

Projecto Ester: Estudo de Viabilidade de um Sistema de Tipo Ground-based para Tele-Deteccção Remota de Fogos Florestais

Fernando Ramos*, Carlos Borrego**, Sónia Baltazar*, Ana Miranda**

*Departamento de Electrónica e Telecomunicações, Universidade de Aveiro

**Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro

Resumo- Este artigo descreve os objectivos e estratégias adoptados neste projecto, o qual é co-financiado pela JNICT/CNEFF (Projecto JNICT/CNEFF PEAM/FF/430/94). O objectivo essencial do projecto, iniciado em Janeiro de 1995 e que terminará em Dezembro de 1995, é o estudo da viabilidade de utilização na deteção de incêndios florestais de um sistema de televigilância desenvolvido para fins de segurança. O projecto inclui a construção de um protótipo laboratorial que permitirá demonstrar e validar a viabilidade prática do sistema.

Neste artigo focam-se os vários aspectos do sistema, do ponto de vista operacional e tecnológico, e descrevem-se as opções mais significativas resultantes dos estudos já efectuados.

Abstract- This article describes the objectives and strategies of this project, that is co-funded by JNICT/CNEFF. The main purpose of this project is the feasibility study of the application in the remote detection of forest fires of a telesurveillance system previously developed for security applications. The project includes the setup of a laboratory demonstrator that will support the validation of the results of the studies.

This paper describes the most significant aspects of the system and presents a set of results already achieved.

I. INTRODUÇÃO

Um dos aspectos base da política de gestão do fogo florestal consiste na rápida deteção e ataque ao fogo, o que é decisivo na minoração dos custos materiais e humanos devidos aos incêndios florestais. Em Portugal, o sistema de vigilância da floresta, durante a época normal de fogos, baseia-se numa rede de postos de vigia fixos, articulada com o patrulhamento móvel efectuado por brigadas terrestres de fiscalização, prevenção e vigilância e através de meios aéreos de vigilância. O sistema adoptado tem dado provas da sua eficácia, sendo considerável o número de focos de incêndio detectados logo na sua fase nascente.

No entanto, a rede de postos de vigia fixos implica a permanência de vigilantes, durante longos períodos de

tempo, em locais cujas condições de trabalho e conforto não são as melhores, facilitando situações de monotonia e de fadiga; no entanto esta solução tem custos elevados de mão de obra. A introdução de sistemas de deteção remota nos postos de vigia poderá constituir uma alternativa aos vigilantes, ultrapassando-se, assim, os problemas identificados.

II. PROGRAMA DE TRABALHO

O programa de trabalhos deste projecto está dividido em quatro tarefas, cada uma delas com objectivos específicos e complementares:

- Tarefa 0 - Gestão do projecto. Com uma duração de doze meses, esta tarefa integra todos os aspectos relativos à gestão tecnico-científica e administrativa do projecto.
- Tarefa 1 - Estudo dos aspectos operacionais. Com a duração de quatro meses, esta tarefa destina-se ao estudo da aplicação dos sistemas de deteção remota de fogos florestais de tipo ground-based em Portugal, bem como a sua articulação com sistemas de deteção de outros tipos. O resultado final integrará as especificações gerais do sistemas a desenvolver.
- Tarefa 2 - Estudo do aspectos tecnológicos. Esta tarefa têm a duração de doze meses e tem por objectivo o estudo dos aspectos tecnológicos do sistema, o que inclui a arquitectura, a configuração das ERs (estações remotas) e da EC (estação central), câmaras, sensores, comunicações e algoritmos de codificação e compressão.
- Tarefa 3 - Demonstrador. Com a duração de seis meses inclui a especificação da configuração e funcionalidades de um demonstrador que permitirá avaliar a viabilidade técnica de aplicação do sistema proposto, bem como a respectiva implementação.
- Tarefa 4 - Conclusões. Nesta tarefa serão reunidos os resultados do projecto, com o objectivo fundamental de avaliar a aplicação do sistema na deteção remota de incêndios florestais.

III. TAREFAS CONCLUÍDAS

Na data de redacção deste artigo encontra-se concluído o estudo dos aspectos operacionais. Seguidamente é apresentado um resumo dos estudos e conclusões desta tarefa.

O estudo dos aspectos operacionais realizado abordou os seguintes tópicos:

- caracterização dos aspectos do fogo florestal relacionados, directa ou indirectamente, com a sua detecção;
- análise comparativa das várias estratégias de detecção de incêndios florestais;
- identificação e descrição dos dispositivos de tele-deteccção remota;
- breve abordagem do funcionamento interactivo das entidades responsáveis pela prevenção, detecção e combate ao fogo.

A.. Caracterização do fogo

Um fogo pode ser definido como a reacção química existente entre um combustível (vegetal) e um oxidante (normalmente, o ar ambiente) (fig. 1). A reacção de combustão de elementos vegetais requer a presença de uma fonte de calor para se iniciar (ignição). Uma vez estabelecida a combustão, esta liberta energia suficiente para manter a reacção mesmo que se retire a fonte de calor inicial: desde que haja combustível e oxigénio, a combustão mantém-se. O resultado dessa reacção é a libertação de energia (maioritariamente térmica) e a produção de espécies inertes e tóxicas, tais como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), vapor de água (H_2O), fuligem, fumo, etc. Frequentemente grande parte da energia libertada ocorre na forma de luz visível e radiação infravermelha.

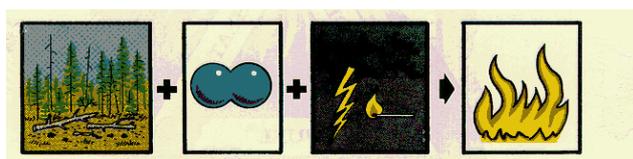


Fig. 1 - Representação da reacção química [4]

A ocorrência e o desenvolvimento de um incêndio florestal são condicionados por variados factores, nomeadamente:

- Combustíveis
- Topografia
- Meteorologia

A.1. Combustíveis

Os combustíveis são um dos parâmetros mais importantes na detecção de fogos florestais. Qualquer substância que sofra ignição e seja queimada é um combustível. No caso dos incêndios florestais, que ocorrem em regiões que abrangem zonas agrícolas, matos

ou florestas, o combustível é sobretudo a vegetação. Esta é consumida rapidamente, pelo que a continuação da combustão implica a propagação a novos combustíveis adjacentes, alastrando o incêndio florestal ao longo de uma linha denominada frente de chamas, e cujo perímetro delimita a área ardida [15].

Para além dos factores meteorológicos e topográficos, a vegetação tem pois um papel decisivo na ocorrência e propagação dos incêndios. A inflamabilidade e a combustibilidade global do sistema dependem fortemente da sua estrutura e disposição espacial.

A flamabilidade é uma das características dos combustíveis que poderá ser mais significativa para a detecção, pois caracteriza a sua maior ou menor facilidade de entrar em combustão na presença de uma fonte de calor. No entanto, a inflamabilidade de um dado combustível depende consideravelmente do seu teor em humidade. As espécies serão tanto mais inflamáveis quanto menos tempo demorarem a produzir uma chama. As espécies associadas com vegetação do tipo resinosa, por exemplo, são altamente inflamáveis, propagando-se as chamas com grande intensidade.

As chamas são constituídas por gases resultantes da combustão, as quais se encontram a uma temperatura muito alta (da ordem dos 1000°C) [15]. Elas são a principal forma de libertação da energia de combustão e constituem a parte visível mais importante do incêndio.

Nos fogos florestais, os dois produtos da oxidação completa - CO_2 e H_2O - constituem cerca de 90% da massa total emitida. O vapor de água também pode resultar do processo de secagem das plantas aquecidas pela frente de chamas que se aproxima. Constitui um fumo esbranquiçado, que se observa nalgumas fases dos incêndios, sobretudo na presença de combustíveis verdes. No entanto, a combustão nos fogos florestais não é um processo quimicamente eficiente, sendo produzidos para além dos compostos referidos, os restantes 10% da massa total emitida, que incluirão os compostos do fumo potencialmente problemáticos: os hidrocarbonetos gasosos, as partículas, o CO , os ácidos orgânicos, aldeídos e óxidos de azoto [12]. As partículas sólidas emitidas dão uma coloração negra aos fumos. Este facto é revelador de uma combustão rica, isto é com excesso de combustível. A quantidade de combustível disponível no terreno é pois um parâmetro importante. Varia com o local, com o tipo de combustível e com a época do ano.

A maioria dos fogos florestais, após a ignição, propaga-se em combustíveis rasteiros (herbáceas e arbustos) e do solo (folhas, raízes, ramos mortos, restos de cortes ou de limpezas). A progressão do fogo neste tipo de combustíveis, fogo rasteiro, constitui a principal forma de progressão dos incêndios e é a que se verifica quase sempre no seu início [15]. Caso as condições atmosféricas e a humidade dos combustíveis o permitam, o fogo poderá ascender até ao topo das árvores (combustíveis aéreos). Quando o fogo atinge o topo das árvores, denomina-se fogo de 'copas' (fig. 2). Este tipo de fogo poderá



Fig. 2 - Representação de um fogo de 'copas' [4].

progredir vários quilómetros num único dia, sendo muito perigoso e difícil de combater ou suprimir.

A.2. Topografia

A configuração do terreno tem grande importância nas condições de eclosão, propagação e combate aos incêndios florestais [15]. Em Portugal, onde a maioria dos fogos florestais ocorre em terreno de orografia complexa, este aspecto assume um carácter ainda mais relevante.

A topografia influencia consideravelmente as variações locais de temperatura superficial, devido à orientação do terreno relativamente ao Sol. As encostas viradas a Sul serão mais quentes e secas do que as encostas viradas a Norte, pelo que o risco de eclosão será maior. Para além disso, a associação usual da precipitação com ventos de uma determinada direcção, induz a que as encostas orientadas de acordo com essas direcções do vento sejam mais propícias ao desenvolvimento de vegetação durante o período das chuvas, possuindo, portanto, durante o Verão uma maior quantidade de combustível. O desenvolvimento de determinadas espécies está também condicionado pela altitude, já que esta se relaciona com a temperatura, diminuindo a temperatura à medida que aumenta a altitude.

O próprio sistema montanhoso influencia o escoamento atmosférico geral. Assim, por exemplo, as cadeias montanhosas poderão constituir barreiras efectivas ao escoamento atmosférico, enquanto que os vales, que lhes poderão estar associados, constituirão canais importantes de drenagem, estabelecendo a direcção do vento. Para além de alterarem o sistema de circulação geral, os sistemas montanhosos poderão criar o seu próprio regime de ventos. É o caso das brisas de montanha (diurnas-ascendentes e nocturnas-descendentes) que se formam devido ao aquecimento ou arrefecimento desigual do ar junto ao solo e das camadas superiores da atmosfera. As alterações provocadas pelos efeitos topográficos no escoamento atmosférico serão responsáveis por variações na direcção e intensidade do vento, podendo afectar a propagação do fogo.

A propagação do fogo depende directamente da inclinação do terreno. Comparativamente com a progressão em terreno plano, a progressão no sentido ascendente, subindo as encostas, é mais rápida, já que as

chamas se aproximam dos combustíveis, facilitando assim o seu aquecimento e ignição (fig. 3). Passa-se o inverso no sentido descendente, ou seja, quando o fogo desce a montanha.

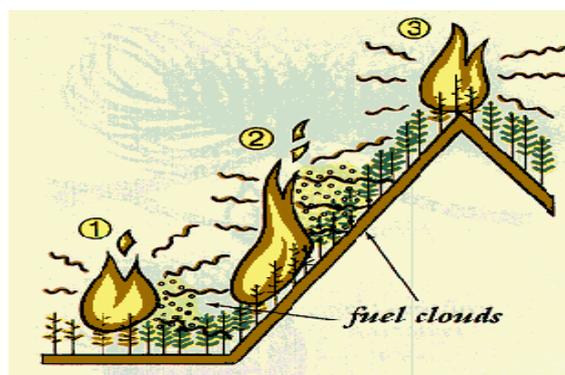


Fig. 3 - Progressão ascendente de uma frente de chamas [4].

A.3. Meteorologia

Os elementos locais da 'meteorologia do fogo' são: vento, temperatura, humidade e estabilidade atmosférica. Estas circulações de grande escala determinam os padrões regionais das alterações da 'meteorologia do fogo'.

Relativamente aos elementos locais:

- a temperatura dos combustíveis florestais e do ar ambiente é um dos factores determinantes do início e progressão de um fogo. A temperatura afecta também indirectamente o fogo, através da sua influência noutros factores que controlam a sua progressão, isto é, o vento, a humidade do combustível e a estabilidade atmosférica;
- a humidade é outro elemento importante da 'meteorologia do fogo'. Valores baixos de humidade relativa contribuem para uma maior secagem dos combustíveis florestais, constituindo um sinal de perigo;
- a estabilidade atmosférica está relacionada com a resistência da atmosfera ao movimento vertical, podendo encorajá-lo (instabilidade atmosférica) ou suprimi-lo (estabilidade atmosférica), e influenciando assim o fogo de variadas maneiras. Em condições de atmosfera instável, um pequeno impulso para cima pode produzir numa massa de ar uma corrente ascendente importante. Esta situação é muito perigosa, já que pode facilitar o desenvolvimento de grandes incêndios. O próprio calor gerado pelo fogo induz movimento vertical, pelo menos junto à superfície. Pela observação de uma coluna de fumo é possível avaliar se estamos em presença de condições instáveis, ou não. Um outro tipo de movimento vertical consiste na subsidência, que é a descida gradual de uma camada de ar sobre uma grande área. Quando se inicia em níveis elevados da troposfera, o ar, que inicialmente está pouco húmido, vai aquecendo e a sua humidade relativa vai diminuindo, à medida que se aproxima da superfície. Se esse ar quente e seco atingir a superfície poderá suceder uma séria situação de risco de fogo.

- o vento é o elemento meteorológico que, para além de ser o mais variável e menos previsível, mais afecta o comportamento do fogo. Contribui para a secagem dos combustíveis florestais, aumenta a reacção de combustão assegurando o fornecimento continuado de oxigénio, favorece o aquecimento dos combustíveis não queimados através da inclinação das chamas para diante e transporta brasas incandescentes, provocando a ignição de novos focos de incêndio a alguma distância da frente de chamas [13]. A direcção de progressão do fogo é determinada essencialmente pela direcção do vento. A figura 4 ilustra o efeito do vento na progressão de um fogo. Em Portugal as situações de maior risco de incêndio estão relacionadas com ventos de Leste, ventos geralmente muito secos e intensos.

B. Análise comparativa dos vários sistemas de detecção existentes

A detecção rápida e eficaz dos focos de incêndio tem sido, desde sempre, uma preocupação constante das equipas gestoras do combate ao fogo. [3] Fornece uma breve perspectiva histórica da detecção dos fogos florestais ao longo do tempo. Segundo este autor, uma das primeiras actividades no controlo dos fogos florestais consistiu na organização de patrulhas através da floresta, com o objectivo de detectar qualquer foco de incêndio. Os primeiros homens-patrulha atravessavam a floresta a pé e/ou a cavalo e geralmente estavam equipados para agir nos pequenos fogos que pudessem encontrar. Para além do seu papel de detecção e primeiro ataque ao fogo, estas patrulhas móveis tinham e têm, ainda hoje, um papel pedagógico e informativo, já que estão em contacto directo com a população.

Estas patrulhas deslocavam-se por caminhos estabelecidos e percorriam terras altas e picos onde a altitude lhes fornecia uma melhor visão da floresta, permitindo-lhes detectar qualquer coluna de fumo. O facto destas patrulhas descobrirem que certos locais lhes dariam uma boa visão da parte da floresta que patrulhavam levou-os à próxima etapa na evolução da detecção: a construção de postos de vigia e torres que permitiam, a um observador, vigilância da floresta. Foram construídas muitas torres, do mais variado grau de sofisticação, desde plataformas fortes e seguras no topo das árvores mais altas até torres metálicas de tecnologia avançada, com aparelhos de medida e comunicações rádio. O vigilante deverá possuir um bom conhecimento da área em que se encontra, no sentido de fornecer informações precisas e completas sobre o local de deflagração do incêndio. Actualmente, os postos de vigia fixos no terreno, instalados em locais criteriosamente escolhidos, constituem a base do sistema de vigilância da nossa floresta.

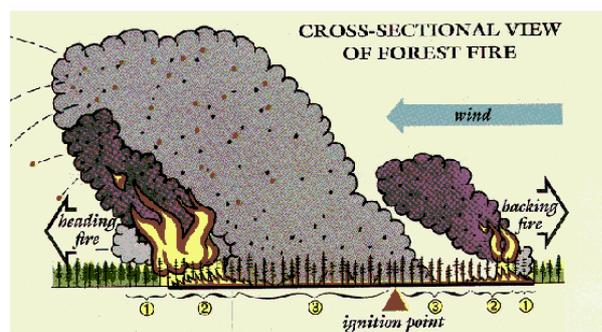


Fig. 4 - Efeito do vento na progressão de um fogo florestal [4].

Para além da detecção efectuada pelas brigadas terrestres, móveis e fixas, existem sistemas de detecção através de meios aéreos. Em Portugal, estes meios são já utilizados de uma forma sistemática nos dias de risco de incêndio não nulo. Tal como os vigilantes dos postos fixos, o pessoal encarregue da vigilância aérea deverá conhecer bem a região em que se desenrola o voo, de forma a identificar facilmente os pontos de referência observados. A eficácia da vigilância aérea não é total devido a só abranger uma área limitada em torno da zona sobrevoada, efectuando uma cobertura intermitente de um determinado local, e devido a ser difícil a utilização dos meios aéreos de vigilância durante os períodos nocturnos. Para além disso, a própria natureza dos meios empregues implica custos operacionais muito elevados.

Por outro lado, a detecção aérea permite uma maior flexibilidade, sendo possível alterar a área vigiada consoante a variação dos perigos e riscos de incêndio, e possibilitando a concentração da vigilância em zonas de risco particular como as de recreio e nos fins-de-semana. Adicionalmente, os meios aéreos permitem vigiar regiões remotas, de acesso difícil.

A detecção aérea não exclui a presença de torres fixas de vigilância e de patrulhas móveis de detecção, existindo regiões em que as acções conjugadas dos vários tipos de detecção permitem uma eficiência máxima na tarefa de detecção de fogos florestais. Em Portugal tem sido adoptada, nos dias de elevado risco de incêndio, uma solução integrando os vários tipos de sistema de detecção referidos, tentando-se assim atingir a eficácia máxima em termos de detecção de incêndios florestais.

Até muito recentemente, qualquer um dos sistemas de vigilância referidos, recorria essencialmente ao sentido da visão humana como 'instrumento de detecção', constituindo as colunas de fumo emitidas o principal indício da ocorrência de um fogo florestal. O desenvolvimento constante da electrónica permitiu a adopção de meios electrónicos como ferramenta de apoio à detecção via 'olho humano' e mesmo como substitutos dessa forma de detecção. Um dos primeiros sistemas a ser implementado baseia-se na implantação, em postos de vigia, de câmaras de televisão comandadas à distância. A Polónia é um dos Países onde a substituição dos vigilantes nas torres fixas por câmaras de televisão tem fornecido bons resultados [7]. Contudo, haverá que avaliar se a

eficácia quanto às indicações da localização de um fogo poderão ser tão precisas como as de um vigilante que conheça bem a zona que deve observar.

Ultimamente, tem-se recorrido também às imagens de satélite para detecção remota de fogos florestais [14,10,11]. Este tipo de sistema permite detectar e seguir incêndios a partir de sensores colocados em satélites. Existem diferentes sensores, tais como:

- Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR. Encontra-se instalado em satélites da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). O AVHRR fornece imagens digitais em comprimento de onda do visível, infra vermelho próximo e infra vermelho. Algumas limitações deste sensor encontram-se no facto da resolução da imagem ser limitada pelo tamanho do pixel, o que torna difícil a obtenção de determinado tipo de informação de incêndios individuais (área, forma e temperatura), e na impossibilidade de monitorização de variações diurnas da queima devido á saturação do sensor.
- Visible Infrared Spin Scan Radiometer Atmospheric Sounder. O seu satélite é o Geostationary Operational Environmental Satellite. Tem uma resolução física inferior à do AVHRR.
- Detector de Alta Resolução Thematic Mapper, com vários canais espectrais, instalado nos Landsat 4 e 5, satélites da NASA. É utilizado na análise da radiação reflectida pelo solo e vegetação mas, também é sensível às emissões associadas à queima de biomassa. A limitação que se aponta a este sensor é o facto, de na presença de fumo contendo partículas ou na presença de vapor de água, a superfície poder ser *mascarada* e ocorrer a reflexão das radiações solares.

As imagens de satélite estão intimamente relacionadas com as condições meteorológicas, já que a existência de nuvens e nevoeiros afecta directamente a imagem adquirida. Assim, a identificação de um incêndio via imagem de satélite poderá não ser directa, exigindo alguma prática e estando sujeita a diversos tipos de interpretação.

As imagens de satélite constituem a maior fonte de informação disponível, num determinado instante, de um incêndio em áreas extensas. Consequentemente, a sua utilização na detecção de fogos em regiões tropicais e subtropicais, é plenamente justificada. No entanto, atendendo à resolução atingida pelos sensores remotos instalados em satélites, a sua utilização não será praticável na detecção e vigilância de incêndios no nosso País.

C. Dispositivos utilizados na detecção de fogos florestais

Qualquer sistema de prevenção, detecção e manutenção de fogos florestais deve satisfazer os seguintes requisitos operacionais [6]:

- avaliação do índice de risco e rápida localização dos fogos
- transmissão imediata de sinais de alarme para as entidades competentes
- previsão temporal e espacial da evolução do fogo
- fazer o 'display' para o operador do plano de intervenção
- monitorar a evolução do fogo.

Uma das tarefas de grande importância no sistema referido consiste na rápida detecção de focos de incêndio, e na sua localização precisa, de modo a apoiar ao máximo a definição de estratégia de combate ao fogo.

O objectivo final deste projecto consiste na avaliação da viabilidade de introdução de um sistema de detecção remota/automática nos postos de vigia fixos. Quando o sistema de detecção recorre a dispositivos de detecção automática, tal como se pretende no âmbito deste trabalho, as características de um incêndio que mais poderão contribuir para uma detecção rápida e eficaz são: (i) o aumento da temperatura, associado ao aparecimento de chama, no local onde se dá a eclosão; e (ii) o fumo e alguns gases que são libertados aquando da combustão da biomassa.

Para além das características do fogo que poderão permitir a sua detecção, o próprio sistema de vigilância dependerá do risco de incêndio associado a cada local, ao longo do tempo. A determinação do índice de risco meteorológico baseia-se em dados meteorológicos, sendo assim importante conhecer as condições meteorológicas do local que se vigia. A implantação de uma rede meteorológica automática associada aos postos fixos de vigia contribuirá para a definição de índices de risco, permitindo avaliar se a região em análise constituirá, ou não, uma zona de grande probabilidade de ocorrência de incêndio, e portanto se deverá ser sujeita a vigilância especial por parte das entidades responsáveis.

C.1. Fumo

As colunas de fumo emitidas no decorrer de um incêndio florestal têm sido desde sempre um dos principais sinais de eclosão e ocorrência de fogo. Tal como já foi referido na introdução, o primeiro dispositivo de detecção automática de fogos florestais baseou-se na utilização de câmaras de televisão, colocadas em postos de vigia fixos, que permitiam a visualização das colunas de fumo. Testes realizados com uma câmara de televisão industrial, com movimentos horizontais e verticais, controlada remotamente por um observador, revelaram que poderiam ser detectadas colunas de fumo emitidas a distâncias superiores a 20 km [3].

O facto destas câmaras detectarem essencialmente as colunas de fumo, torna-as dependentes, em termos de eficácia, dos factores que afectam a visibilidade. No caso de existir nevoeiro, neblina ou fumo entre o ponto de observação e o fumo resultante do incêndio, a detecção será bastante dificultada, podendo mesmo vir a ser inviável.

Em muitos casos os fogos começam por baixo das árvores e arbustos, isto é, surgem escondidos da vista directa dos sensores montados num sistema *groundbased*. Medidas utilizando a gama de infravermelhos média-alta só detectam fogo quando este pode ser observado directamente através da chama, logo facilmente propagável.

Partindo desta perspectiva parece óbvio que se tente detectar o fogo quando ele ainda se apresenta rasteiro, isto é na sua fase inicial. Assim foi desenvolvido um projecto - Multi-Spectral Autonomous WildFire Dtection System - no âmbito de um programa de riscos naturais e climatologia da Direcção Geral para a Ciência, Investigação e Tecnologia da Comissão da União Europeia, onde foram utilizadas câmaras com tecnologia CCPD (*charge coupled photodiode device*), com um sistema adicional de filtros para equipar a câmara com capacidade de cor [16]. Este sistema é sensível na gama visível e baixa de infravermelho do espectro.

De acordo com [11] o único tipo de sensores remotos capazes de penetrar em nuvens consiste em radares activos. No entanto, as imagens que eles originam são muito difíceis de introduzir nos sistemas de transmissão, o que leva a que a sua aplicação prática na detecção de fogos não seja ainda uma realidade.

C.2. Temperatura

A eclosão de um fogo é acompanhada de um aumento de temperatura, já que a reacção de combustão produz energia (maioritariamente térmica), sob a forma de luz visível e de radiação infravermelha (I.V.).

Durante e após a II Guerra Mundial foram desenvolvidos, com objectivos militares, instrumentos electrónicos para detecção da radiação I.V. [3]. Na década de 50, alguns cientistas começaram a explorar o potencial da detecção por I.V. para outros campos que não o militar, por exemplo para aplicações médicas e para detecção de fogos.

A base de desenvolvimento de dispositivos de detecção de fogos através de radiação I.V. assenta na relação directa entre a temperatura de um objecto e o comprimento de onda ao qual este irradia ondas electromagnéticas. Assim, um dispositivo electrónico sensível às ondas electromagnéticas emitidas por um fogo nascente poderá ser utilizado na detecção dessa fonte de radiação, contra um fundo que seja floresta ou outro terreno mais frio.

A gama de I.V. engloba a porção do espectro electromagnético de aproximadamente 1 a 1000 microns, mas a maior parte das ondas I.V. detectadas a partir de um fogo variam entre 1 e 5 microns [3]. Contudo, da energia emitida pelo fogo na forma de ondas electromagnéticas que atravessam a atmosfera até atingir o instrumento detector, apenas estreitas bandas das ondas I.V. penetram realmente a atmosfera. Estas estreitas bandas são denominadas janelas.

Assim, um detector efectivo de fogos florestais, terá que reagir a comprimentos de onda no intervalo da energia máxima emitida pelo fogo, mas também a comprimentos de onda que coincidam com a janela. Estudos efectuados com esse objectivo permitiram determinar que a janela mais apropriada para um detector de I.V., corresponde a comprimentos de onda de cerca de 5 microns [3].

Um sistema electrónico para detecção de fogo através de radiação I.V. deverá ser constituído por [3] :

- lentes ópticas ou sistema de reflectores e lentes através das quais a energia infravermelha emitida pelo terreno observado possa ser focada (opcional)
- célula de detecção infravermelha. Esta célula deverá converter a energia eléctrica em impulsos eléctricos.

A célula de detecção infravermelha pode ser uma câmara de infravermelhos, que fornece as variações de temperatura sobre a forma de imagens, possibilitando a detecção de estradas, rios, lagos, etc., contribuindo assim para a localização exacta do fogo. Os detectores infravermelhos, lineares ou bidimensionais, utilizados nas câmaras de infravermelhos são geralmente construídos em matérias como: silício, germânio índio antimónio, mercúrio cádmio telúrio, índio antimónio, platina, índio gálio.

O facto de as câmaras infravermelhas representarem a variação de temperatura de uma 'cena', permitiu a sua adaptação para visualização nocturna numa perspectiva "black-hot". É pois, perfeitamente possível observar uma 'cena' nocturna, já que as diferentes tonalidades da imagem obtida permitem a identificação dos objectos presentes. Uma câmara I.V., para funcionar em visão nocturna, necessita de pelo menos 256x256 pixeis, de uma sensibilidade de 0.3% e de operar a um 'frame rate' próximo da TV (30 Hz) [9].

A célula de detecção infravermelha pode também ser um simples detector, que apresenta à saída um sinal relacionado com a radiação incidente. Estes sensores, simples, não são mais do que sensores remotos de temperatura.

A detecção de fogos através da radiação I.V. apresenta obviamente vantagens e desvantagens. A maior vantagem dos infravermelhos é a sua capacidade de penetrarem o fumo, o que permite a detecção de pequenos focos de incêndio entre o fumo de outros fogos que estejam a decorrer na zona.

Uma das maiores desvantagens da detecção por I.V. advém da impossibilidade das ondas I.V. penetrarem ar com vapor de água, ficando assim a detecção do fogo restringida pelo nevoeiro, neblinas e nuvens.

C.3. Gases libertados na combustão

Um outro sistema passível de utilização na vigilância de ocorrência de incêndios florestais, baseia-se na detecção electrónica de um determinado gás libertado durante um fogo. O interferómetro [3] permite a identificação de

gases em pequenas quantidades na atmosfera. A sua aplicação à área da prevenção e detecção dos incêndios florestais, através da detecção de um determinado gás emitido pelo fogo, parece viável. No entanto, a dificuldade em encontrar um gás unicamente emitido pelos fogos, e portanto ausente da atmosfera na ausência de fogo, e a dificuldade em discernir se o gás detectado provém ou não de fogos já existentes na região, constituem problemas, na utilização deste sistema.

O laser pode também ser utilizado para a detecção de um gás libertado no estado de precombustão do fogo, isto é, mesmo antes de ser visível qualquer chama. A utilização do LIDAR (Light Detection And Ranging) na detecção remota dos fogos florestais é uma hipótese em estudo [1,5].

D. Interacção com os sistemas de combate ao fogo

O presente projecto visa analisar a viabilidade da introdução de um sistema de detecção remota de incêndios florestais nos postos de vigia fixos. Como tal, a informação sobre a gestão do combate ao fogo em Portugal, é essencial para a correcta interacção desse sistema com o sistema de gestão do fogo existente.

O combate aos incêndios é efectuado pelos bombeiros, pelo pessoal dos serviços florestais, entidades privadas, populares, entidades militares e Centros de Coordenação de meios aéreos. A coordenação entre as acções aéreas e terrestres deverá ser a melhor possível, de forma a garantir um combate ao incêndio eficaz.

Ao nível Concelhio ou Distrital existem as Comissões Especializadas de Fogos Florestais (CEFF), que reúnem representantes das diversas entidades envolvidas. Estas comissões são presididas pelo Presidente da Câmara ou pelo governador Civil, consoante o nível a que são formadas.

A cooperação entre as diferentes entidades deverá ser feita frequentemente, em particular no Inverno, para conhecimento das chefias, instalações, equipamentos, métodos e âmbito de actuação de cada entidade, contribuindo assim para que na época de maior risco de incêndios o combate seja mais eficiente.

A fig. 5 apresenta um esquema do funcionamento integrado das várias entidades que, em Portugal, colaboram no combate ao fogo.

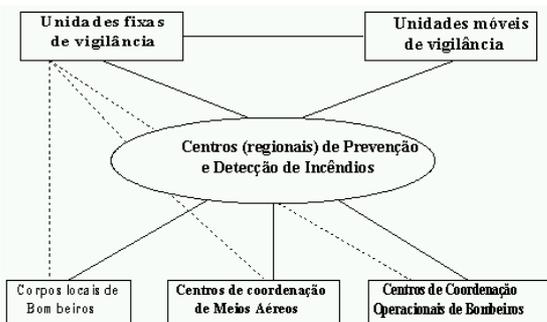


Fig. 5 - Esquema de funcionamento da rede de combate ao fogo florestal em Portugal.

No caso de detecção de um incêndio pelas unidades de vigilância, esse deverá ser comunicado prontamente, via rádio, aos Centros de Prevenção e Detecção de Incêndios (rede da Direcção Geral das Florestas), existentes em cada região. A estes centros afluem todas as comunicações recebidas tanto dos postos de vigia como das patrulhas terrestres. A informação será então transmitida aos Corpos de Bombeiros e aos Centros de Coordenação de Meios Aéreos. O contacto entre as diferentes entidades intervenientes deverá ser sempre permanente.

Em algumas regiões, os postos de vigia podem entrar em contacto directo com os Centros de Coordenação Operacionais de Bombeiros, com os Centros de Coordenação dos Meios Aéreos ou com o Corpo de Bombeiros local. Os postos de vigia fixos e as unidades móveis deverão ainda estar em comunicação constante, via rádio.

IV. DEMONSTRADOR

O objectivo deste projecto, como foi já referido, é o estudo de viabilidade técnica, económica e operacional da aplicação na tele-deteção remota de fogos florestais de um sistema de vigilância remota, desenvolvido para aplicações de segurança[8]. Este sistema para fins de segurança é baseado numa Estação Central de Vigilância (EC) e num conjunto de Estações Remotas de Vigilância (ERs), sendo ambos os tipos de estações suportadas em plataformas computacionais de tipo PC compatível (fig. 6).

Cada ER pode, na actual configuração, suportar a ligação de até seis câmaras vídeo preto e branco, ou duas câmaras RGB, ou uma câmara RGB e três câmaras a preto e branco, e dispõe ainda da possibilidade de permitir a ligação de um conjunto de sensores e actuadores em número somente limitado pelo número de cartas de I/O instaladas em cada ER. O sistema permite a transferência de imagem de uma câmara instalada numa ER para a EC, podendo essa transferência ser de imagens a preto e branco ou a cores consoante o tipo de câmara. No caso das imagens a preto e branco a transferência é efectuada em modo imagem móvel, com uma resolução de 180x144 pixels e uma cadência de 8 imagens/seg, sendo utilizado um algoritmo de codificação proprietário. No caso das imagens a cores a transferência é efectuada em modo imagem fixa, com uma resolução de 360x288 pixels e uma taxa de transferência de 1 imagem por cada 2 seg., sendo as imagens codificadas de acordo com a norma JPEG.

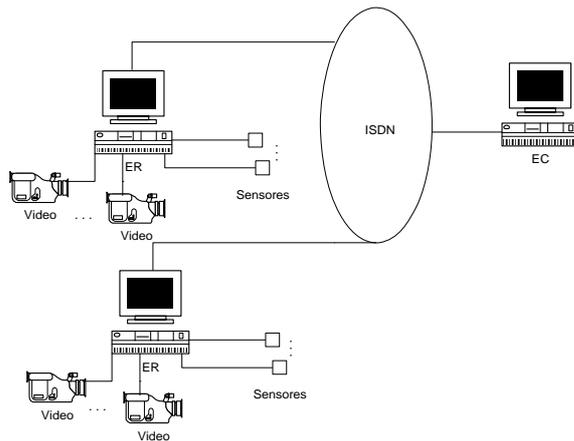


Fig. 6 - Arquitectura do sistema desenvolvido para aplicações de segurança

O estabelecimento de uma comunicação entre a EC e uma ER pode ser da iniciativa quer da EC quer da ER. No caso de ser a EC a estabelecer a comunicação, isso resulta de uma acção explícita do respectivo operador, que deverá seleccionar de qual das câmaras existentes na ER pretende obter imagens. No caso da iniciativa ser de uma ER, isso resulta da activação de um dos sensores ligados à ER, sendo, portanto, consequência de se ter registado uma situação de alarme. Durante o processo de estabelecimento de comunicação por iniciativa de uma ER são transferidos para a EC dados que identificam a ER e o sensor activado, bem como a data e a hora de ocorrência do alarme. Logo que a comunicação esteja estabelecida inicia-se o processo de transferência e visualização da imagens, que serão recolhidas da câmara com a qual, por configuração prévia esteja relacionado o sensor. Neste sistema a comunicação entre EC e as ERs é efectuada através da RDIS, sendo suportada em canais de 64 kbit/s em modo circuito. Na unidade de demonstração a elaborar deverão ser mantidas, para já, todas as características do sistema de vigilância, excepto o meio de comunicação utilizado.

Após o estudo dos aspectos operacionais conclui-se que os dispositivos mais aconselháveis para detecção de fogos florestais são os por infravermelhos, câmaras ou simples detectores. A primeira solução é, no entanto, extremamente cara (uma câmara I.V. custa vários milhares de contos)

A flexibilidade proporcionada pelas diferentes soluções ao nível das comunicação influenciam a arquitectura geral do sistema que poderá ser constituída por uma estrutura multi-nível do tipo da apresentada na fig. 7

Assim numa fase futura, o sistema, será composto ao mais baixo nível por um conjunto de ERs que poderão comunicar com um concentrador de zona através de ligações RF, cabo ou GSM. Estes concentradores de zona poderão dispor de ligações via satélite ou através de uma rede terrestre (por exemplo RDIS) que darão acesso, ou directa ou através de concentradores de região, a uma das ECs existentes. Nessa fase deverá também contar, na EC, com um sistema integrado SIG (Sistemas de Informação

Geográfica) para complementar e melhorar a informação fornecida às entidades responsáveis pelo combate ao fogo.

O demonstrador (fig.8) será constituído por uma EC e por uma ER, com comunicações de tipo RDIS e RF, estando neste momento também em estudo a possibilidade de utilização de GSM. O orçamento disponível não permite, como era desejável, a inclusão de sensores de

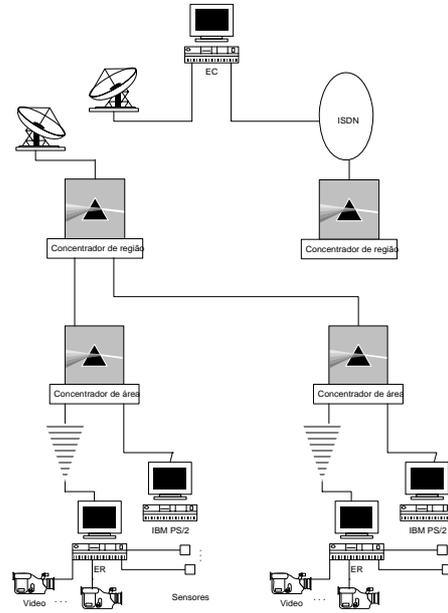


Fig. 7 - Arquitectura genérica

I.V., sendo a situação de alarme simulada na ER.

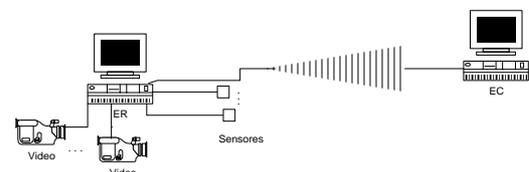


Fig. 8 - Arquitectura do demonstrador

V. CONCLUSÕES

As únicas conclusões possíveis neste momento dizem respeito essencialmente ao estudo efectuado e relacionado com os aspectos operacionais, e a alguns aspectos relacionados com as comunicações.

A primeira grande conclusão diz respeito aos dispositivos a utilizar na detecção: utilizar dispositivos infravermelhos para detecção de fogos florestais, câmaras ou detectores simples. A segunda que se pode tirar diz respeito aos meios de comunicação: ao contrário do que inicialmente se pensava, utilizar comunicações por cabo não é uma ideia totalmente desprovida de sentido. Existem sistemas baseados neste tipo de solução, caso do SRI-10 Forest Fire Detection Systems produzido pelas empresas ALINEA e ARINC Research Corporation Este sistema está em experiência na Florida, USA, estado em

que as cerca de 900 torres de detecção de fogos instaladas têm ligações telefónicas.

Por último, de facto não existe o sistema perfeito de detecção de fogos; no entanto um sistema deste tipo - ground-based - encarado como complementar dos outros sistemas existentes pode ser um instrumento poderoso na detecção de fogos florestais, nomeadamente em Portugal

REFERÊNCIAS

- [1] Banta, R; Oliver, L.D. e Holloway, E.T. 1991 - Doppler Lidar Observations of a Rotational Convective Smoke Column. In Proceedings of the 11th Conference on Fire & Forest Meteorology. Missoula, Montana.
- [2] Cahoon, D.; Levine, J.; Cofer, W.; Miller, J.; Minnis, P.; Tennille, M.; Yip, T.; Stocks, B.; Heck, P. 1991. The Great Chinese Fire of 1987: A view from Space. In *Global Biomass Burning. Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. edited by Joel S. Levine. The MIT Press.
- [3] Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L. & Williams, D. 1991 *Fire in Forestry. Volume II. Forest Fire Management and Organization*. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida.
- [4] Cottrell, W. 1989. *The Book of Fire*. Mountain Press Publishing Company.
- [5] Easthouse, K. 1994 - *Laser smoke detector*. In Santa Fe New Mexican, June.
- [6] Fuschetti, F.- Automatic System for Forest Fire Detection in Campania - Italy Vol.II, CP.26, pp769-778, Coimbra, Nov.1994.
- [7] Karlikowski, T. 1981. Systems for forest fire detection. Proceeding of the Forest Fire Prevention and Control. Warsaw.
- [8] J.Santos, F.Ramos, O.Santos, Sistemas de Televisão suportado na RDIS, revista do Departamento de Electrónica e Telecomunicações, vol.1, nº2, Setembro 94
- [9] Laser Focus World; Detector Handbook - Imaging Systems: Active-pixel sensors, multiplexers, thermography, night vision, thermal imaging, , June 1993
- [10] Malingreau, J. P. 1990. The Contribution of Remote Sensing to the Global Monitoring of Fires in Tropical and Subtropical Ecosystems. In *Fire in the Tropical Biota. Ecosystems Processes and Global Challenges*. edited by Goldammer. Springer-Verlag.
- [11] Robinson, J. 1991. Problems in Global Fire Evaluation: is Remote Sensing the Solution? In *Global Biomass Burning. Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. edited by Joel S. Levine. The MIT Press.
- [12] Ryan e McMahon. 1976. Some chemical and Physical characteristics of Emissions from Forest Fires. *Proceedings of the 69th Annual Meeting of the Air Pollution Control association*. Portland. Oregon. USA.
- [13] Schroeder, M. e Buck, C. 1970. *Fire Weather. A Guide for Application of Meteorological Information to Forest Fire Control Operations*. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Agriculture Handbook 360.
- [14] Stephens, G. & Matson, M. 1989. Fire Detection Using NOAA-N Satellites. In *Proceedings of the 10th Conference on Fire & Forest Meteorology*. edited by Maciver, Auld & Whitewood.
- [15] Viegas, D. 1989. *Manual sobre Incêndios Florestais*. Secretaria-Geral do Ministério do Planeamento e da Administração do Território.
- [16] Vries, J. S.; Kemp, R. A. W. 1994- Results with a Multi-Spectral Autonomous Wildfire Detection System.. Proceedings of the 2nd International Conference on *Forest Fire Research*. Vol.II, CP.779-791, Coimbra.