



TÉCNICO
UNIVERSIDADE
DE LISBOA

PROJETO INTEGRADOR 1^o CICLO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

LEEC

Lista de Requisitos [PT]

Autores:

Salvador Carvalho, 109394

Carolina Rodrigues, 109562

Bárbara Trigueirão, 109590

Gonçalo Caetano, 109925

Marco Mendonça, 109977

Diogo Vicente, 110736

salvadorcarvalho@tecnico.ulisboa.pt

carolina.t.rodrigues@tecnico.ulisboa.pt

barbara.trigueirao@tecnico.ulisboa.pt

goncalomiracaetano@tecnico.ulisboa.pt

marco.mendonca@tecnico.ulisboa.pt

diogo.alves.vicente@tecnico.ulisboa.pt

Grupo 02

2025/2026 – 2^o Semestre, P3

Conteúdo

1	Resumo Executivo	2
2	Definição do Problema e Perspetivas do Utilizador	2
2.1	Síntese das Conclusões das entrevistas	2
2.2	Beneficiário Primário	3
2.3	Necessidade Crítica	3
3	Requisitos de Engenharia (O "Quê")	4
4	Arquitetura Geral do Sistema (O "Como")	5
5	Decomposição em Subsistemas	6
5.1	Subsistema de Comunicação	6
5.2	Subsistema de Processamento	6
5.3	Software	7
5.4	Subsistema de Hardware / Eletrónica	7
6	Complexidade Técnica e Inovação	7

Requisitos e Arquitetura do Protótipo ElectroCap

1 Resumo Executivo

O projeto desenvolvido com a orientação do Prof. Ayman Radwan e a coorientação de Mariana Santana, surge como uma solução tecnológica de baixo custo (*cost-effective*) para combater a deteção tardia de incêndios florestais em Portugal. Hoje em dia, a vigilância ainda depende muito da visão humana, que acaba por ser limitada pelo cansaço, pela falta de visibilidade noturna e por condições meteorológicas como o nevoeiro. Para superar estas falhas, o nosso sistema propõe uma abordagem que engloba a "Visão" (YOLO), o "Olfato" (Rede de Sensores IoT) e ainda validação humana.

A solução funciona através de duas camadas complementares:

- **Deteção Visual:** Câmaras colocadas em pontos altos (como torres de vigia já existentes) que usam o modelo de *Machine Learning* para analisar imagens em tempo real, identificando rapidamente colunas de fumo ou chamas.
- **Deteção Terrestre:** Uma rede de sensores de baixo consumo espalhada pelo terreno, capaz de detetar alterações térmicas e gases libertados pelo fogo. Esta rede comunica até uma *gateway* na torre através de uma rede *mesh LoRaWan*.

Validámos o sistema através de inquéritos a operacionais de quartéis de bombeiros, que nos confirmaram a enorme utilidade de receber coordenadas GPS exatas e imagens em tempo real para otimizar o combate inicial.

2 Definição do Problema e Perspetivas do Utilizador

2.1 Síntese das Conclusões das entrevistas

A análise das respostas de diversas corporações de bombeiros (obtidas até ao momento) e a reunião presencial revelaram um cenário onde a eficácia do combate é severamente limitada pela fase de deteção. Atualmente, o sistema depende fortemente de alertas de populares, que em 90% dos casos não conseguem fornecer uma localização exata.

- **Deteção Tardia e Reativa:** A atuação em Portugal é predominantemente reativa, faltando uma cultura de prevenção tecnológica.
- **Falhas na Localização:** A incerteza sobre o local exato do foco e as dificuldades de acesso (portões fechados, caminhos inviáveis para veículos pesados) causam perdas de tempo críticas.
- **Limitações dos Sistemas Atuais:** Embora muitos utilizem sistemas como o CICLOPE, estes enfrentam desafios como falsos alertas causados por: poeiras levantadas por máquinas agrícolas, queimadas e fumo industrial.
- **Vulnerabilidade do Equipamento:** Os operacionais identificam o vandalismo/furto, a falta de rede móvel (GSM/4G) e a manutenção de baterias como os maiores obstáculos à implementação de sensores no interior da floresta.

2.2 Beneficiário Primário

O beneficiário primário do sistema são os Corpos de Bombeiros e as Centrais de Emergência (Proteção Civil).

- **Utilizadores Alvo:** Comandantes de Operações de Socorro e equipas de primeira intervenção que necessitam de confirmação imediata para a mobilização de meio.
- **Contexto de Uso:** A solução deve atuar como uma ferramenta de apoio à decisão, enviando dados compatíveis com sistemas de monitorização já existentes, como o *FEB Monitorização*.

2.3 Necessidade Crítica

A necessidade central não é apenas detetar o fogo, mas sim o fornecimento de dados que permitam uma resposta imediata e segura por parte do Comando.

- **Precisão GPS:** É tolerável um desvio de até 50 metros, desde que o alerta seja imediato.
- **Informação Visual/Contextual:** Existe uma elevada procura por imagens em tempo real para avaliar a dimensão do foco antes da chegada ao local.
- **Autonomia e Resiliência:** O sistema deve ser capaz de operar em zonas de orografia difícil (Serra/Montanha) e de apresentar resistência a condições extremas ou intervenção animal.

Em suma, o projeto demonstra uma elevada utilidade e viabilidade técnica ao responder diretamente às lacunas identificadas nos dados recolhidos. Embora muitas regiões já funcionem com sistemas de videovigilância como o CICLOPE, o acesso a essas imagens permanece um entrave logístico para os operacionais que estão no terreno, que não as conseguem visualizar diretamente. A nossa solução resolve esta barreira ao enviar imagens em tempo real diretamente para o corpo de bombeiros, utilizando um algoritmo de IA para filtrar falsos alertas, servindo o sensor como um segundo fator de confirmação crucial para validar a ocorrência. A grande importância de obter o sinal com a localização GPS exata foi fortemente realçada pelos comandantes, sendo este o fator decisivo para suprimir a imprecisão dos alertas atuais. Para superar as limitações de infraestrutura, a utilização da rede LoRaWAN colmata a falta de rede móvel em "zonas sombra", enquanto o funcionamento em sleep mode prioriza a longevidade energética do dispositivo, tornando a periodicidade da manutenção compatível com a realidade operacional em locais remotos. Este conjunto de funcionalidades garante que os bombeiros recebam um alerta rápido, direto e fidedigno, essencial para a eficácia operacional.

3 Requisitos de Engenharia (O "Quê")

Requisito	Categoria	Descrição / Especificação
Captura de Imagem e Vídeo	Funcional	O sistema deve captar imagens de forma periódica através de câmaras óticas instaladas em pontos estratégicos de elevada altitude (ex: antigas torres de vigia).
Monitorização Ambiental	Funcional	A rede de sensores distribuída deve recolher, em tempo real, dados da sua área de cobertura relativos à temperatura e presença de fumo.
Processamento por Machine Learning	Funcional	A central de processamento deve recorrer ao algoritmo YOLO para analisar continuamente as transmissões de imagem e detetar sinais visuais de chamas ou colunas de fumo.
Comunicação Multi-hop	Funcional	A ocorrência de uma anomalia ambiental deve desencadear o envio de um sinal de alerta retransmitido de nó em nó até alcançar a gateway da torre mais próxima.
Verificação Visual Direcionada	Funcional	Após a receção de um alerta provindo de um nó sensorial, o sistema deve direcionar automaticamente a câmara correspondente àquela região geográfica para proceder à validação visual.
Emissão e Integração de Alertas	Funcional	O sistema deve transmitir um alerta com a localização GPS.
Precisão de Geolocalização	Não-Funcional	O sistema de deteção sensorial deve garantir uma precisão na localização GPS da ocorrência com um desvio máximo tolerável de 50 metros.
Conectividade e Cobertura	Não-Funcional	A rede (LoRaWAN e 5GHz) deve garantir a emissão do alerta mesmo nas chamadas "Zonas Sombra" (sem cobertura móvel tradicional) e demonstrar resiliência a falhas de rede.
Autonomia e Eficiência Energética	Não-Funcional	Os nós devem ser autossustentáveis, operando ininterruptamente através de baterias/painéis solares, aliando técnicas de Edge Computing para poupança de energia.
Resiliência a Condições Adversas	Não-Funcional	O sistema deve assegurar a deteção sob condições meteorológicas adversas (noite, chuva, neblina, poeiras suspensas).
Sustentabilidade e Robustez Física	Não-Funcional	O invólucro dos sensores deve ser robusto contra a interação de animais, promover a reutilização e minimizar o impacto de poluição a longo prazo no solo florestal.
Precisão e Mitigação de Falsos Alarmes	Não-Funcional	O modelo de visão deve garantir elevada precisão e minimizar os falsos alarmes diários através de thresholds ajustáveis e janelas temporais contínuas.
Latência e Time-to-detect	Não-Funcional	A arquitetura deve apresentar baixa latência no processamento e envio dos pacotes, garantindo um time-to-detect estritamente reduzido.
Restrições Económicas	Não-Funcional	A construção dos módulos físicos deve garantir um baixo custo unitário, permitindo implementar redes de alta densidade em zonas de baixo orçamento.

Tabela 1: Requisitos Funcionais e Não-Funcionais do Sistema ElectroCap.

4 Arquitetura Geral do Sistema (O "Como")

Como é possível visualizar no fluxograma ao lado, o fulcro do projeto será o ecossistema Sensores-Câmara-Central.

Estes 3 elementos são os alicerces que sustentam a ambição da deteção mais eficiente possível. Mas como funciona o fluxo de informação neste sistema?

Por exemplo, cada vez que a câmara transmite imagens para a central, as mesmas são analisadas por um modelo de *Machine Learning* que irá decidir se há ou não sinais de incêndio. Caso não haja, processa a próxima imagem, no caso de haver, enviará para o quartel dos bombeiros designados em que um responsável irá confirmar se é, ou não, falso-alarme. Na Figura 2, está exposto uma exemplificação gráfica deste funcionamento.

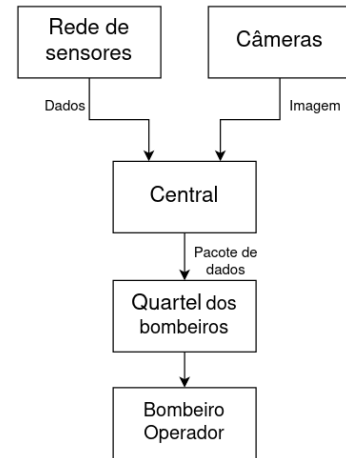


Figura 1: Fluxograma geral do sistema

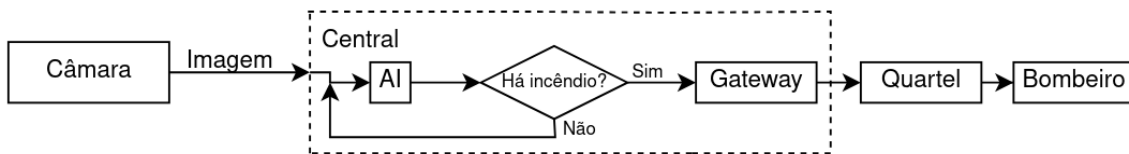


Figura 2: Fluxograma de funcionamento do sistema da câmara

Relativamente à rede de sensores, suponha-se um exemplo como o exposto na Figura 3, em que um sensor (Sensor 1) deteta uma anomalia durante a sua análise. O sensor irá enviar uma mensagem de alerta, com os dados anómalos para a central.

Para a mensagem chegar à central, terá que ser enviada de sensor em sensor até lá chegar (*multi-hop*), para isto, cada sensor terá informação sobre a rede que o rodeia, principalmente, informação sobre o caminho de sensores mais curto até à *gateway* mais próxima.

Após alcançar a central, esta analisará a informação transmitida, extraindo a localização do sensor, enviando uma mensagem de controlo à câmara de modo a se obter uma imagem das proximidades do Sensor 1 (onde, em teoria, estará a causa da anomalia), após receber a imagem, os dados da anomalia e uma imagem da zona que a rodeia serão enviadas para as autoridades (Bombeiros), que irão confirmar se se trata, ou não, de um falso alarme.

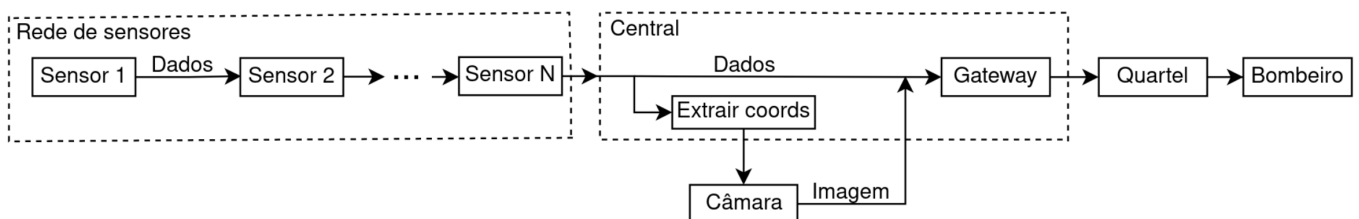


Figura 3: Fluxograma de funcionamento do sistema dos sensores

5 Decomposição em Subsistemas

A arquitetura do sistema desenvolvido no âmbito do projeto integrador pode ser dividida em três ecossistemas principais:

- Ecosistema Estação
- Ecosistema Torre
- Ecosistema Sensor

Cada um destes ecossistemas é composto por quatro subsistemas:

- Comunicação
- Processamento
- Software
- Hardware / Eletrónica

5.1 Subsistema de Comunicação

O subsistema de comunicação é responsável pela troca de informação entre os diferentes componentes do sistema. Este pode ser dividido em três categorias:

- **Comunicação Interna** – comunicação entre componentes dentro do mesmo ecossistema, como a imagem da câmara que passa da gateway para a raspberry que posteriormente transmite ou processa localmente (dependendo da cobertura de sinal do local).
- **Comunicação Semi-Externa** – comunicação dentro do mesmo ecossistemas e ecossistema diferentes como por exemplo o sinal detetado dos sensores que por *multi-hopping* passa de sensor para sensor até à torre.
- **Comunicação Externa** – comunicação entre diferentes ecossistemas como por exemplo a informação da câmara que tem de ser transmitida da torre para a estação de processamento.

5.2 Subsistema de Processamento

O subsistema de processamento é responsável pelo tratamento e análise dos dados recolhidos que por sua vez será auxiliado pelo software desenvolvido. Este divide-se em:

- **Processamento de Imagem:** análise e tratamento das imagens captadas pelas câmaras do sistema.
- **Processamento da Informação dos Sensores:** tratamento e interpretação dos dados recolhidos pelos sensores distribuídos no sistema.

5.3 Software

Esta componente representa uma das partes que exigirá mais tempo de desenvolvimento, estando associada ao desenvolvimento dos algoritmos de *Machine Learning* utilizados pela câmara, bem como à programação da *board* dos sensores.

Esta programação será responsável pelo processamento inicial dos dados recolhidos e pelo seu posterior envio através de comunicação baseada em *multi-hopping*.

5.4 Subsistema de Hardware / Eletrónica

O subsistema de hardware e eletrónica inclui todos os componentes físicos que suportam o funcionamento do sistema:

- **Eletrónica do Ecosistema Sensor**

- Placa eletrónica (board)
- Sensores individuais

O ecossistema sensor é um dos principais e que apresenta uma maior complexidade uma vez que implica a montagem de diversos sensores e sincronização dos mesmos.

- **Hardware da Torre**

- Gateway
- Câmara
- Raspberry Pi

- **Hardware da Estação**

- Computadores de processamento
- Gateways locais

Esta decomposição foi realizada com o objetivo de estruturar o sistema em diferentes níveis, permitindo que cada um dos grandes sistemas anteriormente apresentados possa ser subdividido em componentes menores.

Esta abordagem facilita a distribuição e delegação das diferentes tarefas entre vários elementos da equipa. Apesar dessa divisão, cada departamento possui um líder responsável por coordenar as atividades, orientar o desenvolvimento e garantir a integração eficiente entre os diferentes subsistemas.

6 Complexidade Técnica e Inovação

A complexidade técnica do nosso projeto reside na integração de múltiplos sistemas que exigem competências avançadas em telecomunicações, computação visual e instrumentação eletrónica, provando ser um desafio robusto para uma equipa de seis estudantes finalistas. O principal desafio de engenharia não se limita a um único componente, mas sim à orquestração de um sistema de "Sensor Fusion" em tempo real, onde o processamento de sinal e a interface com os sensores têm de comunicar de forma bidirecional com uma torre de vigia inteligente que opera em regime 24/7.

Diferente de soluções convencionais, a nossa equipa enfrentará a dificuldade de programar e treinar um modelo de Machine Learning (YOLO) que analisa o fluxo de vídeo contínuo da câmara ótica. A

grande inovação técnica reside na capacidade do sistema em processar este fluxo constante enquanto aguarda gatilhos da rede terrestre; quando os sensores detetam anomalias gasosas ou térmicas fora dos thresholds configurados, o sistema executa um redirecionamento prioritário da câmara. Esta tarefa exige um domínio profundo de algoritmos de controlo e trigonometria para que a câmara seja apontada automaticamente para as coordenadas GPS exatas do nó sensor em alerta, permitindo a captura de imagens específicas para validação imediata pelo quartel de bombeiros.

Além disso, a implementação de uma rede Mesh com tecnologia LoRa introduz uma camada significativa de complexidade em telecomunicações, pois devemos garantir a resiliência do envio de mensagens via multi-hop em terrenos onde a linha de visão é inexistente e a atenuação do sinal é elevada. A gestão energética é outro pilar crítico, especialmente para provar a viabilidade académica do projeto; os seis elementos do nosso grupo dividem-se na criação de hardware capaz de operar em modo deep sleep nos nós sensores, enquanto gerem sistemas de alimentação híbridos para manter a rede e a câmara da torre operacionais sem interrupções. Em suma, a inovação deste projeto manifesta-se na sua arquitetura de tripla verificação (visual contínua, analítica gasosa/térmica e validação humana final) que exige o desenvolvimento coordenado de firmware para microcontroladores, algoritmos de visão computacional otimizados e uma infraestrutura de rede resiliente capaz de lidar com latências mínimas em situações de emergência.