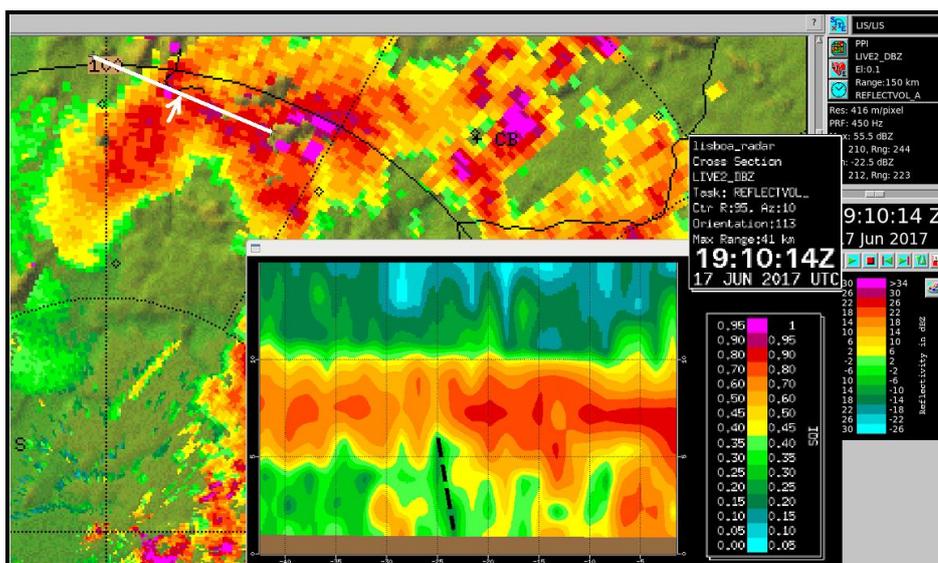


RELATÓRIO

ANÁLISE DETALHADA DA EVOLUÇÃO DA PLUMA DE INCÊNDIO

Incêndio de Pedrogão Grande



12 de setembro de 2017

Autoria IPMA:

Paulo Pinto

Álvaro Silva

Nuno Moreira

Pedro Viterbo

Colaboração CEIF-ADAI:

Domingos Xavier Viegas

Miguel Almeida

Luís Mário Ribeiro

Índice

PREÂMBULO.....	8
1 - INTRODUÇÃO.....	9
2 - METODOLOGIA	11
3 - DIAGNÓSTICO DA EVOLUÇÃO DA PLUMA.....	12
3.1 - EVOLUÇÃO A 900 M DE ALTITUDE (ANÁLISE BIDIMENSIONAL)	13
3.2 - EVOLUÇÃO DA ESTRUTURA VERTICAL (ANÁLISE TRIDIMENSIONAL).....	16
4 - GÉNESE DAS ALTERAÇÕES DO COMPORTAMENTO DA PLUMA.....	27
4.1 - PRIMEIRA INTENSIFICAÇÃO DA PLUMA (INÍCIO: 18:20 UTC)	28
4.2 - SEGUNDA INTENSIFICAÇÃO DA PLUMA (INÍCIO: 19:20 UTC)	34
4.3 – ANÁLISE CONCLUSIVA	39
5 - CONCLUSÕES	41
BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXO I - MINUTAS DAS REUNIÕES IPMA/CEIF-ADAI.....	45
ANEXO II - EVOLUÇÃO DE PLUMA DE INCÊNDIO EM 20 DE JUNHO 2017.....	48
ANEXO III - CONSIDERAÇÕES SOBRE O “SQI” E A LARGURA DO ESPETRO DOPPLER	56

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1 - Painel de observações PPZ (elevação 0.1°), em dBZ, radar de C/CL, 17 junho 2017. Observação das 15:00 UTC mostra a pluma geral com orientação de Nor-Noroeste, típica do período 14:10-15:40 UTC (ref tabela I). Observação das 17:00 UTC mostra a pluma geral com orientação de Nor-Nordeste, típica do período 15:50-18:00 UTC (ref tabela I). Observação das 18:20 UTC mostra a pluma geral com orientação de Nordeste, típica do período 18:10-21:00 UTC (ref tabela I) (Notas: orientações da pluma a traço branco; a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da pluma)..... 12
- Figura 2 - Área de referência utilizada para o estudo da evolução da pluma emergente do incêndio de Pedrogão Grande, a cerca de 900 m de altitude, 17 junho 2017, 17:00–19:20 UTC. Indicadas algumas localidades, vias rodoviárias N 236-1 e IC 8, limites de concelhos e delimitação do padrão da pluma emergente para os instantes indicados na legenda. Em cada instante (legenda) é possível ler o valor máximo de refletividade observado na pluma. Seta a preto assinala rumo aproximado de propagação da pluma, 120° (Sueste). (Nota: a delimitação da pluma não reflete, necessariamente, a posição das frentes de fogo em cada instante)..... 15
- Figura 3 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 17 junho 2017 (18:10-19:00 UTC). Secção de corte segundo o azimute de 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicados a bigorna (ref 18:10, 18:20 UTC), o núcleo convectivo (ref. 18:10, 18:20 UTC), a assinatura da pluma (ref. 18:10, 18:20 UTC, 19:00 UTC) e a altitude do topo da pluma pelas 18:50 UTC..... 19
- Figura 4 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 17 junho 2017 (19:10-20:00 UTC). Secção de corte segundo o azimute de 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a altitude do topo da pluma pelas 19:30 UTC..... 20
- Figura 5 - Perfil do terreno segundo o azimute de propagação de 120° (dirigido para 300°, noroeste). Escala horizontal (km) referenciada no ponto de localização da pluma emergente pelas 18:20 UTC (1ª intensificação da pluma). Representam-se a posição da EN 236-1 (seta) e a posição do axóide da pluma emergente, a 900 m de altitude, nos instantes indicados (UTC) a segmento tracejado, 17 junho 2017, 18:30-20:00 UTC..... 21
- Figura 6 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 17 junho 2017 (18:10-19:00 UTC). Secção de corte segundo o azimute de 10° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicados a bigorna (ref 18:10 UTC), a assinatura da pluma (ref. 18:10) e a altitude do topo da pluma pelas 18:50 UTC..... 23
- Figura 7 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 17 junho 2017 (19:10-20:00 UTC). Secção de corte segundo o azimute de 10° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. 24
- Figura 8 - Diagrama de propagação do axóide da pluma (baseado em cortes verticais de refletividade), com origem na localização aproximada da pluma emergente pelas 18:20 UTC (39.927° N, 8.190° O), sobre área para enquadramento. Incluídos azimutes de 10/10° entre 40° e 130°, e os azimutes de 10° e 170°. Incluída a marcação da EN 236-1 e troço do IC8). 17 junho 2017, 18:20–19:20 UTC. Salientado a traço preto o instante das 19:10 UTC em função de cada azimute..... 26

Figura 9 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (18:40 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120°, indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em cada um dos campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.	30
Figura 10 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (18:50 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120°, indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em cada um dos campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.	31
Figura 11 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (19:00 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em cada um dos campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.	32
Figura 12 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (19:10 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, no campo SQI. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.	33
Figura 13 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (19:20 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em ambos os campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.	35
Figura 14 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (19:30 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em ambos os campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.	36
Figura 15 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (19:50 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em ambos os campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.	37

- Figura 16 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (20:00 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em ambos os campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.38
- Figura 17 Anexo II - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 20 junho 2017 (15:00-15:50 UTC). Secção de corte segundo o azimute de orientação da pluma, com secção indicada a branco. Observador considerado a olhar para a secção vertical, de Oeste para Este. Escala vertical, em km, com discretização de 5 km; escala horizontal, em km, com discretização de 10 km. Indicada com setas a vermelho, a posição de linha de refletividade relevante, de 20 em 20 minutos, sobre a imagem de PPZ.52
- Figura 18 Anexo II - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 20 junho 2017 (16:00-16:50 UTC). Secção de corte segundo o azimute de orientação da pluma, com secção indicada a branco. Observador considerado a olhar para a secção vertical, de Oeste para Este. Escala vertical, em km, com discretização de 5 km; escala horizontal, em km, com discretização de 10 km. Indicada com setas a vermelho, a posição de linha de refletividade relevante, de 20 em 20 minutos, sobre a imagem de PPZ.53
- Figura 19 Anexo II - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 20 junho 2017 (17:00-17:50 UTC). Secção de corte segundo o azimute de orientação da pluma, com secção indicada a branco. Observador considerado a olhar para a secção vertical, de Oeste para Este. Escala vertical, em km, com discretização de 5 km; escala horizontal, em km, com discretização de 10 km. Indicada com setas a vermelho, a posição de linha de refletividade relevante, de 20 em 20 minutos, sobre a imagem de PPZ.54
- Figura 20 Anexo II - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 20 junho 2017 (18:00-18:10 UTC). Secção de corte segundo o azimute de orientação da pluma, com secção indicada a branco. Observador considerado a olhar para a secção vertical, de Oeste para Este. Escala vertical, em km, com discretização de 5 km; escala horizontal, em km, com discretização de 10 km. Indicada com setas a vermelho, a posição de linha de refletividade relevante, pelas 18:00 UTC, sobre a imagem de PPZ.55

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

ADAI - Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

C/CL – Radar de Coruche/Cruz do Leão

DivCA – Divisão de Clima e Alterações Climáticas

DivMV – Divisão de Previsão Meteorológica, Vigilância e Serviços Espaciais

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

LIDAR – Light Detection And Ranging

MDS – minimum discernible signal (-10 dBZ)

PPI – Indicador de Posição Plana

PPZ – PPI de Z (refletividade)

RADAR – RAdio Detection And Ranging

SQI – Signal Quality Index

UTC – tempo universal coordenado

Z - refletividade

PREÂMBULO

O presente relatório contém uma análise detalhada da evolução da pluma do incêndio de Pedrogão Grande, com particular enfoque para o período compreendido entre as 17:00 e as 20:00 UTC do dia 17/06/2017. Após uma secção introdutória (1.), inclui uma descrição da metodologia (2.) idealizada para extrair das observações efetuadas com radar o máximo de elementos essenciais a um diagnóstico meteorológico coerente. A metodologia aplicada traduziu-se numa interpretação da evolução da pluma de incêndio observada a cerca de 900 m de altitude (3.1.) e num diagnóstico da evolução da mesma no que respeita à sua estrutura vertical (3.2.). Foram apresentadas propostas explicativas da fenomenologia que, sequencialmente, esteve presente sobre a área e período de interesse (4.0) e elencadas as conclusões (5.). Em anexo são apresentados diversos elementos de interesse e adiante referidos.

A equipa do Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (CEIF), da Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI), doravante designada por Comissão CEIF-ADAI, coordenada pelo Professor Xavier Viegas, foi incumbida, por solicitação do Ministério da Administração Interna, em 20/06/2017, de realizar o “Estudo sobre o desenvolvimento e comportamento do incêndio florestal com início em Pedrogão Grande”. No âmbito da realização desse estudo, a referida comissão entendeu solicitar ao IPMA informação meteorológica de interesse. No seguimento desse pedido, a Comissão CEIF-ADAI solicitou ao IPMA a realização de diversas reuniões técnicas, que tiveram lugar em julho e agosto. As respetivas minutas apresentam-se no Anexo I. A fim de alcançar conclusões detalhadas sobre a interação entre o incêndio e as condições meteorológicas observadas, foi definido, nessas reuniões:

- analisar a evolução da pluma do incêndio de Pedrogão Grande, com recurso a radar meteorológico, de modo mais aprofundado do que o já efetuado no relatório do IPMA, de 30/06/2017;
- analisar, comparativamente, a evolução da pluma do incêndio de Pedrogão Grande com a evolução da pluma associada a um outro incêndio, considerado como referência (esta avaliação comparativa figura no Anexo II).

1 – INTRODUÇÃO

O objetivo central desta análise consistiu em avaliar a evolução temporal da estrutura e propagação da pluma associada ao incêndio de Pedrogão Grande, designadamente no volume atmosférico situado nas imediações da estrada EN 236-1, durante o período de maior relevância. Desta evolução foram extraídas conclusões relativas aos fenómenos e processos presentes no referido volume da atmosfera. A área de interesse foi extensamente explicitada no relatório do IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera), de 30 de junho de 2017, doravante referido como “relatório do IPMA”. O período total sob avaliação foi constituído pelo lapso de tempo compreendido entre o início da deteção da pluma com o radar, pelas 14:10 UTC, e o instante das 21:00 UTC (UTC, Tempo Universal Coordenado, -1 hora do que a hora legal, de verão). O período mais crítico foi balizado pelo intervalo situado entre as 17:00 UTC e as 20:00 UTC.

Esta análise revelou que a evolução da pluma foi caracterizada por uma grande complexidade que se refletiu, designadamente, na observação de processos de intensificação. Atendendo a esta complexidade, entendeu-se que a compreensão dos processos físicos envolvidos beneficiaria de uma análise comparativa com outro caso. Esta análise incidiu sobre a pluma do incêndio de Góis, no dia 20/06/2017, tendo sido seguida a sua evolução e verificadas algumas diferenças significativas, face ao caso de Pedrogão Grande.

Neste contexto de análise essencialmente fundamentada em observações efetuadas com radar meteorológico, o termo “pluma” refere-se ao padrão de refletividade (Z, expressa em dBZ) associável a um foco de incêndio, segundo os critérios descritos mais adiante. Em particular, o termo “pluma emergente” refere-se à área do padrão que, pelas suas características (igualmente adiante discutidas), se localize mais diretamente sobre o foco de incêndio gerador da pluma. O termo “pluma geral” aplica-se à esteira da pluma emergente, ou seja, ao padrão correspondente à totalidade da pluma observada pelo radar.

O sistema de radar em que a presente análise se baseia, radar de Coruche/Cruz do Leão (C/CL), está equipado com tecnologia de polarização simples (PS), a qual não permite a discriminação entre diversos tipos de retrodifusores presentes na atmosfera (e.g., hidrometeoros e partículas de fumo de incêndio). Esta característica determinou a opção pela aplicação de técnicas de análise subjetiva sobre o campo da refletividade, com base em critérios de persistência e evolução. Estas técnicas foram aplicadas sobre sucessivos produtos PPZ (PPI sobre o campo de Z) na elevação mais baixa e sobre cortes verticais obedecendo a uma metodologia idealizada. A aplicação destas técnicas permitiu identificar, na maioria dos instantes observacionais, a presença de padrões associáveis a pluma de incêndio na área de referência. O facto de a desejada identificação não ter sido viável em todos os momentos decorre, em alguma medida, de a tecnologia de PS não viabilizar a distinção entre retrodifusores de tipo hidrometeorológico e retrodifusores de pluma de incêndio que, por vezes, se verificou terem coexistido nos mesmos volumes de observação radar.

2 - METODOLOGIA

Os critérios cumulativamente utilizados para identificar, subjetivamente e sobre cortes verticais, a presença da pluma foram: (i) a observação de um padrão correspondente a um valor máximo relativo no campo da refletividade, com uma estrutura essencialmente vertical e com um incremento sistemático daquela grandeza em relação à superfície; (ii) a verificação de que o referido padrão tende a apresentar uma coerência evolutiva entre observações sucessivas. O critério (i) fundamenta-se na gênese de uma pluma de incêndio. Nesta, ainda que os retrodifusores possam ser transportados e dispersos em altitude, tendem a apresentar maiores dimensões e uma maior concentração nas proximidades do foco do incêndio, que gera correntes convectivas essencialmente verticais. Deste modo, é admissível que os valores de máximo relativo da refletividade se situem tipicamente nos níveis mais baixos e que ocorra uma redução monotónica da refletividade para níveis superiores. O critério (ii) fundamenta-se na experiência observacional. A experiência relativa à observação de plumas de incêndio com radar, não é muito extensa, dado que na maioria dos casos as plumas de incêndio não são detetadas (dada a sua presença em volumes atmosféricos não observáveis pelo radar) ou não é possível efetuar a sua discriminação adequada, em face da coexistência com outras fontes de refletividade (hidrometeoros, insetos, *clutter*, etc) nos volumes observados. No entanto, dos casos que têm sido observados no passado, fica a evidência de que as plumas de incêndio tendem a apresentar-se quasi-estacionárias, propagando-se em resposta direta à localização do, ou dos, focos de incêndio. Por vezes é observada a sua deslocação, normalmente muito lenta em face da, normalmente também lenta, propagação do incêndio gerador. Em qualquer caso, é relevante identificar coerência no posicionamento da pluma entre observações (à semelhança do que ocorre com nuvens de hidrometeoros, que se propagam geralmente mais rapidamente).

A localização, em cada instante, da “pluma emergente” assinala, nesse mesmo instante, a posição do chamado axóide da pluma, termo que doravante se utilizará repetidamente.

No local de coordenadas 39.956° N, 8.156° O, pelas 14:10 UTC (15:10 hora local), foi efetuada a primeira deteção da pluma correspondente ao incêndio de Pedrogão Grande, pouco a Norte de Escalos Fundeiros. Pelas 14:40 UTC, no local de coordenadas 39.950° N, 8.276° O foi efetuada a deteção de uma outra pluma, nas proximidades de Moninhos, a qual só foi observada até às 15:40 UTC. A análise foi efetuada sobre a evolução da primeira das plumas referidas.

3 - DIAGNÓSTICO DA EVOLUÇÃO DA PLUMA

Para o período 14:10–21:00 UTC, foi analisada a orientação da pluma geral associada ao incêndio com recurso ao produto PPZ. Com base na técnica utilizada, foi útil verificar as orientações da pluma referenciadas para cada um dos períodos que se consideram e apresentam na Tabela 1. Na Figura 1 é identificável a orientação da pluma geral em 3 instantes distintos, cada um dos quais considerado representativo de cada período. Faz-se notar que a camada em que estas observações de PPZ foram efetuadas corresponde a 600–900 m de altitude, o que significa que na Tabela 1 se apresenta a orientação da pluma apenas nos níveis mais baixos que o radar de C/CL consegue efetivamente observar.

Tabela 1 - Orientação da pluma de incêndio observada com o radar de C/CL (Coruche/Cruz do Leão) (camada 600 – 900 m de altitude)

Período (UTC)	Orientação (qualitativa)
14:10 – 15:40	Nor-Noroeste
15:50 – 18:00	Nor-Nordeste
18:10 – 21:00	Nordeste

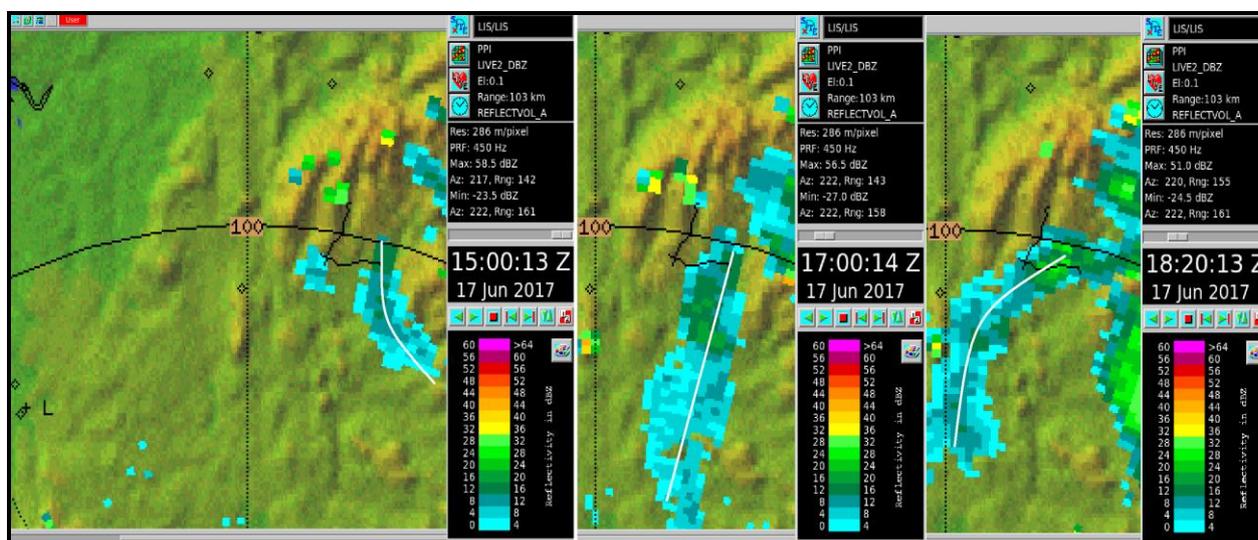


Figura 1 - Painel de observações PPZ (elevação 0.1°), em dBZ, radar de C/CL, 17 junho 2017. Observação das 15:00 UTC mostra a pluma geral com orientação de Nor-Noroeste, típica do período 14:10-15:40 UTC (ref tabela I). Observação das 17:00 UTC mostra a pluma geral com orientação de Nor-Nordeste, típica do período 15:50-18:00 UTC (ref tabela I). Observação das 18:20 UTC mostra a pluma geral com orientação de Nordeste, típica do período 18:10-21:00 UTC (ref tabela I) (Notas: orientações da pluma a traço branco; a preto, a digitalização da EN 236-1 e traço do IC8, próximo da pluma).

Para além desta monitorização da orientação da esteira da pluma de incêndio, a baixa altitude, foi essencial avaliar com o detalhe possível, a evolução da pluma a partir da identificação da chamada “pluma emergente”. Recorda-se que esta denominação se aplica à componente da

pluma que, por análise subjetiva, aparentar estar localizada próximo do foco do incêndio gerador.

O diagnóstico da evolução temporal da estrutura e da localização da pluma associável ao incêndio de Pedrogão Grande, nas imediações da estrada EN 236-1 e durante o período de maior relevância, foi efetuado segundo uma análise bidimensional (2D) e tridimensional (3D), seguidamente discutidas separadamente e em detalhe.

A análise 2D, assentou na interpretação subjetiva de sucessivos produtos PPZ da elevação mais baixa disponível (0.1°).

A análise 3D, baseou-se na interpretação subjetiva de cortes verticais executados sobre o campo tri-dimensional da refletividade. O trabalho de campo já realizado pelo IPMA (ver relatório de missão DivCA/DivMV nº 01/2017) permitiu recolher um conjunto de elementos, dos quais resulta a evidência de que o rumo do vento forte sobre a área de interesse se terá situado entre 50° e 130°, consoante os locais. Não obstante se reconhecer que a dinâmica intrínseca ao próprio incêndio pode influenciar o rumo do vento a escalas locais, existem indícios considerados suficientes (danos em vegetação e relatos) para admitir que o escoamento atmosférico terá desempenhado um papel de relevo. Nesta medida, foi considerado útil avaliar a evolução da pluma nas proximidades da EN 236-1, durante o período relevante, segundo setores azimutais compatíveis com a gama azimutal referida, situada entre 50° e 130°. O período esteve compreendido entre as 17:50 e as 21:00 UTC. Foram efetuados cortes verticais com uma extensão fixa de 40 km, centrados na localização aproximada da pluma emergente pelas 18:20 UTC (39.927° N, 8.191° O), por ter sido esse o instante em que foi observada a sua intensificação inicial, conforme já havia sido salientado no relatório do IPMA. Foi concedida uma tolerância de 10° aos limites do setor azimutal atrás referido, tendo em atenção a salvaguarda de eventuais erros de avaliação decorrentes do referido trabalho de campo. Para além do setor 40-140° foi, ainda, considerada a execução de cortes nos azimutes de 10° e 170°, como meio de controlo (consolidar conclusões contrastantes com as extraídas para os outros azimutes). Os cortes foram efetuados com uma discretização de 10° em azimute, considerada a adequada face à resolução do feixe radar sobre a área em estudo.

3.1 - EVOLUÇÃO A 900 M DE ALTITUDE (ANÁLISE BIDIMENSIONAL)

Durante o período compreendido entre as 17:00 e as 21:00 UTC foi verificada a evolução temporal da chamada “pluma emergente”, quer quanto aos valores máximos de refletividade radar exibidos em cada instante, quer quanto ao rumo e velocidade da sua propagação. Dada a área sobre a qual a pluma emergente foi observada pelo radar de C/CL, considera-se que a evolução foi analisada a cerca de 900 m de altitude. Esta análise bidimensional permitiu delimitar subjetivamente o padrão da pluma emergente, isto é, o padrão da fração da pluma que, com maior probabilidade, se encontraria mais diretamente associada ao foco do incêndio gerador. Dentro dos limites espaciais assim determinados para a pluma emergente, em cada instante, foi observado um valor máximo de refletividade.

A Figura 2 ilustra a evolução verificada para a pluma emergente, a 900 m de altitude, durante o período referido, embora se representem apenas 6 instantes considerados relevantes, para uma maior facilidade interpretativa. Neste período, são notórios três comportamentos fundamentais:

1) Mudança do rumo do escoamento em níveis baixos, pelas 18:20 UTC

Como é visível na Figura 2, a delimitação do padrão identificado para a pluma emergente, em cada instante representado, mostra que a mesma, particularmente após as 18:20 UTC, passou a deslocar-se segundo um azimute aproximado de 120°. Atendendo a que o padrão da pluma geral se apresentou sempre com uma orientação de Nor-Nordeste durante todo o período 15:50-21:00 UTC (ver Tabela 1), e que esta orientação era determinada pelo escoamento predominante a níveis situados acima dos 600-700 m de altitude, conclui-se que o estímulo da propagação da pluma situada junto ao foco de incêndio, para Noroeste, deverá ter sido induzido por um escoamento atmosférico organizado a baixa altitude, próximo da superfície, e dirigido de Sueste para Noroeste.

2) Incremento da velocidade de propagação pouco após as 18:20 UTC

No período 17:00–18:20 UTC, observou-se que a pluma emergente se propagou segundo vários rumos (inclusive de Norte para Sul), em resposta ao escoamento predominante nos vários instantes. Esta propagação ocorreu a uma velocidade moderada, tendo o centróide da pluma (não representado) percorrido cerca de 3.0 Km durante este período de 1h20 min. Subitamente, pelas 18:20 UTC, a pluma sofreu uma intensificação (adiante discutida e observável pelo aumento da sua refletividade e, posteriormente, pelo aumento da sua extensão vertical). Um pouco após, pelas 18:30-18:40 UTC, a pluma acelerou, tendo o respetivo centróide sofrido uma deslocação de cerca de 3.5 Km no curto período de 40 min, compreendido entre as 18:40 UTC e as 19:20 UTC. Pelas 19:20 UTC o centróide da pluma situava-se sobre a EN 236-1. Conclui-se que a velocidade de propagação mais do que duplicou entre os dois períodos temporais confrontados.

3) Aumento no valor da refletividade da pluma após as 18:20 UTC

No período 17:00–18:20 UTC (exclusive) a pluma emergente manteve valores máximos de refletividade inferiores a 20 dBZ (ver Figura 2). Após este instante, o valor máximo aumentou significativamente, tendo alcançado cerca de 32 dBZ pelas 19:00 UTC.

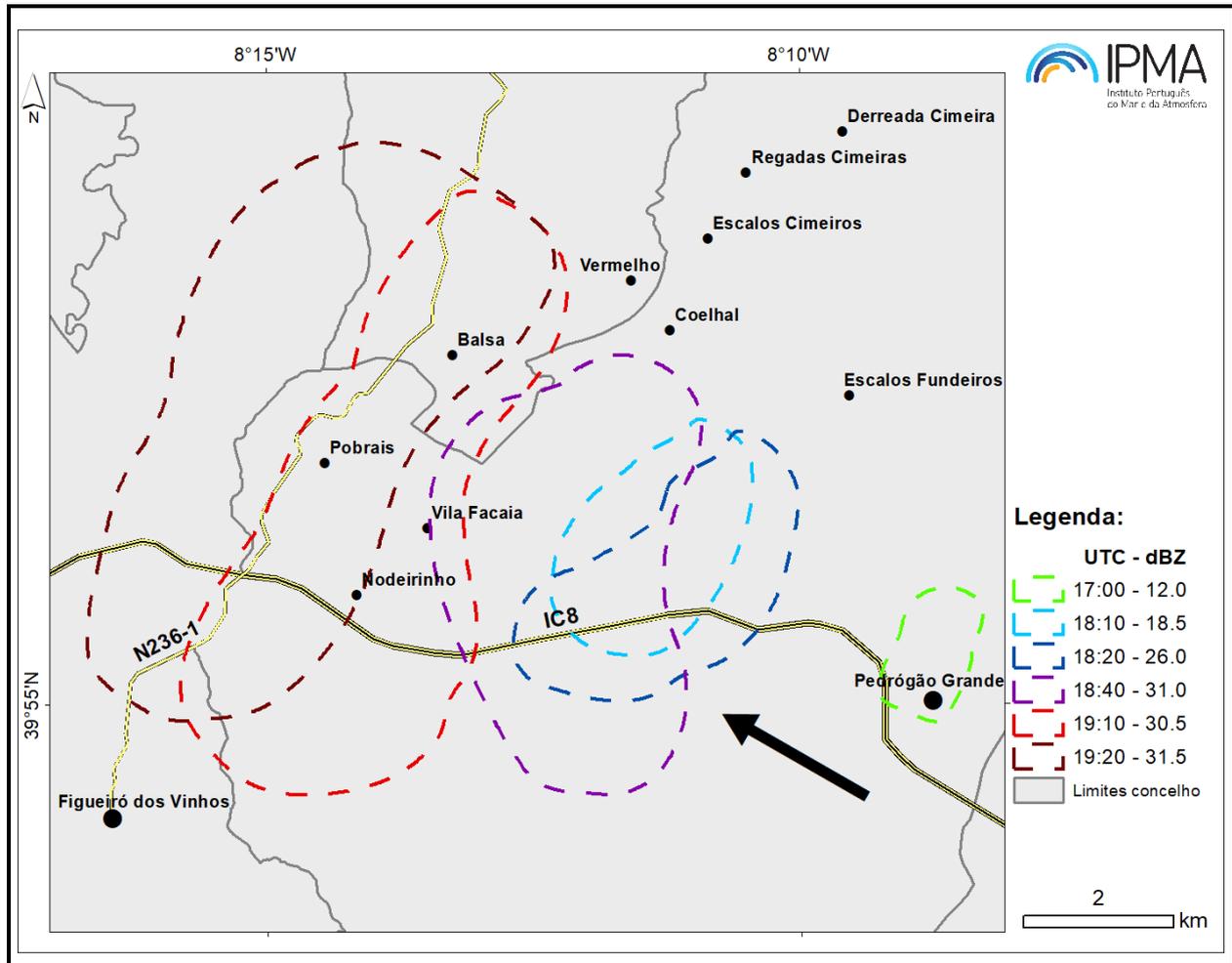


Figura 2 - Área de referência utilizada para o estudo da evolução da pluma emergente do incêndio de Pedrogão Grande, a cerca de 900 m de altitude, 17 junho 2017, 17:00–19:20 UTC. Indicadas algumas localidades, vias rodoviárias N 236-1 e IC 8, limites de concelhos e delimitação do padrão da pluma emergente para os instantes indicados na legenda. Em cada instante (legenda) é possível ler o valor máximo de refletividade observado na pluma. Seta a preto assinala rumo aproximado de propagação da pluma, 120° (Sueste). (Nota: a delimitação da pluma não reflete, necessariamente, a posição das frentes de fogo em cada instante).

Estes comportamentos sugerem que entre as 18:20 UTC e as 19:20 UTC, a pluma não só passou a propagar-se bastante mais rapidamente, como apresentou valores de refletividade mais elevados, em níveis baixos. A refletividade radar é diretamente proporcional à concentração dos retrodifusores presentes no volume atmosférico e proporcional à 6ª potência do seu diâmetro. A variação citada corresponderá, portanto, a um aumento na dimensão e/ou concentração de partículas de fumo em suspensão. Admitindo que a pluma apresenta características associadas ao incêndio gerador, admite-se que pelas 18:20 UTC tenha ocorrido uma alteração muito significativa nas condições do incêndio.

Entretanto, pelas 19:20 UTC, teve início um segundo processo de intensificação da pluma emergente. Esta intensificação será objeto de uma discussão mais detalhada no ponto seguinte.

3.2 - EVOLUÇÃO DA ESTRUTURA VERTICAL (ANÁLISE TRIDIMENSIONAL)

Durante o período compreendido entre as 17:50 e as 21:00 UTC foi analisada a evolução da pluma emergente, quer quanto à sua propagação em níveis baixos, quer quanto à sua expressão vertical e desenvolvimento em altitude. Esta análise 3D permitiu investigar, de modo detalhado, os rumos segundo os quais a pluma se propagou mais efetivamente e os rumos em que o seu desenvolvimento vertical foi mais expressivo, após as 18:20 UTC, instante em que foi observada a primeira intensificação da pluma. A análise foi efetuada segundo o método descrito no ponto “Metodologia”, lembrando-se que se baseou em cortes verticais executados sobre o campo da refletividade, com uma extensão fixa de 40 km e centrados na localização aproximada da pluma emergente às 18:20 UTC. No campo tridimensional da refletividade, disponível com periodicidade de 10 minutos, foram observadas as sucessivas posições da pluma emergente e evolução da sua extensão vertical, segundo cada um dos rumos das secções efetuadas. Estes dois elementos basearam-se na:

- Monitorização da posição do axóide da pluma emergente ao longo da secção selecionada;
- Monitorização dos valores máximos de refletividade no axóide da pluma emergente;
- Monitorização dos valores máximos da altitude alcançada pelo topo da pluma emergente, em cada processo de intensificação.

Da análise extensiva de todas as secções de corte efetuadas (40° a 140°; 10° e 170°), e sem prejuízo de um conjunto de conclusões que adiante se apresentarão, constatou-se que, durante o período 17:50 – 21:00 UTC:

- 1 - A pluma do incêndio evoluía por debaixo de uma bigorna, associada ao sistema convectivo que se aproximava da mesma (a bigorna ocupa um volume essencialmente estável do sistema convectivo);
- 2 – A propagação da pluma foi um pouco mais vigorosa segundo dois rumos, um centrado em 70°, o outro centrado em 120°; no entanto, verificou-se que a pluma se propagou de modo rápido em todo o setor azimutal (40°-140°), como adiante se detalhará;
- 3 - Ocorreram intensificações da pluma, em dois momentos distintos (18:20 e 19:20 UTC);
- 4 - Cada processo de intensificação da pluma mencionada no ponto anterior, teve como reflexo o seu crescimento vertical, alcançando-se a altitude máxima da pluma cerca de 10 a 30 minutos após o início do processo;
- 5 – Após a primeira intensificação observada, a pluma emergente acelerou a sua propagação de modo muito expressivo. No segundo caso, a aceleração da propagação não foi evidente;

Uma vez que seria fastidioso apresentar todos os cortes efetuados e utilizados na extração das conclusões relativas à evolução da estrutura vertical da pluma, a apresentação de cortes limitar-se-á, no presente relatório, aos casos considerados mais relevantes para a discussão (Figura 3 e Figura 4). Como se referiu, os dois rumos segundo os quais a propagação da pluma foi mais vigorosa, a partir da sua localização aquando da primeira intensificação, foram os de 70° e 120°. Nestes, foi possível identificar melhor os vários processos que seguidamente se descrevem. No entanto, nos restantes azimutes inscritos no setor azimutal (40°-140°), também foi verificada uma substancial propagação da pluma.

Será detalhadamente discutida a evolução da pluma segundo o rumo de 120° e, em termos comparativos, analisada a mesma evolução segundo o rumo de 10°. Este último correspondeu a um dos azimutes selecionado como rumo de controlo e segundo o qual a pluma não se propagou. O período apresentado centra-se no intervalo compreendido entre as 18:10 UTC e as 20:00 UTC, uma vez que se verificou ter sido neste lapso de tempo que ocorreram os fenómenos mais relevantes ao presente diagnóstico.

A Figura 3 e a Figura 4, adiante apresentadas, representam os diversos instantes observacionais em que foram efetuadas secções de corte segundo o azimute de 120°, para o período 18:10–20:00 UTC. Em todas as secções apresentadas, o campo que figura na imagem, por baixo da secção de corte, corresponde à refletividade observada na elevação mais baixa (PPZ de 0.1° de elevação) rastreada pelo radar de C/CL. Sobre este campo é marcada a secção de corte segundo o azimute de interesse (no presente caso, 120°), assumindo-se sempre que o observador se encontra no quadrante Sul do corte, como se indica pela seta branca adjacente a cada secção de corte. Assim, pode considerar-se que para a direita no plano de corte, se situam quadrantes de Este e, para a esquerda, de Oeste. O campo que se apresenta em corte corresponde ao campo da refletividade observado segundo a vertical. A escala vertical do plano de corte tem amplitude de 15 km e a horizontal de 40 km, sendo a discretização de ambas as escalas, de 5 km.

Na Figura 3 pode ser acompanhada a evolução da estrutura vertical da pluma emergente, durante o período 18:10–19:00 UTC, segundo o referido azimute. Pelas 18:20 UTC, é evidente que na pluma emergente se começa a observar um processo de intensificação. Verifica-se que este processo se traduz num incremento (temporário) da sua refletividade nos níveis mais baixos e, posteriormente, num alongamento vertical do seu padrão, que atinge o auge pelas 18:50 UTC. Neste momento o topo da pluma alcançou cerca de 13000 m de altitude. A extrema robustez da convecção que se consubstanciou neste desenvolvimento pode ser apreciada tendo em conta, por um lado, que a pluma do incêndio forçou a sua ascensão através da própria bigorna e, por outro, que o respetivo topo se situou cerca de 3000 m acima desta. A bigorna constitui um volume geralmente estável da massa nebulosa e, portanto, pouco favorável a movimentos ascendentes. O topo da bigorna, por sua vez, encontra-se normalmente um pouco abaixo da tropopausa (que se situava a cerca de 13500 m de altitude sobre aquela região, dia 17 de junho) ou, pelo menos, do chamado nível de equilíbrio. Em níveis situados acima do nível de equilíbrio, os movimentos ascendentes tendem a ser refreados graças à natureza estável desses volumes atmosféricos. Note-se, adicionalmente, que

a ascensão desde o nível que vinha mantendo nas anteriores observações, até ao topo, situado a 13000 m, foi consumada em 30 minutos. Após alcançar o nível mais elevado e nele se ter mantido por 10 minutos, existem evidências observacionais de que o topo da pluma terá começado a descer bruscamente, condição que indicia o colapso da pluma convectiva de incêndio. Este colapso terá sido determinante na rápida propagação da pluma emergente nos instantes seguintes e será detalhadamente discutido no ponto 4. Pelas 19:00 UTC, antes do referido colapso, continua a ser visível a assinatura da pluma emergente (ver Figura 3). Entretanto, na Figura 4, verifica-se que pelas 19:20 UTC ocorre novamente o início de um processo de incremento (temporário) da refletividade da pluma emergente nos níveis mais baixos observados pelo radar. Em seguida, verifica-se um crescimento da pluma que atinge cerca de 13500 m de altitude, logo após, pelas 19:30 UTC. A convecção foi igualmente bastante intensa.

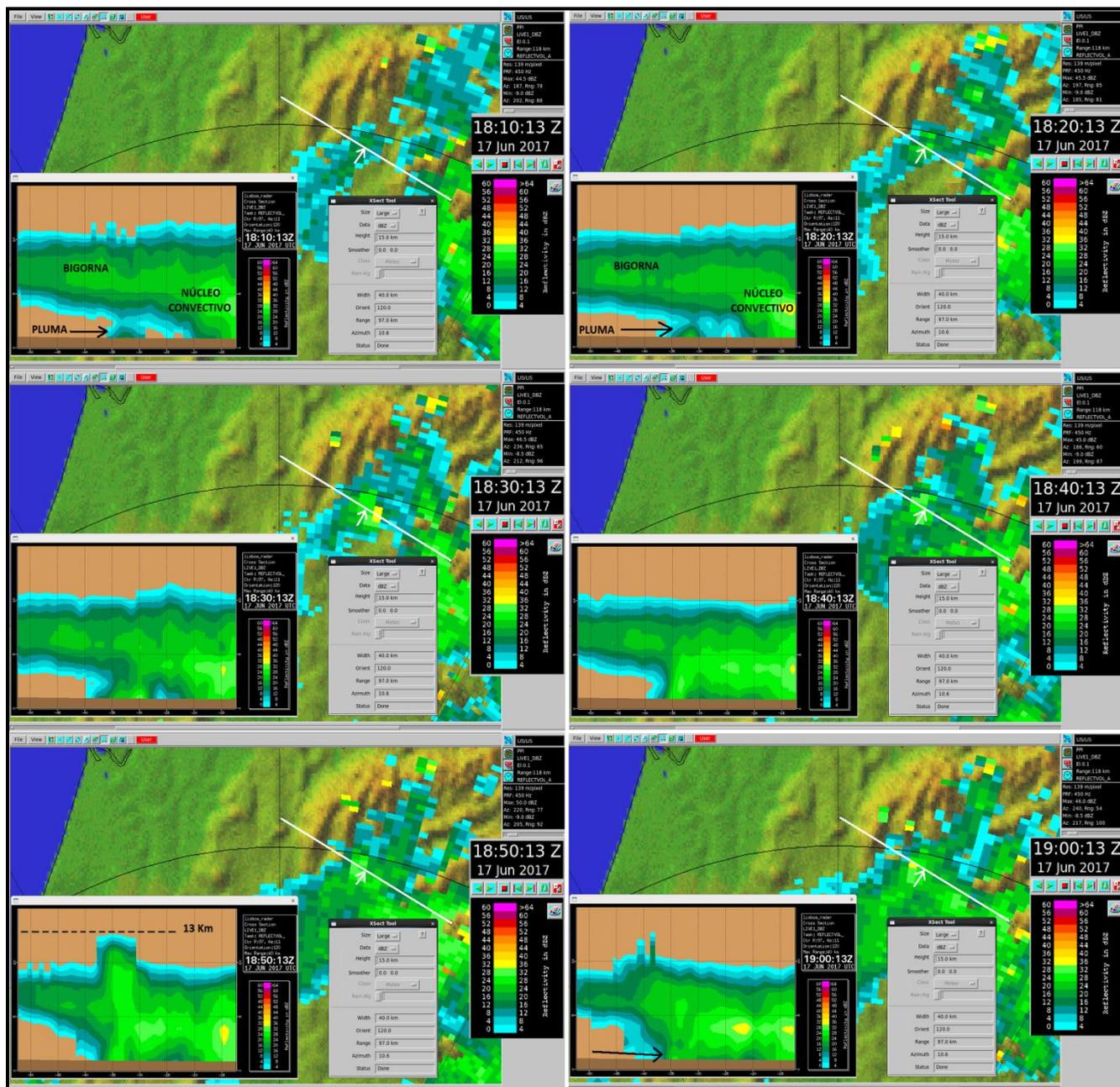


Figura 3 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 17 junho 2017 (18:10-19:00 UTC). Secção de corte segundo o azimute de 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicados a bigorna (ref 18:10, 18:20 UTC), o núcleo convectivo (ref. 18:10, 18:20 UTC), a assinatura da pluma (ref. 18:10, 18:20 UTC, 19:00 UTC) e a altitude do topo da pluma pelas 18:50 UTC.

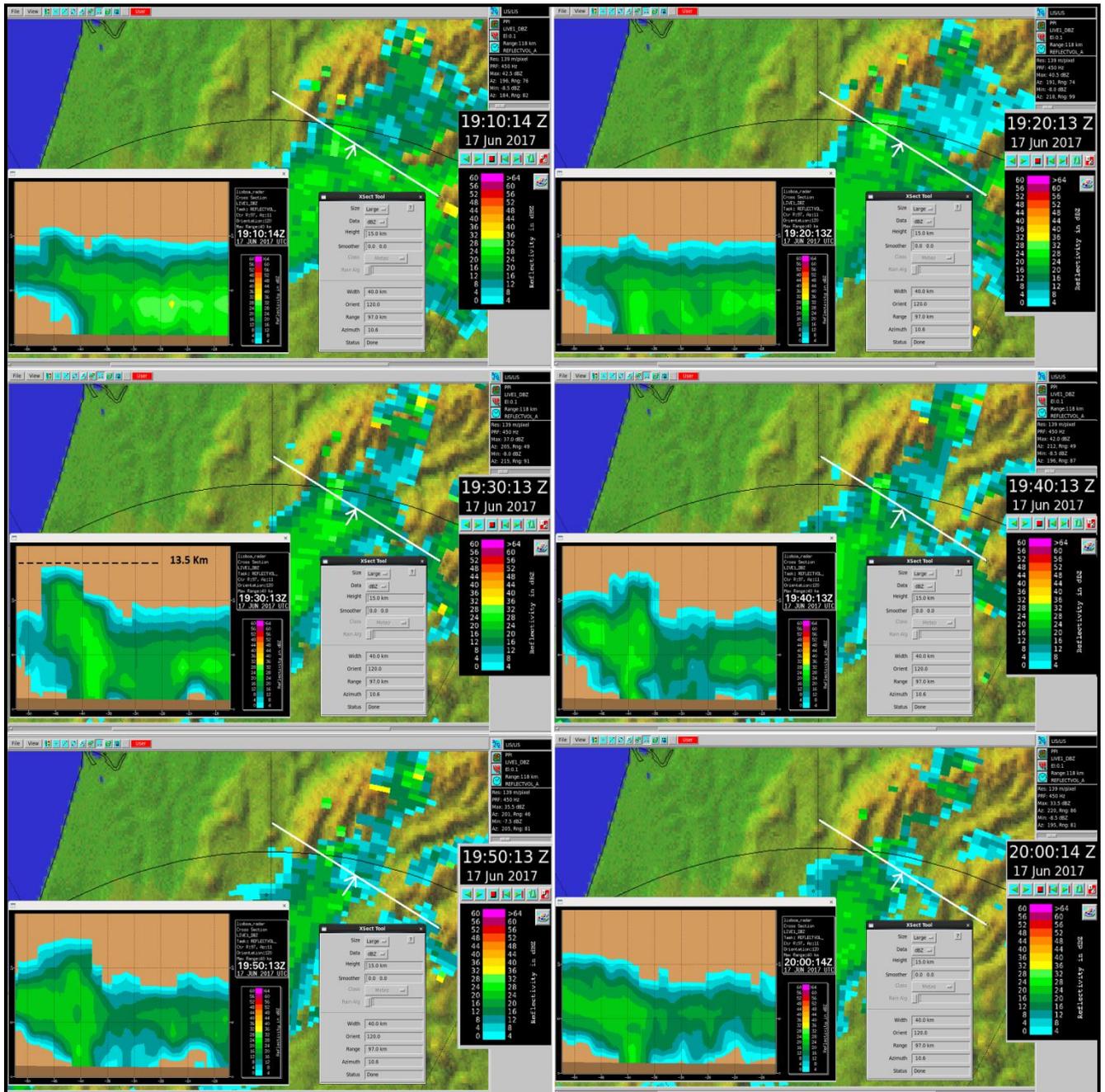


Figura 4 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 17 junho 2017 (19:10-20:00 UTC). Secção de corte segundo o azimute de 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a altitude do topo da pluma pelas 19:30 UTC.

Para uma avaliação sumária da progressão da pluma emergente no contexto da orografia da área, representa-se, na Figura 5, o perfil do terreno segundo o azimute de 120°, durante o período mais crítico, compreendido entre as 18:20 e as 20:00 UTC. É visível que após a primeira intensificação, iniciada pelas 18:20 UTC, o axóide da pluma se propagou para Noroeste (da direita para a esquerda, no gráfico), de modo moderado e apresentando até alguma estagnação da propagação no período 18:40–19:00 UTC. No entanto, entre as 19:00 e as 19:10 UTC, a pluma acelerou a sua propagação de modo muito expressivo, tendo alcançado aí a

velocidade máxima durante todo o período sob análise. Nesse curto período de 10 minutos, em que o axóide da pluma cruzou a EN 236-1, o perfil do terreno apresentava cotas crescentes, como a Figura 5 documenta. Já após a segunda intensificação da pluma, que se iniciou pelas 19:20 UTC, seguiu-se um período de estagnação, durante o qual a velocidade de propagação foi muito menos significativa do que após a primeira intensificação ocorrida.

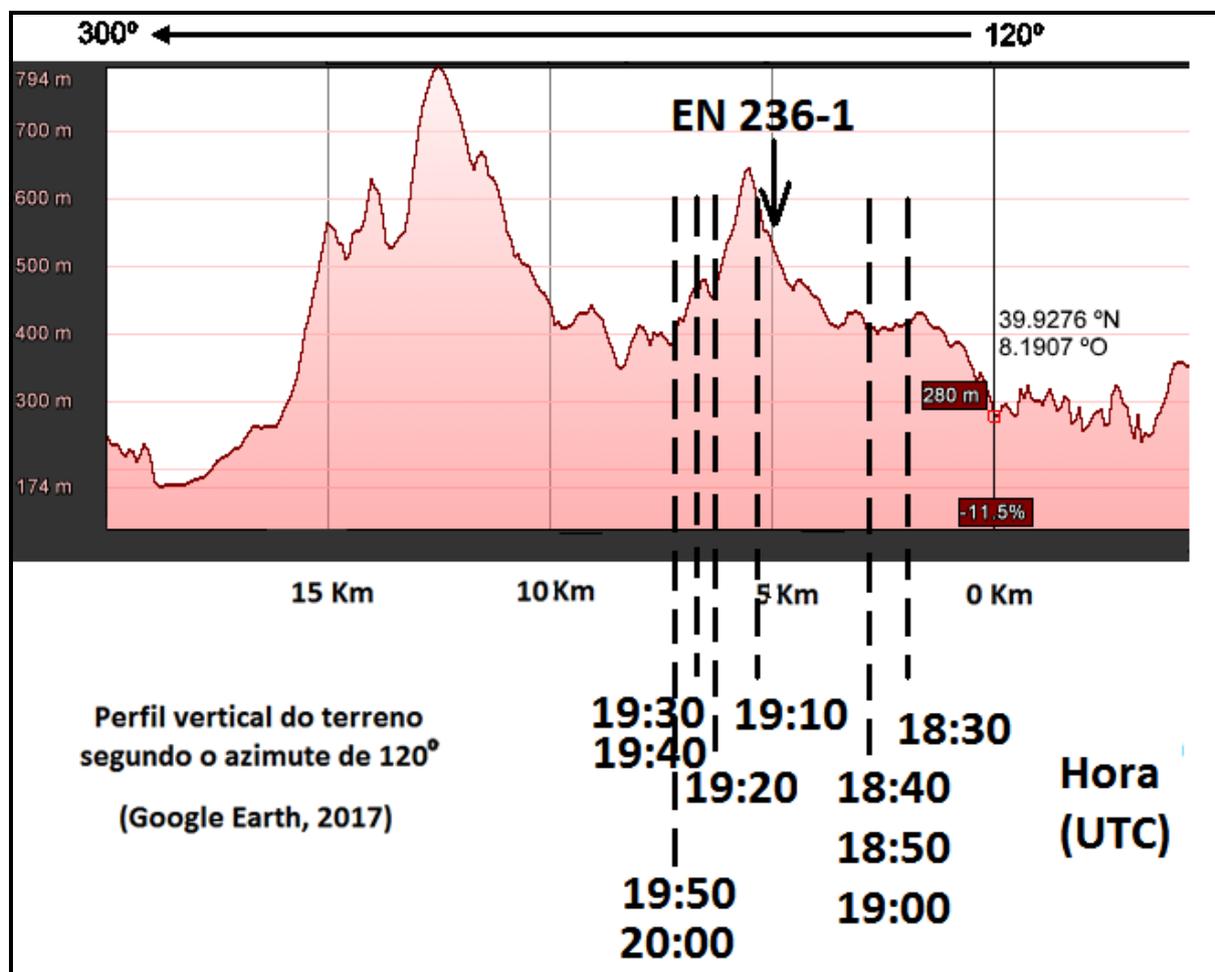


Figura 5 - Perfil do terreno segundo o azimute de propagação de 120° (dirigido para 300°, noroeste). Escala horizontal (km) referenciada no ponto de localização da pluma emergente pelas 18:20 UTC (1ª intensificação da pluma). Representam-se a posição da EN 236-1 (seta) e a posição do axóide da pluma emergente, a 900 m de altitude, nos instantes indicados (UTC) a segmento tracejado, 17 junho 2017, 18:30-20:00 UTC.

Seguidamente apresenta-se uma discussão, na linha da anterior, mas respeitante ao azimute de propagação de 10°, utilizado como rumo de controlo. A Figura 6 e a Figura 7 representam os diversos instantes observacionais em que foram efetuadas secções de corte segundo o referido azimute, para o período 18:10–20:00 UTC. Todos os comentários atrás formulados quanto às características dos campos observados e detalhes da imagem de corte, para o caso do rumo de 120°, mantêm-se para o presente caso.

Na Figura 6 pode ser seguida a evolução da estrutura vertical da pluma emergente, durante o período 18:10–19:00 UTC. Tal como verificado segundo o rumo de 120°, também neste caso é

visível que se começa a observar um processo de intensificação da pluma emergente pelas 18:20 UTC. Trata-se, obviamente, do mesmo processo de intensificação que havia sido observado segundo o rumo de 120°, à mesma hora (o ponto de intensificação, escolhido para centro do corte, é o mesmo). Verifica-se, uma vez mais, que este processo se traduz num incremento (temporário) da refletividade da pluma emergente nos níveis mais baixos e, em seguida, por um alongamento do seu padrão na vertical, que atinge o auge também pelas 18:50 UTC, momento em que o topo da pluma alcança cerca de 12500 m de altitude. Também segundo este rumo de 10° se verifica que a convecção foi extremamente robusta, mantendo-se válidas as considerações já efetuadas acerca do rumo de 120°, designadamente quanto à natureza da bigorna e da sobre-elevação alcançada pelo topo da pluma, face àquela. Também neste caso se observou que após alcançar o nível mais elevado, o topo da pluma desceu rapidamente, o que indicia o colapso da pluma convectiva. Este colapso, já discutido a propósito do rumo de 120°, terá sido determinante para explicar a rápida propagação da pluma emergente nos instantes seguintes e a sua discussão será detalhada no ponto 4.

No entanto, pelas 19:00 UTC, começam a surgir as principais diferenças de comportamento quanto à evolução da pluma, que foram observados segundo este rumo de 10° em confronto direto com o que havia sido observado segundo 120°. Em primeiro lugar, deixa de ser visível uma assinatura sistemática da pluma emergente (Figura 6 e a Figura 7) após as 19:00 UTC. Este facto deverá estar associado à deslocação que, após esta intensificação, a pluma sofreu para Noroeste. Este facto tê-la-á tornado menos visível segundo este plano de corte fixo em 10°. Em segundo lugar, como se verifica consultando a Figura 7, não mais se identifica qualquer novo processo de intensificação da pluma emergente nos níveis mais baixos. Este detalhe é, uma vez mais, consistente com uma propagação da pluma emergente para Noroeste, após as 18:20-18:30 UTC e, eventualmente, para Oeste, segundo os rumos predominantes, o que terá impedido a observação de uma segunda intensificação segundo este plano de corte fixo em 10°.

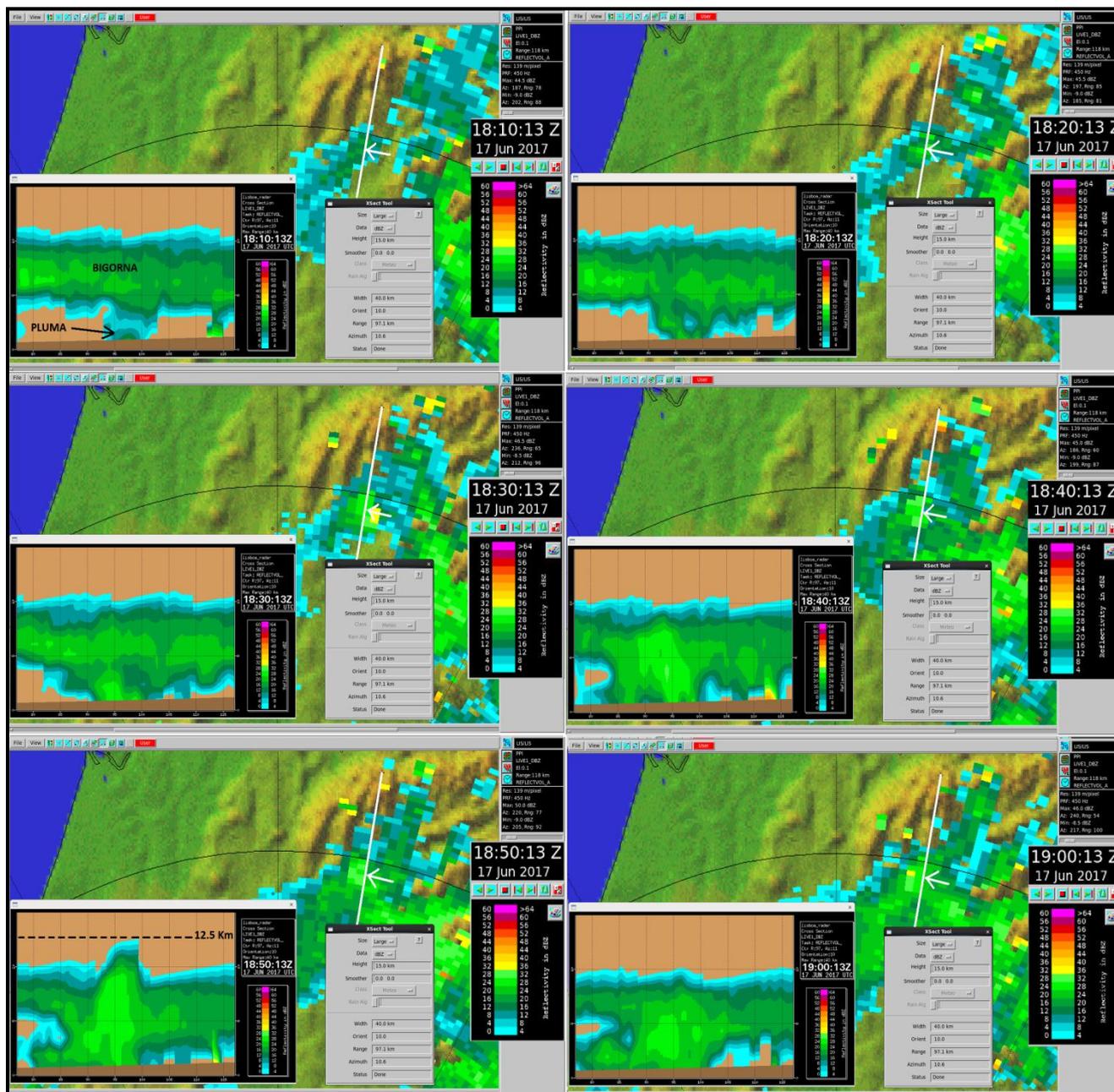


Figura 6 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 17 junho 2017 (18:10-19:00 UTC). Secção de corte segundo o azimuth de 10° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicados a bigorna (ref 18:10 UTC), a assinatura da pluma (ref. 18:10) e a altitude do topo da pluma pelas 18:50 UTC.

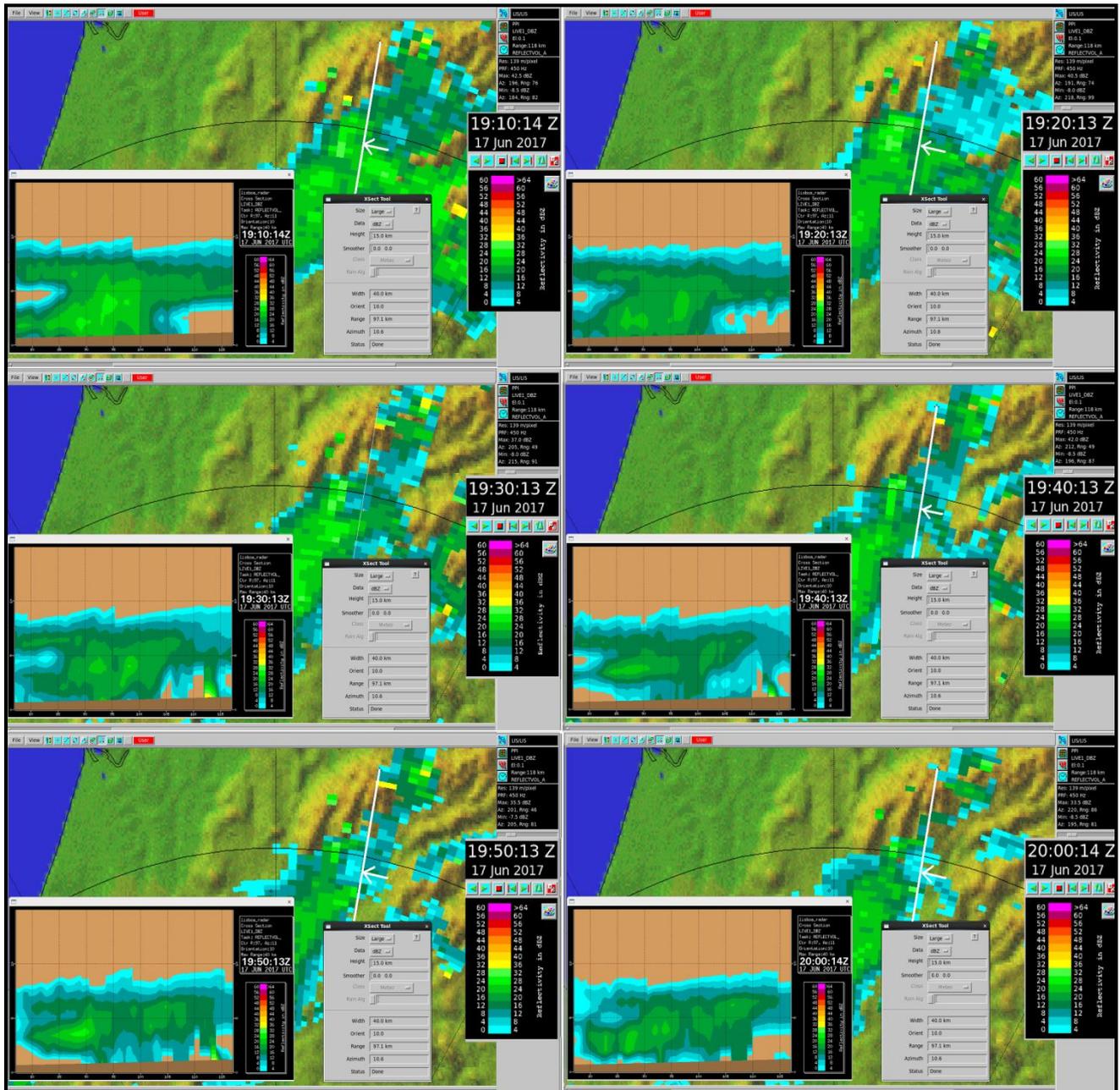


Figura 7 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL 17 junho 2017 (19:10-20:00 UTC). Secção de corte segundo o azimuth de 10° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km.

Em resumo, neste capítulo foram desenvolvidos o diagnóstico da evolução da pluma efetuado com recurso a análise observacional 2D e análise 3D.

A análise 2D, efetuada a cerca de 900 m de altitude, mostrou que os valores máximos de refletividade radar observados em cada instante a essa altitude, foram aumentando à medida que a pluma se foi aproximando da EN 236-1, em especial após as 18:20 UTC. Mostrou, igualmente, que o rumo de propagação da pluma emergente, que se havia fixado em cerca de 120° às 18:20 UTC, se manteve sempre, mesmo após esta ter cruzado a EN 236-1. A análise

bidimensional evidenciou que a velocidade de propagação da pluma emergente mais do que duplicou após o período das 18:20 UTC, no período mais crítico do seu avanço sobre a EN 236-1. Finalmente, note-se que a Figura 2 sugere uma alteração significativa na forma da área delimitada como “pluma emergente”, entre as 17:00 UTC e o momento em que cruzou a EN 236-1. Com efeito, se antes das 18:30 UTC esta pluma assumia uma forma quási-circular, neste instante e após, foi-se acentuando progressivamente uma forma mais elíptica. Esta evolução é sugestiva de um claro alargamento lateral da pluma emergente após a sua primeira intensificação.

A análise 3D, efetuada para a camada 900–15000 m de altitude, reforçou as conclusões que a análise bidimensional havia suscitado, mas acrescentou mais elementos esclarecedores. Tendo-se confirmado que tiveram lugar duas intensificações da pluma emergente, verificou-se que, após cada intensificação, foi observado um vigoroso crescimento vertical da pluma. Este crescimento materializou-se, em cada caso, na formação de plumas convectivas cujos topos excederam os 13000 m de altitude, desenvolvimento vertical que superou largamente o da convecção hidrometeorológica que coexistia na área. Constatou-se, igualmente, que após a primeira intensificação observada, a pluma emergente acelerou a sua propagação de modo muito significativo, não tendo a aceleração ocorrido no segundo caso. Por outro lado, o facto de haver evidência observacional de que a pluma se propagou rapidamente segundo todo o setor azimutal 40°-140° (centrado no ponto em que a pluma sofreu a primeira intensificação), sugere a sua amplificação lateral, após as 18:20 UTC, destacando-se os azimutes de 70° e 120° quanto ao vigor da propagação observada. Alguns destes resultados são apresentados sob a forma de um diagrama de propagação, como se mostra na Figura 8. Neste diagrama torna-se evidente a aceleração ocorrida após a 1ª intensificação da pluma, com destaque para o período 19:00-19:10 UTC. Se for comparado o ritmo de propagação da pluma segundo os vários azimutes, o diagrama mostra igualmente que a frente da pluma evoluiu em fase com a orientação aproximada da estrada EN 236-1.

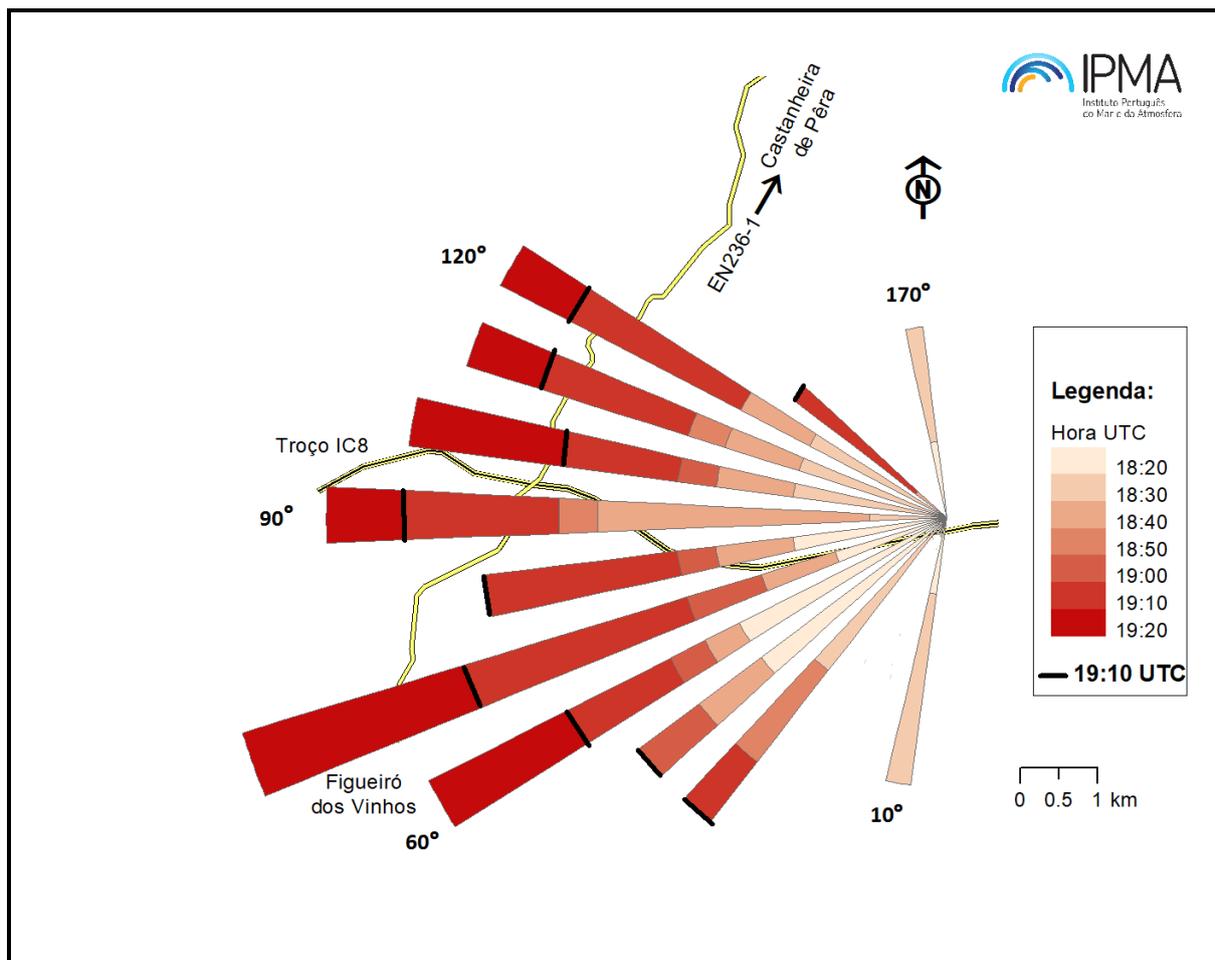


Figura 8 - Diagrama de propagação do axóide da pluma (baseado em cortes verticais de refletividade), com origem na localização aproximada da pluma emergente pelas 18:20 UTC (39.927° N, 8.190° O), sobre área para enquadramento. Incluídos azimutes de 10/10° entre 40° e 130°, e os azimutes de 10° e 170°. Incluída a marcação da EN 236-1 e troço do IC8). 17 junho 2017, 18:20–19:20 UTC. Salientado a traço preto o instante das 19:10 UTC em função de cada azimute.

4 - GÉNESE DAS ALTERAÇÕES DO COMPORTAMENTO DA PLUMA

Este capítulo discute uma série de aspetos acerca dos fenómenos que poderão ter alterado, a partir de um certo momento, o comportamento que foi observado para a pluma emergente. Eventuais alterações no comportamento da pluma poderão ser relevantes e reveladoras, uma vez que se admite que poderão refletir, de algum modo, alterações nas condições em que o incêndio de Pedrogão Grande se desenvolvia. Embora a discussão não se limite a uma análise exclusivamente baseada em campos processados por radar meteorológico, a grande maioria da argumentação aduzida assenta em detalhes observacionais identificados em campos da rede nacional de radares, com destaque para o radar de C/CL.

Uma vez que a análise que se segue tem algum (inevitável) carácter técnico e se pretende facilitar a leitura do presente documento, são apresentados no Anexo III alguns elementos de apoio. Esses desenvolvimentos permitem considerar que, no contexto do presente estudo, a grandeza SQI (Índice de Qualidade do sinal, ver Anexo III), constituiu um precioso auxiliar para a compreensão da fenomenologia ocorrida quanto à génese das alterações do comportamento da pluma de incêndio.

De facto, um dos campos a que foi possível aceder nos cortes verticais efetuados sobre a área de interesse do presente estudo, e que amplamente serviu de base à análise seguidamente apresentada, é o da grandeza SQI, processada em simultâneo com a refletividade. Se este índice corresponder a volumes atmosféricos caracterizados por valores de refletividade situados razoavelmente acima do MDS (mínimo sinal discernível pelo radar), poderá ser baixo, no caso de a largura do espectro Doppler ser elevada (ver Anexo III). Sendo elevada a largura do espectro Doppler num certo volume observado da atmosfera isso significará que nesse volume tenderá a existir um regime turbulento e/ou caracterizado por valores elevados de *wind shear* (variação do rumo e/ou intensidade do vento segundo uma determinada direção). Este estado corresponderá à coexistência, no mesmo instante, de retrodifusores com valores muito díspares da respetiva velocidade Doppler.

Recentemente, foi realizado nos EUA um trabalho baseado em observação com LIDAR, relativo à pluma de um incêndio gerado de modo controlado, para fins de investigação (Charland, A., 2012). A autora referiu, nesse trabalho, que o incêndio resultou de uma queima controlada e de baixa intensidade. Ou seja, condições consideradas muito mais benignas do que as do dia 17 de junho, no incêndio de Pedrogão Grande. Ainda assim, a autora mostrou claramente o desenvolvimento de turbulência na pluma do incêndio que estudou, como resultado da impulsão gerada pelo próprio incêndio. Aliás, este aspeto tem já sido referido em outros estudos efetuados sobre plumas de incêndio.

Tendo em atenção o que precede é expectável assumir que a pluma convectiva, em especial durante os períodos de intensificação verificados no dia 17 de junho, tenha sido caracterizada por turbulência muito significativa, facto que poderá conferir ao respetivo padrão no campo SQI, valores relativamente baixos.

Para além destes aspetos teóricos, que fundamentam a relação entre baixos valores de SQI e a presença de regimes turbulentos nos volumes atmosféricos observados (desde que o valor da refletividade esteja relativamente acima do MDS), foi igualmente considerada uma comparação direta entre os campos de refletividade e de SQI, processados em simultâneo nos referidos cortes. Esta comparação, que seguidamente se apresenta, foi muito instrutiva.

4.1 - PRIMEIRA INTENSIFICAÇÃO DA PLUMA (INÍCIO: 18:20 UTC)

Este processo teve início pelas 18:20 UTC. Foram confrontados os padrões verticais dos dois campos observados, refletividade e SQI, no mesmo instante, e efetuada a sua monitorização em instantes observacionais sucessivos, com periodicidade de 10 minutos. Apresenta-se o período compreendido entre as 18:40 e as 19:10 UTC, por ter sido este o período considerado mais crítico da 1ª intensificação observada na pluma do incêndio. O azimute do corte foi efetuado, aproximadamente, segundo 120°. Neste ponto e seguintes, recorreu-se à escala mais sensível da refletividade radar, que se inicia em níveis de -30 dBZ. Esta opção foi tomada para facilitar a análise interpretativa.

O padrão de refletividade é identificado com base na sua persistência e evolução. Pelas 18:40 UTC a Figura 9 mostra que a pluma de incêndio coexiste com a bigorna (suprajacente) e com o núcleo convectivo, associados ao sistema em aproximação de Sueste (vindo da direita, no corte). É possível definir a posição do axóide da pluma no campo da refletividade, mas não é possível delimitar a pluma com exatidão neste campo. Este facto deve-se a que o sistema de radar não distingue o tipo de retrodifusor (hidrometeoros versus partículas de fumo), dado tratar-se de um sistema de polarização simples.

No entanto, o confronto com o campo SQI mostra, pelas 18:40 UTC, uma forte correlação espacial entre a posição do axóide da pluma no campo da refletividade e a posição de um padrão vertical, de mínimo relativo, no campo SQI. A esta hora, esse padrão de baixo valor de SQI, sugestivo de um volume atmosférico caracterizado por turbulência assinalável, apresentava o seu topo a cerca de 7000 m de altitude, pelo que seria esta a provável altitude da pluma a essa hora. Pelas 18:50 UTC, a Figura 10 mostra que a pluma convectiva apresentava já um topo a cerca de 13000 m de altitude, que era identificável no próprio campo da refletividade, por já se encontrar destacado da refletividade associada à bigorna. A comparação com o campo SQI mostra que, a esta hora, existia uma forte correlação espacial entre a posição do axóide e topo da pluma, e a disposição de um padrão vertical, de mínimo relativo no SQI, a estender-se entre os níveis mais baixos e o topo da pluma (ver Figura 10). Este padrão de baixos valores de SQI assinala, com notável detalhe, a intrusão da pluma de incêndio na bigorna, pelas 18:50 UTC. Esta última, pelo menos numa fase inicial em que não deveria conter muitas partículas de incêndio, seria caracterizada por sinal mais coerente devido a menor turbulência, logo por elevados valores de SQI.

Para as 19:00 UTC são válidos os comentários efetuados para o instante anterior. A Figura 11 continua a evidenciar que, a esta hora, se mantém a intrusão da pluma na bigorna, revelando o processo de expansão convectiva, permanecendo visível uma quebra de continuidade nas

caraterísticas do campo SQI na camada correspondente à bigorna. Faz-se notar, apenas, que a alteração da inclinação do axóide da pluma verificada às 19:00 UTC, foi acompanhada por idêntica alteração na atitude do axóide do padrão vertical de baixos valores de SQI. Este último detalhe corrobora, de algum modo, a validade da relação entre padrões das duas grandezas, que a presente análise sugere.

Finalmente, pelas 19:10 UTC, a Figura 12 permite constatar que o topo da pluma convectiva já não se destacava acima do topo da bigorna parecendo, inclusive, ter havido uma descida na altitude ocupada pelos topos face ao instante anterior (confrontar 19:00 UTC com 19:10 UTC, campo da refletividade). No entanto, uma vez mais, a análise exclusiva do campo da refletividade não esclarece, por si só, qual a posição do topo da pluma pelas 19:10 UTC. Foi neste caso que a consulta do campo SQI se revelou uma grande mais-valia. De facto, o correspondente padrão vertical de baixos valores de SQI, observado à mesma hora, mostra claramente que o topo da pluma de incêndio se encontrará, quando muito, a cerca de 6000 m de altitude. Este decréscimo súbito do topo, num curto período de 10 minutos (19:00-19:10 UTC), de cerca de 13000 m para 6000 m de altitude, configura um decréscimo de 7000 m consistente com um acentuado colapso da pluma convectiva.

Na literatura tem sido descrito como sendo de poucos minutos o desfasamento temporal entre os instantes em que ocorrem colapsos nas torres convectivas e os momentos em que ventos fortes associados a *downburst* se estabelecem, junto à superfície (Hjelmfelt, M., 1988). Estas descrições dizem respeito, obviamente, a sistemas puramente meteorológicos. Para casos envolvendo plumas convectivas não tem havido estudos conclusivos. No presente caso, verifica-se que o período de 10 minutos compreendido entre as 19:00 e as 19:10 UTC foi exatamente aquele em que se observou a propagação mais rápida da chamada pluma emergente, em níveis baixos. Foi durante este período que o axóide da pluma cruzou a EN 236-1 (Figura 5).

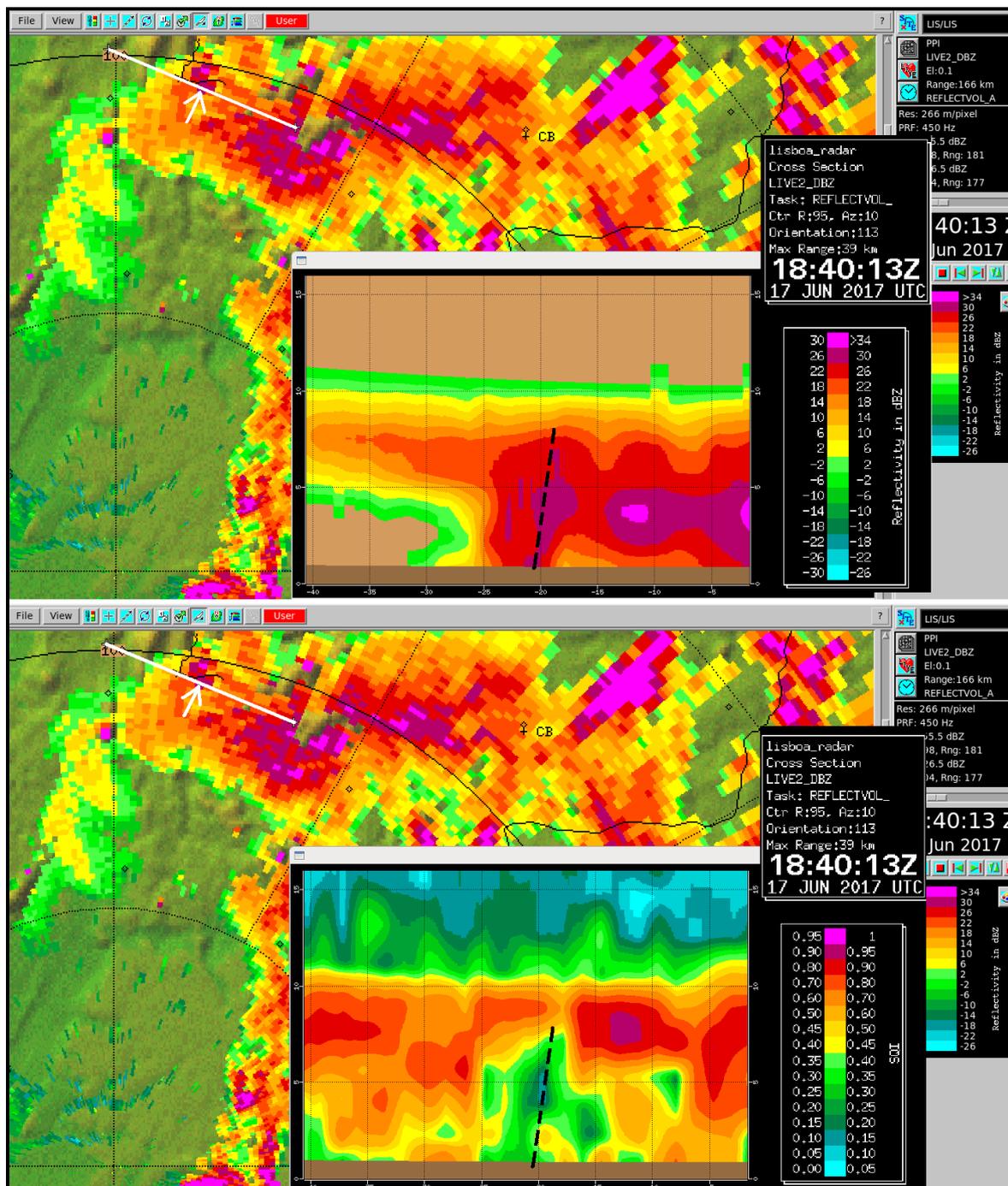


Figura 9 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (18:40 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120°, indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em cada um dos campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.

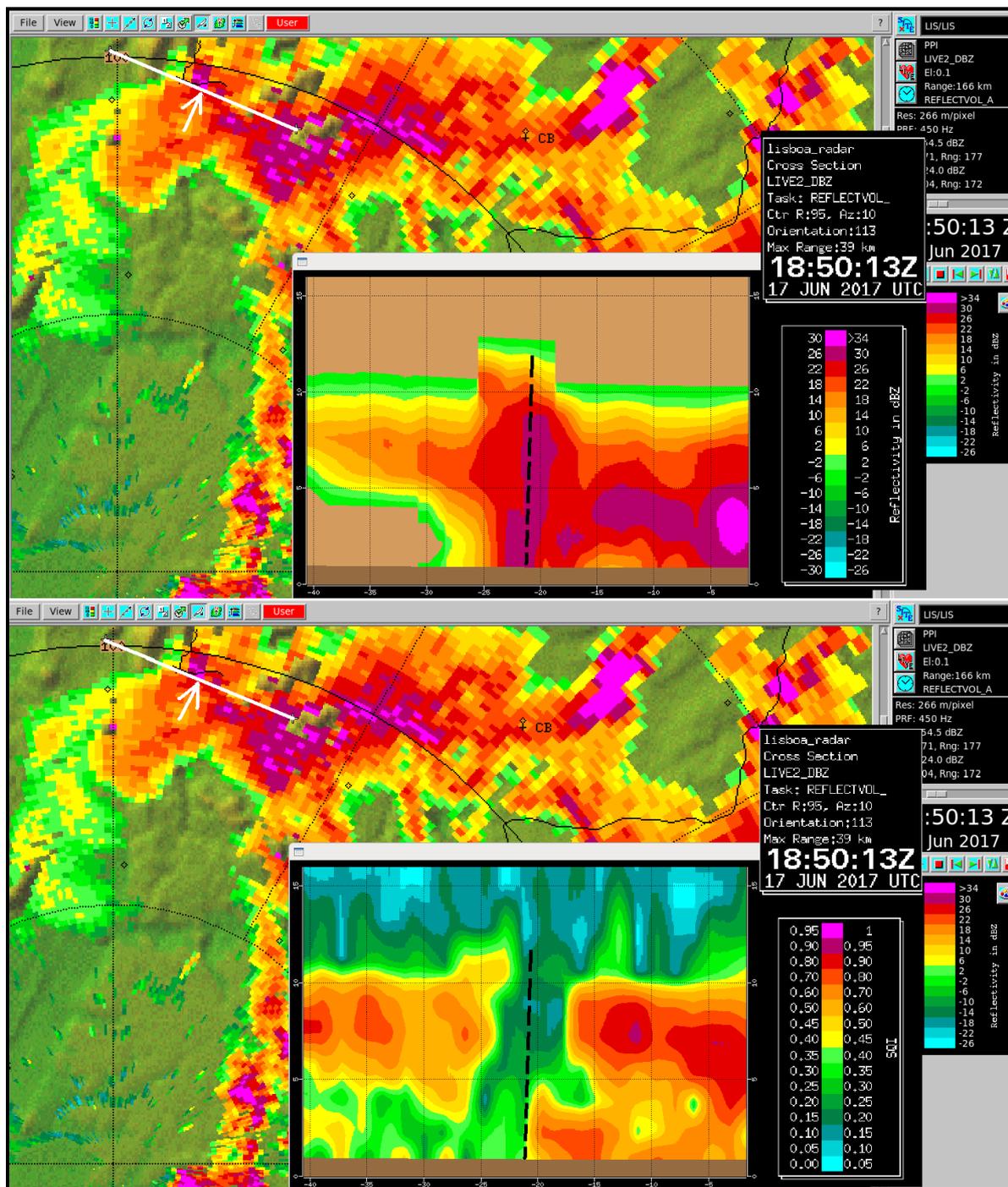


Figura 10 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (18:50 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120°, indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em cada um dos campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.

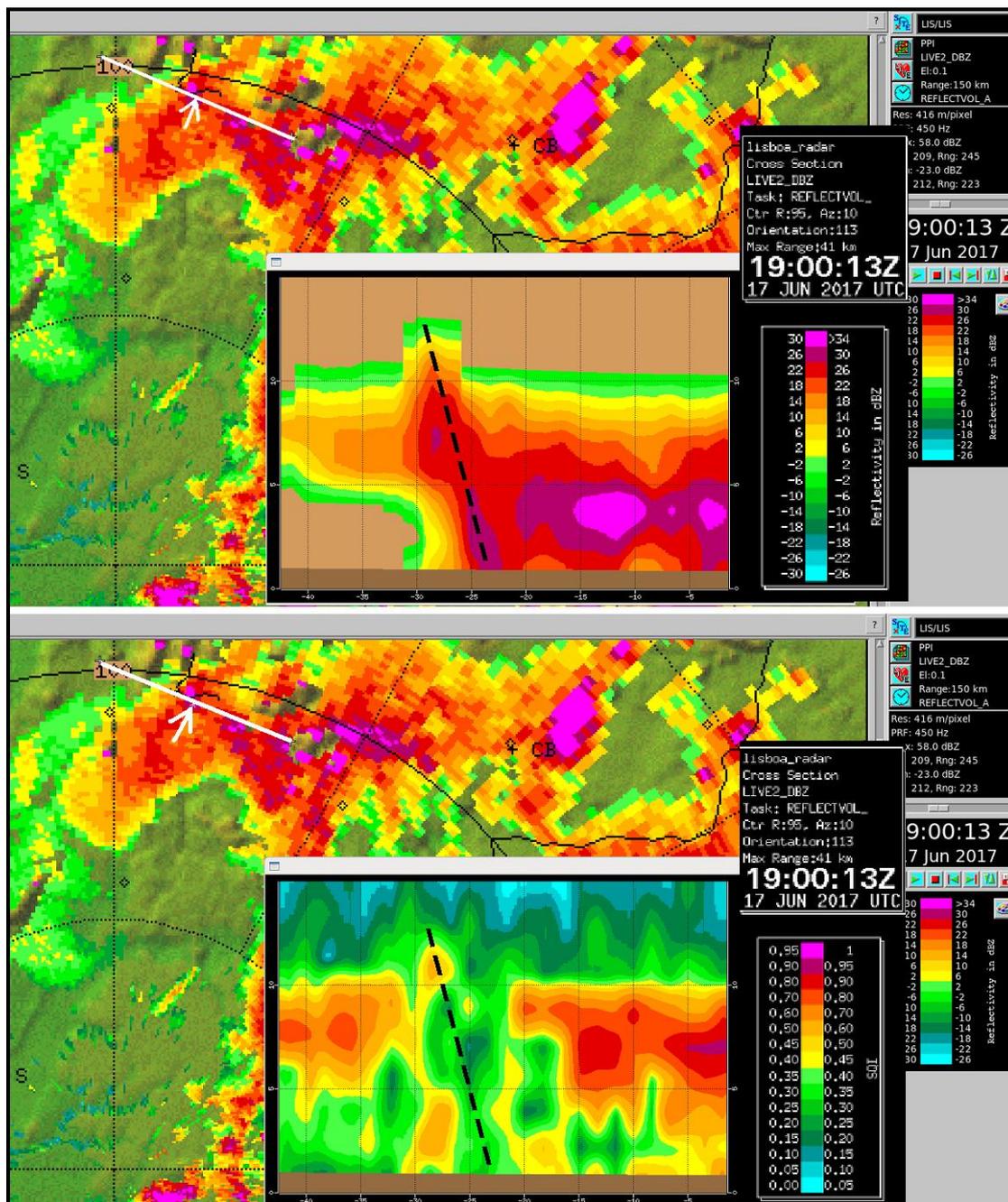


Figura 11 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQ (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (19:00 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em cada um dos campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.

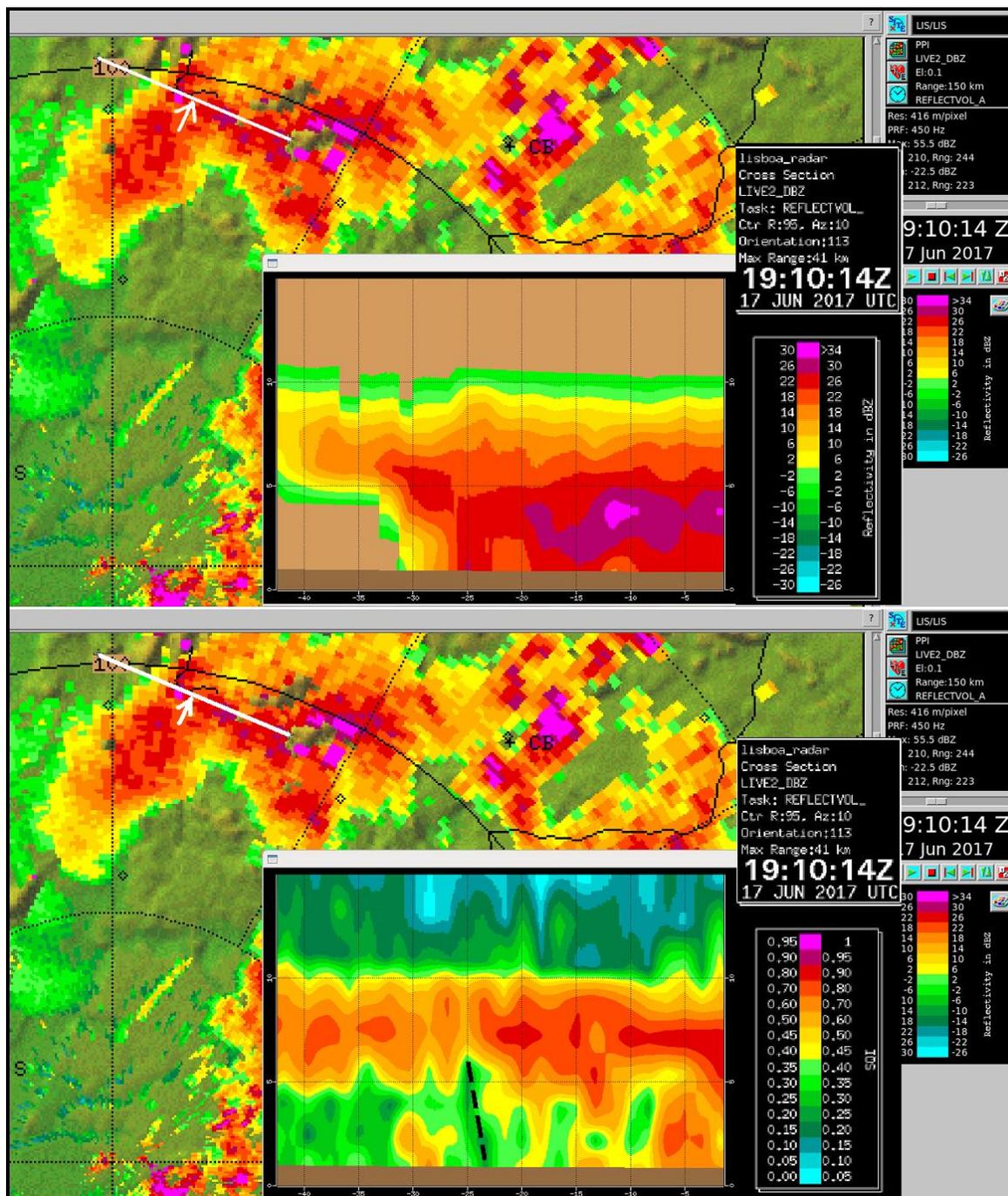


Figura 12 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (19:10 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, no campo SQI. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.

4.2 - SEGUNDA INTENSIFICAÇÃO DA PLUMA (INÍCIO: 19:20 UTC)

Entretanto, pelas 19:20 UTC, conforme já detalhado em pontos anteriores, observou-se o início de um segundo processo de intensificação da pluma. Foi repetida a metodologia aplicada na monitorização da 1ª intensificação. Apresenta-se o período compreendido entre as 19:20 e as 20:00 UTC por ter sido este o mais crítico da 2ª intensificação. O azimute do corte foi efetuado, aproximadamente, segundo 120°. Ilustrar-se-ão as principais diferenças relativamente ao primeiro processo de intensificação observado.

Pelas 19:20 UTC, início da intensificação, o topo da pluma encontrar-se-á a cerca de 6000 m de altitude, segundo consulta do campo SQI (Figura 13). Pelas 19:30 UTC, no entanto, o campo da refletividade mostra que o topo da pluma havia já alcançado os 13500 m de altitude, o seu nível mais elevado. O campo SQI evidencia, também neste caso, que nesse momento a pluma havia consumado um processo de intrusão na bigorna, sendo reveladora a presença de uma quebra de continuidade nas características do campo SQI na camada correspondente à bigorna (Figura 14). Entre as 19:30 e as 19:50 UTC verificou-se que o topo da pluma se manteve sempre, de forma sustentada, acima de 10000 m. Pelas 19:50 UTC verificou-se que o topo da pluma convectiva havia já iniciado a descida, recorrendo ao campo SQI (Figura 15). Com efeito, embora nesse instante o campo da refletividade ainda apresentasse o topo a cerca de 13000 m, a verdade é que era já visível a descida do padrão vertical de baixos valores de SQI, sendo que acima de 10000 m se começava a refazer um campo com valores mais elevados do SQI. Este facto poderá ser devido à presença de água sobrefundida e de cristais de gelo a essa altitude. A Figura 16 mostra que pelas 20:00 UTC, o topo da pluma se encontrava a cerca de 8000 m de altitude, segundo o campo SQI.

Esta descida foi, portanto, bastante mais suave do que a observada no decurso do 1º processo de intensificação. Em suma, as principais diferenças foram:

- (i) na 1ª intensificação (iniciada pelas 18:20 UTC), o topo da pluma convectiva atingiu a altitude máxima, de 13000 m, cerca de 30 minutos após o início do processo; no processo da 2ª intensificação (iniciada pelas 19:20 UTC), o topo da pluma convectiva alcançou a altitude máxima, de 13500 m, apenas 10 minutos após o início;
- (ii) no 1º processo de intensificação, o topo manteve-se acima de 10000 m, por cerca de 20 minutos; no 2º processo, a pluma ter-se-á mantido acima de 10000 m, por cerca de 30 minutos ou mais;
- (iii) após a 1ª intensificação, verificou-se o colapso da pluma convectiva, isto é, observou-se a descida do topo da pluma, de 13000 m para 6000 m, em apenas 10 minutos; após a 2ª intensificação, a descida do topo da pluma foi bastante mais lenta;

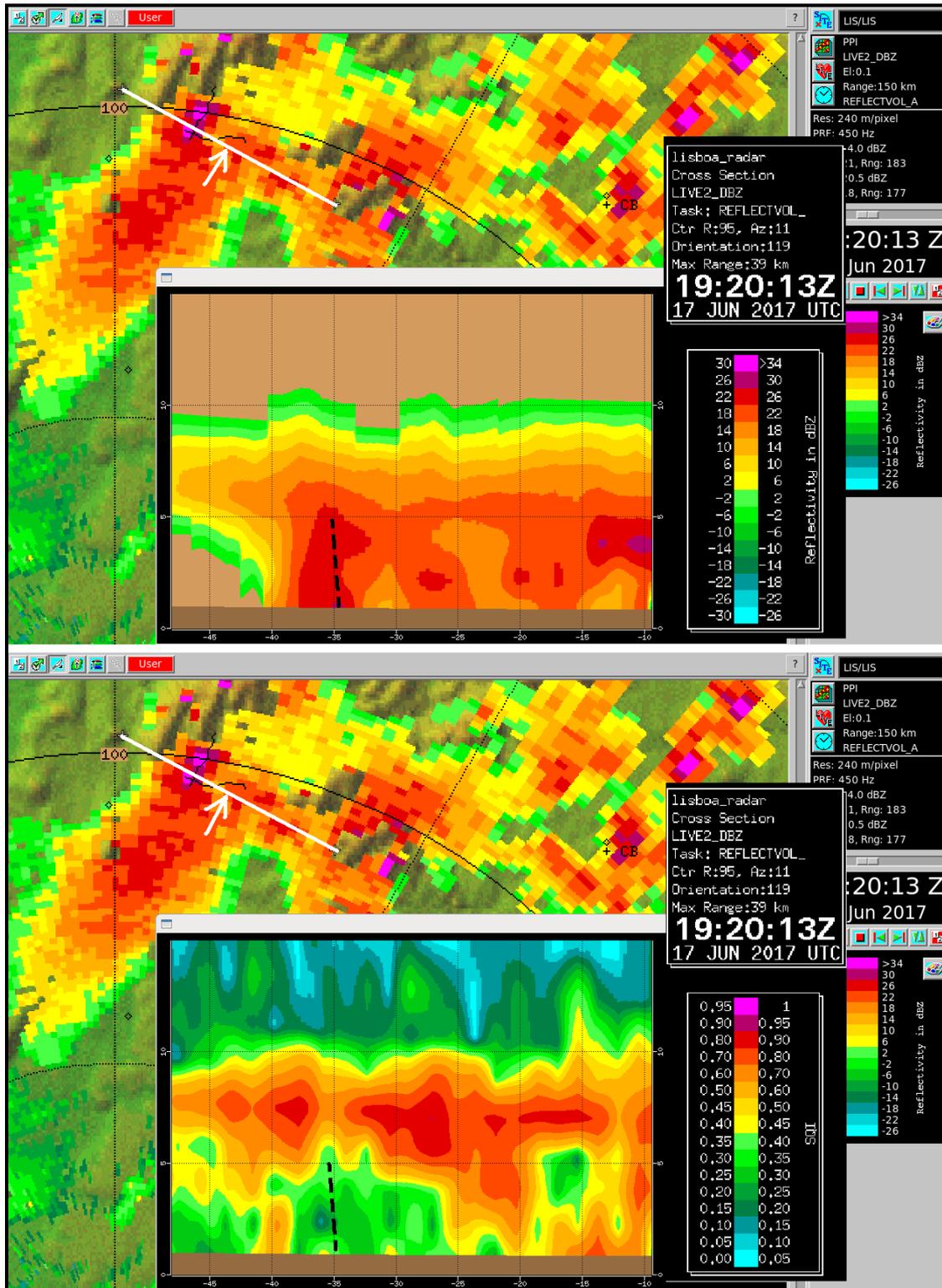


Figura 13 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (19:20 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em ambos os campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.

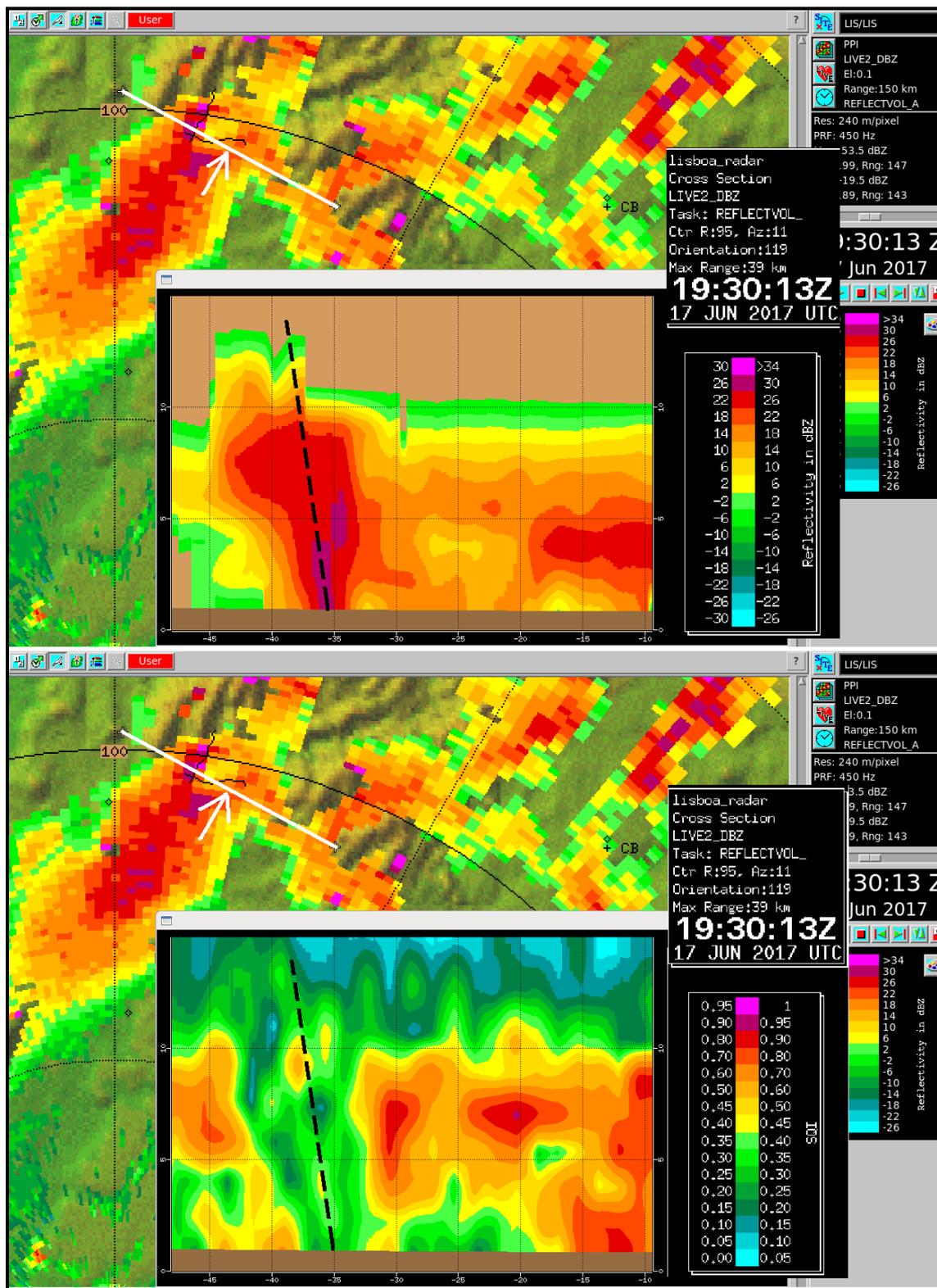


Figura 14 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (19:30 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em ambos os campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.

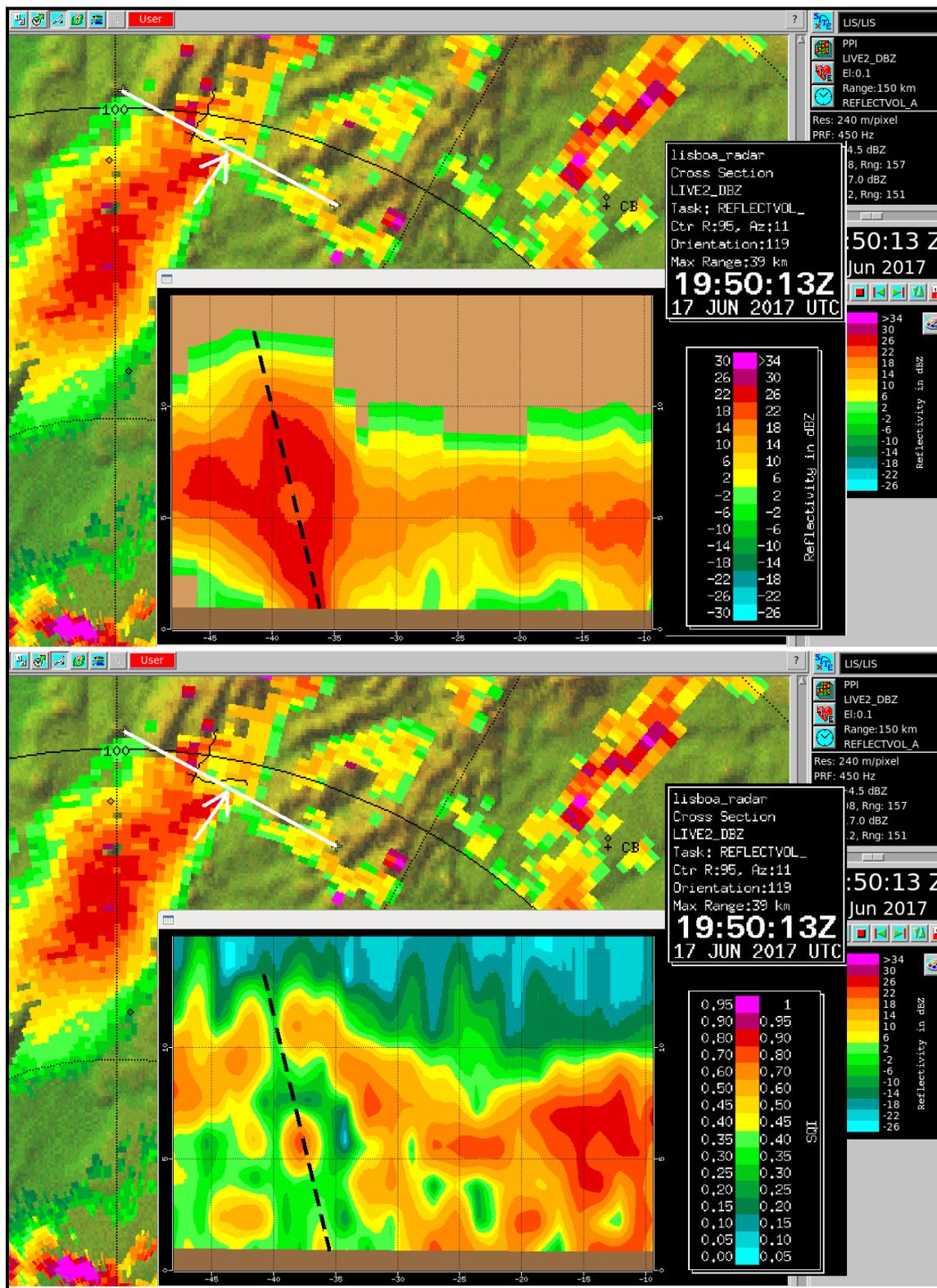


Figura 15 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (19:50 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em ambos os campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.

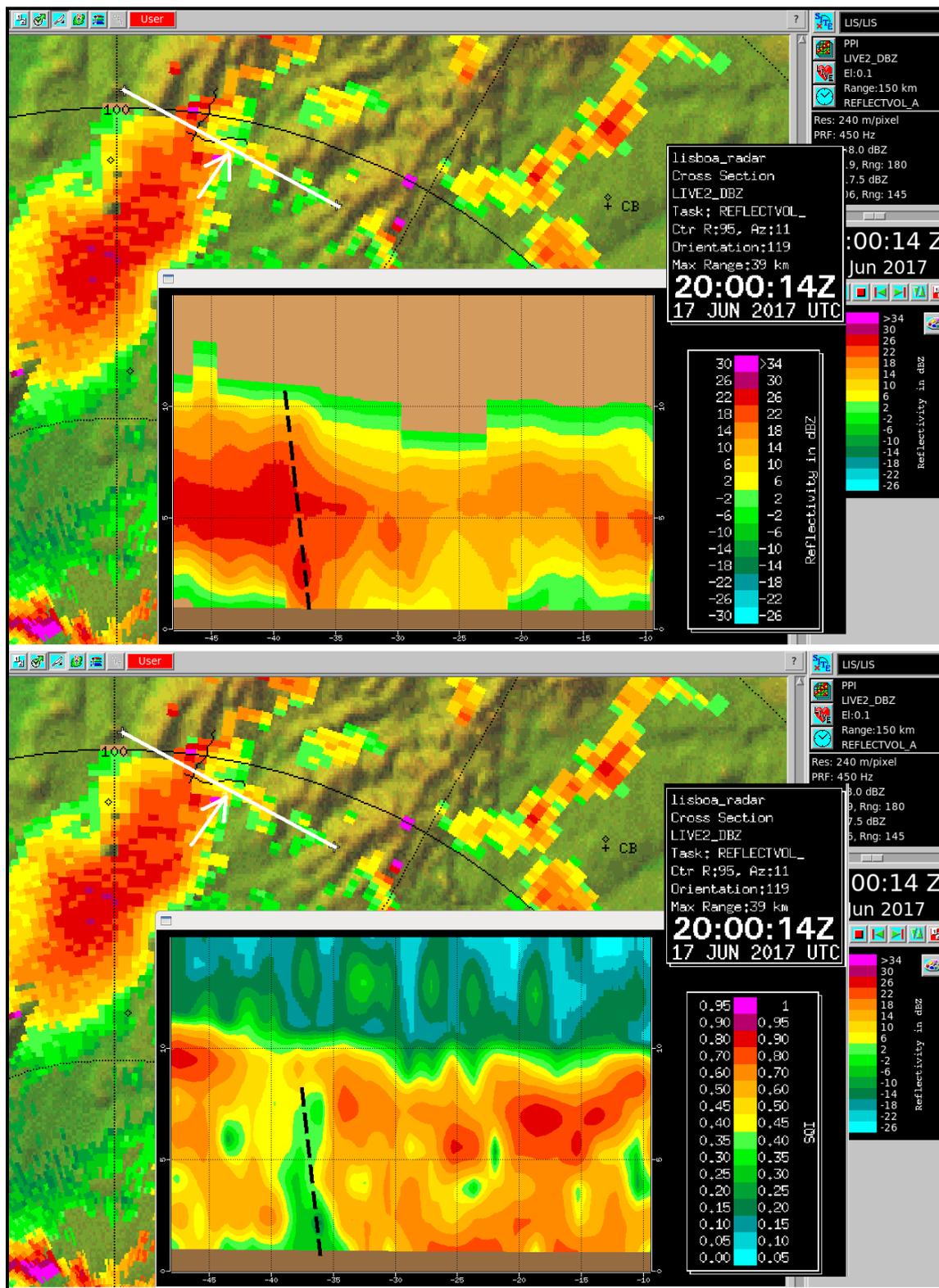


Figura 16 - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), em cima, e de SQI (adimensional), em baixo, radar de C/CL, 17 junho 2017 (20:00 UTC). Secção de corte segundo o azimute de aprox. 120° indicada a branco (seta indica posição do observador em relação ao corte); escala vertical e horizontal, em km, com discretização de 5 km. Indicada a tracejado a posição do axóide da pluma convectiva, em ambos os campos. Nota: com ampliação do documento é possível identificar, a preto, a digitalização da EN 236-1 e troço do IC8, próximo da seta a branco.

4.3 – ANÁLISE CONCLUSIVA

A discussão que tem vindo a ser apresentada ao longo deste relatório, consolidou a conclusão de que foram efetivamente observadas duas intensificações na pluma emergente do incêndio, já nas proximidades da EN 236-1.

A génese da primeira intensificação havia já sido objeto do relatório publicado pelo IPMA, a 30 de junho. Nesse relatório, afirmava-se que “Não foi objetivamente possível identificar a frente de rajada de um *outflow* convectivo ... que possa ter afetado a área. Este facto pode ter ficado a dever-se à orientação desfavorável, face ao feixe radar, dos rumos do vento envolvidos e ... ao facto de as observações radar não detetarem circulações abaixo de 900-950 m de altitude ... sobre a região ...”. No entanto, acresce-se ainda, que “...é de admitir que um escoamento turbulento associado a *downburst* tenha alcançado a posição da pluma ... entre as 18:16 e as 18:26 UTC...”.

Até ao presente, não foi possível reunir elementos observacionais que, de um modo direto e inequívoco, permitam identificar a passagem de uma frente de rajada sobre o local em que a pluma emergente se localizava pelas 18:20 UTC. No entanto, e sem prejuízo de futuro trabalho de investigação que venha a permitir evoluir nesse sentido, apresentam-se alguns elementos adicionais que, conjuntamente, sustentam de algum modo que tal se verificou:

- (1) No dia 17 de junho, durante a tarde, foi extensivamente demonstrado no relatório do IPMA de 30 de junho, a geração e propagação de escoamentos superficiais associados a *downburst*. Estes fenómenos ocorreram em associação ao sistema multicelular que evoluía a Sueste da área de interesse; mostrou-se, portanto, que nas condições atmosféricas em que o episódio se desenrolou, estiveram reunidas condições para a ocorrência deste tipo de fenómeno;
- (2) A monitorização da pluma do incêndio revelou (ponto 3.1) um padrão geral com orientação de Nordeste, durante todo o período 15:50-21:00 UTC; a observação com radar mostrou que esta orientação era determinada pelo escoamento atmosférico predominante a níveis situados acima de 600-700 m de altitude; deste modo, sugere-se que o estímulo observado na propagação da pluma emergente, situada junto ao foco de incêndio, para Noroeste, após as 18:20 UTC, deverá ter sido induzido por um escoamento atmosférico organizado a baixa altitude e a propagar-se junto à superfície, dirigido de Sueste para Noroeste. Este escoamento não afetou a orientação geral da pluma, o que confirma que se propagou a uma altitude inferior a 600-700m;
- (3) A análise detalhada de 3 *outflows* convectivos que se propagaram a Sueste da área de interesse, e já referidos no relatório do IPMA de 30 de junho, mostra claramente que o azimute do segmento que une o local de génese do *downburst* a cada estação onde a frente de rajada foi observada e o azimute do rumo do vento médio na estação, aquando da passagem da referida frente, diferem de menos de 15°. Considerando um rumo de Sueste (aprox. 120°) como o rumo do vento associado à frente de rajada que

terá estimulado a pluma pelas 18:20 UTC, conclui-se que o *downburst* terá tido origem no aglomerado convectivo que, no período 16:00-17:00 UTC, evoluía a Sueste da área;

- (4) Existem diversos indícios (danos em vegetação e relatos) consistentes com a ocorrência de vento forte de Sueste, na área de interesse; a visita dos autores deste estudo ao local do incêndio permitiu verter estes elementos em relatório (ver relatório DivCA/DivMV nº 01/2017);
- (5) O facto de ter decorrido algum tempo entre o início da primeira intensificação e o momento em que a pluma convectiva se encontrava completamente desenvolvida (cerca de 30 minutos), sugere que a correspondente frente de rajada tenha correspondido a um *downburst* relativamente pouco expressivo, ou que este tenha sido gerado mais longe do local do que o admitido. Neste caso, terá chegado à área numa fase adiantada do respetivo ciclo de vida, com processos dissipativos suscetíveis de reduzir a energia cinética disponível;

Na sequência da primeira intensificação, a pluma convectiva do incêndio alcançou um nível muito elevado. Pelas 19:00 UTC o respetivo topo mantinha-se a cerca de 13000 m de altitude. Pelas 19:10 UTC verificou-se, no entanto, o colapso desta pluma convectiva, cujo topo havia descido de 13000 m para 6000 m, em apenas 10 minutos. Este comportamento foi acompanhado, no mesmo período em que se verificou (19:00-19:10 UTC), por uma rápida aceleração na propagação do axóide da pluma, de Sueste para Noroeste, isto é, no sentido da EN 236-1. Durante este período o axóide da pluma terá cruzado a EN 236-1. Este *downburst*, gerado localmente na sequência do colapso da própria pluma convectiva, não só terá estado associado à rápida propagação da pluma como, pouco depois, se terá refletido numa segunda intensificação da mesma. Esta segunda intensificação terá sido produzida, portanto, por um *downburst*, logo na fase inicial do respetivo ciclo de vida. Esta fase é, reconhecidamente, a mais severa, do ponto de vista da intensidade dos escoamentos produzidos (Fujita, T., 1978). O facto de, nesta 2ª intensificação, o topo da pluma convectiva ter alcançado a altitude máxima, de 13500 m, apenas 10 minutos após o início e de o topo se ter mantido em níveis elevados bastante mais tempo e ter descido de forma suave, exprimem diferenças significativas entre as duas situações.

Admite-se que a presença da própria fonte de calor – o incêndio – possa ter interagido com o *downburst*, sendo este processo pouco conhecido e situando-se claramente fora do âmbito do presente relatório.

5 - CONCLUSÕES

O presente estudo acentuou a noção de grande complexidade da situação sob análise, do ponto de vista meteorológico, que anteriores avaliações já haviam indiciado. Esta complexidade tornou difícil construir uma visão absolutamente coerente do conjunto dos diversos fenómenos meteorológicos envolvidos. Tanto mais que se verificou, quer uma interação entre os próprios fenómenos meteorológicos, quer entre estes e a dinâmica do incêndio.

De facto, verificou-se a propagação, de Sueste para Noroeste, de um sistema convectivo de tipo multicelular sobre a área em que o incêndio evoluía. Este sistema desenvolveu uma bigorna, o que veio a dificultar o diagnóstico e reduzir a mais-valia que teria a utilização de observações com satélite. Deste modo, à dificuldade intrínseca envolvendo a análise do fenómeno, associaram-se outras limitações, configuradas em insuficiências observacionais. Estas últimas impossibilitaram algumas mesoanálises de escala regional e sub-regional, a baixa altitude, as quais poderiam ter sido esclarecedoras. Neste contexto, as observações dos radares meteorológicos da rede nacional revelaram-se particularmente úteis, com destaque para a preponderância das efetuadas pelo sistema de Coruche/Cruz do Leão.

O objetivo principal deste trabalho foi o de avaliar, com o detalhe viabilizado pelas observações disponíveis, as características de evolução temporal da pluma do incêndio de Pedrogão Grande, com destaque para a área vizinha da estrada EN 236-1, durante o período de maior relevância. As referidas características incluíram o rumo e a velocidade de propagação, bem como os valores máximos de refletividade radar observados na chamada pluma emergente (componente da pluma mais próxima do foco de incêndio, a baixa altitude). Outras características envolvidas foram as da expressão vertical e desenvolvimento da pluma convectiva, em altitude. Esta avaliação foi prosseguida segundo a aplicação de uma metodologia que envolveu análises bidimensionais e tridimensionais. Uma análise exaustiva dos diversos campos radar processados, veio revelar a utilidade do recurso a um campo radar adicional, o SQI. Este auxiliou o diagnóstico efetuado, com algum detalhe, relativamente aos fenómenos ocorridos nas proximidades da EN 236-1.

Elencam-se, sinteticamente, as conclusões mais importantes deste estudo, a fim de oferecer uma visão abrangente dos fenómenos que, sequencialmente, tiveram expressão naquela área e durante o período mais relevante. Assim:

- O padrão da pluma geral observado pelo radar de C/CL, mostra que esta se apresentou segundo uma orientação de Nor-Nordeste e Nordeste, durante todo o período compreendido entre as 15:50 e as 21:00 UTC, do dia 17 de junho 2017. Segundo as observações do mesmo radar, esta orientação era a determinada pelo escoamento predominante a níveis situados acima dos 600-700 m de altitude;

- Sobre a área em que a pluma do incêndio evoluía, no decurso da tarde de 17 junho, foi-se propagando, de Sueste para Noroeste, uma extensa bigorna. Esta formação estava associada a

um sistema convectivo multicelular, que exibia atividade mais expressiva para Este e Sueste da referida área;

- A pluma sofreu dois processos de intensificação, particularmente visíveis segundo o rumo de 120°;

- A primeira intensificação iniciou-se às 18:20 UTC, no local de coordenadas 39.927° N, 8.190° O; refletiu-se no aumento dos valores da refletividade da pluma emergente, na fixação do seu rumo em Sueste (o que significa movimento para Noroeste) e num vigoroso crescimento vertical, que se traduziu na expansão do topo da pluma convectiva de incêndio até 13000 m de altitude, 30 minutos após o início do processo de intensificação; o topo excedeu largamente os 10000 m de altitude, nível máximo das bigornas convectivas que coexistiam na área;

- Esta primeira perturbação observada no comportamento da pluma emergente, terá sido resultante da interação sofrida com um escoamento atmosférico organizado a baixa altitude, propagando-se junto à superfície e dirigido de Sueste para Noroeste. Este escoamento não afetou a orientação observada na pluma geral, que se manteve segundo Nordeste-Sudoeste, o que comprova o seu estabelecimento a altitudes inferiores a 600 m;

- No período de 10 minutos, 19:00-19:10 UTC, verificou-se o colapso da pluma convectiva de incêndio que havia sido produzida como resultado da primeira intensificação; observou-se que o topo da pluma convectiva desceu, então, do nível de 13000 m, para cerca de 6000 m de altitude; este fenómeno configura uma situação de *downburst*;

- O colapso observado foi acompanhado, no mesmo período de 10 minutos, 19:00-19:10 UTC, por uma rápida aceleração na propagação do axóide da pluma, de Sueste para Noroeste. Durante este período, o axóide da pluma cruzou a EN 236-1; esta aceleração foi interpretada como o resultado de uma transferência de momento linear vertical para o plano horizontal, como consequência da propagação do referido *downburst* produzido localmente;

- A segunda intensificação iniciou-se pelas 19:20 UTC, na sequência do colapso observado 10 minutos antes; efetivamente, observou-se o aumento de refletividade da pluma emergente e um crescimento vertical ainda mais vigoroso do que no primeiro caso, tendo o topo da pluma convectiva alcançado cerca de 13500 m de altitude, apenas 10 minutos após o início do processo de intensificação; esta segunda intensificação terá sido produzida pelo forçamento induzido pelo escoamento do *downburst* produzido localmente; uma vez mais, este escoamento não afetou a orientação observada na pluma geral, que se manteve segundo Nordeste-Sudoeste;

- A pluma convectiva de incêndio produzida como resultado da segunda intensificação, com topo a 13500 m de altitude, excedeu, uma vez mais, o nível máximo das bigornas convectivas que coexistiam na área (10000 m de altitude); neste segundo caso, o topo da pluma manteve-se mais tempo acima do nível de 10000 m do que no primeiro caso e apresentou uma taxa de

descida mais suave: nunca se observou uma descida do topo da pluma superior a 2500 m em 10 minutos, tendo o decréscimo sido normalmente bastante inferior a este valor;

- A evolução da pluma emergente do incêndio, observada a cerca de 900 m de altitude, mostra uma alteração significativa na sua forma e área, designadamente entre as 17:00 UTC e o momento em que cruzou a EN 236-1, pelas 19:10 UTC: até às 18:30 UTC (exclusive) esta pluma assumia uma forma quási-circular, instante após o qual foi assumindo progressivamente uma forma mais elíptica e de maior área, sugestiva de um claro alargamento lateral.

BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atlas, D., 1990: Radar in Meteorology: Battan Memorial and 40th Anniversary Radar Meteorology Conference. American Meteorological Society, 806 pp

Charland, A., 2012: Doppler Wind Lidar Observations of a Wildland Fire Plume. Master's Theses and Graduate Research, San Jose State University, 56 pp

Costa, T., 2008: Deteção de plumas de incêndio com radar meteorológico. Monografia de Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 56 pp

Doviak, R., Zrníc, D., 1984: Doppler Radar and Weather Observations. NOAA and UEEM. Academic Press, 458 pp

Fujita, T., 1978: Manual of Downburst Identification for Project NIMROD (National Intensive Meteorological Research on Downburst. SMRP, Research paper 156, 104 pp

Gast, K., 2003: A Comparison of Extreme Wind Events as Sampled in the 2002 Thunderstorm Outflow Experiment. Master of Science (partial fulfillment submission), Texas Tech University, 133 pp

Hjelmfelt, M., 1988: Structure and Life Cycle of Microburst Outflows Observed in Colorado. Journal of Applied Meteorology. Vol 27, 27 pp

Klingbeil, D., Smith, D., 1987: Gust Front Characteristics as Detected by Doppler Radar. Monthly Weather Review. Vol 115, 13 pp

Moreira, N., Barbosa, S., Correia, S., Costa, T., Novo, I., Pinto, P., Rio, J., Silva, A., 2017: Condições meteorológicas associadas ao incêndio de Pedrogão Grande de 17 de junho de 2017. Relatório IPMA, 56 pp

Pinto, P., Silva, A., 2017: Deslocação à região do incêndio de Pedrogão Grande. Relatório DivCA/DivMV 01/2017, IPMA

Wakimoto, R., 1982: The Life Cycle of Thunderstorm Gust Fronts as Viewed with Doppler Radar and Rawinsonde Data. Monthly Weather Review. Vol 110, 22 pp

ANEXO I – MINUTAS DAS REUNIÕES IPMA/CEIF-ADAI

Estudo conjunto das Condições Meteorológicas Associadas ao GIF de Pedrógão Grande

por

Domingos Xavier Viegas, Miguel Almeida e L. Mário Ribeiro

CEIF/ADAI- Universidade de Coimbra

Preâmbulo

Este documento contém uma síntese da contribuição dada pela equipa da ADAI para o estudo das condições meteorológicas vigentes no dia 17 de junho de 2017 na região em que ocorreu o GIF de Pedrógão Grande que se encontra em curso. Formula a estrutura de um relatório conjunto que está em preparação, para constituir uma publicação conjunta e para ser incorporado no Relatório solicitado pelo Governo à ADAI sobre este GIF.

Reuniões de trabalho

A equipa de investigação da ADAI, representada pelos autores deste documento, reuniu com a equipa de investigação do IPMA, em Lisboa, nos seguintes dias:

1ª Reunião – 19 de julho

Nesta reunião foram estudadas as condições associadas à ignição de incêndios por meio de descargas de trovoada, estudadas pelo IPMA e apresentadas no seu Relatório de junho.

Foi igualmente analisado o estudo de imagem de radar realizado pelo IPMA para identificação das nuvens de trovoada e as plumas associadas ao incêndio de Escalos Fundeiros, que consta do mesmo relatório.

A equipa da ADAI apresentou resultados de que dispõe sobre um episódio convectivo ocorrido neste incêndio noutra data e propôs que se analisassem as imagens de radar noutros planos de corte.

2ª Reunião – 24 de julho

Nesta reunião foi analisado um estudo complementar realizado pelo IPMA contendo outros planos de corte, para caracterizar a evolução da pluma do incêndio e a sua interação com a trovoada. O estudo do episódio convectivo, identificado pela ADAI, permitiu evidenciar a importância da interação entre a convecção atmosférica e o desenvolvimento do incêndio.

Foi reconhecido que o trabalho conjunto realizado pelas duas equipas tinha permitido avançar significativamente na identificação de alguns fenómenos fora do comum relacionados com a interação entre o escoamento atmosférico, associado à trovoada, e o incêndio florestal ocorrido em Escalos Fundeiros. Foi decidido nesta reunião que seria elaborado um documento conjunto e coassinado, sintetizando as conclusões obtidas. Este documento será submetido a publicação em lugar oportuno e parte dele, pelo menos, será incorporado no Relatório que a equipa da ADAI está a preparar sobre o GIF de Pedrógão Grande.

3ª Reunião – 22 de agosto

Nesta reunião foi visionada em conjunto uma seleção feita pela equipa da ADAI de imagens de vídeo do incêndio recolhidas em Pedrogão Grande, no dia 17/6 que evidenciam a interação entre o incêndio e o escoamento atmosférico associado à trovoadas em pelo menos três momentos do final da tarde: pelas 18h, pelas 19.10h e após as 20.20h (*hora local*).

A equipa da ADAI recolheu dezenas de testemunhos que corroboram estas afirmações e está igualmente a coligir dados sobre locais onde existem evidências sobre a ocorrência de ventos fortes associados a eventuais correntes descendentes, que interagiram com estruturas no solo e afetaram a propagação do incêndio.

A equipa da ADAI está igualmente a coligir dados de humidade de combustíveis finos obtidos por medição direta e por cálculo, assim como dados de estações meteorológicas em torno da área do incêndio, para além das da rede do IPMA.

Coimbra, 2 de setembro de 2017

ANEXO II - EVOLUÇÃO DE PLUMA DE INCÊNDIO EM 20 DE JUNHO 2017

INTRODUÇÃO

Durante a tarde de 20 junho 2017, lavrava um incêndio no maciço da Lousã, numa região situada a sueste da cidade de Coimbra. Este incêndio, considerado um prolongamento dos incêndios de Pedrogão Grande e de Góis, gerava uma pluma que era bastante visível, já que o céu se apresentava pouco nublado sobre toda aquela região. Segundo alguns relatos, efetuados nomeadamente a partir da cidade de Coimbra, foi visível e notório um grande desenvolvimento da pluma do incêndio, que posteriormente regressou ao estado de desenvolvimento inicial.

Por ser didático, apresenta-se uma breve descrição da evolução desta pluma. Efetua-se o diagnóstico da evolução do escoamento à superfície, segundo avaliação de observações com radar e de observações de superfície, procurando precisar se alguma perturbação atmosférica terá estado associada à alteração da extensão vertical da pluma, que foi relatada. Por outro lado, aproveita-se a ocasião para avaliar a taxa de descida do topo da pluma de incêndio, confrontando-a com a que se verificou no caso que foi objeto central do presente relatório e precisando as diferenças observadas entre os dois casos.

EVOLUÇÃO DA PLUMA

Foi efetuada uma análise conjunta baseada em produtos PPZ (PPI de refletividade) de baixa elevação (0.1°) e baseada na execução de cortes verticais, fixos, à semelhança do que se considerou no corpo do presente relatório. Na Figura 17, Figura 18, Figura 19 e Figura 20, é possível avaliar, em simultâneo, o conjunto de elementos relevantes para a presente discussão.

Pelas 15:00 UTC (Figura 17), são visíveis inúmeras assinaturas lineares no campo da refletividade radar, com diversas orientações. Todas estas assinaturas, apenas visíveis (por vezes) na escala mais sensível de refletividade (que se representa), correspondem a áreas de convergência ou de confluência, entre escoamentos de camada limite que se desenvolvem a baixa altitude. Estes escoamentos, ao convergir, podem aumentar localmente a concentração de retrodifusores (como insetos) na camada-limite atmosférica, tornando-se assim observáveis pelo radar.

Centrando a análise numa linha de refletividade que se assinala com setas em algumas das imagens do painel, verifica-se que a mesma apresenta uma orientação geral Norte-Sul. Infelizmente, a assinatura não é visível na área situada a Oeste da pluma e a Sul da cidade de Coimbra (assinalada por “C” na imagens), mas pode ser seguida sobre outras áreas. A natureza desta linha de refletividade foi diagnosticada como sendo correspondente à frente de brisa, após a consulta de observações de temperatura do ar, humidade relativa do ar e rumo do vento médio, disponíveis de 10/10 minutos em algumas estações meteorológicas automáticas do IPMA, na região. Esta frente de brisa, ao propagar-se, substitui o ar remanescente na área, por ar tipicamente mais fresco (por isso, mais denso) e mais húmido. Mesmo que a humidade relativa do ar que se escoia a montante da frente de brisa não seja muito elevada, poderá ser 10 a 15% superior à do ar que substitui.

Acompanhando as imagens da Figura 17, verifica-se que a referida linha se vai deslocando para o interior do território, aproximando-se da pluma de incêndio. Até às 15:40 UTC o topo desta pluma apresenta uma altitude que oscila em torno de 6000 m. No entanto, pelas 15:50 UTC, começa a verificar-se um crescimento da pluma, tendo inicialmente expressão apenas na sua extensão vertical e, posteriormente, também no aumento do valor da refletividade. O crescimento da pluma avaliado pela altitude do seu topo, atinge o auge pelas 16:50 UTC, momento em que alcança cerca de 15000 m de altitude. Este facto pode confirmar-se atendendo à Figura 18. Ou seja, observou-se um crescimento de 6000 m para 15000 m de altitude entre as 15:40 e as 16:50 UTC.

Nas imagens de radar não é observável a assinatura da frente de brisa na sua extensão mais para norte, próximo das 15:40 UTC. No entanto, pelo conhecimento da sua orientação mais a sul e extrapolação da sua localização para norte, é admissível que a frente de brisa se encontrasse nas vizinhanças da pluma emergente do incêndio, pelas 15:40-15:50 UTC, instante em que a pluma iniciou a intensificação referida.

Outro aspeto de análise complexa é o da intensificação de uma 2ª pluma, situada um pouco a Nordeste da primeira (visível como um vértice, a Nordeste, nas imagens de PPZ). Esta ocorre apenas 10 minutos após a intensificação da primeira, o que parece pouco tempo, face à orientação geral e velocidade que a frente de brisa vinha manifestando. No entanto, a orografia do maciço da Lousã pode ter interagido com a propagação da frente de brisa, tendo-a retardado no avanço mais a Sul, em relação à pluma principal, situada a Oeste (e sobre a qual foram efetuados os cortes verticais), sendo que no troço mais a Norte, a frente de brisa poderá ter circundado o maciço e afetado a 2ª pluma pouco após a 1ª. Este detalhe ilustra a complexidade observacional (e não só!) que a análise deste tipo de fenómeno envolve.

Em todo o caso, à semelhança de outros estudos realizados, conclui-se que terá havido uma interação entre o escoamento a propagar-se a baixa altitude, na camada-limite, e o próprio incêndio (percecionada, com radar, pela alteração no comportamento da pluma do incêndio).

DESCIDA DO TOPO DA PLUMA

O processo de descida da pluma verificou-se entre as 16:50 UTC e as 18:00 UTC, período em que passou de 15000 m para 6000 m de altitude. Esta descida, muito expressiva e visível por parte de alguém que observasse o fenómeno atentamente e à distância, pode ser acompanhada na Figura 18, na Figura 19 e na Figura 20. Ainda assim, e mesmo tendo materializado uma descida de cerca de 9000 m, o regime desta descida não é comparável ao da pluma convectiva que colapsou, no incêndio de Pedrogão Grande. De facto, neste caso de 20 de junho, a transição do topo de 15000 m para 6000 m, foi observada ao longo de 1h10 min mas foi gradual, nunca tendo sido observada qualquer descida superior a 2000 m, em períodos de 10 minutos. No caso de Pedrogão Grande, o colapso terá alcançado 7000 m em 10 minutos.

No entender dos autores, houve uma outra diferença essencial. Em Pedrogão Grande, plumas convectivas desenvolveram-se de modo muito rápido, num volume da troposfera em que coexistiram com nuvens de desenvolvimento vertical, com bigornas em progressão sobre a região do incêndio.

Terão sido intensificadas por escoamentos baroclínicos, a baixa altitude, configurando propagações do tipo “corrente de densidade”. Estes escoamentos, no entanto, não terão aportado muita humidade às plumas convectivas em desenvolvimento. Na situação de 20 de junho, o radar de A/PG mostra claramente que se formaram massas nebulosas do tipo pirocúmulo, concordantes com fotos que documentaram este episódio. A presença de frentes de brisa, aportando, nos níveis baixos, apesar de tudo alguma humidade, poderá ter estado nesta diferença essencial entre os dois casos.

Esta diferença poderá ser objeto de desenvolvimentos futuros, mas sai fora do âmbito do presente relatório técnico.

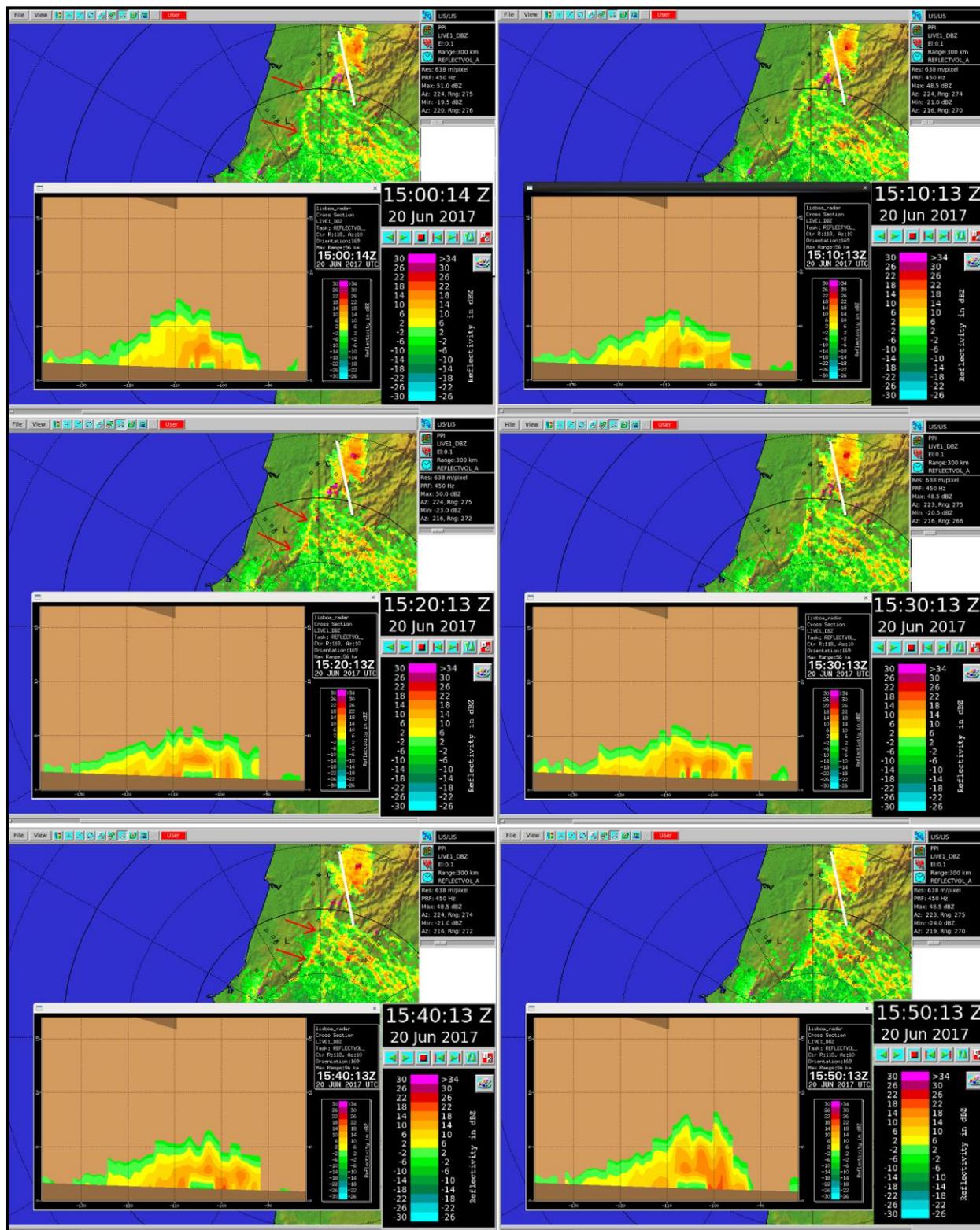


Figura 17 Anexo II - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 20 junho 2017 (15:00-15:50 UTC). Secção de corte segundo o azimute de orientação da pluma, com secção indicada a branco. Observador considerado a olhar para a secção vertical, de Oeste para Este. Escala vertical, em km, com discretização de 5 km; escala horizontal, em km, com discretização de 10 km. Indicada com setas a vermelho, a posição de linha de refletividade relevante, de 20 em 20 minutos, sobre a imagem de PPZ.

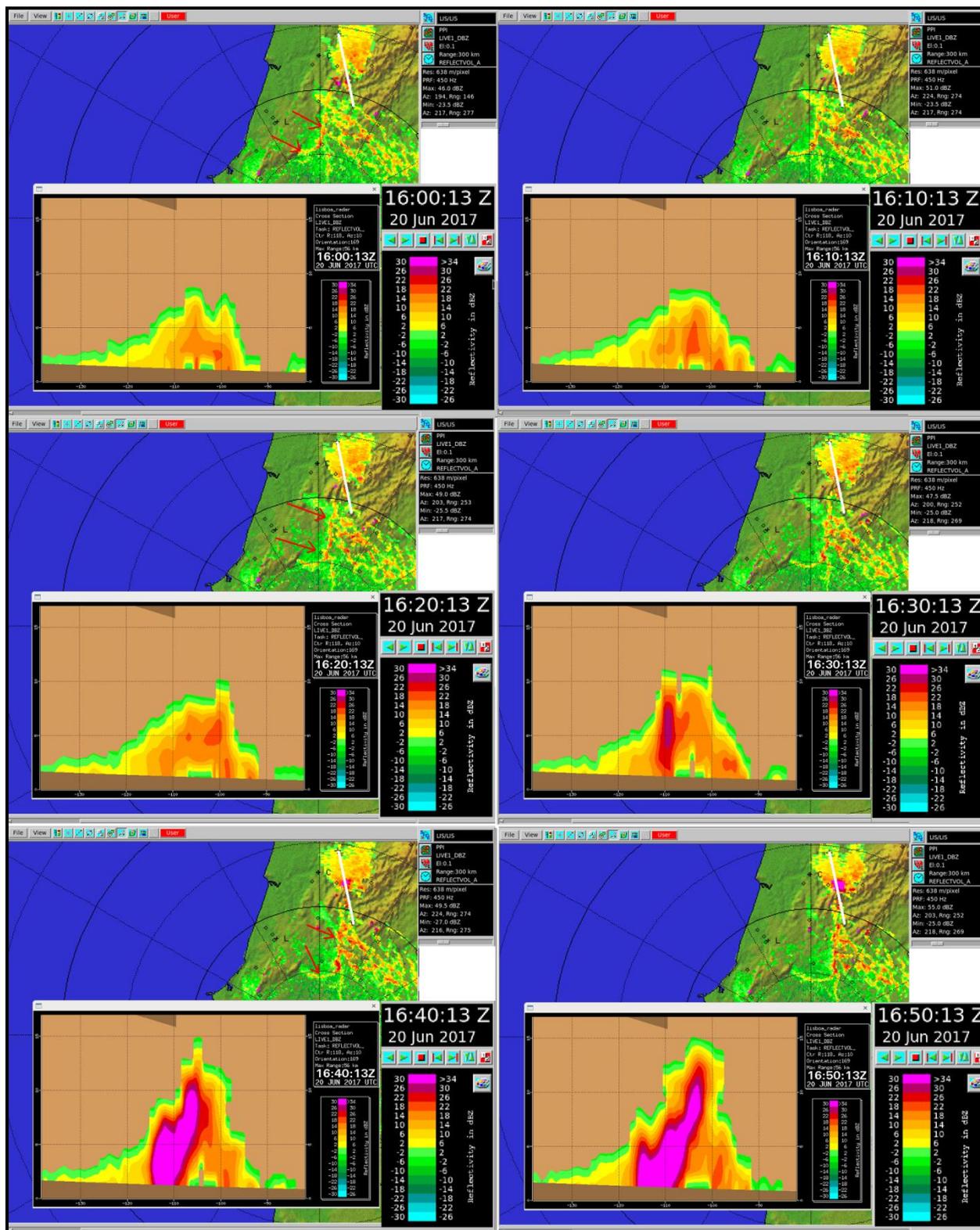


Figura 18 Anexo II - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 20 junho 2017 (16:00-16:50 UTC). Secção de corte segundo o azimuth de orientação da pluma, com secção indicada a branco. Observador considerado a olhar para a secção vertical, de Oeste para Este. Escala vertical, em km, com discretização de 5 km; escala horizontal, em km, com discretização de 10 km. Indicada com setas a vermelho, a posição de linha de refletividade relevante, de 20 em 20 minutos, sobre a imagem de PPZ.

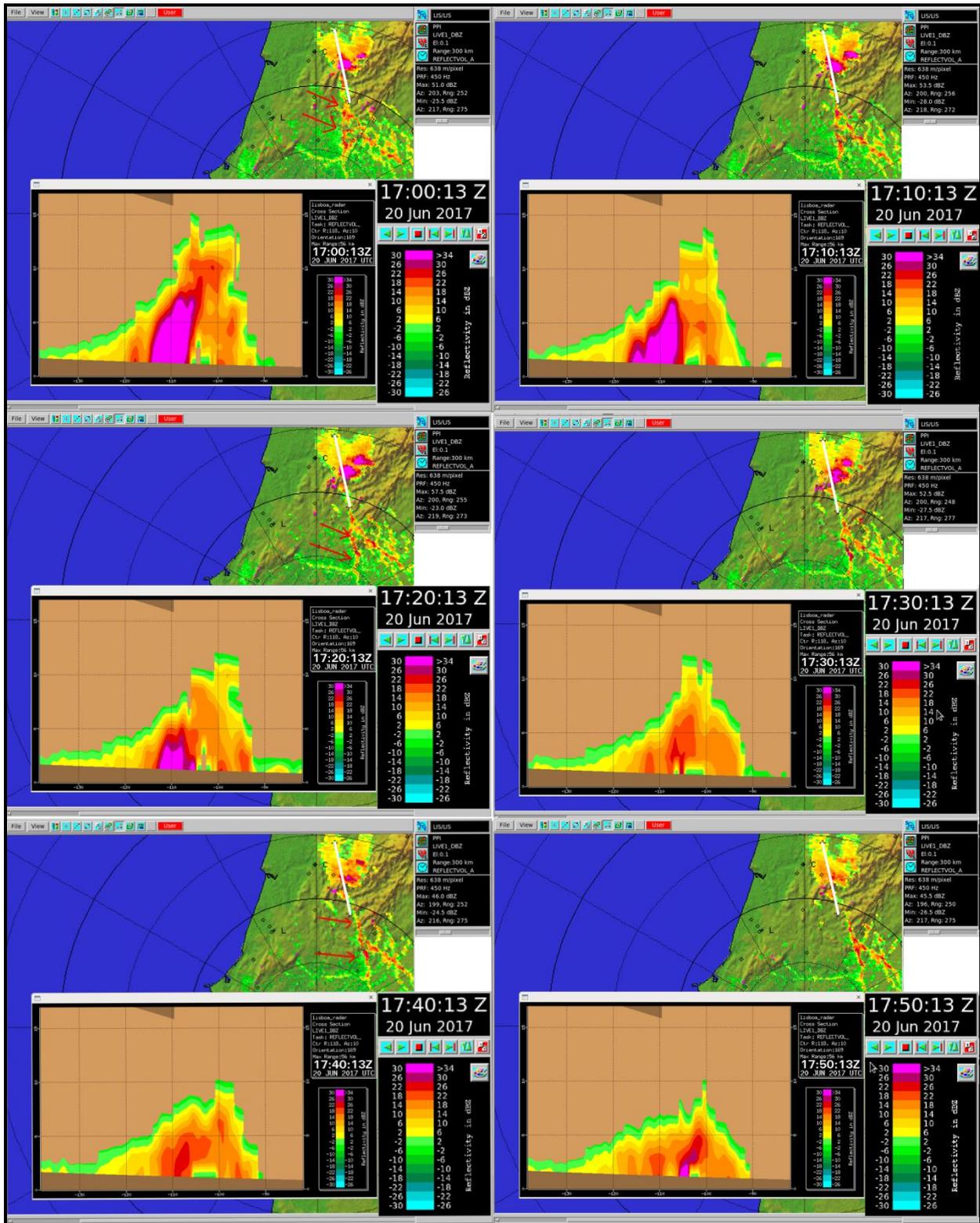


Figura 19 Anexo II - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 20 junho 2017 (17:00-17:50 UTC). Secção de corte segundo o azimute de orientação da pluma, com secção indicada a branco. Observador considerado a olhar para a secção vertical, de Oeste para Este. Escala vertical, em km, com discretização de 5 km; escala horizontal, em km, com discretização de 10 km. Indicada com setas a vermelho, a posição de linha de refletividade relevante, de 20 em 20 minutos, sobre a imagem de PPZ.

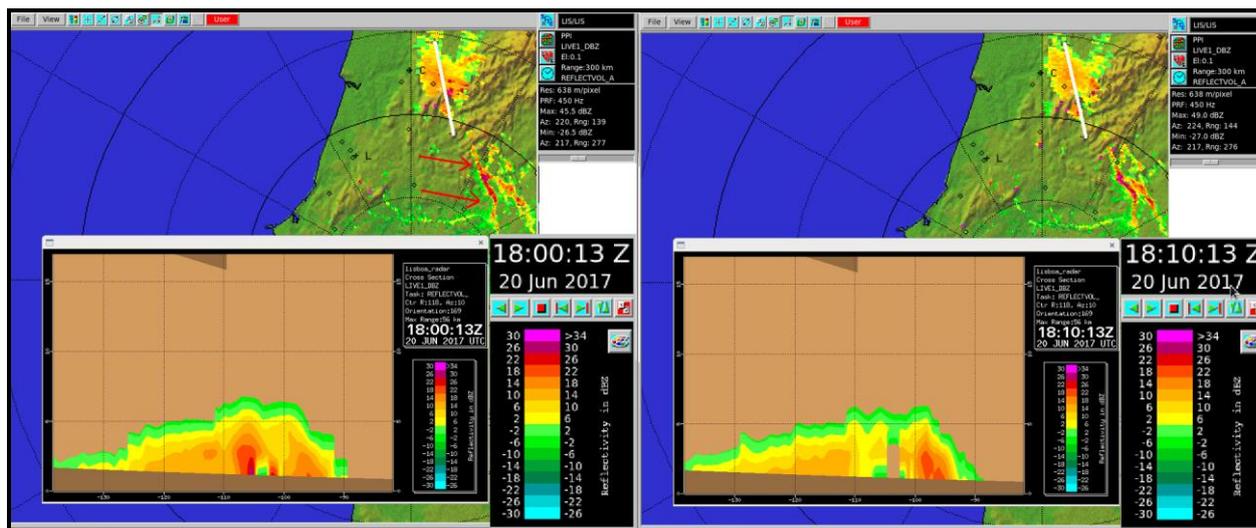


Figura 20 Anexo II - Painel de cortes verticais efetuados sobre o campo da refletividade (em dBZ), radar de C/CL, 20 junho 2017 (18:00-18:10 UTC). Secção de corte segundo o azimuth de orientação da pluma, com secção indicada a branco. Observador considerado a olhar para a secção vertical, de Oeste para Este. Escala vertical, em km, com discretização de 5 km; escala horizontal, em km, com discretização de 10 km. Indicada com setas a vermelho, a posição de linha de refletividade relevante, pelas 18:00 UTC, sobre a imagem de PPZ.

**ANEXO III - CONSIDERAÇÕES SOBRE O “SQI” E A LARGURA DO ESPETRO
DOPPLER**

SQI (SIGNAL QUALITY INDEX)

O parâmetro Índice da Qualidade do Sinal, é utilizado no processamento de sinais em inúmeras áreas tecnológicas e científicas, designadamente na área de radar meteorológico. Neste caso, constitui um dos parâmetros desenvolvidos para efetuar o controlo de qualidade das estimativas da velocidade (Doviak e Zrnic, 1984).

A interpretação do significado físico do SQI exige recordar que o cálculo dos 3 momentos do espectro Doppler - a amplitude do sinal, a componente radial média da velocidade e a largura do espectro -, depende de estimativas de autocorrelação. No caso do SQI, são relevantes a autocorrelação de ordem 0, R_0 , e a correlação de ordem 1, R_1 .

O SQI define-se como

$$SQI = \frac{|R_1|}{R_0}$$

em que R_0 é, por definição,

$$R_0 = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M s_n^* s_n$$

sendo M o número de impulsos emitidos envolvidos na média temporal, s_n é a série temporal filtrada dos efeitos de *clutter* (ecos fixos) e * assinala o complexo conjugado da série temporal. R_0 é um real e serve para normalizar o valor de SQI. R_1 é, por definição,

$$R_1 = \frac{1}{M-1} \sum_{n=1}^{M-1} s_n^* s_{n+1}$$

O operador $|(\)|$ aplicado sobre esta função na definição de SQI destina-se a transformá-la em real, já que SQI se define como um número real.

A função R_1 avalia a correlação entre o sinal retrodifundido de ordem n e o sinal retrodifundido de ordem $n+1$, isto é, avalia a correlação entre dois impulsos sucessivos retrodifundidos do mesmo volume de observação.

Da equação de definição de SQI inicialmente apresentada, retira-se imediatamente o correspondente significado físico: trata-se de uma grandeza que afere a coerência do sinal Doppler, sendo zero no caso de não existir correlação entre o sinal retrodifundido de um mesmo volume de observação, nos

instantes t e $t+1$ (o que corresponde a ruído branco) e sendo um 1 no caso de ser de 100% a correlação, ou seja, no caso de toda a potência retrodifundida ser coerente.

Exige-se que o valor do SQI atinja um determinado nível, a fim de que o sistema de processamento do radar esteja em condições de processar a velocidade Doppler. Nos radares nacionais, o valor do SQI no respetivo volume de observação terá de ser da ordem de 0.4 ou superior, para que tal se verifique. Valores inferiores de SQI ocorrerão se o sinal for demasiado fraco (próximo do MDS, mínimo sinal discernível pelo radar) ou se a variância da velocidade Doppler for demasiado elevada.

Caso o sinal não seja fraco mas o valor do SQI seja baixo, poderá haver interesse, como é o caso do presente estudo, em interpretar este comportamento. A consulta do ponto seguinte ajuda a enquadrar o problema.

LARGURA DO ESPETRO DOPPLER

Esta grandeza é obtida a partir do terceiro momento do espectro Doppler e corresponde à variância da componente radial da velocidade num volume de observação. Segundo Doviak e Zrnic (1984), o quadrado da variância da velocidade Doppler, σ_v^2 pode ser representada como

$$\sigma_v^2 = \sigma_s^2 + \sigma_\alpha^2 + \sigma_d^2 + \sigma_t^2$$

em que σ_s^2 corresponde à contribuição do shear do vento, σ_α^2 à contribuição do movimento da antena, σ_d^2 à contribuição das diferentes velocidades terminais de queda de gotas segundo diversos diâmetros e σ_t^2 , finalmente, à contribuição da turbulência existente no volume de observação. Os diversos mecanismos que contribuem para a largura do espectro Doppler são independentes entre si, o que permite estabelecer o carácter aditivo na expressão anterior.

Atualmente, sabe-se que o *shear* e a turbulência são os dois fatores meteorológicos mais importantes como contributo para a largura do espectro Doppler. Os restantes fatores terão efeitos semelhantes sobre a largura do espectro, desde que se comparem volumes obtidos no mesmo rastreio em áreas vizinhas. Deste modo, admite-se que do ponto de vista qualitativo, a largura do espectro Doppler poderá aumentar em função da contribuição conjunta do wind shear e da turbulência.

Deste modo, recordando o ponto anterior deste Anexo III, pode considerar-se que no caso de o valor do SQI ser baixo para um certo volume de observação, mas a amplitude do sinal (valor da refletividade) se encontrar acima do nível do MDS, isso significará que a largura do espectro Doppler será tipicamente elevada, o que se deverá essencialmente à contribuição conjunta dos efeitos do *wind shear* e da turbulência.

Neste contexto, e no presente estudo, considera-se que volumes de observação caracterizados por valores de SQI baixos e valores de refletividade acima do MDS, corresponderão a volumes atmosféricos caracterizados por *wind shear* e turbulência.