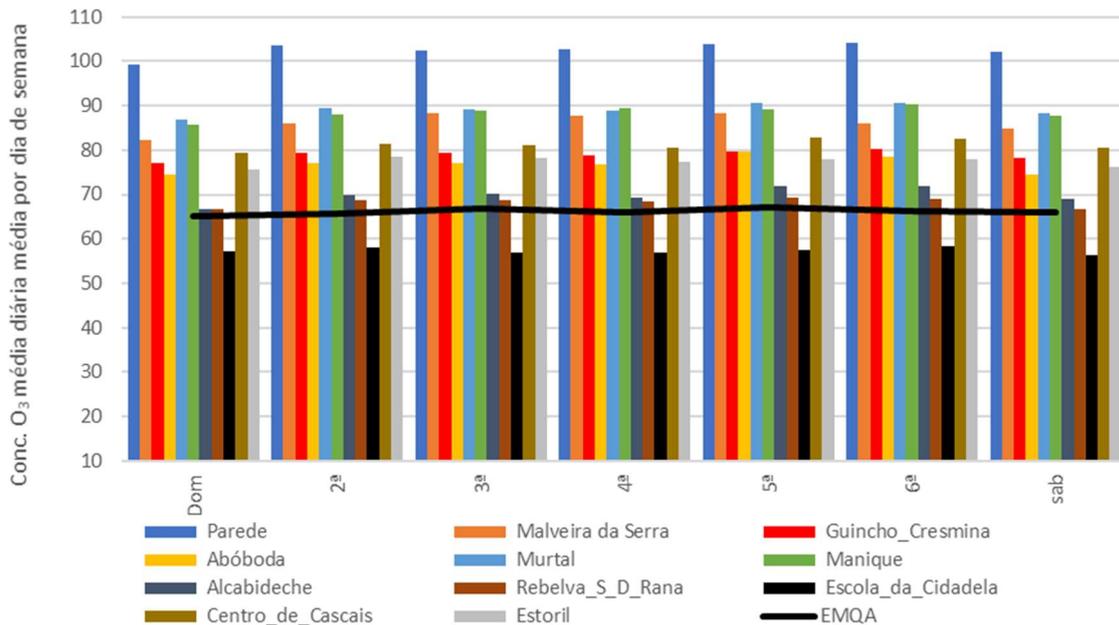


Figura 27: Concentrações médias diárias médias de O₃ para 2020 e 2021, por dia de semana, nas diferentes localizações (sensores e EMQA Esc. Cidadela)

Finalmente para o ozono é a Parede a localização que concentra as concentrações médias mais elevadas nos diferentes dias da semana. O Murtal e Manique seguem este local, sendo que o ozono tende a apresentar concentrações de magnitudes opostas às do dióxido de azoto (NO₂), conquanto o ozono no seu mecanismo de produção por efeito da radiação solar consome (entre outros poluentes atmosféricos) NO₂ na sua formação. O ozono é, de resto, bom indicador inverso da ausência de tráfego na proximidade (os centros urbanos com níveis elevados de tráfego têm pouco ozono local, estando este depois concentrado na direção de ventos dominantes nas áreas envolventes).

Para os casos apontados a continuidade da série temporal de medições deverá clarificar se foram casos pontuais ou se, pelo contrário, estes resultados comparativos entre localizações traduzem a realidade concelhia.

RESULTADOS E PERFIS MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO LOCAL A LOCAL

Sempre que se dispõe de uma quantidade significativa de resultados de medição (como ocorre neste caso), é útil obter perfis médios que caracterizem cada um dos locais em situações determinadas. Estes perfis são normalmente construídos por forma a comparar diferentes características da série de dados, seja por dia de semana (já que normalmente há ciclos de variação semanal, p.ex. com concentrações mais elevadas durante a semana para locais mais sujeitos a deslocações pendulares), seja por localização (pois locais mais expostos diretamente a fontes de poluição deverão apresentar maiores concentrações), seja ainda por ciclos mensais (pois alguns poluentes tendem a ter concentrações comparativamente mais elevadas nalguns períodos, p.ex. o inverno se decorrem de combustão proveniente de aquecimento doméstico e porque a altura da camada de mistura atmosférica, a qual ajuda à dispersão de poluentes, tende a ser mais reduzida neste período do ano).

A intenção deste capítulo é precisamente o de caracterizar e apresentar as diferentes situações que foi possível encontrar ao longo destes quase 2 anos de medições. Desta forma as figuras seguintes apresentadas, relativas a cada um dos locais, apresentam estes diferentes perfis. Porém, dado que a intenção é de caracterizar com algum detalhe os locais de medição isoladamente entendeu-se ser mais revelador utilizar apenas o ano de 2021, o qual embora afetado ainda de forma significativa pela pandemia é um ano menos anormal do que o primeiro ano de pandemia, o 2020 (assegurando assim maior representatividade sobre as características de cada local).

Como nota prévia destaque para o facto das escalas das figuras seguintes serem propositadamente distintas, conquanto a intenção primordial é comparar os perfis no mesmo local e se a escala fosse toda igual (como há ainda diferenças importantes de concentração entre diferentes locais de medição) não se perceberiam em alguns casos quais as médias mais elevadas e as menos elevadas. De notar que nas figuras seguintes se aplica uma escala colorimétrica em que a cor vermelha traduz a concentração média mais elevada do perfil, a cor dourada identifica a segunda média mais elevada e o verde traduz a média mais baixa para esse período para esse poluente atmosférico.

Parede

A localização dos sensores colocados na Parede apresenta alguma variação no ciclo de dias da semana. Com efeito, o domingo destaca-se genericamente como um dia com menores níveis de poluição (mesmo nas partículas inaláveis em que isso não acontece a diferença para a média mínima é muito pequena, da ordem de pouco mais de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o que é uma diferença muito baixa – ver Figura 28, pág. 39). Será uma localização com perfil de atividade mais laboral mas apresenta valores comparativamente elevados, em particular de partículas PM_{10} , também ao sábado, revelando particular atividade local também neste dia (p.ex. deslocações para ir a mercados, comércio local e outros serviços).

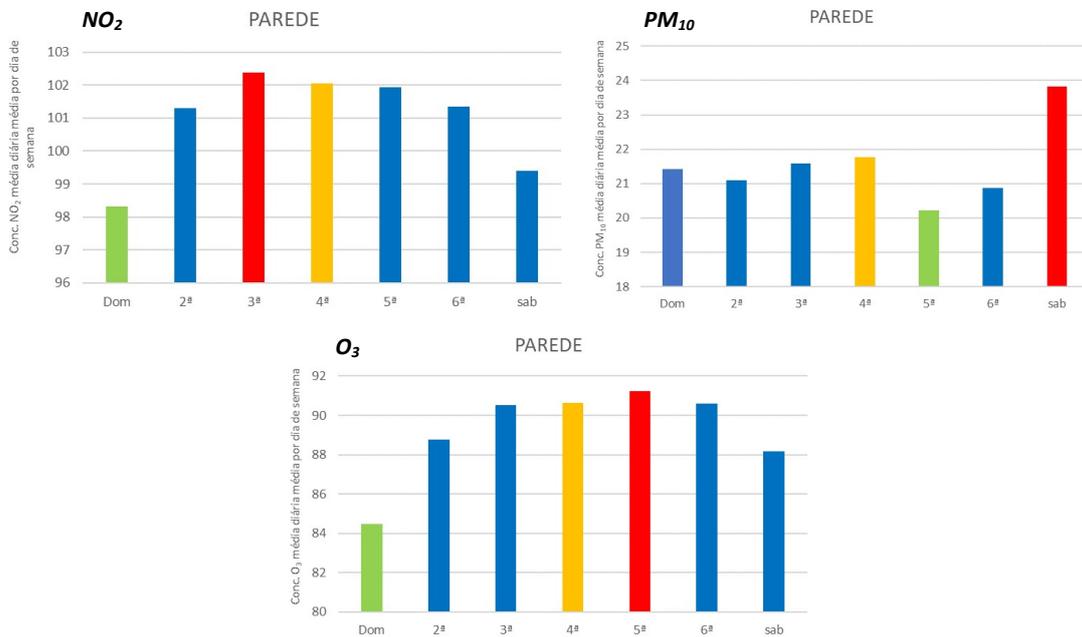


Figura 28: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO₂, PM₁₀ e O₃ localizados na Parede

Malveira da Serra

A localização da Malveira da Serra tem um registo similar ao da Parede, como se pode ver nas figuras seguintes.

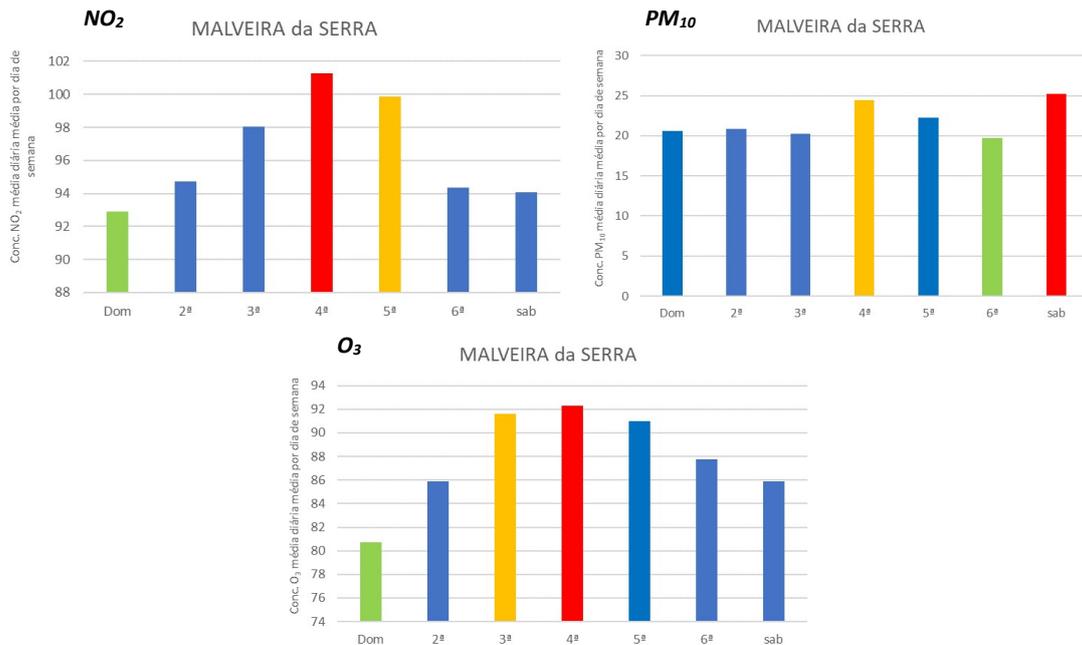


Figura 29: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO₂, PM₁₀ e O₃ localizados na Malveira da Serra

Guincho Cresmina

No Guincho Cresmina mantém-se uma tendência praticamente extensível a todos os locais: melhor qualidade do ar, grosso modo, durante o domingo. De resto, os piores dias por poluente atmosférico analisado variam mas a diferença entre a média registada por estes durante os dias de semana é sempre de pequena dimensão (tal como acontece nos locais já avaliados anteriormente).

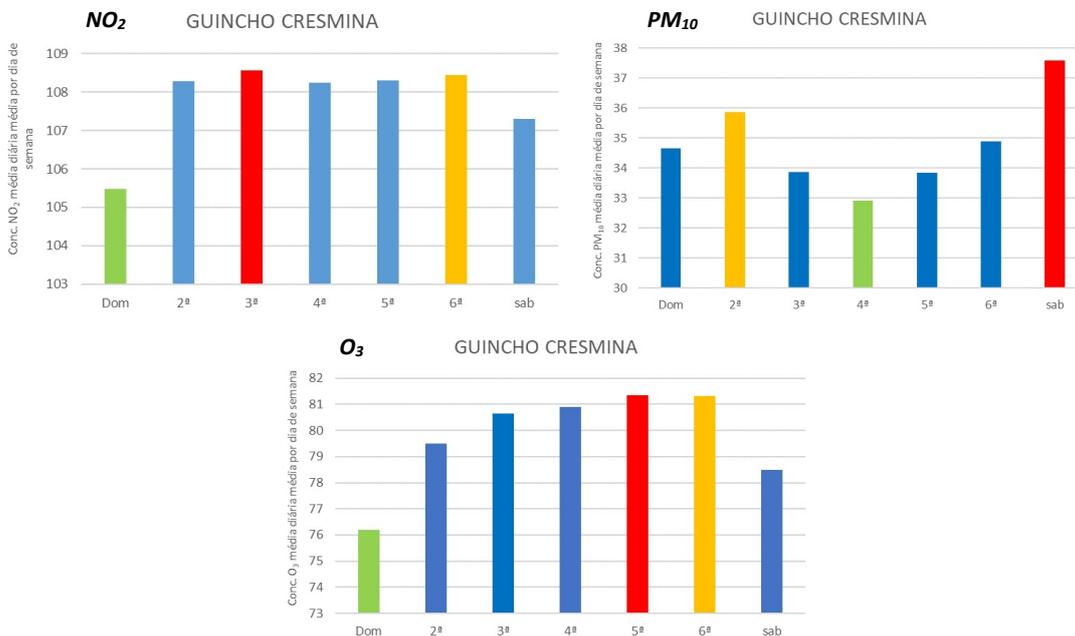


Figura 30: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO₂, PM₁₀ e O₃ localizados no Guincho Cresmina

Abóboda

A localização dos sensores na Abóboda também segue uma lógica de uma área impactada por serviços e deslocações laborais, conquanto com exceção das PM₁₀ (que variam pouco em média entre os diferentes dias da semana), as concentrações no sábado e domingo são mais reduzidas, como se pode ver na Figura 31.

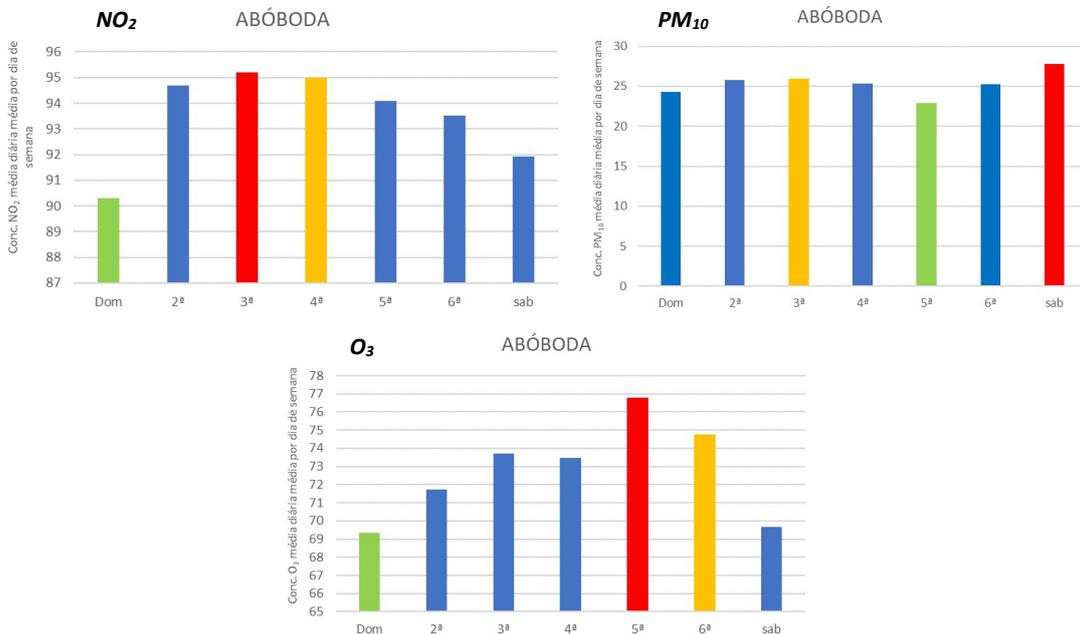


Figura 31: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO₂, PM₁₀ e O₃ localizados na Abóboda

Murtal

À semelhança dos locais anteriores, também o Murtal traduz uma zona com uma dinâmica associada a deslocações pendulares e a movimentos inerentes à atividade laboral e períodos escolares. Por isso mesmo, segue a tendência de ter valores mais reduzidos ao fim-de-semana para o dióxido de azoto e para o ozono.

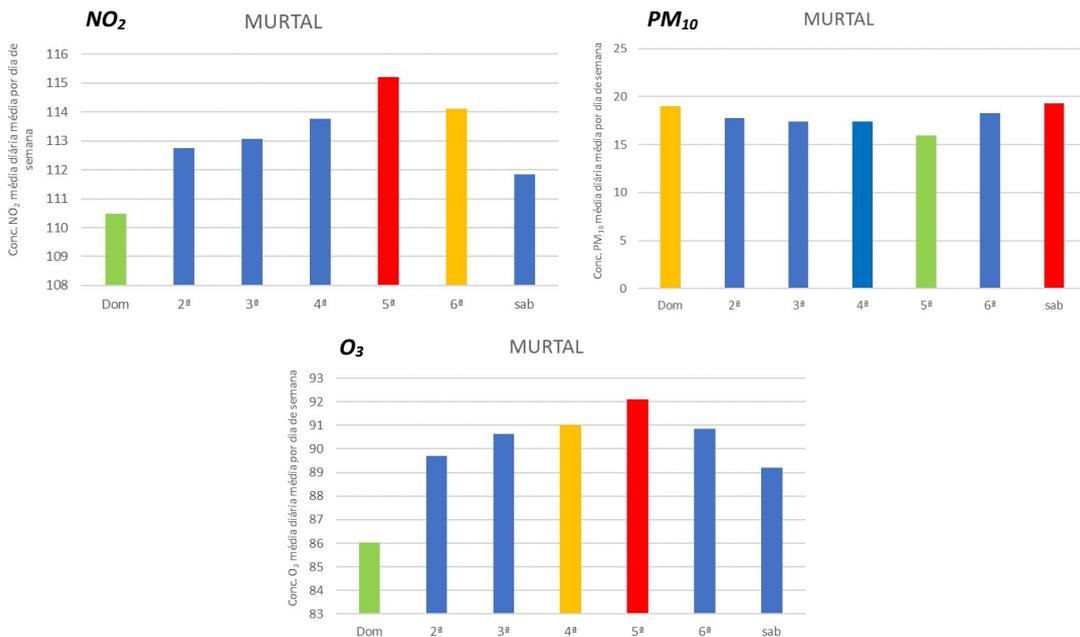


Figura 32: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO₂, PM₁₀ e O₃ localizados no Murtal

Manique

A localização dos sensores em Manique já não segue a tendência apontada anteriormente, conquanto a atividade de tráfego será intensa também no fim-de-semana, o que se traduz por valores comparativamente mais elevados no sábado e domingo para o NO₂. Embora o O₃ volte a assumir valores mais baixos, o ozono não é bom indicador conquanto é muito afetado pela relação precisamente com o NO₂.

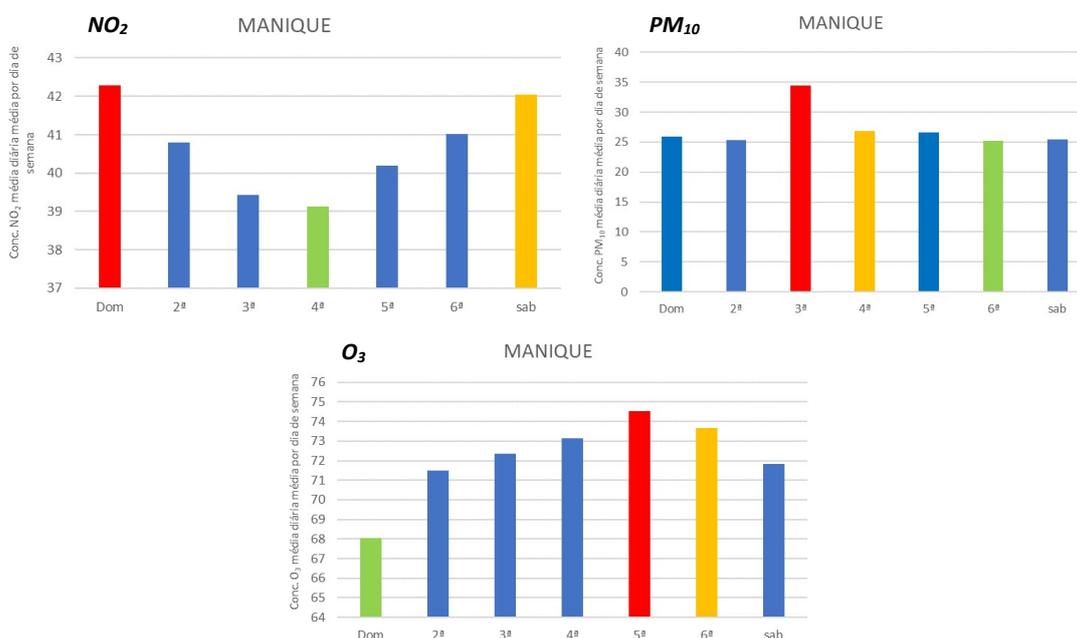


Figura 33: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO₂, PM₁₀ e O₃ localizados em Manique

Alcabideche

Os resultados dos sensores colocados em Alcabideche voltam a dar conta de uma zona com maior atividade de tráfego durante o período laboral (uma vez mais as PM₁₀ variam pouco e não serão o melhor elemento de aferição da atividade de tráfego conquanto resultam de muitos outros processos, inclusivamente fontes naturais como se explicitou já anteriormente).

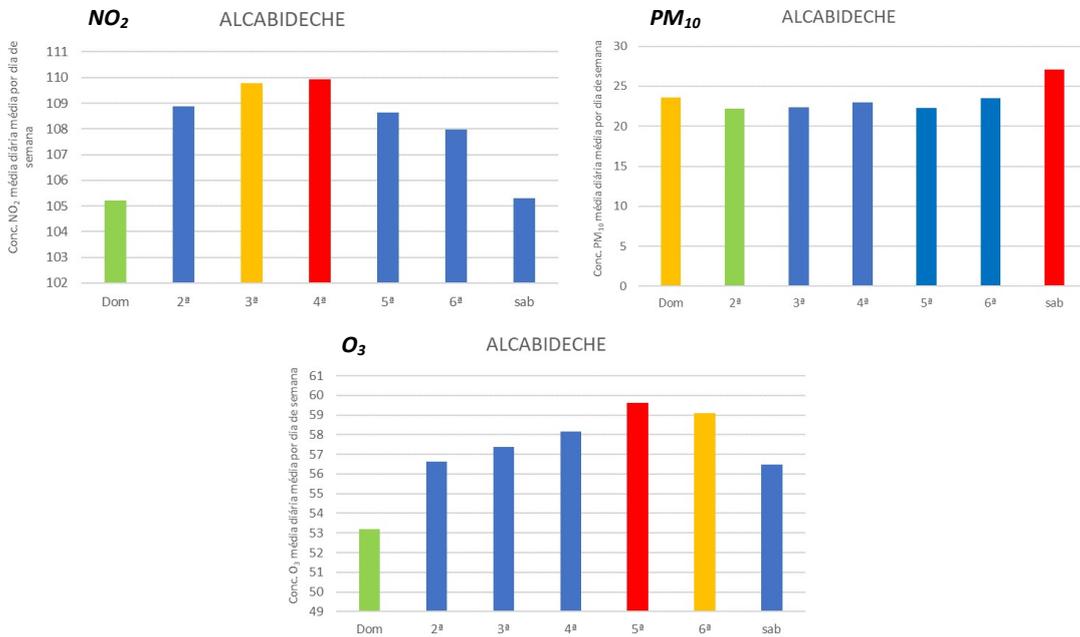


Figura 34: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO₂, PM₁₀ e O₃ colocados em Alcabideche

Rebelva São Domingos de Rana

Também a Rebelva segue o comportamento de maior impacte, pior qualidade do ar, durante os dias de semana, como se pode ver na Figura 35.

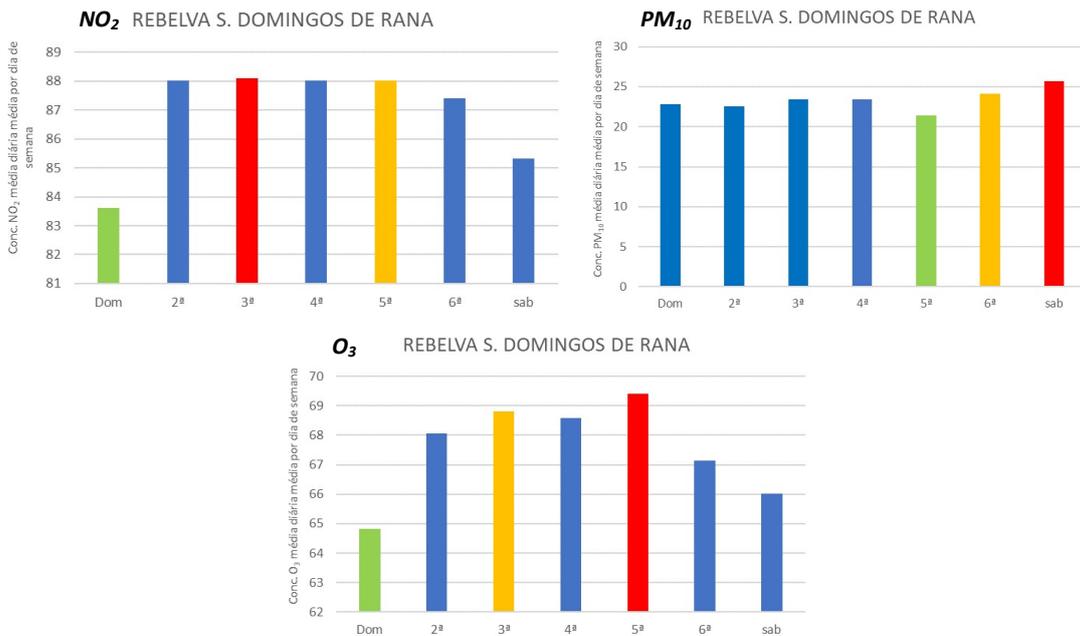


Figura 35: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO₂, PM₁₀ e O₃ situados na Rebelva S. Domingos de Rana

Escola da Cidadela

Os sensores colocados na Escola da Cidadela, como localização de referência que é devido a ter a EMQA de Cascais colocada neste local, permitem obter mais informação. Estes resultados possibilitam, uma vez mais, um nível de confirmação com o método de referência, onde se destaca a enorme sobrestimação dos sensores de NO₂ ou a muito significativa subestimação destes dos níveis de O₃. De resto, a localização indicia níveis de utilização muito semelhantes ao longo da semana, traduzidos por pequeníssimas variações entre dias de semana para PM₁₀ e O₃. Apenas o NO₂ varia um pouco, sendo que a variação entre dias de semana destaca que este sensor não acompanha de forma satisfatória o método de referência, dado que o domingo aparece nas médias diárias de 2021 na EMQA da Escola da Cidadela como a média mais baixa, o que não corresponde ao que acontece com os sensores sendo que a variação típica nos sensores de 6^a feira para sábado indica maiores concentrações ao sábado, o que não acontece no método de referência onde a concentração decresce ligeiramente da 6^a para o sábado “médios”.

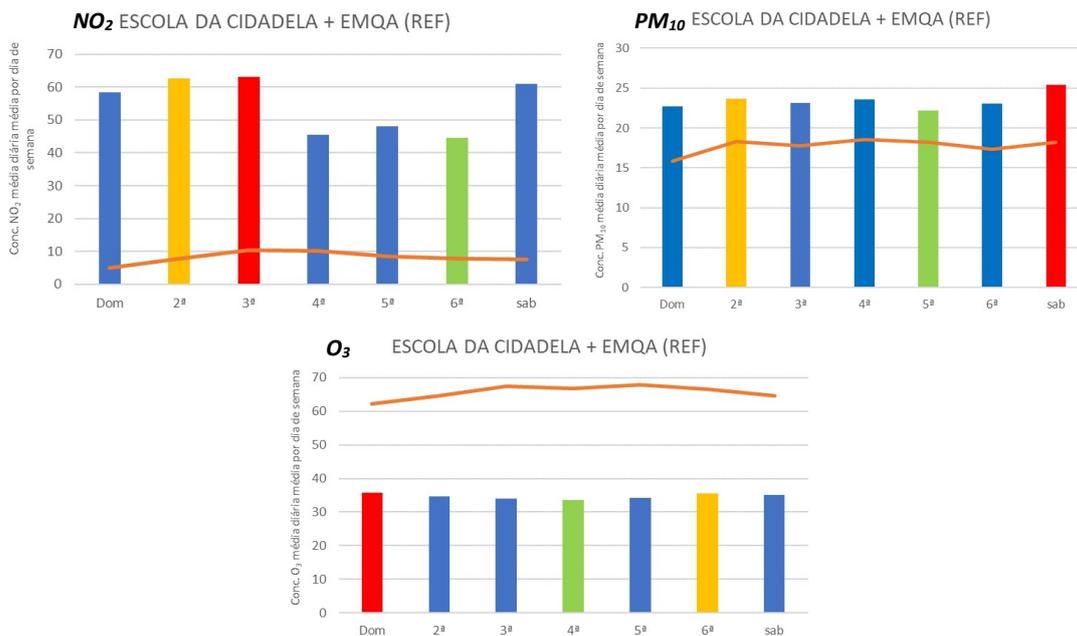


Figura 36: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO₂, PM₁₀ e O₃ localizados na Escola da Cidadela e comparação com os perfis obtidos para a EMQA da Escola da Cidadela

Centro de Cascais

No que diz respeito aos sensores colocados no “Centro de Cascais” apresentam os resultados típicos de uma área de atividade mais intensa durante o período laboral, com máximos em particular para o NO₂ durante a semana. Todavia esta leitura não é clara neste local, dada a reduzida diferença entre resultados obtida de dia para dia

em média (a maior diferença é inferior a $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o que é manifestamente uma diferença muito pequena). Estes valores que variam pouco serão questões a avaliar com maior detalhe em avaliações similares de períodos subsequentes, em particular esperando-se que sejam anos sem o problema adicional da representatividade (2021 ainda foi impactado pela pandemia de covid-19, embora em menor medida quando comparado com 2020).

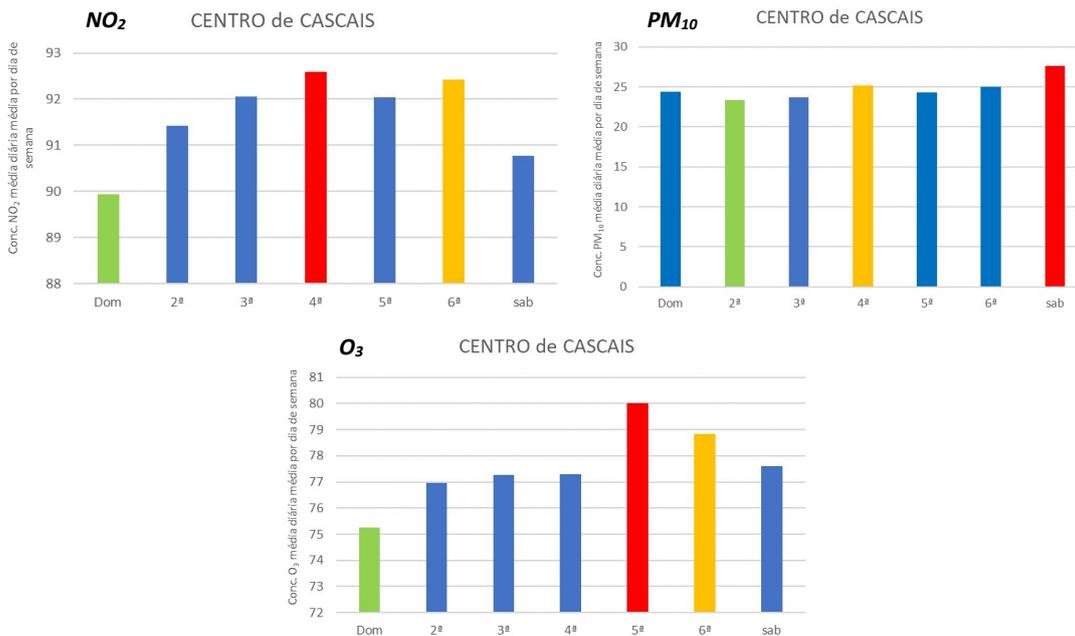


Figura 37: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO₂, PM₁₀ e O₃ situados no Centro de Cascais

Estoril

Os resultados obtidos para a localização dos sensores no Estoril traduzem-se maior atividade local durante a semana, conquanto praticamente todas as concentrações poluentes são menores durante os dias de fim-de-semana, apesar de à semelhança da maioria dos restantes locais as diferenças entre os dias da semana médios serem pouco pronunciadas (Figura 38).

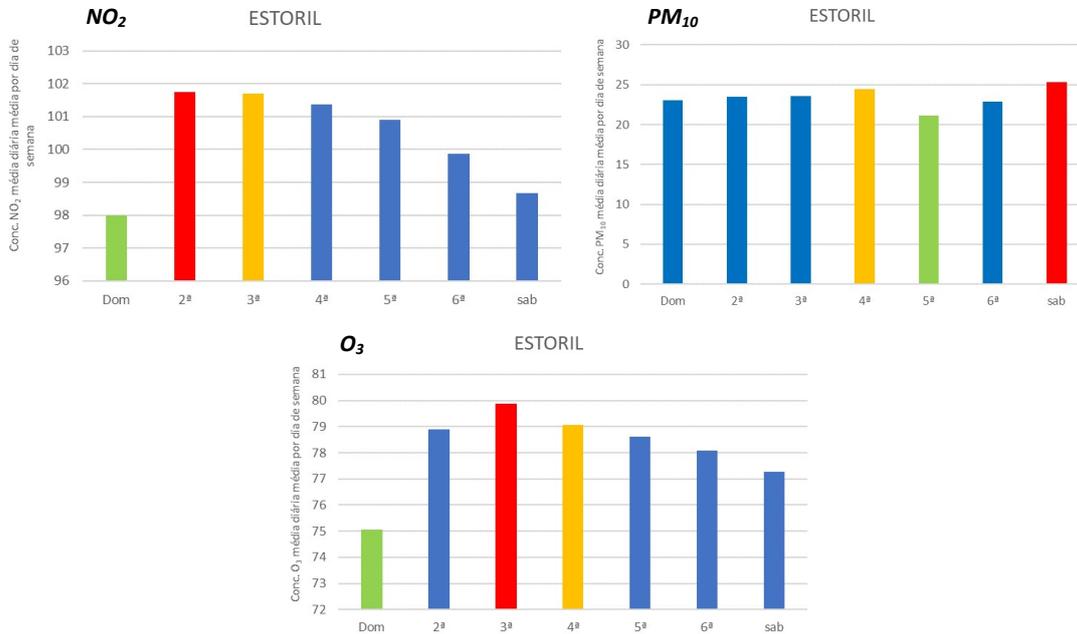


Figura 38: Perfis de concentração médias diárias médias em 2021, por dia de semana, para os sensores de NO₂, PM₁₀ e O₃ localizados no Estoril

MAPEAMENTO DAS CONCENTRAÇÕES REGISTRADAS NO CONCELHO

Um dos aspetos mais relevantes deste projeto que recorre aos sensores de monitorização da qualidade do ar é a quantidade de resultados que gera. Contudo, de forma paradoxal, esta quantidade de resultados recomenda o tratamento destes não só do ponto de vista de dimensão temporal (como se fez anteriormente, em particular apresentando os perfis de concentração ao longo do tempo e ao longo de ciclos típicos, dias da semana ou meses, p.ex.) mas também do ponto de vista espacial. É essa avaliação que se pretende efetuar neste capítulo, apresentando a distribuição espacial sob a forma de um mapa de concentrações para 2021 para todo o concelho.

Deve referir-se que o modelo de interpolação selecionado foi aquele que mais se ajustou ao perfil dos resultados, isto é aquele que minimiza os erros de estimação, o qual foi para os 3 mapas dos 3 poluentes atmosféricos objeto desta avaliação o IDW (Inverse Distance Weighted, o Inverso da Distância Ponderada). O IDW é um método de interpolação espacial que faz a assunção explícita que as concentrações mais próximas de determinado ponto com concentração conhecida são mais próximas do que aquelas mais afastadas (pois a sua ponderação para a formulação da estimativa é maior). O *software* utilizado para estas estimativas foi o ArcGIS Pro 2.9.4 da ESRI.

Dióxido de azoto (NO₂)

A Figura 39 apresenta o mapa de concentrações de NO₂ obtido para o concelho de Cascais no decorrer do ano de 2021.

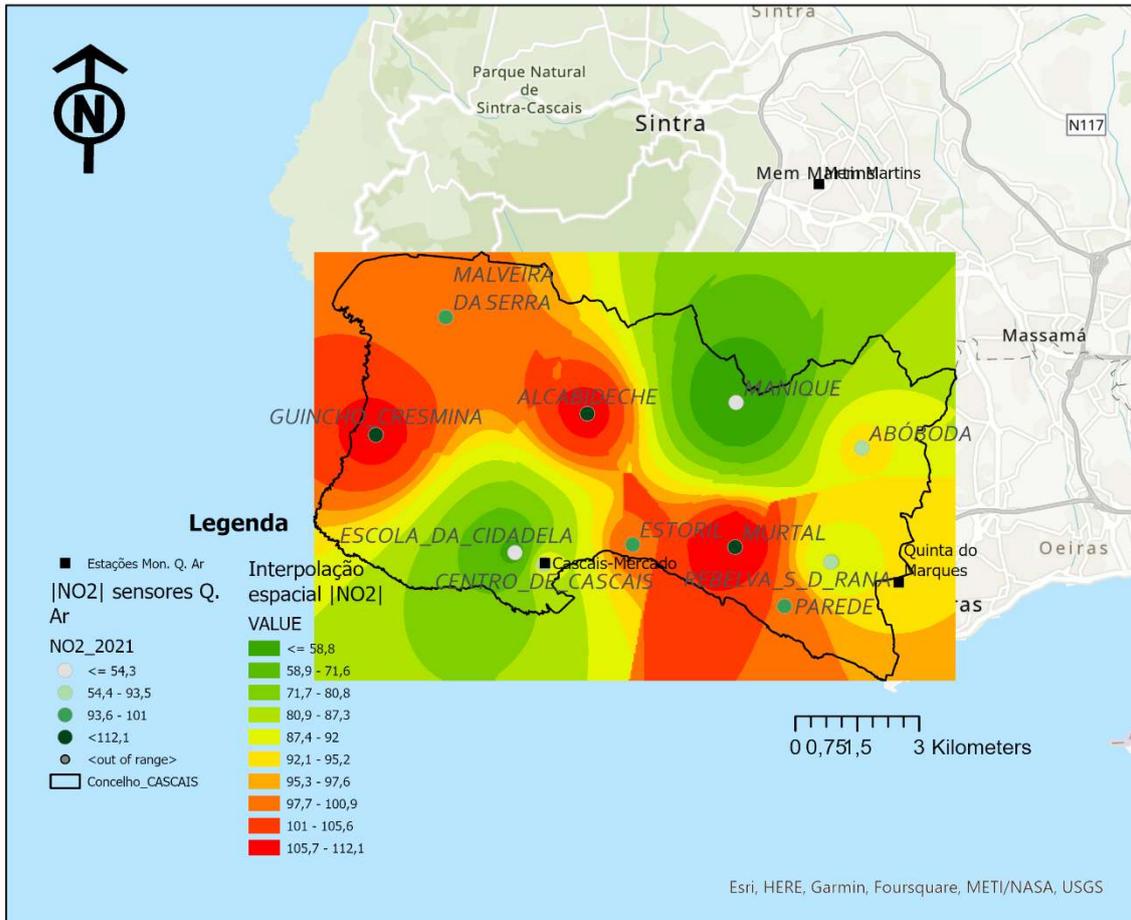


Figura 39: Mapeamento das concentrações médias registadas pelos sensores de NO₂ em 2021 no concelho de Cascais

De acordo com o modelo de interpolação selecionado as concentrações de dióxido de azoto são máximas na zona oeste e sudeste do concelho, apresentando valores mais reduzidos na área norte e nordeste da área concelhia. Este resultado parece ser influenciado pelo desenho e níveis de tráfego associados à A16 e A5, conquanto os valores mais elevados (com exceção da localização "Guincho Cresmina") parecem ter alguma relação com estas rodovias estruturantes.

A avaliação mais absoluta dos valores é complexa de associar a esta distribuição, dado que os sensores de NO₂ tiveram um mau desempenho quando comparado com os níveis registados na EMQA da Escola da Cidadela. Neste local as concentrações que traduzem o fundo urbano concelhio em ambientes similares apresentou uma média anual baixa (na ordem dos 10 µg/m³ quando o valor-limite para este período é de 50 µg/m³), o que indica boa qualidade do ar ambiente para este poluente.

Partículas inaláveis em suspensão (PM₁₀)

O mapa obtido para PM₁₀ é apresentado na figura seguinte.

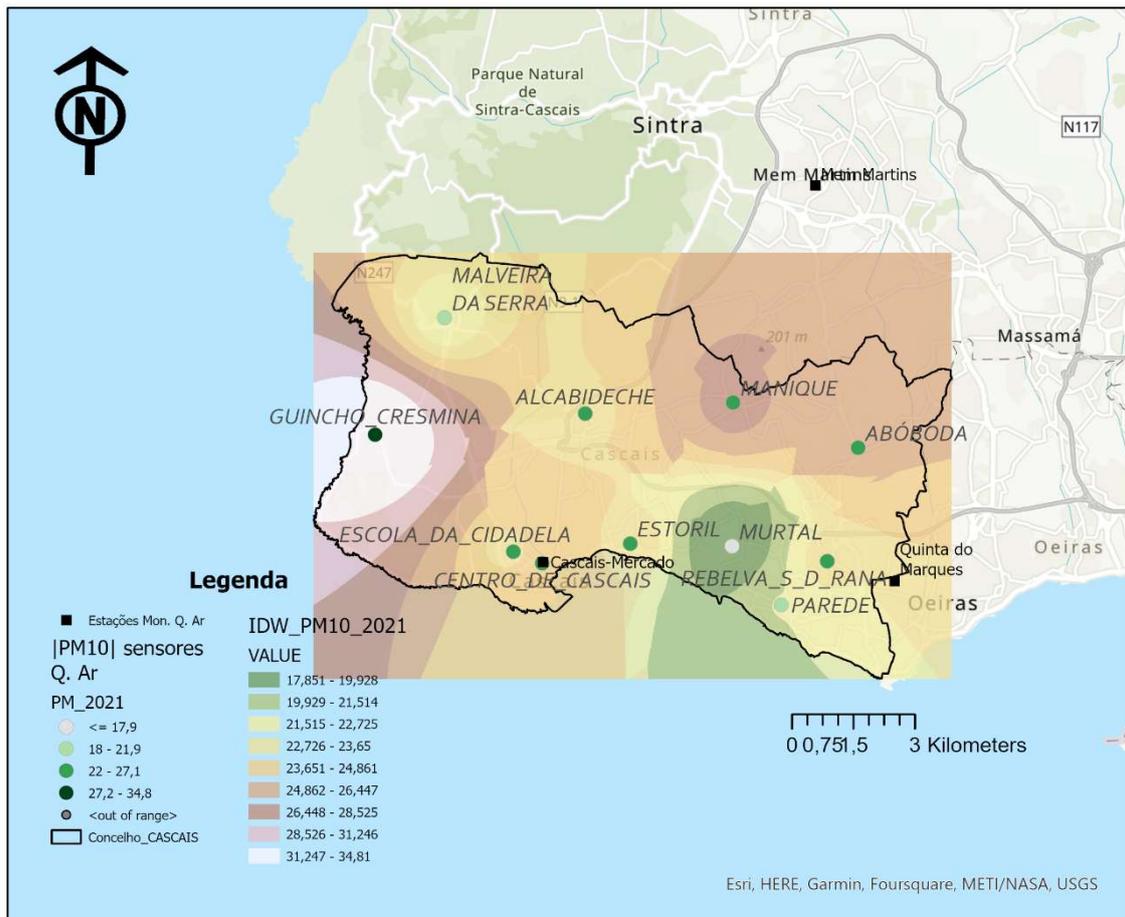


Figura 40: Mapeamento das concentrações médias registadas pelos sensores de PM₁₀ em 2021 no concelho de Cascais

O modelo de interpolação apresenta as maiores concentrações de partículas inaláveis (PM₁₀) para a zona do Guincho Cresmina, na zona oeste do concelho. Este resultado pode estar relacionado quer com a intensidade do vento junto ao local amostrado quer com níveis relativamente elevados de sais marinhos em suspensão, particularmente importantes nesta faixa devido aos regimes típicos de vento de nordeste que pontuam a costa oeste do continente Português. De resto, os níveis não deverão ser entendidos de forma alguma como preocupantes, longe disso, dado que a EMQA da Escola da Cidadela que aparece neste mapa como tendo concentrações ligeiramente acima da média apresentou uma média de concentração de PM₁₀ em 2021 de 18 µg/m³ de média anual, sendo que o valor limite para esse período é de 40 µg/m³ (muito acima do valor médio registado).

Ozono (O₃)

O mapa de distribuição das concentrações de ozono é apresentado na figura seguinte.

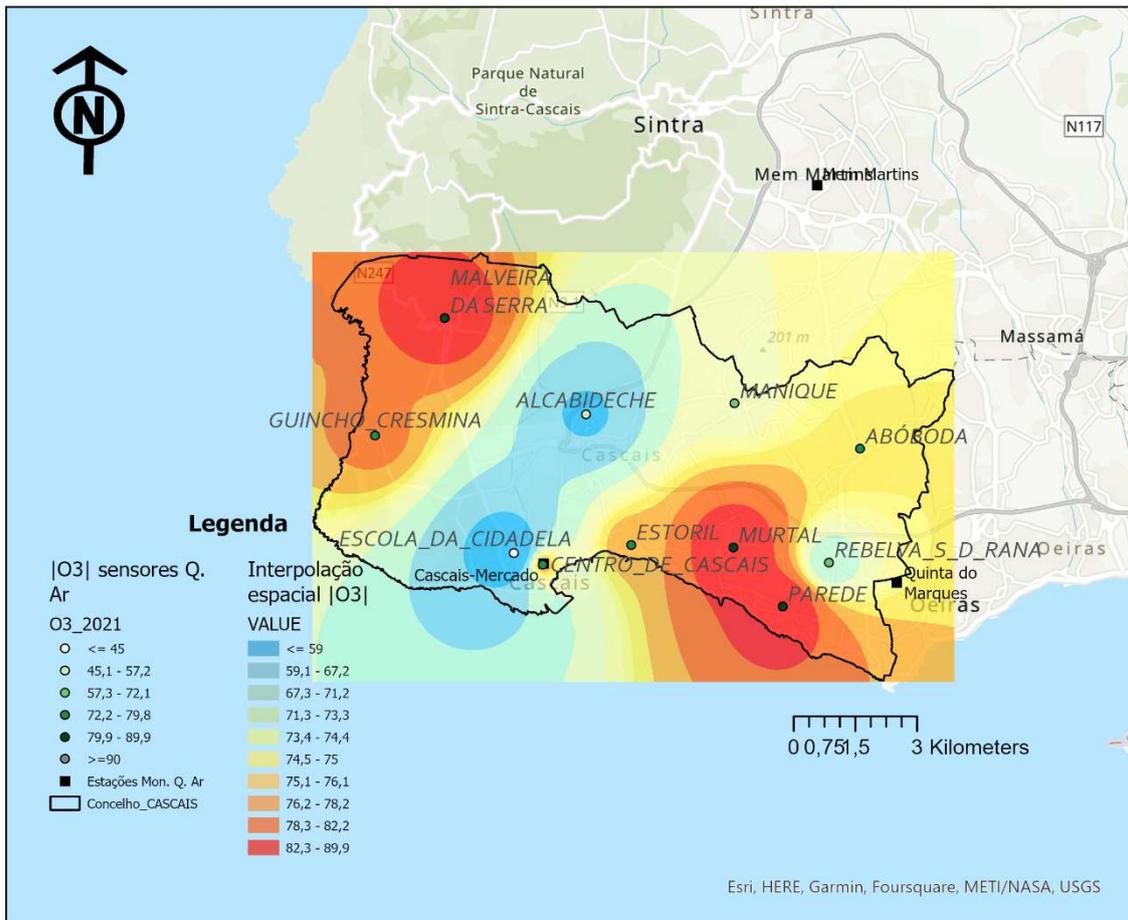


Figura 41: Mapeamento das concentrações médias registadas pelos sensores de O₃ em 2021 no concelho de Cascais

A distribuição das concentrações de ozono está de acordo com o expectável, conquanto o ozono tende a ser, aproximadamente, o inverso do que se obtém para o dióxido de azoto (NO₂). Se se observar a Figura 39, pág. 47, relativa à distribuição das concentrações de NO₂ para este período ver-se-á que as concentrações mais elevadas estão no centro do concelho. Neste caso, essas são as zonas de menores concentrações, estando os máximos de ozono na área sudeste e noroeste do concelho de Cascais. São valores que importa confirmar em períodos futuros de monitorização pois a zona da Parede apresentou níveis que aparentam ser muito elevados para um local com concentrações igualmente elevadas de NO₂. O mesmo já não acontece com a Malveira da Serra, onde se registaram os máximos de ozono (excluindo o caso de explicação pouco perceptível da Parede). Esta zona é propícia a valores mais elevados de ozono pois é uma área pautada pelo Parque Natural Sintra-Cascais (e o ozono como poluente secundário, resultante da ação da radiação solar sobre poluentes primários como o NO₂, tende a ter máximos em zonas com menor atividade humana).

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Não é corrente estar perante o prazer de avaliar novos métodos de medição da qualidade do ar. Por várias razões, entre as quais o facto de novas formas de medição só estarem raras vezes disponíveis comercialmente; algum receio em adotar esses novos métodos porque o pioneirismo compreende sempre algum nível de risco (em particular em relação à credibilidade dos resultados) e, finalmente, porque a aversão ao teste é muitas vezes característica das instituições, independentemente da sua natureza, no nosso país. Nada disso ocorreu neste caso e a Câmara Municipal de Cascais avançou, pioneira, para a monitorização da qualidade do ar ambiente concelhia através de sensores.

Este relatório traduz a primeira avaliação técnica e crítica em torno dos resultados obtidos, tendo conduzido a naturais aspetos a melhorar (seria estranho se assim não fosse, com este ou com outro qualquer método). Do trabalho destes 2 anos destacam-se melhorias necessárias como:

1. A correção de discontinuidades nas séries temporais que a plataforma de exportação dos resultados cria, em particular originando saltos nos períodos de tempo definidos (com pedidos p.ex. para exportações horárias a serem exportadas com falhas de dados em linhas consecutivas sem que a isso corresponda a série completa – isto é todas as horas linha a linha – sem dados nos casos em que eles não foram obtidos). Este é um problema que a QART está já a procurar corrigir com programação adicional, por forma a gerar exportações de séries de dados “completas” (no caso contendo registos invalidados ou vazios nas horas e dias em que a medição não foi registada).
2. A importância da validação prévia dos dados. Como se pode ilustrar com um ou outro exemplo neste relatório (p.ex. a descrição dos valores anormalmente elevados mas reais gerados por um evento natural que faz com que partículas do norte de África entrem na Península Ibérica – ver pág. 28), é fundamental ter sempre uma análise pericial aos níveis registados, por forma a poder interpretar a série e determinar o que são *outliers*/medições erróneas e o que são valores reais e que, por isso mesmo, devem ficar na série de resultados final. Esta é uma questão que este grupo de trabalho dá atualmente suporte mas que terá de ser ponderada para momentos em que este acompanhamento possa vir a não existir. E talvez fosse possível integrar na programação da plataforma uma forma de invalidação dos dados por um ou outro operador da CMC, explicando este a razão da invalidação “semi-manual” desses dados (de referir que os dados podem sempre ficar no registo mas não visíveis nem disponíveis quando na exportação se solicitar “dados validados” numa *flag/campo* a criar).
3. A eliminação de problemas pontuais, como no caso da localização “Murtal”, na qual existia uma interrupção sistemática da recolha de dados, devido ao facto do quadro elétrico ao qual estava ligado o sistema ser desligado pelos funcionários locais no final do seu período de expediente. Este problema foi (bem) resolvido pela QART com a instalação de um painel fotovoltaico, tornando assim independente energeticamente este conjunto de sensores

instalado nesta localização. O resultado foi que a recolha de dados passou a ser feita com elevada eficiência de recolha (o que, pelo que foi visto e depois de estabilizado o ponto de medição, é característica muito positiva deste método de medição). Este ponto deverá ser resolvido com a compilação de mais resultados, em particular porque o período de análise que agora cessou foi pautado pela pouca representatividade do nosso comportamento social consequência da pandemia de covid-19 (a qual se espera possa vir a melhorar agora).

4. Alguns dos sensores, em particular os de partículas inaláveis (PM_{10}), deram boa resposta quando comparados com o método de referência (como pode ser revisto no capítulo "**GARANTIA E QUALIDADE DOS DADOS OBTIDOS (QA/QC)**", pág. 23 e subsequentes). No entanto, outros e aqui assume especial relevância o NO_2 deram maus resultados, indicando não só um afastamento muito grande em termos de valores absolutos (o método sobrestima bastante as concentrações deste poluente – ver Figura 26, pág. 36, a qual é elucidativa quanto a este ponto) como uma variância, isto é uma capacidade de variar da mesma forma ao longo do tempo, comparativamente com o método de referência bastante afastada do método de referência (ver Figura 12, pág. 24). Esta análise implica que os sensores não podem ser usados para análise de conformidade legal, pois não permitem dizer com fiabilidade se determinada zona cumpre ou não os valores limite ou outros estipulados na legislação.
5. A leitura do ponto anterior não deve conduzir à perceção que os sensores são inúteis. Pelo contrário, conquanto estes permitem ter uma fundamental imagem de todas as concentrações que se registam no concelho. Sem um método deste tipo não é possível construir os mapas de concentração que se apresentam da Figura 39, pág. 47, até à Figura 41, pág. 49. Estes mapas serão, de resto, tanto melhores quanto mais representativas forem as localizações escolhidas para a monitorização (e aqui representatividade implica que não sejam diretamente afetados por fontes de poluição locais, sejam pequenas unidades industriais ou comércio que tenham combustão local, sejam vias de tráfego mais intenso), pois traduzirão como varia a poluição atmosférica para os poluentes monitorizados no concelho. Neste trabalho foi possível observar que as concentrações de dióxido de azoto são máximas na zona oeste e sudeste do concelho (Figura 39, pág. 47), apresentando valores mais reduzidos na área norte e nordeste da área concelhia. Este resultado parece ser influenciado pelo desenho e níveis de tráfego associados à A16 e A5, conquanto os valores mais elevados (com exceção da localização "Guincho Cresmina") parecem ter alguma relação com estas rodovias estruturantes. As concentrações de ozono são de alguma forma a fotografia inversa desta com mínimos nestas áreas e máximos no eixo central (Figura 41, pág. 49). Finalmente, para as partículas inaláveis em suspensão atmosférica, os máximos situam-se na zona oeste do concelho. Este resultado pode estar relacionado quer com a intensidade do vento junto ao local amostrado quer com níveis relativamente elevados de sais marinhos em suspensão, particularmente importantes nesta faixa devido aos regimes típicos de vento de nordeste que pontuam a costa oeste do continente Português.

Todos estes aspetos devem constar do trabalho subsequente em relação a esta matéria, sendo que genericamente a qualidade do ar no concelho é boa. Interessará agora detalhar as situações pontuais em que se assiste a uma degradação dos níveis

.....

de poluição baixos mais frequentes, o que permitirá construir as ferramentas de gestão do território concelhio que mais se adequem à redução desses episódios de poluição, fazendo do município de Cascais um território ainda melhor.