

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA,
GEOFÍSICA E ENERGIA



DETECÇÃO DE PLUMAS DE INCÊNDIO COM RADAR METEOROLÓGICO

Tânia Viegas Seita Costa

Mestrado em Ciências Geofísicas
(Área de Especialização de Meteorologia)

2008

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA,
GEOFÍSICA E ENERGIA

**DETECÇÃO DE PLUMAS DE INCÊNDIO
COM RADAR METEOROLÓGICO**

Tânia Viegas Seita Costa

Mestrado em Ciências Geofísicas
(Área de Especialização de Meteorologia)

2008

Dissertação orientada pelo Professor Doutor Pedro Miranda (FCUL)
e pelo Dr. Paulo Pinto (IM, I.P.)

Resumo

Nos últimos anos tem vindo a assistir-se a uma maior consciencialização dos impactes causados pelos incêndios e a um reforço no investimento e recursos disponibilizados para o seu combate e controlo. Dados da Eumetsat revelam que os incêndios devastam, anualmente, 500.000 ha em todo o globo, causando prejuízos avultados.

Os sistemas de radar meteorológico Doppler da banda C, concebidos para a detecção de ecos correspondentes a nuvens de hidrometeoros apresentam, igualmente, a possibilidade de detecção de ecos correspondentes a plumas de incêndio, capacidade evidenciada no decurso da exploração operacional realizada pelo Instituto de Meteorologia (IM, I.P.).

Os algoritmos utilizados com base em informação de satélite recorrem, essencialmente, à temperatura de brilho. No caso dos sistemas de radar, a detecção das plumas decorre do processamento da reflectividade, pelo que se trata de duas abordagens essencialmente distintas.

Inicialmente, foi explorada a detecção automática de incêndios com radar, seguindo a filosofia de avisos automáticos, em vigor no IM, I.P.. Posteriormente, em face do mau desempenho, foi utilizada a detecção subjectiva das plumas de incêndio, com radar, para melhorar a detecção dos focos de incêndio desenvolvido pela EUMETSAT, o FIR. De forma complementar, foi abordado o problema da interacção entre as frentes de brisa e as plumas de incêndio, interessante à temática em estudo.

O recurso a um novo parâmetro brevemente disponível para o controlo de qualidade da velocidade processada, com eventuais reflexos na melhoria da discriminação entre nuvens de hidrometeoros e de fumo, poderá vir a viabilizar a configuração de um novo produto radar automático apresentando uma menor taxa de falsos alarmes e, assim, susceptível de reforçar as conclusões preliminares que os casos estudados com a detecção radar subjectiva deixam antever: uma melhoria resultante da utilização conjunta dos dois meios observacionais face à utilização do satélite de per se.

Abstract

In the last few years there has been an increase in the awareness of the fires issue, as well as an increase both in the available budget and resources, in order to mitigate the phenomena. EUMETSAT has revealed that 500.000 ha are burned yearly, worldwide, causing a lot of damages.

C band Doppler weather radars were designed to detect water clouds but also possess the ability to detect fire plumes, as the Instituto de Meteorologia (IM, I.P.) operational experience has shown.

Satellite data based algorithms use brightness temperature in order to detect fire pixels, whereas radar uses reflectivity to detect smoke plumes; thus, the two methods are distinct.

In the early stages of this work, automatic radar detection of the plumes was tried; but, since the performance was poor, subjective smoke plume detection with radar was performed, in order to increase the FIR EUMETSAT algorithm performance (Active FIRE monitoring). The interaction of sea breeze fronts and smoke plumes was also studied, as an interesting issue in the scope of the work performed.

Meanwhile, a new parameter that the radar industry will present soon, might improve the discrimination between water and smoke clouds using radar. If this is the case, a new smoke plume automatic radar based warning will be created, hopefully showing a lower false alarm rate and, thus, enabling a better performance of the fire detection if compared with the FIR algorithm used in a standalone mode.

Índice

Glossário.....	8
1. Introdução e motivação.....	10
1.1. Introdução	10
1.2. Motivação.....	11
2. Estado da arte: breves considerações.....	13
3. Princípios básicos do radar meteorológico	17
3.1. Equação Radar e Reflectividade.....	17
3.2. Espectro Doppler	20
4. Metodologia.....	23
5. Estudos de Caso.....	28
5.1. Produto de aviso baseado em observação radar para detecção de plumas de incêndio	28
5.2. Identificação conjunta de incêndios com produto radar e algoritmo FIR.....	37
5.3. Interação de frentes de brisa com plumas de incêndio.....	40
6. Conclusões e Trabalho futuro.....	48
ANEXOS.....	51
A. SQI.....	51
B. PRODUTOS RADAR	52
C. PRODUTOS DE AVISO.....	53
Bibliografia.....	55

Lista de Figuras

Figura 4.1- Diagrama de propagação da radiação.	25
Figura 5.1 - Primeira detecção do incêndio com o produto de aviso	31
Figura 5.2 - Instante da primeira detecção do incêndio com o produto de aviso	32
Figura 5.3 - Detecção correspondente a um falso alarme	33
Figura 5.4 - Detecção correspondente a um falso alarme.	33
Figura 5.5 - Situação correspondente a uma falha na detecção.....	34
Figura 5.6 - Situação correspondente a uma falha na detecção.....	34
Figura 5.7 - Gráfico comparativo entre detecção de incêndios com radar e com algoritmo FIR	39
Figura 5.8 - Aproximação da frente de brisa do local do incêndio.....	42
Figura 5.9-Início da interacção com a pluma	42
Figura 5.10 - Interacção da pluma com a frente de brisa	43
Figura 5.11 - Corte vertical da reflectividade.....	44
Figura 5.12 - Intensificação em altitude.....	44
Figura 5.13 - Separação física da zona mais intensa da pluma.	45
Figura 5.14 - Temperatura instantânea na estação de Neves Corvo	45
Figura 5.15 - Humidade relativa na estação de Neves Corvo	46
Figura 5.16 - Rumo do vento médio na estação de Neves Corvo	46
Figura 5.17 - Intensidade da rajada máxima	47

Glossário

AFN: Autoridade Florestal Nacional, ex - Direcção Geral dos Recursos Florestais

c.d.o.: comprimento de onda

C/CL: radar de Coruche/Cruz do Leão

Chaff: limalha de metal espalhada no ar, por aviões militares, como simulação de alvos para mísseis guiados por tecnologia radar.

EUMETSAT: European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites

EUMETCAST: EUMETSAT's Broadcast System for Environmental Data

FIR: algoritmo active fire monitoring, da EUMETSAT

GOS: Global Observation System

IRIS: Interactive Radar Information System

IM: Instituto de Meteorologia, I.P.

L/CC: radar de Loulé/Cavalos do Caldeirão

MAXZ: produto radar da projecção de máximos de reflectividade

MSG: METEOSAT Second Generation

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

OMM: Organização Meteorológica Mundial

RADAR: Radio Detection And Ranging

SQI: Signal Quality Index

Agradecimentos

Agradeço à Autoridade Florestal Nacional, em especial ao Dr. João Verde, por me ter disponibilizado a série de ocorrências de incêndios que foi a base de trabalho desta dissertação.

Agradeço ao Professor Pedro Miranda por se ter disponibilizado a assumir a orientação científica desta dissertação.

Agradeço ao meu colega de trabalho e co-orientador, Paulo Pinto, não só pela preciosa colaboração durante o desenvolvimento desta dissertação, sem a qual esta teria sido impossível, mas por todo o conhecimento que me tem transmitido, desde a primeira hora da minha entrada no IM.

Agradeço ao meu colega e coordenador Sérgio Barbosa por toda a colaboração prestada, e pelas condições que ajudou a criar, que tornaram possível a entrega desta dissertação a tempo e horas.

Agradeço a todos os colegas do IM, que me apoiaram e animaram durante todo o desenvolvimento deste trabalho, especialmente na fase crítica da escrita.

Agradeço aos meus pais e irmãs, pelo apoio incondicional.

E finalmente, agradeço ao meu marido Nuno, por tudo...

1. Introdução e motivação

1.1. Introdução

Os incêndios têm sido, desde sempre, fenómenos com os quais o Homem se tem confrontado e que têm desempenhado um papel importante na organização e desenvolvimento das sociedades.

Nos últimos anos, tanto em Portugal como na Europa, tem-se assistido a uma maior consciencialização da sua importância e, como consequência, a um reforço no investimento e recursos disponibilizados para o seu combate e controlo, no sentido de minimizar perdas e danos.

De acordo com dados da EUMETSAT, os incêndios devastam, anualmente, cerca de 500.000 ha em todo o globo; segundo o mesmo organismo, e apenas na Península Ibérica, os prejuízos ascendem anualmente a aproximadamente 1200 milhões de Euros.

Os sistemas de radar meteorológico Doppler da banda C, são particularmente desenhados e concebidos para a detecção de ecos correspondentes a nuvens de hidrometeoros. No entanto, a exploração da rede nacional de radares efectuada pelo Instituto de Meteorologia (IM, I.P.) para fins de previsão e vigilância meteorológica, tem vindo a evidenciar a possibilidade de detecção de ecos correspondentes a plumas de incêndio com radar meteorológico. Esta capacidade tem sido frequentemente confirmada com recurso a observações efectuadas por sensores instalados a bordo de satélite.

Por outro lado, países como o Canadá, os EUA e a China têm vindo a tirar partido desta possibilidade, de acordo com diversos trabalhos desenvolvidos. Em Portugal existem, também, algumas avaliações exploratórias no mesmo sentido.

O aprofundamento do estudo das plumas do incêndio e suas eventuais aplicações operacionais, serão objecto de discussão ao longo da presente dissertação.

1.2. Motivação

A rede nacional de radares, presentemente integrando duas unidades instaladas nos concelhos de Coruche e Loulé, encontra-se em fase de expansão para o norte do território do continente. A futura estação será instalada no concelho de Arouca, cerca de 50Km a SE da cidade do Porto. Após o termo do referido projecto, ficará concluída a cobertura radar do território do continente e assegurada a vigilância meteorológica dependente deste meio tecnológico.

Numa época em que é importante justificar perante a opinião pública a necessidade dos investimentos realizados pelo Estado, são particularmente bem-vindas as capacidades acrescidas que se reconheça ser possível explorar, tendentes a incrementar a respectiva relação de custo/benefício. Por outro lado, sabe-se que uma das características fundamentais do trabalho científico é a busca constante de novas aplicações, seja recorrendo a meios inovadores, seja utilizando de forma diferenciada e original os já existentes. Neste contexto, afigura-se como interessante a utilização de radar meteorológico no estudo de plumas de incêndio.

Embora a comunidade científica tenha vindo a abordar o tema da detecção e acompanhamento de plumas de incêndios, há que reconhecer que a maioria dos trabalhos se baseia em observações provenientes de sensores instalados a bordo de satélite. As poucas observações efectuadas por radar meteorológico utilizadas em estudos de caso de incêndios florestais ou industriais, correspondem a acontecimentos isolados e não a um trabalho sistemático.

A disponibilidade de uma base de dados de instante de alerta de incêndios, cedida pela Autoridade Florestal Nacional (AFN, ex - Direcção Geral dos Recursos Florestais), permitiu sistematizar a selecção de eventos do arquivo de observações radar do IM, IP. As observações radar garantem uma resolução espacial e temporal melhor do que as correspondentes às asseguradas pela maioria dos sensores em satélite, facto que contribui para uma mais rentável utilização da referida base de dados.

Os algoritmos utilizados na detecção de incêndios com base em informação de satélite recorrem, essencialmente, ao parâmetro temperatura de brilho para identificar áreas de incêndio. No caso dos sistemas de radar, a detecção resulta do processamento da

grandeza reflectividade. De forma simplista, pode dizer-se que os primeiros detectam o calor produzido no foco do incêndio e os segundos, o fumo produzido pela combustão. Trata-se, pois, de duas abordagens distintas, sendo apelativa a ideia de que - pelo menos em algumas situações - seja possível melhorar a precocidade na detecção do incêndio utilizando, de forma combinada, os dois meios observacionais.

O presente trabalho utilizou o potencial oferecido pela observação radar em aspectos como a detecção e acompanhamento das plumas de incêndio, a análise da interacção das frentes de brisa com estas e o estudo de diversas características das referidas estruturas. Esta análise visou explorar a possibilidade de identificar predictores do comportamento do incêndio, embora sem a pretensão de fundamentar os resultados numa análise estatística.

O estudo foi efectuado na convicção de que um conhecimento mais aprofundado do tema venha a contribuir para a melhoria da estratégia de combate a incêndios, prosseguida pelas autoridades competentes.

2. Estado da arte: breves considerações

Os sistemas de radar meteorológico têm assumido uma relevância crescente nas últimas décadas, quer no âmbito da exploração operacional, como auxiliar de diagnóstico e previsão, quer no da investigação pura e aplicada, em meteorologia e áreas afins.

A grande importância operacional dos sistemas de radar meteorológico, designadamente na detecção e acompanhamento de fenómenos meteorológicos perigosos, na previsão para períodos muito curtos (até seis horas) e na previsão hidrológica, tem merecido reconhecimento internacional crescente. A OMM (Organização Meteorológica Mundial) tem inclusivamente considerado os equipamentos de radar como um vector da maior relevância na melhoria do subsistema de superfície do Sistema Global de Observação (GOS) do Programa da Vigilância Meteorológica Mundial, o que tem estimulado em grande medida o desenvolvimento do sector.

O estabelecimento de redes transnacionais de radares tem prosseguido, área em que a Europa constitui um bom exemplo, contando actualmente com cerca de 150 sistemas de radar instalados.

Não obstante esta evolução favorável, consistente com uma crescente utilização do radar meteorológico em diversos domínios, não é fácil encontrar publicações referindo estudos de caso em que tenham sido utilizadas observações de radar na detecção e monitorização de incêndios. No entanto, diversos artigos científicos recentemente publicados apontam a linha de investigação seguida no presente estudo.

No artigo de Rogeres e Brown (1997), detalha-se a ocorrência de 23 de Maio de 1996, em que foi observado um fogo industrial, com origem numa fábrica de tintas, em Montreal, Canadá. A observação foi efectuada a partir do radar do J. S. Marshall Radar Observatory, um sistema da banda S (≈ 10 cm de c.d.o.), localizado a cerca de 30 km do local do incêndio. Além deste meio, estavam também disponíveis na mesma altura um perfilador de vento e um radar de incidência vertical, da banda X, com os quais foi possível obter alguns perfis detalhados da pluma do incêndio. Os autores referem-se explicitamente ao facto de a detecção da pluma de incêndio por sistemas construídos para detectar hidrometeoros ser inesperada, e discutem os possíveis motivos que

permitiram a detecção da referida pluma; entre estes, conta-se o possível afastamento do tamanho médio das partículas de fumo observadas em relação ao compatível com uma dispersão à Rayleigh (as partículas de fumo não seriam suficientemente pequenas), e a possível coexistência entre a dispersão à Rayleigh e a dispersão à Bragg. Esta hipótese é também referida no texto clássico de Doviak e Zrnic (1993, 504). Uma das principais conclusões deste estudo de caso é a confirmação da grande utilidade que as observações radar podem ter no estudo e monitorização de incêndios.

Hufford et al (1998), em trabalho desenvolvido no Alaska, utilizaram observações efectuadas a bordo de satélite com diversas proveniências e observações de radar (rede WSR-88D, EUA), para determinar a localização, intensidade e monitorizar o desenvolvimento de incêndios em áreas remotas - habitualmente com vigilância efectuada por aeronaves, envolvendo grande dispêndio e nem sempre efectuada com a regularidade desejável. Neste caso, o radar foi utilizado essencialmente para seguir a pluma e avaliar o possível impacte dos poluentes dispersados na saúde pública. Neste caso o radar utilizado estava a cerca de 170 km do local do incêndio pelo que, certamente, não foi possível uma utilização mais detalhada, tendo os investigadores acabado por concluir que a distância entre o ponto de onde parecia provir a pluma e o local do foco do incêndio era da ordem de 1.5 a 2.5 km.

Num outro artigo (Wurman, 2003), é descrita a campanha experimental realizada com um *baby*-radar montado sobre um veículo, “Doppler on Wheels – DOW”; este foi deslocado para uma zona em que estava previsto atear um fogo controlado, num parque natural. Devido às condições meteorológicas adversas, a experiência foi cancelada, mas a equipa teve a oportunidade de observar um fogo natural, entretanto eclodido, do qual foram recolhidas imagens a partir de várias posições do DOW. Estas imagens, de alta resolução e recolhidas muito perto da ocorrência, resultaram numa série de informações, mais tarde reconstruídas em 3D, que se revelaram extremamente úteis no reconhecimento da estrutura complexa das *updrafts*, e permitiram inclusive calcular parâmetros como fluxos de calor, por exemplo. Numa outra campanha, foram obtidos resultados do mesmo tipo, tendo-se obtido a estimativa de velocidades de até 30ms^{-1} nas *updrafts* de algumas regiões das plumas. Como conclusão, é referida a utilidade deste tipo de campanha no conhecimento da dinâmica do incêndio, idealmente com a

utilização simultânea de dois ou mais radares de forma a ser possível reconstruir os vectores correspondentes ao vento real, a serem utilizados como *input* em modelos de mesoescala de evolução de incêndios.

Um documento do *Office of the Federal Coordinator for Meteorology* dos E.U.A apresenta extensivamente os benefícios que podem ser colhidos de uma exploração radar eficiente. Entre esses benefícios são referidas as possíveis contribuições do radar no combate a incêndios. Essas contribuições são variadas: detecção da pluma; detecção de variações rápidas do vento na zona do incêndio, quer devido à interacção entre o vento e o terreno, quer devido à influência da própria pluma nas condições locais do vento; utilização do radar na avaliação da qualidade do ar junto da pluma e a jusante desta, etc. Dado que a precipitação pode ser utilizada favoravelmente no combate a incêndios, a localização de células convectivas próximo da zona que está a arder, ou de zonas ameaçadas, em tempo real, constitui uma vantagem na racionalização de meios. Por outro lado, as próprias células convectivas podem originar mudanças bruscas na direcção do vento, alterando o rumo inicial da frente de incêndio, podendo colocar em risco tanto as equipas de combate a incêndio no terreno, como populações anteriormente consideradas a salvo. Indicações dadas pelo radar quanto à aproximação de células convectivas (potencialmente com elevada actividade eléctrica) de zonas ricas em matéria combustível seca, podem alertar para áreas com risco de ignição.

No sítio da NOAA, é apresentado um documento (*Smoke plume of a steel mill, as seen from the Chicago WSR-88D Doppler radar*) em que é mostrado um exemplo de uma pluma de um incêndio industrial, detectado pelo radar Doppler WSR-88D de Chicago. É referido que o feixe do radar Doppler é bastante sensível, mesmo a pequenas partículas dispersadas a uma grande distância do radar. Para além de ser apresentada uma imagem radar em que a pluma é claramente visível, são também tecidas algumas considerações acerca da possibilidade de a pluma ter ficado retida sob uma inversão térmica, comprovada por uma sondagem realizada a bordo de um avião, quase em simultâneo com as observações radar. Devido à alteração provocada na camada limite por esta inversão, originou-se uma camada estável, que terá prolongado o tempo em que a pluma de incêndio ficou visível pelo radar.

No sítio do *Bureau of Meteorology* do governo australiano é citada a notícia de um novo

radar Doppler nos arredores de Sidney (*New weather radar comes to aid of NSW fire fighters*), sobre o qual recaem as expectativas de colaboração nas actividades de combate a incêndios. Estas expectativas prendem-se com a possibilidade de detecção de alterações no campo do vento em camadas baixas, desde a zona do radar até cerca de 100 km de alcance. Por outro lado, a possibilidade de detecção das plumas de incêndio pode também ajudar à compreensão da dinâmica de cada incêndio.

Na Europa, e em particular no nosso país, tem-se assistido a uma crescente preocupação e conseqüente incremento nos investimentos efectuados para cumprimento de estratégias de combate a incêndios. Tem-se procurado promover a obrigatoriedade da criação de planos municipais de defesa da floresta contra os incêndios e foi já proposta a criação de um Plano Nacional de Defesa da Floresta contra os Incêndios, por parte do Governo da República. Estas medidas têm em conta o facto de, nos últimos 25 anos, os incêndios florestais terem já consumido cerca de 2,7 milhões de hectares de floresta.

Desta breve resenha conclui-se não só que a utilização de observações de radar no esforço de combate a incêndios está na ordem do dia, como também que são inúmeras as possibilidades de exploração deste campo, que obviamente não se esgotam no presente trabalho.

3. Princípios básicos do radar meteorológico

3.1. Equação Radar e Reflectividade

O sensor do sistema de radar meteorológico emite um feixe de ondas electromagnéticas de elevada frequência, moduladas por impulsos de curta duração e de grande potência e radiadas por uma antena altamente direccional. Esta concentra a energia electromagnética num feixe de pequena abertura angular (inferior a 1°), o qual sofre acidentes de propagação no meio incidente, sendo que parte da potência retrodifundida é processada ao regressar à antena. Neste sentido, trata-se de um sensor de tipo activo.

Enquanto decorre o intervalo de tempo entre dois impulsos consecutivos (período de silêncio), o impulso em propagação vai interceptar alvos que se encontrem no seu trajecto. Os alvos podem ser hidrometeoros (gotas de chuva, flocos de neve, partículas de gelo, gotículas das nuvens, etc.), colinas, árvores, edifícios, ou mesmo partículas de fumo. O alvo reflecte e difunde uma parte da energia electromagnética que o atinge, comportando-se como um segundo emissor. Uma ínfima parte da energia emitida é, por este processo, reenviada à antena e recebida pelo receptor, que detecta e amplifica o sinal recebido (eco). A distância a que se encontra o alvo é determinada pelo intervalo de tempo necessário para que as ondas electromagnéticas o interceptem e regressem à antena, não esquecendo que a radiação efectua um percurso de ida e volta, sendo o espaço total percorrido duplo do que corresponde à distância ao alvo. A contagem do tempo inicia-se no instante em que a antena emite o impulso e cessa quando o eco é recebido, o que justifica, em parte, o acrónimo RADAR (Radio Detection and Ranging).

Ao propagar-se, o feixe radar detecta, de facto, um conjunto virtualmente infinito de partículas de distribuição aleatória num volume (a sua posição varia de instante para instante), pelo que existem variações da potência recebida no radar (P_r), entre impulsos sucessivos, o que justifica a necessidade de se considerar um número tal de impulsos que conduza a um valor médio de P_r , considerado representativo do volume iluminado.

O valor médio de P_r (W) (Battan, 1973) é dado por

$$\bar{P}_r = \frac{\pi^3 \cdot P_t \cdot G^2 \cdot |k|^2 \cdot \theta \cdot \phi \cdot h}{1024 \cdot \ln 2 \cdot \lambda^2 \cdot r^2} Z \quad (3.1.1.)$$

onde P_t é a potência de pico do emissor (W), G o ganho da antena (adimensional), $k = (m^2 - 1)/(m^2 + 2)$, em que m é o índice de refração complexo, θ é a abertura do feixe na horizontal (rad), φ é a abertura do feixe na vertical (rad), h ($h = c \cdot t$) é o comprimento (m) do impulso de duração t , λ é o comprimento de onda da radiação radar (cm), r é distância a que se encontram as partículas (km) e Z é o factor de reflectividade radar ($\text{cm}^6 \times \text{cm}^{-3}$), dado por

$$Z = \sum_{\text{unid. volume}} D_i^6 \quad (3.1.2.)$$

em que D_i representa o diâmetro da partícula i . As constantes π^3 e $1024 \times \ln 2$ resultam das hipóteses admitidas aquando da dedução da equação radar.

Agrupando os coeficientes numéricos e as constantes inerentes ao radar numa só constante C - constante radar - (3.1.1.) pode simplificar-se escrevendo,

$$\overline{P_r} = C \cdot |k|^2 \cdot \frac{Z}{r^2} \quad (3.1.3.)$$

que constitui a forma da equação radar para o caso de partículas esféricas da precipitação.

Fazendo reflectir na equação radar a atenuação do feixe em resultado dos gases atmosféricos, principalmente o oxigénio (K_g), das nuvens (K_c) e da própria precipitação (K_p), a que corresponde uma atenuação total $K = K_g + K_c + K_p$, resulta que (3.1.3.) se escreve (Battan, 1973):

$$\overline{P_r} = C \cdot |k|^2 \cdot \frac{Z}{r^2} 10^{-0.2 \int k \cdot dr} \quad (3.1.4.)$$

A atenuação da radiação radar é o resultado de dois efeitos: absorção e difusão de potência em todas as direcções. Em geral, os gases actuam apenas como absorventes, o mesmo se podendo dizer das nuvens e pequenas gotículas de chuva. No entanto, devem considerar-se os dois efeitos quando estão presentes grandes flocos de neve, granizo e grandes gotas.

A equação radar foi deduzida admitindo as hipóteses (Collier, 1989):

a) As partículas difusoras da precipitação são esferas homogéneas cujos diâmetros são pequenos em comparação com o comprimento de onda ($D < 3.2$ mm - aproximação

de Rayleigh).

- b) O volume iluminado está preenchido por partículas da precipitação distribuídas aleatoriamente.
- c) O factor de reflectividade, Z , é uniforme ao longo de todo o volume amostrado e constante durante o intervalo de amostragem.
- d) As partículas são todas gotas de água ou todas partículas de gelo, ou seja, $|kl|^2$, que só depende do estado físico da água, é o mesmo para todas as partículas.
- e) As difusões múltiplas são desprezáveis.
- f) As ondas emitida e retrodifundida são linearmente polarizadas.
- g) O feixe principal do diagrama de radiação da antena tem uma forma gaussiana ou aproximada.
- h) A contribuição dos lóbulos laterais para a potência recebida é desprezável.
- i) A antena é parabólica com secção transversal circular e o seu ganho é conhecido.
- j) A absorção do sinal resultante dos ecos de terreno (*clutter*) é desprezável.
- k) Todas as perdas de potência do sistema são consideradas.
- l) O valor de \bar{P}_r é obtido a partir da média correspondente a um número suficiente de impulsos ou amostras independentes para que seja considerado representativo do volume iluminado.

Se não houver qualquer desvio nos parâmetros do radar, C tem sempre o mesmo valor, pelo que \bar{P}_r depende apenas das características dos retrodifusores observados, ou seja, de $|kl|^2$ e Z , e da distância a que se encontram os alvos.

Recorrendo à equação radar pode determinar-se o factor de reflectividade, Z , uma vez que os restantes parâmetros são conhecidos. Sempre que, como habitualmente, se coloca a questão de estimar a intensidade da precipitação com radar, haverá que relacionar Z com esta grandeza. Este importante tema não será aprofundado no presente estudo, uma vez que o mesmo trata de observações radar sem necessidade de fazer estimativas da intensidade de precipitação.

Para as partículas que satisfazem à aproximação de Rayleigh, a intensidade do eco é proporcional a $Z = \sum_i n_i(D_i) D_i^6$, sendo $n_i(D_i)$ o número de gotas por unidade de volume com diâmetro D_i . Para o caso de um espectro contínuo (Sauvageot, 1982), Z deve exprimir-se em termos de um integral e não de um somatório, ou seja,

$$Z = \int_{D_{0\min}}^{D_{0\max}} n(D_0) \cdot D_0^6 \cdot dD_0 \quad (3.1.5.)$$

Onde $n(D_0)dD_0$ representa o número de partículas por unidade de volume com diâmetros entre $D_{0\min}$ e $D_{0\max}$.

Em numerosos casos, as partículas da precipitação não são esféricas, ou seja, não satisfazem à aproximação de Rayleigh. Nestas condições, em vez de Z , é mais correcto utilizar a grandeza factor de reflectividade equivalente, Z_e , que se considera igual ao factor de reflectividade duma população de partículas esféricas líquidas satisfazendo a aproximação de Rayleigh e produzindo um sinal retrodifundido com a mesma potência.

3.2. Espectro Doppler

Num volume da atmosfera observado pelo radar existem, tipicamente, inúmeros retrodifusores animados de movimento aleatório. Para simplificação, no entanto, começa por considerar-se o sinal devolvido à antena por um único retrodifusor, e que pode ser representado por

$$a_j(t)e^{-i\phi_j(t)} \quad (3.2.1.)$$

em que $a_j(t)$ e $\phi_j(t)$ são, respectivamente, a amplitude e a fase do sinal retrodifundido pela partícula i , funções do tempo. Os modernos sistemas de radar Doppler, como aqueles que serviram de base ao desenvolvimento do presente trabalho, dispõem da capacidade de medição quer da amplitude, quer da fase dos sinais retrodifundidos, sendo sistemas coerentes na recepção.

A fase do sinal retrodifundido pode, por sua vez, ser expressa em função de grandezas que evidenciem o seu significado físico. Tomando um alvo à distância r do radar, verifica-se que a radiação electromagnética percorre uma distância total de $2r$ até

regressar à antena ou seja, de $2r/\lambda$, em função do c.d.o. λ ; em radianos virá $4\pi r/\lambda$. A fase do sinal retrodifundido, ao chegar à antena, representa-se por

$$\phi_j(t) = -\frac{4\pi}{\lambda} r \quad (3.2.2.)$$

sendo a sua variação em ordem ao tempo dada por

$$\frac{d\phi_j}{dt} = -\frac{4\pi}{\lambda} \frac{dr}{dt} \quad (3.2.3.)$$

Se se tiver em atenção que dr/dt é a componente da velocidade do alvo segundo o eixo do feixe e que $d\phi/dt$ é uma frequência angular $\omega_D = 2\pi f_D$, vem

$$f_D = -\frac{2v_r}{\lambda} \quad (3.2.4.)$$

em que f_D se designa por frequência Doppler. Na equação anterior, em que figura a componente radial da velocidade da partícula i ou velocidade Doppler, v_r , assume-se que para movimentos no sentido da antena a componente é considerada negativa.

De forma simplificada, pode dizer-se que $a_j(t)$ exprime a amplitude do sinal que é proporcional à secção eficaz de retrodifusão e (3.2.4.) exprime a variação de frequência (ou de fase) resultante de o alvo ou partícula se encontrar em movimento face à antena, entre impulsos sucessivos.

Na realidade, o elevado número de retrodifusores presentes em cada volume de observação torna um pouco mais complexa a situação de representação, transformando-se (3.2.1.) em

$$y(t) = A(t)e^{-i\Phi(t)} = \sum_j a_j(t)e^{-i\phi_j(t)} \quad (3.2.5.)$$

sendo $A(t)$ e $\Phi(t)$ a amplitude e fase do sinal composto, isto é, do sinal resultante do conjunto das contribuições de todos os retrodifusores presentes no volume, considerados aleatoriamente distribuídos no mesmo.

O espectro Doppler é um espectro de potência, em que esta se distribui em função da velocidade (ou frequência).

Em termos de significado físico, conceba-se um volume de observação com igual

número de partículas distribuídas por dois diâmetros típicos distintos; imagine-se que, por hipótese, todas as partículas incluídas no grupo das de maior dimensão estão animadas de uma velocidade V_M e que no grupo das de menor dimensão, todas as partículas têm uma velocidade V_m ; no espectro Doppler correspondente ao conjunto de todas as partículas, observar-se-ia uma distribuição das potências por duas frequências, sendo que a correspondente a V_m teria menos potência distribuída; a velocidade do volume de resolução resultaria num enviesamento no sentido de V_M , decorrente da maior contribuição relativa para o espectro de potência deste último grupo de partículas.

Manifestamente, sai fora do âmbito da presente dissertação o desenvolvimento teórico inerente à dedução das expressões dos momentos estatísticos das diversas ordens. No entanto, numa interpretação física simples - limitada aos dois primeiros momentos deste espectro - pode dizer-se que o chamado momento de ordem zero corresponde à potência média recebida e é proporcional à resultante da reflectividade dos alvos presentes no volume de observação; o momento de ordem um corresponde à resultante da frequência Doppler, ou seja, à resultante da componente radial da velocidade dos alvos contidos no mesmo volume.

4. Metodologia

O radar meteorológico, enquanto ferramenta utilizada na óptica do combate a incêndios, tem sido pouco explorado. Neste trabalho tenta dar-se uma visão de diversos aspectos em que este meio, quando utilizado em conjunto com outros, pode constituir uma mais-valia, se integrado numa estratégia de combate a incêndios e fogos florestais.

O princípio básico da identificação de incêndios com radar meteorológico, em que o presente estudo se fundamenta, assenta na detecção da respectiva pluma recorrendo ao campo da reflectividade. Existe a convicção de que este princípio, distinto na sua essência daquele em que a maioria dos algoritmos baseado em satélite se baseiam (detecção de valores limiar da temperatura de brilho da superfície), permita – em alguns casos – melhorar o desempenho do método de identificação de incêndios e, por consequência, antecipar a detecção do acontecimento.

Começou por explorar-se a eventual possibilidade de se utilizar o sistema de processamento, supervisão e comando da rede de radares nacional (designado por IRIS – Interactive Radar Information System) – já utilizado na geração de diversos produtos automáticos de aviso de ocorrência de fenómenos de tempo severo - para configurar um novo produto de alarme. Este novo produto destinar-se-ia à identificação de plumas de incêndio. Esta possibilidade revela-se tanto mais atractiva quanto mais remota seja a área a que a identificação diga respeito, já que nestas a vigilância pelos métodos tradicionais se torna sempre dispendiosa e, em muitos casos, pouco eficaz.

A filosofia dos avisos baseados em observações radar, à semelhança do que ocorre noutros casos, assenta na identificação combinada de um número limitado de grandezas observadas. Da impossibilidade em reter toda a física do fenómeno decorrente deste facto, resulta a necessidade de convivência com uma estatística de contingência, de cuja aplicação resultará sempre, na prática, uma razoável quantidade de falsos alarmes.

Na tentativa de reduzir esta incidência, foi inicialmente testada a utilização de um parâmetro, a combinar, característico do controlo de qualidade das estimativas da velocidade, inerente aos sistemas de radar, designado por SQI (Signal Quality Index, ver Anexo A).

Este parâmetro afere a coerência do sinal Doppler, sendo 0 correspondente a ruído branco e 1 a um sinal em que toda a potência é coerente. Na prática, isto corresponde a afirmar que o SQI de um sinal proveniente de um volume da atmosfera observada pelo radar é tanto maior, quanto mais alta for a correlação entre amostras sucessivas do referido volume ou, de outro modo, quanto menor for a variação das características do sinal amostrado entre impulsos sucessivos.

As nuvens de hidrometeoros são caracterizadas, em geral, por valores relativamente elevados deste parâmetro (tipicamente acima de 0.8). Observações preliminares de nuvens de fumo, correspondentes a plumas de incêndios, sugeriram que o valor do SQI que lhes correspondia era mais elevado ainda, fazendo antecipar uma maior coerência do sinal retrodifundido por partículas de fumo, face a hidrometeoros.

Uma vez que este parâmetro é utilizado operacionalmente apenas no controlo de qualidade da velocidade processada, haveria que seleccionar, de entre os rastreios radar utilizados no IM, apenas aquele que processa a componente radial da velocidade e que, portanto, beneficia do SQI (denominado rastreio VENTO). Por razões técnicas, só após Março de 2007 se passou a arquivar a série observacional correspondente a esta grandeza e apenas para o radar de Coruche/Cruz do Leão (C/CL) (dificuldades operacionais impedem-no para o radar de Loulé/Cavalos do Caldeirão (L/CC) embora a grandeza esteja a ser utilizada no controlo de qualidade, localmente).

A série do registo de ocorrência de incêndios de que se dispôs para a realização do trabalho, solicitada em devido tempo à AFN (Autoridade Florestal Nacional, ex DGRF), compreendia, inicialmente, o período de 1 de Janeiro de 2001 a 30 de Setembro de 2007. Entre outros elementos foi possível dispor, para cada evento, da área ardida, data/hora de alerta, data/hora de extinção, localização por Distrito, Concelho, Freguesia, Localidade e coordenadas militares do foco. Esta série foi filtrada para eventos anteriores a Março de 2007, pelos motivos anteriormente apontados.

O número de ocorrências de incêndios florestais registado pela AFN em cada ano consta da Tabela 4.1.. Para o ano de 2007, foram registadas 16384 ocorrências, significativamente menos do que em anos anteriores (menos de metade das ocorrências

registadas em 2005, por exemplo).

O rastreio do VENTO apresenta um alcance de processamento limitado a 100km o que condicionou, uma vez mais, os eventos seleccionados para efeitos do estudo realizado. Da série inicialmente disponível para o ano de 2007, encontram-se nesta condição 4361 ocorrências. Este facto constituiria, em todo o caso, uma boa prática ainda que não fosse por razões dependentes do limite de alcance deste rastreio. De facto, em condições de propagação normal do feixe de radiação (ver Figura 4.1), para distâncias superiores a 100km a pluma só seria detectada relativamente tarde, graças à altitude razoável a atingir pela mesma para se incorporar no volume de detecção.

Uma vez dispondo da série de incêndios, filtrada, foi realizada uma extensa bateria de testes recorrendo à observação radar, tendo como objectivo obter uma configuração, afinada, do produto de aviso automático de incêndios.

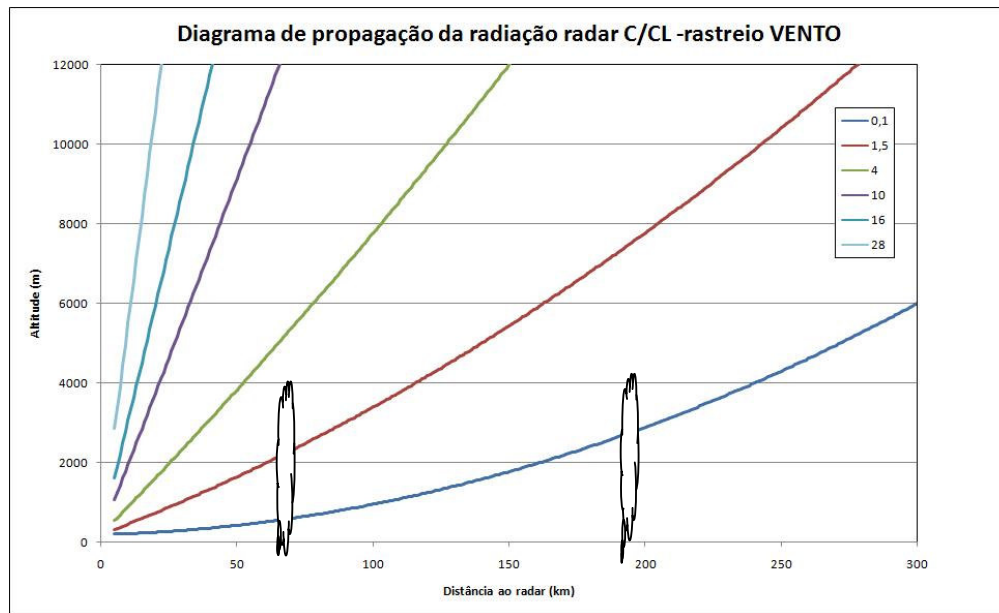


Figura 4.1- Diagrama de propagação da radiação, para as várias elevações (°) do rastreio VENTO, do radar de Coruche/Cruz do Leão; mostra-se em sobreposição esquemática as plumas de incêndio, conforme são observadas pelo radar.

O procedimento seguido, em geral, para a configuração de produtos de aviso radar, passa por seleccionar o maior número possível de casos em que tenha ocorrido o fenómeno que se pretende identificar de forma automática, de preferência recorrendo a verdades do terreno e, nestes casos, ir afinando a melhor configuração pelo método de aproximações sucessivas; é habitual ajustar-se cada parâmetro individualmente,

mantendo fixos os restantes. Obtém-se assim uma configuração otimizada. O método seguido para a configuração do presente produto de aviso foi em tudo semelhante ao descrito.

A configuração final do produto de aviso, detalhada no Anexo C, foi baseada na combinação dum limiar de reflectividade observado nas duas elevações mais baixas disponíveis, com um limiar de SQI observado na elevação mais baixa, do rastreio VENTO. Estas condições foram impostas numa área limiar, igualmente testada.

Esta configuração final, considerada a que melhor se adaptava à detecção do fenómeno em causa, de acordo com os testes efectuados não produziu, mesmo assim, resultados considerados satisfatórios. De facto, permitiu a detecção de algumas plumas de incêndio mas, também, a de muitos outros ecos, inconsistentes com o fenómeno a detectar. A detecção deste tipo de ecos, embora apresentando padrões de reflectividade que uma inspecção visual competente e experiente poderia revelar serem distintos de plumas, conduziu a uma taxa de falsos alarmes muito elevada, que inviabilizou desde logo uma eventual utilização automática e exclusiva, deste produto.

Com efeito, contrariamente à expectativa inicial, não só o número de detecções de plumas se revelou relativamente reduzido, como múltiplas razões concorreram para a ocorrência de um grande número de falsos alarmes, que no capítulo seguinte se discutem.

Para a execução da bateria de testes, seleccionaram-se incêndios com área ardida superior a 4 ha, por se ter concluído que abaixo deste valor dificilmente a pluma produzida chega a ser visível pelo radar, em algum instante. O número de ocorrências disponível para esta fase foi de 200, das quais a 22 não correspondiam dados de radar em arquivo. Foram avaliados em detalhe 70 incêndios, tendo-se concluído acerca da fraca detecção automática da pluma.

Paralelamente a este desenvolvimento, foi explorada a possibilidade de poder melhorar o desempenho de um algoritmo desenvolvido pela EUMETSAT para a detecção de incêndios, baseado em satélite (FIR, ver capítulo 5). Esta linha de investigação baseou-se na convicção de que a detecção de plumas de incêndio com radar

meteorológico poderá, em alguns casos, se utilizada conjuntamente com a saída do algoritmo FIR, permitir não só um robustecimento deste como uma detecção mais precoce dos incêndios, particularmente interessante em áreas remotas. Esta comparação revelou que o radar pode, de facto, ser favorável a esta melhoria na detecção precoce de incêndios, embora o número de casos estudado seja limitado. Foram utilizadas nesta fase do estudo 8 ocorrências, todas correspondentes a grandes incêndios (área ardida superior a 100 ha, segundo a AFN).

Tabela 4.1 – Número de ocorrências de incêndios florestais por ano, segundo a AFN

Ano	Número de ocorrências
2001	26945
2002	26499
2003	26197
2004	21868
2005	35700
2006	19930
2007	16384

Uma vez que durante a execução dos testes foi perceptível a verificação de interação entre a frente de brisa e a pluma de incêndio, decidiu-se ser oportuno incluir alguma informação recolhida sobre este processo, recorrendo à sua ilustração por imagens radar. Este estudo é apresentado na terceira parte do capítulo 5.

5. Estudos de Caso

Neste capítulo são apresentados diversos estudos de caso que destacam as várias aproximações que foram seguidas na abordagem ao estudo das plumas de incêndio.

Numa primeira parte, descrevem-se vários exemplos do resultado da utilização do produto de aviso baseado em observação radar para detecção automática e objectiva de plumas de incêndio.

Posteriormente, é explorada a possibilidade de utilização de imagens de radar para melhorar os avisos de incêndio baseados num algoritmo (destinado à monitorização de incêndios activos em regime operacional) dependente de observação efectuada a bordo de satélite.

Finalmente, numa terceira parte, evidencia-se a interacção entre a frente de brisa – fenómeno de subescala de ocorrência frequente no nosso território continental - e as plumas de incêndio.

5.1. Produto de aviso baseado em observação radar para detecção de plumas de incêndio

Antes de mais, cabe referir que o esforço investido na configuração do produto de aviso automático, baseado em observação radar, representou uma importante fracção do trabalho realizado, tendo inclusive influenciado os passos seguintes que foram desenvolvidos.

Conforme referido no Capítulo 4, a experiência recolhida com a utilização do IRIS na geração de avisos de fenómenos de tempo severo ou significativo, condicionou a adopção de uma abordagem do mesmo tipo no que respeita ao problema da detecção de plumas de incêndio.

A bondade do desempenho de um produto de aviso deste tipo, sujeito a uma estatística de contingência, será sempre dependente do número de parâmetros ou grandezas

independentes que seja possível combinar; as limitações do IRIS reduziram este número a três.

Verificou-se que o parâmetro SQI, seleccionado como um dos parâmetros a utilizar, assume, efectivamente, valores particularmente elevados dentro de plumas de incêndio (devido à grande coerência do sinal no interior destas estruturas); no entanto, o mesmo se verifica em algumas nuvens de hidrometeoros.

Para além dos constrangimentos de diversa natureza já referidos no Capítulo 4, que forçaram a sucessiva filtragem da série de incêndios detectados inicialmente disponível, acresce a circunstância - feliz para o nosso país mas desfavorável para o curso do trabalho! - de 2007 ter sido o ano menos afectado por grandes incêndios florestais, de entre todos os inicialmente disponíveis na série.

A partir desta série, bastante reduzida, foi necessário verificar quais os casos em que a pluma de incêndio se tornou detectável pelo radar, uma vez que isto não acontece em todas as circunstâncias. Por outro lado, em muitos dos casos testados, a detecção da pluma pelo produto radar ocorreu muito após a hora de alerta fornecida pela AFN, logo sem utilidade no presente caso.

Embora não faça sentido, para tão poucos eventos, atribuir significado a valores estimados para a taxa de falsos alarmes (FA), foi notório, durante a fase de afinação e testes do produto, a ocorrência de inúmeros destes FA, em toda a área de interesse.

Foi possível identificar diversas causas para este facto. Desde logo, os ecos de *clutter* de mar, que são mais difíceis de remover utilizando filtros Doppler, do que os correspondentes ecos de *clutter* sobre terra. Neste caso, uma eventual tomada de decisão subjectiva quanto à qualificação da identificação ou aviso seria imediata, uma vez que os avisos correspondentes não seriam emitidos sobre terra. Por outro lado, o padrão de ecos de *clutter* de mar é típico e, com prática, relativamente fácil de identificar por um utilizador experimentado.

Outra causa de falsos alarmes residiu na presença de ecos em ar limpo, isto é, ecos correspondentes a alvos não opticamente visíveis (como gradientes elevados do índice

de refacção e provável *chaff* militar), normalmente observados a média ou baixa altitude, mas em geral relativamente acima do solo. A tomada de decisão subjectiva é relativamente fácil uma vez que estes ecos têm advecção sensível, consistente com o escoamento aos níveis em causa e não parecem provir de um único ponto como se do padrão de um foco de incêndio se tratasse. A execução de um simples corte vertical permite, em geral, esclarecer dúvidas quanto à sua natureza, já que o padrão correspondente não apresenta, normalmente, continuidade espacial até ao solo.

Em Portugal Continental, em especial com tempo quente e seco, existe uma grande abundância de retrodifusores na camada limite, geralmente insectos – a maioria dos quais passivos – e, por vezes, poeiras. A presença destes elementos detectáveis pelo radar meteorológico gera uma razoável quantidade de ecos, visível em numerosos produtos radar e susceptível de gerar falsos alarmes sobre a corrida do produto de detecção de incêndios. Nestes casos a tomada de decisão subjectiva já se reveste de enorme dificuldade, devido à semelhança do padrão de reflectividade que apresentam face aos avisos emitidos sobre áreas de incêndio.

Os parques de geradores eólicos – em crescente expansão no nosso território – são outra possível causa de FA. Neste caso as áreas estão geograficamente bem identificadas e o utilizador poderá encarar com confiança uma avaliação subjectiva no caso da emissão de falsos alarmes nas mesmas. No entanto, não é impossível a ocorrência de incêndios nessas áreas ou em áreas vizinhas.

Finalmente, verificou-se que a existência de nebulosidade, em especial se não se tratar de nebulosidade alta, gera muitos FA.

Embora em alguns dos casos referidos uma eventual tomada de decisão subjectiva sobre a qualificação do aviso (decisão: falso alarme *versus* detecção correcta) seja possível, o contexto de problemas anteriormente referidos mostra que não é imediato poder concluir-se que se retenha mais-valia para a estratégia de combate a incêndios utilizando este produto de aviso isoladamente.

Com efeito, verificou-se que o tempo necessário para efectuar um juízo certificado sobre a detecção, é normalmente excessivo face à hora de alerta disponibilizada pela AFN.

Como exemplo mostram-se três casos de aplicação do presente algoritmo radar, apresentando-se a sobreposição dos respectivos avisos sobre o produto MAXZ. No primeiro caso, há uma detecção correcta, embora posterior à hora oficial de alerta; no segundo caso, exemplifica-se um caso de falsos alarmes e no terceiro uma falha na detecção.

O caso apresentado na Figura 5.1 e na Figura 5.2 corresponde a um incêndio ocorrido no distrito de Santarém, concelho de Sardoal, freguesia de Sardoal. O alerta foi dado às 12:20 UTC do dia 20 de Agosto de 2007. A área ardida foi de 2820 ha, pelo que se tratou de um grande incêndio (área ardida superior a 100 ha). A primeira detecção subjectiva com radar foi às 12:40 UTC e a primeira detecção automática efectuada pelo produto de alarme às 12:50 UTC, instante a que corresponde a figura. Neste caso o produto teve um bom desempenho, tanto mais que são observáveis ecos, a sudoeste da detecção, correspondentes a detecção em ar limpo, que o aviso filtrou.

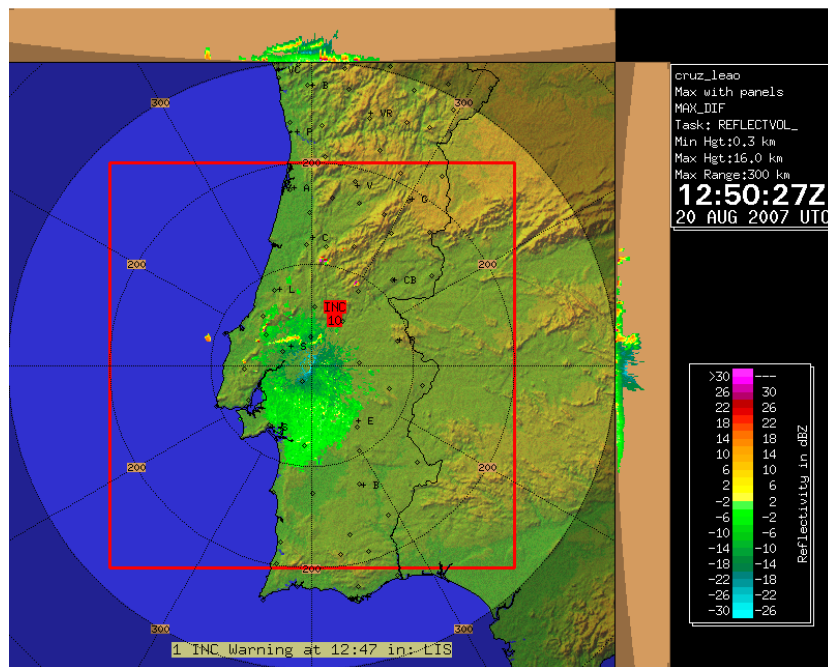


Figura 5.1 - Primeira detecção do incêndio com o produto de aviso; produto MAXZ com o produto de aviso sobreposto; imagem das 12:50 UTC, 20/08/2007

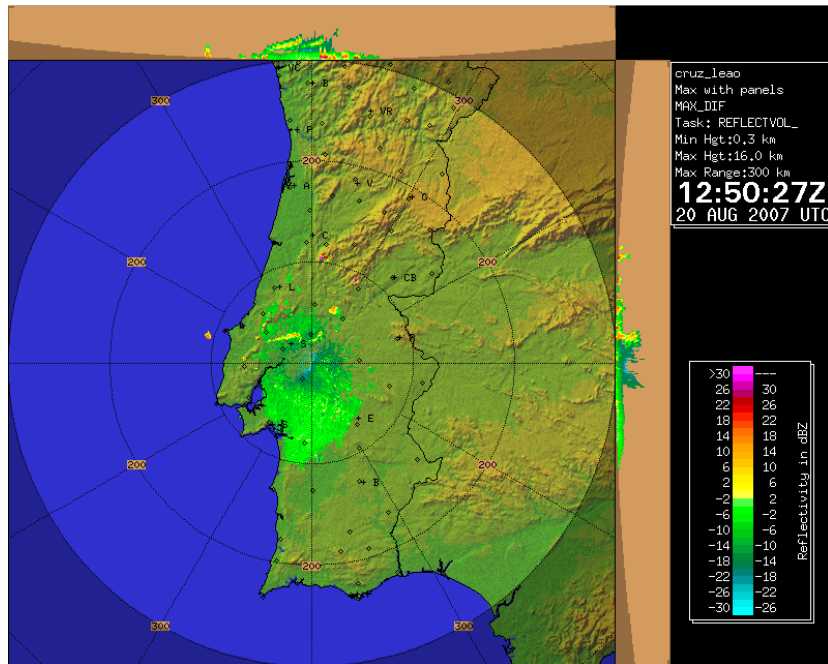


Figura 5.2 - Instante da primeira detecção do incêndio com o produto de aviso; produto MAXZ; imagem das 12:50 UTC, 20/08/2007.

O caso apresentado na Figura 5.3 e na Figura 5.4 corresponde a um dia em que o produto de aviso assinalou como incêndio várias estruturas que não correspondem, de facto, a incêndios. Como exemplo, tem-se a imagem MAXZ das 20:00 UTC, em que existem muitos retrodifusores causadores de ecos em ar limpo e *clutter* de mar. Daqueles, um aglomerado localizado nas vizinhanças de Castelo Branco corresponde provavelmente a *chaff*, tendo sido detectado pelo produto de aviso como incêndio. Trata-se, portanto, de um evidente caso de falso alarme.

Um outro caso de mau desempenho do produto de aviso, correspondente a falha na detecção, foi devido ao facto de nem todos os limiares necessários à activação do produto terem sido atingidos. Neste caso a pluma de incêndio, embora identificável subjectivamente, não é automaticamente detectada e o aviso não é emitido. Na Figura 5.5 e na Figura 5.6, mostra-se um destes casos, relativo a um incêndio ocorrido na zona do Montijo, a 28/07/2007.

Detecção de plumas de incêndio com radar meteorológico

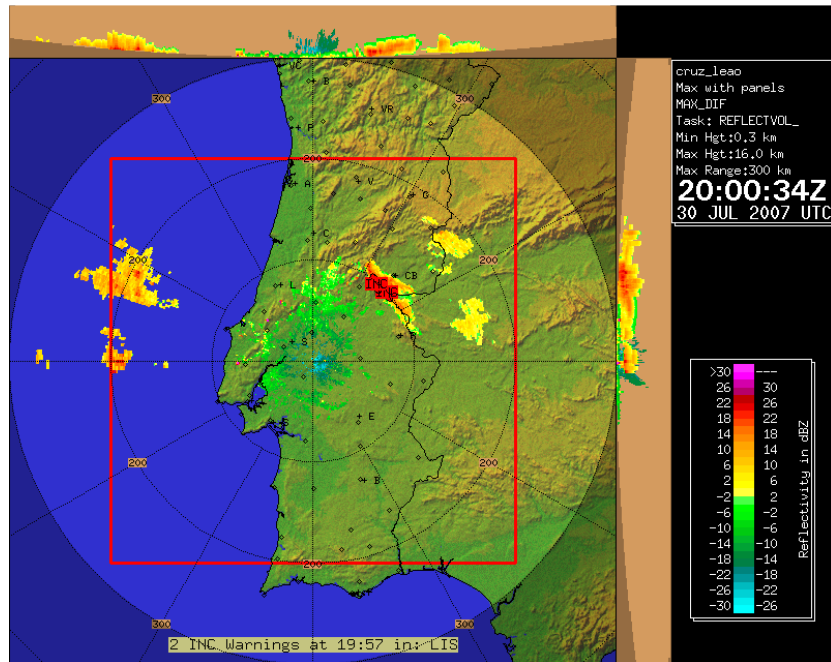


Figura 5.3 - Detecção correspondente a um falso alarme; a estrutura detectada corresponde a *chaff*; produto MAXZ com produto de aviso sobreposto; imagem das 20:00 UTC, 30/07/2007.

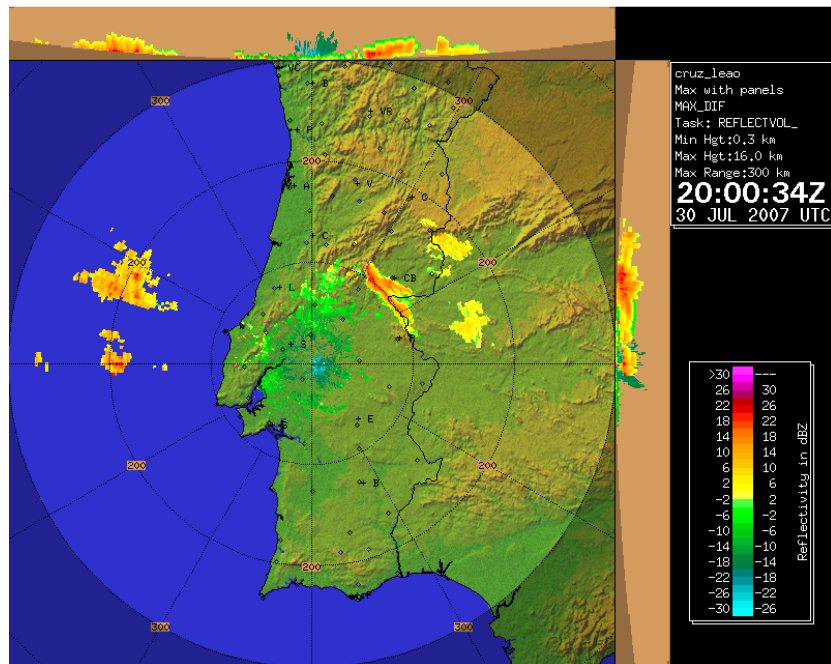


Figura 5.4 - Detecção correspondente a um falso alarme; a estrutura detectada corresponde a *chaff*; produto MAXZ; imagens das 20:00 UTC, 30/07/2007.

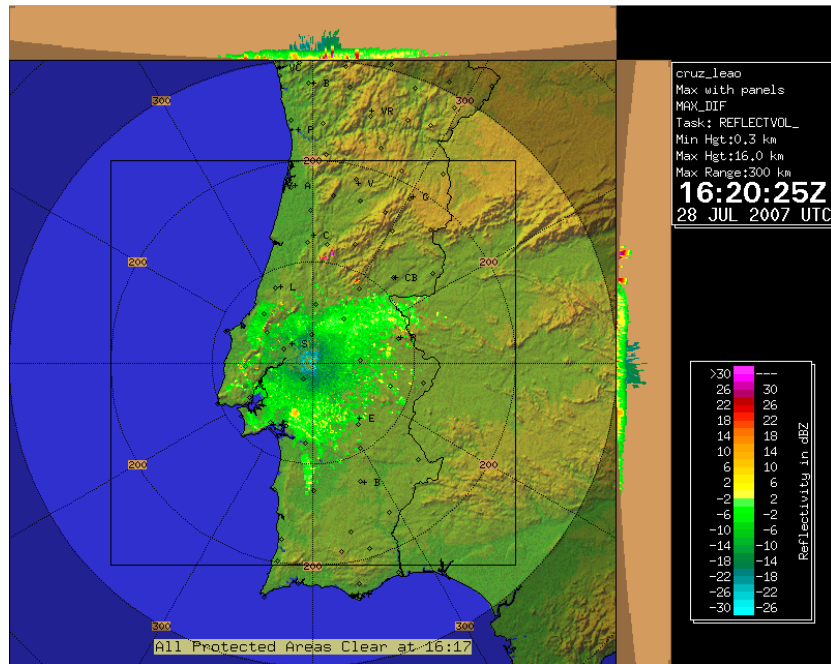


Figura 5.5 - Situação correspondente a uma falha na detecção (o incêndio é facilmente identificável subjectivamente, mas o produto de aviso não o detecta); produto MAXZ com produto de aviso sobreposto; imagem das 16:20 UTC, 28/07/2007.

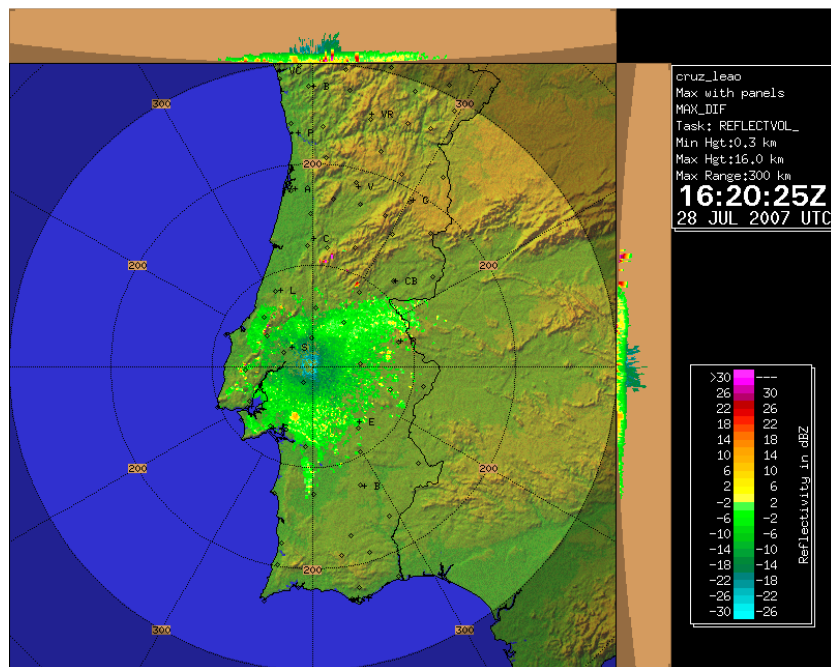


Figura 5.6 - Situação correspondente a uma falha na detecção (o incêndio é facilmente identificável subjectivamente, mas o produto de aviso não o detecta); produto MAXZ; imagem das 16:20 UTC, 28/07/2007

Não obstante as conclusões agora expressas, e a reduzida extensão temporal da série final, entendeu-se ser esta uma oportunidade de trabalho para aprofundar um pouco mais o conhecimento de alguns aspectos morfológicos das plumas detectadas, utilizando observação radar.

O principal factor característico e distintivo das plumas de incêndio, do ponto de vista da pura inspecção visual de imagens do tipo MAXZ, revelou ser predominantemente geométrico, com uma forma característica facilmente identificável a partir de relativamente poucas detecções sucessivas nas imagens.

A experiência observacional recolhida da análise de alguns casos de detecção levou a considerar três aspectos, na tentativa de identificar algum ou alguns elementos de predição quanto à evolução dos incêndios: a área máxima apresentada pela pluma até um máximo de 3h após a identificação radar, o valor máximo da reflectividade da pluma, e a taxa de expansão pluma.

Uma abordagem estatística é obviamente impensável nesta situação, dado que para este efeito seria necessário um número muito superior de casos.

A área máxima apresentada pela pluma foi determinada tendo em conta o limiar dos 0 dBZ, valor abaixo do qual se considerou que seriam cometidos muitos erros de avaliação, devido à dificuldade em distinguir convenientemente os limites da pluma dos ecos de ar limpo, muitas vezes coexistentes, mas de reflectividade inferior a 0 dBZ. As áreas máximas estimadas para as plumas variaram entre os 37 km² e os 175 km²; as áreas ardidas variaram entre os 108.1 ha (1.081 km²) e os 2820 ha (28.2 km²), mas sem relação evidente com a área das plumas. O valor máximo da reflectividade da pluma variou entre os 13 dBZ e os 21 dBZ, nesta fase inicial do incêndio; mais uma vez não foi encontrada nenhuma relação entre área ardida e o valor máximo da reflectividade. A taxa de expansão da pluma variou entre 15% em 10 minutos, e 65% em 10 minutos, independentemente da área total que veio a arder.

Não se encontraram, pois, relações óbvias entre as diversas variáveis estudadas e a área ardida, não sendo de excluir, no entanto, que algo se evidenciasse se o número de casos

analisado tivesse sido superior.

5.2. Identificação conjunta de incêndios com produto radar e algoritmo FIR

Um aspecto que esteve em cima da mesa desde o início foi a possibilidade de utilizar as observações radar para, de alguma forma, melhorar (pelo menos em alguns casos) o desempenho dos algoritmos de detecção de incêndio baseados em observações efectuadas a bordo de satélite.

A EUMETSAT desenvolveu um algoritmo destinado à monitorização de incêndios activos em regime operacional (FIR). Este algoritmo passou a estar disponível, após “validação”, no sítio da EUMETSAT e através da EUMETCAST (Maio 2006). Actua sobre observações efectuadas pela série MSG (METEOSAT Second Generation), com uma resolução horizontal de cerca de 4km à latitude do território do continente e uma periodicidade de rastreio de 15 minutos.

O algoritmo recorre aos canais 4 (IR3.9) e 9 (IR10.8) de entre os 12 canais MSG-SEVIRI disponíveis. Os canais seleccionados são centrados, respectivamente, em 3.92 μ m e 10.8 μ m, sendo os que apresentam a máxima sensibilidade aos picos de emissão relevantes; o primeiro destina-se à detecção em torno de 4 μ m, c.d.o. típico para o pico de emissão de temperaturas características de incêndios (500K-1000K, Lei de Wien); o segundo canal destina-se à detecção em torno de 11 μ m, c.d.o. típico para o pico de emissão da temperatura ambiente (temperatura de referência: 290K).

A descrição algorítmica efectuada neste trabalho destina-se a permitir uma comparação crítica entre os resultados obtidos com satélite e radar na detecção de focos de incêndio; uma descrição mais detalhada poderá ser encontrada nas referências.

Na prática o algoritmo FIR utiliza os 4 critérios seguintes para identificar pixéis de potencial incêndio e de provável incêndio:

- temperatura de brilho do canal IR3.9 (identifica os chamados *hot spots* causados por incêndios, recorrendo a limiares de temperatura ajustados de acordo com o período dia/noite)
- desvio-padrão do canal IR3.9 (calculado numa matriz de 3x3 pixéis em torno do

pixel *hot spot* central detectado)

- diferença entre as temperaturas de brilho do canal IR3.9 e IR10.8
- desvio-padrão do canal IR10.8

O algoritmo FIR obedece a diversos mecanismos de controlo. Entre estes conta-se a distinção entre pixéis de potencial incêndio e pixéis de provável incêndio. Os primeiros correspondem a uma identificação de menor confiança, com base no valor limiar das configurações.

Testes já efectuados indicam constrangimentos e limitações de diversa ordem à aplicação deste algoritmo. A observação radar coloca igualmente, como referido, problemas de diversa ordem à detecção automática e objectiva de focos de incêndio florestal. A ideia seguida nesta tese foi a de avaliar o interesse que a detecção radar poderá apresentar para, simultaneamente, contribuir para a redução da taxa de falsos alarmes do algoritmo FIR e tornar mais precoce a detecção de incêndios com o mesmo algoritmo.

Foi efectuada a comparação, para alguns casos, da hora de detecção por radar *versus* detecção por algoritmos baseados em satélite. Conclui-se que nalguns casos, pelo menos, deverá ser favorável a utilização conjunta destas duas ferramentas. É já esta, aliás, a abordagem utilizada na previsão do estado do tempo, na qual observações *in situ* são combinadas com observações remotas, tanto de radar como de satélite, com evidentes mais-valias para o produto final.

Foram estudados 8 casos correspondentes a grandes incêndios, em que o instante da primeira detecção subjectiva da pluma de incêndio com radar foi registado. Em 7 destes, foi registado o instante da primeira detecção do incêndio pelo algoritmo FIR, de acordo com a classificação previamente definida: pixéis de potencial incêndio e pixéis de provável incêndio (o algoritmo nem sempre identifica ambos os níveis para um certo evento). No restante caso o algoritmo FIR não detectou o incêndio.

Para 6 dos 8 casos estudados, verificou-se que a detecção com radar foi anterior à detecção pelo algoritmo FIR com a classificação provável e, em alguns destes, anterior à detecção pelo algoritmo FIR com a classificação potencial. Em qualquer dos casos,

em especial nestes últimos, parece haver condições para antecipar a detecção de incêndio com o algoritmo FIR individualmente, desde que os dois tipos de informação possam ser combinados.

Apesar de estes resultados não terem significado estatístico, permitem encarar com algum optimismo a eventual confirmação desta hipótese, no caso de se aceder a séries mais extensas.

No gráfico da Figura 5.7 encontra-se sintetizada esta informação, em que a primeira série representa a hora de detecção subjectiva com radar, a segunda série representa a primeira detecção com a classificação potencial e a terceira série representa a primeira detecção com a classificação provável.

A antecedência observada da detecção com radar em relação à primeira detecção classificada como provável variou entre 30 e 115 minutos.

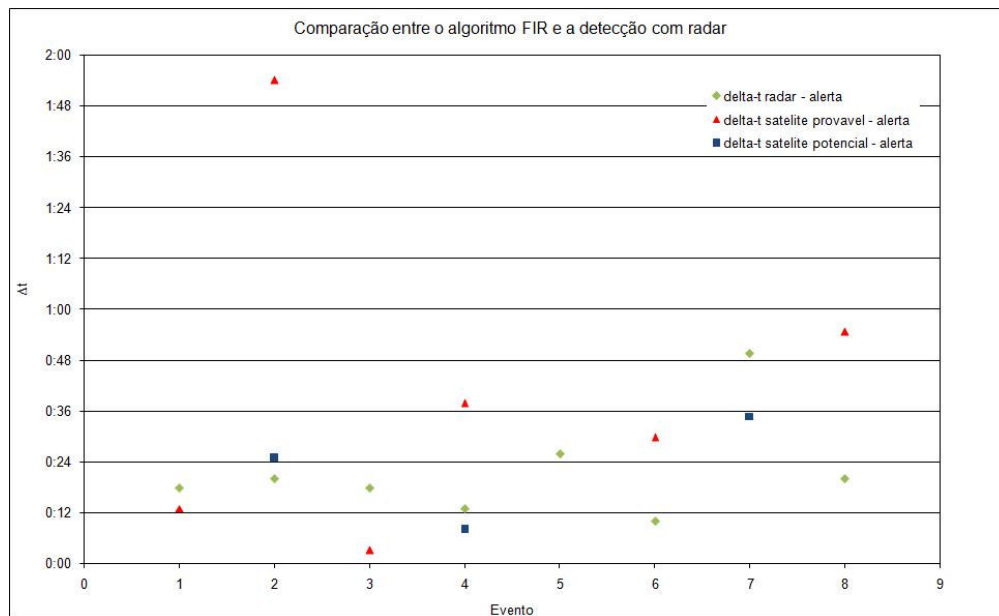


Figura 5.7 - Gráfico comparativo entre detecção de incêndios com radar e com algoritmo FIR (zero do eixo Δt corresponde ao instante oficial de alerta, fonte AFN)

5.3. Interação de frentes de brisa com plumas de incêndio

As observações radar da rede nacional têm mostrado que, em qualquer período entre Março e Novembro, é possível a ocorrência de frentes de brisa no território continental português. Esta ocorrência é mais marcada à medida que se caminha para sul, devido a contrastes térmicos mais acentuados.

A grande capacidade calorífica das massas de água reduz substancialmente as variações de temperatura verificada nestas superfícies, por acção do forçamento radiativo, ao longo de um ciclo diurno (Stull, 1989). A superfície terrestre, pelo contrário, experimenta aquecimentos e arrefecimentos mais intensos, devido à baixa condutividade molecular e à menor capacidade calorífica dos solos. Este cenário, frequente em Portugal Continental, reúne as condições ideais para a formação da frente de brisa, que aqui será discutida apenas na medida em que tal interessar à discussão do problema da interação com plumas de incêndio.

O ciclo geralmente observado tem início a meio da manhã, após a camada limite superficial formada durante a noite se ter dissipado. O ar junto à superfície, na linha de costa, começa a aquecer e a subir, sendo substituído progressivamente por ar marítimo que flui de forma a substituir o ar quente. Este fenómeno de substituição é conhecido por brisa marítima. A zona caracterizada por convergência nos níveis baixos, numa banda com largura típica entre 1 e 2 km, em que o ar marítimo penetra em cunha, é designada por frente de brisa; à sua passagem é frequente observar-se uma acentuada descida da temperatura (por vezes vários graus Celsius em poucos minutos), aumento na humidade do ar, movimento ascendente (0.5 a 2.5 m/s), e por vezes observa-se a formação de cúmulus sobre esta zona. Uma circulação de retorno com cerca de 1 a 2 m/s, em altitude, advectiona o ar quente e seco sobre a superfície do mar, onde acaba por descer em direcção à superfície, fechando a célula de circulação.

Se a circulação sinóptica for fraca sobre a região, a frente de brisa progride para o interior paralelamente à costa com velocidades entre 1 e 5 m/s. Nos textos clássicos é referido que os efeitos da frente de brisa podem ser sentidos até 20 a 50 km para o interior de terra ao final do dia, mas em dias quentes têm sido observadas penetrações da frente de brisa até bem perto dos 200 km para o interior. Todos estes aspectos têm

sido amplamente observados e documentados, com recurso à rede nacional de radares.

Nas imagens radar é observada com muita frequência, no campo da reflectividade, a assinatura da frente de brisa, na zona de convergência à superfície, atrás referida. Isto ocorre devido à concentração, nessas zonas, de retrodifusores como poeiras em suspensão na atmosfera e insectos, que actuam essencialmente como traçadores. Esta possibilidade tem revelado múltiplas aplicações, maioritariamente de índole meteorológica, dado o fácil acompanhamento da evolução diária da frente de brisa.

No entanto, no decurso deste trabalho, cedo se verificou ser interessante analisar um aspecto distinto da pura aplicação meteorológica - a interacção entre a frente de brisa com plumas de incêndio e caracterização dos seus efeitos.

Neste sentido, procedeu-se à recolha de eventos, dentro da série existente, que permitam retirar algumas conclusões quanto a este fenómeno. Foi avaliada a estrutura morfológica da pluma, com recurso a cortes verticais executados sobre observações características de diversas fases do respectivo ciclo de vida; em particular, foi analisada a interacção entre a frente e a pluma de incêndio, em cada caso considerado.

No primeiro caso analisado, de 05/07/2007, cuja discussão é seguidamente apresentada, foi registada a ocorrência de um incêndio no concelho de Mértola, distrito de Beja. O alerta foi dado cerca das 14:10 UTC, sendo a respectiva pluma visível no radar a partir das 14:40 UTC. O local do incêndio encontra-se assinalado nas imagens, cerca de 45 km a NE da estação do radar. A evolução da frente de brisa é acompanhada assim que começa a evoluir sobre terra. Na realidade a frente de brisa estabelece-se nas duas costas, Sul e Oeste, pelo que cedo se nota a interacção entre ambas.

A partir das 18:30 UTC (Figura 5.9) é visível a interacção da frente com a pluma de incêndio, a qual sofre uma expansão muito rápida e uma intensificação, visíveis pelo aumento súbito da área ocupada e pelo aumento do valor da reflectividade observada no produto MAXZ.

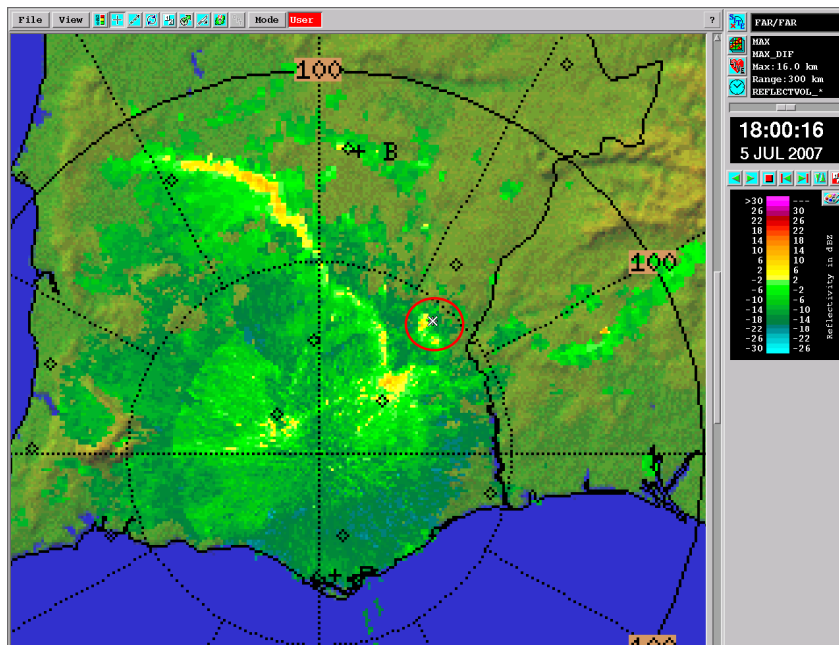


Figura 5.8 - Aproximação da frente de brisa do local do incêndio, assinalado por um círculo, a NE do radar, junto ao círculo dos 50 km de alcance; imagem de MAXZ das 18:00 UTC, 05/07/2007.

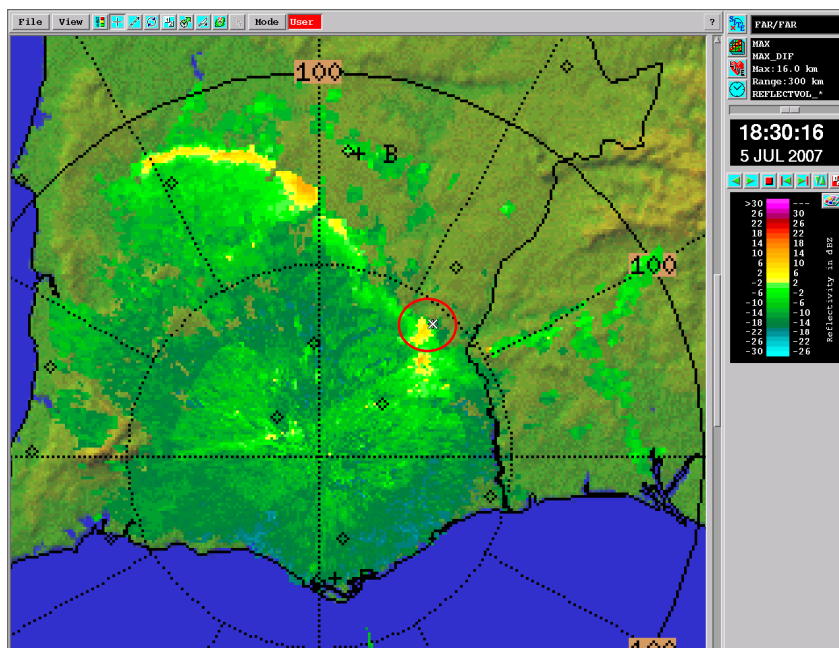


Figura 5.9-Início da interação com a pluma; local do incêndio, assinalado por um círculo, a NE do radar, junto ao círculo dos 50 km de alcance; Imagem de MAXZ das 18:30 UTC, 05/07/2007.

Na Figura 5.10 mostram-se os vários instantes da interacção frente de brisa – pluma, em que é notória uma rápida intensificação desta.

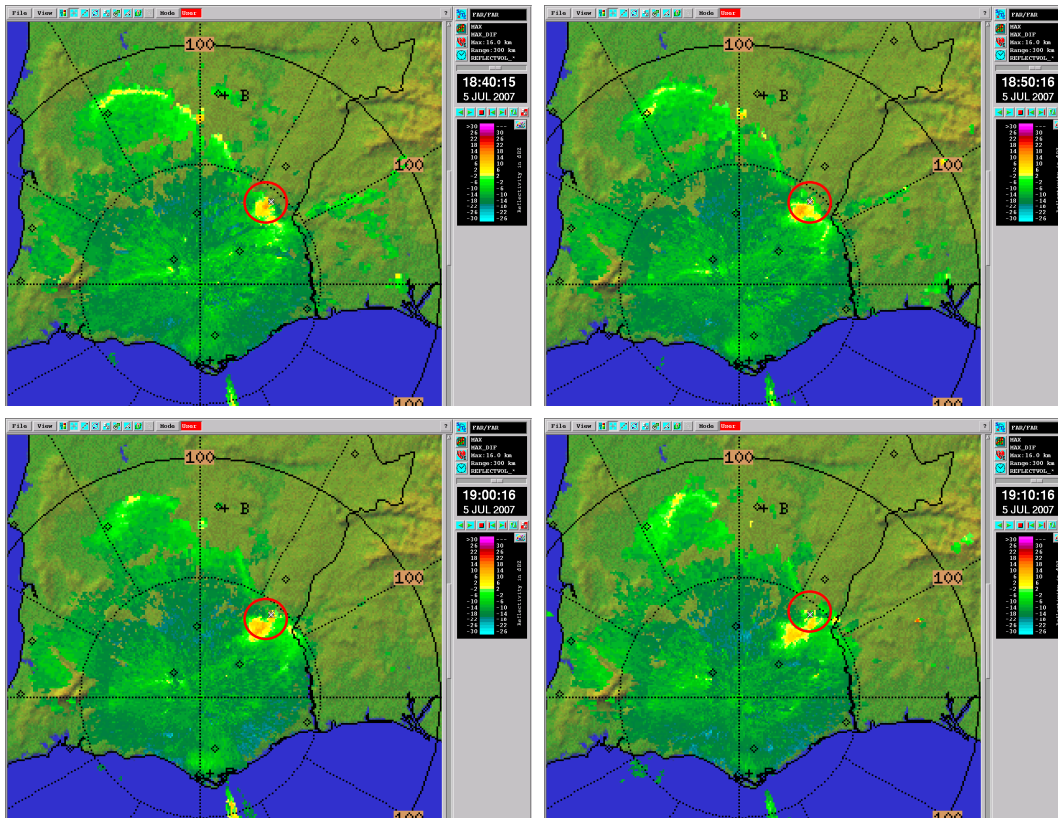


Figura 5.10 - Interação da pluma com a frente de brisa, em que se nota a intensificação da pluma.
Imagens de MAXZ das 18:40, 18:50, 19:00 e 19:10 UTC, 05/07/2007

Este efeito de intensificação da pluma é verificado também em altitude, o que é confirmado pelas imagens de corte vertical da reflectividade (Figura 5.11); antes de a interacção ocorrer, o topo da pluma situa-se a, aproximadamente, 3500m de altitude e o da frente de brisa, a cerca de 1700m de altitude. Nas observações seguintes à interacção, mostradas na Figura 5.12, é visível a intensificação da pluma de incêndio em altitude, após o que se observa (e até 30-40 minutos após a interacção) uma quebra de continuidade na estrutura vertical da pluma e um restabelecimento da estrutura inicial da pluma (Figura 5.13); isto é, observa-se uma alteração no padrão da reflectividade correspondente à estrutura, consistente com perda de continuidade entre a área de ignição (no solo) e a pluma em altitude, ficando esta como que isolada; 40 minutos após, neste caso, verifica-se que o foco permanece activo. Após a interacção observada, o topo da pluma é significativamente inferior a 3500m e o da frente de brisa não foi avaliado por dificuldades na observação.

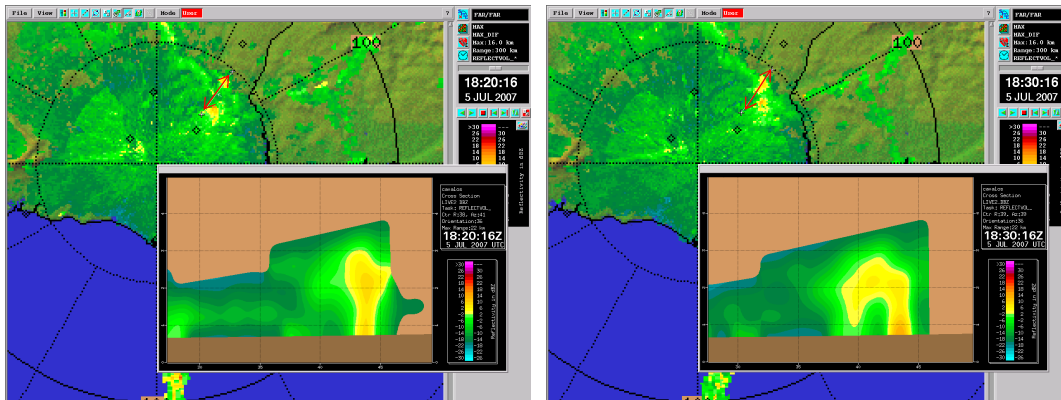


Figura 5.11 - Corte vertical da reflectividade; corte assinalado na imagem por um segmento de recta; às 18:20 UTC ainda não é visível a interação; na imagem das 18:30UTC, nota-se a deformação da pluma, ao ser alcançada pela frente de brisa. Imagens de 05/07/2007.

A passagem, transiente, de uma cunha de ar mais limpo de retrodifusores, proveniente do Atlântico, explica a alteração descrita para o padrão vertical da pluma. As observações de superfície efectuadas na estação de Neves Corvo, designadamente a temperatura do ar (Figura 5.14), humidade relativa (Figura 5.15), rumo do vento médio (Figura 5.16) e intensidade da rajada máxima (Figura 5.17), mostram que este ar é relativamente mais fresco e húmido, mas também que o regime do escoamento à passagem da frente (cerca das 16:50 UTC) é relativamente turbulento, o que é visível pela intensificação do valor da rajada máxima.

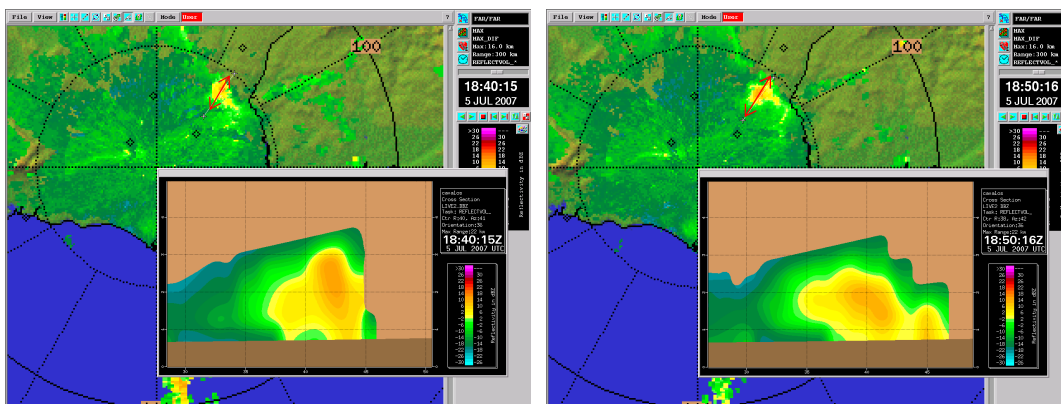


Figura 5.12 - Intensificação em altitude, na sequência da interação da pluma de incêndio com a frente de brisa (18:40UTC); início da separação física entre a zona mais intensa da pluma e a zona do foco do incêndio (18:50 UTC); corte assinalado na imagem por um segmento de recta. Imagens de 05/07/2007.

É difícil avaliar a contribuição relativa que a variação de cada uma destas grandezas pode ter nas condições de propagação e evolução do fenómeno, quando se verifica a passagem da frente de brisa pela zona do foco do incêndio. De facto, se as variações relativas observadas na temperatura e humidade do ar parecem favoráveis à mitigação do incêndio, o contrário ocorre com a alteração do regime do escoamento à passagem da

frente de brisa, frequentemente acompanhado de rotação no vento médio. Aliás, este regime poderá justificar uma intensificação, temporária, do processo de combustão e, assim, um aumento na concentração de partículas de fumo, o que se traduzirá num aumento da reflectividade máxima junto do foco e, depois, em altitude. Este comportamento é observado nos 3 casos de interacção analisados. De facto, para além do presente caso, foram analisadas interacções na mesma região de Mértola, em 29/07/07 e 20/08/07.

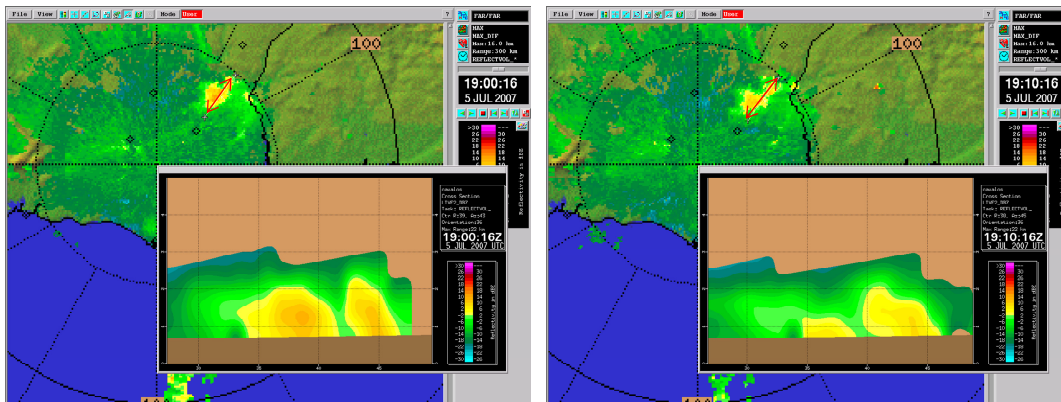


Figura 5.13 Separação física da zona mais intensa da pluma (19:00 UTC) na imagem da esquerda; à direita, restabelecimento da estrutura inicial da pluma; corte assinalado na imagem por um segmento de recta. Imagens de 05/07/2007.

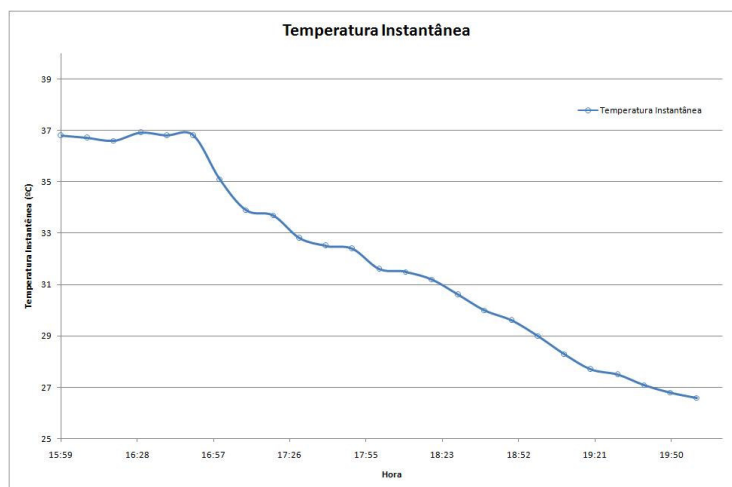


Figura 5.14 - Temperatura instantânea na estação de Neves Corvo, entre as 16:00 UTC e as 20:00 UTC de 05/07/2007

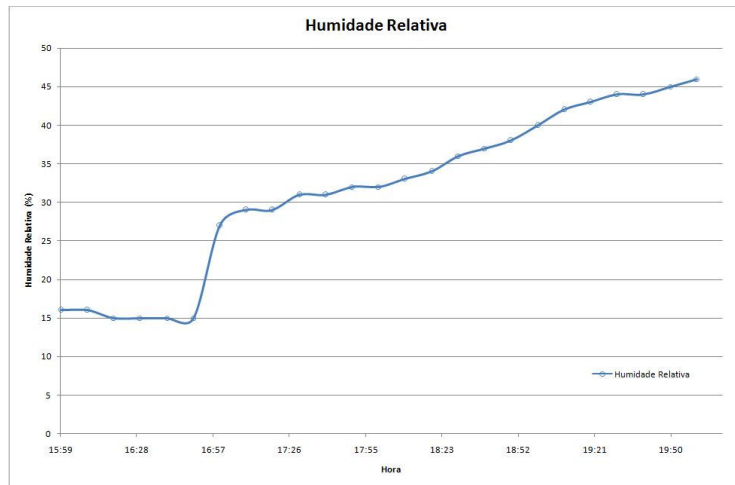


Figura 5.15 - Humidade relativa na estação de Neves Corvo, entre as 16:00 UTC e as 20:00 UTC de 05/07/2007

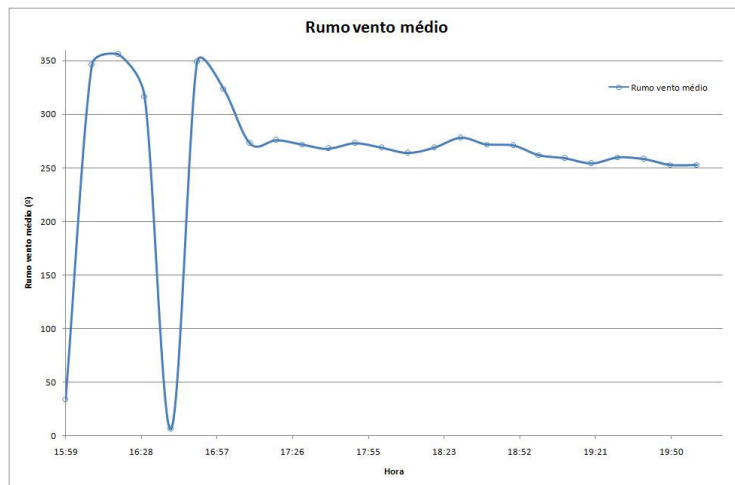


Figura 5.16 - Rumo do vento médio, na estação de Neves Corvo, entre as 16:00 UTC e as 20:00 UTC de 05/07/2007

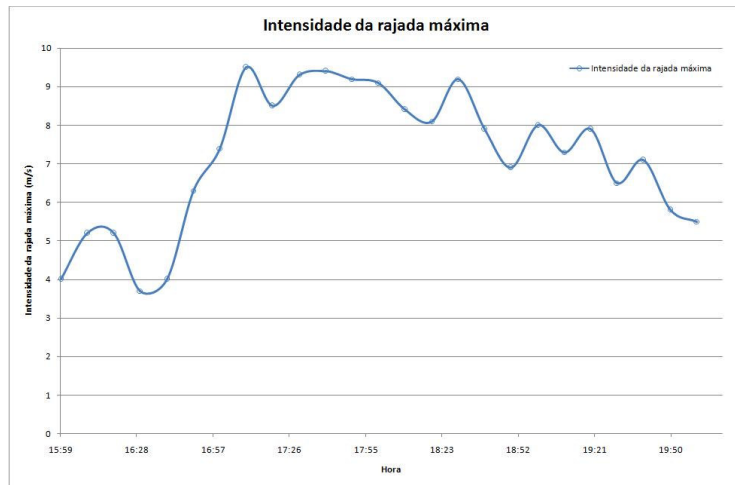


Figura 5.17 - Intensidade da rajada máxima (m/s), na estação de Neves Corvo, entre as 16:00 UTC e as 20:00 UTC de 05/07/2007.

6. Conclusões e trabalho futuro

A execução deste trabalho constituiu uma abordagem à questão da contribuição que o radar meteorológico pode dar no auxílio ao combate a incêndios. Foram desenvolvidos diversos aspectos, tendo como base a disponibilidade da série de registos de ocorrência de incêndios, cedida pela AFN.

Numa primeira fase do trabalho, procurou seguir-se uma linha baseada na detecção automática de incêndios, seguindo a filosofia de avisos automáticos para a ocorrência de fenómenos de tempo significativo e de tempo severo, em vigor no IM. Neste âmbito, foram extensivamente utilizadas as ferramentas disponibilizadas pelo IRIS, que permitem estabelecer diversas configurações e a execução de inúmeros testes. Numa fase inicial do presente trabalho, surgiu a convicção de que a utilização combinada de algumas características das plumas de incêndio viria a tornar exequível, com alguma facilidade, a configuração de um aviso deste tipo exclusivamente destinado à detecção das mesmas, com uma reduzida taxa de falsos alarmes.

O parâmetro SQI, utilizado para o controlo de qualidade das observações da velocidade em tempo real, foi inicialmente seleccionado como uma das características a combinar, havendo a suspeita de que as nuvens de fumo seriam caracterizadas por valores particularmente elevados desta grandeza; de facto, a experiência de muitos exemplos observacionais acabou por mostrar que as nuvens de hidrometeoros, em especial as nuvens baixas e médias, são caracterizadas por valores de SQI relativamente indistintos dos característicos das plumas, ao contrário do que sucede com nuvens altas.

Na verdade, foi possível estabelecer uma configuração para o produto de aviso que, no entanto e durante a execução da bateria de testes, começou a revelar-se pouco eficaz na grande maioria das situações, conduzindo a um número excessivamente elevado de falsos alarmes e falhas de detecção. Por outro lado, nos casos em que a pluma foi correctamente detectada, o incêndio já se encontrava frequentemente a lavrar há algum tempo, tendo a respectiva ocorrência sido inclusive já participada às autoridades competentes.

Posteriormente, avaliou-se a possibilidade de se utilizar a detecção subjectiva das

plumas de incêndio para, de alguma forma, melhorar o algoritmo de detecção de focos de incêndio desenvolvido pela EUMETSAT (com o recurso à temperatura de brilho, observada em imagens de satélite), o FIR. Esta avaliação foi efectuada utilizando alguns casos, seleccionados de entre os registos de grandes incêndios existentes. Desta avaliação concluiu-se que na maioria dos casos analisados, a detecção com radar é anterior à detecção com o algoritmo FIR, sendo portanto de considerar a utilização conjunta das duas ferramentas, em desenvolvimentos futuros.

Durante a realização do conjunto de testes que conduziu à configuração do produto de aviso foi, entretanto, possível observar e acompanhar processos de interacção entre a frente de brisa detectada com radar e as plumas de incêndio estabelecidas.

Foram observados aspectos sistemáticos decorrentes da interacção, como a modificação do padrão vertical da pluma. Foi também concluído que embora as variações observadas na temperatura e humidade do ar à passagem da frente de brisa pelo local do foco do incêndio pareçam favoráveis à mitigação do fenómeno, o regime turbulento do escoamento na zona baroclínica poderá ser favorável a uma intensificação, ainda que a interacção seja transiente. A mudança geralmente observada no rumo do vento médio, será igualmente um factor a considerar.

Tendo presente o trabalho desenvolvido nesta dissertação e alguns dos resultados obtidos, parece ser legítima a ideia de que as observações radar estão em condições de acrescentar mais-valia à utilização de técnicas algorítmicas exclusivamente baseadas na observação realizada em sensores a bordo de satélite.

Com efeito, da comparação entre a hora de detecção subjectiva com radar e a hora de detecção pelo algoritmo FIR, resultou em alguns casos, que a utilização combinada dos dois meios observacionais permite antecipar a detecção, designadamente quando a detecção com radar coincide com a detecção satélite classificada com o nível de potencial (o de menor fiabilidade).

Entretanto, o recurso a um novo parâmetro brevemente disponível para o controlo de qualidade da velocidade processada, com eventuais reflexos na melhoria da discriminação entre nuvens de hidrometeoros e plumas de incêndio, poderá viabilizar

uma configuração mais adequada à utilização de um produto automático.

Se este produto for caracterizado por uma taxa de falsos alarmes razoavelmente inferior ao actualmente existente, poderá ser promissora a sua utilização combinada com o algoritmo FIR, na perspectiva de poder reforçar as conclusões preliminares que os poucos casos estudados com a detecção radar subjectiva deixam antever.

ANEXOS

A. SQI

Os sistemas de processamento que integram as actuais redes de radares meteorológicos, como a nacional, obedecem a uma filosofia dita de “processamento distribuído”, o que significa que este é aplicado de modo faseado em diversos nós da rede. Em particular, no que à qualidade das observações diz respeito, pode dizer-se que o respectivo controlo é efectuado, maioritariamente, nos nós radar.

De entre os diversos parâmetros que é possível combinar para, em tempo real, garantir uma qualidade de processamento optimizada para os diversos compromissos que a exploração operacional força a respeitar, existe um que é característico do controlo de qualidade das estimativas da velocidade e que é conhecido por SQI (Signal Quality Index), isto é, Índice de Qualidade do Sinal.

Tendo em atenção o âmbito da presente dissertação e a complexidade envolvida nas teorias do processamento de sinal, a presente análise restringir-se-á à interpretação do significado físico desta grandeza e descrição qualitativa de alguns dos termos relevantes.

O cálculo dos diversos momentos espectrais (amplitude do sinal, componente radial média da velocidade e largura do espectro Doppler) é baseado em técnicas de estimativa de autocorrelação sendo que à definição do SQI interessam a autocorrelação de ordem zero, R_0 , e a de ordem um, R_1 .

Assim, por definição,

$$SQI = \frac{|R_1|}{R_0} \quad (A.1.)$$

A função de autocorrelação de ordem zero define-se como

$$R_0 = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M s_n^* s_n \quad (A.2.)$$

em que M é o número de impulsos envolvidos na média temporal, s_n é a série temporal

filtrada de *clutter* e $*$ é o complexo conjugado. Esta função é um real e normaliza o valor de SQI.

Por outro lado, a função de autocorrelação de ordem um é definida como

$$R_1 = \frac{1}{M-1} \sum_{n=1}^{M-1} s_n s_{n+1}^* \quad (\text{A.3.})$$

expressão que evidencia tratar-se efectivamente da função de ordem um, uma vez que se avalia a correlação entre dois impulsos sucessivos, ou seja, entre o sinal retrodifundido de ordem n e o sinal retrodifundido de ordem $n+1$. Esta função é um número complexo, o que justifica a inclusão do operador $|(\)|$ na definição, já que SQI é um real.

Notando as definições em (A.2.) e (A.3.), o significado físico da grandeza SQI definida em (A.1.) surge naturalmente como o valor da função de autocorrelação de primeira ordem, normalizado (por R_0) ou seja, é uma grandeza que afere a coerência do sinal Doppler. É **zero** para sinais em que não existe correlação entre o sinal retrodifundido nos instantes t e $t+1$, proveniente do mesmo volume de observação, o que corresponde a ruído branco; é **um** para sinais em que a correlação entre o sinal retrodifundido no instante t e $t+1$ é de 1, ou seja, em que toda a potência é coerente.

Na prática, isto corresponde a afirmar que o SQI de um sinal proveniente de um volume da atmosfera observado pelo radar cresce na medida em que aumente a correlação entre amostras sucessivas retrodifundidas do referido volume ou, de outro modo, em que diminua, por exemplo, a largura do espectro Doppler (ou seja, a variância da componente radial da velocidade Doppler).

O facto de o SQI ser uma boa medida das incertezas das estimativas da velocidade Doppler, isto é, da coerência do sinal processado, torna-o um parâmetro a processar em tempo real para, com um limiar ajustado, poder servir para controlo de qualidade.

B. PRODUTOS RADAR

Os rastreios executados pelos sistemas de radar meteorológico geram informação correspondente a diversas grandezas processadas, inicialmente arquivada em ficheiros organizados em coordenadas esféricas. Após um processo envolvendo mudança de

coordenadas e tratamento algorítmico adequado, as observações radar são convertidas em produtos 2D, facilmente editáveis, a fim de poderem ser interpretáveis por utilizadores especializados.

No presente estudo recorreu-se a 3 tipos de produtos quanto à geometria: PPI, MAX e VCUT. Serão brevemente descritos, ainda que possam não figurar no texto.

O produto de tipo PPI (Plane Position Indicator) corresponde à superfície cónica gerada pela revolução de 360° da antena, na elevação utilizada e até ao alcance configurado, projectada na horizontal. Deste modo, é um produto bastante simples, de obtenção rápida mas apresentando a desvantagem de as observações dizerem respeito a altitudes crescentes com o alcance; este efeito é tanto mais pronunciado quanto maior for a elevação considerada. Foram utilizados PPI de reflectividade e da grandeza SQI.

Quanto ao produto de tipo MAX, corresponde ao campo dos valores máximos da reflectividade projectados sobre a horizontal (visíveis na zona central da imagem), ao campo dos valores máximos da reflectividade projectados segundo a direcção E-W (visíveis à direita da zona central da imagem) e ainda ao campo dos valores máximos da reflectividade projectados segundo a direcção N-S (visíveis acima da zona central da imagem). Os valores máximos de reflectividade exprimem-se em dBZ. Na projecção horizontal, a altitude a que os máximos de reflectividade se referem pode ser qualquer uma, compreendida dentro do chamado volume iluminado, ou seja, entre a elevação mais baixa e a mais elevada, de entre as usadas no rastreio. Sendo a reflectividade (Z) a grandeza que é mais comum utilizar na construção deste produto, é habitual designá-lo por MAXZ.

Finalmente, foi também utilizado para este estudo, o produto de tipo VCUT. Corresponde à distribuição, em corte vertical, do campo pretendido. No caso presente, foram executados cortes sobre a reflectividade e a velocidade Doppler.

C. PRODUTOS DE AVISO

O sistema de processamento central da rede de radares procede à geração de produtos directamente resultantes da observação, como os anteriormente mencionados, ditos

produtos de 1ª ordem, e à geração de produtos que recorrem à combinação entre produtos de 1ª ordem para a emissão de avisos de fenómenos de tempo severo ou significativo - produtos de aviso, ou de 2ª ordem.

Recorreu-se a esta facilidade para se obter uma configuração de produto de aviso considerada adequada na detecção automática de plumas de incêndio.

A configuração final assentou na combinação de 3 produtos do tipo PPI:

- a) PPI da elevação mais baixa do rastreio VENTO (0.1°), com um limiar de reflectividade muito baixo (-5dBZ);
- b) PPI da elevação seguinte à mais baixa do rastreio VENTO (1.5°), com um limiar de reflectividade superior ao de a) (3dBZ);
- c) PPI da elevação mais baixa do rastreio VENTO, com um limiar de SQI moderadamente elevado (0.8).

Esta configuração é apresentada como referência.

Bibliografia

- Atlas, D. et al., 1990: Radar in meteorology. Battan Memorial and 40 th anniversary radar meteorology conference. Boston, American Meteorological Society.
- Barbosa, S., Pinto, P., 1996: Radar Meteorológico - Fundamentos da meteorologia radar. Lisboa, Instituto de Meteorologia.
- Battan, L.J., 1973: Radar observation of the atmosphere, University of Chicago.
- Collier, C.G., 1989: Applications of weather radar systems - a guide to uses of radar data in meteorology and hidrology. Ellys Horwood Limited.
- Doviak, R.J., e Zrníc, D.S., 1984: Doppler radar and weather observations, Florida, Academic Press.
- Hufford, G.L., *et al*, 1998: Use of Real-Time Multisatellite and Radar Data to Support Forest Fire Management, AMS Journals Online, Volume 13, Issue 3, Weather and Forecasting, Article: pp. 592–605.
- Rinehart, R.E., 2004: Radar for Meteorologists, Colombia, Rinehart Publications.
- Rogers, R. R. e Brown, W. O. J., 1997: Radar Observations of a Major Industrial Fire, Boston, Bulletin of the American Meteorological Society, Article: pp. 803–814, Volume 78, Issue 5.
- Stull, R.B., 1989: An Introduction to Boundary Layer Meteorology, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Wurman, J., Weygandt, S., 2003: Mobile Radar Observations of the Big Elk (2002) and Roberts (2003) Fires, Florida, 5th Symposium on Fire and Forest Meteorology e 2nd International Wildland Fire Ecology and Fire Management Congress.

Office of the Federal Coordinator for Meteorology, 2008: Federal agency needs that radar can meet. Acedido pela última vez às 12:11 UTC de 28/10/2008, em <http://www.ofcm.gov/r25-mpar/pdf/02-ch2.pdf>

NOAA National Weather Service Weather Forecast Office, 2005: Smoke plume of a steel mill, as seen from the Chicago WSR-88D Doppler radar. Acedido pela última vez às 14:05 UTC de 28/10/2008 em <http://www.crh.noaa.gov/lot/photos/smokeplm.php>

Australian Government, Bureau of Meteorology, 2005: New weather radar comes to aid of NSW fire fighters. Acedido pela última vez às 14:21 UTC de 28/10/2008 em http://www.bom.gov.au/announcements/media_releases/ho/20011228.shtml