

IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE EVENTOS NATURAIS EM PORTUGAL EM 2021

Relatório Anual

Julho 2022



Título	IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE EVENTOS NATURAIS EM PORTUGAL EM 2021 Relatório Anual
Data	Julho 2022
APA	<p>Agência Portuguesa do Ambiente (APA)</p> 
FCT NOVA	<p>NOVA School of Science and Technology (Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa – FCT NOVA)</p> 
Equipa técnica	<p>Francisco Ferreira (FCT NOVA – Coordenação)</p> <p>Joana Monjardino (FCT NOVA – Equipa técnica)</p> <p>Luísa Mendes (FCT NOVA – Equipa técnica)</p>

Índice

1	Introdução	5
2	Enquadramento	6
2.1	<i>Tipologia de eventos naturais</i>	6
2.1.1	Aspetos gerais	6
2.1.2	Eventos naturais na Península Ibérica.....	8
2.2	<i>Enquadramento legislativo</i>	11
2.3	<i>Eventos naturais no contexto Ibérico: desenvolvimento de uma metodologia conjunta</i>	12
3	Metodologia	14
3.1	<i>Aspetos gerais</i>	14
3.2	<i>Domínio espacial</i>	14
3.3	<i>Identificação de eventos naturais</i>	17
3.4	<i>Quantificação da influência de eventos naturais nas concentrações de partículas em suspensão</i>	19
3.5	<i>Eficiência das estações de monitorização da qualidade do ar</i>	22
4	Identificação dos dias de evento natural em 2021	23
5	Aplicação da metodologia de desconto das contribuições de origem natural às concentrações de PM₁₀ em 2021	37
5.1	<i>Eficiência das estações de monitorização da qualidade do ar em 2021</i>	37
5.2	<i>Influência dos eventos naturais nas concentrações de PM₁₀ em 2021</i>	39
6	Conclusões	43
7	Referências bibliográficas	45

Índice de Figuras

Figura 1. Localização da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).....	7
Figura 2. Representação da localização geográfica dos desertos do Norte de África Sahara e Sahel	8
Figura 3. Exemplos de padrões de circulação atmosférica de acordo com centros de baixas pressões (esquerda) e de altas pressões (direita) (Adaptado de: <i>NASA Earth Observatory</i>)	9
Figura 4. Secções de identificação da intrusão de ar na Península Ibérica e Arquipélagos	13
Figura 5. Regiões e estações rurais de fundo representativas utilizadas para a quantificação da contribuição de eventos naturais em Portugal em 2021	15
Figura 6. Fontes de informação utilizadas na identificação da ocorrência de eventos naturais em Portugal (exemplo para dia 20/06/2017): a) BSC-DREAM8b e SKIRON, b) HYSPLIT, c) NAAPS Dust e Smoke, d) Imagens de satélite NASA FIRMS com identificação dos incêndios ativos, e) Concentrações de PM ₁₀	18
Figura 7. Distribuição do número de dias de evento natural por ano	23
Figura 8. Distribuição do número de dias de evento natural por região em 2021	25
Figura 9. Distribuição do número de episódios de evento natural, em 2021, de acordo com a sua duração	26
Figura 10. Duração de cada episódio de evento natural ocorrido em 2021	26
Figura 11. Distribuição do número de dias de evento natural por mês e ano	27
Figura 12. Distribuição do número de dias de evento natural, por região e mês, em 2021	27
Figura 13. Mapas NAAPS de concentração de poeiras com origem nos desertos (esquerda) e pluma de cinzas (direita) de 15 a 17 de outubro de 2021 (Fonte: NAAPS Global Aerosol Model)	32
Figura 14. Mapas NAAPS de concentração de poeiras com origem nos desertos (esquerda) e pluma de cinzas (direita) de 18 a 20 de outubro de 2021 (Fonte: NAAPS Global Aerosol Model)	33
Figura 15. Mapas NAAPS de concentração de poeiras com origem nos desertos (esquerda) e pluma de cinzas (direita) de 21 a 22 de novembro de 2021 (Fonte: NAAPS Global Aerosol Model)	34
Figura 16. Mapas NAAPS de concentração de poeiras com origem nos desertos (esquerda) e pluma de cinzas (direita) em 17 e 18 de dezembro de 2021 (Fonte: NAAPS Global Aerosol Model)	35
Figura 17. Concentrações de PM ₁₀ e de SO ₂ registadas nas estações de monitorização de qualidade do ar da Ilha da Madeira e ocorrência de eventos naturais (transporte de poeiras com origem em regiões áridas do Norte de África e no vulcão da Ilha de La Palma), de outubro a dezembro de 2021.....	36
Figura 18. Previsão CAMS da coluna total de SO ₂ para 19/10/2021 às 12 UTC (Fonte: CAMS/ECMWF)	36
Figura 19. Média anual de PM ₁₀ , por estação, antes e após a dedução da fração devida a evento natural, em 2021	41
Figura 20. Número de dias em excedência ao valor limite diário de PM ₁₀ , por estação, antes e após a dedução da fração devida a evento natural, em 2021	41
Figura 21. Contribuição da fração natural para a média anual de PM ₁₀ e número de dias de EN identificados, por região, em 2021	41

Índice de Tabelas

Tabela 1. Tipologias de eventos naturais (tipo, período de ocorrência, origem e condições meteorológicas)....	10
Tabela 2. Objetivos ambientais estabelecidos para a proteção da saúde humana para PM ₁₀ definidos no Decreto-Lei n.º 102/2010.....	11
Tabela 3. Identificação da ocorrência de episódios de intrusão de poeiras provenientes do Norte de África, no ano de 2021, por região e data de ocorrência	24
Tabela 4. Eventos meteorológicos relevantes em 2021 e ocorrência de eventos naturais.....	28
Tabela 5. Incêndios rurais com maior área ardida em 2021 e ocorrência de eventos naturais	30
Tabela 6. Eficiência anual das medições de partículas PM ₁₀ nas estações de monitorização da qualidade do ar em 2021 (%)	38
Tabela 7. Aplicação da metodologia de dedução da contribuição devida a eventos naturais em 2021 (resultados antes e após aplicação da metodologia de desconto, expressos nos indicadores: concentração média anual, número de ultrapassagens ao valor limite diário de PM ₁₀ e 36º máximo diário)	39

1 Introdução

O presente documento consiste no relatório anual relativo à identificação e avaliação de eventos naturais (EN) ocorridos em Portugal, no ano de 2021. É composto pelo documento relativo ao Relatório propriamente dito e pelo Anexo com informação detalhada para cada episódio de evento natural identificado.

O transporte a longa distância de poeiras com origem em regiões áridas, tais como os desertos do Norte de África, pode ter um forte impacto na visibilidade atmosférica e na composição dos aerossóis, bem como, nos níveis de partículas em suspensão (CUE, 2011). As poeiras do deserto do Sahara podem contribuir em mais de 60% para a concentração total de partículas, nos países mediterrânicos, durante um forte evento natural de poluição. O acréscimo nas concentrações de partículas, devido à ocorrência destes fenómenos, pode conduzir a excedências ao valor limite diário legislado de PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

A avaliação da contribuição de poluentes provenientes de fontes naturais, nos níveis de qualidade do ar, está prevista pelo enquadramento legal nacional e comunitário, no Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro e na Diretiva 2008/50/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Maio ambos relativos à avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente. A nível nacional, as contribuições naturais com maior expressão, e por isso as consideradas no presente estudo, são os eventos naturais de intrusão de massa de ar com partículas em suspensão, com origem nos desertos do Norte de África. A avaliação da ocorrência destes fenómenos naturais é efetuada através da aplicação de uma metodologia Ibérica conjunta utilizada, desde 2006, por Portugal e Espanha.

2 Enquadramento

2.1 Tipologia de eventos naturais

2.1.1 Aspetos gerais

Designam-se por eventos naturais as contribuições provenientes de emissões de poluentes que não são causadas direta nem indiretamente por atividades humanas, onde se incluem a ressuspensão ou transporte atmosférico de partículas naturais provenientes de regiões áridas.

O transporte a longa distância de material crustal ocorre quando se geram processos massivos de ressuspensão em zonas áridas, tais como, as presentes no Norte de África, Médio Oriente e Ásia Central. Outras zonas desérticas, como Atacama, ou os desertos da Austrália não geram este tipo de transporte a longa distância.

De acordo com Querol *et al* (2013) as áreas exportadoras de partículas crustais têm como característica comum consistir em bacias, nas quais se acumula uma grande quantidade de material particulado crustal de granulometria fina, devido à erosão de zonas áridas. Durante a época seca este material fino fica exposto a possíveis processos de ressuspensão. No Norte de África existe uma infinidade de bacias com estas características onde o material fino se deposita.

O Norte de África considera-se um exemplo típico de área desértica quente onde a precipitação é escassa, a humidade relativa é reduzida (cerca de 10%) e as temperaturas são muito elevadas, o que favorece a ressuspensão massiva de grandes quantidades de material particulado. O transporte de poeiras a partir do Norte de África representa 50% do material particulado transportado a partir de regiões áridas no mundo.

A injeção de ar carregado de partículas, nas camadas altas da troposfera, produz-se com especial intensidade na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)¹ (situada em redor do equador térmico) devido aos processos de convexão associados a essa zona. A posição da ZCIT varia em latitude durante o ano (Figura 1), provocando diferenças na intensidade de emissão a partir das distintas zonas de deserto africano, segundo a estação do ano.

¹ A ZCIT é a área que circunda a Terra, próxima ao equador, onde os ventos originários dos hemisférios norte e sul se encontram.

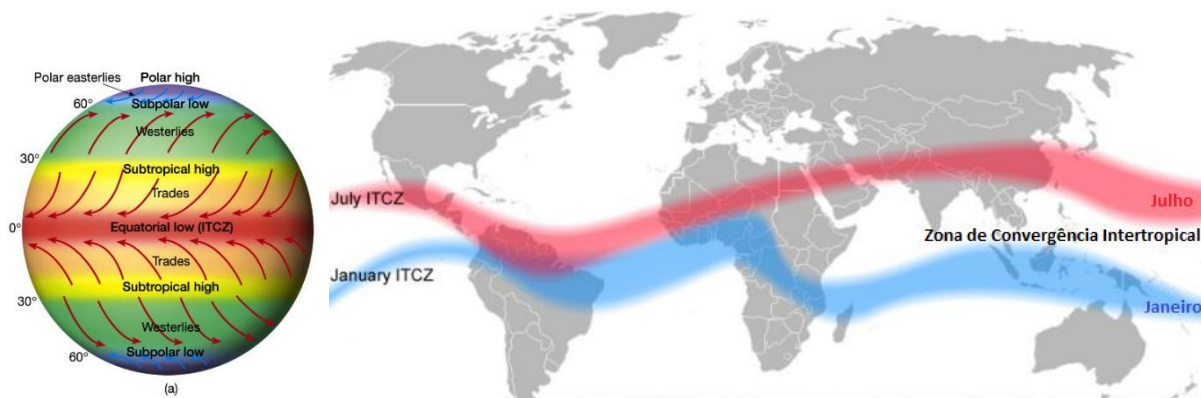


Figura 1. Localização da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

Uma vez produzida a injeção vertical de matéria particulada na troposfera livre, o transporte horizontal é controlado por situações sinóticas bem definidas. Assim, de forma a descrever os mecanismos e a frequência dos eventos naturais durante as várias épocas do ano, há que ter em conta a posição da ZCIT e as características da superfície.

O transporte de poeiras é efetuado sobre os oceanos e continentes na troposfera livre (acima da camada limite) em altitudes até 8 km, podendo também existir nos níveis baixos da troposfera. O transporte de partículas crustais é assim favorecido:

- quer pelo aumento da velocidade do vento no perfil ascendente da troposfera, permitindo o transporte até zonas muito distantes;
- quer pelo maior tempo de residência nesta zona da troposfera, devido à menor incidência dos processos de *washout* das massas de ar.

A granulometria das partículas transportadas por estes processos varia muito em função do local de origem (que, no caso do Norte de África, se trata dos desertos do Sahara e Sahel, representados na Figura 2) e da localização da área recetora (Querol *et al*, 2013):

- em episódios de transporte de partículas até ao continente americano a granulometria dominante é mais fina (de 0,1 μm a 1,0 μm);
- em episódios africanos registados no Mediterrâneo (no verão), ou nas Canárias (no inverno) a granulometria dominante é mais grosseira (de 1 μm a 25 μm);
- em ambos os casos, regista-se a influência destes episódios naturais nas concentrações de PM_{10} e de $\text{PM}_{2,5}$ registadas à superfície.



Figura 2. Representação da localização geográfica dos desertos do Norte de África Sahara e Sahel

2.1.2 Eventos naturais na Península Ibérica

O transporte de massas de ar com elevadas concentrações de partículas crustais produz-se de forma quase permanente até ao continente americano, devido à ação dos ventos alíseos. Este transporte, paralelo ao equador, tem um alcance de milhares de quilómetros. Assim, registam-se intrusões de poeiras africanas nas ilhas do Oceano Atlântico, Caraíbas, Sudeste dos Estados Unidos e América do Sul. Em determinadas condições sinóticas estas massas de ar são transportadas até à Península Ibérica. De acordo com Querol *et al* (2013) estes episódios ocorrem quando as condições meteorológicas à escala sinótica são determinadas por:

- sistemas de baixas pressões a Oeste ou Sudoeste da Península Ibérica ou a Norte do continente africano (Figura 3):
 - os eventos causados pelas baixas pressões sobre o Atlântico e o Norte de África, com significativos níveis de poeiras africanas, registam-se com maior frequência entre janeiro e junho;
 - de julho a outubro surgem com menor frequência, bem como, em novembro e dezembro (nestes dois meses a superfície dos desertos do Norte de África encontra-se mais fria, inibido a capacidade de ressuspensão);
- sistemas de anticiclone localizados sobre o Norte de África, sobre a Península Ibérica (Figura 3) (a níveis superficiais ou elevados - acima dos 850 hPa - da atmosfera), ou sobre a zona Mediterrânica (a níveis superficiais da atmosfera):
 - esta situação conduz à formação de uma massa de ar contendo poeiras, bem definida e com forma convexa, que circula sobre o Oceano Atlântico e alcança a Península Ibérica pela zona Oeste;
 - estes episódios têm um elevado impacto nos níveis de PM₁₀ na Península Ibérica, em parte devido ao carácter seco dos mesmos;
 - a época do ano em que se produzem estes eventos circunscreve-se quase exclusivamente a janeiro-março. Nessa altura a ressuspensão de poeiras é mais intensa sobre o Sahel, ainda assim, poeiras de outras zonas mais a Norte (tais como o Sahara Ocidental, Mauritânia e Argélia Ocidental) podem ser transportadas até à Península Ibérica.
- outro tipo de cenário de transporte causado por atividade anticiclónica produz-se no verão:
 - nestes casos o anticiclone do Norte de África está localizado a elevada altitude (acima dos 850 hPa) e é aí que ocorre a maior parte do transporte;

- à superfície, devido ao forte aquecimento do Sahara no verão, desenvolve-se a depressão térmica sobre o Norte de África, fazendo deslocar o anticiclone do Norte África para níveis mais elevados;
- estes eventos têm sido documentados com maior frequência durante o mês de julho e agosto e constituem o cenário mais comum de transporte de poeiras africanas sobre a Península Ibérica;
- uma característica particular destes eventos é a maior extensão que apresentam as massas de ar que atingem a Península Ibérica. Em alguns, estes episódios caracterizam-se por afetar a totalidade da Península Ibérica.



Figura 3. Exemplos de padrões de circulação atmosférica de acordo com centros de baixas pressões (esquerda) e de altas pressões (direita) (Adaptado de: NASA Earth Observatory)

Os vários tipos de transporte de partículas dos desertos africanos encontram-se resumidos na Tabela 1.

Tabela 1. Tipologias de eventos naturais (tipo, período de ocorrência, origem e condições meteorológicas)

Tipo de Evento	Período	Origem e Condições meteorológicas predominantes
Baixa probabilidade de ocorrência (apenas em regiões do Sul)	Novembro - Janeiro	<ul style="list-style-type: none">• Intrusão de partículas inibida• Eventos de partículas ocorrem somente nas áreas do Sul (Península Ibérica)
Eventos secos	Fevereiro – Março	<ul style="list-style-type: none">• Origem de material particulado do Sahel• Extensas nuvens de partículas descrevem um arco Atlântico• Situação de anticiclone (no Mediterrâneo e Norte de África)
Chuvas vermelhas & Eventos secos	Abril - Junho	<ul style="list-style-type: none">• Movimentação de partículas do Sahel para o Sahara• Situação de baixa pressão (SO Portugal) e/ou anticiclone (Mediterrâneo e Norte de África)
Eventos secos	Julho – Agosto	<ul style="list-style-type: none">• Origem de material particulado do Sahara• Movimentação intensa de partículas• Situação de anticiclone (Mediterrâneo e Norte de África)
Chuvas vermelhas & Eventos secos	Setembro - Outubro	<ul style="list-style-type: none">• Movimentação de partículas do Sahara para o Sahel• Situação de baixa pressão (SO Portugal) e/ou anticiclone (Mediterrâneo e Norte de África)

Fonte: Querol *et al*, 1999

2.2 Enquadramento legislativo

O Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro (alterado pelo Decreto-Lei n.º 43/2015, de 27 de março e posteriormente pelo Decreto-Lei n.º 47/2017, de 10 de maio) define o quadro legislativo e estabelece as linhas de orientação da política de gestão da qualidade do ar ambiente para Portugal, como Estado-Membro da União Europeia (UE). Nele encontram-se vários objetivos ambientais em termos das concentrações de material particulado (partículas PM₁₀ e PM_{2,5}) na atmosfera. O referido documento inclui a possibilidade de se efetuarem descontos, devido a fontes naturais de poluição, aquando da avaliação de conformidade em relação aos valores limite².

Na Tabela 2 encontram-se os objetivos ambientais estabelecidos no Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro para a proteção da saúde humana, definidos para as partículas em suspensão de diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm (PM₁₀).

Tabela 2. Objetivos ambientais estabelecidos para a proteção da saúde humana para PM₁₀ definidos no Decreto-Lei n.º 102/2010

Poluente	Objetivo de proteção	Tipo de objetivo ambiental	Período de referência das avaliações	Unidades do objetivo ambiental	Valores numéricos do objetivo ambiental (número de excedências autorizadas)
PM ₁₀	Saúde	VL (em vigor desde 2005)	Um dia	Dias de excedência num ano civil	50 µg/m ³ (35*)
		VL (em vigor desde 2005)	Um ano civil	Média anual	40 µg/m ³
		NAT	Um dia	Dias deduzidos de excedência num ano civil	Não definido
			Um ano civil	Dedução da média anual	Não definido

VL: valor limite; **NAT:** Avaliação da contribuição natural; *Objetivo ambiental avaliado através do indicador 36º máximo diário

A avaliação da contribuição de poluentes provenientes de fontes naturais, nos níveis de qualidade do ar, está prevista pelo enquadramento legal nacional e comunitário. O Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro (republishedo pelo Decreto-Lei n.º 47/2017, de 10 de maio), estabelece que:

“As contribuições provenientes de fontes naturais poderão ser avaliadas, mas não evitadas. Por conseguinte, aquando da avaliação do respeito dos valores limite relativos à qualidade do ar, deverá ser permitido deduzir as contribuições naturais de poluentes para o ar ambiente, caso estas possam ser determinadas com um grau de certeza suficiente e as excedências sejam devidas total ou parcialmente a estas contribuições naturais.”

Consideram-se, segundo o mesmo diploma legal, contribuições provenientes de fontes naturais as:

“emissões de poluentes que não são causadas direta nem indiretamente por atividades humanas, onde se incluem catástrofes naturais como erupções vulcânicas, atividade sísmica,

² O valor limite corresponde ao nível de poluentes na atmosfera cujo valor não pode ser excedido, durante períodos previamente determinados, com o objetivo de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e ou no meio ambiente.

atividade geotérmica, incêndios florestais incontrolados, ventos de grande intensidade ou a ressuspensão ou transporte atmosférico de partículas naturais provenientes de regiões secas.”

No âmbito do reporte anual à Comissão Europeia (Decisão 2011/850/CE), os Estados-Membros indicam as causas das excedências ao valor limite de PM₁₀, importando por isso identificar a contribuição devida a fontes de emissão naturais.

Caso a Comissão Europeia seja informada da existência de uma excedência ao valor limite imputável a fontes naturais, essa excedência não é considerada como tal para efeitos de avaliação de conformidade legal.

As comissões de coordenação e desenvolvimento regional (CCDR) devem elaborar listas das zonas e aglomerações³ onde as excedências aos valores limite de um determinado poluente são imputáveis a fontes naturais, em conformidade com determinadas metodologias, e reportar essa informação à APA. Esta, por sua vez, transmite essa informação à Comissão Europeia, incluindo os elementos relativos à dedução da contribuição de fontes naturais com as respetivas evidências que demonstrem a sua atribuição a fontes naturais.

O Conselho da União Europeia disponibilizou em 2011 (CUE, 2011) uma publicação onde se estabelecem diretrizes para a demonstração e dedução de excedências atribuídas a fontes naturais no âmbito da Diretiva 2008/50/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de Maio de 2008 encorajando os Estados-Membros a implementar determinadas metodologias e a apresentar sob a forma de um relatório anual a documentação completa dos episódios identificados, sendo esse o caso do presente documento.

2.3 Eventos naturais no contexto Ibérico: desenvolvimento de uma metodologia conjunta

Relativamente à avaliação dos eventos com origem nos desertos do Norte de África, e do seu impacto nas concentrações de PM₁₀, tem vindo a ser aplicada uma metodologia conjunta⁴ desenvolvida e coordenada pela a equipa do *Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera* (CSIC, Barcelona), com a participação do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da FCT NOVA, no âmbito de um convénio Luso-Espanhol de colaboração entre os respetivos ministérios que tutelam a pasta do Ambiente. Os relatórios anuais, relativos à avaliação destes fenómenos naturais, são habitualmente disponibilizados *on-line* com a avaliação relativa ao território de Portugal⁵ e de Espanha⁶.

A intrusão de uma massa de ar carregado de poeiras provenientes das regiões áridas do Norte de África é caracterizada por uma grande dimensão espacial, tendo sido a sua avaliação efetuada, numa fase inicial, para todo o domínio da Península Ibérica, dividida em secções geográficas, atribuídas a Portugal e Espanha (com zonas comuns de análise), representadas na Figura 4. Ao longo dos anos, cada país tem vindo a efetuar a análise das secções do seu território de modo independente, indicando-se as

³ As Zonas e Aglomerações são as unidades funcionais de qualidade do ar, delimitadas para efeitos da avaliação e a gestão da qualidade do ar no território nacional.

⁴ Disponível em: https://www.miteco.gob.es/images/es/metodologiaparaepisodiosnaturales-revabril2013_tcm30-186522.pdf

⁵ Disponível em: www.apambiente.pt, Políticas > Ar > Qualidade do Ar Ambiente > Partículas em Suspensão.

⁶ Disponível em: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/fuentes-naturales/anales.aspx>

áreas geográficas utilizadas para a avaliação de eventos naturais em Portugal na secção da Metodologia.

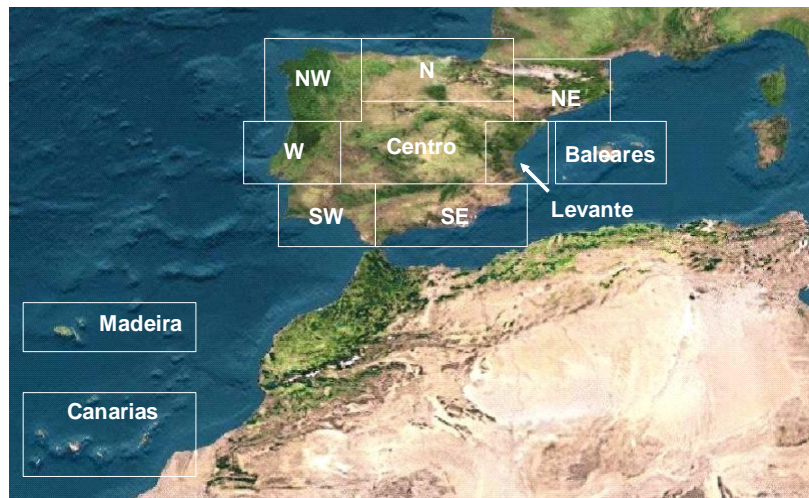


Figura 4. Secções de identificação da intrusão de ar na Península Ibérica e Arquipélagos

A identificação e avaliação de eventos naturais tem vindo a ser efetuada, em Portugal, desde 2006, ainda que com alguns ajustes na metodologia aplicada e permite:

- inventariar os dias para os quais se identifica a ocorrência de fenómenos naturais;
- quantificar a contribuição do fenómeno natural na média diária e anual de PM_{10} ;
- avaliar a situação de conformidade legal das estações de monitorização da qualidade do ar relativamente ao cumprimento dos valores limite de PM_{10} (diário e anual), antes e após a aplicação da metodologia de desconto das contribuições de origem natural.

3 Metodologia

3.1 Aspetos gerais

Na presente secção descreve-se resumidamente a metodologia aplicada para efetuar a identificação da ocorrência de eventos naturais de partículas com origem nos desertos africanos, bem como, a quantificação da sua influência nas concentrações de partículas em suspensão PM₁₀. Em termos metodológicos seguem-se as seguintes etapas:

- 1ª etapa: os dias de ocorrência de intrusão de massa de ar proveniente do Norte de África são identificados para cada região do país, recorrendo-se a um conjunto de ferramentas para o efeito;
- 2ª etapa: em cada região identifica-se uma estação de monitorização da qualidade do ar, rural de fundo, representativa da qualidade do ar, livre da influência de fontes de emissão antropogénica⁷. Estas estações servem, numa primeira fase, para verificar se houve influência do evento natural nas concentrações de partículas medidas à superfície e, numa segunda fase, para quantificar a contribuição da intrusão de poeiras em cada região de jurisdição das comissões de coordenação e desenvolvimento regional (CCDR) no território continental e Direção Regional de Ambiente e Alterações Climáticas na Região Autónoma da Madeira;
- 3ª etapa: após a identificação dos dias em que ocorreu intrusão de massa de ar transportando partículas provenientes do Norte de África, a contribuição do evento em Portugal é quantificada em cada região, através da aplicação da metodologia ibérica. Esta abordagem permite descontar, a fração de origem natural, às concentrações médias diárias registadas em todas as estações da rede de monitorização da qualidade do ar.

3.2 Domínio espacial

A análise da ocorrência de eventos naturais é efetuada em seis regiões de Portugal, de acordo com as áreas regionais de jurisdição da qualidade do ar: Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo, Algarve e Região Autónoma da Madeira.

Esta análise anual tem vindo a excluir a Região Autónoma dos Açores (RAA), uma vez que os principais produtos de previsão de eventos naturais, para a Europa e Norte de África, não abrangem espacialmente esta região. A RAA é representada pela estação de monitorização da qualidade do ar do Faial. Verifica-se que os níveis de PM₁₀ registados no Faial são habitualmente reduzidos, sendo que em 2021 esta estação apresentou uma das mais reduzidas médias anuais de PM₁₀ no país (de 7 µg/m³) e um percentil 95 (diário) de 15 µg/m³, não tendo ocorrido situações críticas para a saúde humana relacionadas com este poluente.

Como ponto de partida, para cada uma das regiões em estudo, é então selecionada uma estação rural de fundo representativa. O objetivo é que a estação seja o mais remota possível em relação à influência de fontes de emissão antropogénicas para se poder identificar a contribuição da fração natural nas

⁷ Na região Centro, devido às especificidades das zonas Centro Litoral e Centro Interior, tem-se utilizado uma estação rural de fundo de cada uma destas zonas, perfazendo um total de duas estações representativas na região Centro.

concentrações de partículas em suspensão. Neste processo, a região Centro representa uma exceção, sendo utilizadas duas estações rurais de fundo representativas (Caixa 1).

Selecionaram-se as seguintes estações representativas, representadas na Figura 5:

- Douro Norte (OLO) na região Norte (entre janeiro e agosto) e Santa Combinha (SCO) (entre setembro e dezembro de 2021, de modo a colmatar falhas nos dados durante este período);
- Montemor-o-Velho (MOV)⁸ na zona Centro Litoral e Fundão (FUN) na zona Centro Interior;
- Chamusca (CHA) na região de Lisboa e Vale do Tejo;
- Terena (TER) na região Alentejo;
- Cerro (CER) na região do Algarve;
- Santana (SAN) na região da Madeira.

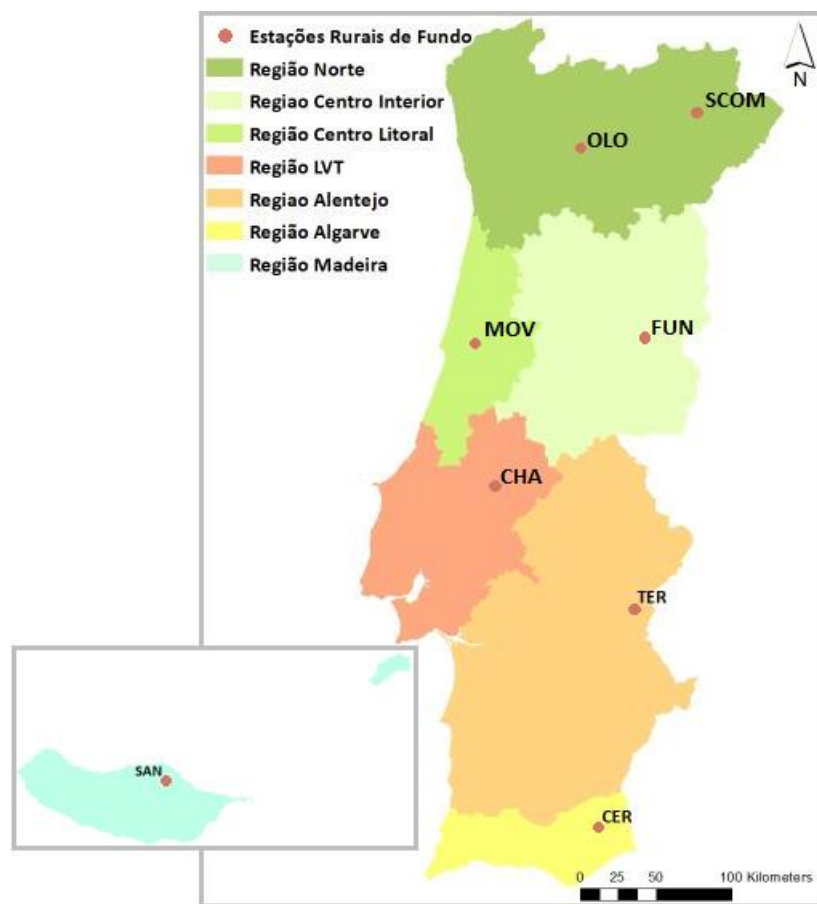
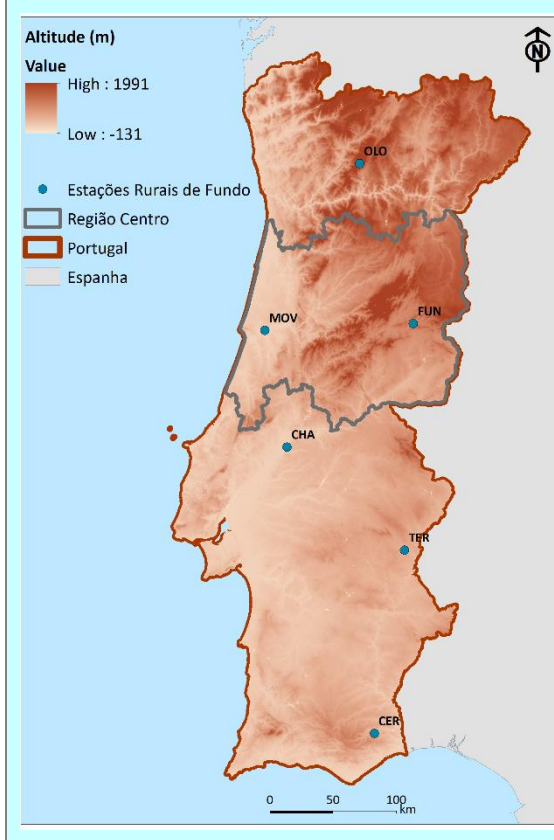


Figura 5. Regiões e estações rurais de fundo representativas utilizadas para a quantificação da contribuição de eventos naturais em Portugal em 2021

⁸ Na região Centro, devido às especificidades das zonas Centro Litoral e Centro Interior, têm-se utilizado duas estações rurais de fundo para avaliar cada uma destas sub-zonas de modo independente. Em 2021 selecionou-se a estação de Montemor-o-Velho como representativa da região Centro Litoral, uma vez que foi a estação rural de fundo que apresentou médias de PM₁₀ mais reduzidas e um menor número de excedências ao valor limite diário.

► Caixa 1. A especificidade da região Centro



A região Centro tem uma orografia determinante (principalmente marcada pela Cordilheira Central, juntamente com os maciços das Serras de Caramulo e Montemuro), que influencia a dispersão dos poluentes atmosféricos.

É frequente verificar-se a ocorrência de um desfasamento entre a intensidade do evento natural registado nas zonas Centro Litoral e Centro Interior.

Analisando os coeficientes de correlação entre as concentrações de poluentes da zona Centro Litoral e Interior, verificaram-se também comportamentos distintos entre estas duas zonas.

Por estes motivos, tem vindo a ser aplicada uma abordagem metodológica que trata as zonas de qualidade do ar do Centro Litoral e Interior de forma independente. Assim, são seleccionadas duas estações rurais de fundo representativas da região: a do Fundão para a zona Centro Interior e a de Montemor-o-Velho para a zona Centro Litoral. Em 2021 seleccionou-se a estação de Montemor-o-Velho como representativa da região Centro Litoral, uma vez que esta apresentou uma boa cobertura anual de medições, bem como, a concentração média de PM_{10} mais reduzida, e um menor número de excedências ao valor limite diário.

3.3 Identificação de eventos naturais

A identificação dos dias de evento natural é efetuada anualmente e tem sido baseada na metodologia descrita por Querol *et al* (2013). Para tal, utiliza-se uma combinação de informação dada por diversas fontes (representadas na Figura 6), nomeadamente:

- a) Modelos **BSC Dust Daily Forecast**⁹ (BSC-DREAM8b e NMMB/BSC-Dust) e Modelo **SKIRON Dust**¹⁰: indicam o acréscimo de poeira mineral, com origem nos desertos do Norte de África, nas concentrações de partículas à superfície. Mais recentemente tem sido disponibilizada informação adicional, pelo WMO SDS-WAS (*Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System*) no sítio da Agência Meteorológica Espanhola (AEMET)¹¹, permitindo comparar a previsão proveniente de diversos modelos, utilizando-se a mesma para verificação de casos em que subsistem dúvidas na classificação final de ocorrência de evento natural;
- b) Retrotrajetórias do modelo **HYSPLIT**¹²: indicam a proveniência e o percurso da massa de ar no local das estações de monitorização, a vários níveis de altitude (750 m, 1500 m, 2500 m), nos cinco dias anteriores à data em estudo.

Nesta etapa seleciona-se, para cada uma das regiões em estudo, uma localização da estação rural de fundo representativa para a qual se obtêm as retrotrajetórias nas datas em estudo de ocorrência de evento natural. É também nestas estações que se baseia a metodologia de quantificação da fração natural (daí que se pretenda que a estação seja a mais remota possível em relação à influência de fontes de emissão antropogénicas, apresentando as concentrações mais reduzidas de partículas em suspensão para se poder identificar a contribuição da fração natural);

- c) Produtos **NAAPS** Global Aerosol Model¹³: fornecem informação relativa à ocorrência de poeiras, sulfatos e incêndios. Esta informação é particularmente relevante na análise de anos com ocorrência de elevado número de incêndios florestais, permitindo distinguir as causas de aumentos significativos nas concentrações de partículas em zonas rurais;
- d) Adicionalmente, têm sido consultadas, **imagens de satélite** em que é visível a influência de evento natural (NASA WorldView¹⁴) ou a ocorrência de incêndios (NASA FIRMS¹⁵) que possam ter afetado as concentrações de PM₁₀ no período em análise, apresentadas sempre que se justifique para ilustração de casos particulares;
- e) **Concentrações** medidas nas estações de monitorização da qualidade do ar¹⁶ em cada região: esta informação é utilizada para aferir se o perfil de concentrações de PM₁₀ é influenciado pela ocorrência de evento natural (há eventos que, apesar de detetados por modelação, acabam por não ter expressão significativa no aumento das concentrações de PM₁₀ medidas à superfície).

⁹ BSC Dust Daily Forecast: <https://ess.bsc.es/bsc-dust-daily-forecast>.

¹⁰ SKIRON Dust: <http://forecast.uoa.gr/dustindx.php>.

¹¹ Forecast comparison: <https://sds-was.aemet.es/forecast-products/dust-forecasts/forecast-comparison>.

¹² HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory): http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php.

¹³ NAAPS (Navy Aerosol Analysis and Prediction System) - NRL/Monterey: <https://www.nrlmry.navy.mil/aerosol/#currentaerosolmodeling>.

¹⁴ NASA EOSDIS (Earth Observing System Data and Information System) Worldview: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

¹⁵ NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System): <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/>

¹⁶ QUALAR/Downloads: <https://qualar.apambiente.pt/downloads>.

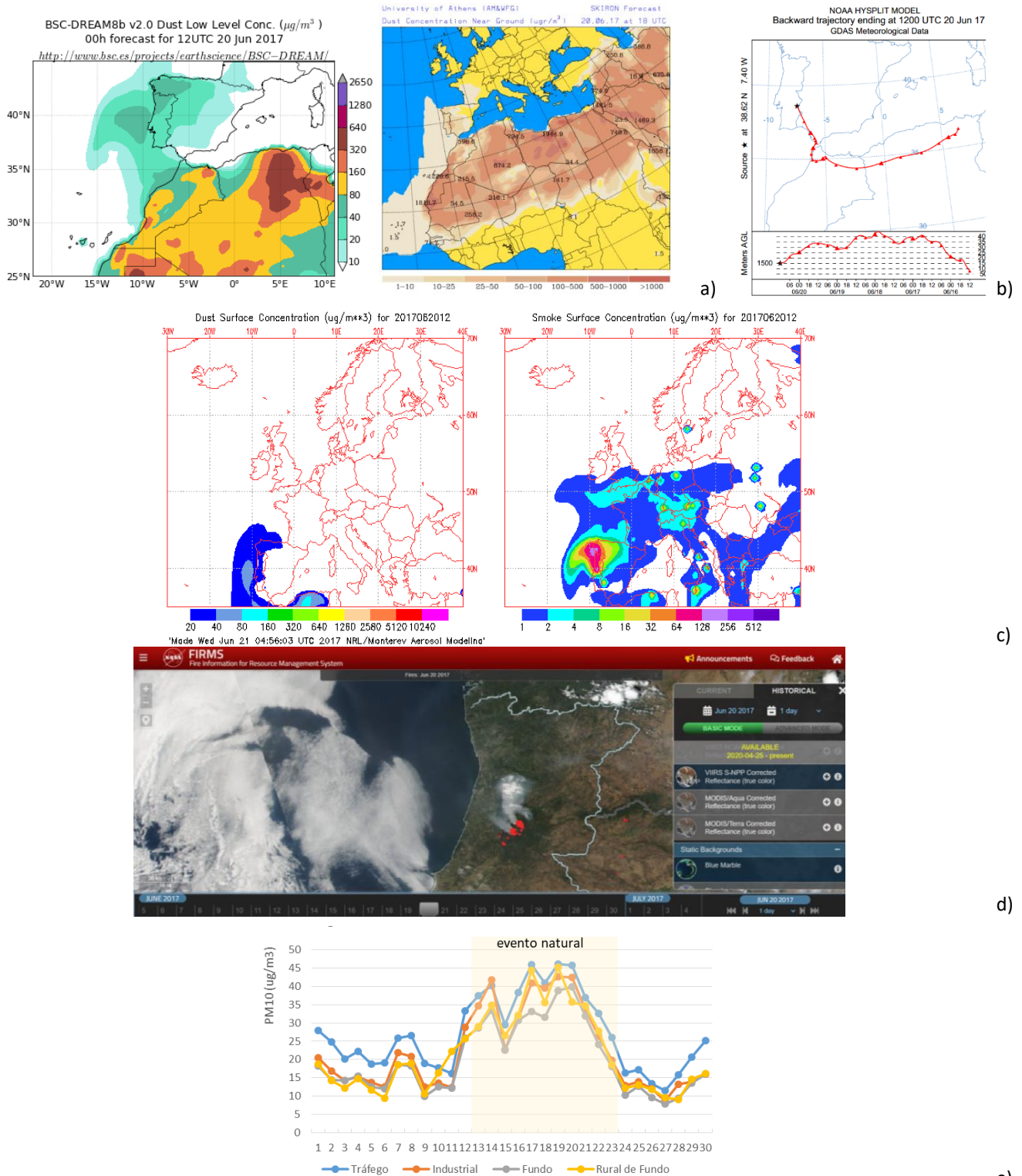


Figura 6. Fontes de informação utilizadas na identificação da ocorrência de eventos naturais em Portugal (exemplo para dia 20/06/2017): a) BSC-DREAM8b e SKIRON, b) HYSPLIT, c) NAAPS Dust e Smoke, d) Imagens de satélite NASA FIRMS com identificação dos incêndios ativos, e) Concentrações de PM₁₀

3.4 Quantificação da influência de eventos naturais nas concentrações de partículas em suspensão

De acordo com o descrito no Guia para a demonstração e subtração de excedências atribuíveis a fontes naturais (CUE, 2011), a quantificação da influência de eventos naturais nas concentrações de partículas em suspensão no ar ambiente deve obedecer aos seguintes princípios chave:

- a) as contribuições naturais não devem ser causadas por atividades humanas diretas ou indiretas;
- b) a quantificação da contribuição natural deve ser suficientemente precisa;
- c) a quantificação da contribuição natural deve ser temporalmente consistente com o período de integração do valor limite considerado;
- d) a quantificação das fontes naturais deve ser descrita espacialmente;
- e) as contribuições da fração natural devem ser demonstradas através de um processo de avaliação sistemática.

Após a identificação dos dias em que ocorreu intrusão de ar transportando partículas provenientes das zonas áridas do Norte de África, a contribuição do evento natural em Portugal é quantificada por região. A metodologia de cálculo da contribuição das PM_{10} de origem natural, que tem sido aplicada a nível nacional, é baseada na indicada em Querol *et al* (2013).

Para cada uma das regiões em estudo, é selecionada uma estação rural de fundo representativa (tal como descrito no ponto 3.2 *Domínio espacial*). Os cálculos da contribuição da fração natural compreendem, resumidamente, as seguintes etapas:

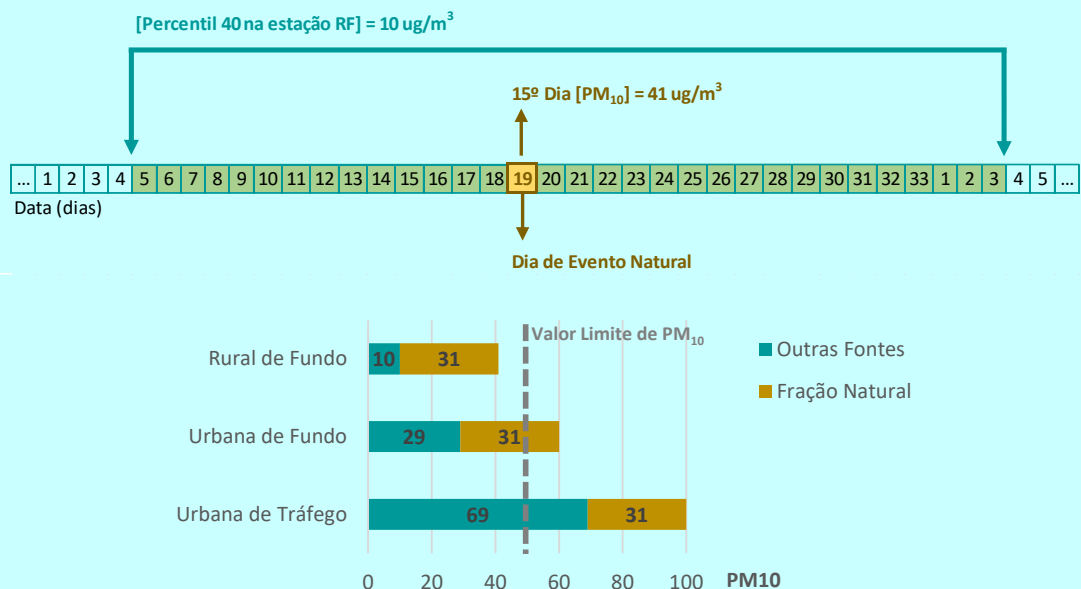
- preparação do conjunto de dados diários (concentrações médias diárias de PM_{10}) de todas as estações de monitorização, organizadas por regiões que serão avaliadas de forma independente;
- para cada dia de evento natural, previamente identificado, em cada estação regional de fundo selecionada como representativa, determina-se o Percentil 40 dos 30 dias centrados nesse dia de evento (sendo o dia de evento o 15.º e não se incluindo o valor registado neste dia no cálculo do percentil). Considera-se que o Percentil 40¹⁷ reproduz adequadamente o valor das estações de fundo sob a influência de processos de advecção de ar atlântico (não contaminado);
- a diferença entre o valor de PM_{10} registado no dia de evento e o Percentil 40 desse dia corresponde à contribuição de PM_{10} de origem natural;
- a contribuição calculada a partir da estação de fundo representativa de cada região é posteriormente subtraída às concentrações médias diárias de todas as estações de cada região.

A Caixa 2 exemplifica um caso de quantificação de um hipotético evento natural.

¹⁷ Estudos efetuados sobre os níveis de PM_{10} , registados em estações EMEP em Espanha e em locais regionais de fundo em Portugal, durante dias com condições atmosféricas advectivas prevaletentes (Atlântico, Mediterrâneo, Europa, mas excluindo dias africanos) mostram que o percentil 40, centrado num período de 30 dias, reproduz adequadamente o histórico regional registado em processos advectivos (Querol *et al.*, 2013; Escudero, 2007).

► Caixa 2. Exemplo de quantificação da influência de um evento natural nas concentrações de PM₁₀

- Considere-se um evento natural a ocorrer no dia 19 de um dado mês (representado na figura abaixo);
- Considerem-se duas estações de monitorização da qualidade do ar, uma Urbana de Fundo (UF) e outra Urbana de Tráfego (UT), com médias diárias de PM₁₀ de 60 e 100 µg/m³, respetivamente, no dia de evento natural. Ambas as concentrações estão acima do valor limite diário deste poluente de 50 µg/m³:
 - [UF PM₁₀] = 60 µg/m³
 - [UT PM₁₀] = 100 µg/m³
- A estação Rural de Fundo (RF), selecionada como representativa da região em estudo, registou uma média diária de 41 µg/m³ no dia de evento natural. O percentil 40 mensal de concentrações, nesta estação, centrado no mesmo dia (e não incluindo a concentração de PM₁₀ no dia de evento natural) é de 10 µg/m³:
 - [RF PM₁₀] = 41 µg/m³
 - [RF P40 PM₁₀] = 10 µg/m³
- A contribuição de PM₁₀ devida ao evento natural, calculada para a estação RF representativa, é então dada por:
 - [Fração Natural] = [RF PM₁₀] - [RF P40 PM₁₀] = 41 - 10 = 31 µg/m³
- A Fração Natural assim determinada é posteriormente subtraída às concentrações das estações UF e UT:
 - [UF PM₁₀] - [Fração Natural] = 60 - 31 = 29 µg/m³
 - [UT PM₁₀] - [Fração Natural] = 100 - 31 = 69 µg/m³
- Neste exemplo, a subtração aplicada à estação UF elimina o dia em excedência ao valor limite diário de PM₁₀ (29 < 50 µg/m³), mas tal não ocorre no caso da estação UT (69 > 50 µg/m³);
- A Figura abaixo representa esquematicamente a situação exposta:



A análise dos resultados obtidos com a aplicação desta metodologia pode incidir em vários aspetos, entre eles a verificação da conformidade legal – face aos valores limite (VL) anual e diário de PM₁₀. Se uma dada estação estiver em excedência ao VL e, após a subtração do evento natural, a concentração se tornar inferior ao VL, então considera-se que essa situação de excedência foi causada pela contribuição de uma fonte natural, tal como previsto pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro.

Na aplicação da metodologia de desconto de eventos naturais podem surgir situações especiais que implicam ligeiras alterações à metodologia definida. Algumas delas decorrem do desfasamento entre a intensidade do evento registado numa estação rural de fundo e nas restantes estações de uma dada região, pelo facto de a massa de ar carregada com partículas ter uma diferente abrangência espacial, por exemplo, progredindo sequencialmente do litoral para o interior (ou vice-versa), ou em diferentes níveis verticais da atmosfera. Destacam-se as seguintes situações especiais identificadas:

- (i) **indisponibilidade de dados de concentrações médias diárias da estação rural de fundo representativa** – em determinado dia de episódio pode não haver informação relativa à concentração de PM₁₀ na estação rural de fundo representativa. Neste caso, a contribuição de origem natural de partículas pode ser calculada utilizando outra estação rural de fundo (de preferência a mais próxima e da mesma região);
- (ii) **a contribuição natural obtida é nula** – em determinados episódios o desconto da contribuição poderá ser nulo. Esta situação reflete um episódio com fraca carga de partículas;
- (iii) **a contribuição natural obtida é negativa** – em determinadas situações o fenómeno natural é mais intenso na localização da estação rural de fundo representativa do que nas restantes, sendo que a contribuição natural estimada pode dar origem a valores negativos. Nestes casos pode seleccionar-se uma das opções, pela seguinte ordem:
 - a. substitui-se o valor estimado do desconto pela média dos descontos entre a estação rural de referência e a estação rural de fundo mais próxima;
 - b. se o valor descontado continuar negativo, substitui-se pelo desconto determinado através da estação rural de fundo mais próxima;
 - c. caso o valor continue negativo, então substitui-se o valor da estação, onde ocorre este caso, pelo Percentil 40 da própria estação (removendo os dias de evento natural);
- (iv) **efeito de persistência** – na identificação dos dias com ocorrência de evento natural inclui-se a possibilidade do prolongamento da intrusão, por efeito de persistência do evento, caso as condições meteorológicas não favoreçam a dispersão atmosférica. Pode considerar-se até dois dias o período de residência das partículas com origem natural, após o evento ter terminado.

3.5 Eficiência das estações de monitorização da qualidade do ar

A constituição das redes de monitorização da qualidade do ar é regulada pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro que estabelece critérios quanto à tipologia de estações e número mínimo dados recolhidos anualmente em medições consideradas de medição fixa e indicativa.

Na avaliação de eventos naturais os dados das estações rurais de fundo são essenciais (para determinar os descontos a aplicar a todas as restantes estações), sendo desejável obter a série de dados anual o mais completa possível. Assim é efetuada uma análise prévia às eficiências anuais das medições de PM₁₀ nas estações de monitorização.

A eficiência mínima legal (Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro) a considerar para uma estação com medições fixas em contínuo é de 85%¹⁸. Abaixo desse valor (mas superior a 14%) considera-se que as medições são indicativas. As estações de monitorização também são designadas como indicativas se não excederem o limiar superior de avaliação (LSA) nos cinco anos anteriores, sendo a sua necessidade de monitorização menos exigente, desde que esteja acima da cobertura mínima anual de 14%.

¹⁸ No Anexo II do Decreto-Lei n.º 102/2010, relativo aos objetivos de qualidade dos dados, é indicada uma taxa mínima de recolha de dados de 90%. No entanto, a este valor, podem acrescer perdas de dados decorrentes de operações de calibração de equipamentos até 5%. Assim, a eficiência mínima final comumente considerada é de 85%.

4 Identificação dos dias de evento natural em 2021

Em 2021 identificaram-se, no total, 127 dias de intrusão de massa de ar com origem no Norte de África sobre o território de Portugal Continental e Arquipélago da Madeira, representando 35% do ano, enquadrando-se num valor um pouco acima da média (de 31%, ou 112 dias por ano, considerando o período de análise de 2009 a 2020), tal como demonstrado na Figura 7.

Os dias de evento natural identificados, de acordo com a metodologia descrita anteriormente, para o ano de 2021, encontram-se indicados na Tabela 3. A análise individualizada de todos os episódios identificados encontra-se documentada em Anexo ao presente relatório.

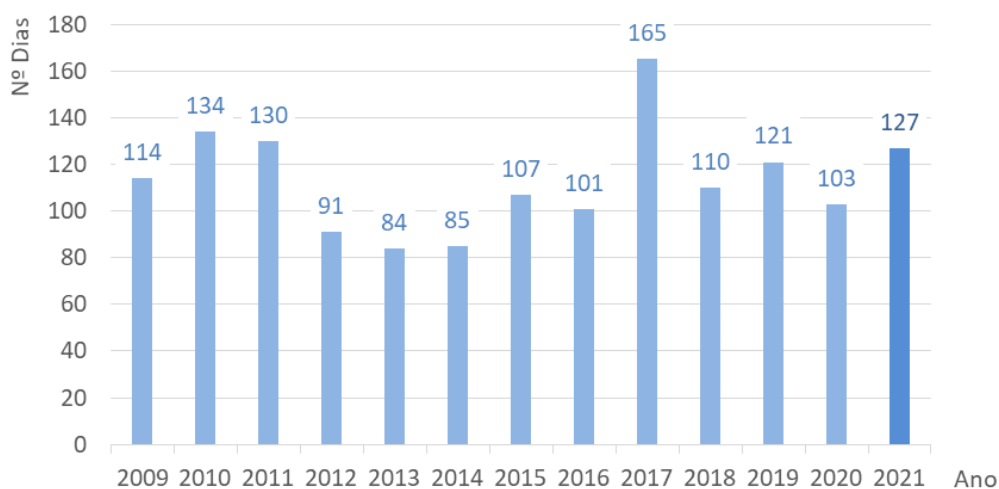


Figura 7. Distribuição do número de dias de evento natural por ano

Tabela 3. Identificação da ocorrência de episódios de intrusão de poeiras provenientes do Norte de África, no ano de 2021, por região e data de ocorrência

Mês	Região	Dia do mês																															Total		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
FEV	NOR																				x														3
	CEN																			x	x	x					x	x	x						7
	LVT																x		x	x	x							x	x	x					7
	ALE																x		x	x	x						x	x	x	x					8
	ALG																x		x	x	x						x	x	x	x					8
	MAD																x	x	x																4
MAR	NOR	x	x	x	x	x	x	x																			x	x	x	x	x	x	x	13	
	CEN	x	x	x	x	x	x	x																			x	x	x	x	x	x	x	13	
	LVT	x	x	x	x	x	x	x																			x	x	x	x	x	x	x	13	
	ALE	x	x	x	x	x	x	x																			x	x	x	x	x	x	x	13	
	ALG	x	x	x	x	x	x	x																			x	x	x	x	x	x	x	13	
	MAD	x	x	x			x	x																				x	x	x	x	x	x	13	
ABR	NOR	x	x	x	x	x																												9	
	CEN	x	x	x	x	x	x	x	x																									11	
	LVT	x	x	x	x	x	x	x	x	x																								11	
	ALE	x	x	x	x	x	x	x	x	x																								11	
	ALG	x	x	x	x	x	x	x	x	x																								11	
	MAD	x	x	x	x	x	x																											6	
MAI	NOR																																	5	
	CEN																																	4	
	LVT																																	6	
	ALE																																	6	
	ALG																																	5	
	MAD																																	3	
JUN	NOR	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																	13		
	CEN	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																	13		
	LVT	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																	13		
	ALE	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																	15		
	ALG	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																	15		
	MAD																																	0	
JUL	NOR																																6		
	CEN																																6		
	LVT																																8		
	ALE																																9		
	ALG																																8		
	MAD																																7		
AGO	NOR																																7		
	CEN																																8		
	LVT																																7		
	ALE																																11		
	ALG																																11		
	MAD																																5		
SET	NOR																																2		
	CEN																																2		
	LVT																																2		
	ALE																																3		
	ALG																																4		
	MAD																																0		
OUT	NOR																																7		
	CEN																																9		
	LVT																																9		
	ALE																																9		
	ALG	x																															11		
	MAD																																	7	
NOV	NOR																																4		
	CEN																																5		
	LVT																																6		
	ALE																																4		
	ALG																																5		
	MAD																																0		
DEZ	NOR																																6		
	CEN																																7		
	LVT																																9		
	ALE																																8		
	ALG																																10		

Mês	Região	Dia do mês																														Total	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		31
	MAD																x	x	x												x	x	5

Legenda: NOR: região Norte; CEN: região Centro; LVT: região de Lisboa e Vale do tejo; ALE: região do Alentejo; ALG: região do Algarve; MAD: região da Madeira. Dias de ocorrência de evento natural assinalados com "x".

O número de dias com intrusões de massa de ar com origem no Norte de África foi mais elevado nas regiões a sul decrescendo para as regiões mais a norte de Portugal Continental (Figura 8).

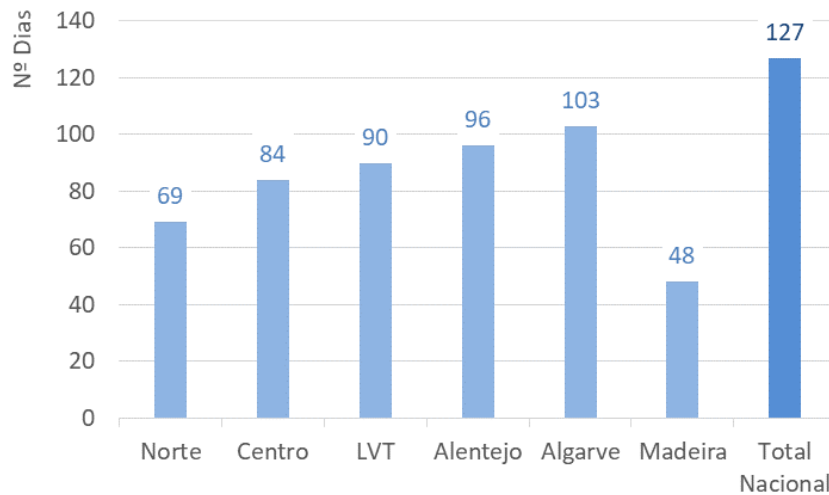


Figura 8. Distribuição do número de dias de evento natural por região em 2021

Em 2021, os 127 dias de evento natural ocorreram distribuídos por 21 episódios. A duração média dos episódios foi de 6 dias, valor mais elevado face ao ano anterior. A duração mais frequente foi a ocorrência de episódios de dois e três dias (episódios de curta duração), tal como se representa na Figura 9 e Figura 10. Ocorreram cinco episódios de longa duração (de 10 ou mais dias) nos meses de fevereiro, março, junho, outubro e dezembro (Figura 10), sendo estas longas ocorrências, em meses de inverno, menos frequentes.

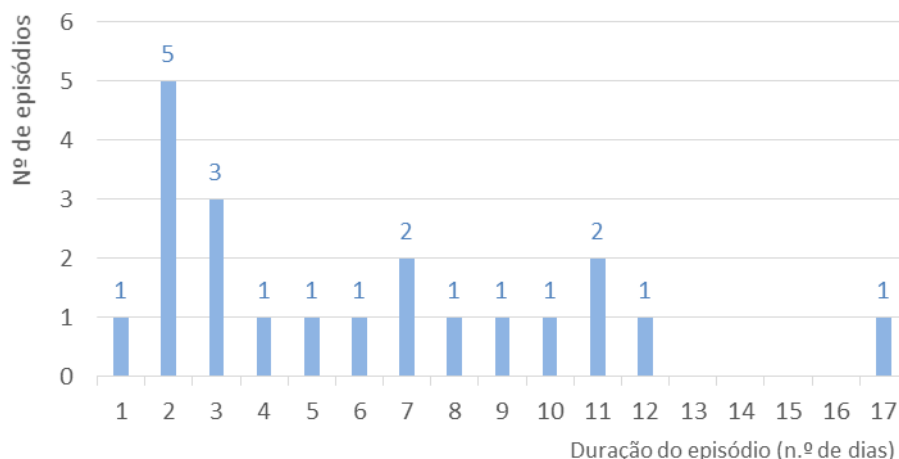


Figura 9. Distribuição do número de episódios de evento natural, em 2021, de acordo com a sua duração

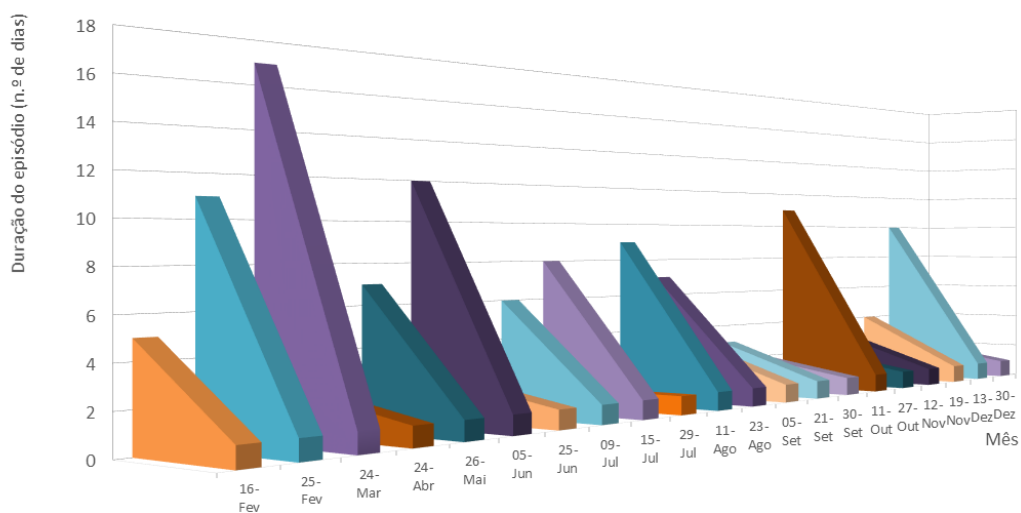


Figura 10. Duração de cada episódio de evento natural ocorrido em 2021

A Figura 11 apresenta a distribuição do número de dias de evento natural por mês e ano. A Figura 12 mostra a distribuição da ocorrência de eventos naturais, de 2021, por mês. Verifica-se que os meses de maior ocorrência de eventos naturais têm apresentado grande variabilidade nos últimos anos. Em 2021, destacam-se os meses de março, junho, agosto e outubro com mais eventos naturais (Figura 12), acompanhando o perfil médio dos últimos doze anos, exceto para os meses de setembro (com menor número de eventos naturais que a média) e dezembro (com maior número de dias de evento natural que a média). Em 2021, no período decorrido entre março e outubro (excetuando os meses de maio e setembro), o número de dias de evento natural foi relativamente constante e elevado em todos os meses (em média de 14 dias por mês, Figura 11). Verifica-se que, entre julho e setembro, o número de dias de evento natural apresentou maior variabilidade por região, notando-se diferenças significativas, por exemplo, entre a região Norte e o Algarve, tendo neste período os eventos naturais tido uma influência mais localizada e de menor abrangência espacial (Figura 12).

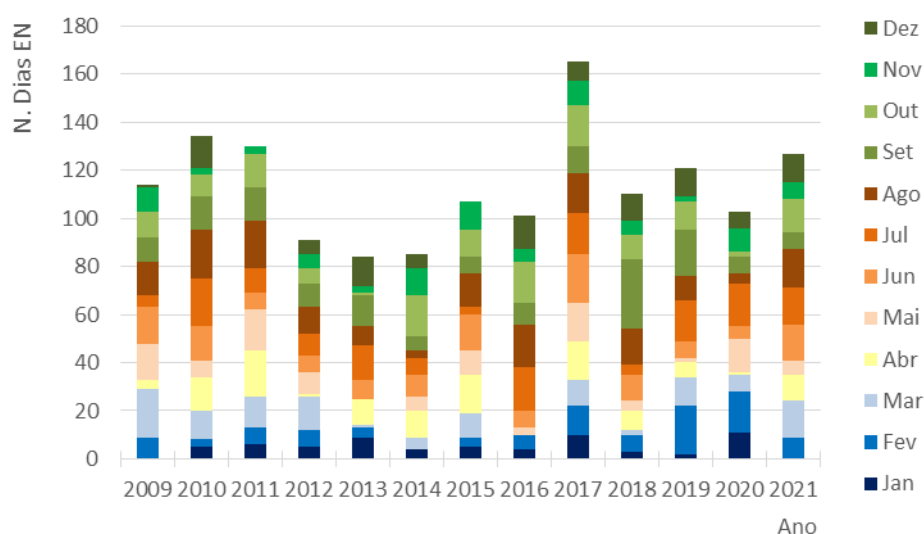


Figura 11. Distribuição do número de dias de evento natural por mês e ano

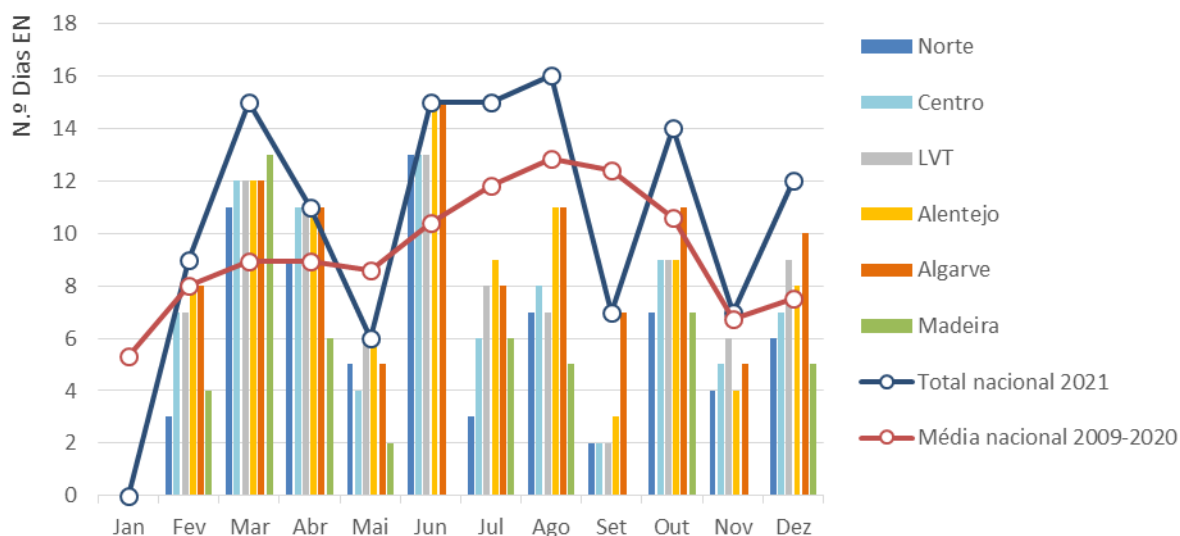


Figura 12. Distribuição do número de dias de evento natural, por região e mês, em 2021


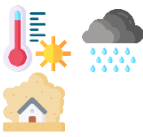

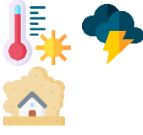

A ocorrência de eventos naturais tende a ser mais frequente sob determinadas situações meteorológicas. É frequente ocorrerem episódios de transporte de poeiras associados a ondas de calor, em situações em que a circulação atmosférica promove o transporte de massa de ar com origem nas regiões áridas do Norte de África. Podem ainda decorrer, em simultâneo, incêndios florestais (que podem interferir na análise da contribuição de fontes naturais de PM₁₀).








Em 2021 ocorreram episódios de evento natural em todos os meses do ano, exceto janeiro, em número de dias acima da média dos últimos doze anos. De acordo com o boletim climatológico anual do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA, 2022a) o ano de 2021, em Portugal Continental, classificou-se como quente e seco. Os valores médios de temperatura máxima do ar foram superiores ou próximos ao valor normal (exceto em janeiro), sendo de realçar os meses de abril, outubro e dezembro com as anomalias mais altas. Em 2021 ocorreram três ondas de calor, em Portugal Continental, em agosto, outubro e dezembro. O valor médio de precipitação total anual correspondeu a 78% do valor normal. Ao longo de 2021, apenas os meses de fevereiro e setembro registaram valores de precipitação superiores ao normal. Destacam-se as anomalias de precipitação negativas, consecutivas, dos meses de novembro e dezembro.

Em 2021 verificou-se uma situação de seca meteorológica entre abril e final de agosto, com aumento gradual da área e da intensidade da seca meteorológica. A 30 de setembro ocorreu uma diminuição da área em seca, terminando o ano hidrológico com 43% do território em seca meteorológica. Em novembro e dezembro verificou-se um novo aumento da área e intensidade da seca, terminando o ano com 94% do território em situação de seca meteorológica. (IPMA, 2022a)

Os eventos meteorológicos mais relevantes encontram-se representados na Tabela 4 (de acordo com IPMA, 2022a e IPMA, 2020b), com indicação das datas em que se identificou a ocorrência de eventos naturais.

Tabela 4. Eventos meteorológicos relevantes em 2021 e ocorrência de eventos naturais

Mês	Resumo da situação meteorológica e de eventos naturais
Janeiro	 <ul style="list-style-type: none"> Tempo muito frio (01 a 19): situação de frio generalizado a todo o território com valores da temperatura máxima e mínima do ar muito inferiores ao valor normal climatológica Depressão Hortense: originou precipitação intensa e rajadas fortes de vento nas regiões do Norte e Centro nos dias 21 e 22
Fevereiro	 <ul style="list-style-type: none"> Tempo quente: fevereiro 5º mais quente desde 1931 Ocorrência de precipitação intensa: dias 04-05 na região Sul, dias 09 e 20 precipitação frequente, intensa e generalizada em especial nas regiões do Norte e Centro Evento natural: episódios 16-20 e 25-28 (prossequindo no mês seguinte) em todo o território
Março	 <ul style="list-style-type: none"> Tempo quente e seco: valores diários de temperatura máxima do ar muito elevados de 14-18 e a partir de dia 22, destacando-se o período 28-31 com desvios superiores a 6 °C em relação à normal e com evento natural em todo o território Evento natural: episódios 01-07 e 24-31 (prossequindo no mês seguinte)
Abril	 <ul style="list-style-type: none"> Tempo quente, realçando-se os dias: 03-09, 14-20, 22-27 para elevadas temperaturas máximas e 09-11, 13-16 e 19-28 para elevadas temperaturas mínimas Depressão <i>Lola</i> de 23-28 de abril: ocorrência de precipitação intensa, localmente forte, por vezes acompanhada de granizo e trovoadas Evento natural: episódio longo de 01-09, 24-25 e no dia 28 na Madeira
Maio	 <ul style="list-style-type: none"> Tempo quente e muito seco Variabilidade da temperatura ao longo do mês: <ul style="list-style-type: none"> 25-31: com anomalia positiva em relação à normal (período caracterizado por corrente de nordeste), valores médios no continente $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 01-14: valores de temperatura mínima inferiores ao valor médio mensal

Mês	Resumo da situação meteorológica e de eventos naturais
	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da área em situação de seca, neste mês, para 41% do território • Evento natural: episódio de 26-31
Junho	 <ul style="list-style-type: none"> • Junho: mês normal • Fenómenos meteorológicos severos: ocorrência de precipitação forte entre os dias 11-20, em especial nas regiões do Norte e Centro • Evento natural: episódio longo de 05-16 e nos dias 25-26
Julho	 <ul style="list-style-type: none"> • Tempo frio, humidade relativa elevada e vento por vezes forte – situação de nortada • O período de 14-17 foi de tempo quente, com valores elevados da temperatura devido à influência de corrente de nordeste e de massa de ar quente e seco • Evento natural: episódios de 9-11 em Portugal Continental, 11-14 na Madeira, 15-19 em Portugal Continental, 19-20 na Madeira e 21-22 na região do Algarve
Agosto	 <ul style="list-style-type: none"> • Tempo quente e seco • Tempo muito quente de 10-17 de agosto devido a transporte de ar quente e seco para o território: valores de temperatura máxima do ar muito elevados, em especial de 13-15 (com temperatura máxima superior a 40°C em cerca de 10%-20% das estações meteorológicas) e noites tropicais de 13-17 (temperatura mínima $\geq 20^{\circ}\text{C}$) • Onda de calor 10-17 de agosto, nas regiões do interior Norte e Centro, Vale do Tejo e em alguns locais do Alentejo • Evento natural: episódio de 11-15 essencialmente na região Sul de Portugal Continental, de 15-19 na Madeira, de 23-29 em Portugal Continental
Setembro	 <ul style="list-style-type: none"> • Tempo chuvoso, relativamente húmido e com vento fraco • Aguaceiros fortes, granizo e vento forte: condições de instabilidade sobre o território continental • Evento natural: episódios de curta duração e de abrangência mais localizada de 05-07, 21-23 e 30 (prossequindo para o 1º dia do mês seguinte)
Outubro	 <ul style="list-style-type: none"> • Tempo muito quente e seco • Predominância de situações anticiclónicas e de massa de ar quente. Os valores de temperatura foram muito elevados. Persistência de valores de temperatura máxima do ar quase sempre acima do valor normal, realçando-se os períodos de 06-15 e 18-21 • Onda de calor de 10-15 de outubro, no Vale do Tejo e Alentejo • A mudança para uma situação meteorológica de corrente perturbada de oeste, nos três últimos dias do mês, alterou significativamente o estado do tempo no território, registando-se precipitação significativa e generalizada ao território. Precipitação intensa de 29-31 de outubro nas regiões Norte e Centro e no dia 30 nas regiões Centro e Sul • Evento natural: episódio de longa duração de 10-21 em todo o território e de curta duração de 27-28 em Portugal Continental
Novembro	 <ul style="list-style-type: none"> • Tempo frio e seco • Evento natural: episódio de curta duração em Portugal Continental de 12-14 e de 19-22 com reduzida abrangência espacial
Dezembro	 <ul style="list-style-type: none"> • Tempo muito quente e seco: 4º dezembro mais quente desde 1931 • Onda de calor de 26 dezembro a 3 de janeiro nas regiões Norte e Centro • Evento natural: episódio de longa duração de 13-22 em condições de estabilidade atmosférica e reduzida altura da base da camada de mistura (em média de 255 m neste período) e de 30-31 na região da Madeira

A ocorrência de incêndios florestais pode contribuir para um acréscimo adicional das concentrações de PM₁₀, podendo conduzir a uma sobrestimativa da fração de origem natural. Esta componente teve um peso significativo no ano de 2017, mas não nos anos seguintes, de 2018 a 2021.

A base de dados nacional de incêndios rurais (ICNF, 2021) registou um total de 27 118 hectares de área ardida, entre janeiro e outubro de 2021. Comparando os valores do ano de 2021 com o histórico dos 10 anos anteriores, assinala-se que se registaram menos 79% de área ardida relativamente à média anual do período. O ano de 2021 apresentou o valor mais reduzido em número de incêndios e o segundo valor mais reduzido de área ardida, desde 2011. A área ardida no ano de 2021 foi consideravelmente inferior à área ardida "expectável" tendo em conta a severidade meteorológica verificada (ICNF, 2021).

Em 2021, os incêndios com mais área ardida ocorreram em julho (Monchique, 1 915 ha) e agosto (Castro Marim, 6 629 ha), na região do Algarve. A análise das datas de ocorrência dos 20 maiores incêndios rurais identificados pelo ICNF (ICNF, 2021), ocorridos entre janeiro e outubro, revela que não se registou a influência destes nas concentrações de PM₁₀ medidas nas estações de monitorização durante os períodos de evento natural, não comprometendo assim a análise quantitativa da contribuição destas últimas fontes naturais. Ainda assim, indicam-se, na Tabela 5, as datas de incêndios rurais com maior área ardida, que se sobrepõem a períodos de transporte de poeiras do Norte de África, ou ocorreram adjacentes a estes.

Tabela 5. Incêndios rurais com maior área ardida em 2021 e ocorrência de eventos naturais

Mês	Situação de incêndios rurais e Eventos Naturais
Março	<ul style="list-style-type: none"> • Incêndios nos dias 17, 21 e 23 de março nos distritos de Guarda (350 ha), Viseu (162 ha) e Vila Real (190 ha) • Evento natural: episódios 1-7 e 24-31 (prosseguindo no mês seguinte)
Junho	<ul style="list-style-type: none"> • Incêndio a 9 de junho no distrito da Guarda, concelho de Pinhel (328 ha) • Evento natural: episódio longo de 5-16 e nos dias 25-26
Julho	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Incêndio de maiores dimensões</u>, no dia 17 de julho, no distrito de Faro, concelho de Monchique (1 915 ha) • Ocorrência de outros incêndios, nos dias 12, 14, 16, 20 e 28, respetivamente nos distritos de Beja (205 ha), Portalegre (170 ha), Guarda (438 ha), Bragança (255 ha) e Portalegre (206 ha) • Evento natural: episódios de 9-11 e 15-19 em Portugal Continental, e 21-22 na região do Algarve
Agosto	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Incêndio de grandes dimensões</u>, no dia 16 de agosto, no distrito de Faro, concelho de Castro Marim (6 629 ha) • Ocorrência de outros 4 incêndios: no concelho de Loulé (226 ha e 193 ha), Odemira (988 ha) e Bragança (398 ha) • Evento natural: episódio de 11-15 essencialmente na região Sul de Portugal Continental e de 23-29

Ainda em relação à contribuição de fontes naturais para as concentrações de partículas em suspensão, destaca-se a ocorrência, nas Ilhas Canárias, entre 19 de setembro e 13 de dezembro de 2021, da erupção do vulcão Cumbre Vieja, na Ilha de La Palma. Através da análise da contribuição de 'smoke' do modelo NAAPS, verifica-se que as cinzas do vulcão atingiram o Arquipélago da Madeira no período de 15 a 20 de outubro, de 21 a 22 de novembro e possivelmente dia 18 de dezembro (da Figura 13 à Figura 16).

No primeiro período, ocorrido em outubro, a influência do material particulado de origem vulcânica coincidiu com a ocorrência de evento natural, registando-se um aumento generalizado dos níveis de PM₁₀, nas estações de monitorização localizadas na Ilha da Madeira, não chegando estas a superar o valor limite diário (Figura 17). Também nesse período foi notório o aumento das concentrações de SO₂ com origem vulcânica, tal como se pode observar na Figura 17 e na Figura 18.

No segundo período, de 21 a 22 de novembro, a influência das poeiras de origem vulcânica não apresentou um impacto significativo nos níveis de PM₁₀, no Arquipélago da Madeira, sendo este mais visível nas concentrações de SO₂ num curto período de tempo (maior impacto no dia 21) (Figura 17).

No dia 18 de dezembro, e apesar da erupção do vulcão Cumbre Vieja ter sido dada por terminada a 13 de dezembro, é possível ter sido registada alguma influência da pluma de cinzas sobre o Arquipélago da Madeira (Figura 16). As concentrações de PM₁₀ sofreram um aumento significativo (superando o valor limite) mas as concentrações de SO₂ permaneceram reduzidas. Este dia integrou-se num período de ocorrência de evento natural de poeiras dos desertos, registando-se um aumento generalizado dos níveis de PM₁₀, nas estações de monitorização localizadas na Ilha da Madeira, sendo que os aumentos de concentrações deste poluente possivelmente se deveram antes à contribuição desta última fonte natural.

Assim, conclui-se que a atividade do vulcão da Ilha de La Palma pode ter contribuído para um acréscimo de partículas em suspensão, principalmente no período de 15 a 20 de outubro, com influência na Zona da Madeira/ Porto Santo, zona esta que neste período estava também sob a influência de poeiras com origem nos desertos do Norte de África.

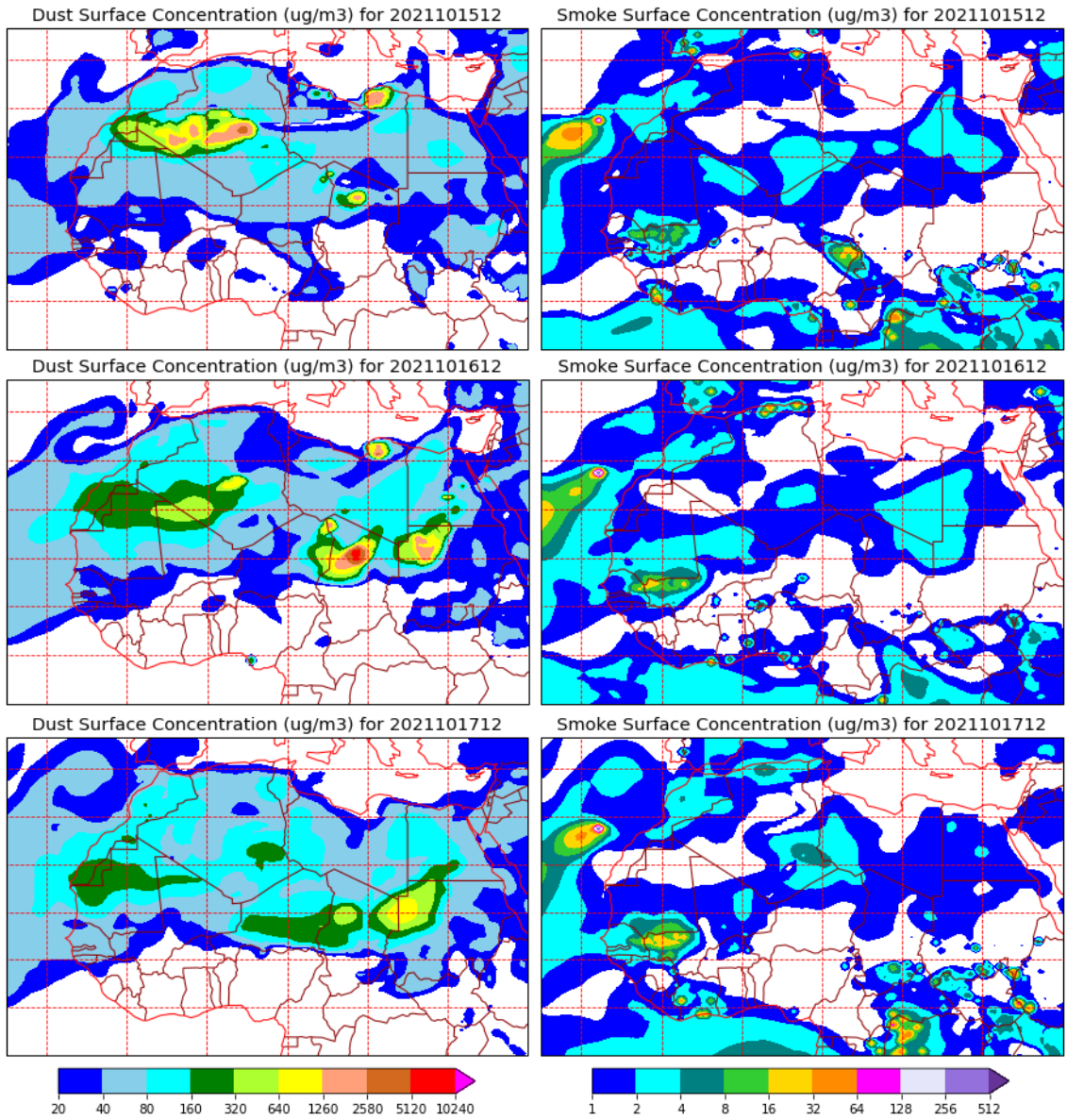
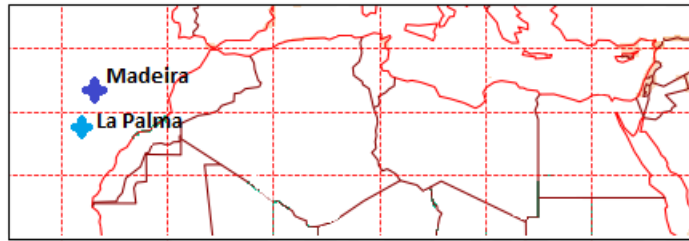


Figura 13. Mapas NAAPS de concentração de poeiras com origem nos desertos (esquerda) e pluma de cinzas (direita) de 15 a 17 de outubro de 2021 (Fonte: NAAPS Global Aerosol Model)

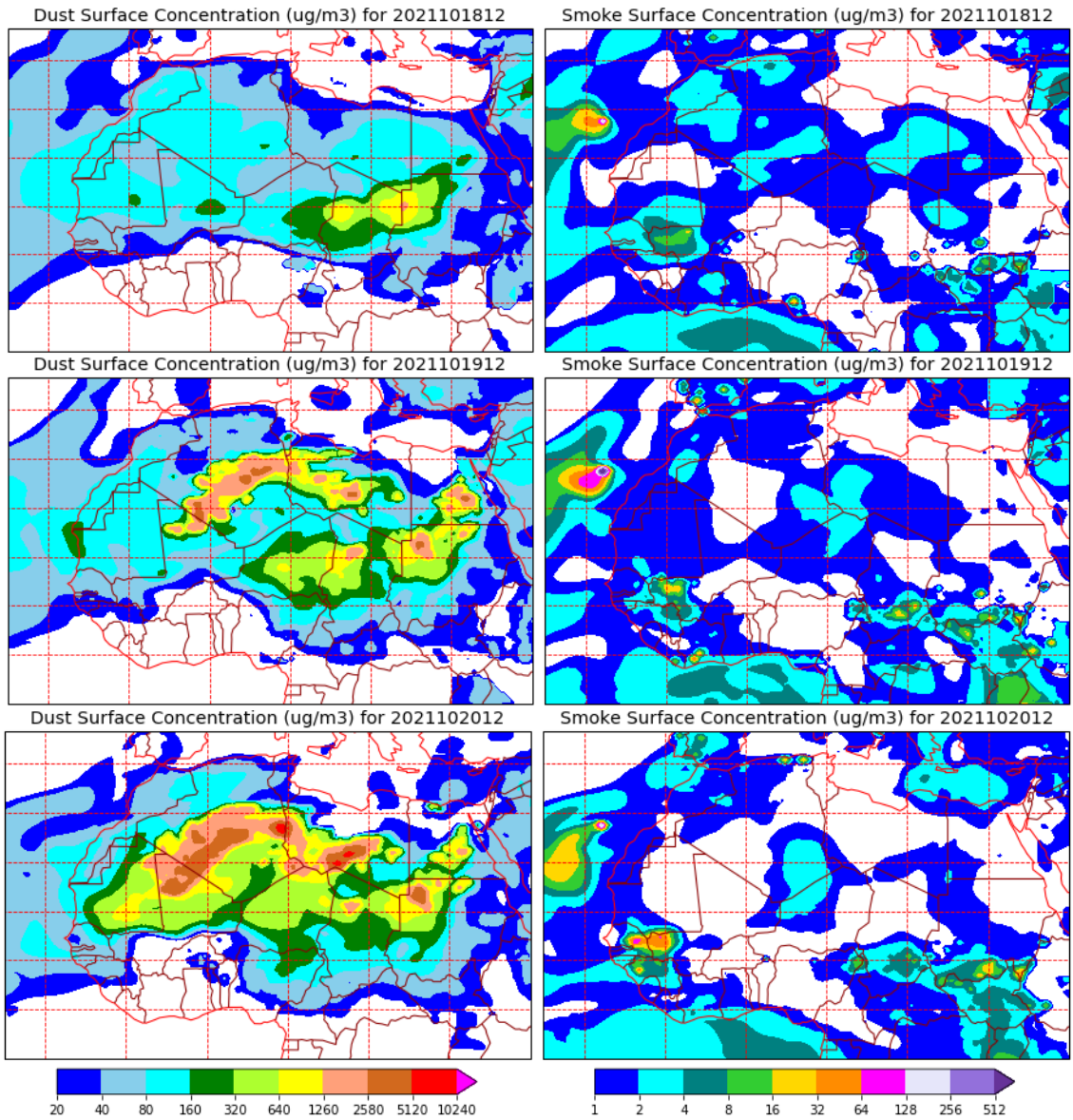
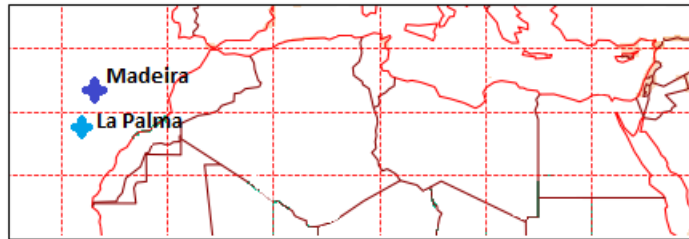


Figura 14. Mapas NAAPS de concentração de poeiras com origem nos desertos (esquerda) e pluma de cinzas (direita) de 18 a 20 de outubro de 2021 (Fonte: NAAPS Global Aerosol Model)

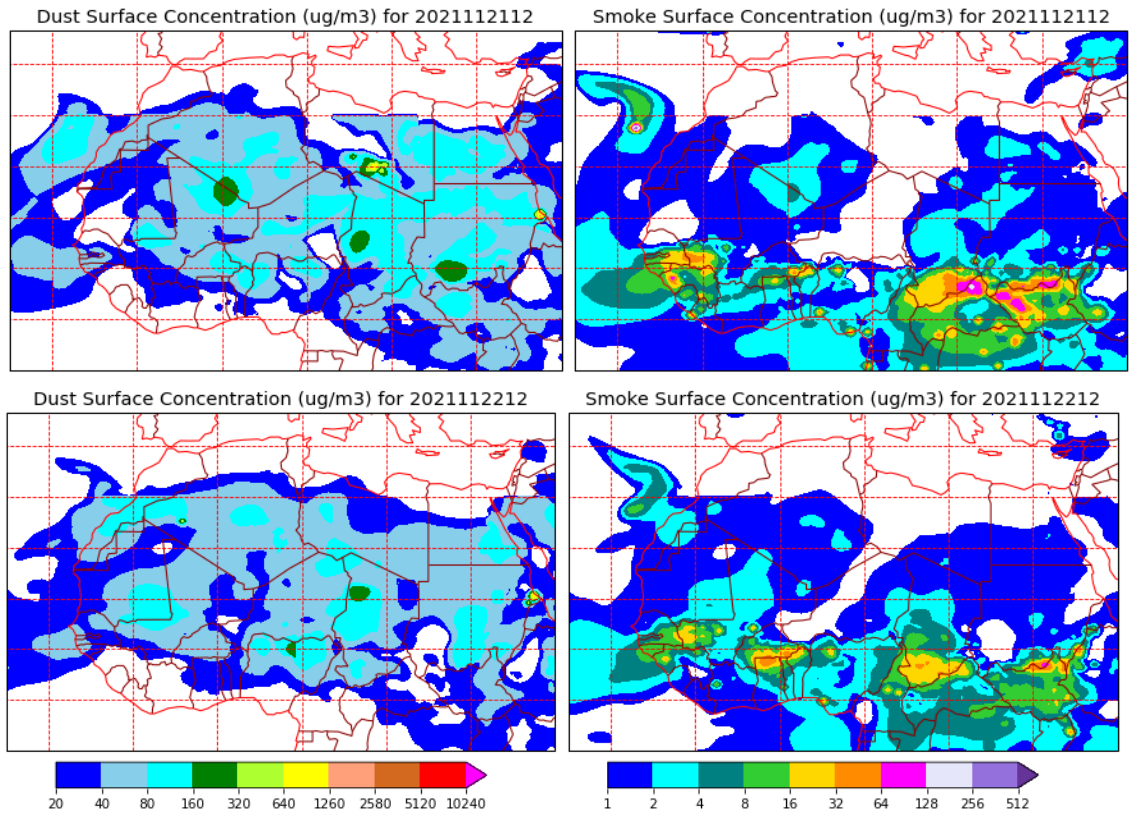
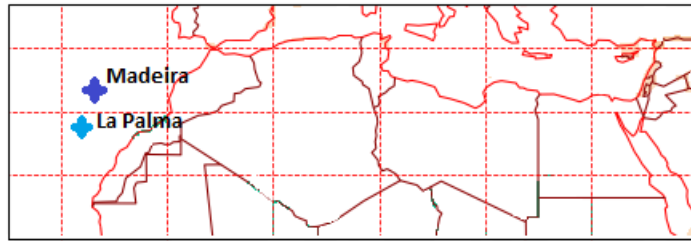


Figura 15. Mapas NAAPS de concentração de poeiras com origem nos desertos (esquerda) e pluma de cinzas (direita) de 21 a 22 de novembro de 2021 (Fonte: NAAPS Global Aerosol Model)

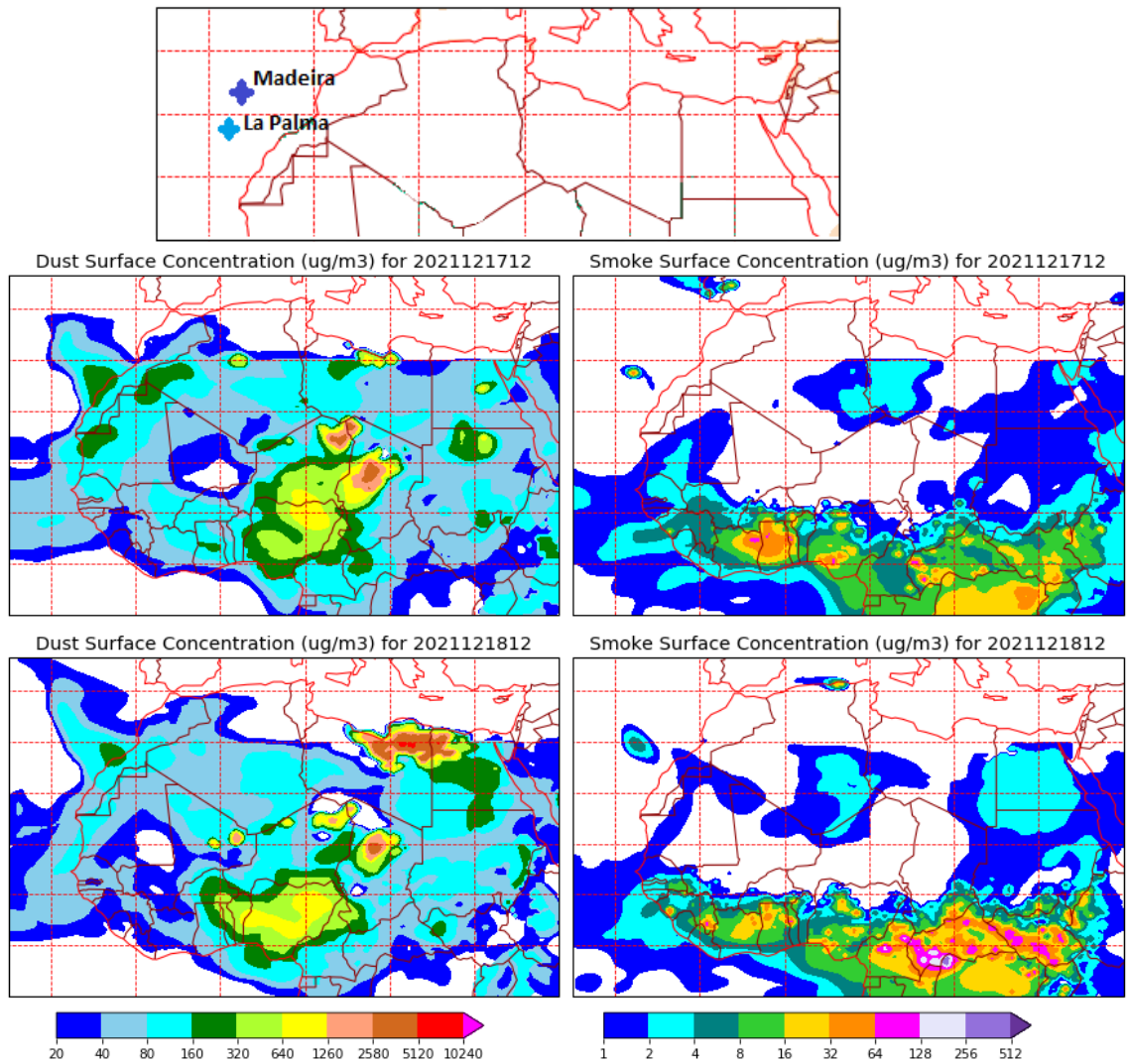


Figura 16. Mapas NAAPS de concentração de poeiras com origem nos desertos (esquerda) e pluma de cinzas (direita) em 17 e 18 de dezembro de 2021 (Fonte: NAAPS Global Aerosol Model)

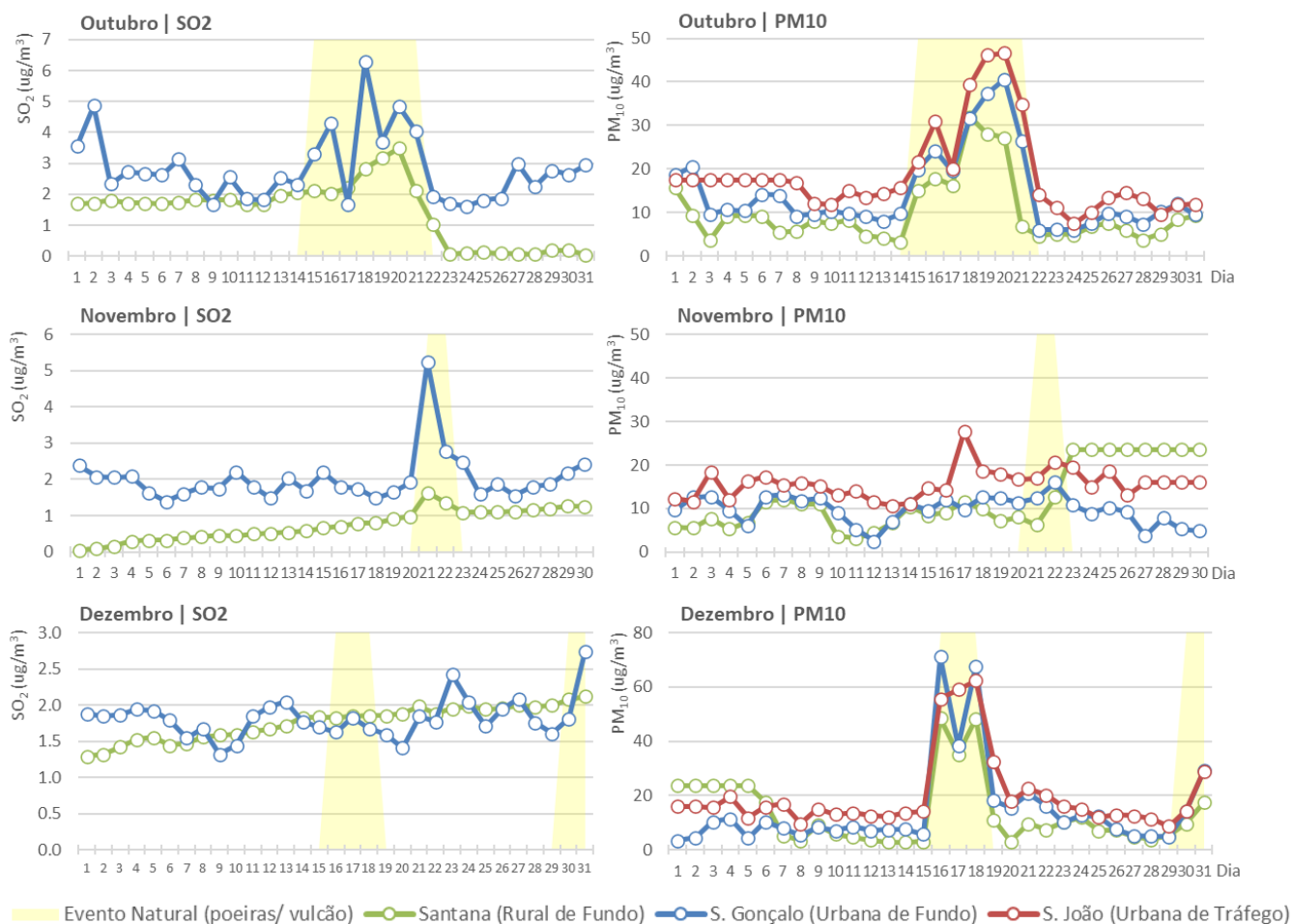


Figura 17. Concentrações de PM₁₀ e de SO₂ registadas nas estações de monitorização de qualidade do ar da Ilha da Madeira e ocorrência de eventos naturais (transporte de poeiras com origem em regiões áridas do Norte de África e no vulcão da Ilha de La Palma), de outubro a dezembro de 2021

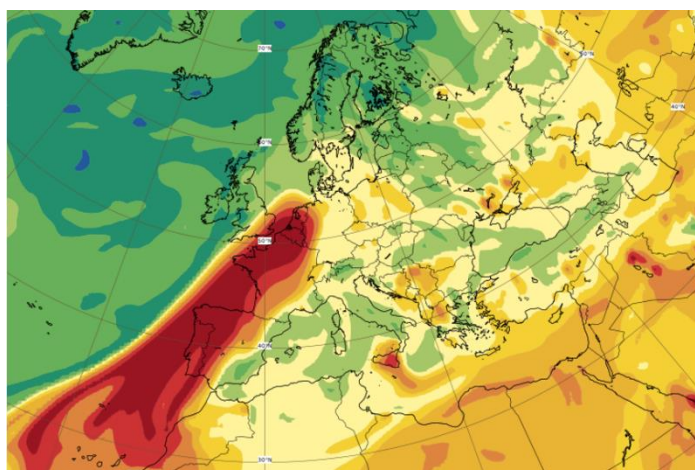


Figura 18. Previsão CAMS da coluna total de SO₂ para 19/10/2021 às 12 UTC (Fonte: CAMS/ECMWF¹⁹)

¹⁹ Fonte: Previsão baseada na observação de satélite da coluna total de SO₂, Copernicus Atmosphere Monitoring Service)/ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Disponível em: <https://atmosphere.copernicus.eu/cams-monitors-transport-so2-la-palma-volcano>

5 Aplicação da metodologia de desconto das contribuições de origem natural às concentrações de PM₁₀ em 2021

5.1 Eficiência das estações de monitorização da qualidade do ar em 2021

Na abordagem metodológica adotada para a avaliação de eventos naturais, os dados das estações rurais de fundo são essenciais para determinar os descontos, da fração de origem natural, a aplicar a todas as estações, sendo desejável obter a série de dados anual o mais completa possível. A Tabela 6 apresenta a eficiência anual das medições de PM₁₀ nas estações das zonas e aglomerações, no ano de 2021. As eficiências abaixo de 85% encontram-se destacadas na Tabela 6, de modo a ter uma perceção das estações que possam apresentar uma cobertura anual de dados mais incompleta. No entanto, para verificação da conformidade legal, esta eficiência mínima de 85% é apenas exigida às estações de medição 'fixa'. As estações de medição 'indicativa' devem apresentar uma eficiência anual de, pelo menos, 14%.


Do total de 52 estações de monitorização operacionais em 2021, com medições de PM₁₀ em Portugal Continental e Arquipélago da Madeira, em 34 obtiveram-se eficiências iguais ou superiores a 85%, o que representa 65% de estações com medições com uma significativa cobertura anual.


Em termos da análise da influência de eventos naturais nas concentrações de PM₁₀, esta estará mais condicionada pelas falhas de medições na região Norte (todas as estações apresentaram eficiência inferior a 85% em 2021).

Tabela 6. Eficiência anual das medições de partículas PM₁₀ nas estações de monitorização da qualidade do ar em 2021 (%)

Região	Tipo de Zona/ Nome da Zona		Tipo de estação/ Nome da estação/ Abreviatura da estação			Eficiência anual (%)
Norte	A	Entre Douro e Minho	T	Córego Dr. Manuel Faria-Azurém (FIX)	GMR	57%
				Pe Moreira Neves-Castelões de Cepeda (FIX)	PRD	22%
		Porto Litoral	T	João Gomes Laranjo-S.Hora (FIX)	HOR	46%
			I	Meco-Perafita (FIX)	PER	12%
	F		Leça do Balio-Matosinhos (IND)	LEC	72%	
			Mindelo-Vila do Conde (IND)	MVCO	12%	
		VNTelha-Maia (IND)	VNT	31%		
	Z	Norte Interior	RF	Douro Norte (IND) R	OLO	46%
			Santa Combinha* (IND) R ^(set-dez)	SCOM	68%	
Centro	A	Aveiro/Ílhavo	T	Aveiro (FIX)	AVE	100%
			F	Ílhavo (FIX)	ILH	79%
		Coimbra	T	Coimbra / Avenida Fernão Magalhães (FIX)	MAG	95%
			F	Instituto Geofísico de Coimbra (IND)	GEO	61%
	Z	Centro Interior	RF	Fornelo do Monte (IND)	FORN	95%
				Fundão (IND) R	FUN	98%
		Centro Litoral	RF	Ervedeira (FIX)	ERV	96%
				Montemor-o-Velho (FIX) R	MOV	99%
	Litoral Noroeste Baixo Vouga	I	Estarreja /Teixugueira (FIX)	TEI	98%	
Lisboa e Vale do Tejo	A	AML Norte	T	Avenida da Liberdade (FIX)	AVL	99%
				Cascais - Escola da Cidadela (IND)	CASE	95%
				Entrecampos (IND)	ENT	96%
				Odivelas-Ramada (IND)	ODI	93%
				Santa Cruz de Benfica (IND)	SCB	97%
			F	Alfragide /Amadora (IND)	ALF	60%
				Alverca (FIX)	ALV	92%
				Loures-Centro (IND)	LOU	99%
		AML Sul	I	Escavadeira (FIX)	ESCII	98%
				Lavradio (IND)	LAV	96%
			F	Paio Pires (FIX)	PP	98%
				Laranjeiro (FIX)	LAR	93%
	Setúbal	T	Quebedo (FIX)	QUE	99%	
			Arcos (FIX)	ARC	99%	
		F	Camarinha (IND)	CAM	66%	
			Chamusca (FIX) R	CHA	98%	
	Z	Oeste, Vale do Tejo e Península de Setúbal	RF	Fernando Pó (IND)	FPO	96%
				Lourinhã (FIX)	LOR	86%
				Terena (IND) R	TER	73%
				Monte Velho (IND)	MVE	12%
Alentejo	Z	Alentejo Interior	RF	Monte Chãos (IND)	MCH	81%
				Santiago do Cacém (IND)	SCA	33%
		Alentejo Litoral	I	Sonoga (IND)	SON	74%
				David Neto (FIX)	DVN	94%
				Joaquim Magalhães (FIX)	EJM	99%
Algarve	A	Aglomeração Sul	F	Malpique (FIX)	MAL	100%
				Cerro (IND) R	CER	92%
	Z	Algarve	RF	São João (IND)	SJO	100%
Madeira	A	Funchal	F	São Gonçalo (IND)	SGO	99%
				Santana (IND) R	SAN	100%

Legenda: Tipo de Zonamento - A: Aglomeração; Z: Zona; Tipo de Estação - T: Tráfego; I: Industrial; F: Fundo; RF: Rural de Fundo; Tipo de Medição - FIX: estação de medição fixa; IND: estação de medição indicativa; R: Estação rural de fundo representativa da região ou zona; **R (set-dez)**: Estação rural de fundo representativa da região Norte Interior, entre setembro e dezembro de 2021; *Analisador automático

 Eficiência anual inferior a 85% em medições fixas, ou inferior a 14% em medições indicativas

 Eficiência anual inferior a 85% em medições indicativas

5.2 Influência dos eventos naturais nas concentrações de PM₁₀ em 2021

A contribuição do acréscimo de partículas de origem natural nas concentrações de PM₁₀ foi determinada para o ano de 2021. Os resultados da aplicação da metodologia de desconto da fração natural de PM₁₀ apresentam-se na Tabela 7, na Figura 19 e Figura 20.



De acordo com o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, o valor limite diário (VLD) de PM₁₀ é de 50 µg/m³ e o número de excedências permitido, por ano, é de 35 (tal como descrito no ponto 2.2. *Enquadramento legislativo*). A avaliação do cumprimento destes requisitos pode ser avaliada através do indicador 36º máximo diário (que não deverá ultrapassar a concentração de 50 µg/m³), ou através do indicador número de excedências (Nº Exced) (que não deverá ultrapassar as 35). O valor limite anual (VLA) de PM₁₀ é de 40 µg/m³ e pode ser avaliado através do indicador média anual.

Na Tabela 7 encontram-se os resultados da aplicação da metodologia de dedução da contribuição de partículas com origem natural, por estação de monitorização da qualidade do ar, representando-se os indicadores relevantes, para o poluente PM₁₀, antes e após a aplicação da referida metodologia. A verificação da conformidade legal, no que respeita ao cumprimento dos valores limite anual e diário, encontra-se representada na Figura 19 e Figura 20, respetivamente, para estações com eficiência igual ou superior a 14%.

A Figura 21 pretende destacar a contribuição média da fração natural para a média anual de PM₁₀ por região.

Tabela 7. Aplicação da metodologia de dedução da contribuição devida a eventos naturais em 2021 (resultados antes e após aplicação da metodologia de desconto, expressos nos indicadores: concentração média anual, número de ultrapassagens ao valor limite diário de PM₁₀ e 36º máximo diário)

Zona	Tipo de estação/ Nome da estação/ Abreviatura da estação	Eficiência anual (%)	Base Anual				Base Diária					
			Concentração (µg/m ³)		Contribuição de origem natural		Excedências VLD (Nº)		36º Máx. Diário			
			Antes	Após	(µg/m ³)	(%)	Antes	Após	Antes	Após		
Região Norte												
A	Entre Douro e Minho	T	Cónego Dr. Manuel Faria-Azurém (FIX)/ GMR	57%	15	13	2	14	0	0	19	16
			Pe Moreira Neves-Castelões de Cepeda (FIX)/ PRD	22%	21	20	1	5	0	0	22	20
	Porto Litoral	T	João Gomes Laranjo-S.Hora (FIX)/ HOR	46%	15	13	1	9	0	0	20	17
			I	Meco-Perafita (FIX)/ PER	12%	31	20	11	35	6	0	16
		F	Leça do Balio-Matosinhos (IND)/ LEC	72%	17	15	1	8	0	0	24	22
			VNTelha-Maia (IND)/ VNT	31%	16	14	2	11	0	0	19	18
Z	Norte Interior	RF	Douro Norte (IND)/OLO	46%	13	8	5	40	4	0	15	9
			Santa Combinha (IND)/ SCOM	68%	10	8	2	19	2	0	14	12
Região Centro												
A	Aveiro/ Ílhavo	T	Aveiro (FIX)/ AVE	100%	18	15	3	16	9	4	33	25
			F	Ílhavo (FIX)/ ILH	79%	21	19	2	11	5	1	30
	Coimbra	T	Coimbra / Avenida Fernão Magalhães (FIX)/ MAG	95%	22	19	3	14	7	2	32	28
			F	Instituto Geofísico de Coimbra (IND)/ GEO	61%	19	15	4	20	5	2	29
Z	Centro Interior	RF	Fornelo do Monte (IND)/ FORN	95%	7	4	3	44	3	0	14	7
			Fundão (IND)/ FUN	98%	15	11	4	28	6	0	27	17

Zona	Tipo de estação/ Nome da estação/ Abreviatura da estação			Eficiência anual (%)	Base Anual				Base Diária					
					Concentração (µg/m³)		Contribuição de origem natural		Excedências VLD (Nº)		36º Máx. Diário			
					Antes	Após	(µg/m³)	(%)	Antes	Após	Antes	Após		
Centro Litoral	RF	Ervedeira (FIX)/ ERV		96%	17	15	3	16	6	2	30	24		
		Montemor-o-Velho (FIX)/ MOV		99%	17	14	3	17	2	0	30	20		
	Lit.Nor. Baixo V.	I	Estarreja /Teixugueira (FIX)/ TEI		98%	20	17	3	15	14	6	35	27	
Região de Lisboa e Vale do Tejo														
A	AML Norte	T	Avenida da Liberdade (FIX)/ AVL		99%	22	19	3	14	6	4	35	27	
			Cascais - Escola da Cidadela (IND)/ CASE		95%	18	15	3	18	7	2	31	23	
			Entrecampos (IND)/ ENT		96%	18	15	3	18	6	1	29	22	
			Odivelas-Ramada (IND)/ ODI		93%	18	15	3	17	3	1	28	21	
			Santa Cruz de Benfica (IND)/ SCB		97%	19	15	3	17	7	6	31	24	
		F	Alfragide /Amadora (IND)/ ALF		60%	16	14	2	12	2	0	22	21	
			Alverca (FIX)/ ALV		92%	19	16	3	16	7	2	31	23	
			Loures-Centro (IND)/ LOU		99%	18	16	3	15	2	0	28	22	
			Mem Martins (FIX)/ MEM		98%	19	16	3	16	6	2	29	22	
			Olivais (FIX)/ OLI		99%	18	15	3	18	4	1	28	22	
	AML Sul	I	Quinta do Marquês (FIX)/ MARQ		88%	16	13	3	19	3	0	25	20	
			Reboleira (IND)/ REB		89%	15	12	3	19	3	1	24	19	
			Escavadeira (FIX)/ ESCII		98%	19	16	3	16	7	5	33	25	
		F	Lavrado (IND)/ LAV		96%	20	17	3	16	10	4	34	25	
			Paio Pires (FIX)/ PP		98%	21	18	3	15	12	8	36	29	
		Setúbal	T	Laranjeiro (FIX)/ LAR		93%	19	16	3	17	6	4	32	24
			F	Quebedo (FIX)/ QUE		99%	19	15	3	17	6	0	30	23
	Setúbal	F		Arcos (FIX)/ ARC		99%	18	15	3	18	6	0	29	21
			Camarinha (IND)/ CAM		66%	13	12	1	10	0	0	17	16	
	Z	OVTPS	RF	Chamusca (FIX)/ CHA		98%	14	11	3	23	3	0	23	15
Fernando Pó (IND)/ FPO				96%	14	11	3	22	2	0	24	18		
Lourinhã (FIX)/ LOR				86%	15	12	3	19	7	0	23	20		
Região do Alentejo														
Z	Alent.Int.	RF	Terena (IND)/ TER		73%	14	10	5	32	4	0	23	13	
		RF	Monte Velho (IND)/ MVE		12%	16	14	2	11	0	0	11	9	
	Litoral	I	Monte Chãos (IND)/ MCH		81%	18	14	4	20	7	2	28	22	
			Santiago do Cacém (IND)/ SCA		33%	13	11	2	18	0	0	15	12	
			Sonega (IND)/ SON		74%	18	14	4	21	4	1	27	21	
Região do Algarve														
A	Agl. Sul	T	David Neto (FIX)/ DVN		94%	13	10	3	21	0	0	18	14	
		F	Joaquim Magalhães (FIX)/ EJM		99%	18	15	3	18	4	0	30	23	
			Malpique (FIX)/ MAL		100%	12	9	3	26	0	0	23	15	
Z	Algarve	RF	Cerro (IND)/ CER		92%	10	7	3	33	0	0	19	11	
Região da Madeira														
A	Funchal	T	São João (IND)/ SJO		100%	18	15	3	17	12	1	29	20	
		F	São Gonçalo (IND)/ SGO		99%	13	10	3	22	7	0	21	16	
Z	Madeira	RF	Santana (IND)/ SAN		100%	12	9	3	28	9	1	24	13	
Legenda:														
Z: Zona; A: A zona é uma aglomeração; Tipo de estação: T-Tráfego, I-Industrial, F-Fundo; RF-Rural de Fundo; Lit.Nor.Baixo V.: Litoral Noroeste do Baixo Vouga; OVTPS – Oeste Vale do Tejo e Península de Setúbal; FIX: estação com medição fixa; IND: estação com medição indicativa; VLD – Valor Limite Diário; antes/após – média anual ou n.º de dias acima do VLD antes/após da aplicação dos descontos devido a evento natural; Redução – Redução da média anual após aplicação da metodologia de desconto de eventos naturais; Excedências VLD – N.º de dias em excedência ao valor limite diário de PM ₁₀ de 50 µg/m³														
 Eficiência anual inferior a 85% em medições fixas, ou inferior a 14% em medições indicativas														
 Eficiência anual inferior a 85% em medições indicativas														

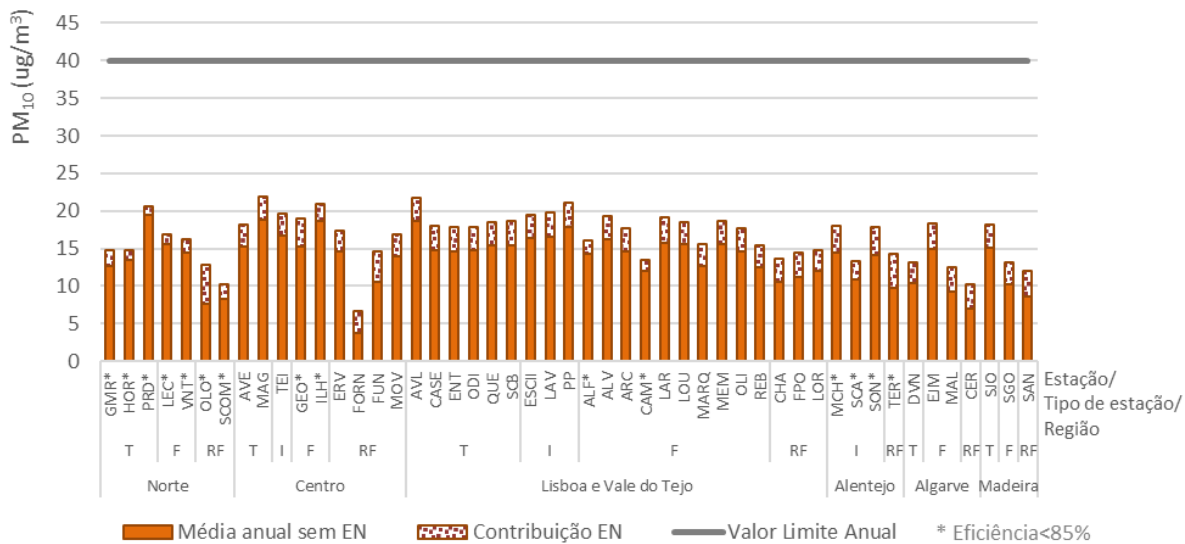


Figura 19. Média anual de PM₁₀, por estação, antes e após a dedução da fração devida a evento natural, em 2021

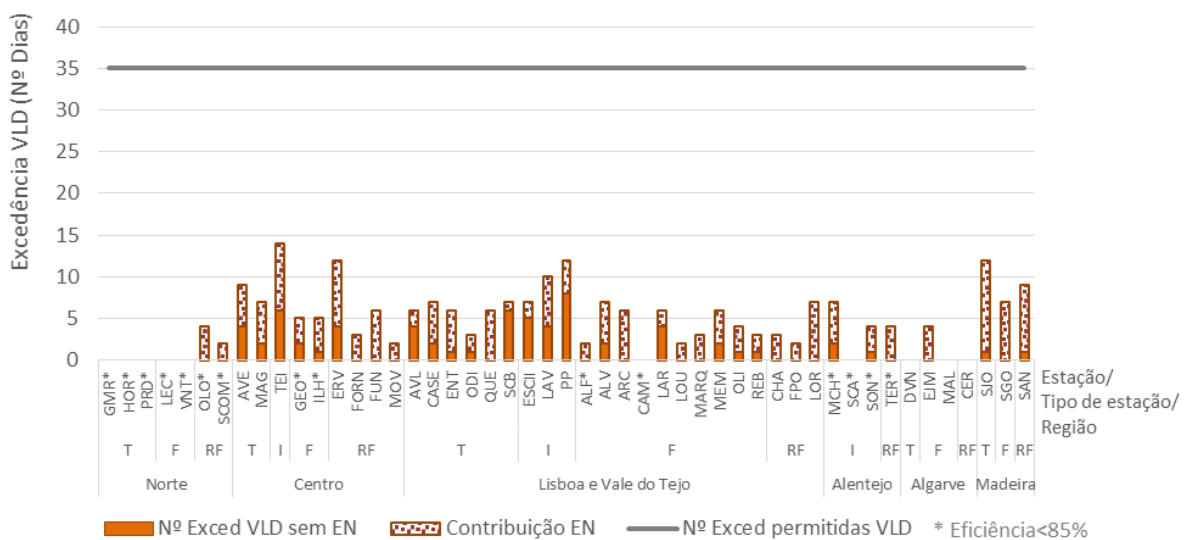


Figura 20. Número de dias em excedência ao valor limite diário de PM₁₀, por estação, antes e após a dedução da fração devida a evento natural, em 2021

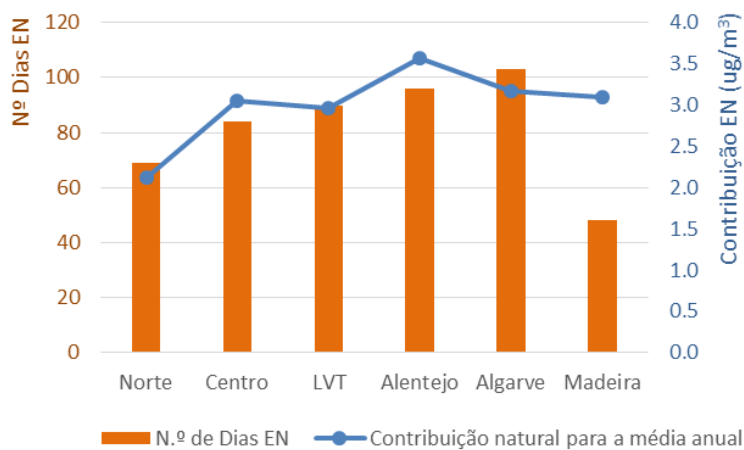


Figura 21. Contribuição da fração natural para a média anual de PM₁₀ e número de dias de EN identificados, por região, em 2021

Em 2021 a concentração média anual de PM₁₀, por região, foi semelhante à do ano de 2020, e significativamente inferior em relação a anos anteriores. Nestes anos de 2020 e 2021, devido à situação de pandemia de COVID-19, foram implementadas diversas medidas de contenção, que resultaram numa redução efetiva das deslocações da população e, conseqüentemente, do tráfego rodoviário, ainda que em recuperação em 2021, mas não chegando a atingir os níveis de 2019, sendo este um sector com peso não negligenciável nas emissões deste poluente.

Relativamente à verificação da conformidade legal face aos valores limites legais (VLA e VLD) de PM₁₀, verifica-se que em 2021 estes não foram ultrapassados. O valor limite diário foi excedido, mas em número inferior às 35 ultrapassagens diárias permitidas, por ano, pela legislação.

A aplicação da metodologia de desconto, da fração de origem natural, permite ainda destacar os seguintes aspetos:

- verifica-se que, em 2021, a fração natural contribuiu em média com 2,9 µg/m³ de acréscimo na média anual, o que representa um peso de 18% na média anual (tendo em conta as estações com eficiência ≥14%), valores superiores ao registado no ano anterior de 2020;
- o peso da contribuição de PM₁₀ de origem natural, para a média anual (ou seja, a intensidade dos eventos naturais), é mais significativo na região da Madeira, sendo de 3,1 µg/m³ (região esta com um menor número de dias de EN que o resto do país mas com maior contribuição de carga particulada para a média anual) e também na região Sul de Portugal Continental (sendo de 3,2 µg/m³, representando 23% da média anual de PM₁₀ na região do Algarve), tal como ilustrado na Figura 21. A região Norte é a que contabiliza um menor peso percentual da contribuição de origem natural na média anual de PM₁₀ (sendo em média de 2,1 µg/m³, o que se traduz em 14% da média anual). Esta contribuição é também superior em Zonas e inferior nas Aglomerações;
- em termos da contribuição dos eventos naturais para as excedências ao valor limite diário, verifica-se que esta é superior na região da Madeira (sendo de 9 dias, em média) e inferior na região Norte (sendo de 1 dia);
- os eventos registados durante os meses de fevereiro, março e abril foram os mais intensos, sendo aqueles em que se alcançaram as concentrações de PM₁₀ mais elevadas (com concentrações a exceder o valor limite diário em estações rurais de fundo);
- nas estações rurais de fundo registou-se um total de 51 excedências ao valor limite diário, em 2021, sendo que apenas três destas não foram em dias de ocorrência de evento natural;
- em termos de outras fontes naturais de partículas, o ano de 2021 caracterizou-se por ter pouca influência decorrente de incêndios florestais (sendo o ano com o valor mais reduzido em número de incêndios e o segundo mais reduzido em área ardida, dos últimos 10 anos), não tendo estes afetado as estimativas de cálculo da fração de origem natural (de poeiras provenientes dos desertos do Norte de África);
- ainda neste ano, nas Canárias, entre setembro e dezembro, teve lugar uma erupção do vulcão Cumbre Vieja, na Ilha de La Palma. A análise dos dados permitiu identificar um período, de 15 a 20 de outubro, em que se considera que a atividade vulcânica possa ter contribuído para um acréscimo de partículas em suspensão, com influência na Zona da Madeira/ Porto Santo, zona esta que, neste período, estava também sob a influência de poeiras com origem nos desertos do Norte de África;
- a contribuição das partículas, com origem nas regiões áridas do Norte de África, durante o ano de 2021, foi superior quer em número de dias de ocorrência quer em intensidade, face a anos anteriores (com exceção do ano de 2017).

6 Conclusões

O transporte a longa distância de partículas com origem natural, desde zonas áridas do Norte de África, como é o caso dos desertos do Sahara e Sahel, traduz-se num acréscimo dos níveis de partículas em suspensão (PM_{10}) à superfície, podendo este ser significativo. A metodologia utilizada no âmbito do presente estudo permitiu efetuar a identificação dos dias de ocorrência destes fenómenos, designados por eventos naturais, no território de Portugal Continental e Arquipélago da Madeira, bem como, efetuar a avaliação da sua contribuição no acréscimo de concentrações de partículas PM_{10} , medidas à superfície, nas estações das redes de monitorização da qualidade do ar.

A identificação dos dias de evento natural teve em conta a informação dada essencialmente pelos modelos BSC Dust Daily Forecast, SKIRON, HYSPLIT e NAAPS Global Aerosol Model, bem como, pelas concentrações de PM_{10} medidas nas estações de monitorização da qualidade do ar.

Relativamente aos dias de ocorrência de eventos naturais, em 2021, apuraram-se 127 dias com intrusões africanas representando 35% do ano, valor acima da média dos últimos dez anos. Os 127 dias de eventos naturais ocorreram distribuídos em 21 episódios, com uma duração média de 6 dias, valor mais elevado face a anos anteriores, devido à ocorrência mais frequente de episódios de longa duração (de 10 ou mais dias).

Manteve-se o padrão mais prevalente de ocorrência de um maior número de dias de evento natural nas regiões a sul decrescendo para as regiões mais a norte de Portugal Continental. No Arquipélago da Madeira manteve-se também a tendência de registo de menor número de dias de evento natural, mas com uma contribuição mais intensa nas concentrações de PM_{10} , face ao registado no território continental.

Verifica-se que os meses de maior ocorrência de eventos naturais têm apresentado alguma variabilidade nos últimos anos. O ano de 2021, em Portugal Continental, classificou-se como quente e seco, tendo-se registado episódios de evento natural em todos os meses do ano (exceto em janeiro), destacando-se março, junho, agosto e outubro com maior número de dias de evento natural.

No que diz respeito a outras fontes naturais de partículas, o ano de 2021 caracterizou-se por ter pouca influência decorrente de incêndios florestais (sendo o ano com o valor mais reduzido em número de incêndios e o segundo mais reduzido em área ardida, dos últimos 10 anos). Ainda neste ano, nas Canárias, entre setembro e dezembro, teve lugar uma erupção do vulcão Cumbre Vieja. A análise dos dados permitiu identificar um período, de 15 a 20 de outubro, em que se considera que a atividade vulcânica possa ter contribuído para um acréscimo de partículas em suspensão, com influência na Zona da Madeira/ Porto Santo, zona esta que neste período estava também sob a influência de poeiras com origem nos desertos do Norte de África.

Em 2021 a concentração média anual de PM_{10} , por região, foi semelhante à do ano de 2020, e significativamente inferior em relação a anos anteriores. Em relação à avaliação da conformidade legal face aos valores limites legais (anual e diário) verifica-se que em 2021 estes não foram ultrapassados. Registaram-se ultrapassagens ao valor limite diário mas em número permitido pela legislação, não se traduzindo em situações de inconformidade. Nas estações rurais de fundo registou-se um total de 51 excedências ao valor limite diário, sendo que apenas três destas não corresponderam a dias de evento natural.

Verifica-se que, em 2021, a fração natural contribuiu em média com 2,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de acréscimo na média anual, o que representa um peso de 18% na média anual, valor superior ao registado no anterior ano de 2020.

Pode concluir-se que a contribuição das partículas, com origem nas regiões áridas do Norte de África, durante o ano de 2021, foi superior quer em número de dias de ocorrência quer em intensidade, face a anos anteriores (com exceção do ano de 2017).

7 Referências bibliográficas

CUE - Conselho da União Europeia, (2011). *Commission staff working paper establishing guidelines for demonstration and subtraction of exceedances attributable to natural sources under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe*. 18 Fevereiro, Bruxelas.

Escudero M, Querol X, Pey J, et al, (2007). *A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks*. *Atmos Environ* 41:5516–5524. doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.04.047.

ICNF (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas), (2021). *8.º Relatório Provisório de Incêndios Rurais – 01 de janeiro a 15 de outubro, 8.º RPIR/DGPFR/2021, 18/10/2021*, Disponível em: <https://www.icnf.pt/api/file/doc/504914cdd1a211bb>.

IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera), (2022a). *Boletim Climatológico Anual 2021 – Resumo*. Versão 1.0, 14 de janeiro 2021, Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Divisão de Clima e Alterações Climáticas, Disponível em: https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20220114/OsDbAwhZGBQbeblJSLoA/cli_20211201_20211231_pcl_aa_co_pt.pdf.

IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera), (2022b). *Relatório Anual Incêndios Rurais 2021 – Análise Meteorológica & Índices de Perigo e de Risco*. Departamento de Meteorologia e Geofísica, Divisão de Previsão Meteorológica e Vigilância e Divisão de Clima e Alterações Climáticas, Disponível em: https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20220208/aSWWCruvIErclnNKvj/met_20211031_20220407_fog_ex_co_pt.pdf.

Querol, X., Alastuey, A., (1999). *Detection of Natural Events Influencing PM₁₀ Measurements*. Barcelona, Spain, [Documento não publicado].

Querol, X., Alastuey, A., Pey, J., Escudero, M., Castillo, S., Orío, A., González, M., Pallarés, M., Jiménez, S., Ferreira, F., Marques, F., Monjardino, J., Cuevas, E., Alonso, S., Artíñano, B., Salvador, P., de la Rosa, J., (2013), *Methodology for the identification of natural episodes in PM₁₀ and PM_{2,5}, and justification with regards to the exceedances of the PM₁₀ daily limit value*. Instituto de Diagnóstico Ambiental Y Estudios del Agua – CSIC - Ministerio de Ciencia e Innovación, Universidad Nova de Lisboa, AEMet-Izaña, CIEMAT, Universidad de Huelva, IDEA/CSIC. Barcelona, Spain.