



Prevenção Florestal utilizando dispositivos WSN

JOSUÉ MANUEL CARVALHO RIBEIRO

Outubro de 2019

Prevenção Florestal utilizando dispositivos WSN

Josué Ribeiro

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Informática, Área de Especialização em
Sistemas Computacionais**

Orientador: Dr. Paulo Baltarejo

Dedicatória

À Priscila e aos pais...

Resumo

Todos os anos Portugal é afetado por um problema, os incêndios florestais, que têm causados enormes impactos na perspetiva social, económica e ambiental, tais como a destruição de habitações, da riqueza natural mas principalmente a vida de pessoas. Embora anualmente sejam gastos milhões de euros na prevenção florestal, este problema continua a causar prejuízos, de forma direta ou indireta, muito acima do valor gasto na sua prevenção. De forma a prevenir e prever estes acontecimentos é necessário recorrer à vigília e intervenção humana, campanhas de consciencialização social, limpezas periódicas, entre outros. No entanto, ações humanas são suscetíveis a erros, embora que apenas 25% dos incêndios registados tenham origem em causas naturais.

O objetivo desta dissertação é o estudo à prevenção florestal, ou combate ao incêndio, utilizando meios tecnológicos para tal. Neste documento é descrita uma solução baseada numa Wireless Sensor Network (WSN), o seu objetivo é a recolha de informação e a agregação da mesma para consulta, histórico, estatística e geração de alertas em caso de risco de incêndio. Com base na solução especificada, foi criado um protótipo com os recursos principais para aferir a qualidade da rede sensorial.

Ao longo da análise percebeu-se que os testes em ambientes reais ou, próximos de reais, iriam ser um entrave por diversas situações. No entanto, dentro do possível, foram criadas ambientes simulados de forma a recolher um conjunto de leituras para serem submetidas a análise. O protótipo é capaz de recolher leituras e aferir um risco associado a essas leituras, sendo capaz, mediante de condições naturais alertar para o risco de deflagração de incêndio.

Chegou-se à conclusão que uma rede sensorial não será o suficiente para minimizar este problema, devido ao custo associado, à baixa autonomia, à segurança dos dispositivos e ao baixo índice de incêndios por causas naturais.

Palavras-chave: Wireless Sensor Networks, Motes, IoT, Prevenção Florestal, Sistema de Vigilância Florestal

Abstract

Every year Portugal is affected by forest fires, which have caused huge impacts on the social, economic and environmental perspective such as the destruction of homes, natural wealth but mainly the lives of people. Millions of euros are spent on forest prevention every year but this problem continues to cause direct or indirect damage far above the amount spent on forest prevention. In order to anticipate and predict these events it is necessary to appeal to human vigilance, social awareness campaigns, periodic cleanings, among others. However, human actions are susceptible to fail in otherhand only 25% of registered fires originate from natural causes.

The objective of this thesis is the study of forest fire prevention, or fire fighting, using technological means to do so. This document describes a solution based on a Wireless Sensor Network, its purpose is to collect information and aggregate it for consultation, history, statistics and alert generation in case of fire risk. A prototype was created based on the specified solution with the main features to measure the quality of the sensory network.

Throughout the analysis it was realized that the tests in real or near real environments would be a barrier for several situations. However, as far as possible, simulated environments were created in order to collect a set of readings for analysis. The prototype is capable of collecting readings and assessing a risk associated with these readings, being able, under natural conditions, to warn of the risk of fire outbreak. associated cost, low autonomy, device safety, and low rate of natural-cause fires.

Agradecimentos

Agradeço a todos os que possibilitaram a realização deste projeto, do qual foi com imenso prazer a elaboração do mesmo. Agradeço, em particular, ao professor Paulo Baltarejo, por toda a sua disponibilidade e ajuda ao longo do projeto. Por último mas não menos importante, agradeço aos meus pais e esposa pelo apoio dado durante as alturas em que o cansaço se começava a instalar, assim como naturalmente por todos os sacrifícios que fizeram durante a minha carreira acadêmica.

A todos, o meu sincero agradecimento.

Conteúdo

Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xvii
Lista de Excertos de Código	xvii
Acronyms	xxi
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Problema	1
1.3 Objetivo	2
1.4 Estrutura da Dissertação	2
2 Contexto	5
2.1 Detalhe do Problema	5
2.1.1 Impacto na Perspetiva Social	6
2.1.2 Impacto na Perspetiva Económica	7
2.1.3 Impacto na Perspetiva Ambiental	7
Perda de material lenhoso	7
Perda de biodiversidade	7
Emissões de Dióxido de Carbono	7
Perda de Solo	8
2.2 Causa do Incêndio	8
2.3 Prevenção ao Incêndio	9
2.4 Combate ao Incêndio	9
2.5 Análise de Valor	10
2.5.1 Modelo NCD	10
Identificação de Oportunidade	11
Análise de Oportunidade	11
Geração de ideias	11
Seleção de Ideias	11
Definição de Conceito	12
2.5.2 Fatores Ambientais Externos	12
2.5.3 Valor Percecionado	12
2.5.4 Proposta de Valor	13
2.5.5 Rede de Valor	13
2.5.6 Analitic Hierarchy Process (AHP)	14
2.5.7 Modelo de Negócio (CANVAS)	14
2.6 Sumário	15
3 Estado da Arte	17

3.1	Soluções Existentes	17
3.1.1	Rede de Sensores	18
	Projeto: Rede de sensores para deteção de incêndios florestais	18
	Projeto: Rede de sensores para monitorização e deteção prévia de incêndios florestais	18
3.1.2	Drones	19
	Controlar incêndios utilizando <i>Drones</i>	19
3.1.3	Imagens de Satélite	20
	Satélite para monitorização e deteção de incêndios no Nepal	20
3.2	Avaliação das Soluções Existentes	21
3.3	Tecnologias	22
3.3.1	Redes Sensoriais	22
3.3.2	Motes	23
	Mica2	24
	IRIS	24
	TesloB	24
	Processamento	24
	Protocolos Comunicação	25
	Consumo de energia	25
	Custo	25
3.3.3	Comunicação Sem Fio	25
	Tipos de comunicação sem fios	26
	Vantagens e Desvantagens	28
3.3.4	Sensores	29
3.3.5	Webservices	29
	Simple Object Access Protocol (SOAP)	29
	Representational State Transfer (REST)	29
	REST vs SOAP	30
	Jersey	30
3.3.6	Topologias	31
	Redes Sensoriais	32
	Topologias	32
3.3.7	Escalabilidade	34
	Escalabilidade Administrativa	34
	Escalabilidade Funcional	34
	Escalabilidade Geográfica	34
	Escalabilidade de Carga	34
	Escalabilidade de Geração	34
	Escalabilidade Heterogénea	34
	Escalabilidade Vertical	35
	Escalabilidade Horizontal	35
3.4	Algoritmos de Prevenção	35
3.4.1	Método Canadano	35
3.4.2	Método Coreano	36
3.4.3	Método de Angstrom	37
3.5	Sumário	38
4	Análise e Desenho da Solução	39
4.1	Análise	39

4.1.1	Requisitos Funcionais	40
4.1.2	Requisitos não Funcionais	40
4.1.3	Casos de Uso	40
	Caso de Uso: Alterar Dados	41
	Caso de Uso: Consultar Histórico	41
4.1.4	Modelo de Domínio	41
4.2	Desenho	42
4.2.1	Arquitetura	42
	Rede Sensorial	43
	Servidor Aplicacional	43
4.2.2	Topologia	43
	Nodo	44
	Ponto de recolha: Cluster	44
	Ponto de recolha: Sink Node	44
4.2.3	Diagrama de Componentes	44
4.2.4	Modelo de Dados	45
4.2.5	Diagrama de Classes	46
4.2.6	Interface Gráfica	46
	Autenticação	46
	Mapa	47
	Consulta de Histórico	48
	Contactos	49
4.3	Protótipo	49
4.3.1	Cobertura	50
4.3.2	Autonomia	50
4.4	Alternativas	51
4.4.1	Processamento de imagem Closed-Circuit Television (CCTV)	51
4.4.2	Processamento de imagens de Satélite	51
4.5	Sumário	51
5	Implementação da Solução	53
5.1	Nodo	53
5.1.1	Recolha dos dados	54
	Como Evitar Outliers	54
5.1.2	Transmissão de dados	55
5.2	Ponto de Recolha	55
5.2.1	Receção de dados	55
5.2.2	Validação dos dados	56
5.2.3	Comunicação com o Servidor Aplicacional	57
5.3	Servidor Aplicacional	57
5.3.1	Receção de dados	57
5.3.2	Geração de Alertas	59
5.3.3	Back Office	61
	Autenticação	61
	Página Inicial	62
	Histórico	63
5.4	Custo do Protótipo	64
5.4.1	Nodo	64
5.4.2	Ponto de Recolha	64

5.5	Sumário	65
6	Testes e Resultados	67
6.1	Testes	67
6.1.1	Grandezas a Avaliar	68
6.1.2	Hipóteses a Testar	68
6.1.3	Metodologias de Avaliação	68
6.1.4	Teste de Hipóteses	69
6.2	Resultados	69
6.2.1	DHT11 vs DHT22	69
6.2.2	Valor lido vs valor real	71
6.2.3	Previsão	74
6.2.4	Deteção	74
6.2.5	Autonomia	76
6.2.6	Significância dos dados	76
6.3	Sumário	77
7	Conclusões e Trabalho Futuro	79
7.1	Conclusões	79
7.2	Objetivos Realizados	81
7.3	Trabalho Futuro	82
7.4	Apreciação Final	83
	Bibliografia	85

Lista de Figuras

2.1	Esquema de Combate ao Incêndio	10
2.2	Modelo New Concept Development (NCD)	10
2.3	Modelo Canvas	14
3.1	Imagem de satélite	20
3.2	Imagem de satélite	22
3.3	Rede Sensorial	32
3.4	Topologias	33
3.5	Estrutura de um Sistema Fire Weather Index (FWI)	36
4.1	Casos de Uso	41
4.2	Modelo de Domínio	42
4.3	Arquitetura da solução	43
4.4	Diagrama de Componentes	45
4.5	Modelo de Dados	45
4.6	Diagrama de Classes	46
4.7	Página: Autenticação	47
4.8	Página: Mapa	48
4.9	Página: Histórico	48
4.10	Página: Contactos	49
5.1	Back Office: Autenticação	61
5.2	Back Office: Página Inicial	62
5.3	Back Office: Histórico	63

Lista de Tabelas

2.1	Relação Custo / Benefício	13
3.1	Processadores utilizados	25
3.2	Especificação dos Processadores	25
3.3	Anotações Java API for RESTful Web Services (JAX-RS)	31
3.4	Índice de risco de incêndio	36
3.5	Cálculo de Risco de Incêndio	37
3.6	Tradução do resultado do índice de <i>Angstrom</i>	38
5.1	Valor do Nodo	64
5.2	Valor do Ponto de Recolha	64
6.1	Recolha de sete leituras DHT11 vs DHT22	70
6.2	Recolha de sete leituras DHT11 vs DHT22	72
6.3	Diferença entre o valor lido e o valor de controlo	73
6.4	Leituras recolhidas de divisão aquecida	74
6.5	Média de 10 leituras à distância da fogueira	75
6.6	T test	77
7.1	Objetivos realizados	81
7.2	Objetivos realizados: requisitos funcionais	82
7.3	Objetivos realizados: requisitos não funcionais	82

Lista de Excertos de Código

5.1	Leitura da temperatura e humidade dos sensores	54
5.2	Remoção de outliers	54
5.3	Transmissão de dados	55
5.4	Receção de dados	56
5.5	Envio da mensagem para o servidor aplicacional	57
5.6	Parametrização da porta série	58
5.7	Inicialização da porta série	58
5.8	Obter dados da porta série	59
5.9	Desmaterializar as leituras	59
5.10	Cálculo do índice de Angstrom	59
5.11	Cálculo do índice de Angstrom	60
5.12	Distância entre duas coordenadas	60
5.13	Envio de alertas via e-mail	60
5.14	Risco de incêndio no mapa	62

Acrónimos

ACRESCIMO Associação de Promoção ao Investimento Florestal.

ADC Analog-to-Digital Converter.

AHP Analytic Hierarchy Process.

ANPC Autoridade Nacional de Proteção Civil.

API Application Programming Interface.

BPSK Binary Phase Shift Keying.

CCTV Closed-Circuit Television.

DC Direct Current.

DDP Diferença de potencial.

DFN Department of Forests of Nepal.

DRFCN Direção Regional de Florestas e Conservação da Natureza.

EEPROM Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory.

FEI Front End of Innovation.

FFSS Forest-fires Surveillance System.

FWI Fire Weather Index.

GFSK Gaussian Frequency-shift keying.

GHz Gigahertz.

GNR/SEPNA Guarda Nacional Republicana - Serviço de Proteção da Natureza e do Ambiente.

GSM Global System for Mobile Communications.

ha Hectares.

HTTP Hypertext Transfer Protocol.

HTTPS Hyper Text Transfer Protocol Secure.

IA Inteligência Artificial.

ICIMOD International Centre for Integrated Mountain Development.

ICNF Instituto de Conservação da Natureza e Florestas.

INESC Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores.

IoT Internet of Things.

IP Internet Protocol.

ISEP Instituto Superior de Engenharia do Porto.

ISM Industrial, Scientific and Medical.

JAX-RS Java API for RESTful Web Services.

JAXB Java Architecture for XML Binding.

JSON JavaScript Object Notation.

KM Quilómetro.

LED Light-Emitting Diode.

m Metro.

mA Miliampere.

Mbit/s Mega bits por segundo.

MCU Microcontrolador.

MEI Mestrado de Engenharia de Informática.

MHz Megahertz.

mm Milímetro.

MODIS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.

mW Megawatt.

NASA National Aeronautics and Space Administration.

NCD New Concept Development.

O-QPSK Offset quadrature phase shift keying.

QUERCUS Associação Nacional da Conservação da Natureza.

REST Representational State Transfer.

RF Rádio-Frequência.

RPC Remote Procedure Call.

SMTP Simple Mail Transfer Protocol.

SOAP Simple Object Access Protocol.

TLS Transport Layer Security.

TMDEI Tese / Dissertação / Estágio.

UAV Unmanned Aerial Vehicle.

UC Use Case.

URI Uniform Resource Identifier.

USB Universal Serial Bus.

V Volt.

VANT Veículo aéreo não tripulado.

WSDL Web Services Description Language.

WSN Wireless Sensor Network.

XML eXtensible Markup Language.

Capítulo 1

Introdução

Com esta dissertação pretende-se aprofundar o estudo a um problema recorrente que são os incêndios florestais. Serão analisados os procedimentos tomados na sua prevenção, as soluções presentes no mercado para a prevenção ou combate ao incêndio e quais as tecnologias disponíveis para o desenvolvimento de aplicações.

Neste primeiro capítulo introdutório será apresentado o enquadramento da dissertação, do problema e o objectivo que se pretende atingir e, no final deste capítulo, será explanada a estrutura do documento.

1.1 Enquadramento

A prevenção florestal é um tema cada vez mais abordado neste momento, sendo alvo de análises e de estudos por associações, investigadores e estruturas governamentais.

Devido às alterações climáticas, a ações criminosas e aos incêndios que deflagraram no ano 2017 ¹, existem preocupações profundas com este tema. Os incêndios são responsáveis pela destruição da natureza, pela morte de animais e de pessoas.

Este documento visa documentar todo o processo de análise ao problema, soluções recorrendo a métodos convencionais e soluções recorrendo a métodos tecnológicos no âmbito da unidade curricular de Tese / Dissertação / Estágio (TMDEI) do Mestrado de Engenharia de Informática (MEI), do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Esta unidade curricular é o culminar do ciclo de estudos, na qual todos os conhecimentos e competências adquiridas, curriculares e extra-curriculares, deverão estar em condições de ser aplicadas durante a resolução do problema associado à dissertação.

1.2 Problema

Um problema que todos os anos atinge Portugal são os incêndios. Estes têm causado prejuízos que ascendem os mil milhões de euros anuais, não contabilizando os custos com a dor e da perda de vidas humanas. Aos encargos económicos inerentes aos incêndios há que ter em conta os encargos ambientais e sociais. Entre estes, os associados à destruição de recursos naturais, com destaque para o solo, a depreciação do território, com impacto

¹Embora ocorram incêndios todos os anos, 2017 foi sem dúvida o pior dos últimos tempos.

na paisagem e no turismo rural, e com os prejuízos para a saúde pública, decorrentes do aumento da poluição para a atmosfera e para o meio aquático.

1.3 Objetivo

O combate ao incêndio pode ser feito de duas formas. A primeira forma é o combate direto ao fogo que para além de ser a abordagem mais utilizada pelas entidades competentes é também a mais frequente e eficaz em último recurso. A segunda forma de combate ao incêndio e qual terá o foco desta dissertação, é a prevenção por meio da deteção prévia do incêndio, para tal, será utilizada uma rede sensorial que permitirá, com um conjunto de sensores a recolha de informação, permitindo dar o alerta às autoridades e fornecer auxílio no combate a este problema. Assim sendo, será desenvolvido o protótipo Pedrogão² que tem como objetivo o teste a toda a análise efetuada na dissertação.

1.4 Estrutura da Dissertação

Este documento divide-se em seis capítulos chave: Contexto, Estado da Arte, Análise e Desenho da Solução, Implementação da Solução, Testes e Resultados e Conclusões e Trabalho Futuro. De acordo com a unidade curricular, no qual se insere esta dissertação, são esperados um conjunto de resultados definidos como *outcomes* e, ao longo dos capítulos, será dada a resposta a cada um dos *outcomes*, sendo estes:

- Outcome 1: Interpretar o Problema;
- Outcome 2: Contexto e Estado da Arte;
- Outcome 3: Avaliar Soluções e Abordagens Existentes;
- Outcome 4: Design da Solução;
- Outcome 5: Construção da Solução;
- Outcome 6: Avaliação da Solução;

No capítulo 2 identificado como Contexto serão abordados o *Outcome 1 : Interpretar o Problema* e parte do *Outcome 2: Contexto e Estado da Arte*, neste será apresentado o estudo ao problema em questão e os impactos causados por este. No final será apresentado o objetivo desta dissertação que irá guiar o restante documento.

De seguida, no capítulo 3 intitulado de Estado da Arte serão analisados e respondidos parte do *Outcome 2: Contexto e Estado da Arte* e o *Outcome 3: Avaliar Soluções e Abordagens Existentes*. Neste capítulo será abordado o método tradicional de combate e prevenção ao incêndio e da utilização tecnológica existente no mercado bem como das suas respectivas tecnologias. No final será efetuada uma avaliação às soluções apresentadas.

Nesta fase o problema em estudo é bem claro, os incêndios florestais, e com análise ao estado da arte e das tecnologias existentes é possível analisar uma solução para combater o problema e ir de encontro ao objetivo delineado nesta dissertação. No capítulo 4 será dado

²Em alusão a Pedrogão Grande uma das localidades mais fustigada pelos incêndios.

o foco à análise e desenho da solução ideal que visa o combate ao incêndio pela prevenção.

De seguida surge a necessidade da criação de um protótipo de forma a verificar a veracidade da análise e do desenho.

No capítulo com o título Estado da Arte, é realizado um estudo às aplicações existentes no mercado atual e que são utilizadas em ambientes reais. Neste serão também apresentadas as suas vantagens, desvantagens e as tecnologias que podem ser utilizadas na prevenção florestal.

No capítulo dedicado à Análise e Desenho do protótipo é apresentada a abordagem a seguir no desenvolvimento deste projeto bem como são especificados os respetivos requisitos funcionais e não funcionais, sendo que a arquitetura de toda a infra-estrutura do protótipo é esplanada neste mesmo capítulo. Neste capítulo, Análise e Desenho são apresentados os diagramas que servem como base para a implementação do protótipo.

É com base na Análise e no Desenho que então surge capítulo intitulado como Implementação, neste, o protótipo é explicado com detalhes técnicos. Devido aos custos envolvidos na implementação do protótipo de acordo com a análise efetuada, o protótipo será construído de forma a que se possa realizar testes neste,

No penúltimo capítulo é denominado e dedicado a Testes e Resultados. Serão efetuados um conjunto de testes possíveis ao protótipo desenvolvido de forma a verificar a fiabilidade na previsão florestal.

Por fim, no capítulo Conclusões e Trabalho Futuro será explanados os motivos para seguir ou não a abordagem tomada nesta dissertação bem como todo o trabalho que ainda pode ser realizado no futuro.

Capítulo 2

Contexto

No capítulo anterior (1) foi identificado de forma simplista o problema em análise, os incêndios florestais. Neste capítulo, onde será abordado parte do **Outcome 2: Contexto e Estado da Arte**, será apresentado um estudo detalhado na área da prevenção florestal e os impactos que este têm na sociedade, tanto na perspectiva económica como ambiental. Para além do método de combate ao incêndio também será apresentada a análise de valor desta dissertação.

Embora sejam bem conhecidos e amplamente difundidos os problemas inerentes aos incêndios florestais, no final deste capítulo será possível ter um visão alargada do problema na perspectiva social, económica e ambiental.

Ao longo deste capítulo será dada a respostas às seguintes questões:

Qual a tendência de ocorrência de incêndios florestais com o passar dos anos?

Quais os impactos dos incêndios florestais?

O que está a ser feito para prevenir a ocorrência de incêndios florestais?

Os incêndios têm causas naturais ou mão criminosa? O que se pode concluir com o resultado

Qual o valor do trabalho apresentado desta dissertação para o combate aos incêndios florestais?

2.1 Detalhe do Problema

Os incêndios florestais, nos últimos anos apresentam uma tendência crescente em todos os aspetos, seja pela frequência, pelo valor gasto em prevenção, pelo valor gasto no combate e principalmente nos prejuízos financeiras (Suspiro 2017).

Uma análise efetuada pela Associação Nacional da Conservação da Natureza (QUERCUS) e pela Associação de Promoção ao Investimento Florestal (ACRESCIMO) estimam que

anualmente sejam necessários 165 milhões de euros para a prevenção florestal. Este valor calculado por estas duas entidades está muito abaixo dos prejuízos causados à economia portuguesa. Prejuízos estes, estão avaliados em mil milhões de euros (Quercus e Acréscimo 2017). Para este valor, estimados para a prevenção florestal, foram contabilizados os seguintes fatores e ações consideradas fulcrais:

- Abertura da rede primária de gestão de combustíveis;
- Criação de faixas e mosaicos:
 - Junto da rede rodoviária;
 - Edificações;
 - Meios Rurais;
 - Aglomerados urbanos;
 - Polígonos industriais;
- Abertura de caminhos florestais;
 - A valores médios por concelho de 15 quilómetros e de 70 quilómetros;
- Recuperação e restauro de casas florestais;
- Apoio a equipa de Sapadores florestais;
- Recursos Humanos;
- Materiais;
- Contratação de vigilantes:
 - Junho a Setembro;
- Arborização das zonas afetadas:
 - Espécies de folhosas autóctones de baixa combustibilidade;
- Recuperação de 10 mil hectares de áreas ardidas.

2.1.1 Impacto na Perspetiva Social

A nível social, são várias as consequências que surgem. Assim que se inicia um incêndio, inicia-se também a destruição do solo, que até este se recompor não será exercida a Agricultura, apicultura, recolha de frutos silvestres, entre outras atividades (Lourenço 1991).

Uma das consequências mais faladas e pela qual mais se luta é sem dúvida a destruição de bens materiais. Esta é a situação mais falada na comunicação social e pela opinião pública em geral quer no decorrer dos incêndios, quer mesmo quando estes terminam. É bem lembrado os grandes incêndios que ocorreram em Portugal no ano de 2017. Foram mais de 115 vidas perdidas, destruição de centenas de casas, instalações quer de empresas quer de indústrias (Viegas 2017).

2.1.2 Impacto na Perspetiva Económica

Abílio Pereira Pacheco, investigador do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC), após fazer uma estimativa, afirma que por ano as perdas diretas que tem associação aos incêndios são cerca de 250 milhões de euros (Idealista 2017).

A vida humana não tem preço, e só as seguradoras tipicamente envolvidas em grandes acidentes nucleares, de aviação, ou ainda de responsabilidade civil médica, é que ordinariamente fazem aquelas contas. A tragédia aqui referida é tão avassaladora que não é aceitável fazer controlo de custos à triplicação dos extintos serviços florestais, ou à limpeza braçal, semanal, das matas, pois compensariam as consequências (Sousa 2017).

2.1.3 Impacto na Perspetiva Ambiental

Nesta subsecção serão abordadas as perdas causadas pelos incêndios em diversos sentidos, pela perda de material lenhoso, da biodiversidade, pelas emissões de dióxido de carbono e pela perda do solo.

Perda de material lenhoso

Em muitos locais a floresta é uma fonte de receita por parte dos seus proprietários. Após a passagem de um incêndio o valor comercial do material lenhoso desce consideravelmente, perdendo mesmo, em algumas situações, todo o seu valor (Filipe e Serralha 2015).

Perda de biodiversidade

Toda a fauna e flora de uma área percorrida por um incêndio florestal é gravemente afetada, por vezes, dependendo da intensidade, existem plantas e animais que se extinguem após a passagem de um incêndio. Foi o que aconteceu no incêndio de 2010 nas serras da Madeira em que a única população de *Sorbus maderensis*, espécie endémica da ilha da Madeira, foi extinta do seu habitat natural. Valeu na altura a existência de plantas em viveiro da Direção Regional de Florestas e Conservação da Natureza (DRFCN) provenientes daquele local, promovendo-se à posterior instalação de novos exemplares, dando continuidade à população existente.

A população da freira-da-madeira, ave endémica da Madeira, foi na mesma altura gravemente afetada pelo mesmo incêndio (Oliveira 2017).

Emissões de Dióxido de Carbono

Um aspeto relevante, devido a compromissos internacionais assumidos, tem a ver com as emissões para a atmosfera de dióxido de carbono resultantes dos incêndios. Um incêndio tem um efeito duplamente negativo ao nível das emissões, na medida que origina a libertação de gases com efeito estufa, como reduz a capacidade de absorção e armazenamento de dióxido de carbono.

A emissão de carbono para a atmosfera além de provocarem graves problemas ambientais, possui implicações financeiras por parte dos países emissores. Os incêndios florestais provocam a libertação de estrondosas quantidades de dióxido de carbono para atmosfera.

Outro fator associado às emissões é a emissão dos fumos que poderão causar constrangimentos respiratórios além de dificultarem a logística operacional nos locais envolventes.

Perda de Solo

O solo que é a base da cadeia alimentar terrestre condicionando o ciclo hidrológico e influenciando diretamente a quantidade e a qualidade da água. Os incêndios provocam a morte das plantas e conseqüente desnudamento do solo ficando o mesmo mais suscetível à ação direta da chuva e dos ventos podendo em casos extremos existir arrastamento e empobrecimento do solo por arrastamento dos nutrientes. Este fenómeno poderá provocar a contaminação de linhas de água.

2.2 Causa do Incêndio

Sempre que deflagra um incêndio florestal de grandes dimensões a opinião pública tende a acusar mão criminosa na origem do mesmo, exigindo penas mais pesadas para os incendiários. Não raras vezes, as declarações de ministros, autarcas e outros responsáveis políticos ou operacionais reforçam essa ideia (Polígrafo 2019).

Mas a questão é, a maior parte dos incêndios têm origem por causas naturais ou por mão criminosa?

De acordo com o "Relatório anual de ocorrências e áreas ardidas de 2016" do Instituto de Conservação da Natureza e Florestas (ICNF), "das 13.261 ocorrências registadas em 2016, a Guarda Nacional Republicana - Serviço de Proteção da Natureza e do Ambiente (GNR/SEPNA) procedeu à investigação de 10.389 ocorrências, sendo que em 2.872 não foi possível apurar a causalidade efetiva. Do universo das ocorrências investigadas e com causa apurada (6.768), cerca de 45% estão associadas a comportamentos negligentes, essencialmente pelo uso do fogo, com destaque para as queimadas (1.691 ocorrências, ou seja, 62% das ocorrências resultantes do uso do fogo). O incendiarismo (classe que enquadra motivações como o vandalismo, a provocação dos meios de combate aos incêndios, as manobras de diversão, ou os conflitos com vizinhos e vinganças) esteve na origem de 33% das ignições com investigação concluída pela GNR/SEPNA" (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas 2017).

Pelo estudo elaborado pelo ICNF, é possível concluir que a "mão criminosa" não é a principal causa dos incêndios rurais ou florestais em Portugal, ou pelo menos ao longo dos últimos anos e de acordo com os dados oficiais do ICNF. A percentagem de incêndios com causa atribuída a incendiarismo, ou "mão criminosa", nunca foi além de 30% desde o ano de 2008. No entanto, ainda falta elaborar os relatórios dos anos de 2017 e 2018.

2.3 Prevenção ao Incêndio

Existem um conjunto de medidas que visam a prevenção florestal, ou seja, um conjunto de medidas preventivas para evitar ao máximo a deflagração de um incêndio e, por outro lado, criar condições que minimizem as suas consequências uma vez deflagrado. De seguida serão enumeradas algumas das medidas preventivas utilizadas

- Consciencialização Social: Educar a população num uso racional do fogo, evitando situações de risco;
- Limpeza periódica de florestas e terrenos;
- Queimas preventivas;
- Meios de vigilância floresta: Patrulhas, postos fixos de observação, câmaras, aviões, satélites, entre outros.

2.4 Combate ao Incêndio

A prevenção é a primeira linha de defesa contra os incêndios florestais. Se a ocorrência de incêndios em áreas florestadas ou reflorestadas pudesse ser totalmente prevenida, todos os danos produzidos pelo fogo, além dos custos de combate, seriam evitados.

A título de exemplo e, recorrendo a dados de Espanha, um incêndio demora um tempo variável desde a sua deflagração até ao seu avistamento. Porém desde o avistamento até à presença dos meios de combate no terreno, o tempo médio é de 20 minutos, sendo necessário em média de 64 minutos para controlá-lo e 120 minutos em extingui-lo (Elosua 2016).

Na verdade, a operação de combate ou supressão de um incêndio envolve seis etapas distintas (Lusa 2017). Essas etapas, definidas em intervalos de tempo, são as seguintes:

- Deteção: tempo decorrido entre a ignição ou início do fogo e o momento que ele é visto por alguém;
- Comunicação: tempo compreendido entre a deteção do fogo e o recebimento da informação pela pessoa responsável pela ação de combate;
- Mobilização: Tempo gasto entre o recebimento da informação da existência do fogo e a saída do pessoal para combate;
- Deslocamento: tempo compreendido entre a saída do pessoal de combate e a chegada da primeira turma ao local do incêndio;
- Planeamento do combate: tempo gasto pelo responsável pelo combate para avaliar o comportamento do fogo e planejar estratégia de combate;
- Combate ao incêndio: tempo consumido na operação de combate ou eliminação definitiva do incêndio, incluindo o rescaldo.

Na Figura 2.1 é apresentado um esquema do processo anteriormente descrito.

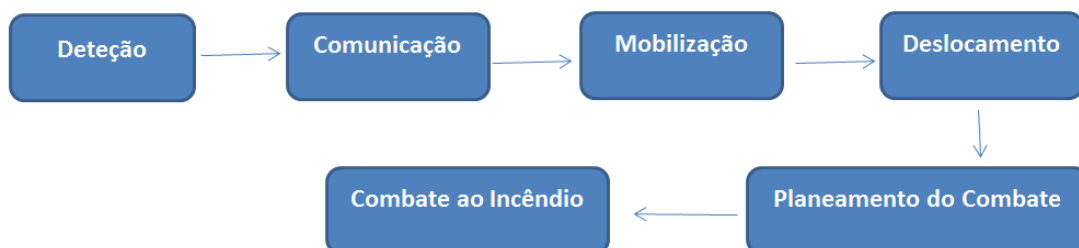


Figura 2.1: Esquema de Combate ao Incêndio

2.5 Análise de Valor

Ao longo deste capítulo foram apresentados todos os problemas e consequências inerentes aos incêndios florestais nas suas diversas vertentes, por isso tornar-se cada vez mais importante adotar medidas que ajudem a prevenir este problema, os incêndios florestais.

Nesta secção será descrita a aplicação do modelo de *New Concept Development (NCD)* a este projeto, detalhando o valor gerado e por fim apresentado o modelo de negócio deste projeto.

2.5.1 Modelo NCD

O modelo *NCD* surge com o intuito de definir uma linguagem comum entre as componentes do *Front End of Innovation (FEI)*, no qual as ideias e os conceitos iteram entre os cinco elementos chave sendo estes a identificação de oportunidade, análise de oportunidade, geração de ideias, seleção de ideias e por fim a definição do conceito. O modelo *NCD* encontra-se descrito na Figura 2.2. Cada um destes elementos serão explanados nas seguintes subsecções.

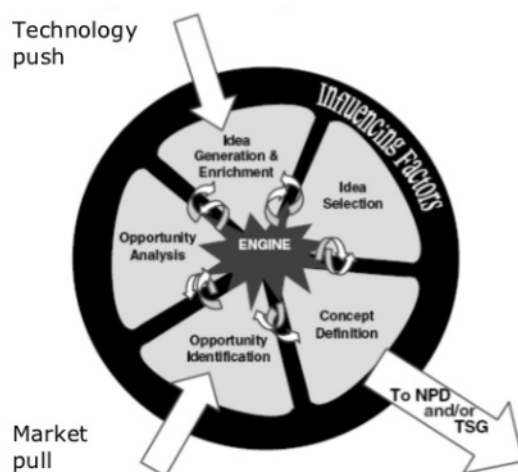


Figura 2.2: Modelo NCD

Identificação de Oportunidade

Como analisado e mencionado no início deste capítulo os incêndios florestais têm-se tornado um grave problema para a sociedade, seja na sua prevenção ou pela falta dela bem como nos prejuízos causados. Verificou-se que os prejuízos causados por esta ameaça que rondam os mil milhões de euros anuais, ultrapassam e muito os 165 milhões gastos na sua prevenção.

Os valores apresentados anteriormente exigem esforços quer a nível financeiro, como a nível de recursos humanos que, pelos dados recolhidos têm sido praticamente gastos em vão.

A identificação da oportunidade para desenvolver este protótipo surge da necessidade identificada na prevenção florestal por meio de uma rede sensorial, de forma a organizar as entidades responsáveis, reduzir custos bem como baixar a probabilidade de erro gerado por falha humana.

Análise de Oportunidade

A análise de oportunidade foi efetuada após um ano caótico e polémico no combate aos incêndios florestais e conseqüentemente na sua prevenção. Após um estudo sobre a matéria em análise, ou seja a prevenção florestal, verificou-se que existe a necessidade de um sistema capaz de identificar e alertar de forma eficaz as entidades responsáveis das zonas de risco a incêndio, mesmo antes destes deflagrarem.

Até à data, sistemas capazes de cumprir este objetivo são ainda escassos, do qual se confirma a viabilidade e a necessidade deste projeto.

Geração de ideias

A geração de ideia ocorreu após uma análise aprofundada à metodologia de combate ao incêndio, bem como da atual prevenção florestal. Esta análise e os conhecimentos adquiridos nas unidades curriculares do MEI permitiu a aquisição diversificada de ideias.

As reuniões com o orientador foi também essencial para a obtenção de um outro ponto de vista, sendo que a experiência acrescentou um significativo valor à oportunidade inicial.

Da análise obtida surgiram as seguintes ideias:

- Relacionar local com entidades competentes da área;
- Geração de alertas mediante valores parametrizados;
- Aplicação *Web* para consulta das métricas recolhidas;
- Utilização de dispositivos de baixo custo.

Seleção de Ideias

A seleção de ideias foi efetuada tendo em conta diversos fatores tais como os benefícios diretos, indiretos, os requisitos bem como os custos de implementação. Esta atividade

permitiu filtrar de uma forma eficaz as ideias com maior valor associado e que justifiquem a implementação do protótipo.

Definição de Conceito

A definição do conceito ocorre quando a ideia se encontra totalmente trabalhada. Com o protótipo *Pedrogo* pretende-se que o combate ao incêndio por meio da prevenção seja eficaz, alertando do risco de incêndio mesmo antes deste deflagrar gerando os alertas necessários para as entidades competentes.

2.5.2 Fatores Ambientais Externos

Fatores Sociais, Tecnológicos, Económicos, Ambientais e Políticos, devem ser tidos em conta na contextualização da solução idealizada. E as soluções encontradas tiveram estes fatores de influência em conta.

Os fatores externos que influenciaram esta oportunidade é a falta de meios de prevenção, a falta de limpeza das matas e da falta de pessoas para o combate ao incêndio. Todos estes fatores causam desordem e dificuldade num combate eficaz ao incêndio.

Como forma de tentar minimizar os incêndios florestais, o Orçamento do Estado prevê despesas de 148,7 milhões de euros para a Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) em 2018, o valor mais alto desde 2008. Esta verba representa um aumento de 11 por cento face ao Orçamento do ano de 2017 - 134 milhões de euros. Também o ICNF terá um reforço de fundos na proposta, mais 9,24 milhões de euros, um acréscimo de 16,7 por cento nos fundos inscritos.

Outro dado novo que se espera em 2018 é que, pelo menos nas regiões definidas como de maior risco, tenha sido limpa toda a vegetação em redor das casas e estradas, de acordo com o definido na lei. Esse trabalho tem de estar concluído até março do mesmo ano. Caso o prazo não seja cumprido serão as autarquias a fazê-lo, cobrando depois aos privados ou empresas (Marcelino 2017).

2.5.3 Valor Percecionado

A criação de valor é fundamental para qualquer negócio, e qualquer atividade comercial é sobre trocar alguns bens ou serviços tangíveis e/ou intangíveis e ter seu valor aceite e recompensado por clientes, dentro da empresa, da rede colaborativa ou fora desta (Nicola, E. Ferreira e J. P. Ferreira 2012).

Com esta definição percebe-se que o conceito de valor é algo subjetivo, dado a sua relação com a componente emocional de cada ser humano. No entanto pode ser entendido pelo rácio existente entre os sacrifícios e os benefícios existentes na aquisição de algo tangível ou não tangível como um bem ou um serviço.

O enquadramento com este projeto, o protótipo *Pedrogo* demonstra que o rácio poderá

Tabela 2.1: Relação Custo / Benefício

	Produto	Relação
Benefícios	Desenvolvimento de uma solução capaz de suprir as necessidades atuais.	Aumento da satisfação da população. Diminuição de prejuízos para o Estado Português. Aumento da qualidade de vida.
Sacrifícios	Custo da implementação da rede sensorial. Custo com dispositivos (Arduinos, sensores e servidores).	Formação de utilizadores e entidades competentes.

ser positivo dado o baixo custo no investimento da solução face aos benefícios associados à mesma. Isto tendo em conta que os prejuízos causados são de grande importância económica na sociedade atual.

Neste projeto o valor percebido é elevado uma vez que poderá resolver um problema para o cliente, neste caso estado Português, autarquias ou associações e principalmente para a população. Com vista a fundamentar o valor percebido foi utilizada a Tabela 2.1 onde se relacionam os benefícios e os sacrifícios existentes no projeto.

2.5.4 Proposta de Valor

O protótipo *Pedrogo* promove, junto do cliente bem como das entidades competentes no combate aos incêndios uma nova abordagem de prevenção e alerta de risco no momento ideal. Este resultado é obtido através de notificações automáticas com base nas métricas recolhidas pela rede sensorial.

Esta nova abordagem proporciona ainda, poupança de recursos e sobretudo resultado em benefícios económicos. Outra das vantagens deste protótipo é o baixo custo dos equipamentos, na sua manutenção e na sua autonomia visto que estes apenas consumirão recursos renováveis, neste caso energia solar.

2.5.5 Rede de Valor

O protótipo *Pedrogo* é um projeto pessoal e académico, não estando assim associado a nenhuma empresa ou organização, acabando por no fundo ser uma prova de conceito. Assim, não é possível analisar o seu valor numa componente de *networking* entre pessoas ou departamentos de uma organização.

Certamente que este projeto traria mais vantagens à sociedade, e quanto maior fosse o intercâmbio de conhecimentos e ideias, mais valor seria acrescentado à solução.

Há no entanto a criação da rede de valor envolvente ao mercado onde este projeto se insere, entre os seus intervenientes. Isto é feito através do estabelecer de parcerias com associações ou através de organismos comunitários.

2.6 Sumário

Neste capítulo realçou-se que os incêndios florestais são um sério problema da sociedade. Neste foram também analisadas as consequências inerentes aos incêndios florestais, tais como os impactos na perspetiva social, económica e ambiental. O estudo dos três principais impactos dos incêndios leva a perceber quais as verdadeiras consequências dos incêndios, seja na perda de vidas de milhões de euros mas também no impacto ambiente. Ao longo do capítulo foram estudadas as formas de combate ao incêndio que podem não ser as melhores em termos de prevenção mas serão certamente as mais eficazes em termos de extinção do incêndio.

Foi apresentada a análise de valor ao projeto em questão de forma a perceber qual o real valor do projeto para o cliente. Verificou-se que os potenciais clientes para este projeto seria o estado português, as câmaras municipais ou até mesmo associações relacionadas com a prevenção florestal. Desta análise surgiu o modelo Canvas.

Neste capítulo, assim como proposto, foram respondidas as seguintes questões:

Qual a tendência de ocorrência de incêndios florestais com o passar dos anos?

O estudo apresentado revela que os incêndios florestais demonstram uma tendência crescente com o passar dos anos, principalmente pela frequência com que ocorrem.

Quais os impactos dos incêndios florestais?

Os impactos dos incêndios são claramente visíveis em diferentes perspetivas seja ela social, económica e/ou ambiental. Os incêndios têm, principalmente, grande impacto na vidas das pessoas, sendo que algumas até a perdem por causa deste problema.

O que está a ser feito para prevenir a ocorrência de incêndios florestais?

Em Portugal têm sido tomadas medidas para impedir a ocorrência de incêndios seja pela desflorestação bem como a vigília humana. No entanto o problema persiste.

Os incêndios têm causas naturais ou mão criminosa? O que se pode concluir com o resultado

Verificou-se, segundo os estudos existentes, que quase metade dos incêndios são por negligência humana. Pode-se concluir que apenas cerca de 25% dos incêndios tenham deflagração por causas naturais.

Qual o valor do trabalho apresentado desta dissertação para o combate aos incêndios florestais?

O objectivo desta dissertação passa pelo estudo do problema e como este pode ser combativo utilizando redes sensoriais.

Capítulo 3

Estado da Arte

Estando o problema bem como as suas consequências devidamente identificados, é necessário perceber, ao redor do mundo, o que está ser, ou pode ser feito para prevenção florestal recorrendo à tecnologia.

Neste capítulo serão apresentados uma série de projetos e sistemas desenvolvidos a pensar na prevenção de incêndios florestais. Os projetos estudados variam em diferentes áreas desenvolvimento, sendo com a utilização de redes sensoriais, de *drones* e até de satélites. No final, será apresentada um comparação entre os projetos abordados, e estes serão avaliados tendo em conta alguns fatores críticos tais como: custo, autonomia, capacidade de previsão, capacidade de detecção, segurança dos equipamentos e manutenção dos mesmos. Por fim, serão analisadas as tecnologias disponíveis e, naturalmente, poderão ser aplicadas num projeto de prevenção florestal.

Neste capítulo será abordado a segunda parte do **Outcome 2: Contexto e Estado da Arte** bem como o **Outcome 3: Avaliar Soluções e Abordagens Existentes**.

Após a análise às soluções existentes atualmente e das tecnologias que podem suportar uma rede sensorial, no final, será dada a resposta às seguintes questões:

Existem soluções eficazes na prevenção florestal?

Quais as grandezas que devem ser consideradas num projeto de prevenção florestal?

Que tecnologias podem ser utilizadas prevenção florestal?

3.1 Soluções Existentes

Nesta secção serão abordados quatro projetos na área da prevenção sendo estes desenvolvidos com recurso a diferentes tecnologias. Este estudo tem como objetivo principal identificar as funcionalidades e as tecnologias utilizadas para a prevenção florestal utilizando sistemas de informação. Os projetos selecionados para este estudo respeitam um ou mais dos seguintes critérios: autonomia, custo, capacidade de prevenção, capacidade de detecção segurança e manutenção.

3.1.1 Rede de Sensores

Com o surgimento de conceitos como Internet of Things (IoT) e Inteligência Artificial (IA) os dispositivos de baixo custo e de monitorização estão cada vez mais na moda, estes também surgem na prevenção florestal.

Projeto: Rede de sensores para deteção de incêndios florestais

Esta solução desenvolvida pela faculdade de ciências da universidade de Oran na Argélia, é baseada numa rede Wireless Sensor Network (WSN) que utiliza duas abordagens muito conhecidas na área da prevenção florestal, o método coreano e o método canadiano, estes serão abordados posteriormente neste documento. De acordo com os resultados obtidos os autores optaram pela solução que melhor se adapta ao país em análise (Bouabdellaha, Nouredine e Larbi 2013).

Os autores não identificam que dispositivos foram utilizados, no entanto o protótipo encontra-se dividido em três componentes:

- Módulo de Recolha:
 - Dispositivo que recolhe os dados necessários para calcular o índice de risco de incêndio;
- Módulo de Comunicação:
 - Este módulo permite a geração de alertas para as entidades competentes em caso de risco de incêndio, este módulo encontra-se integrado no módulo de recolha;
- Módulo de Análise:
 - o Este é responsável, de acordo com os dados recolhidos inferir se de facto existem mesmo risco de incêndio ou então é falso alarme;

Projeto: Rede de sensores para monitorização e deteção prévia de incêndios florestais

Na solução apresentada por um grupo de investigadores da Universidade de Saragoça na Espanha (Bayo et al. 2010), os autores propõem a criação de um protótipo capaz de prever e monitorizar os incêndios florestais. Para o desenvolvimento do protótipo foram utilizados os seguintes dispositivos:

- Micro-controlador ATmega 1281;
- XBee (alcance 100m);
- Conjunto de sensores para a recolha de informação;
- 2 Pilhas.

Na escolha dos sensores a utilizados e, visto que a ideia é ter um conjunto de nodos para a recolha de dados então o requisito principal é o baixo custo.

Para a definição do nível de risco de deflagração de incêndio, são recolhidos os seguintes dados do meio envolvente:

- Humidade do Solo;
- Pressão atmosférica;
- Luminosidade;
- Humidade do ar;
- Temperatura.

A deteção do incêndio é efetuada aquando da deteção de fumo nas áreas cobertas pelos nodos. Os restantes sensores para monitorizar a zona de risco, tendo em conta a estação do ano e a localização geográfica, sendo este dados parametrizados.

Este protótipo WSN, utiliza uma topologia ponto-a-ponto. Nesta topologia, todos os nodos são capaz de comunicar entre si e com o ponto de recolha, esta abordagem é o ideal para evitar a perda de informação por falta de alcance com o ponto de recolha. A comunicação entre os nodos e o ponto de recolha é efetuada utilizando o protocolo de comunicação do Xbee, enquanto que a comunicação entre o ponto de recolha e o servidor central é efetuada por cabo. No futuro os autores pretendem utilizar módulo Global System for Mobile Communications (GSM) no ponto de recolha.

3.1.2 Drones

O *Drone* é um Veículo aéreo não tripulado (VANT) que surgiu neste últimos anos e a utilização destes veículos aéreos têm se espalhados às mais diversas áreas incluindo ao combate ao incêndio. No entanto a questão da privacidade é um tema que irá sempre surgir quando se fala nesta tecnologia.

A titulo de exemplo será apresentada uma solução que surgiu na Suécia onde o objetivo deste equipamento é auxiliar o combate ao fogo.

Controlar incêndios utilizando Drones

Este projeto surgiu em 2016, neste ano deflagrou em *Little Valley Nevada* um incêndio que destruiu 23 casas, 17 edifícios de pequena dimensão destruindo ainda 10km² de floresta. Após este acontecimento diversas organizações têm efetuado diversos testes utilizando *drones* para combater um incêndio de uma forma mais eficiente.

Foi então que os cientistas Suecos do laboratório de *Ljungberg* da Universidade da Agricultura e da Ciência da Umea ¹ decidiram fazer um teste de dois dias com *drones* e câmeras termais. Os cientistas quiseram testar os seus Unmanned Aerial Vehicle (UAV) para capturar imagens e vídeo do fogo controlado criado pelos alunos da universidade para efeito de testes.

O *drone* tem o nome de Freya e captura essencialmente imagens durante e após o incêndio e, com base nesta tecnologia, é possível localizar o fogo e a intensidade do mesmo através do fumo. Esta técnica permite apoiar as pessoas que tomam decisões no combate ao incêndio. Para além do combate ao fogo o *drone* também é utilizado para perceber se a zona é suscetível a reavivar o fogo.

¹Swedish University of Agricultural Sciences in Umeå

De acordo com os autores (Editor 2017), o *drone* é capaz de percorrer 2km² em 1 hora e 40 minutos e a seu custo é extremamente elevado.

3.1.3 Imagens de Satélite

Os satélites e a sua captura de imagens não é uma tecnologia recente e é bastante dispendioso o custo do fabrico e manutenção destes aparelhos. De seguida será apresentado uma solução desenvolvida no Nepal em que consiste utilizar estes aparelhos para combater os incêndios florestais.

Satélite para monitorização e deteção de incêndios no Nepal

A utilização de satélites no combate aos incêndios surgiu quando um incêndio que deflagrou em 2016 no Nepal queimou 13000 km² de floresta matando 15 pessoas em apenas duas semanas. Em resultado deste incêndio a International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD) com a colaboração do Department of Forests of Nepal (DFN) desenvolveram um sistema de monitorização e deteção de incêndio utilizando uma tecnologia baseada em satélites.

Observando o planeta o sistema consegue quase em tempo-real cobrir um grande área de floresta permitindo detetar focos de fogo.

Uma vez que seja detetado um incêndio do espaço é enviado um alerta diretamente para as população a avisar o tamanho e a localização do incêndio. A Figura 3.1 apresenta uma das imagens capturadas por satélite no Nepal.



Figura 3.1: Imagem de satélite
Maden 2018

O sistema foi desenvolvido com tecnologias e aplicações espaciais, em particular, a tecnologia Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) dos satélites *Terra* e *Aqua* da National Aeronautics and Space Administration (NASA), este provêm um solução *All-in-one*. Por exemplo, informações consolidadas podem ser fornecidas em zonas de perigo, áreas vulneráveis, acessibilidade, opções de mitigação e previsões futuras para apoiar a preparação para desastres (Maden 2018).

3.2 Avaliação das Soluções Existentes

De seguida, todas as soluções estudadas e apresentadas neste documento serão avaliadas com base em algumas critérios diferenciadores que foram recolhidos ao analisar estas soluções. Os critérios em análise será a capacidade de deteção, previsão, segurança, autonomia, e custo.

Foram estudadas três tipos de soluções diferentes, uma à base de redes sensoriais recorrendo a dispositivos de baixo custo, outra utilizando tecnologia voadora como *drones* e por fim utilizando imagens áreas captadas por satélite. Após esta análise é interessante verificar que os dispositivos de baixo custo, embora fossem capaz de prevê o incêndio antes mesmo de estes ocorrer, estes projetos não passaram de provas de conceito, na realidade estas nunca foram aplicadas em ambientes reais. No entanto, as duas outras formas de combate ao incêndio não eram capaz de prever o incêndio mas eram um enorme apoio no combate ao mesmo embora existam custos extremamente elevados.

Para avaliar uma solução é necessário ter em conta vários aspetos relacionados com os dispositivos como o custo, a autonomia, a capacidade de previsão, a capacidade de deteção, a manutenção (isto é a necessidade de assistência humana ao dispositivo) e a segurança dos dispositivos (este último tem como objetivo perceber se o incêndio pode danificar o dispositivo ou não).

As duas soluções apresentadas como redes sensoriais focam-se essencialmente no baixo custo dos dispositivos e no consumo de energia. Uma das topologias apresentadas foi a ponto-a-ponto em que todos os nodos comunicam entre si. Esta abordagem obriga a que constantemente os dispositivos estejam à escuta de mensagens, o que não será a forma mais eficiente de poupar energia. No entanto, a outra solução chegava mesmo a desligar todos os sensores para poupar energia, porém esta solução possui algoritmos nos micro-controladores o que resulta numa maior carga de processamento. Num dos casos o ponto de recolha comunica com o servidor central utilizando um módulo de GSM que, embora eficaz, a longo-prazo esta solução torna-se dispendiosa monetariamente, caso as comunicações sejam pagas, devido ao volume de dados comunicados. Também foi utilizado o Xbee para a comunicação de dados via rádio, no entanto e visto que o Xbee tem um alcance máximo de 100 metros, os autores tiveram que utilizar a topologia ponto-a-ponto conforme mencionado.

As soluções baseadas em meios aéreos como *drones* são eficazes na tomada de decisão porque são capazes de captar imagens em que o homem não era capaz de obter, no entanto um dos problemas é a autonomia e a deteção prévia do fogo.

Por fim, as tecnologias baseadas em satélites são eficazes a detetar o incêndio logo no

seu início, no entanto esta tecnologia torna-se demasiado dispendiosa embora que o equipamento nunca esteja em risco de se danificar.

Com base em todos os dados recolhidos na análise dos diferentes meios e tecnologias no combate ao incêndio, foi preparada uma avaliação de todas as soluções abordadas. A avaliação apresentada na Figura 3.2 é tida como referências os seguintes critérios de avaliação que foram mencionados anteriormente: custo, autonomia, previsão, deteção, segurança e manutenção. Os fatores apresentados são classificados numa de um a cinco, em que, 5 é o caso mais favorável e 1 o menos.

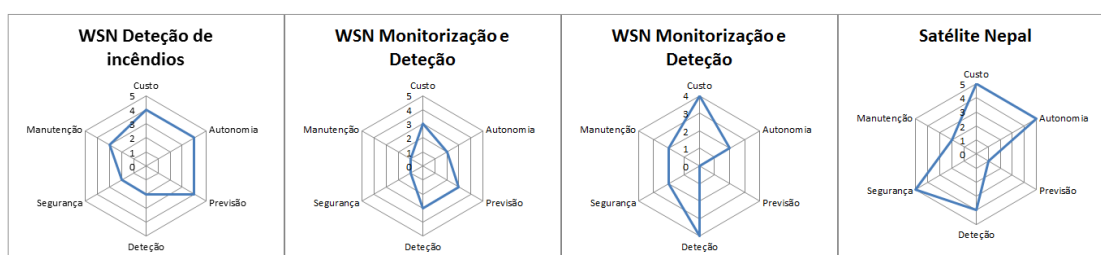


Figura 3.2: Imagem de satélite

3.3 Tecnologias

Após o estudo e a análise ao estado da arte das aplicações (3.1) em utilização para a prevenção florestal, é necessário realizar um levantamento das tecnologias existentes.

3.3.1 Redes Sensoriais

Uma rede sensorial ou WSN consiste num conjunto de dispositivos autónomos com a capacidade de monitorizar condições físicas ou ambientais, tais como temperatura, som, vibração, pressão entre outras métricas das quais os sensores sejam capazes de obter e, por fim, os dados recolhidos podem ser enviados pela rede para um ponto central. Inicialmente as redes sensoriais foram desenvolvidas por motivações militares para vigilância dos campos de batalha porém, hoje em dia estas redes estão presentes à nossa volta e no nosso dia-a-dia, seja no uso industrial para monitorização e controlo bem como para uso do consumidor.

Uma rede sensorial é constituída por um ou diversos nós ou nodos onde cada um deste pode ter acoplado um ou mais sensores (Gholamzadeh e Nabovati 2008). Cada nó de uma rede sensorial, normalmente, é constituído por diversas partes:

- Transceptor rádio (receptor e transmissor) com antena interna ou tem externa;
- Micro-controlador;
- Circuito electrónico para servir como interface com os sensores e a alimentação;
- Bateria para alimentação do nodo;

Um nodo pode ser do tamanho de uma caixa de sapatos ou então do tamanho de um pequeno grão (Park e Chou 2006). A funcionalidade de mote, que será abordado mais à

frente, dentro de uma rede sensores, normalmente, tem um de dois propósitos. Primeiro é a recolha de dados pelos sensores seja o processamento ou a transmissão dos mesmos. O segundo protótipo é o nodo servir como um *gateway* que tem como objectivo o envio dos dados para o ponto de recolha.

3.3.2 Motes

Nos últimos anos um dos conceitos mais falados da computação foram os motes. Para além de motes, este conceito também é conhecido como *smart dust* (inúmeros sistemas electromecânicos minúsculos como sensores, robôs ou outros dispositivos que tenha a capacidade de recolher informação) ou WSN. Até certo ponto, alguns problemas e descobertas acabam por conter alguma ideia com motes. Por exemplo, planos militares para recolher informação do campo de batalha e engenheiros que misturam estes dispositivos juntamente com o concreto dos edifícios e pontes para monitorizar o tempo de vida dos mesmos.

Existem imensas formas de utilizar um mote e, conforme o mundo se vai familiarizando com este conceito, irão surgir ainda mais formas de utilização destes dispositivos.

O conceito do mote gera uma nova maneira de pensar sobre a computação, porém a ideia básica destes é muito simples:

- Dispositivo de pequenas dimensões, de baixo custo e de baixa computação;
- O dispositivo pode monitorizar um ou mais sensores. É fácil de imaginar todos os tipos de sensores como temperatura, luminosidade, som, posição, aceleração, vibração, humidade, peso, pressão e muitos mais. Nem todos os motes necessitam obrigatoriamente de ter sensores, porém é uma prática comum;
- Normalmente o mote comunica com o mundo ao seu redor por meio de onde rádio. A comunicação rádio mais comum permite ao dispositivo transmitir informação entre 3 a 100 metros. Consumo de energia, tamanho e custo são barreiras para distâncias mais longas;

Os motes podem ser alimentados utilizando uma bateria ou, em alguns casos, podem ser alimentados directamente da energia eléctrica. Como estes dispositivos são pequenos em tamanho e fracos de processamento é possível imaginar a alimentação por meio de dispositivos solares ou num caso mais rebuscados por meio de vibrações.

Algumas aplicações de motes permitem que os sensores se movam para lugares onde eles não estavam antes e outros reduzem o tempo necessário para ler os sensores individualmente.

No entanto, grande parte da maior empolgação com os motes vem da ideia de usar um grande número de motes que se comunicam entre si e formam redes ad-hoc.

Neste documento serão analisados alguns dos motes mais utilizados no mercado (Narayanan, tv e Veetil Vineeth 2016) sendo eles o *Mica2*, *IRIS* e *TesloB* e, como termo de comparação, serão tidos em conta os seguintes parâmetros: processamento, protocolos de comunicação, custo e consumo de energia.

Mica2

O Mica2 é um dispositivo de segunda geração desenvolvido pela *CrossBow Technology*. O dispositivo em análise utiliza um processador ATMega128L juntamente com o módulo Rádio-Frequência (RF) CC1000, estando também equipado com um sensor de humidade, temperatura e luminosidade - outros sensores podem ser acoplados ao micro-controlador. O Mica2 ainda é capaz de efectuar medições de pressão barométrica, aceleração/actividade sísmica. O mote é alimentado externamente por duas bateras AA operando no intervalo de 2.1 a 3.6 Volt (V) Direct Current (DC). O dispositivo é capaz de transmitir dados a uma distância de aproximadamente 75 a 100 Metro (m) no exterior.

Este mote é utilizado especialmente em locais fechados para monitorização de edifícios, segurança, acústica, vídeo, vibração e outros tipos de monitorização de alta velocidade.

IRIS

O mote IRIS é um dos motes que oferece um maior alcance no toca à comunicação de dados - aproximadamente 500 m. O dispositivo utiliza um módulo IEEE 802.15.4 sem fios na frequência 2.4 Gigahertz (GHz). Devido ao seu grande alcance o mote pode ser utilizado no subsolo para monitorização de actividades agrícolas e do solo. O mote é alimentado por duas baterias AA com uma potência mínima de 2.7 V.

A utilização deste mote é aplicada de igual forma que o mote *Mica2* abordado no ponto anterior.

TesloB

Inicialmente o mote TesloB foi desenvolvido pela Universidade da Califórnia. O dispositivo está equipado com um módulo CC2420 RF sob a norma IEEE 802.15.4, e também tem incorporado um sensor de humidade e temperatura. Também este mote é alimentado por duas baterias AA num intervalo 2.1 a 3.6 V DC.

Este mote é aplicado essencialmente para investigação e desenvolvimento de baixo consumo de energias e outros tipos de experiências em rede.

Processamento

Para cada um dos três motes em estudo, e sendo também o mais comum, o processador está incorporado no próprio micro-controlador que efectua as leituras dos sensores e coloca os dados disponíveis para serem transferidos. Basicamente, o processador é o elemento chave para o cálculo de informação num mote bem como na definição dos protocolos de comunicação, manipulação de dados e a sua transferência.

A Tabela 3.1 são apresentados os processadores dos três motes em análise.

Tabela 3.1: Processadores utilizados

Mote	Processador
Mica2	ATMega128L
IRIS	ATMega1281
TesloB	MSP430

Por sua vez, na Tabela 3.2 são apresentadas as especificações de cada um dos processadores tendo em conta a memória interna do dispositivo, consumo de energia, tipo de comunicação série, Analog-to-Digital Converter (ADC) Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM).

Tabela 3.2: Especificação dos Processadores

Processador	Flash	RAM	EEPROM	ADC	Serial	Consumo process.	Consumo descanso
ATMega128L	128K	4K	512K	10 bit	UART	8mA	$<15\mu A$
ATMega1281	128K	8K	4K	10 bit	UART	8mA	$8\mu A$
MSP430	48K	10K	1M	12 bit	UART	1.8mA	$5.1\mu A$

Protocolos Comunicação

Os três dispositivos utilizam o protocolo IEEE 802.15.4 para a comunicação de dados sem fios. O protocolo IEEE 802.15.4 tem sido adotado como um *standard* nas redes sensoriais para a comunicação baixas taxas de dados, de baixo preço e baixo consumo (Staf 2001). Os motes IRIS e TesloB comunicam na frequência 2405 a 2480 Megahertz (MHz) enquanto que o Mica2 opera na frequência 2400 a 2483.5 MHz.

Consumo de energia

Conforme descrito na análise ao três motes em estudo, todo eles são alimentados externamente por duas baterias AA. O mote Mica2 necessita de, no mínimo, 2.5 V de energia sendo que tem um consumo ativo de 33Megawatt (mW). O mote TesloB necessita de, no mínimo, 2.7 V de energia, e tem um consumo ativo de 3mW. Por fim o mote IRIS também necessita de 2.7 V e tem um consumo ativo de 24 mW.

Custo

Em termos de custo, os três dispositivos analisados são bastante semelhantes sendo que será necessário, em média, 100 euros para adquirir cada um destes dispositivos.

3.3.3 Comunicação Sem Fio

O termo de comunicação sem fios ou *wireless* foi introduzido no século XIX e nos anos subsequentes esta tecnologia foi grandemente desenvolvida e adotada. É um dos mais importantes meios de comunicação para a transmissão de dados entre dispositivos. Com

esta tecnologia os dados podem ser transmitidos através do ar sem ser necessário a utilização de qualquer cabo ou condutores elétricos mas sim por meio de ondas electromagnéticas como infravermelhos, ondas rádio, satélites entre outros. Hoje em dia a comunicação sem fio é utilizada numa variedade de dispositivos a começar pelos telemóveis, computadores, tablets, tecnologias Bluetooth, impressoras e mais importante ainda, em motes.

Tipos de comunicação sem fios

Os diferentes tipos de comunicação sem fios inclui principalmente a comunicação com infravermelhos, comunicações por satélite, transmissão rádio, microondas rádio, Bluetooth e zigbee.

Satélite

Comunicações satélite é um tipo de tecnologia que contém embutida em si própria a tecnologia de comunicação sem fios, os satélites estão amplamente distribuídos em redor do planeta Terra e permite que os utilizadores se mantenham conectados quase em toda a parte do planeta. Quando o sinal (um feixe de microonda modulado) é enviado de um determinado fonte e este é recebido por um satélite, este amplifica o sinal e envia-o de volta para a antena transmissora.

A comunicação por satélite contém dois componentes principais, como o segmento espacial e o segmento terrestre. O segmento terrestre é constituído por equipamentos de transmissão fixa, móvel, recepção e auxiliar. O segmento espacial é principalmente o próprio satélite.

Infravermelhos

A tecnologia de comunicação por infravermelhos é capaz de transmitir informação de um dispositivo através de radiação infravermelho assim como o próprio nome indica. Infravermelho é a energia electromagnética em um comprimento de onda maior que o da luz vermelha. É utilizado essencialmente em controlos de segurança, controlos remotos e comunicação de curto alcance. No espectro electromagnético, a radiação infravermelha fica entre as microondas e a luz visível. Então, eles podem ser usados como uma fonte de comunicação

Para uma comunicação infravermelha seja bem sucedida, é necessário um transmissor Light-Emitting Diode (LED) e um receptor de diodo. O transmissor de LED transmite o sinal infravermelho na forma de luz não visível, que é capturada pelo receptor. Portanto, as informações entre a origem e o destino são transferidas dessa maneira.

Transmissão Rádio

A primeira tecnologia de comunicação sem fio é a comunicação de rádio, e ainda tem um propósito hoje em dia. Os rádios multi-canaís permitem que o utilizador fale em distâncias curtas. Os entusiastas de radio-amadores compartilham dados e funcionam como auxiliares de comunicação de emergência durante os desastres com seus poderosos equipamentos de transmissão, e podem até mesmo transmitir informações digitais através do espectro de frequência de rádio.

Os serviço de transmissão de áudio são transmissões de rádio que soam pelo ar como ondas de rádio. O rádio usa um transmissor que é usado para transmitir os dados na forma de ondas de rádio para uma antena receptora.

As ondas de rádio são sinais electromagnéticos que são transmitidos por uma antena. Essas ondas têm segmentos de frequência completamente diferentes, e os dispositivos estarão aptos para obter um sinal mudando para um segmento de frequência.

Wi-Fi

O wi-fi é um método de comunicação sem fios de baixa potência que consiste na emissão de ondas rádio. Esta tecnologia pode ser utilizada em vários dispositivos electrónicos como telemóveis, computadores, entre outros. Estas redes permite que os utilizadores possam se conectar somente dentro da proximidade de um router. Um dado importante e amplamente difundido é que a tecnologia *wi-fi* transporta mais de 60 por cento do tráfego mundial. A grande vantagem desta tecnologia é que a comunicação de dados é bidirecional, sendo muito comum em aplicações de rede que oferecem portabilidade sem fio.

O protocolo de comunicação é Wi-fi. Wi-fi é uma tecnologia de comunicação sem fios baseada na norma *IEEE 802.11*. O protocolo wi-fi funciona em frequências onde não é necessária licença. A tecnologia *Wi-Fi* torna-se sofisticada em termos de comunicação pela utilização do protocolo Internet Protocol (IP) tornando esta tecnologia mais estruturada e resiliente. Os dados são comunicados pelo ar em ondas rádio, estando assim sujeitos a interferências, seja por outros sinais *wi-fi*, por ondas rádio emitidos por outros dispositivos e até mesmo por obstáculos como paredes. Para minimizar as interferências nos sinais *wi-fi* surge então as frequências em 2.4Ghz e 5Ghz. É ainda digno de nota que quanto mais baixa for a frequência mais longe o sinal será transmitido, ou seja, os dados emitidos na frequência 2.4Ghz chegará mais longe que um sinal emitido a 5Ghz (Pullen 2015).

Atualmente existem cinco tipos de tecnologia *wi-fi*: *Wi-Fi-802.11a*, *Wi-Fi-802.11b*, *Wi-Fi-802.11g*, *Wi-Fi-802.11n* e *Wi-Fi-802.11ac*. No primeiro tipo denominada de *802.11a* é definido formato e a estrutura dos sinais rádio enviados por routers e antenas.

O segundo tipo abordado *802.11b* suporta largura de banda até aos 11 Mega bits por segundo (Mbit/s). O sinal é emitido numa frequência não regulada na gama dos 2.4Ghz e, como mencionado, sendo uma frequência muito baixa permite a propagação do sinal a uma distância mais longa que o tipo anteriormente abordado no entanto pode ter graves interferências com outros dispositivos.

O terceiro tipo da tecnologia *wi-fi* conhecida como *802.11g*, foi criada em 2002 e é melhor que os tipos anteriores permitindo largura de banda até aos 54 Mbit/s utilizando a frequência 2.4Ghz sendo esta uma frequência regulamentada para a tecnologia *wi-fi*. Este tipo tem custos mais elevados que as duas anteriores.

O tipo desta tecnologia baseado na norma *802.11n* tem o objetivo de trazer melhorias à tecnologia anterior. Suporta larguras de banda até 100 Mbit/s, bem como uma intensidade de sinal mais forte e permite a utilização de múltiplos emissores e recetores (Agarwal 2009).

Por fim, recentemente surgiu o novo tipo desta tecnologia, a *802.11ac* que permite velocidades que ultrapassam o 1300 Mbit/s permitindo a comunicação de dados tanto na frequência 2.4Ghz bem como na 5Ghz.

Bluetooth

A principal função da tecnologia Bluetooth é que permite emparelhar vários dispositivos entre si. Os telemóveis podem ser emparelhados a auricular de ouvido, ratos e teclados. Utilizando a tecnologia Bluetooth é possível passar informação de um dispositivo para outro. Esta tecnologia tem várias funções e é usada principalmente no mercado de comunicação sem fio.

Zigbee

O ZigBee pretende associar a transmissão de dados sem fios a um reduzido consumo energético e com elevada fiabilidade. Assim, um objectivo desta norma é também uma tentativa de uniformizar o desenvolvimento de aplicações e dispositivos nesta área, abandonando-se sistemas proprietários distintos para dar lugar a um standard, que, ao ser compatível, proporciona evidentes vantagens de interoperabilidade.

Com uma vasta área de aplicação, desde o controlo industrial à automação de residências (domótica), o protocolo ZigBee possui então determinadas características que o tornam absolutamente distinto dos restantes, sustentando os motivos que levaram à sua criação:

- Reduzido consumo de potência;
- Pilha protocolar de implementação simplificada (código de tamanho menor de um quarto da do Bluetooth, por exemplo), conduzindo a interfaces de baixo custo;
- Possibilidade de suportar uma elevada densidade de nós por rede (num máximo de 65535 dispositivos por cada ZigBee Coordinator, valor manifestamente superior aos 8 do Bluetooth ou 30 do Wi-Fi);
- possuindo um tempo de ligação à rede menor que os outros protocolos e apresenta maior rapidez na passagem do modo standby a activo, o ZigBee apresenta também uma latência baixa;
- Elevada fiabilidade;
- Elevada segurança, com recurso a 128-bit encryption.

O ZigBee opera em três bandas de rádio conhecidas como Industrial, Scientific and Medical (ISM), as quais estão isentas de licenciamento. Globalmente, corresponde à banda de 2.4Ghz e ainda às bandas de 915Mhz (Estados Unidos) e 868 Mhz (Europa). Consoante a banda, varia a taxa de transmissão possível: em 2.4Ghz podem ser obtidas taxas de transmissão de 250Kbps, com 16 canais disponíveis; a 915Mhz, está disponível uma taxa de transmissão de 40Kbps e 10 canais de comunicação; no caso de 868Mhz, possibilita 1 canal e uma taxa de transmissão de 20Kbps.

Em termos de modulação, é utilizado Offset quadrature phaseshift keying (O-QPSK) para a banda dos 2.4Ghz e Binary Phase Shift Keying (BPSK) para os 915Mhz ou 868Mhz.

Vantagens e Desvantagens

As vantagens da utilização de comunicação sem fios é que os dados podem ser transmitidos de forma rápida e eficaz e a manutenção e instalação destas tecnologias normalmente estão associadas ao baixo custo. No entanto é necessário ter em mente a segurança na utilização destas tecnologias, dado que, qualquer pessoa pode facilmente capturar os sinais que são transmitidos pelo ar.

3.3.4 Sensores

Um sensor é um dispositivo capaz de detetar e responder a algum tipo de *input* do meio ambiente ou do ambiente físico. Um *input* pode ser luminosidade, calor, movimento, humidade, pressão ou qualquer outro valor presente no meio ambiente. O *output* dos valores recolhidos são convertidos para valores que deverão ser facilmente legíveis para um ser humano. Os dados obtidos pelos sensores podem ser utilizados para tomadas de decisão.

3.3.5 Webservices

Webservices é uma solução utilizada para integrar diferentes sistemas e aplicações numa semântica que seja compreendida por todas as partes envolvidas. Embora cada aplicação seja desenvolvida na sua própria linguagem, a utilização de tecnologias baseadas em webservices permite transformar os pedidos e as respostas num formato universal como é o caso dos formatos eXtensible Markup Language (XML) e JavaScript Object Notation (JSON). Entre as várias tecnologias existentes na utilização de webservices, as mais utilizadas são as tecnologias baseadas em Simple Object Access Protocol (SOAP) e Representational State Transfer (REST).

SOAP

A tecnologia SOAP é baseada no protocolo de comunicação Remote Procedure Call (RPC) que tem o objetivo de invocar um procedimento num outro sistema sem que estes tenham que ser, obrigatoriamente, desenvolvidos na mesma linguagem de programação. A comunicação de webservices SOAP é baseada na estrutura de dados XML que permite a comunicação de mensagens entre aplicações via Hypertext Transfer Protocol (HTTP).

Uma mensagem SOAP é um documento XML comum contendo um elemento chamado *Envelope* que identifica o documento XML como uma mensagem SOAP, um elemento *Header* que contém informações sobre o cabeçalho do documento, e um elemento *Body* que é o corpo do documento contendo informações de chamada e resposta, dentro do corpo contém um elemento *Fault* que contém erros e informações de estado.

REST

Numa arquitetura baseada em REST, tudo são recursos. Um recurso é acedido através de uma interface baseada nas operações padrão do protocolo HTTP. Normalmente é utilizado um servidor REST que provê acesso aos recursos, e um cliente REST que acede e modifica os recursos REST.

Cada recurso deve suportar as operações padrão do protocolo HTTP. Normalmente os recursos são identificados por *Uniform Resource Identifier (URI)*. A arquitetura baseada em REST permite que os recursos tenham diferentes representações (por ex.: XML e JSON), o cliente REST poderá pedir uma representação específica através do protocolo HTTP. As operações tipicamente utilizadas em arquiteturas REST são *PUT*, *GET*, *POST* e *DELETE*.

- *GET* é aquela que trata de ações “seguras”, uma ação segura pode repetida várias vezes sem que esta tenha consequências adversas para com a aplicação, do mesmo modo a operação *GET* nunca deve ser utilizada para criar ou alterar dados (idempotente);
- *PUT* é utilizador para criar dados;
- *DELETE* é utilizador para remover dados;
- *POST* é utilizado tanto para criar como que para alterar dados;

REST vs SOAP

A tecnologia SOAP permite a interoperabilidade entre diversas plataformas com mensagens personalizadas. Normalmente é utilizado o Web Services Description Language (WSDL) para descrever a estrutura das mensagens SOAP e as ações possíveis num dado *endpoint*. Uma das maiores vantagens é que várias linguagens e ferramentas conseguem ler e gerar mensagens facilmente. Várias linguagens de programação permitem a geração de objetos de domínio, *Stubs* e *Skeletons* a partir da definição do WSDL, permitindo a comunicação remota via RPC através de chamadas a métodos remotos, inclusive com argumentos complexos, como se fossem chamadas locais.

A desvantagem desta tecnologia, é que ela adiciona um *overhead* considerável, tanto por ser em XML quanto por adicionar muitas *tags* de meta-informação. Além disso, a serialização e desserialização das mensagens pode consumir um tempo considerável.

Por sua vez a tecnologia REST não impõe restrições ao formato da mensagem, apenas no comportamento dos componentes envolvidos.

A maior vantagem da utilização de webservices baseados em REST é sua flexibilidade. O programador pode optar pelo formato mais adequado para as mensagens do sistema de acordo com sua necessidade específica. Os formatos mais comuns são JSON, XML e texto, mas em teoria qualquer formato pode ser utilizado. Isto leva a outra vantagem que quase sempre webservices que utilizam REST tendem a ser mais "leves" e, portanto, mais rápidos. O problema com REST pode surgir justamente por causa de suas vantagens. Como a definição do corpo de dados fica totalmente a cargo do programador ou da equipa que desenvolve o sistema, os problemas de interoperabilidade tornam-se mais comuns sem a documentação apropriada.

Jersey

O Java suporta *web services* REST por meio da Application Programming Interface (API) Java API for RESTful Web Services (JAX-RS). JAX-RS é uma API baseada em anotações para implementação de *web services* REST, baseado no protocolo HTTP em Java. Essencialmente, classes e métodos são anotados com informações que os expõe como recursos durante o tempo de execução. As principais anotações do JAX-RS estão descritas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Anotações JAX-RS

Anotação	Descrição
@PATH(caminho)	Define o caminho para o URL base +/caminho. O URL base é o nome da aplicação.
@POST	Indica que o método seguinte responderá a um pedido HTTP POST.
@GET	Indica que o método seguinte responderá a um pedido HTTP GET.
@PUT	Indica que o método seguinte responderá a um pedido HTTP PUT.
@DELETE	Indica que o método seguinte responderá a um pedido HTTP DELETE.
@Produces(tipo)	Define que tipo de MIME será enviado pelo método anotado com @GET. No exemplo será enviado (texto/plain). Outros exemplo poderiam ser "application/xml" ou "application/json"
@Consumes(tipo)	Define que tipo de MIME é consumido pelo método seguinte.
@PathParam	É utilizado para injetar valores recebidos no URL para parâmetros.
@FormParam	É utilizado para injetar valores recebidos de um form para parâmetro.

Jersey é uma implementação de referência para este tipo de especificação. Basicamente o Jersey contém um servidor REST e um cliente REST. No lado do servidor o Jersey utiliza uma servlet, que pesquisa classes predefinidas para identificar recursos RESTful. Através do ficheiro de configuração da aplicação (web.xml), é descrita a servlet provida pelo Jersey. A API do Java (JAX-RS) provê a criação de XML e JSON através do Java Architecture for XML Binding (JAXB). JAXB é um padrão Java que define como os objetos são convertidos para XML, para tal são usados um conjunto de mapeamentos.

3.3.6 Topologias

Para a criação da rede sensorial WSN é necessário definir qual a topologia a utilizar, é necessário ter em conta diversos fatores tais como:

- Escalabilidade;
- Alcance;
- Autonomia do Microcontrolador (MCU).

Será efetuada uma introdução às redes sensoriais WSN bem como das topologias existentes, destas será selecionada a que melhor se enquadra no âmbito deste projeto.

Redes Sensoriais

É um dos serviços padrão desenvolvidos e embutidos em aplicações/dispositivos comerciais e industriais, devido aos baixos consumos de energia no processamento e comunicação. WSN são utilizados em nós para a recolha e monitorização de informação do nosso meio envolvente como, temperatura, humidade, pressão, posição, vibração, som entre outros. Estes nós podem ser utilizados em várias aplicação de tempo-real para executar tarefas como, deteção inteligente, processamento e recolha de dados, monitorização, controlo, e sincronização.

WSN inclui um vasto conjunto de dispositivos em circulação, de baixo consumo, auto direccionados chamados de nós. Estas redes certamente cobrem um imenso conjunto de dispositivos cuidadosamente interligados para a recolha, processamento e envio de informação para os utilizadores finais. Estes dispositivos são pequenos, utilizam baterias e estão espacialmente distribuídos, assim como retratado na Figura 3.3.

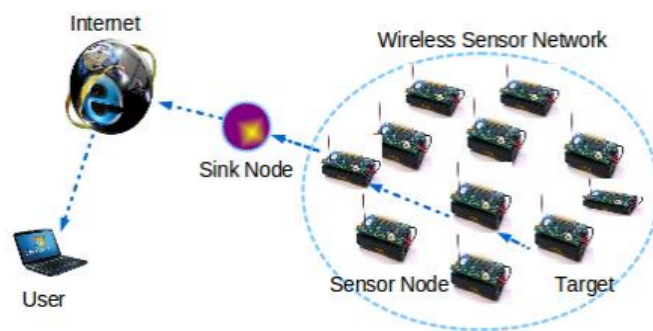


Figura 3.3: Rede Sensorial

<http://microcontrollerslab.com/wireless-sensor-networks-wsn-applications/>

Topologias

pode ser definida por uma rede de dispositivos que comunicam a informação recolhida de uma zona monitorizada recorrendo a ligações sem fios. Os dados passam por múltiplos nós e, com um ponto de recolha ou *Sink Node* os dados passam para outras redes como a Internet. A comunicação e a estrutura de uma WSN incluem várias topologias como as seguintes na Figura 3.4.

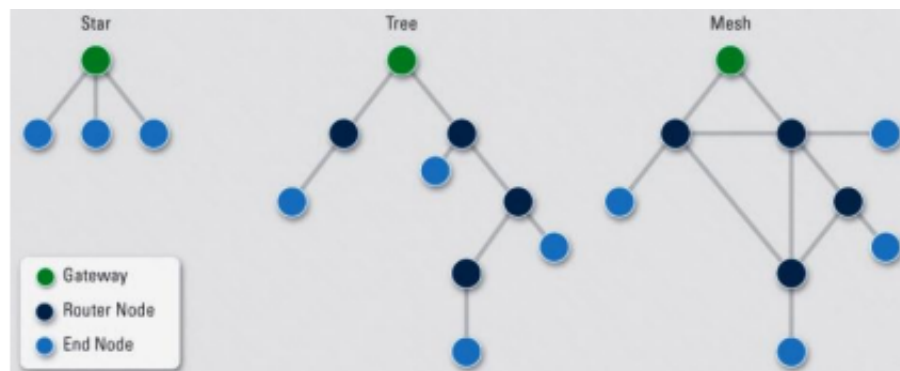


Figura 3.4: Topologias

<https://www.elprocus.com/introduction-to-wireless-sensor-networks-types-and-applications/>

Após uma análise às três principais topologias, estrela, árvore, malha e ponto-a-ponto concluiu-se que qualquer uma delas poderiam servir como base para este projeto.

A topologia em estrela, é uma topologia de comunicação que, cada nó ou nóculo comunica diretamente com o ponto de recolha. Um único ponto de recolha pode enviar e receber mensagens para um conjunto de nós remotos. Nas topologias em estrela, os nós não podem enviar mensagens entre eles. Isto permite que a comunicação entre os nós e o ponto de recolha seja de baixa latência. No entanto o ponto de recolha deverá estar a uma distância dos nós que permita que todas as comunicações sejam captadas.

As topologias em árvore são muitas vezes denominadas como topologia estrela em cascata. Nesta topologia, cada nó comunica com um nó diretamente acima na topologia e então esse comunica com o ponto de recolha. A principal vantagem desta topologia é a sua própria expansão e a deteção de erros. O problema é que esta rede baseia-se num conceito chamada *bus cable* e, se este falha toda a comunicação com os nós abaixo falha.

As topologias em rede permitem que a transmissão de dados possa ser feita entre nós, desde que estes estejam ao mesmo alcance de comunicação. Se um nó necessita de enviar informação para outro mas, este está fora do seu alcance então ele terá que enviar a mensagem para um nó intermédio, a mensagem será encaminhada até ao destino. A vantagem desta topologia é fácil isolamento e deteção de erros na rede, no entanto esta rede pode tornar-se complexa e por sua vez dispendiosa.

Por fim, nas topologia ponto-a-ponto não existe nenhum ponto central ou ponto de recolha para a obtenção de dados então, todos os nóculos são capazes de comunicar entre si. Atualmente esta é uma das topologias mais utilizadas e, visto que possui um único canal de comunicação oferece uma maior segurança dados que todos os nóculos podem servir como cliente e servidor. No entanto visto que necessitam de efetuar cálculos no nóculos então o consumo de energia torna-se mais elevado.

3.3.7 Escalabilidade

Escalabilidade é a capacidade de um processo, rede ou um *software* crescer e lidar com o aumento de carga adicionando novos recursos. Um sistema que seja descrito como escalável tem a vantagem de tratar e suportar um maior número de informação, aumentando a sua performance e eficiência.

A escalabilidade de um sistema pode ser medida pelos seguintes tipos:

Escalabilidade Administrativa

É a capacidade um sistema lidar com um maior número de acessos de utilizadores a ele próprio.

Escalabilidade Funcional

É a capacidade de atualizar ou melhorar um sistema adicionando novas funcionalidades sem interromper as actividades existentes.

Escalabilidade Geográfica

A escalabilidade geográfica é a capacidade de manter a eficácia de um sistema durante a expansão de uma área local para uma região maior.

Escalabilidade de Carga

A escalabilidade em termos de carga é a capacidade um sistema distribuído se expandir e lidar com um maior número de informação e carga, incluindo, a capacidade de se modificar, adicionar ou remover componentes do sistema para lidar com essa carga.

Escalabilidade de Geração

É a capacidade de um sistema escalar por adoptar novos componentes de novas gerações.

Escalabilidade Heterogénea

É a capacidade de adotar componentes de diferentes fabricantes.

Embora possam existir diferentes formas de tornar um sistema escalável, não apenas estas que foram descritas, o objectivo é tornar um sistema adaptável a diversos factores mediante as necessidades de cada organização. No entanto, a escalabilidade de um sistema pode ser dividida em dois grandes tipos independentemente do tipo adoptado.

Escalabilidade Vertical

Escalar um sistema verticalmente consistem em adicionar ou remover recursos a um único nó, por exemplo adicionar memória ou espaço a um computador. Quanto mais elementos um sistema possuir mais complexa será a sua manutenção, programação sofisticada para alocação de recursos e tarefas para lidar com problemas de latência entre nós, enquanto algumas aplicação não possam ser escaladas horizontalmente.

Escalabilidade Horizontal

A escalabilidade horizontal consiste em adicionar ou remover nós de um sistema, tais como adicionar um computador a um sistema distribuído. Por exemplo, uma aplicação *web* pode ser escalável horizontalmente por dividir o servidor em três. Aplicações tais como redes sociais lidam com tanta informação e carga que o maior supercomputador do mundo não conseguiria processar essa informação, essa informação tem que ser tratada por sistemas escaláveis.

3.4 Algoritmos de Prevenção

Com o aparecimento de tecnologia móveis que permitem a recolha de informação, tais como sensores, então começaram a surgir algoritmos que permitem aferir o risco de incêndio com base nas condições do meio ambiente. Nesta secção serão abordados três algoritmos de prevenção bem conhecidos na área de prevenção florestal, o método canadiano, coreano e de Angstrom.

3.4.1 Método Canadiano

O método canadiano tem como base o cálculo do incêndio do índice de acordo com o Fire Weather Index (FWI). Isso elimina a necessidade de comunicar todos os dados recolhidos pelos sensores para ponto de recolha, mas apenas alguns índices agregados, desta forma é possível reduzir o consumo de energia dos dispositivos.

O sistema FWI abrange seis índices padronizados, representados na Figura 3.5.

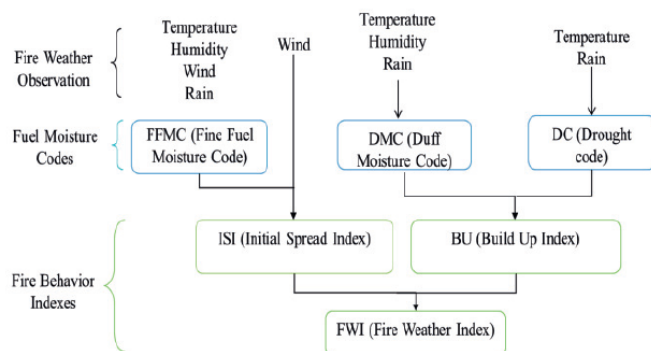


Figura 3.5: Estrutura de um Sistema FWI
Bouabdellaha, Nouredine e Larbi 2013

Os três primeiros níveis apresentam as variações do conteúdo diário de água de três tipos de combustível florestal de diferentes velocidades de secagem.

Os outros três estão relacionados com o comportamento do fogo e representam a velocidade de propagação do mesmo e a quantidade de combustível queimado.

No entanto esta abordagem apenas recolhe dados e determina o risco de incêndio durante o dia. São registados os seguintes dados:

- Temperatura;
- Humidade;
- Velocidade do Vento;
- Velocidade da Chuva durante as últimas 24 horas;
- É obrigatório especificar o mês em que os dados foram recolhidos.

Para obter o risco de incêndio é necessário resolver um conjunto de equações que, segundo o autor é necessário uma máquina com alto poder de processamento. O resultado da equação determina o nível de risco de deflagração de incêndio, de acordo com a Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Índice de risco de incêndio

Nível	Intervalo de Valores
Baixo	0-76
Moderado	77-84
Alto	85-88
Muito Alto	89-91
Extremo	+92

3.4.2 Método Coreano

Esta abordagem foi implementada no sistema Forest-fires Surveillance System (FFSS) desenvolvido na solução "A Design and Implementation of Forest-Forest Surveillance System based on Wireless Sensor Networks for South Korea Mountains" (Bayo et al. 2010).

A aplicação desenvolvida pelos autores, que utilizam esta abordagem como estudo apenas processam os dados obtidos e apresentam aos utilizadores. Também esta abordagem determina o nível de risco de deflagração de incêndio.

O risco é determinado pela seguinte Fórmula (3.1).

$$Y = 6.87 + (0.64 * P) + (0.15 * EF) + (1774,94/CS) \quad (3.1)$$

Em que EF é a humidade efectiva, CS a radiação solar do dia, P a chuva em Milímetro (mm).

O servidor ao receber o nível de risco calculado, de acordo com a Tabela 3.5, gera alertas de emergência para as entidades competentes.

Tabela 3.5: Cálculo de Risco de Incêndio

Y	Índice	Intervalo de perigo de fogo	Estado e Cor
10	100		Extremo (vermelho)
11	90	81-100	
12	80		
13	70	61-80	Alto (amarelo)
14	60		
15	50	<60	Baixo

3.4.3 Método de Angstrom

O cálculo do índice de Angstrom foi desenvolvido na Suécia e continua a ser utilizado em toda a Escandinávia. A aplicação deste índice prevê a recolha da humidade e da temperatura unicamente por volta das 14 horas do dia e, com base nos dados recolhidos, é possível aferir um grau associado de risco de deflagração de fogo.

Para o cálculo do risco de incêndio que se baseia essencialmente na temperatura e humidade relativa do ar, a equação do cálculo do índice é dada da forma como esta apresentada na Equação 3.2.

$$B = 0.05H - 0.1(T - 27) \quad (3.2)$$

Sendo que B é o índice de *Angstrom*, H a humidade relativa do ar em percentagem e T a temperatura do ar em graus *celsius*. Sempre que B for menor do que 2.5 então as condições atmosféricas estão favoráveis para a deflagração de incêndio. No entanto os resultados serão classificados segundo a Tabela de equivalências descrita na Tabela 6.3.

Tabela 3.6: Tradução do resultado do índice de *Angstrom*

Índice	Interpretação
$I > 4.0$	Improvável deflagração de incêndio
$4.0 > I > 3.0$	Condições pouco favoráveis para deflagração de incêndio
$3.0 > I > 2.5$	Condições favoráveis para deflagração de incêndio
$2.5 > I > 2.0$	Condições ainda mais favoráveis para deflagração de incêndio
$I < 2.0$	Muito provável a ocorrência de incêndio

3.5 Sumário

Neste capítulo foram estudados uma série projetos existentes na área da prevenção florestal, pode-se concluir que não existe o meio perfeito para a prevenção florestal. No entanto verifica-se que os projetos tendem a responder às necessidades impostas, por exemplo, em projetos em que a autonomia dos dispositivos não seja a prioridade ou um problema então os projetos acabam por falhar nesse sentido e o mesmo se aplica a todas as aplicações estudadas neste capítulo. No entanto, em relação às soluções baseadas em redes sensoriais, que é o foco desta dissertação, conclui-se que são poucas as soluções que se encontram a funcionar em ambiente real, todas as soluções apresentadas são apenas provas de conceito onde são testados vários dispositivos e algoritmos de detecção no entanto nenhum deles é suficientemente capaz de remover todos os falsos positivos ou negativos.

Ao longo deste capítulo foi possível responder às questões propostas:

Existem soluções eficazes na prevenção florestal?

Foram estudadas soluções desenvolvidas em três áreas distintas, redes sensoriais, drones e satélite. Das soluções apresentadas as redes sensoriais é um ponto onde pode ser mais explorado visto não existirem muitas soluções a serem utilizadas em ambiente real. No entanto as soluções onde são utilizados drones e satélites revelam dados interessantes no combate ao Incêndio, porém, a utilização destas tecnologias tornam-se algo dispendiosas.

Quais as grandezas que devem ser consideradas num projeto de prevenção florestal?

O foco desta dissertação é o combate ao incêndio pela prevenção por meio de redes sensoriais e a grandeza crucial é a exatidão.

Que tecnologias podem ser utilizadas prevenção florestal?

Existem um conjunto de tecnologias que podem ser utilizadas na prevenção florestal das quais, algumas delas foram estudadas e apresentadas neste capítulo, por meio de drones, satélites, processamento de imagem, sensores e outras.

Capítulo 4

Análise e Desenho da Solução

Tendo sido analisadas e comparadas as soluções adotadas no mercado e principalmente das tecnologias que podem ser utilizadas na resolução do problema (3), é necessário definir a solução proposta por esta dissertação.

Neste capítulo será explanada a abordagem a utilizar no desenvolvimento de uma solução para o problema, sendo apresentados os requisitos funcionais e não funcionais bem como o modelo de domínio da aplicação. A solução será especificada tendo em conta a melhor abordagem com base nos estudos efetuados, tendo em conta o baixo custo da mesma.

Neste capítulo irá ser abordado o **Outcome 4: Design da Solução**. No final do capítulo será possível obter a resposta às seguintes perguntas:

Qual a solução proposta para combater o problema estudado?

Quais as alternativas?

4.1 Análise

Nesta dissertação será apresentada e proposta uma solução para combater os incêndios florestais. Esta análise tem como o objetivo provar a capacidade da tecnologia moderna na prevenção florestal.

A solução proposta é baseada numa rede sensorial (WSN) capaz de recolher métricas do meio ambiente tais como a temperatura e a humidade relativa do ar, os dados recolhidos serão submetidos ao índice de Angstrom. O índice de Angstrom que, assim como apresentado anteriormente, embora não seja o mais completo devido à escassa informação, porém, este será o que terá o custo mais reduzido tornando assim o protótipo mais barato e mais fácil de implementar no caso de existir perda de equipamento durante um incêndio. É com base no índice calculado que o protótipo estará habilitado a fornecer dados às entidades competentes assim como gerar alertas quando o risco de incêndio se torna elevado. A abordagem a seguir será dividida em quatro partes sendo elas a topologia, o nodo, o ponto de recolha e o servidor central que serão explanados mais à frente neste capítulo.

Após a análise e definição daquilo que se pretende para o desenvolvimento do protótipo é importante definir os casos de uso bem como os requisitos funcionais e não funcionais.

4.1.1 Requisitos Funcionais

Dentro da engenharia de software o requisito funcional traduz-se na a materialização de uma necessidade ou solicitação realizada por um sistema informático. Porém, vários Requisitos Funcionais podem ser realizados dentro de uma mesma funcionalidade.

Os requisitos funcionais têm uma importância elevada no desenvolvimento de uma aplicação, pois, sem eles não há funcionalidades nos sistemas. Para a solução proposta, os requisitos funcionais são os seguintes:

- Receber dados dos Sensores;
- Gerar Alertas;
- Apresentar dados recolhidos;
- Apresentar Zonas de risco.

4.1.2 Requisitos não Funcionais

Dado que os requisitos funcionais definem o que o sistema fará, então a definição de um requisitos não funcional é definido como o sistema fará, embora a definição não seja assim tão clara.

Os requisitos não funcionais não estão relacionados diretamente às funcionalidades do sistema, mesmo assim é de grande importância no seu planeamento e desenvolvimento. Também em mente esta definição, os requisitos não funcionais propostos são os seguintes:

- Segurança;
- Performance;
- Baixo consumo de energia;
- Disponibilidade.

4.1.3 Casos de Uso

Definidas as necessidade ou requisitos da solução é necessária a esquematização dos casos de uso desta. Casos de uso ou Use Case (UC), não é mais que uma representação das funcionalidades propostas por um sistema, que está fortemente relacionada com os requisitos funcionais do sistema. Neste ponto, através da Figura 4.1, apresenta-se um diagrama de UC descritos, bem como uma narrativa da sequência de ações a desempenhar pelo ator de maneira a contemplar e perfazer essas mesmas funcionalidades.

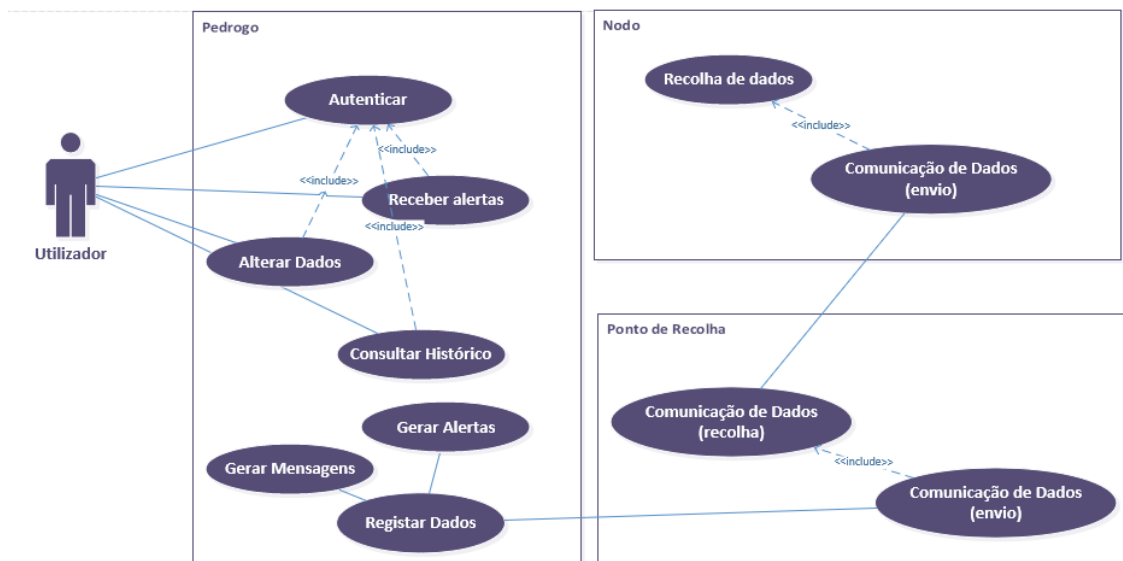


Figura 4.1: Casos de Uso

De seguida serão exemplificados dois casos de usos vitais para o utilizador entender a deteção do incêndio como forma de auxílio para a tomada de decisão no combate ao incêndio.

Caso de Uso: Alterar Dados

A solução baseada em redes sensoriais não é nada mais que um sistema de alertas com base em métricas recolhidas. No caso da solução abordada nesta dissertação os alertas terão como base na localização do utilizador e de onde a deteção do incêndio foi efetuado, assim sendo é importante o utilizador (que poderá estar associado a uma autoridade ou não) tenha os seus dados atualizados sendo esses o número de telefone, e-mail e localização geográfica. Os alertas da aplicação serão gerados para o utilizadores mais próximo da zona definido com risco de incêndio.

Caso de Uso: Consultar Histórico

O utilizador poderá consultar todos o histórico das leituras obtidas pela rede sensorial bem como do cálculo associado às leituras obtidos. Este consulta será importante para analisar, por exemplo, comportamentos relacionados com a sazonalidade.

4.1.4 Modelo de Domínio

Nesta secção será apresentado o modelo de domínio da aplicação web, nesta será o ponto de interação das entidades responsáveis pelo combate ao incêndio com os dados recolhidos pela rede sensorial. O diagrama de domínio é apresentado na Figura 4.2.

Cada entidade, seja ela quem for, terá um associado um ou vários contactos que possam ser úteis para a comunicação de informação relevante. Cada entidade terá também um utilizador de acesso à aplicação. Juntamente com os dados dos contactos e do utilizador

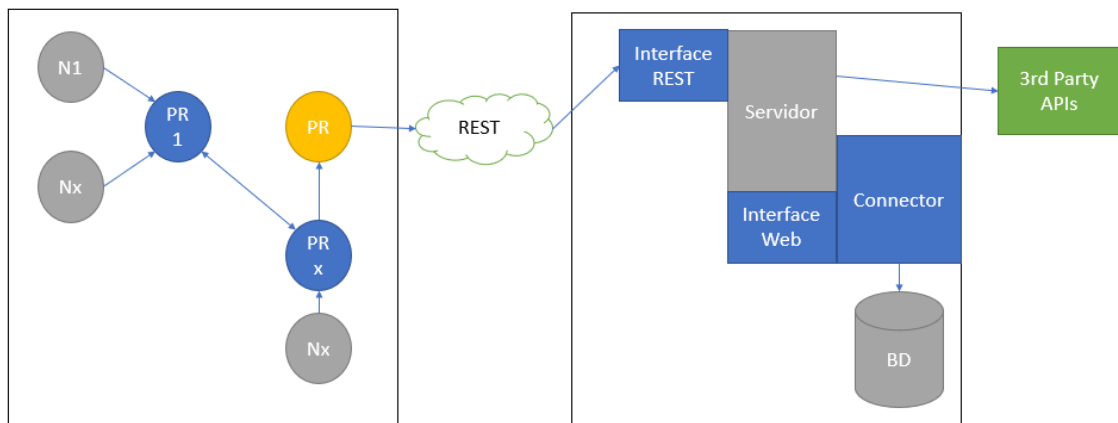


Figura 4.3: Arquitetura da solução

Rede Sensorial

A arquitetura apresentada na Figura 4.3 baseia-se numa topologia em *mesh* em que, cada nodo ou nó da rede WSN comunica unicamente e directamente com o ponto de recolha definido, este é denominado de *cluster* porque agrega um conjunto de nodos. Por seu lado, o *cluster* tem a capacidade de comunicar com todos os outros *clusters* da rede de forma a que a mensagem pode seja ao ponto de recolha - comumente denominado de *sink node*. Este ponto será aprofundado na secção 4.2.2.

Servidor Aplicacional

O processamento final dos dados é efetuado num servidor aplicativo que irá receber e guardar todos os dados dos pontos de recolha. O servidor irá disponibilizar uma cada de *webservices* REST para a obtenção dos dados recolhidos pela rede sensorial sem qualquer limite de interoperabilidade, dados esses que por sua vez ficarão registados numa base de dados. O servidor também terá uma interface *web* para a disponibilização dos dados recolhidos para os utilizadores da aplicação.

Na arquitetura também são referidas as API disponibilizadas por terceiros de forma a tornar possível a geração de alertas e apresentação de mapas.

4.2.2 Topologia

Qualquer das topologias estudadas nesta dissertação seriam apropriadas para o desenvolvimento de uma rede sensorial, porém, para a mais apropriada a que deveria de ser utilizada neste caso seria uma topologia *mesh*. Numa topologia *mesh* existem n pontos de recolha que comunicam entre si para que a informação possa ser recebida num ponto central da rede, a grande vantagem desta abordagem é a escalabilidade e a deteção de erros.

Neste contexto a escalabilidade é um ponto importante devido à área imensa a monitorizar que são as florestal, desta forma pode ser ultrapassado o limite de comunicação dos

sensores visto que este irão estar a uma distância mais próxima do ponto de recolha. Torna-se também mais simples a deteção de erros porque cada ponto de recolha apenas terá à escuta de um conjunto menor de sensores, sendo perceptível qual deles está a falhar.

Nodo

O objectivo do nodo ou nó numa rede sensorial é a sua capacidade de recolher informação, de ser facilmente transportável, de baixo custo e com autonomia limitada para a recolha de informação do meio que o envolve. No âmbito desta dissertação o nodo será utilizado para recolher a temperatura e a humidade relativa do ar para que esta possa ser posteriormente alvo de análise. No entanto, para a topologia a ser utilizada, topologia *mesh*, o nodo apenas irá comunicar os dados para o ponto de recolha responsável pelo *cluster* onde este está inserido.

Ponto de recolha: Cluster

Nesta solução o ponto de recolha (*cluster*) tem como objetivo recolher ou agregar todos os dados recebidos pelos nodos num ponto central, neste caso ele mesmo. De forma a ultrapassar limitações de alcance de comunicações e, como é previsto numa topologia *mesh*, estes pontos de recolha terão a capacidade de comunicar entre eles com a finalidade dos dados chegarem ao ponto de recolha (*sink node*).

Ponto de recolha: Sink Node

Conforme estudado e analisado, os nodos da rede sensorial sofrem de uma desvantagem crítica e que se torna crucial para a análise da informação recolhida, que é a capacidade de transmissão dos dados. Para que os dados possam ser analisados por um ponto central é necessário que os dados possam alcançar esse destino, o que normalmente acontece via internet, devido a esta ultrapassar a barreira da distância. Dado que os nodos estão limitados a uma determinada distância, é aí que surge a necessidade de um ponto de recolha (*sink node*) este, que ao contrário dos nodos, encontra-se num local seguro e protegido, não existindo problemas de ligação à internet nem problemas de autonomia.

Basicamente o objetivo do ponto de recolha (*sink node*) nesta solução será o reencaminhamento dos dados do nodo para o servidor servidor aplicacional.

4.2.3 Diagrama de Componentes

Na Figura 4.4 está retratado o diagrama de componentes do projeto. Os nodos enviarão os dados recolhidos para o ponto de recolha, ou *sink node*, e este terá a função de comunicar estes mesmos dados com o servidor central. O servidor central disponibiliza uma interface REST onde poderão ser enviados os dados relativos à temperatura e humidade bem como a localização de onde estes foram recolhidos - neste caso a localização do ponto de recolha. Se o índice de risco de incêndio for elevado será enviado um alerta por e-mail para as entidades competentes. Para o envio do alerta será utilizado um servidor Simple Mail Transfer Protocol (SMTP). Todos os dados recolhidos serão guardados numa base de dados relacional, este serão utilizados para consulta.

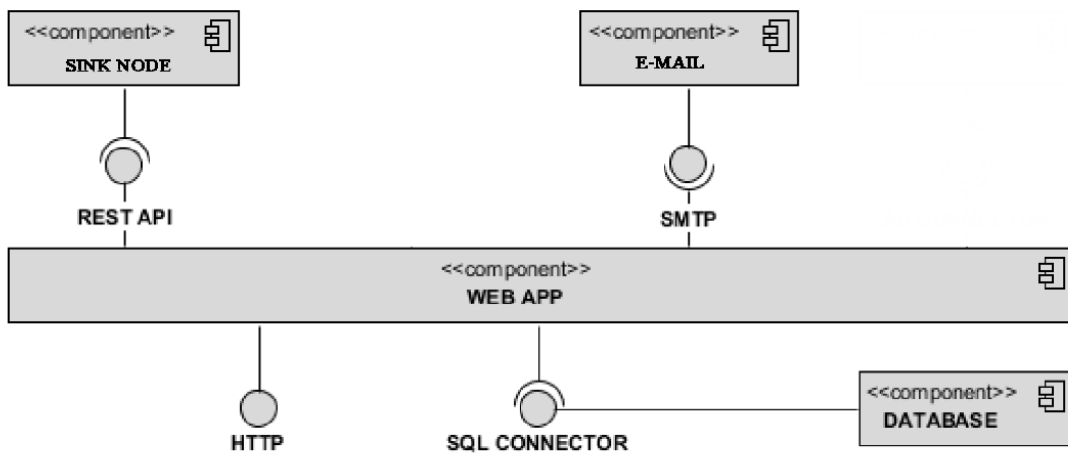


Figura 4.4: Diagrama de Componentes

4.2.4 Modelo de Dados

Será utilizada a base de dados relacional *MySQL* para o registo dos dados obtidos da rede sensorial. Os dados registados serão utilizados para o cálculo do índice do risco de incêndio bem como para consultas e alertas. Na Figura 4.5 encontra-se retratado o modelo de dados da aplicação.

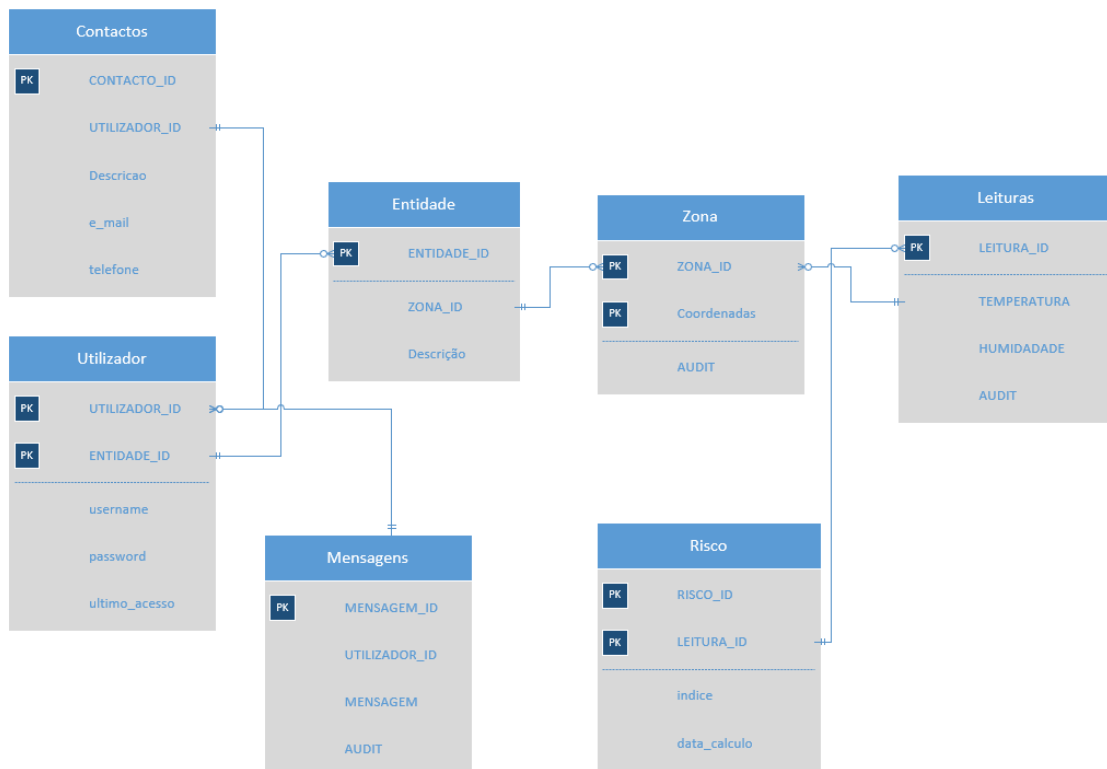


Figura 4.5: Modelo de Dados

4.2.5 Diagrama de Classes

O seguinte diagrama de classes, retratado no Figura 4.6 servirá como suporte para o desenvolvimento da aplicação web.

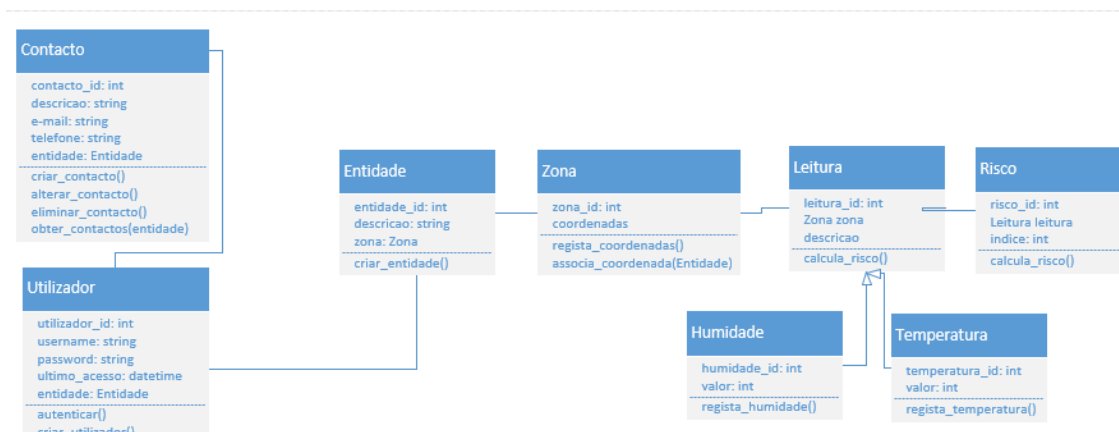


Figura 4.6: Diagrama de Classes

4.2.6 Interface Gráfica

Será implementada uma aplicação web onde será possível consultar os dados recolhidas pela rede sensorial. Cada entidade competente para o combate ao incêndio terá um utilizador que servirá para consultar os dados da rede sensorial. As entidades terão uma localização e, com base nessa localização será apresentado o risco de incêndio mais perto dessa localidade. Os dados serão apresentados por meio da API do *Google Maps*.

Nesta subsecção serão apresentados os *mock-ups* das páginas da aplicação web, nesta será possível efetuar as seguintes operações:

- Autenticação;
- Consulta de Histórico;
- Criação/Modificação de Contactos;
- Consulta do Risco em tempo-real.

Autenticação

Nesta área as entidades competentes poderão autenticar na aplicação. O utilizador e o acesso, conforme retratado na Figura 4.7, terão que ser os mesmos que aqueles definidos na base de dados da aplicação.

Diagrama de uma página de autenticação. No topo, o nome "Pedrogo" é exibido em uma fonte grande e centralizada. Abaixo dele, há dois campos de entrada de texto empilhados verticalmente: o primeiro é rotulado "Utilizador" e o segundo é rotulado "Password". Ambos os campos são retângulos com bordas finas. Abaixo dos campos, há um botão de ação rotulado "Autenticar", que é um retângulo com cantos arredondados e um fundo cinza claro.

Figura 4.7: Página: Autenticação

Mapa

Após autenticação com sucesso na aplicação, será apresentado ao utilizador o mapa com o risco atual de deflagração de incêndio da zona mais próxima deste. O utilizador poderá percorrer o mapa e consultar todos as zonas em que foram registados dados pela rede sensorial. Um exemplo da página está retratado na Figura 4.8. Ao clicar em cada zona, será apresentada a informação do risco de incêndio.



Figura 4.8: Página: Mapa

Consulta de Histórico

Nesta área poderão ser consultados todos os dados recolhidos por zona pela rede sensorial. Em forma de gráfico será apresentada temperatura, a humidade e o nível de risco a cada momento da recolha. Um exemplo da página está retratada na Figura 4.9.

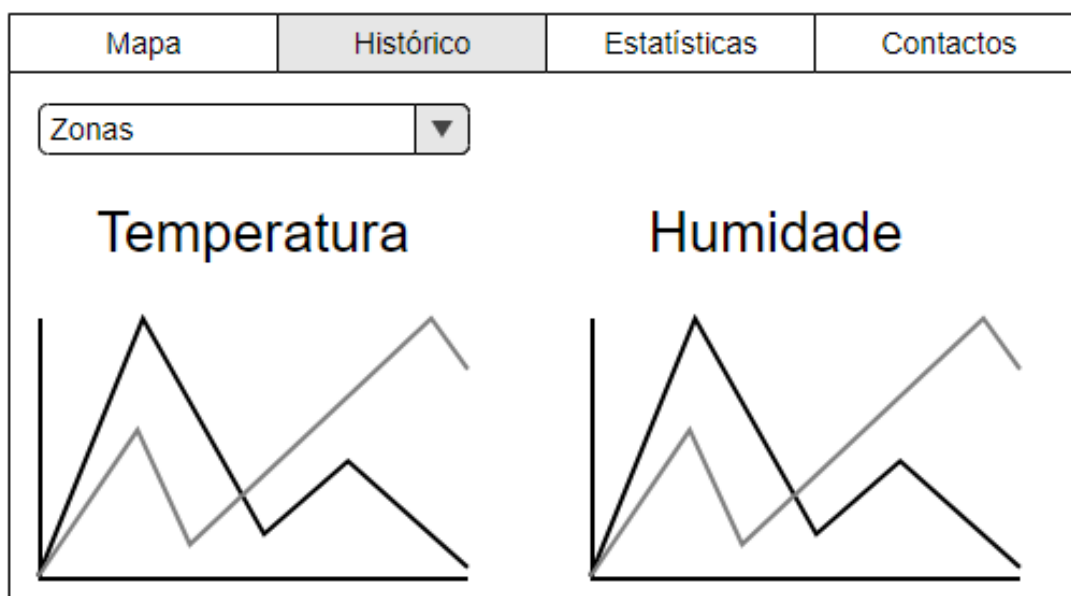


Figura 4.9: Página: Histórico

Contactos

Nesta área o utilizador poderá definir um ou mais contactos, estes servirão como base para a geração de alertas. Será alertada a entidade mais próxima da área em risco de deflagração, para tal será enviado um e-mail para todos os contactos da entidade. Um exemplo da página está retratada na Figura 4.10.

Mapa	Histórico	Estatísticas	Contactos					
<table border="1"><tr><td>Contacto 1</td></tr><tr><td>Contacto 2</td></tr><tr><td>Contacto 3</td></tr><tr><td>Contacto 4</td></tr><tr><td>Contacto 5</td></tr></table>				Contacto 1	Contacto 2	Contacto 3	Contacto 4	Contacto 5
Contacto 1								
Contacto 2								
Contacto 3								
Contacto 4								
Contacto 5								
<table><tr><td>Criar</td><td>Modificar</td><td>Eliminar</td></tr></table>				Criar	Modificar	Eliminar		
Criar	Modificar	Eliminar						

Figura 4.10: Página: Contactos

4.3 Protótipo

Nesta secção será abordada a constituição, considerada ideal, da solução de forma a cumprir com os objetivos delineados na especificação desta dissertação.

Como mencionado na secção 4.1, o sistema será constituído por três componentes principais: o nodo, o ponto de recolha e o servidor central. O mais importante destes é, sem dúvida, o nodo, porque este será responsável pela recolha de dados e comunicação dos mesmos. De todos os motes estudados, o que mais se adequa ao problema em estudo, pelos dados recolhidos, é o mote *Mica2*. O mote *Mica2* encontra-se equipado com um sensor de temperatura e humidade o que vai de encontro com o algoritmo a ser utilizado para o cálculo do índice de deflagração de incêndio. O mote a utilizar tem um alcance de comunicação de 75 a 100 metros o que, embora não seja um alcance elevado, a topologia *mesh* será importante para resolver o problema da distância e escalabilidade.

De X em X tempo serão recolhidas informação relativas ao meio ambiente, neste caso a temperatura e humidade. Para evitar *outliers* serão recolhidas cinco leituras de cada métrica e então será efetuada a média. O valor final será enviado para o ponto de recolha dado que o nodo tem limitações em termos de comunicações, não sendo possível enviar diretamente para um servidor para o processamento dos dados. O objetivo do ponto de recolha, como

o próprio nome indica, é a obtenção dos dados recolhidos pelos nodos e, então sim, com ligação à internet enviar os dados para o servidor. A comunicação entre o ponto de recolha e o servidor central será efetuada por uma interface REST.

Por sua vez, o servidor central terá um servidor aplicacional com uma interface REST, uma base dados para o registo dos dados e uma interface web para a consulta dos valores recolhidos.

com base nos dados recolhidos por todos os nodos da rede, o protótipo irá aplicar o índice de *Angstrom* de forma a aferir o grau de risco de incêndio. Assim sendo, o protótipo deverá ser capaz de enviar alertas em forma de e-mail para que as entidades competentes possam agir em conformidade. Para o envio de e-mails por parte da aplicação será utilizada a API JavaMail, juntamente com SMTP do *Gmail* sendo que será utilizado o protocolo Transport Layer Security (TLS).

Todos os dados recolhidos, alertas e os cálculos aplicados poderão ser consultados no mapa por meio de uma interface *web* recorrendo à API do Google Maps. A API do Google Maps permite que uma aplicação, neste caso *web*, seja integrada com o sistema de navegação da *Google*. Esta API é implementada em *JavaScript* para apresentar ao utilizador as localizações no mapa. Para que a integração com a API possa ser realizada é necessário obter uma *key* da *Google*.

4.3.1 Cobertura

A cobertura dos nodos depende totalmente de um aspecto, a comunicação dos dados com o ponto de recolha mais próximo. Conforme especificado, será utilizado o mote *Mica2* e este tem um alcance de comunicação de 75m sendo que este valor pode variar mediante de factores geográficos. Aplicando um nível de confiança de 95% é possível afirmar, em termos puramente teóricos, que o nodo está habilitado a comunicar seguramente a uma distância de 71.25 m. Visto que os nodos estarão a 71.25m de distância entre si então, chega-se à conclusão, que cada nodo é capaz de monitorizar uma área de $5041m^2$.

Pode-se afirmar que será necessário um nodo para cada $5041m^2$ então, para efeito de análise, será comparado com a área ardida em Pedrogão Grande nos incêndios de 2017. Em 2017, em Pedrogão Grande, foram queimados 53.000 Hectares (ha) de floresta ardida o que corresponde a $53.000.000m^2$. Para cobrir a área ardida de Pedrogão Grande seria necessário 10.514 nodos na rede sensorial, o que corresponde a um custo de 1.051.400 euros apenas em nodos.

4.3.2 Autonomia

A autonomia é um dos aspetos cruciais de uma rede sensorial visto que os dispositivos são alimentados por fontes de energia finitas. O dispositivo *Mica2* será utilizado tanto como nodo como ponto de recolha, então é necessário levar em conta o consumo de energia para cada um dos cenários.

O nodo irá estar maior parte do tempo em inatividade e, mediante um intervalo de tempo definido, o nodo irá passar a um estado de atividade para recolher a informação e enviar para o ponto de recolha. Por outro lado, o ponto de recolha estará que estar sempre à escuta de dados. O mote *Mica2* consome 81mW no estado de atividade, 30mW enquanto está à

escuta e 0.003mW no estado de inatividade (Ning Sun e Jeong 2013), sendo o dispositivo alimentado a 5V.

Utilizando uma pilha de 2.000Miliampere (mA) o dispositivo em atividade irá ter uma autonomia de 123 (5 dias) horas. O dispositivo enquanto estiver à escuta terá uma autonomia de 333 horas (14 dias). Em inatividade o dispositivo terá uma autonomia de 3.333.333 horas equivalendo a 139 dias. No entanto, se for utilizada uma segunda pilha a autonomia será dobrada.

4.4 Alternativas

Nesta secção serão apresentadas duas alternativas às redes sensoriais para a prevenção e detenção de incêndios florestais, ambas as soluções são baseadas em processamento de imagem. A primeira alternativa por meio de imagens Closed-Circuit Television (CCTV) e a segunda por meio de imagens de satélite.

4.4.1 Processamento de imagem CCTV

A primeira alternativa às redes sensoriais a ser apresentada nesta dissertação, é a prevenção florestal por meio de imagens de vídeo CCTV. Ao longo dos anos têm sido feitos avanços significativos na área do processamento de imagem. Com recurso a imagens, sendo elas estáticas ou não, é possível aplicar algoritmos onde se pode detetar o surgimento de fumo ou fogo. Uma das vantagens da utilização destas tecnologias é a capacidade de não se perder os dispositivos em caso de incêndio e, no caso da tecnologia CCTV, obter imagens em tempo real ou com *delay* reduzido. As desvantagens é o custo, seja do dispositivo mas também do desenvolvimento e também das novas leis da proteção de dados.

4.4.2 Processamento de imagens de Satélite

Outra tecnologia interessante é o processamento de imagens de satélite, embora as imagens possam ser estáticas é possível aplicar algoritmos para entender o significado de certos *pixels* em algumas zonas a monitorizar. Tecnologias deste género são utilizadas para a deteção de plantação de cannabis (M. Houmi e Balz 2018). Uma das vantagens desta tecnologia é a durabilidade, autonomia e segurança do dispositivo. No entanto, a grande desvantagem pode prender-se com o tempo de actualização das imagens, se não for possível captar imagens no momento exato da deflagração de incêndio não será possível atuar no momento certo.

4.5 Sumário

Neste capítulo foi possível perceber o que será feito, no âmbito desta dissertação, para a prevenção florestal recorrendo a redes sensoriais. A longo do capítulo foi apresentada a análise do problema e da sua solução bem como foi especificado o protótipo ideal para solucionar o problema em questão.

Basicamente o protótipo especificado, com base numa rede de sensores, terá nodos que

têm a função de recolher a temperatura e humidade do ar com base nas leituras dos respectivos sensores, posteriormente os dados serão enviados para o ponto de recolha que, por sua vez, irá reencaminhá-los para um servidor central, sendo que, juntamente com os dados dos nodos será enviada a localização do ponto de recolha. É o servidor central que os dados serão processados e serão gerados os respectivos alertas de risco de incêndio. Todos os dados estarão disponíveis por meio de uma interface web.

Neste ponto é possível dar a resposta às perguntas colocadas inicialmente.

Qual a solução proposta para combater o problema estudado?

Para combater o problema dos incêndios florestais será utilizada uma rede sensorial capaz de recolher a temperatura e humidade do meio ambiente e enviar os dados recolhidos para que estes possam ser expostos a um algoritmo que irá aferir o risco de incêndio. Com base no resultado obtido o protótipo enviará mensagens de alerta.

Quais as alternativas?

Qualquer solução em que o objetivo é a prevenção florestal recorrendo a meios tecnológicos seria uma alternativa viável. No entanto, uma das alternativas mencionadas foi a prevenção por meio de processamento de imagem por CCTV e satélite.

Capítulo 5

Implementação da Solução

Tendo sido estudadas as tecnologias do mercado e a respetiva especificação da solução, é neste ponto onde será construída uma demonstração do protótipo analisado que será submetido a testes de forma a validar, ou não, a análise efetuada ao problema em estudo. Neste capítulo serão explanados todas as fases da construção do protótipo e a interação entre cada um dos componentes. A demonstração a ser desenvolvida será semelhante ao protótipo com o objetivo de cumprir alguns dos pressupostos da solução tais como a recolha de dados e análise dos mesmos. O funcionamento da aplicação será abordado de uma forma técnica, para que se torne clara a abordagem tomada. Neste capítulo será abordado o **Outcome 6: Construção da Solução**.

No final do capítulo será dada a resposta às seguintes perguntas:

A demonstração implementada reflete a solução especificada?

Como foi implementado o Nodo?

Como foi implementado o Ponto de Recolha?

Como foi implementado o Servidor Aplicacional?

5.1 Nodo

O nodo é o dispositivo totalmente independente capaz de recolher as informações necessário do meio envolvente de forma a que estes sejam sujeitos a uma análise posterior. Para o desenvolvimento do nodo ou dos nodos foi utilizado o micro-controlador Arduino e, para a recolha dos dados a analisar, a temperatura e a humidade o sensor *DHT22*. Ao contrário do seu homólogo *DHT11* o sensor *DHT22* é capaz de obter leituras da humidade num intervalo de 0% a 100% com uma precisão entre 2% a 5%. A temperatura recolhida pelo sensor é obtida com uma precisão de 0.5 graus celsius e, a leitura da mesma vai desde os -40 aos 80 graus celsius. O sensor *DHT22* é um dispositivo de baixo custo e altamente fiável nas suas leituras, porém, apenas é possível efetuar uma leitura de 2 em 2 segundos. Por fim, as informações recolhidas são enviadas para o ponto de recolha por meio de ondas rádio.

5.1.1 Recolha dos dados

Como mencionado anteriormente a responsabilidade pela recolha dos dados fica unicamente ao encargo do sensor *DHT22*, este foi assemblado a uma *breadboard* que por sua vez faz a ligação ao Arduino.

Para a obtenção dos dados por parte do Arduino é necessário utilizar a biblioteca *DHT* e, a leitura da humidade e da temperatura é tão simples como apresentado no seguinte Excerto de Código 5.1.

```
1 DHT.temperature;  
2 DHT.humidity;  
3
```

Excerto de Código 5.1: Leitura da temperatura e humidade dos sensores

Como Evitar Outliers

Os *outliers* são dados que se diferenciam drasticamente de todos os outros. Em outras palavras, um *outlier* é um valor que foge da normalidade e que pode causar anomalias nos resultados obtidos por meio de algoritmos e sistemas de análise.

Para tratar um possível *outlier* são efetuadas cinco leituras dos valores da temperatura e da humidade. O valor final será a média das leituras efetuadas. Segue-se um Excerto de Código 5.2 que exemplifica o tratamento dos *outliers* no nodo do protótipo *Pedrogo*.

```
1 int outlier_control = 5;  
2 double temperature = 0;  
3 double humidity = 0;  
4  
5 for(int i = 0; i < outlier_control; i = i + 1){  
6     temperature = temperature + DHT.temperature;  
7     humidity = humidity + DHT.humidity;  
8     delay(2000);  
9 }  
10  
11 temperature = temperature / outlier_control;  
12 humidity = humidity / outlier_control;  
13
```

Excerto de Código 5.2: Remoção de outliers

Na linha **1** do excerto apresentado (5.2) é definido o número de leituras pretendido que, para o caso serão cinco leituras de cada valor. Nas linhas **6** e **7** as leituras são incrementadas para aplicar o cálculo da média. O *delay* de dois segundos representado na linha **8** do excerto de código é essencial para obter valores corretos do sensor *DHT22*.

Para obter um valor fidedigno da temperatura e da humidade é necessário aguardar 10 segundos.

5.1.2 Transmissão de dados

No final e, após a obtenção das leituras recolhidas é necessário enviar os dados para um ponto de recolha. A comunicação entre o nodo e o ponto de recolha é efetuadas utilizando o módulo de transmissão *CC1101*. Dependendo das condições do meio envolvente, este módulo é capaz de comunicar a uma distância de 300 a 500 metros. A comunicação entre o transmissor (o nodo) e o recetor é efetuada utilizando a modulação em frequência Gaussian Frequency-shift keying (GFSK). A ideia da modulação em frequência GFSK é variar a frequência para representar símbolos binários diferentes, porém a mudança da frequência mantêm a informação contida no sinal. O ruído geralmente afeta a amplitude do sinal e não a frequência, por isso, a utilização da modulação GFSK reduz potencialmente a interferência do sinal.

Para que a comunicação seja efetuada é necessário utilizar as bibliotecas *EEPROM* e *CC1101* no micro-controlador Arduino. Segue-se o Excerto de Código 5.3 para a transmissão dos dados recolhidos pelo nodo para o ponto de recolha.

```
1 void RF_sendData(String str) {
2     packet.length = str.length();
3
4     for (byte i = 0; i < str.length(); i++) {
5         packet.data[i] = str[i];
6     }
7
8     if(cc1101.sendData(packet))
9         Serial.println("Dados Enviados");
10 }
11
```

Excerto de Código 5.3: Transmissão de dados

5.2 Ponto de Recolha

O propósito do ponto de recolha é, como o próprio nome indica, recolher as leituras recolhidas pelos diversos nodos. O ponto de recolha é basicamente um dispositivo intermediário entre o nodo e o servidor central à escuta de dados. Para o ponto de recolha também foi utilizado o micro-controlador Arduino, porém, ao contrário do nodo este dispositivo tem energia direta - não necessita de ser alimentada por uma alimentação móvel externa. O ponto de recolha, para o protótipo em desenvolvimento irá comunicar pela porta de série.

5.2.1 Receção de dados

A receção dos dados enviados pelos nodos é da responsabilidade do ponto de recolha, para tal, foi também utilizado o módulo de comunicação *CC1101* de mesma forma como foi feito no nodo. Para que a receção dos dados seja possível é novamente necessário utilizar as bibliotecas *EEPROM* e *CC1101*.

Segue-se um Excerto de Código 5.4 que exemplifica o método de receção dos dados.

```

1   if(packetAvailable){
2       // dados recebidos, desativar o metodo de interrupcao para a
rececao de dados
3       detachInterrupt(0);
4       packetAvailable = false;
5
6       if(cc1101.receiveData(&packet) > 0){
7           if(packet.crc_ok && packet.length > 0){
8
9               for(int j = 0; j < packet.length; j++){
10                  txtMsg += (char)packet.data[j];
11              }
12
13              check_data = strstr (txtMsg, "pedrogo");
14
15              if (check_data) {
16                  Serial.print("Processar Mensagem");
17                  ...
18              } else {
19                  Serial.print("Mensagem desconhecida");
20                  ...
21              }
22              txtMsg = "";
23          }
24          // ativa a interrupcao wireless para a rececao de dados
25          attachInterrupt(0, cc1101signalsInterrupt, FALLING);
26      }
27

```

Excerto de Código 5.4: Recepção de dados

Sempre que são recebidos dados pelo módulo *CC1101* é despoletada uma interrupção pelo micro-controlador Arduino e, sempre que essa ação ocorre significa que existem dados para serem interpretados.

5.2.2 Validação dos dados

Um dos problemas e desafios da comunicação por radio frequência é perceber se a mensagem destina-se ao dispositivo recetor. Uma solução encontrada para evitar receber dados por engano que possam influenciar os resultados finais passa por colocar uma *tag* na mensagem. O nodo transmite a mensagem no seguinte formato:

[aplicação]#[temperatura*100]#[humidade*100]#nodo

A título de exemplo, para comunicar uma leitura da temperatura de 20 graus celsius e uma humidade de 52% o resultado esperado é o seguinte:

pedrogo#2000#5200#1

O valor nodo da *tag* enviada é o identificador do nodo, desta forma é possível saber qual o nodo que efetuou a leitura.

5.2.3 Comunicação com o Servidor Aplicacional

Como mencionado neste capítulo, o ponto de recolha é um dispositivo que não está limitado às condições ao meio envolvente (isto é, o meio em análise) então este pode ter uma ligação à Internet e energia ilimitada. Para que a comunicação entre o ponto de recolha e o servidor aplicacional seja efetuada foi utilizada a porta de série.

O servidor aplicacional consegue desmaterializar a mensagem enviada pelo nodo então, o ponto de recolha, terá apenas que reencaminhar a mensagem recebida para o servidor. Segue-se o Excerto de Código 5.5 que exemplifica o envio da informação para o servidor utilizando a porta série.

```
1
2 void setup() {
3   ...
4   // inicializar porta serie
5   Serial.begin(9600);
6   ...
7 }
8
9 void loop() {
10  ...
11  Serial.println(txtMsg);
12  ...
13 }
14
```

Excerto de Código 5.5: Envio da mensagem para o servidor aplicacional

Basicamente para comunicar pela porta série basta inicializar a mesma com o comando na linha **5** e escrever a mensagem consoante a linha **11**. Assim, estando o servidor aplicacional configurado corretamente na mesma porta série, a mensagem fica disponível para ser intercetada.

5.3 Servidor Aplicacional

O servidor aplicacional é responsável por receber todos os dados escritos na porta série pelo ponto de recolha que, por sua vez foram recolhidos pela rede de sensores, utilizando uma aplicação *Java*. Para além da recolha de informação o servidor comunica com uma base de dados *MySQL* e disponibiliza uma aplicação *web* para a consulta dos mesmos.

5.3.1 Receção de dados

Como mencionado, para tornar possível a integração dos dados com o servidor aplicacional e sua disponibilização para, neste caso a aplicação *WEB*, foi criada uma aplicação *Java* que estará à escuta de mensagem pela porta série. O objetivo principal desta recolha de informação é calcular o índice de *Angstrom* e, mediante o resultado obtido, gerar alertas para os utilizadores, sendo que os dados ficarão registados numa base de dados.

No Excerto de Código 5.6 é apresentada como se parametriza a porta de série no servidor aplicativo a fim de receber mensagem pela mesma.

```

1 public class SerialReceiver extends javax.swing.JFrame implements
  SerialPortEventListener {
2     SerialPort serialPort;
3     private static final String PORT_NAMES[] = {
4         "COM4", // Windows
5     };
6     private BufferedReader input;
7     private OutputStream output;
8     private static final int TIME_OUT = 2000;
9     private static final int DATA_RATE = 9600;
10    ...
11

```

Excerto de Código 5.6: Parametrização da porta série

Na linha **4** é definida qual a porta Universal Serial Bus (USB) em que o ponto de recolha está configurado, enquanto que na linha **9** é definida em que taxa os dados são enviados, neste caso terá que ser o mesmo que foi parametrizado no Excerto de Código 5.5.

Após a parametrização da porta de série é necessário é necessário que a mesma fique à escuta de mensagem. A inicialização da porta de série é exemplificada no Excerto de Código 5.7.

```

1 public void initialize() {
2     CommPortIdentifier portId = null;
3     Enumeration portEnum = CommPortIdentifier.getPortIdentifiers();
4
5     while (portEnum.hasMoreElements()) {
6         CommPortIdentifier currPortId = (CommPortIdentifier)
portEnum.nextElement();
7         for (String portName : PORT_NAMES) {
8             if (currPortId.getName().equals(portName)) {
9                 portId = currPortId;
10                break;
11            }
12        }
13    }
14
15    if (portId == null) {
16        System.out.println("Could not find COM port.");
17        return;
18    }
19
20    try {
21        serialPort = (SerialPort) portId.open(this.getClass().
getName(),
22            TIME_OUT);
23
24        serialPort.setSerialPortParams(DATA_RATE,
25            SerialPort.DATABITS_8,
26            SerialPort.STOPBITS_1,
27            SerialPort.PARITY_NONE);
28
29        input = new BufferedReader(new InputStreamReader(serialPort.
getInputStream()));
30        output = serialPort.getOutputStream();

```

```
31
32     serialPort.addEventListener(this);
33     serialPort.notifyOnDataAvailable(true);
34 } catch (Exception e) {
35     System.err.println(e.toString());
36 }
37 }
38 }
```

Excerto de Código 5.7: Inicialização da porta série

Estando a porta série devidamente configurada e inicializada, é possível obter os dados recolhidos pela rede sensorial. O Excerto de Código 5.8 exemplifica como os dados são obtidos da porta série.

```
1 public synchronized void serialEvent(SerialPortEvent oEvent) {
2     if (oEvent.getEventType() == SerialPortEvent.DATA_AVAILABLE) {
3         try {
4             String inputLine = input.readLine();
5             ...
6         } catch (Exception e) {
7             System.err.println(e.toString());
8         }
9     }
10 }
11 }
```

Excerto de Código 5.8: Obter dados da porta série

A variável da linha **4** possui a mensagem recebida pela porta série, porém é necessário desmaterializar a informação para se obter a temperatura e humidade que é o código em falta da linha **5** e que está exemplificado no Excerto de Código 5.9.

```
1 String [] parts = inputLine.split("#");
2
3 Double humidade = Double.parseDouble(parts[2]);
4 Double temperatura = Double.parseDouble(parts[1]);
5
```

Excerto de Código 5.9: Desmaterializar as leituras

5.3.2 Geração de Alertas

Na receção dos valores recolhidos pelos nodos é calculado de imediato o índice de *Angstron*. A equação para o cálculo do índice de *Angstron* foi explanada anteriormente na fórmula identificada como 3.2. O seguinte excerto de código 5.10 representa o código utilizado pela aplicação para o cálculo do índice.

```
1     index = 0.05 * humidade - (0.1 * temperatura - 0.1 * 27);
2
```

Excerto de Código 5.10: Cálculo do índice de Angstron

Os alertas são despoletados em forma de e-mail mediante o resultado do cálculo do índice de *Angstron*, neste caso, é enviado um alerta sempre que o resultado da equação seja inferior a 3 como exemplificado no Excerto de Código 5.11.

```

1 if (index < 3 && index >= 2.5) {
2     send_email_v2(index, "Condições favoráveis para deflagração de
   incêndio");
3 } else if (index < 2.5 && index >= 2.0) {
4     send_email_v2(index, "Condições ainda mais favoráveis para
   deflagração de incêndio");
5 } else if (index < 2.0) {
6     send_email_v2(index, "Muito provável a ocorrência de incêndio");
7 }
8

```

Excerto de Código 5.11: Cálculo do índice de Angstrom

Os alertas serão gerados para os utilizadores cuja entidade esteja mais próxima do local em risco de incêndio. O Excerto de Código 5.12 que se segue apresenta a distância em Quilómetro (KM) entre duas localizações.

```

1     private static double distance(double lat1, double lon1, double
   lat2, double lon2) {
2         double theta = lon1 - lon2;
3         double dist = Math.sin(deg2rad(lat1)) * Math.sin(deg2rad(lat2))
   + Math.cos(deg2rad(lat1)) * Math.cos(deg2rad(lat2)) * Math.cos(
   deg2rad(theta));
4         dist = Math.acos(dist);
5         dist = rad2deg(dist);
6         dist = dist * 60 * 1.1515 * 1.609344; // resultado em KM
7
8         return (dist);
9     }
10

```

Excerto de Código 5.12: Distância entre duas coordenadas

O alerta do risco de deflagração de incêndio é enviado para todos os endereços de e-mail que a entidade tenha registado no *Back Office*. O envio de e-mail é efetuado utilizando a API do *GMAIL* da *Google*. Segue-se o Excerto de Código 5.13 para o envio de e-mail.

```

1     ...
2     final String username = "josue.ribeiro.90@gmail.com";
3     final String password = "*****";
4
5     Properties props = new Properties();
6     props.put("mail.smtp.auth", "true");
7     props.put("mail.smtp.starttls.enable", "true");
8     props.put("mail.smtp.host", "smtp.gmail.com");
9     props.put("mail.smtp.port", "587");
10
11     Session session = Session.getInstance(props,
12     new javax.mail.Authenticator() {
13         protected PasswordAuthentication getPasswordAuthentication() {
14             return new PasswordAuthentication(username, password);
15         }
16     });
17
18     try {
19
20         Message message = new MimeMessage(session);
21         message.setFrom(new InternetAddress(username));

```

```
22     message.setRecipients(Message.RecipientType.TO,  
23         InternetAddress.parse(contactos_entidades));  
24     message.setSubject("Risco de Incendio");  
25     message.setText(mensagem);  
26  
27     Transport.send(message);  
28  
29 } catch (MessagingException e) {  
30     throw new RuntimeException(e);  
31 }  
32 ...  
33
```

Excerto de Código 5.13: Envio de alertas via e-mail

Ao mesmo tempo que é enviado um alerta para todos os contactos registados na aplicação, também é registada uma mensagem que pode ser consultada no *Back Office* da aplicação.

5.3.3 Back Office

O *Back Office* do protótipo *Pedrogo* é uma aplicação *Web* alojada no servidor aplicacional *GlassFish Server Open Source Edition 4.1.1*. A aplicação *Web* é servida por uma base de dados *MySQL* que regista todas as leituras recolhidas pelos nodos e enviadas pelos pontos de recolha. Em termos básicos o objetivo da aplicação *Web* é dar um aspeto visual aos dados. O *layout* utilizado na aplicação baseia-se na ferramenta de desenvolvimento *web Bootstrap*.

Autenticação

A autenticação é a primeira página da aplicação que, permite validar o utilizador que tenta aceder ao *Pedrogo*. Caso os dados inseridos sejam válidos então será criada uma sessão para o utilizador e, enquanto esta for válida não é necessário validar novamente as credenciais do utilizador. Na Figura 5.1 está representada a página de autenticação da aplicação.

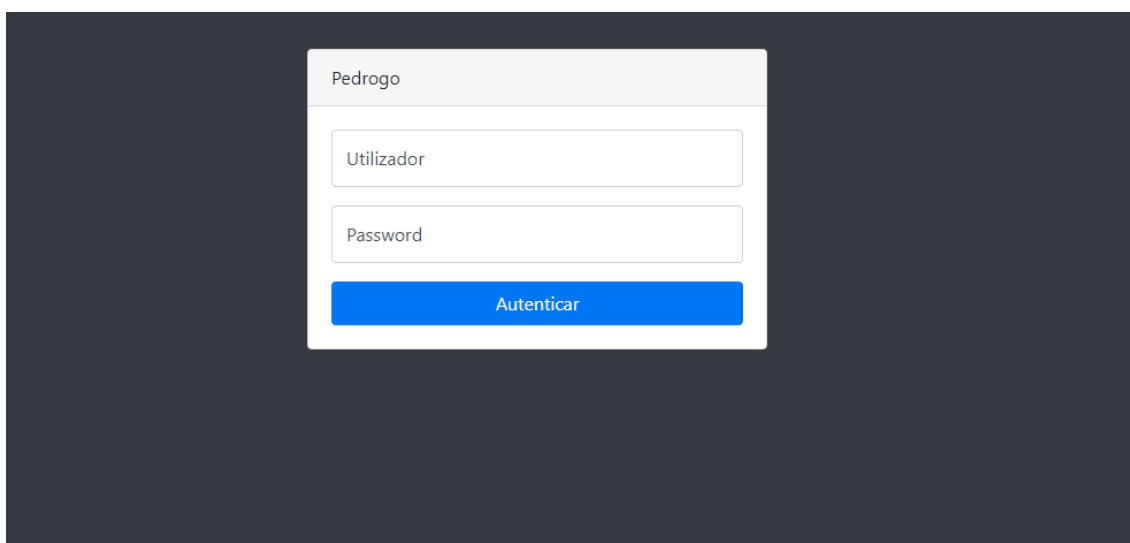


Figura 5.1: Back Office: Autenticação

Página Inicial

A página inicial da aplicação é sempre apresentada ao utilizador em caso de sucesso na autenticação das credenciais. Nesta página é apresentada o risco de deflagração de incêndio mais próximo do utilizador. A proximidade entre o utilizador e o local de deflagração tendo como base primeiro o local, ou seja, para cada local é pesquisado qual o utilizador mais próximo e não ao contrário - desta forma evita-se a replicação de locais entre vários utilizadores. Na Figura 5.2 é apresentada a página inicial da aplicação, nesta é visível o mapa com o local registado acompanhado do índice de *Angstron* junto com a informação do nível de gravidade, estes estão categorizados como baixo, médio e alto.

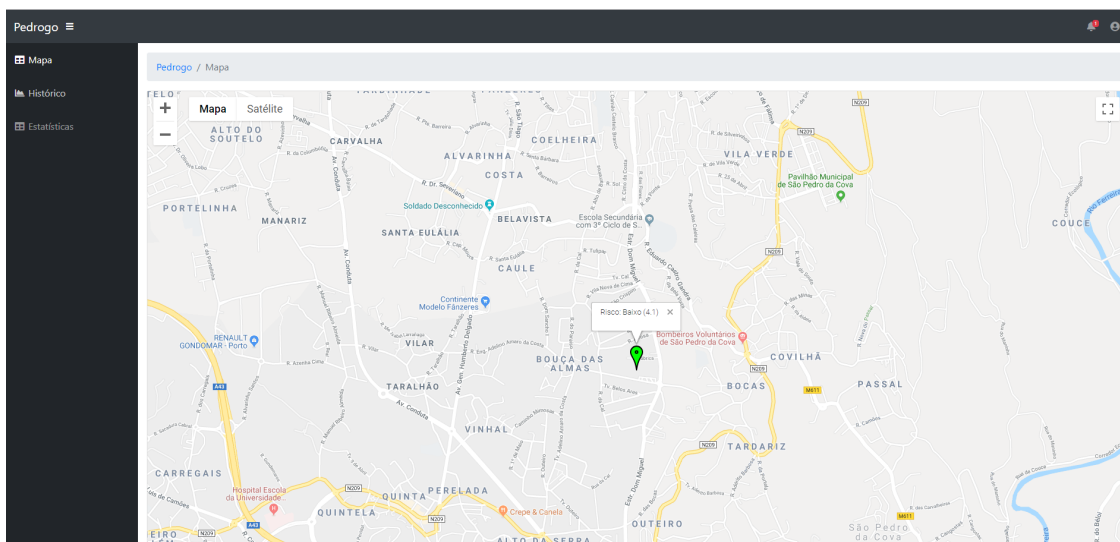


Figura 5.2: Back Office: Página Inicial

O mapa é desenhado utilizando a API do *Google Maps*. Para a utilização do mapa é necessário um registo prévio na plataforma da *Google* que, para a aplicação *Pedrogo* foi atribuída a chave **AIzaSyBcu8Y3JKIRboCicxYPrDdEX6NpAdfI2XA**.

Segue-se o Excerto de Código 5.14 em *javascript* que permite a visualização do último ponto registado na base de dados.

```

1  ...
2  var map;
3
4  function pinSymbol(color) {
5      return {
6          path: 'M 0,0 C -2,-20 -10,-22 -10,-30 A 10,10 0 1,1 10,-30
7          C 10,-22 2,-20 0,0 z M -2,-30 a 2,2 0 1,1 4,0 2,2 0 1,1 -4,0',
8          fillColor: color,
9          fillOpacity: 1,
10         strokeColor: '#000',
11         strokeWeight: 2,
12         scale: 1,
13     };
14 }
15 $(document).ready(function(){
16     prettyPrint();

```

```
17     map = new GMaps({
18         div: '#map',
19         lat: latitude,
20         lng: longitude,
21     });
22
23
24     map.addMarker({
25         lat: 41.151260,
26         lng: -8.518186,
27         title: 'Risco',
28         infoWindow: {
29             content: mensagem
30         },
31         icon: pinSymbol("#0F0")
32     });
33
34     ...
35
36
```

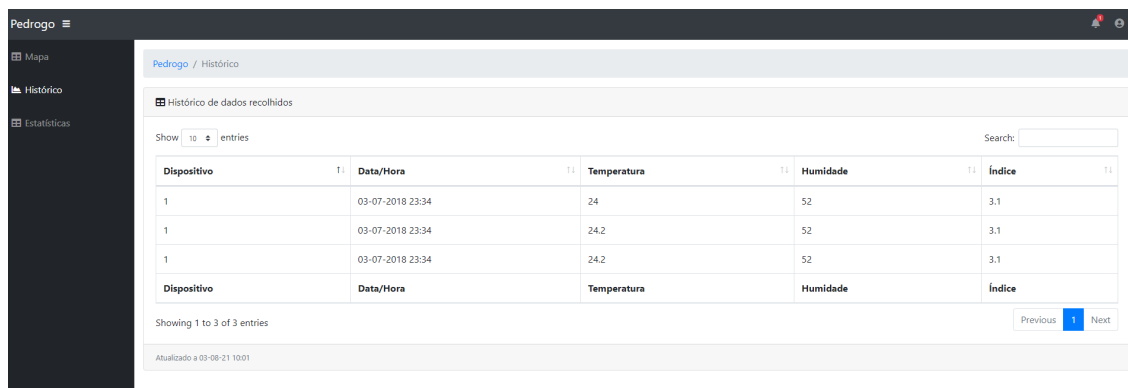
Excerto de Código 5.14: Risco de incêndio no mapa

Na página inicial ainda é possível consultar a seguinte informação ao navegar na aplicação:

- Dados do utilizador;
- Centro de mensagens/alertas;
- Histórico de dados recolhidos;
- Estatísticas;
- *Logout*;

Histórico

Na página Histórico que esta retratada na Figura 5.3, é possível consultar todas as leituras efetuadas pelo protótipo *Pedrogo* desde a temperatura, humidade e o resultado do índice de *Angstron*. Neste ponto, estes dados são meramente informativos dado que todos os alertas relacionados com estes foram devidamente despoletados no momento da integração.



Dispositivo	Data/Hora	Temperatura	Humidade	Índice
1	03-07-2018 23:34	24	52	3.1
1	03-07-2018 23:34	24.2	52	3.1
1	03-07-2018 23:34	24.2	52	3.1

Figura 5.3: Back Office: Histórico

5.4 Custo do Protótipo

Para o cálculo do custo do protótipo apenas é tido em conta o nodo e o ponto de recolha e, embora o servidor central tenha os seus custos associados, este é partilhado por toda a infraestrutura de recolha de dados.

5.4.1 Nodo

O nodo, como analisado é constituído pelos seguintes componentes:

- Micro-controlador Arduino;
- Módulo de comunicação *CC1101*;
- Sensor de temperatura/humidade *DHT22*;

A Tabela 5.1 possui o valor de cada um dos componentes descritos bem como o custo total do dispositivo. É importante ter em conta que uma rede de sensores pode ter um ou mais nodos, então para obter o valor final da rede é necessário multiplicar o valor do nodo pelo total de nodos da rede.

Tabela 5.1: Valor do Nodo

Componente	Valor (euros)
Arduino	20.00
CC1101	9.03
DHT22	3.15
Total:	32.18

5.4.2 Ponto de Recolha

Numa rede de sensores, pode existir um ou mais pontos de recolha, contudo um ponto de recolha pode agregar um ou mais nodos. O ponto de recolha é constituído pelos seguintes componentes:

- Micro-controlador Arduino;
- Módulo de comunicação *CC1101*;

O valor total desde dispositivo bem como de todos os seus componentes encontra-se descrito na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Valor do Ponto de Recolha

Componente	Valor (euros)
Arduino	20.00
CC1101	9.03
Total:	29.03

5.5 Sumário

Neste capítulo foi descrita, numa abordagem técnica, a implementação de uma demonstração com o intuito de verificar se o protótipo especificado será capaz ou não de ser uma mais valia na prevenção florestal. Foi apresentada a constituição do nodo, do ponto de recolha e do servidor aplicacional. Para além da constituição dos diferentes componentes da rede sensorial, também foram abordados alguns aspectos a ter em conta como, por exemplo, a eliminação de *outliers*.

Ao longo do capítulo foi possível obter a respostas às questões colocadas no início deste.

A demonstração implementada reflete a solução especificada?

Não. A demonstração serve apenas para provar a possível eficácia do protótipo. Para a demonstração foram utilizados equipamentos previamente adquiridos pelo autor e com um custo menor.

Como foi implementado o Nodo?

O nodo é composto por um micro-controlador Arduino juntamente com um recetor e emissor de rádio frequência.

Como foi implementado o Ponto de Recolha?

Assim como o nodo, o ponto de recolha é composto por um Arduino com a mesma antena acoplada.

Como foi implementado o Servidor Aplicacional?

Para o servidor aplicacional foi utilizado um computador pessoal com um servidor aplicacional e uma base de dados relacional.

Capítulo 6

Testes e Resultados

Neste capítulo serão especificados e efetuados um conjunto de testes ao protótipo desenvolvido com o objetivo de provar a eficiência deste na prevenção florestal, serão também apresentadas as grandezas a avaliar, as hipóteses a testes, a metodologia de avaliação e por fim os testes de hipóteses, este último é um procedimento que conduz a uma decisão acerca das hipóteses (com base numa amostra). No final serão demonstrados os resultados dos testes. Infelizmente os resultados obtidos são através de um conjunto de testes possíveis não sendo as ideias devido a um série de factores que serão abordados ao longo desta secção do documento.

Este capítulo tem como objetivo dar resposta ao **Outcome 6: Avaliação da Solução**. No final deste capítulo será dada a resposta às seguintes questões:

Que testes foram realizados?

Qual o resultado dos testes?

Deviam ter sido efetuados outro tipo de testes?

Surgiram dificuldades na realização dos testes? Quais?

6.1 Testes

Ao abrigo desta dissertação foi estudada e desenvolvida uma rede sensorial WSN, um protótipo, com a intenção de perceber se é possível substituir a necessidade intervenção humana na vigilância das florestas. O objetivo é verificar se é possível tornar a prevenção florestal num processo automático, fiável e exato, ao contrário do que acontece com ação humano devido a um conjunto de factores intrínseco ao próprio ser.

O protótipo *Pedrogo*, construído no âmbito deste projeto foi avaliado quanto à exatidão (*accuracy*) dos valores recolhidos pela rede sensorial, dado que é necessário aferir o grau de confiança dos valores recolhidos.

A fim de minimizar os *outliers*, cada valor enviado pelos nodos da rede sensorial será o resultado da média móvel de tamanho cinco de cada sensor.

6.1.1 Grandezas a Avaliar

A grandeza a testar no protótipo é a exatidão das leituras dos sensores, estes valores serão comparados com leituras visuais de outros sensores no mesmo ambiente por ação humana (recorrendo a sensores altamente fiáveis e de confiança).

A hipótese nula (6.1), que se pretende rejeitar, é que média dos valores recolhidos pelo protótipo não seja superior ou inferior a 0.5 graus para um erro inferior a $\alpha \leq 5$ visto será praticamente impossível que sejam iguais.

$$h_0 : \mu_1 = 0.5 \quad (6.1)$$

Caso se confirme que há diferenças entre os dois grupos, será possível rejeitar a hipótese nula, assumindo h_1 (6.2) como verdadeira.

$$h_1 : \mu_1 \neq 0.5 \quad (6.2)$$

6.1.2 Hipóteses a Testar

O que se pretende testar é se as leituras efetuadas pelos nodos são de confiança, ou seja, pretende-se que tanto a previsão bem como a deteção do incêndio seja realizada com sucesso.

O objetivo do protótipo é que os valores obtidos pela rede sensorial seja um fator de diferenciação em comparação com os resultados da vigília humana que, normalmente aguardam o avistamento de fumo ou fogo para saber se existe perigo de incêndio.

6.1.3 Metodologias de Avaliação

A recolha dos dados efetuados pelos sensores, serão feitos em ambientes controlados. Por exemplo a temperatura será aumentada por meio de um aquecedor, os valores da temperatura serão o grupo de controlo.

Será efetuada uma comparação entre os valores lidos pelos sensores do protótipo e pelos sensores utilizados por um humano.

O teste contempla que sejam efetuadas 20 leituras de cada sensor existente no protótipo, alterando os valores de forma controlada, nestas 20 leituras os valores do ambiente serão constantemente alterados e serão verificadas as leituras dos dois grupos (rede sensorial e humano).

Os valores lidos por ambas as amostras serão usados para calcular o módulo de diferença entre o nível de controlo e o valor lido por cada um dos grupos (6.4). Sendo o valor mais próximo do real o que irá obter os resultados mais próximos de zero neste cálculo.

$$x = |\text{ValorControlo} - \text{ValorLido}| \quad (6.3)$$

A média dos 20 valores de cada grupo será usada para determinar o que mais se aproxima do valor real, com uma significância de $\alpha \leq 5$.

6.1.4 Teste de Hipóteses

Para testar os dados lidos pelo protótipo em comparação com os valores observados (por meio de sensores) por um humano, poderia ser utilizados o teste estatístico de *Wilcoxon signed-rank test* (Wilcoxon 1945), mas como as amostras são de 20 leituras cada, pode-se assumir que seguem uma distribuição normal, o que significa que devemos usar um teste paramétrico.

Como as leituras foram ambas feitas sobre os mesmos valores de controlo, consideram-se emparelhadas.

Para testes duas amostras emparelhadas e que seguem um distribuição normal (paramétricas) o teste recomendado e que será usado é o *Student's t-test* (Horne 1998).

6.2 Resultados

Nesta secção serão descritos e apresentados os resultados dos testes ao protótipo. A realização dos testes teve como base a especificação dos testes descritos anteriormente.

6.2.1 DHT11 vs DHT22

O sensor de temperatura/humidade *DHT11* é mais barato e obtém as leituras de forma mais rápida comparado com o seu homólogo *DHT22*, o que o tornaria uma boa solução para este protótipo, porém estima-se, em termos das especificações do *hardware*, que o sensor *DHT22* é mais preciso que o *DHT11* (Engineers 2019). Será que os valores são assim tão dispersos? Essa hipótese foi testada e será demonstrada.

Foram recolhidas sete leituras num intervalo de um minuto de ambos os sensores, com base nos resultados obtidos foi calculada a variância e o desvio padrão de forma a perceber qual o sensor que obtém os valores menos dispersos. A Tabela 6.1 apresenta o resultado das sete leituras obtidos dos dois sensores.

Tabela 6.1: Recolha de sete leituras DHT11 vs DHT22

DHT11		DHT22	
Tempratura	Humidade	Temperatura	Humidade
20.00	50.00	23.00	48.20
20.00	49.00	22.90	48.30
19.00	49.00	22.90	48.30
19.00	49.00	22.90	48.20
20.00	50.00	22.70	48.20
21.00	50.00	22.70	48.10
20.00	51.00	22.60	48.20

Aos dados apresentados será calculada a variância destes. A variância é uma medida de dispersão que verifica a distância entre os valores da média aritmética. Antes de calcular a variância, é necessário encontrar a média aritmética (\bar{X}) dos tempos de cada sensor.

$$\bar{X}T_{dht11} = \frac{20 + 20 + 19 + 19 + 20 + 21 + 20}{7}$$

$$\bar{X}T_{dht11} = \frac{139}{7}$$

$$\bar{X}T_{dht11} = 19.86$$

A média aritmética para os valores da temperatura do sensor DHT11 é 19.86 graus celsius. De seguida será efetuado o mesmo cálculo para os valores de temperatura do sensor DHT22.

$$\bar{X}T_{dht22} = \frac{23 + 22.90 + 22.90 + 22.90 + 22.70 + 22.70 + 22.60}{7}$$

$$\bar{X}T_{dht22} = \frac{159.7}{7}$$

$$\bar{X}T_{dht22} = 22.81$$

A média de temperatura para o sensor DHT22 é de 22.81. Agora que são conhecidos os valores médios de cada sensor pode-se utilizar a variância para obter a distância dos valores de cada leitura em relação a esse valor médio. Para calcular a variância de cada sensor, pode ser realizado o seguinte cálculo em que Lx é o número da referente à leitura obtida:

$$Var = \frac{(L1 - \bar{X})^2 + (L2 - \bar{X})^2 + (L3 - \bar{X})^2 + (L4 - \bar{X})^2 + (L5 - \bar{X})^2 + (L6 - \bar{X})^2 + (L7 - \bar{X})^2}{Totaldeleituras}$$

Com a fórmula apresentada será realizado o cálculo da variância para o sensor DHT11.

$$Var_{11} = \frac{(20 - 19.86)^2 + 0.0196 + 0.7396 + 0.7396 + 0.0196 + 1.2996 + 0.0196}{7}$$

$$Var11 = \frac{0.0196 + 0.0196 + 0.7396 + 0.7396 + 0.0196 + 1.2996 + 0.0196}{7}$$

$$Var11 = \frac{2.8572}{7}$$

$$Var11 = 0.41$$

Verifica-se que a variância dos valores recolhidos pelo sensor DHT11 é de 0.41. De seguida será apresentado o mesmo cálculo para o sensor DHT22.

$$Var22 = \frac{(23 - 22.81)^2 + 0.0081 + 0.0081 + 0.0081 + 0.0121 + 0.0121 + 0.0441}{7}$$

$$Var22 = \frac{0.0361 + 0.0081 + 0.0081 + 0.0081 + 0.0121 + 0.0121 + 0.0441}{7}$$

$$Var22 = \frac{0.3465}{7}$$

$$Var22 = 0.05$$

A variância das leituras do sensor DHT22 é de 0.05, estes resultados mostram que os valores recolhidos pelos sensor DHT22 são menos dispersos que o do sensor DHT11. Com base nestes resultados decidiu-se utilizar o sensor DHT22 no protótipo *Pedrogo*.

Ao calcular o desvio padrão para os dados recolhidos dos dois sensores é possível perceber o quanto os valores variam ao redor da média. A fórmula do desvio padrão é a raiz quadrada da variância:

$$\sigma = \sqrt{var}$$

O desvio padrão do sensor DHT11 é de 0.64 o que significa que, em média, os valores recolhidos variam 0.64 valores em torno da média.

$$\sqrt{0.41} = 0.64$$

Por outro lado o desvio padrão do sensor DHT22 é de 0.22, o que torna o sensor mais preciso e fiável que o seu homólogo DHT11.

$$\sqrt{0.05} = 0.22$$

6.2.2 Valor lido vs valor real

Na subsecção anterior verificou-se que o sensor DHT22 é mais exato na obtenção das leituras que o sensor DHT11, no entanto, será este suficientemente preciso comparado com

um sensor altamente preciso? Para verificar tal situação irão ser recolhidas 7 amostras de cada sensor num intervalo de um minuto em cada leitura. No final será verificado se os valores recolhidos pelo sensor DHT22 serão bastante dispersos em comparação com o valor real. Os valores da temperatura e humidade serão recolhidos pelo medidor de temperatura e humidade digital *Fluke 971*.

A Tabela 6.2 apresenta as sete leituras efetuadas pelo *Fluke 971* e pelo sensor DHT22.

Tabela 6.2: Recolha de sete leituras DHT11 vs DHT22

Fluke 971		DHT22	
Tempratura	Humidade	Temperatura	Humidade
23.50	53.50	24.00	49.70
23.50	54.20	23.80	48.90
23.50	52.70	23.80	48.80
23.50	53.00	23.90	49.00
23.30	54.30	23.70	49.60
23.30	53.90	23.80	50.20
23.30	53.60	24.00	49.60

O primeiro passo é calcular a média da temperatura do *Fluke 971* que irá representar a média da temperatura ambiente.

$$\bar{X}Tfluke = \frac{23.50 + 23 + 50 + 23.50 + 23.30 + 23.30 + 23.30}{7}$$

$$\bar{X}Tfluke = \frac{163.9}{7}$$

$$\bar{X}Tfluke = 23.41$$

Com este resultados pode-se dizer que em média a temperatura ambiente é de 23.41 graus celsius. De seguida, para perceber o quão dispersos os valores obtidos pelo sensor dht22 em relação à temperatura ambiente, será efetuado o cálculo da variância.

$$Var = \frac{(24 - 23.41)^2 + 0.1521 + 0.1521 + 0.2401 + 0.0841 + 0.1521 + 0.3481}{7}$$

$$Var = \frac{0.3481 + 0.1521 + 0.1521 + 0.2401 + 0.0841 + 0.1521 + 0.3481}{7}$$

$$Var = \frac{1.99}{7}$$

$$Var = 0.28$$

O resultado da variância para os valor do sensor dht22 é de 0.28, ou seja, os valores recolhidos têm um dispersão de 0.28 da média dos valores da temperatura ambiente. Será calculado o desvio padrão para perceber a média da distância de cada valor lido do real.

$$\sqrt{0.28} = 0.53$$

Assim, os dados recolhidos pelo sensor variam, em média, 0,53 graus ao redor da média 23.41.

É correto afirmar que cada leitura obtida pelo sensor irá ter uma diferença de 0.50 graus em relação à temperatura ambiente? Para verificar esta situação será efetuado o teste *Student's t-test* com um erro de $\alpha = 5$.

Sendo μ a diferença média de cada leitura entre o DHT22 e o valor real, irá ser testada a hipótese nula $h_0:\mu = 0.5$ contra $h_1:\mu \neq 0.5$, considerando um erro do tipo I de 0.05.

Os valores a considerar estão representados na Tabela 6.3, em que o valor lido é o valor recolhido pelo sensor e o valor de controlo o valor da amostra (neste caso o valor recolhido pelo *Fluke 971*).

Tabela 6.3: Diferença entre o valor lido e o valor de controlo

0.5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Os valores acima descritos foram obtidos calculando o módulo de diferença entre o valor de controlo e o valor lido.

$$x = |\text{ValorControlo} - \text{ValorLido}| \quad (6.4)$$

O tamanho amostral é $n = 7$, portanto, o número de graus de liberdade é de $n - 1 = 6$. O nível de significância é $\alpha = 0.05$. então $1 - \alpha = 0.95$. Recorrendo à Tabela *Student's t-test* para um tamanho amostral de 6 e para um significância de 0.95 o valor é de 2.447. Então h_0 não será rejeitada se for encontrado uma amostra de tamanho n um valor maior que -2.447 e menor 2.447.

Para encontrar o valor de t_0 com base nas sete leituras é então necessário encontrar a média amostral e o desvio padrão.

$$\bar{X} = \frac{0.5 + 0.3 + 0.3 + 0.4 + 0.4 + 0.5 + 0.7}{7} = 0.44$$

$$s = 0.14$$

A média amostral dos valores recolhidos é de 0.44 e o desvio padrão amostral é de 0.14. Por fim é necessário calcular o valor de t_0 .

$$t_0 = \frac{(\bar{x} - \mu_0)\sqrt{n}}{s}$$

$$t_0 = \frac{(0.44 - 0.5)\sqrt{7}}{0.14}$$

$$t_0 = -1.13$$

Dado que -1.13 é maior que -2.447 e menor que 2.447 então é correto afirmar que em média os valor irão diferir 0.5 graus celsius do valor real.

6.2.3 Previsão

Ao longo deste capítulo verificou-se que, mesmo que as leituras dos sensores não sejam idênticas às leituras obtidas por um sensor supostamente mais fiável, será que é possível prever um incêndio? Em caso real não é possível perceber se a zona está em risco de incêndio sem a utilização dos sensores, mas, com a utilização dos sensores não é possível simular um ambiente favorável de incêndio. Para testar esta hipótese e, recorrendo a um aquecedor de 2000W será aquecida uma pequena divisão de uma casa. Os sensores do protótipo irão recolher sete leituras de 5 em 5 minutos. Ao fim de 30 minutos será possível verificar se o sensor reage às mudanças do ambiente que o envolve e, com base nas leituras recolhidas será aplicado o índice de *Angstron* com a respetiva descrição. Os valores finais encontram-se registados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4: Leituras recolhidas de divisão aquecida

Min	Temperatura	Humidade	Índice
0	17.50	60.30	3.97
5	18.30	58.00	3.77
10	20.10	55.60	3.47
15	22.00	55.00	3.25
20	22.60	53.10	3.10
25	23.00	51.90	2.99
30	23.90	51.60	2.88

Após este teste verifica-se que o sensor reage ao aumento da temperatura e, é interessante, que no minuto zero o cálculo do índice de *Angstron* era de 3.97 o que praticamente seria impossível ocorrer um incêndio. Porém no minuto 30 as condições eram favoráveis para a deflagração de incêndio com um índice calculado de 2.88.

Com este teste também é perceptível que é possível obter falsos alertas de deflagração de incêndio, porque a temperatura da divisão não era extremamente exagerada para que exista risco de incêndio. Olhando para os dados recolhidos, é bem provável que no verão esteja uma temperatura muito acima dos 23.90 graus celsius e uma humidade igual ou inferior aos 51.60, o que poderá gerar alertas exagerados de risco de incêndio.

6.2.4 Detecção

É importante perceber a capacidade de deteção do protótipo porque este irá servir para definir quantos nodos serão necessários numa rede sensorial. Para testar a capacidade de deteção de um foco de incêndio será efetuada uma simulação do mesmo. Foi criado uma pequena fogueira e, foram recolhidas a média de 10 leituras a cinco, quatro, três, dois e um

metro de distância da fogueira. Com base nos valores recolhidos será efetuado o cálculo do índice de *Angstron* para verificar se é gerado o alerta ou não.

A Tabela 6.5 apresenta a média das 10 leituras à distancia de cinco, quatro, três, dois e um metros da fogueira.

Tabela 6.5: Média de 10 leituras à distância da fogueira

Distância (m)	Temperatura	Humidade
5	22.30	53.10
4	22.20	52.60
3	22.60	51.30
2	24.90	49.40
1	27.70	44.20

Com base nos valores recolhidos será então cálculo o índice de *Angstron*. Caso o resultado seja inferior a 2.5 então significa que existe risco de deflagração de incêndio que neste caso já está a decorrer. A fórmula do índice de *Angstron* está representada na equação 3.2.

$$B5 = 0.05 * 53.10 - 0.1(22.30 - 27)$$

$$B5 = 3.125$$

À distância de cinco metros da fogueira o resultado do cálculo do índice de *Angstron* é de 3.125 o que corresponde a: Condições não favoráveis para ocorrência de incêndio.

$$B4 = 0.05 * 52.60 - 0.1(22.20 - 27)$$

$$B4 = 3.11$$

À distância de quatro metros da fogueira o resultado do cálculo do índice de *Angstron* é de 3.11 o que corresponde a: Condições não favoráveis para ocorrência de incêndio.

$$B3 = 0.05 * 51.30 - 0.1(22.60 - 27)$$

$$B3 = 3.005$$

À distância de três metros da fogueira o resultado do cálculo do índice de *Angstron* é de 3.005 o que corresponde a: Condições não favoráveis para ocorrência de incêndio.

$$B2 = 0.05 * 49.40 - 0.1(24.90 - 27)$$

$$B2 = 2.68$$

À distância de dois metros da fogueira o resultado do cálculo do índice de *Angstron* é de 2.68 o que corresponde a: Condições favoráveis para ocorrência de incêndio.

$$B1 = 0.05 * 44.20 - 0.1(27.70 - 27)$$

$$B1 = 2.14$$

À distância de um metro metros da fogueira o resultado do cálculo do índice de *Angstron* é de 2.4 o que corresponde a: Condições mais favoráveis para ocorrência de incêndio.

Após a obtenção dos resultados é possível verificar que a distância curtas o sensor é capaz de detetar uma possível ocorrência do incêndio, no entanto não é o suficiente para garantir que de facto existe um incêndio.

6.2.5 Autonomia

O objetivo do protótipo *Pedrogo* é que este necessite da mínima intervenção humana possível, sendo que o principal problema é a autonomia dos nodos. Os nodos encontram-se em locais isolados onde não existirá acesso a energia elétrica então, nesta demonstração foi a utilização de uma bateria com uma capacidade de 10000mAh. Recorrendo a um voltímetro digital foi medido o consumo de energia do nodo. O voltímetro é um aparelho de medição de tensão ou Diferença de potencial (DDP) de um circuito elétrico. Verificou-se que o consumo do nodo é de 36mAh por hora. Então se a bateria tem 10000mAh e o nodo consumo 36mAh, quantas horas de autonomia tem o nodo?

$$h = \frac{10000}{36}$$

$$h = 277.78$$

O nodo tem uma autonomia de aproximadamente 278 horas o que corresponde a cerca de 11 dias.

6.2.6 Significância dos dados

Ao longo deste capítulo verificou-se que os dados recolhidos pelo *pedrogo* não são exatamente iguais aqueles obtidos por outros sensores. No entanto, será esta diferença matematicamente significativa? Para chegar a uma conclusão foram recolhidas 20 leituras pelo sensor do protótipo e outras 20 leituras pelo sensor *Fluke 971*, no final será aplicado o teste t-test para grupos emparelhados. As 20 leituras recolhidas encontram-se na Tabela 6.6.

Tabela 6.6: T test

DHT22	Fluke 971
22.10	22.30
22.10	22.30
22.00	22.30
22.10	22.40
22.20	22.40
22.20	22.40
22.10	22.40
22.00	22.30
21.90	22.40
21.90	22.40
21.90	22.40
22.30	22.40
22.20	22.20
22.20	22.30
22.20	22.30
22.20	22.40
22.10	22.50
22.10	22.50
22.30	22.40
22.30	22.40

Ao submeter os dados recolhidos a um teste t test, o valor de P que determina a significância estatística é inferior a 0.0001 o que, segundo os critérios convencionais, a diferença entre o primeiro grupo e o segundo é considerado estatisticamente extremamente significativo. A média do primeiro grupo é de 22.12 e a do segundo de 22.37, o desvio padrão é de 0.1281 e 0.0733 respetivamente.

Sendo o valor de P igual a 0.0001 significa que existe 0.01% de probabilidade de observar uma diferença tão grande quanto a que foi registada, mesmo que a média dos dois grupos sejam idêntica (a hipótese nula é verdadeira).

6.3 Sumário

Neste capítulo foram apresentados os testes a efetuar às leituras recolhidas pelos sensores DHT11 e DHT22 de forma a aferir o grau de fiabilidade destes. Para atingir este objetivo foi necessário definir as grandezas a avaliar, as hipóteses a testar bem como a metodologia de avaliação. Na secção Resultados foram demonstrados, tal como o nome indicado, os resultados das testes especificados e chegou-se à conclusão que o sensor DHT22 é mais preciso que o DHT11 e que em média o sensor DHT22 irá deferir cerca de 0.5 graus da temperatura real.

Ao longo desta dissertação ficou claro que os testes iriam ser um enorme entrave visto não ser simples nem fácil prever um incêndio e também não é possível nem seguro testar durante um incêndio, muito menos realizar um incêndio.

Com o desenvolvimento deste capítulo torna-se agora possível dar a resposta às perguntas colocadas inicialmente:

Que testes foram realizados?

Foram efetuados testes com diferentes sensores para verificar quais deles o mais precisos e se estes estavam próximos de leituras reais. Foram efetuados testes com uma fogueira para verificar o alcance dos sensores.

Qual o resultado dos testes?

Se os dados recolhidos, temperatura e humidade, são coerentes com as condições reais então é possível afirmar que o protótipo irá prever incêndios, causados de forma natural e não por mão criminosa, se todas as condições estiverem reunidas para tal.

Deviam ter sido efetuados outro tipo de testes?

Neste capítulo foram efetuados os testes possíveis, porém seria necessário a realização de testes em ambientes reais.

Surgiram dificuldades na realização dos testes? Quais?

Com o desenvolvimento desta dissertação, com a análise e estudo ao problema, começaram a surgir entraves para a realização dos testes. Seria necessário testar o protótipo com um incêndio a deflagrar para testar variantes como por exemplo, o vento.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalho Futuro

Com o desenvolvimento desta dissertação foi abordado, estudado e analisado um problema crítico para a sociedade, os incêndios florestais. O objetivo principal deste estudo foi encontrar uma possível solução (entre tantas) para o problema com base numa rede sensorial. Para testar a viabilidade deste estudo foi construído o protótipo *pedrogo* com o qual foram efetuados os respetivos testes.

Por fim, neste último capítulo serão apresentadas as conclusões finais do estudo efetuado nesta dissertação. Será apresentada uma contextualização do problema e, de seguida, uma avaliação do trabalho efetuado relativamente aos objetivos definidos no início do trabalho. Os pontos que não foram até ao momento realizados serão deliberados, com o intuito de os incorporar em desenvolvimentos futuros. Por fim, é feita a apreciação final sobre o estudo e protótipo desenvolvidos nesta dissertação.

7.1 Conclusões

Os incêndios florestais são uma ameaça em várias vertentes da sociedade e por muito que se tente combater este problema não existe uma solução perfeita que acabe de vez com esta ameaça, visto que este pode deflagrar por causas naturais e por mão criminosa. O objetivo deste documento e da análise do protótipo *Pedrogo* passa, não por resolver este problema, mas por minimizar a sua ocorrência ou minimizar os estragos causados por este.

Depois de ter sido analisadas as soluções existentes, as tecnologias e das abordagens, foi desenvolvido e construído um protótipo com o intuito de ser preciso e de baixo custo. No entanto, após a realização dos testes ao protótipo foi claro que é possível prever a ocorrência de um incêndio com base na temperatura e da humidade dos locais a monitorizar, porém, deixou muito a desejar no campo da deteção, ou seja, o protótipo foi incapaz de detetar que um foco de incêndio que esteja a decorrer. Embora, e como já foi mencionado, foram realizados os testes possíveis mediante as normas de segurança que se requer, ou seja, os testes foram realizados de forma a simular um ambiente real mas sem o mesmo impacto como se fosse num ambiente real.

No teste do aquecedor também se concluiu que embora o dispositivo seja capaz de prever a iminência de um incêndio, verificou-se que este pode e irá gerar falsos alertas porque no verão as temperaturas ultrapassam aquelas simuladas pelo aquecedor. O índice de *Angstrom* não terá sido a melhor escolha para o cálculo do risco de incêndio. Chegou-se à conclusão com base nos resultados obtidos que as leituras da humidade e da temperatura não são suficientes para a deteção de um incêndio e, esta questão poderia ser resolvida com um

sensor de CO₂, no entanto estes dispositivos tornam-se extremamente caros numa vasta rede sensorial.

Nos casos em que a rede sensorial não consegue prever ou detetar a deflagração de incêndio então a segurança da rede fica comprometida, o resultado será a perda dos dispositivos, embora que este efeito seja um alerta de incêndio.

Em relação à qualidade das leituras conclui-se e ficou provado com o teste *t test*, que é praticamente impossível obter leituras exatas da temperatura e da humidade, dado que estas estão sujeitas a muitos fatores, como por exemplo a direção do vento, ausência de sol, etc. No entanto, as leituras obtidas do sensor DHT22 serão o suficiente para analisar os dados recebidos pela sua leitura.

Outro ponto negativo é a autonomia do dispositivo, é uma falácia assumir que é possível obter energia "infinita", porém é possível alimentar os nodos da rede durante um longo período de tempo fazendo com que não seja necessária a intervenção humana, no entanto esta irá ser sempre necessária.

Embora os dispositivos de uma rede sensorial sejam relativamente de baixo custo, estes acabam por ficar dispendiosos por cobrirem uma vasta área a monitorizar. Em caso de incêndio será impossível salvar todos os equipamento sendo que estes não serão uma prioridade no combate ao incêndio.

A autonomia dos dispositivos também deixa algo a desejar pelo que se torna igualmente dispendioso e trabalhoso trocar todas as baterias dos dispositivos no terreno.

Por fim, visto que em Portugal cerca de 25% dos casos de incêndios têm origem por causas naturais, é possível afirmar que uma rede sensorial não serial, de todo, a solução deste problema.

De seguida serão respondidas a algumas perguntas sobre o protótipo *Pedrogo*.

O protótipo é capaz de prever um incêndio antes deste ocorrer?

Se o incêndio ocorrer em causas naturais (em Portugal são 25% do casos), sim o protótipo irá conseguir prever essa situação. No entanto, em caso de fogo posto ou qualquer outra situação que origine um incêndio então o protótipo não irá conseguir prever a sua deflagração.

O protótipo é capaz de detetar um incêndio se este já estiver a decorrer?

Pelos testes efetuados o protótipo é capaz de detetar a deflagração do incêndio caso este ocorra perto do nodo. No entanto, para que a deteção seja eficaz seria necessário ter um largo número de nodos o que tornaria a rede mais dispendiosa e isto aumentaria risco de perder os dispositivos.

É possível saber se um nodo deixou de comunicar com o ponto de recolha e para estes casos significa que, ou o nodo foi perdido ou ficou sem energia. Esta situação pode ser um alerta de deflagração.

É possível garantir a segurança dos nodos?

Não. Os nodos estão completamente dispersos na área a monitorizar e eles podem ser perdidos por roubo ou por incêndio.

A autonomia é um problema em todos os dispositivo, e com o protótipo, será um

problema?

Sim, a questão que se coloca sempre numa rede sensorial é a autonomia dos dispositivos e a sua manutenção.

7.2 **Objetivos Realizados**

Os requisitos desta dissertação seria o estudo a construção de um protótipo constituído pelo nodo, ponto de recolha e um servidor central com uma interface gráfica para consulta dos resultados. Foi definido que o nodos ou nodos seriam responsáveis pela recolha das leituras e. como estes não têm acesso à Internet ou a comunicações de longo alcance então estes teria que comunicar com um ponto de recolha. O ponto de recolha, por sua vez com energia ilimitada e acesso à Internet, ficaria responsável por enviar os dados para um ponto central, este seria o servidor. O servidor, para além um de uma interface para a comunicação dos dados e de uma base de dados seria também capaz de gerar alertas e de apresentar os resultados ao utilizadores por meio de uma aplicação *web*.

Alguns requisitos foram definidos que seriam considerados imprescindíveis, enquanto outros apenas trariam valor acrescido ao protótipo. Esses requisitos deram origem a alguns casos de uso que teriam de ser considerados. Dada à complexidade que envolve a monitorização, prevenção e deteção de incêndios, haverá sempre funcionalidades a acrescentar e a melhorar. No entanto os objetivos definidos inicialmente foram concluídos com sucesso, apresenta-se aqui a percentagem de conclusão para cada um deles, os resultados podem ser vistos na Tabela 7.1.

Tabela 7.1: Objetivos realizados

Objetivo	Conclusão
Recolha de dados	100%
Envio de dados por RF	100%
Minimização de outliers	100%
Geração de alertas	100%
Integração com Google Maps	80%
Registo de utilizadores	0%
Manutenção de dados de utilizadores	0%
Consulta de histórico	80%
Consulta de alertas	60%
Cálculo risco de incêndio	100%
Cálculo de distância entre pontos	20%
Gestão de utilizadores	0%
Estatísticas	0%

A seguir apresentam-se os requisitos funcionais analisados e sua percentagem de conclusão, assim como representado na Tabela 7.2.

Tabela 7.2: Objetivos realizados: requisitos funcionais

Requisito	Conclusão
Receber dados dos sensores	100%
Geração de alertas	100%
Consulta de dados recolhidos	100%
Apresentar zonas de risco	100%

Na Tabela 7.3 são referidos os requisitos funcionais abordados no início do documento e como foram aplicados no desenvolvimento do protótipo.

Tabela 7.3: Objetivos realizados: requisitos não funcionais

Requisito	Observação
Segurança	Para evitar a injeção de mensagens indesejáveis foi definida uma mensagem módulo que é enviada pelo nodo e que o ponto de recolha esteja à espera. Porém, quando aborda este tipo de dispositivos a segurança é sempre um ponto frágil.
Performance	Esta situação não foi testada, no entanto onde pode existir questão de performance é na base de dados devido ao elevado volume de dados, para tal foram criados índices de forma a minimizar esta situação
Baixo custo	Foram selecionados os dispositivos mais baratos e fiáveis. Exemplo disso é o sensor DHT22 que, embora seja mais caro que o DHT11, o DHT22 foi escolhido por ser mais fiável.
Disponibilidade	Esta situação não foi testada visto que o servidor aplicacional é local.

7.3 Trabalho Futuro

Chegou-se à conclusão que uma rede sensorial pode não ser o método mais eficaz para a prevenção florestal, no entanto esta solução pode ser aplicada em ambientes mais controlados, como por exemplo soluções dentro de portas como estufas. Assim sendo, como trabalho futuro em relação à solução especificada, e numa primeira fase é necessário terminar os objetivos que não ficaram totalmente concluídos. Posteriormente é essencial investigar e investir na segurança não apenas nos nodos, mas na segurança dos dados. Este último é o ponto mais importante, porque com dados errados todo o protótipo fica em causa. Para resolver a questão da segurança os dados deveriam encriptados antes de serem transmitidos

para o ponto de recolha. Por outro lado, a transmissão dos dados do ponto de recolha para o servidor central, pode ser facilmente ultrapassada por utilizar o protocolo Hyper Text Transfer Protocol Secure (HTTPS) na API REST. Dado que o servidor central tem conhecimento dos dispositivos que comunicam os dados consigo e estes estão associados a um ponto de recolha, seria interessante estabelecer uma ligação entre estes dispositivos de forma a melhorar a monitorização, não das florestas mas da infra-estrutura em si.

7.4 Apreciação Final

A dissertação desenvolvida foi uma mais-valia para o seu autor, que teve a oportunidade de desenvolver um projeto - que embora não seja da sua área - desde a sua fase inicial, com as dificuldades aí inerentes, onde o objetivo principal seria a aplicação de conceitos, métodos de estruturação, análise e esquematização e principalmente os testes efetuados ao protótipo, assim como muitas das matérias aprendidas durante a mestrado em engenharia informática, e as matérias aprendidas durante o próprio desenvolvimento do projeto. O projeto, desde o início, se tornou um desafio, considerando as diversas tecnologias e ferramentas que seriam utilizadas pela primeira vez, contudo com a devida análise e implementação de pequenos projetos foi possível aprender rapidamente, que de facto obrigou a alguma investigação acrescida, que reduziu de forma considerável o tempo disponível para o desenvolvimento. Apesar das dificuldades ao longo do desenvolvimento do projeto, foi com muito gosto e dedicação que este foi desenvolvido.

Bibliografia

- Agarwal, Tarun (2009). «Wi-Fi Working Principle, Types of Technologies and Applications». Em: *Elprocus*. url: <https://www.elprocus.com/how-does-wifi-work/> (acedido em 15/06/2019).
- Bayo, A. et al. (2010). «Early Detection and Monitoring of Forest Fire with a Wireless Sensor Network System». Em: *Proc. Euroensors XXIV*.
- Bouabdellaha, Kechar, Houache Noureddine e Sekhri Larbi (2013). «Using Wireless Sensor Networks for Reliable Forest Fires Detection». Em: *The 3rd International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT 2013)*.
- Editor, The (2017). «Non-Military Commercial UAS». Em: *First Responders*. url: <https://www.uasvision.com/2017/07/24/forest-fire-control-using-drones> (acedido em 03/06/2019).
- Elosua, Juan (2016). «Quién detecta los incendios?» Em: *Polígrafo*. url: <https://civio.es/espana-en-llamas/2016/11/24/quien-detecta-los-incendios/> (acedido em 01/10/2019).
- Engineers, Last Minute (2019). «How DHT11 DHT22 Sensors Work Interface With Arduino». Em: *Last Minute Engineers*. url: <https://lastminuteengineers.com/dht11-dht22-arduino-tutorial/> (acedido em 05/07/2019).
- Filipe, Manuel e Nuno Serralha (2015). «Os impactos e consequências dos incêndios florestais». Em: *Divulgação de Informação do Comércio Agroalimentar*. url: <https://dica.madeira.gov.pt/index.php/outros-temas/florestas/1154-os-impactos-e-consequencias-dos-incendios-florestais> (acedido em 21/10/2018).
- Gholamzadeh, Bahareh e Hooman Nabovati (2008). «Concepts for Designing Low Power Wireless Sensor Network». Em: *World Academy of Science, Engineering and Technology* 45.
- Horne, Amelia Dale (1998). «Statistics, Use in Immunology». Em: *Encyclopedia of Immunology*.
- Idealista (2017). «Economia perde 250 milhões de euros todos os anos com incêndios». Em: *Idealista*. url: <https://www.idealista.pt/news/financas/economia/2017/06/19/33708-economia-perde-250-milhoes-de-euros-todos-os-anos-com-incendios> (acedido em 14/11/2018).
- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, I.P./Departamento de Gestão de Áreas Públicas e de Proteção Florestal (2017). «Relatório Anual De Áreas Ardidas E Incêndios Florestais Em Portugal Continental». Em: *Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas*.
- Lourenço, Luciano (1991). «Aspectos sócio-económicos dos incêndios florestais em Portugal». Em: *Biblos*.
- Lusa (2017). «Entidades transfronteiriças pedem cooperativa ibérica». Em: *Publico*. url: <https://www.publico.pt/2017/11/14/sociedade/noticia/entidades-transfronteiricas-pedem-cooperativa-iberica-1792568> (acedido em 17/04/2019).

- M. Houmi, B. Mohamadi e T. Balz (2018). «A Hyperspectral Based Method To Detect Cannabis Plantation In Inaccessible Areas». Em: *State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University*.
- Maden, Utsav (2018). «Satellite data aids forest fire detection and monitoring in Nepal». Em: NASA. url: <https://phys.org/news/2018-06-satellite-aids-forest-nepal.html> (acedido em 01/12/2018).
- Marcelino, Valentina (2017). «Incêndios. Prevenção e combate juntos e nada ficará igual». Em: *Diário de Notícias*. url: <https://www.dn.pt/portugal/interior/incendios-prevencao-e-combate-juntos-e-nada-ficara-igual-9013019.html> (acedido em 20/10/2018).
- Narayanan, Ram Prasad, Sarath tv e Vellora Veetil Vineeth (2016). «Survey on Motes Used in Wireless Sensor Networks: Performance Parametric Analysis». Em: *Wireless Sensor Network* 8.
- Nicola, S., E.P. Ferreira e J. Pinto Ferreira (2012). «A NOVEL FRAMEWORK FOR MODELING VALUE FOR THE CUSTOMER, AN ESSAY ON NEGOTIATION». Em: *INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY DECISION MAKING* 11, pp. 661–703.
- Ning Sun, Yang-Han Lee e Yoon-su Jeong (2013). «Energy efficient mechanism using flexible medium access control protocol for hybrid wireless sensor networks». Em: *Journal of Central South University*.
- Oliveira, Adalton França de (2017). «Incêndios florestais: impactos ambientais e econômicos». Em: *Pensamento Verde*. url: <http://www.pensamentoverde.com.br/colunistas/incendios-florestais-impactos-ambientais-e-economicos/> (acedido em 03/11/2018).
- Park, C. e P. H. Chou (2006). «Eco: Ultra-wearable and expandable wireless sensor platform». Em: *International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*.
- Polígrafo (2019). «A maior parte dos incêndios florestais é causada intencionalmente por "mão criminosa"?» Em: *Polígrafo*. url: <https://poligrafo.sapo.pt/fact-check/a-maior-parte-dos-incendios-florestais-e-causada-intencionalmente-por-mao-criminosa> (acedido em 17/09/2019).
- Pullen, John Patrick (2015). «Here's How Wi-Fi Actually Works». Em: *Time*. url: <http://time.com/3834259/wifi-how-works/> (acedido em 15/06/2019).
- Quercus e Acréscimo (2017). «Quanto custa a prevenção dos incêndios florestais em Portugal?» Em: *Quercus*. url: <http://www.quercus.pt/comunicados/2017/julho/5333-quanto-custa-a-prevencao-dos-incendios-florestais-em-portugal> (acedido em 27/11/2018).
- Sousa, Rita (2017). «A economia dos incêndios». Em: *Jornal Económico*. url: <http://www.jornaleconomico.sapo.pt/noticias/a-economia-dos-incendios-174177> (acedido em 08/12/2019).
- Staf, National Research Council (2001). «Embedded Everywhere: A Research Agenda for Networked Systems of Embedded Computer». Em: *National Academy Press*.
- Suspiro, Ana (2017). «Incêndios. Postos de vigia vazios por horas. Vigilantes contratados pela GNR gozam férias». Em: *Observador*. url: <http://observador.pt/2017/07/18/postos-de-vigia-vazios-por-horas-vigilantes-contratados-pela-gnr-gozam-ferias/> (acedido em 30/11/2018).
- Viegas, Domingos Xavier (2017). «Uma reflexão sobre os incêndios florestais de 2017». Em: *Publico*. url: <https://www.publico.pt/2017/11/19/sociedade/ensaio/uma-reflexao-sobre-os-incendios-florestais-de-2017-1792896> (acedido em 07/11/2018).

Wilcoxon, Frank (1945). «Individual comparisons by ranking methods». Em: *Biometrics Bulletin*.