

DM

Estudo do Comportamento de Link de 24GHz em Situação de Incêndios Florestais

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Lizette Celina Aguiar Carôto

MESTRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA - TELECOMUNICAÇÕES



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

fevereiro | 2019

Estudo do Comportamento de Link de 24GHz em Situação de Incêndios Florestais

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Lizette Celina Aguiar Carôto

MESTRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA - TELECOMUNICAÇÕES

ORIENTAÇÃO

Alberto de Jesus Nascimento

CO-ORIENTAÇÃO

José Carlos Fernandes Neves

Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia
Mestrado de Engenharia Eletrotécnica -
Telecomunicações



Estudo do Comportamento de Link de 24 GHz em Situação de Incêndios Florestais

Lizette Celina Aguiar Carôto

Dissertação de Mestrado submetido à Universidade da Madeira
para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica -
Telecomunicações

Orientador: Alberto Nascimento
Co-orientador: Carlos Neves, LREC, Madeira

Funchal, fevereiro 2019

Estudo do Comportamento de Link de 24 GHz em Situação de Incêndios Florestais

Lizette Celina Aguiar Carôto

Estágio realizado sob a orientação Prof. Dr Alberto de Jesus Nascimento

Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia

Orientação externa Eng. Carlos Neves

LREC

Agradecimentos

Após a realização deste trabalho atingi mais um objetivo, que sem o contributo de algumas pessoas não seria possível.

Queria começar pela minha família. Os meus pais, a minha irmã e os meus avós que sempre me apoiaram e me tornaram a pessoa que sou hoje. Ao meu namorado Gonçalo por estar sempre disponível neste percurso académico.

Ao Professor Alberto Nascimento, orientador deste trabalho, pela ajuda e a disponibilidade no decorrer do trabalho.

Ao Eng. Carlos neves, co-orientador, sempre disponível com uma palavra de apoio, incentivo, otimismo, pela ajuda para a realização deste trabalho, pelos conselhos e sugestões para conseguir ultrapassar alguns obstáculos. Estou muito grata pela experiência partilhada e o conhecimento transmitido.

Ao Laboratório Regional Engenharia Civil, LREC por me ajudar a conseguir concretizar este trabalho, pois não seria possível realizar esta dissertação sem o seu apoio e pelo material disponibilizado. Agradecimentos aos funcionários Sr. Faria, Sr. Jorge e a Engenheira Maria por me auxiliar na realização do incêndio simulado nos Prazeres.

Resumo

O objetivo deste projeto é o estudo do comportamento das comunicações rádio, na banda livre de 24 GHz num incêndio. Em caso de incêndio as comunicações são críticas pelo que é necessário entender e quantificar a correlação entre o incêndio e a propagação do sinal quando são interferidas pela presença de gases e fumo. O incêndio simulado foi realizado nos Prazeres, em que os combustíveis utilizados foram eucaliptos secos e pneus de automóvel. Para a realização deste ensaio foram utilizadas as antenas Ubiquit AirFiber 24.

Este estudo envolveu também medições térmicas da temperatura da obstrução com câmara termográfica e um termómetro infravermelho para medição temperatura da combustão. Por fim foram recolhidas amostras de cinzas para análise química.

Palavras-chave

Propagação, incêndios florestais, temperatura, plasma, potássio.

Abstract

The main goal of this project is to evaluate the behaviour of radio communications at the frequency of 24 GHz free band in a fire. In the presence of fire, communications are critical and it is necessary to understand and quantify the correlation between the fire and the signal propagation when they are interfered by the presence of gases and smoke. The simulated fire was carried out in Prazeres, where the fuels used were dried eucalyptus and automobile tires. For this experiment the antennas Ubiquit AirFiber 24 were used.

This study also involved thermal measurements of the temperature in the obstruction with thermographic chambers and an infrared thermometer for measuring the temperature of the combustion. Finally, samples of the ashes were collected for chemical analysis.

Keywords

Propagation, forest fires, temperature, plasma, potassium.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo.....	iii
Abstract	v
Índice	vii
Índice de Figuras	x
Índice de Tabelas.....	xii
Lista de acrónimos	xiii
1. Motivação.....	1
1.1 Incêndios florestais em Portugal e na ilha da Madeira em particular	1
1.2 O que é o fogo?	2
1.3 Comunicações via rádio	5
2. Estudo de arte	9
2.1 Propagação do sinal	9
2.1.1 Refração, difração e atenuação do sinal num incêndio	9
2.1.2 Plasma	10
2.2 Campo eletromagnético.....	11
2.2.1 Modelo de plasma para campos eletromagnéticos.....	12
2.2.2 Plasma induzido por combustão (interações com campo eletromagnético)	13
3. AirFiber 24	15
3.1 Antena AirFiber 24	15
3.2 Configuração das antenas no LREC	17
4. Testes no LREC	23
4.1 Montagem das antenas no LREC.....	23
4.2 Resultados no LREC	24
5. Ensaios de campo.....	27
5.1 Equipamento utilizado	27
5.1.1 Flir P640.....	27
5.1.2 Termómetro infravermelho	27
5.2 Configuração das antenas no local.....	28
5.3 Montagem e alinhamento das antenas	29
5.4 Procedimento.....	32
5.5 Recolha de dados/tratamento de dados	35
5.5.1. Laboratório.....	37
6. Comparação com outros estudos	43
7. Conclusão	45

8. Bibliografia	47
Anexo A	49
Anexo B	51
Anexo C	52

Índice de Figuras

Figura 1- Incêndios florestais em Portugal.....	1
Figura 2- Área Ardida Total por distrito.	1
Figura 3- Causas dos Incêndios.	2
Figura 4- Fases de um incêndio [3].	3
Figura 5- Estimativa da temperatura para algumas fontes de calor [4].	3
Figura 6- Triângulo do fogo	4
Figura 7- Temperatura e regiões da chama.	4
Figura 8- Comunicação via rádio.	5
Figura 9- Qualidade de voz e cobertura [10].....	6
Figura 10- Arquitetura da rede de comunicações do SIRESP [10].	6
Figura 11- Eficiência espectral [10].....	7
Figura 12- Tecnologia TETRA na Europa [11].	7
Figura 13- Refração sem fogo e com fogo [6].....	9
Figura 14- Difração [6].....	10
Figura 15- Atenuação do sinal.....	10
Figura 16- Ionização.	11
Figura 17- AirFiber 24GHz.	15
Figura 18- Comparação das velocidades (Mbps).	15
Figura 19- Configurações bidirecionais.	16
Figura 20- Eficiência Espectral.....	16
Figura 21- Configurar antenas AirFiber 24 no LREC.	17
Figura 22- Configuração na antena.	17
Figura 23- Adaptador POE.....	18
Figura 24- Alterar as opções do adaptador.....	18
Figura 25- Interface gráfica da Airfiber24.	19
Figura 26- Alteração da rede.....	19
Figura 27- Alteração da rede.....	20
Figura 28- Configurar a antena Master.....	20
Figura 29- Configurar a antena Slave.....	21
Figura 30- Montagem das antenas AirFiber 24GHz no recinto do LREC.....	23
Figura 31- Ferramenta de alinhamento das antenas.....	24
Figura 32- Resultados no LREC.....	24
Figura 33- Acesso remoto através do putty.....	25
Figura 34- Base de dados.	25
Figura 35- Flir P640.....	27
Figura 36- Especificações [18].....	27
Figura 37- Infrared Thermometer.	28
Figura 38- Configuração da antena master.....	28
Figura 39- Configuração da antena <i>slave</i>	29
Figura 40- Montagem da antena <i>slave</i>	29
Figura 41- Montagem da antena <i>master</i>	30
Figura 42- Alinhamento das antenas.	30
Figura 43- Alinhamento das antenas.	31
Figura 44- Antenas não alinhadas.	31
Figura 45- Antenas alinhadas.....	32
Figura 46- Cenário da queima.	32

Figura 47- Queima dos eucaliptos.....	33
Figura 48- Queima dos pneus.	33
Figura 49- Câmara termográfica.	34
Figura 50- Antes da queima.	34
Figura 51- No decorrer da queima.	35
Figura 52- Base de dados.	35
Figura 53- Potência do sinal (dBm).	36
Figura 54- Capacidade (Mbps).	36
Figura 55- Temperatura.	36
Figura 56- Amostra das cinzas.....	37
Figura 57- Cinzas peneiradas.....	37
Figura 58- Mufla.	38
Figura 59- Amostra calcinada.....	38
Figura 60- Tratamento da amostra.	39
Figura 61- Espectrômetro de absorção atômica (AA).....	39
Figura 62- A chama no espectrômetro de absorção atômica (AA).....	40
Figura 63- Reta de calibração do cálcio.....	40
Figura 64- Reta de calibração do potássio.	40
Figura 65- Cenário do ensaio.....	44

Índice de Tabelas

Tabela 1- Valores obtidos de diferentes metais	41
Tabela 2- Atenuação [19]	41
Tabela 3- Dimensões dos fogos [7]	43
Tabela 4- Atenuação com vários fogos e frequência [7].....	43
Tabela 5- Atenuação[20]	43

Lista de acrónimos

AA	Espectrómetro de Absorção Atómica
ANPC	Autoridade Nacional de Proteção Civil
EDR	Estação Diretora de Rede
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
ETSI	Instituto Europeu de Normalização das Telecomunicações
IP	Internet Protocol
LREC	Laboratório Regional de Engenharia Civil
REPC	Rede Estratégica de Proteção Civil
ROB	Rede Operacional dos Bombeiros
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RX	Antena Recetora
SIRESP	Sistema Integrado das Redes de Emergência e Segurança de Portugal
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
TDMA	Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo
TX	Antena transmissora
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency

1. Motivação

Neste capítulo são apresentadas as motivações que levaram à realização deste trabalho. São abordados temas como a evolução dos incêndios em Portugal e na ilha da Madeira, a definição de fogo e de que forma este afeta as comunicações via rádio.

1.1 Incêndios florestais em Portugal e na ilha da Madeira em particular

No ano de 2017 a área ardida em Portugal ultrapassou os 506 mil hectares de floresta, comparativamente ano de 2003, no qual arderam 430 mil hectares. Na figura 1 é possível observar a tendência de redução em 4% no número de ocorrências comparativamente aos anos anteriores [1].

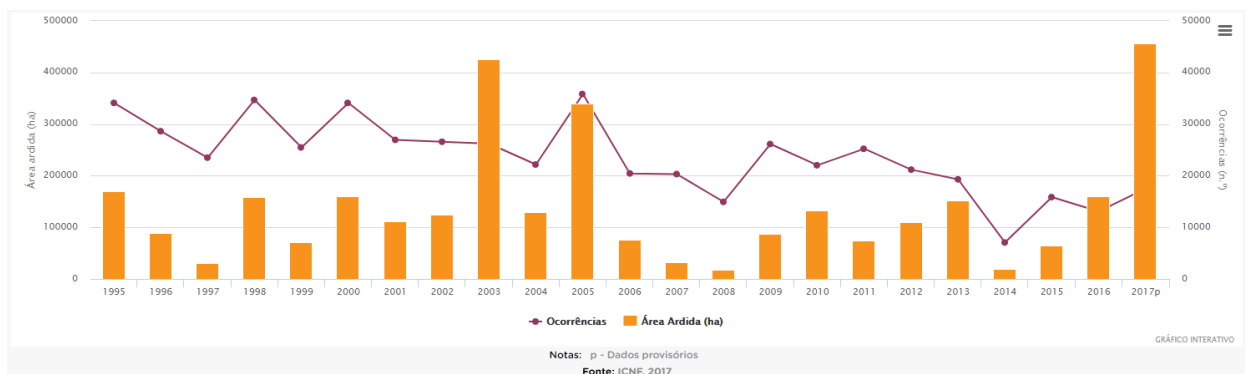


Figura 1- Incêndios florestais em Portugal.

Como se pode verificar na figura 2 os distritos com mais área ardida em 2017 foram: Coimbra (120 671 hectares), Guarda (62 782 hectares), Castelo Branco, Viseu, Leiria, Santarém e Bragança.

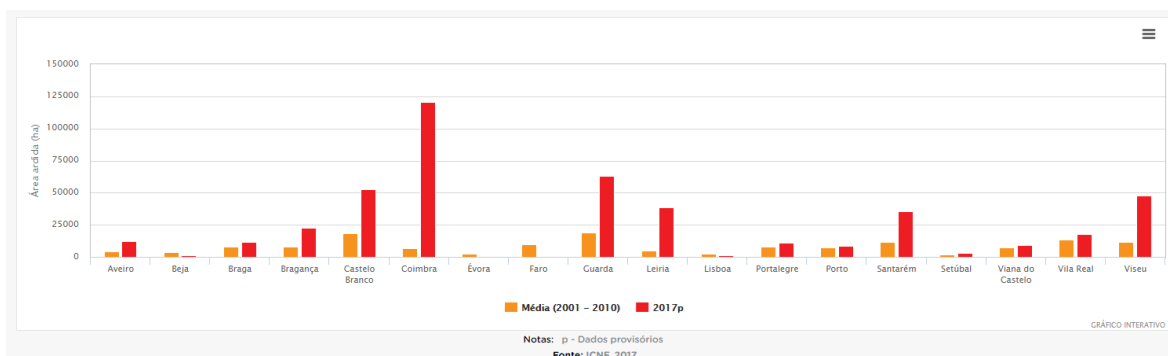


Figura 2- Área Ardida Total por distrito.

O gráfico da figura 3 apresenta as causas principais dos incêndios em Portugal. A principal causa é a negligência humana, como por exemplo as queimadas. Pode-se verificar também que o incendiário que se enquadra no vandalismo, vinganças ou provocações é uma das principais causas dos incêndios.

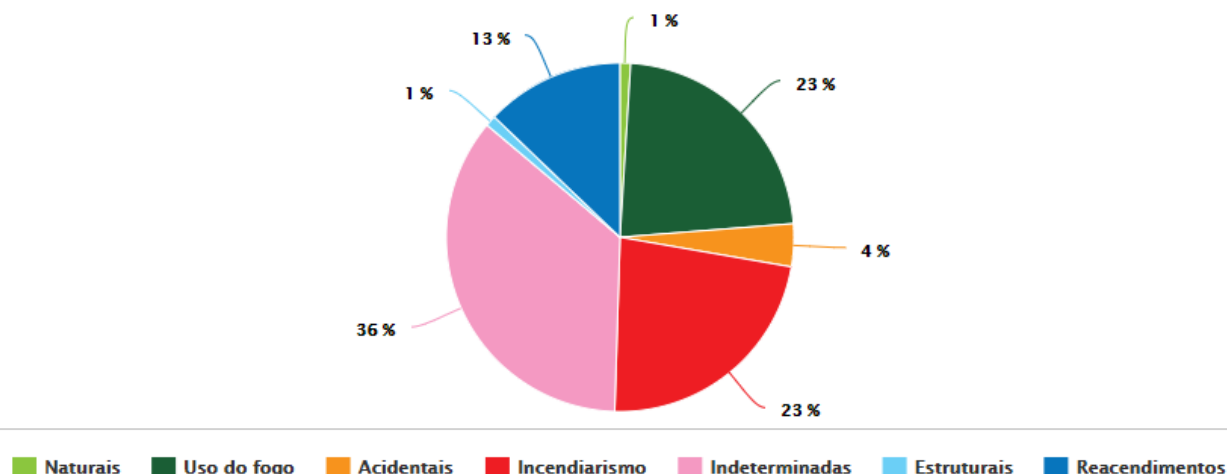


Figura 3- Causas dos Incêndios.

79% do território da ilha da Madeira é constituído por vegetação cuja principal função é o reforço do ciclo hidrológico. A Ilha da Madeira tem sofrido cada vez mais com os incêndios, em que o pior incêndio foi em agosto de 2016, quando deflagraram incêndios em diferentes localidades, destruindo áreas urbanas e florestais, colocando em risco toda a base económica da ilha e a sua riqueza.

O comportamento do fogo é determinado pelas características do terreno, pelas condições meteorológicas e pela vegetação, em que o Homem pode somente modificar ou controlar apenas este último fator. De acordo com o Plano Regional de Ordenamento Florestal a área florestal cresceu 4% entre os anos de 2004 e de 2010 e a agricultura ocupa somente 12% da área da ilha.

A ilha da Madeira tem uma elevada carga combustível de origem vegetal, e a sua orografia muito acidentada, com difíceis acessos, operação aérea muito dificultada e meteorologia adversa, fomentam uma propagação muito rápida do fogo em que os meios de combate (aeronaves ou as viaturas) não são suficientes [2].

1.2 O que é o fogo?

O fogo é considerado como uma forma de matéria no estado de plasma. O plasma é um estado da matéria em que os átomos são decompostos em núcleos e em eletrões que emitem radiação eletromagnética.

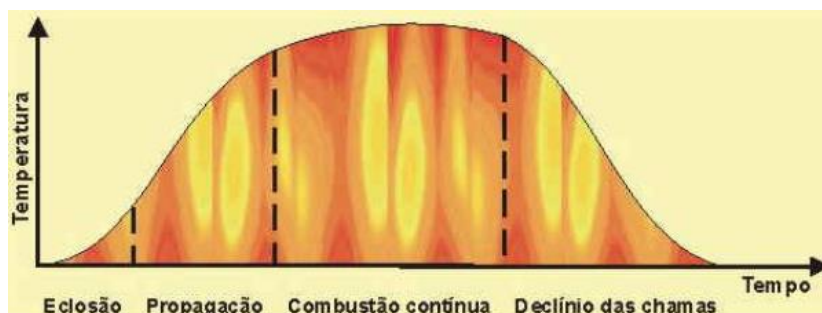


Figura 4- Fases de um incêndio [3].

O fogo é uma reação de combustão, consiste na combinação rápida de um comburente, isto é, uma substância que reage na combustão com um combustível que neste caso é a vegetação, resultando na emissão de calor e luz. A figura 5 apresenta fontes de calor e a sua temperatura.

Fonte de calor	Temperatura °C
Vela	700 – 1400
A 15 cm da chama da vela	200
Arco elétrico	4000
Chama de álcool	1200 – 1700
Chama de fósforo	1500
Chama de gás	1000 – 1500
Cigarro	300 – 400
Fósforo	800
Lâmpada	170 – 200
Madeira queimando	1000 – 1400
Oxi-acetileno	2000 – 3000

Fonte: *Tactical Firefighting*, Paul Grimwood, modificada por CBMDF (2006)

Figura 5- Estimativa da temperatura para algumas fontes de calor [4].

No cálculo da energia libertada pela combustão tem-se que o ar não é constituído apenas por oxigénio puro, mas por uma mistura de gases, dos quais 79% de azoto (N₂) e 21% de oxigénio, que durante o fogo se reduz para 15%. As reações de combustão libertam muita energia e essa energia já existe mesmo antes da reação, pois os combustíveis armazenam energia na sua estrutura molecular.

Para haver combustão é necessário existirem as condições descritas no triângulo do fogo da figura 6. É essencial a presença em simultâneo do comburente, do combustível e da energia acumulada. A energia de ativação é a energia fornecida ao sistema e pode ser na forma de calor [4].

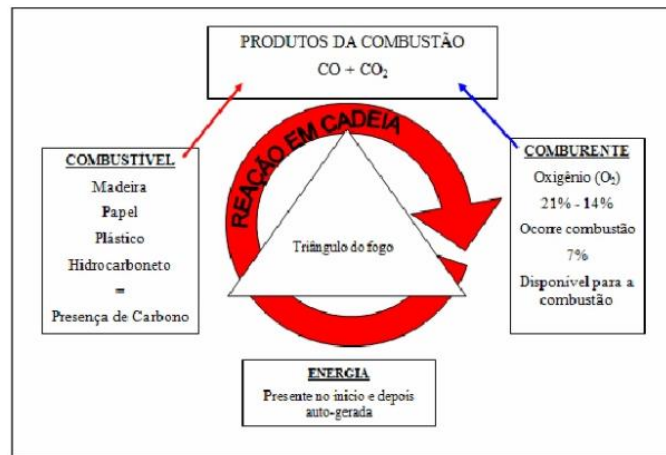


Figura 6- Triângulo do fogo

A combustão tem várias fases. O processo inicia-se com uma reação endotérmica, pré-ignição, passa pela fase de transição, ignição, e por fim a fase exotérmica que consiste na combustão, que pode ser com ou sem chama [5]. Na pré-ignição o combustível sofre um pré-aquecimento e pirólise, que consiste na degradação térmica e assim fazendo que entre em combustão. Com o aumento da temperatura ocorre a libertação de água. A ignição é o processo transitório que conduz à combustão.

As causas dos incêndios florestais são diversas, variam com a estação do ano e com as espécies vegetais. O processo de aquecimento de uma partícula de combustível pode ser de três formas: a não ignição (não há inflamação da partícula porque a intensidade ou a duração do aquecimento é demasiado baixa, e assim não se atinge a temperatura de ignição); a ignição transitória (existe combustão quando existe uma fonte de calor) e por fim a ignição persistente (existe combustão mesmo não havendo fonte de calor).

A combustão com chama é heterogénea e parcial. Só existe chama quando a pirólise produz os gases inflamáveis que são transportados para a zona de reação. A produção da chama dá-se quando ocorre o processo de mistura gasosa ou dentro dos limites de temperatura. O movimento do ar faz com que os reagentes se misturem aumentando a combustão. Na figura 7 pode-se observar um diagrama representativo de uma chama, onde são ilustrados a combustão, a sua temperatura e a cor que são determinadas através das condições de combustão e pelos os reagentes [6].

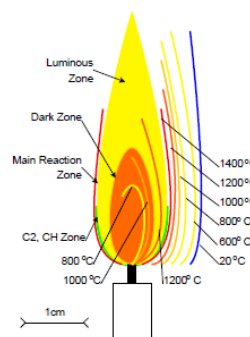


Figura 7- Temperatura e regiões da chama.

A combustão sem chama é um processo no qual os materiais voláteis já foram expulsos do combustível celulósico. As taxas de reação podem ser controladas pela existência de oxigénio, ou seja, os ventos fortes podem aumentar a temperatura do fogo sem chama e assim inflamá-lo.

O fumo que sai da zona de reação é constituído por partículas sólidas e vapor de água condensado. O fumo branco é devido à elevada humidade no combustível e o fumo negro indica que a combustão está incompleta. Devido à presença de eletrões livres, o fumo é um condutor. Quando a onda eletromagnética interage com a chama os eletrões são acelerados pelo campo elétrico da onda eletromagnética e assim faz com que os eletrões adquiram a energia da onda incidente e a energia que é absorvida é transferida para os neutrões por causa das colisões. A maior parte da energia que é absorvida pelo eletrão é dissipada na forma de calor. A dissipação da energia faz com que o campo elétrico da onda eletromagnética seja atenuado pela chama.

A refração da onda eletromagnética pode ser causada pela temperatura, gradiente de pressão e ionização no meio de propagação. A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética altera-se com as propriedades físicas, em que a velocidade da onda aumenta quando a onda atravessa um meio frio para um meio quente, provocando a mudança da direção da propagação. As ondas eletromagnéticas são desviadas de uma região altamente ionizada para uma região que esteja menos ionizada, provocando o desvio das ondas e diminuindo a intensidade do sinal no recetor, o resultado é a atenuação do sinal [7].

1.3 Comunicações via rádio

A comunicação via rádio é fundamental à proteção civil para coordenação das operações de combate ao incêndio. Mas a comunicação via rádio pode degradar-se severamente quando se dá próximo de um incêndio, ou seja, quando o fogo e o fumo interferem com a ligação rádio, como se pode verificar na figura 8 [6].



Figura 8- Comunicação via rádio.

Em Portugal os seguintes organismos combatem os incêndios florestais: o Sistema Integrado das Redes de Emergência e Segurança de Portugal (SIRESP), a Rede Operacional dos Bombeiros (ROB) e a Rede Estratégica de proteção Civil (REPC) [8]. A ROB e a REPC são uma rede analógica que opera no modo simplex com transmissão unidirecional, assim atrasando a comunicação e a transmissão da informação.

O SIRESP utiliza a tecnologia TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*), é um sistema de Rádio *Trunking Digital* em TDMA- (Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo) desenvolvido pelo Instituto Europeu de Normalização das Telecomunicações (ETSI). A tecnologia TETRA utiliza uma largura de banda de 25KHz, pode transmitir voz e dados em simultâneo e transmite 4 *time-slots* num único canal de comunicação (4:1 TDMA).

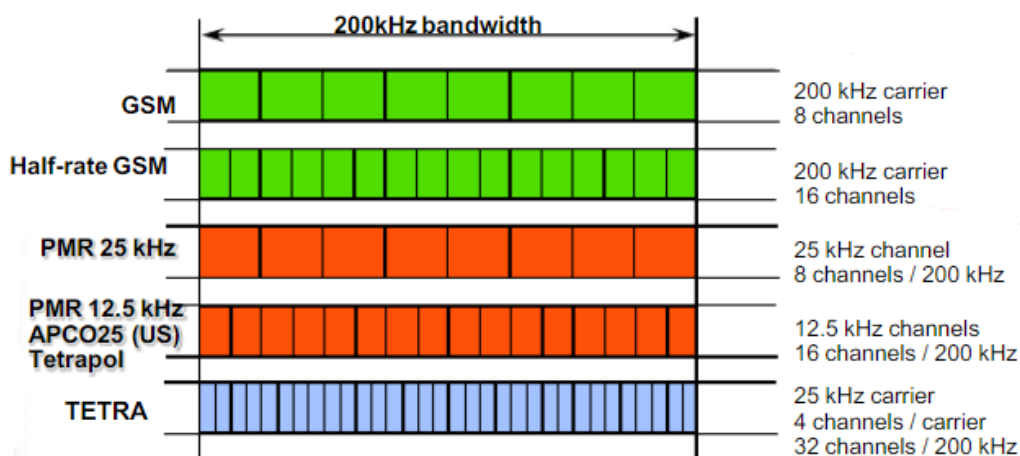


Figura 11- Eficiência espectral [10].

Esta tecnologia é muito utilizada pelas forças militares, empresas de transporte, forças de segurança e serviços de emergência.

Na Europa são utilizadas as seguintes frequências:

Sistemas de Socorro			Sistemas públicos		
Número	Frequência (MHz)		Número	Frequência (MHz)	
	Banda 1	Banda 2		Banda 1	Banda 2
1	380-383	390-393	1	410-420	420-430
2	383-385	393-395	2	870-876	915-921
			3	450-460	460-470
			4	385-390	395-399.9

Figura 12- Tecnologia TETRA na Europa [11].

Em Portugal os incêndios são a catástrofe natural mais grave pelas dimensões que alcançam, mas também pela elevada frequência que acontecem, embora os estudos apontem que as causas humanas são a razão da origem de muitos incêndios. O sistema atualmente utilizado é o SIRESP, este sistema falhou na comunicação no incêndio de Pedrógão Grande em 2017 de onde ocorreram um número elevado de vítimas. Um dos objetivos deste relatório é entender a falha de comunicação durante o incêndio, se existe atenuação do sinal ou mesmo a perda de sinal num cenário de incêndio.

2. Estudo de arte

Neste capítulo será estudada o desempenho da transmissão do sinal, a sua propagação, a refração, difração, atenuação, o campo eletromagnético e o comportamento do plasma quando interage com o fogo.

2.1 Propagação do sinal

A radiação eletromagnética resulta de uma variedade de fenómenos e é descrita pelas equações de Maxwell. As ondas eletromagnéticas resultam da interação entre o campo magnético e o campo elétrico que oscilam no espaço (comprimento de onda) e no tempo (frequência). A velocidade da luz num meio está relacionada com as características, em que a permissividade está relacionada com as características elétricas do meio e a permeabilidade com as características magnéticas do meio. As características do meio mudam por causa da alteração da temperatura, pressão ou presença de obstáculo influenciando a propagação [6].

Durante um incêndio florestal é libertada na atmosfera uma grande quantidade de energia térmica [12][13].

2.1.1 Refração, difração e atenuação do sinal num incêndio

A refração consiste no redireccionamento das ondas eletromagnéticas face às alterações das características de propagação do meio. Num ambiente de fogo as ondas eletromagnéticas viajam através da atmosfera que está constantemente em mudança. Quando as condições atmosféricas são normais as ondas de rádio curvam-se sobre a superfície da terra. Isso é devido à temperatura e à pressão atmosférica, originando um índice de refração mais elevado ao nível do solo. O fogo causa grandes mudanças na composição do gás da atmosfera e na temperatura, e com o aumento da temperatura o índice de refração diminui.

Num incêndio a parte mais quente da atmosfera é próxima do solo, e a refração aumenta com a altitude. Isto chamam-se condições sub-refrativas (*sub-refractive conditions*). As ondas rádio desviam-se do solo, diminuindo a intensidade do sinal [6]. A figura 13 ilustra as condições sub-refrativas provocadas pelo fogo, o que contribui para a perda de sinal.

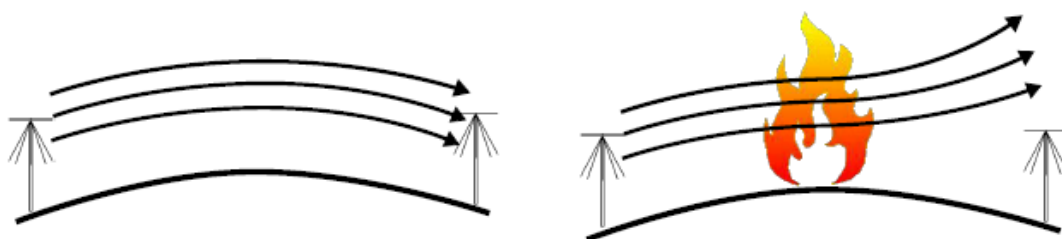


Figura 13- Refração sem fogo e com fogo [6].

A difração ocorre quando um obstáculo interage com a propagação da onda eletromagnética, ou seja, a propagação é obstruída pelo incêndio o que dá origem a regiões de sombra. Mas mesmo assim a onda eletromagnética se propaga na região de sombra. Este fenômeno é proporcional ao comprimento de onda, ou seja, com comprimentos de onda mais longos consegue-se recuperar o sinal na região da sombra.

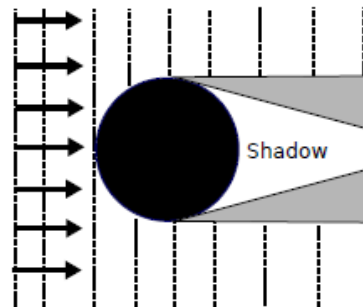


Figura 14- Difração [6].

A atenuação do sinal pode ser devida a interação entre o fogo e a chama, pois as partículas carregadas que existem na zona de combustão irão interagir com as ondas eletromagnéticas, causando atenuação do sinal.

Quando uma onda eletromagnética colide com o plasma os elétrons oscilam com o campo elétrico. Na oscilação os elétrons colidem com as partículas neutras e essas colisões originam a atenuação pois a onda eletromagnética viaja através do meio do plasma.

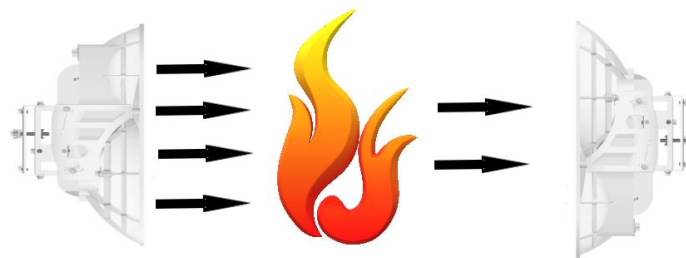


Figura 15- Atenuação do sinal.

2.1.2 Plasma

O plasma é um estado de matéria que é constituída por partículas carregadas que se movimentam livremente. Quando a onda eletromagnética colide com o plasma a energia é transmitida para as partículas carregadas, e os campos elétricos e magnéticos oscilam [6]. Quanto maior a densidade de partículas carregadas livres maior a energia que é acoplada no plasma e nas partículas em movimento. As chamas de um incêndio são constituídas por partículas carregadas e elétrons livres que são produzidas através do processo de combustão.

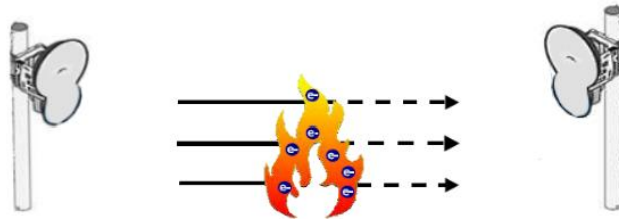


Figura 16- Ionização.

Num incêndio por vezes a comunicação entre os rádios é interrompida por causa do plasma. Os combustíveis são gaseificados às altas temperaturas de combustão e ionizado pelo plasma. A frequência do plasma ω_p é dada pela seguinte equação (2.1):

$$\omega_p = \sqrt{\frac{N e^2}{m \epsilon_0}} \quad 2.1$$

Em que, m é massa do eletrão $9.1 * 10^{-31} \text{ kg}$, $e = 1.6021766208 * 10^{-19} \text{ C}$ é a carga do eletrão, N é a densidade da partícula/eletrão (m^{-3}) e ϵ_0 é a permissividade do vácuo $8.8541 * 10^{-12} \text{ F/m}$. Quando a frequência da onda eletromagnética é maior que a frequência do plasma ela pode-se propagar através do plasma com poucas perdas.

2.2 Campo eletromagnético

O campo magnético e o campo elétrico juntos constituem campos eletromagnéticos. Estes podem ser independentes, mas são acoplados um ao outro se existirem alterações do tempo. Pode-se verificar pelas equações de Maxwell [13].

As equações de Maxwell em forma diferencial:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \vec{D} &= \rho \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{aligned} \quad 2.2$$

Onde \vec{D} é a densidade do fluxo elétrico, \vec{B} é a densidade do fluxo magnético, \vec{E} é o campo elétrico, \vec{H} é o campo magnético, \vec{J} é a densidade de corrente elétrica, ρ é densidade da carga elétrica, t é o tempo e ∂ é o diferencial parcial.

Um caso importante é quando os campos elétricos e campos magnéticos variam sinusoidalmente no tempo. Então, neste caso os campos podem ser expressos em termos do complexo exponencial $e^{j\omega t}$. Se multiplicarmos o fasor por $e^{j\omega t}$, obtém-se as seguintes equações Maxwell utilizando o fasor [13]:

$$\begin{aligned}
\nabla \cdot \vec{D} &= \rho \\
\nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\
\nabla \times \vec{E} &= -j\omega\vec{B} \\
\nabla \times \vec{H} &= \vec{J} + j\omega\vec{D}
\end{aligned} \tag{2.3}$$

Para estudar a interação entre os campos e o plasma. O plasma é apresentado como uma matéria regular, referido como um meio em eletromagnetismo e um modelo para a permissividade. As interações entre os campos, meios isotrópicos e lineares requerem as seguintes relações:

$$\begin{aligned}
\vec{J} &= \sigma\vec{E} \\
\vec{D} &= \epsilon\vec{E} \\
\vec{B} &= \mu\vec{H}
\end{aligned} \tag{2.4}$$

Onde σ é a condutividade, ϵ é a permissividade e μ é a permeabilidade do material. Dielétricos regulares são constituídos por uma permissividade relativa maior que um, mas o plasma pode ter uma permissividade relativa menor que um. A seguir serão demonstradas as expressões da permissividade (2.5) e permeabilidade (2.6)[13]:

$$\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r \tag{2.5}$$

$$\mu = \mu_0\mu_r \tag{2.6}$$

Em que ϵ_0 representa a permissividade do espaço livre e μ_0 é a permeabilidade do espaço livre. Para um dado material, a permissividade pode ser expressa como:

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \tag{2.7}$$

Onde ϵ'' é a parcela imaginária que captura as perdas no material. Essas perdas são expressas através da condutividade σ , ou a tangente de perda $\tan\delta$, depende se o material é considerado um condutor ou um dielétrico, respetivamente. Estão relacionadas por:

$$\epsilon'' = \sigma / \omega = \epsilon_0\epsilon_r\tan\delta \tag{2.8}$$

2.2.1 Modelo de plasma para campos eletromagnéticos

É importante estudar como as ondas eletromagnéticas interagem com plasmas. Foi estudado anteriormente como os campos irão interagir com o plasma se ele for um dielétrico. De seguida é representado um modelo de permissividade para um plasma não magnetizado:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \left[1 - \frac{\omega_{pe}^2}{\omega^2 + v_{eff}^2} \right] - j \frac{\omega_{pe}^2 v_{eff}}{\omega(\omega^2 + v_{eff}^2)} \tag{2.9}$$

Usando isto como a permitividade do plasma, podemos tratar o plasma como um meio regular. Mas o plasma é desmagnetizado, isotrópico, o que quer dizer que a transmissão através do plasma será a mesma independentemente da direção.

ϵ_r é um valor complexo que depende dos parâmetros do plasma, mas também da frequência. À medida que a frequência aumenta, a parte imaginária aproxima-se de zero e a real aproxima-se de um. Portanto, para frequências suficientes altas que são determinadas pelas propriedades do plasma, o plasma aproxima-se do comportamento do espaço livre (as perdas tendem para zero). Como as frequências são altas, as partículas não podem oscilar com rapidez para acompanhar os campos que estão em mudança. Para frequências mais baixas a absorção é maior, e em frequências mais altas o plasma tem menos efeitos sobre os campos eletromagnéticos. Quando o plasma não é homogêneo e existe um gradiente de densidade, as propriedades do plasma mudam espacialmente, então neste caso ocorrerá a reflexão e a dispersão [13].

2.2.2 Plasma induzido por combustão (interações com campo eletromagnético)

A região de combustão é onde o processo químico ocorre. Nesta região são geradas partículas carregadas, e formação do plasma induzido por combustão. Foram estudadas as interações eletromagnéticas e o modelo de plasma frio representa a região de combustão [6].

Um eletrão ionizado tem velocidade devido à energia térmica. Quando o campo eletromagnético incide sobre o eletrão uma força adicional é aplicada ao eletrão, o que provoca o deslocamento da sua posição média de acordo com a seguinte equação (2.10):

$$m \frac{\partial^2 r}{\partial t^2} + mv \frac{\partial r}{\partial t} = eE \quad 2.10$$

Em que m é a massa da partícula, r é o vetor de deslocamento da sua posição térmica e v é a frequência de colisão. Se considerarmos o vetor de deslocamento e a sua relação com o vetor de polarização do meio, necessitamos de inserir a densidade de partículas que é afetada pelo campo E , logo o vetor de polarização é $\mathbf{P} = eN_e r$. Sempre que usamos o domínio do tempo, é vantajoso introduzir a corrente de polarização que corresponde à taxa de variação no tempo do vetor de polarização $J_p = \partial \mathbf{P} / \partial t$. Assim conseguiu-se reduzir a equação 2.10 para uma equação diferencial de primeira ordem [6].

$$\frac{\partial J_p}{\partial t} + v J_p = \epsilon_0 \omega^2 p E \quad 2.11$$

Onde $\omega^2 p = N_e e^2 / (m_e \epsilon_0)$ é a frequência do plasma. Para incluir as equações de Maxwell apenas a equação eletro-diferencial temporal é preciso inserir a corrente de polarização.

$$\nabla \times H = \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} + \sigma E + J_p \quad 2.12$$

No domínio da frequência a equação 2.10 pode ser reduzida desta forma.

$$EN_e e^2 = -\omega^2 m \left(1 - \frac{iv}{\omega}\right) \mathbf{P} \quad 2.13$$

A permissividade complexa é dada por:

$$\hat{\epsilon} = \epsilon_0 \left[1 + \frac{\omega^2 p}{\omega(i\nu - \omega)} \right] \quad 2.14$$

A frequência de colisão do fogo é alta devido aos gases envolvidos e à pressão atmosférica. Pode-se verificar uma aproximação para o índice de refração de um plasma frio com uma alta frequência de colisão.

$$n^2 = 1 - i \frac{\sigma}{2\epsilon_0\omega} \quad \text{onde } \sigma = \frac{Ne^2\epsilon_0}{m_e v_{eff}} \quad 2.15$$

Foram apresentadas algumas bases matemáticas para o plasma frio. Para calcular a atenuação e a constante de propagação do plasma é:

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu_0\epsilon_0\epsilon_r} \quad 2.16$$

$$\alpha = \text{Re}\{\gamma\} * 8.6 \quad 2.17$$

em que 8.6 é o campo neper, podemos fazer a conversão ($20\log_{10}(e)$) [6]

3. AirFiber 24

Neste capítulo é apresentada a antena AirFiber 24 e descreve-se o processo de configuração das antenas no LREC para medir um *link* de comunicações à frequência de 24GHz, mas sem um incêndio simulado.

3.1 Antena AirFiber 24

Para a realização deste trabalho foi utilizada a antena AirFiber24. Esta antena é constituída por uma antena refletora *dual-independent*, 2x2 MIMO e com ganho elevado. Constituída por uma antena dupla, de transmissão (TX) e de receção (RX) o que permite eliminar as perdas extra de radiofrequência (RF).



Figura 17- AirFiber 24GHz.

É um rádio eficiente, compacto, fácil de instalar e alinhar. A AirFiber24 tem bom desempenho, longo alcance e baixa latência. Opera na banda livre de 24GHz, sendo o seu alcance até 13km com a transmissão de dados ponto a ponto, com uma taxa de transferência até 1.4Gbps [14].

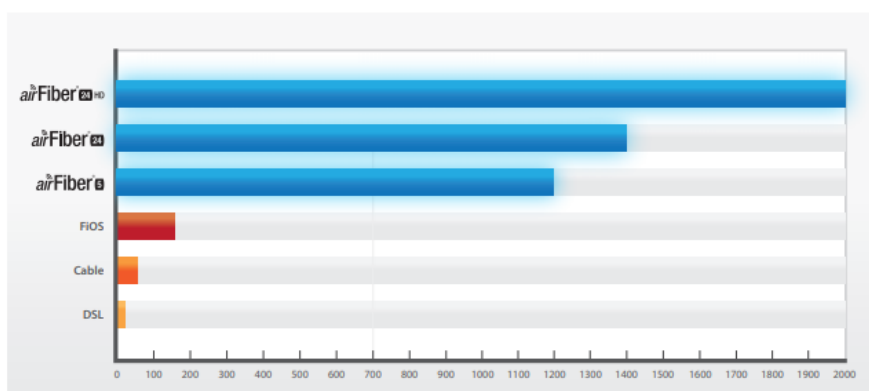


Figura 18- Comparação das velocidades (Mbps).

Para configurar as antenas AirFiber24 são necessárias duas unidades, sendo uma configurada como mestre e a outra como escravo (figura 19). Existem dois modos de funcionamento: *half-duplex* e *full duplex*. Em *half-duplex* as frequências de TX e RX podem ser as mesmas, mas tem como desvantagem uma maior latência e menor taxa de transferência. Com o *full duplex* as frequências TX e RX são diferentes mas resulta em maior taxa de transferência e menor latência [15].

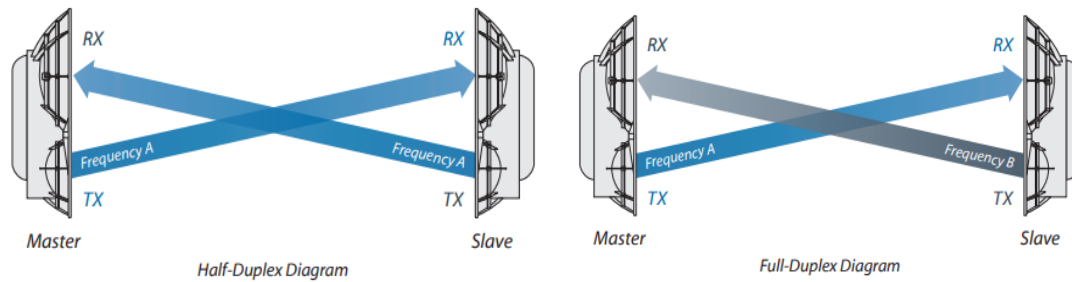


Figura 19- Configurações bidirecionais.

O AirFiber24 utiliza de forma eficiente o espectro, como se pode verificar na tabela da figura 20. Dispõe de algoritmos exclusivos de cancelamento de auto interferência e extrai os canais que são mais utilizados no espectro disponível. O AirFiber24 seleciona a largura de banda do canal RF, a potência de transmissão e também outros parâmetros para assim minimizar a interferência e otimizar os *links budgets* [16].

TWO STREAMS (bps/Hz)						
Channel BW	100 MHz	All Channels	20 MHz	20 MHz	40 MHz	80 MHz
	airFiber® FDD Modulation	airFiber® FDD Modulation	802.11n	802.11ac	802.11ac	802.11ac
Type	bps/Hz	bps/Hz	bps/Hz	bps/Hz	bps/Hz	bps/Hz
QPSK SISO	1.33	1.33	0.59	0.59	0.64	0.70
	2.65	-	-	-	-	-
QPSK	2.65	2.65	1.18	1.18	1.29	1.39
	5.30	-	1.77	1.77	1.93	2.09
16-QAM	5.30	5.30	2.36	2.36	2.57	2.79
	10.60	-	3.55	3.55	3.86	4.18
64-QAM	7.95	7.95	4.73	4.73	5.14	5.57
	15.90	-	5.32	5.32	5.79	6.27
	-	-	5.91	5.91	6.43	6.96
256-QAM	10.60	10.60	-	7.09	7.71	8.36
	-	-	-	-	8.57	9.29
1024-QAM	-	13.25	-	-	-	-

Figura 20- Eficiência Espectral.

3.2 Configuração das antenas no LREC

Antes da montagem e testes das antenas no LREC foi necessário proceder à sua configuração.

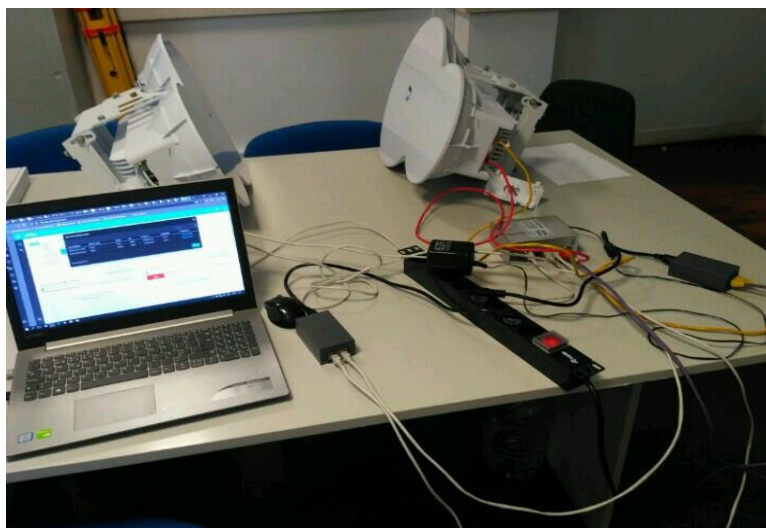


Figura 21- Configurar antenas AirFiber 24 no LREC.

A figura 22 representa a configuração na antena. Primeiro conectou-se o cabo *Ethernet* na porta DATA e no adaptador POE (figura 23), de seguida conectou-se outro cabo *Ethernet* do LREC na porta LAN do adaptador POE. Para configurar o AirFiber é necessário conectar o cabo da *Ethernet* ao computador e na porta CONFIG do AirFiber [15].

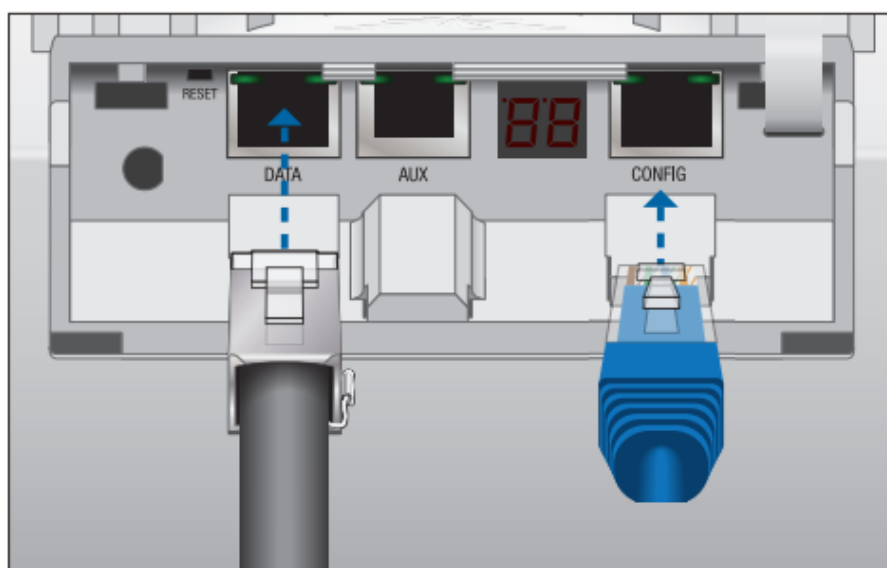


Figura 22- Configuração na antena.



Figura 23- Adaptador POE

Depois configurou-se as opções do adaptador Ethernet para um IP estático na sub-rede 192.168.1.x, como se pode verificar na figura 24.

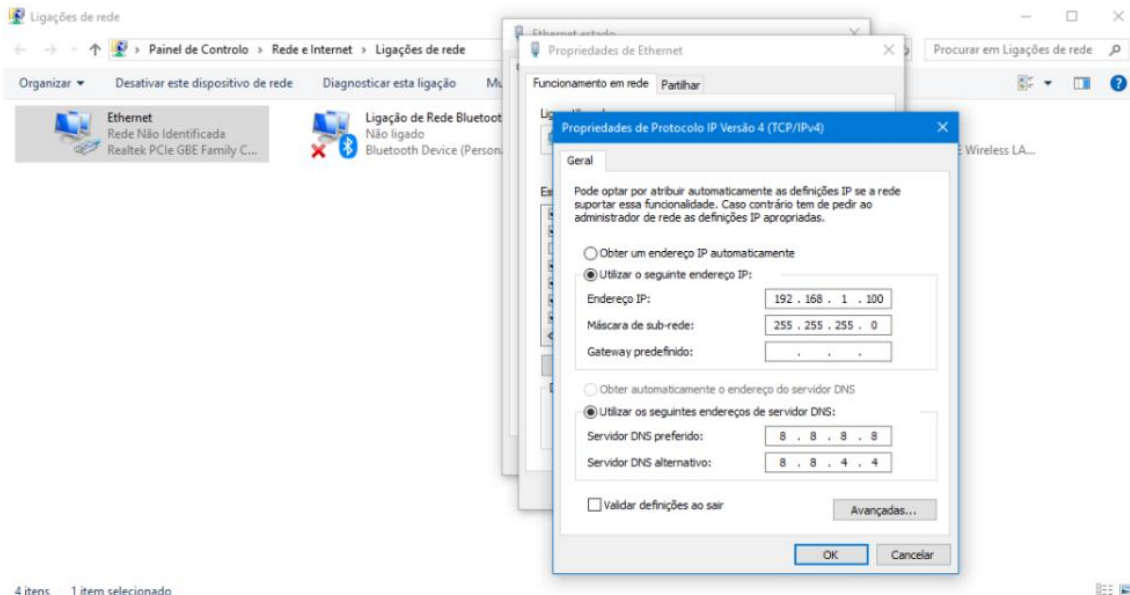


Figura 24- Alterar as opções do adaptador.

De forma a aceder à interface gráfica das antenas (figura 25) abriu-se um web browser no endereço <http://192.168.1.20> e de seguida realizou-se a autenticação.

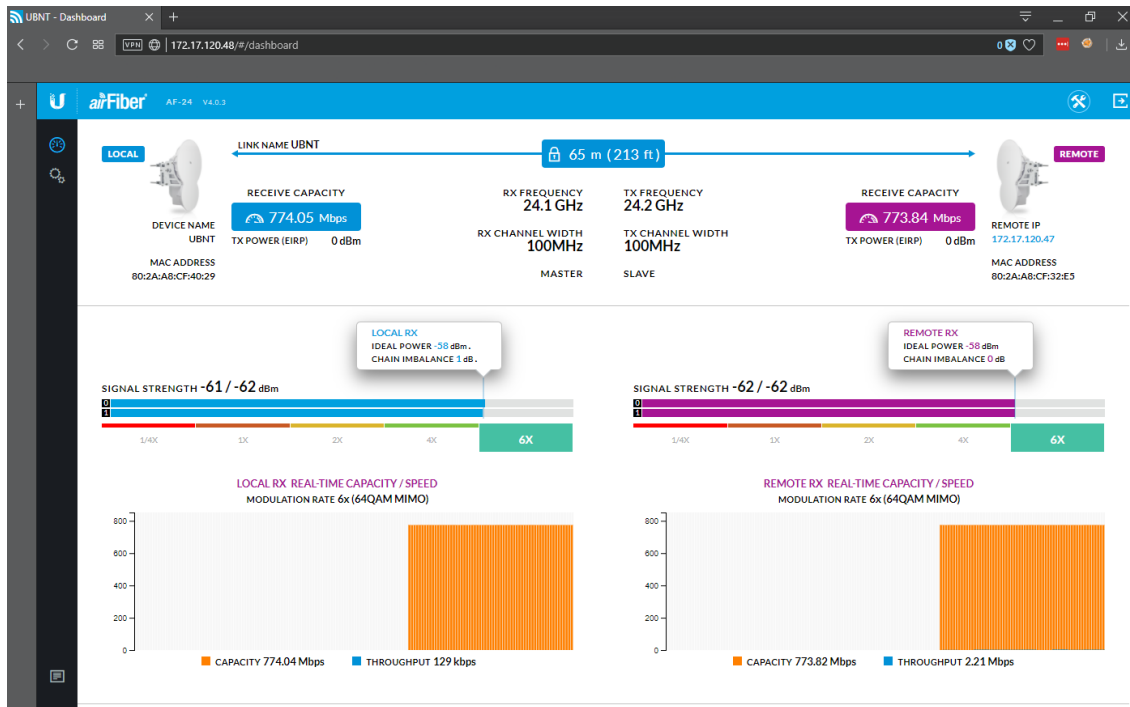


Figura 25- Interface gráfica da Airfiber24.

As figuras 26 e 27, representam a interface gráfica da configuração da antena. Primeiro alterou-se o endereço IP para estático. Com um novo endereço, modificou-se também a máscara de rede e outras configurações para torná-los compatíveis com a rede do LREC, fazendo o mesmo procedimento para outro rádio AirFiber24.

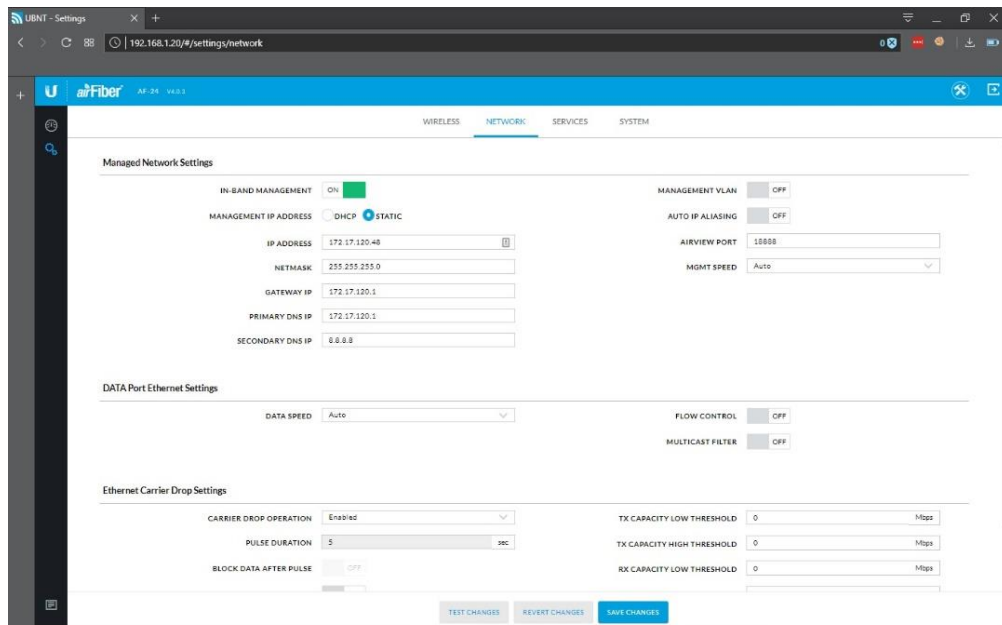


Figura 26- Alteração da rede.

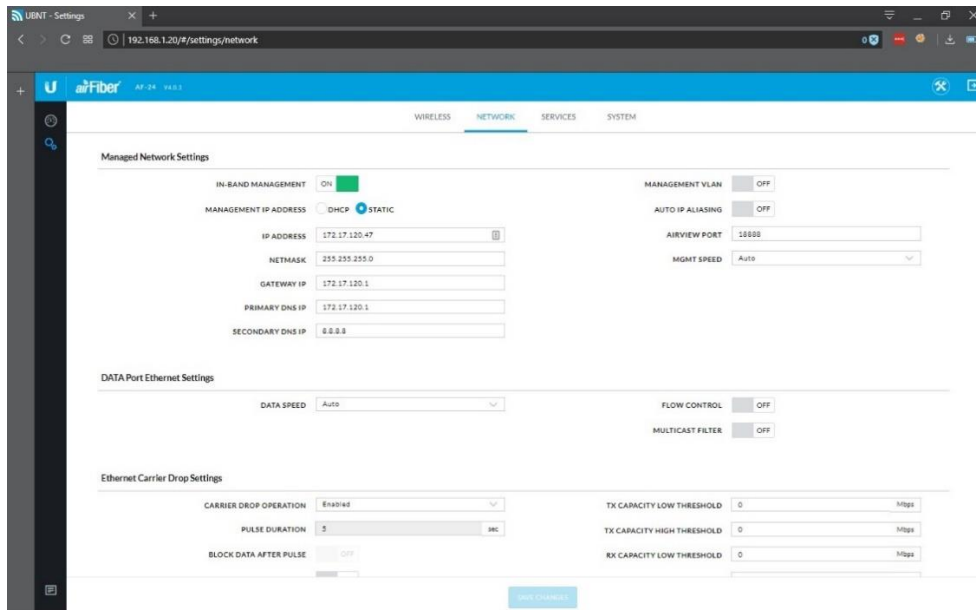


Figura 27- Alteração da rede.

Depois de fazer as modificações necessárias dos endereços das antenas, alteraram-se novamente as opções do adaptador do computador para obter um endereço IP automaticamente, pois estamos ligados à rede do LREC. O endereço 120.17.120.48 corresponde ao *Master* que tem como a frequência TX de 24.2 GHz e a frequência RX de 24.1 GHz, com uma configuração *Full-Duplex* e com uma modulação de 64 QAM MIMO.

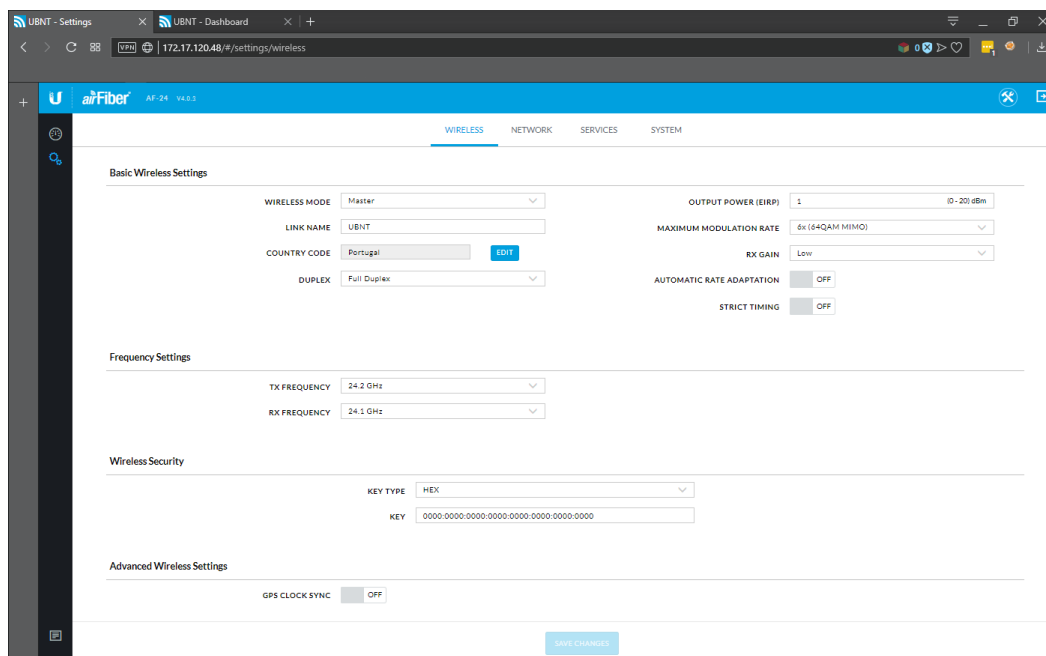


Figura 28- Configurar a antena Master.

O endereço 172.17.120.47 é o do *slave*, que tem como frequência de TX 24.1GHz e frequência de RX 24.2GHz, com uma configuração *Full-Duplex* e a modulação de 64 QAM MIMO.

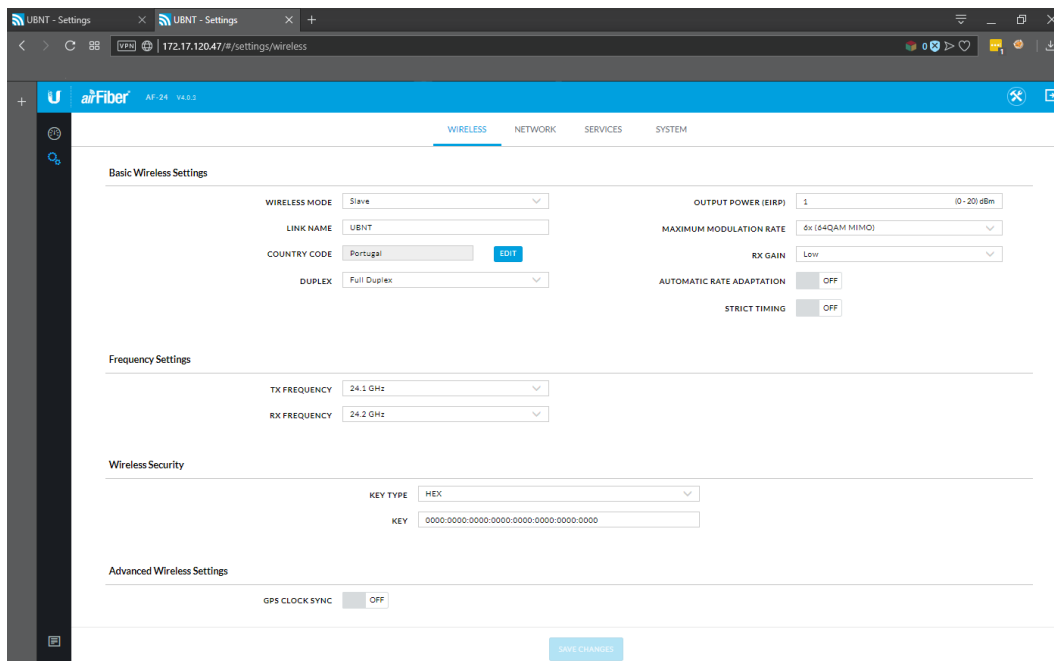


Figura 29- Configurar a antena Slave.

Após estudar o funcionamento da antena, o passo seguinte foi a sua configuração. Resumindo, as duas antenas operam no modo *full-duplex*, com frequências diferentes. A modulação usada é a modulação de amplitude em quadratura QAM no modo 64 QAM, que consiste numa constelação que apresenta 64 símbolos, e cada símbolo representa 6 bits. Após a configuração, a fase seguinte é testar as antenas no LREC.

4. Testes no LREC

Depois da configuração das antenas, estas foram montadas no LREC para a realização dos testes antes de serem testadas num cenário de incêndio simulado no terreno.

4.1 Montagem das antenas no LREC

Após configurar os rádios AirFiber24 usando a interface, montou-se e alinhou-se as antenas no recinto do LREC. Como se pode observar na figura 30 as antenas estão a uma distância de 62m, sendo a altura da torre até ao centro da antena de 2,90m.



Figura 30- Montagem das antenas AirFiber 24GHz no recinto do LREC.

Após a montagem das antenas passou-se ao alinhamento dos rádios. Para tal foi utilizada a ferramenta *Align Antenna* (figura 31). Para alinhar com precisão tem-se de primeiro realizar o ajuste do azimute e elevação no mestre apontado para o escravo, pois o escravo não pode transmitir sinal enquanto não deteta as transmissões do mestre (o lóbulo principal da antena do recetor é mais estreito que o da antena do transmissor). Enquanto realizávamos os ajustes no mestre observamos no outro rádio AirFiber24 (escravo) o nível de sinal recebido e vice-versa. Assim para obter um melhor desempenho alinhamos uma extremidade do *link* de cada vez. Para se obter a transmissão possível de dados entre os rádios temos de obter um link simétrico com os níveis do sinal recebido dentro do intervalo de 1dB [15].

Como se pode verificar na figura 31 o canal local 0 e remoto 0 e canal local 1 e remoto 1 corresponde a polarização horizontal e a polarização vertical, respetivamente. As potências recebidas foram de -61dBm e -61dBm em que o valor ideal seria de -58dBm. E no canal remoto 0 e 1 a intensidade do sinal obtido foi de -62dBm e -61dBm. Como se pode verificar os níveis de sinal recebido estão dentro do intervalo de 1dB.

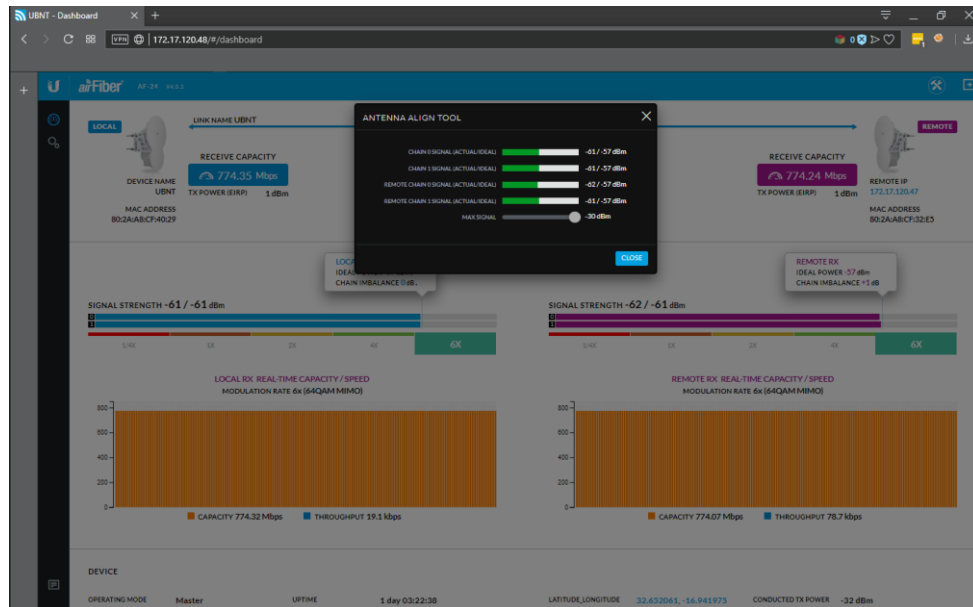


Figura 31- Ferramenta de alinhamento das antenas.

4.2 Resultados no LREC

No LREC realizaram-se vários testes, sem recorrer a um incêndio para testar as antenas. Para uma distância de 67m, em que o valor EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) é a potência do transmissor foi de 1dBm, o ganho de TX foi de 33dBi e o ganho de RX foi de 38dBi e como a distância do link é inferior a 1km então configurou-se o ganho RX para *Low* para não distorcer o sinal e foram observados valores obtidos. Na figura 31 está ilustrada a interface com os valores obtidos do teste.

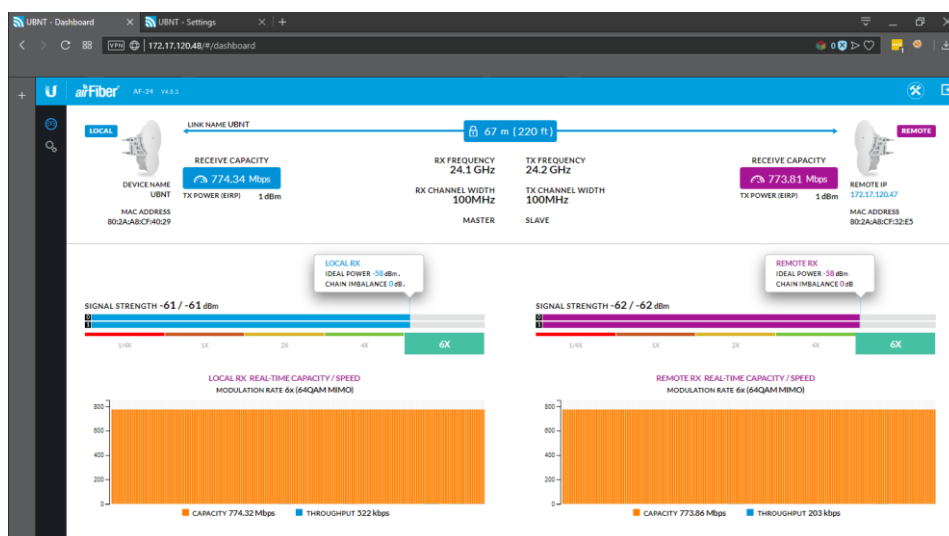


Figura 32- Resultados no LREC.

5. Ensaio de campo

Neste capítulo são apresentados os equipamentos utilizados na realização dos ensaios, bem como as configurações, a montagem e alinhamento das antenas AirFiber24, e por fim os resultados obtidos.

5.1 Equipamento utilizado

5.1.1 Flir P640

Para a medição da temperatura do incêndio utilizou-se uma câmara térmica. É fácil de manusear, constituída por uma elevada resolução de imagem térmica, com uma definição de 640x480 o que permite uma boa qualidade de imagem para infravermelhos, e tem uma sensibilidade de 30mK. A sua medição de temperatura é precisa para grandes distâncias, sendo capaz de medir temperaturas entre -40°C até 500 °C [17].



Figura 35- Flir P640.

5.1.2 Termómetro infravermelho

Para medir a temperatura utilizou-se um termómetro de infravermelhos que nos auxiliou na obtenção da leitura precisa da temperatura. Seguidamente na tabela da figura 36 são apresentadas algumas características.

Temperature Range	-50~580°C (-58~1076°F)
Accuracy	±2% or 2°C
Unit	°C / °F
Resolution	0.1°C (0.1°F)
Response Time	≤0.5S
Emissivity	Adjustable (0.1 to 1.0)
Laser point	Dual
Distance to Spot Ratio	16: 1
Data memory	9 data
Storage Temperature	-20 to 50°C (-4~122°F)
Operating Temperature	0 to 50°C (32~122°F)
Operating humidity	10~95%RH (Non-condensing)
Power	9V (not included)

Figura 36- Especificações [18].

Quanto mais longe estiver o alvo mais será a área do ponto de teste, ou seja, quando a distância do termómetro para o objeto aumenta o tamanho do ponto da área de medição aumenta também. Para um teste eficaz a distância deve ser 16 vezes maior que o diâmetro do objeto alvo [18].



Figura 37- Infrared Thermometer.

5.2 Configuração das antenas no local

Após alguns testes com as antenas AirFiber24 no LREC, optou-se como local para realização do ensaio nos Prazeres, no concelho da Calheta. Primeiramente configuram as antenas, em seguida a montagem e alinhamento das mesmas e por fim simulou-se incêndio para realização de medições do sinal entre as antenas.

Para configurar as antenas realizou-se o mesmo processo anteriormente descrito, mas foi utilizado outro endereço de IP para as antenas. O endereço 192.168.1.20 corresponde ao *Master* que tem como a frequência TX de 24.2 GHz e a frequência RX de 24.1 GHz, com uma configuração *Full-Duplex* e a modulação 64 QAM MIMO, como se pode observar na figura 38. Em relação ao endereço 192.168.1.21 corresponde ao *slave*, tem como frequência TX 24.1GHz e a frequência RX 24.2GHz, com uma configuração *Full-Duplex* e a modulação é 64 QAM MIMO, como se pode verificar na figura 39.

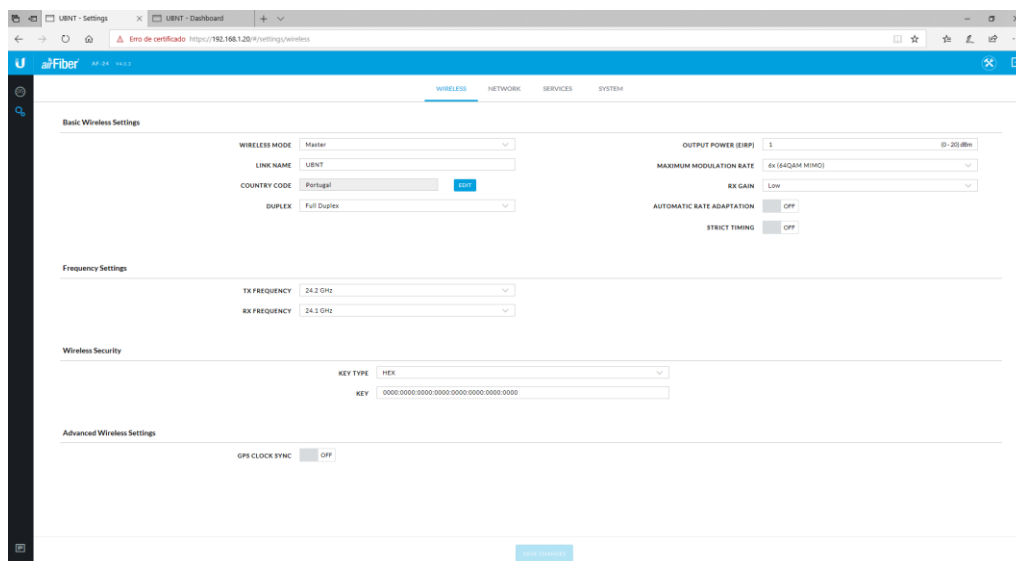


Figura 38- Configuração da antenna master.

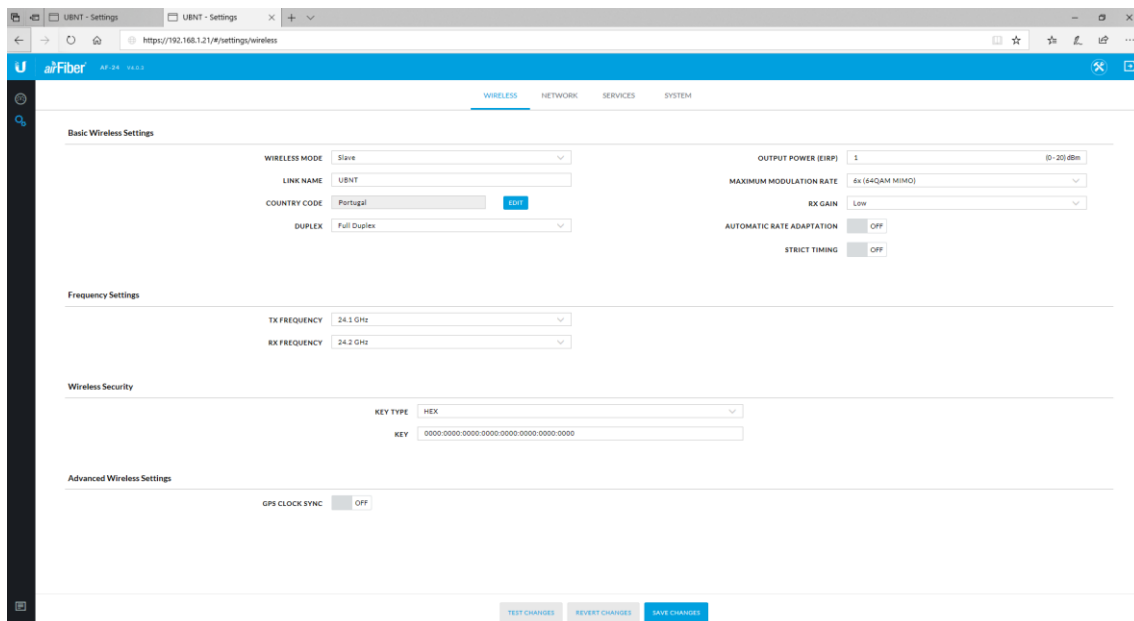


Figura 39- Configuração da antena *slave*.

5.3 Montagem e alinhamento das antenas

Primeiramente montou-se as antenas ao lado do campo de futebol nos Prazeres, no dia 3 de outubro de 2018, como se pode verificar nas figuras 40 e 41 a seguir procedeu-se ao alinhamento das mesmas.



Figura 40- Montagem da antena *slave*.



Figura 41- Montagem da antena *master*.

Na figura 42 e 43 pode-se observar o alinhamento das antenas antes do início da queima.



Figura 42- Alinhamento das antenas.



Figura 43- Alinhamento das antenas.

A figura 44 apresenta a ferramenta utilizada para o alinhamento das antenas (*Antenna Align Tool*). Pode-se verificar que antes do alinhamento das antenas *master* e *slave*, os valores obtidos não são os desejados, a potência pretendida é -58dBm . Por isso tínhamos de proceder ao alinhamento. Após alinhar as antenas (figura 45), a potência recebida no canal local 0 e 1 que corresponde a antena *master* foi de -55dBm e -56dBm . No canal remoto 0 e 1 que corresponde a antena *slave*, a potência recebida obtida foi de -60dBm e -57dBm , respetivamente.

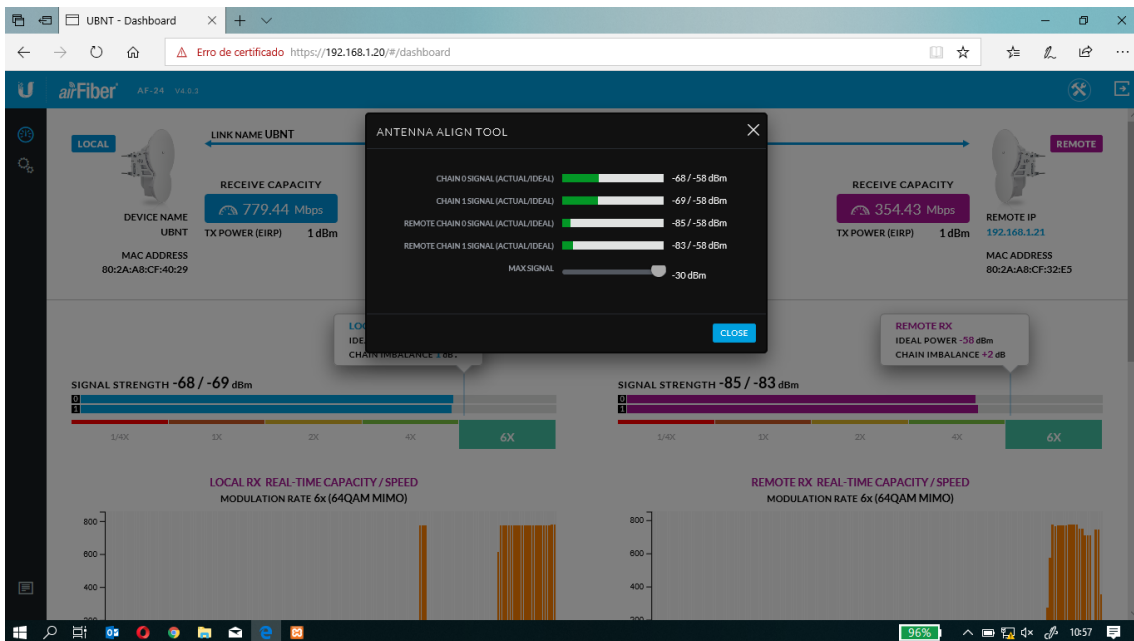


Figura 44- Antenas não alinhadas.

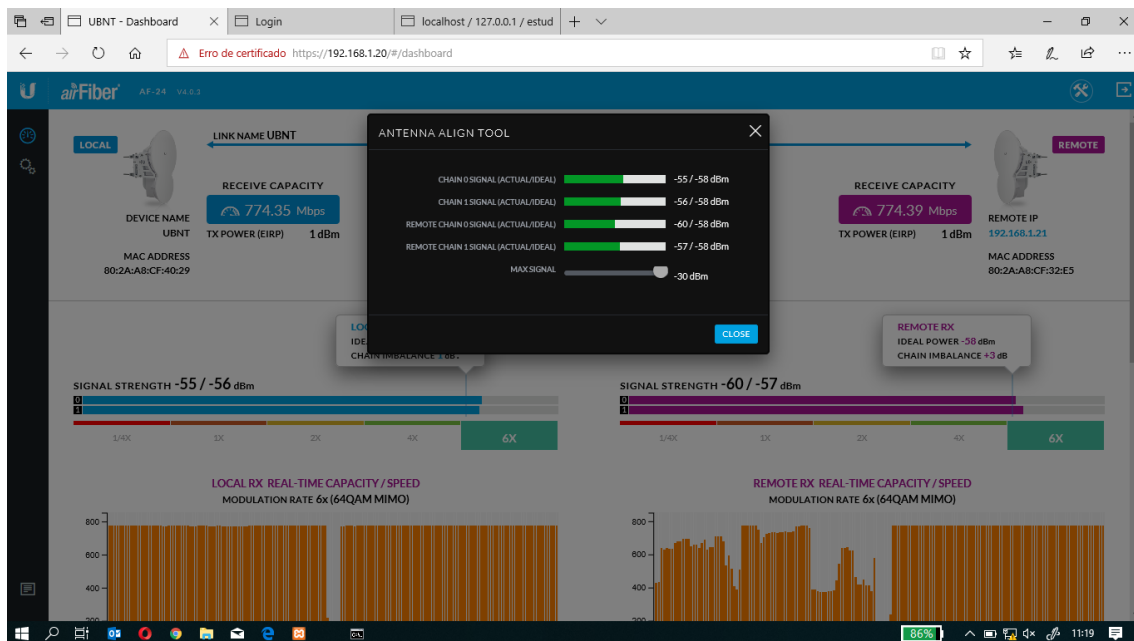


Figura 45- Antenas alinhadas.

5.4 Procedimento

Após a montagem e o alinhamento das antenas procedeu-se aos preparativos para se iniciar a simulação de incêndio. Pode-se observar na figura 46 o cenário preparado para iniciar a queima dos eucaliptos e posteriormente a queima dos pneus. A área da queima correspondeu a um total de 25m².



Figura 46- Cenário da queima.

A queima dos eucaliptos teve início às 12 horas e 27 minutos, figura 46, por volta das 12 horas e 51 minutos foram introduzidos os pneus, como é possível verificar na figura 47.



Figura 47- Queima dos eucaliptos.



Figura 48- Queima dos pneus.

Através da câmara térmica, figura 49, foi possível realizar o registo fotográfico da radiação de calor. Nas figuras 50 e 51 estão representadas fotografias antes do início da queima e no decorrer da mesma.



Figura 49- Câmera termográfica.

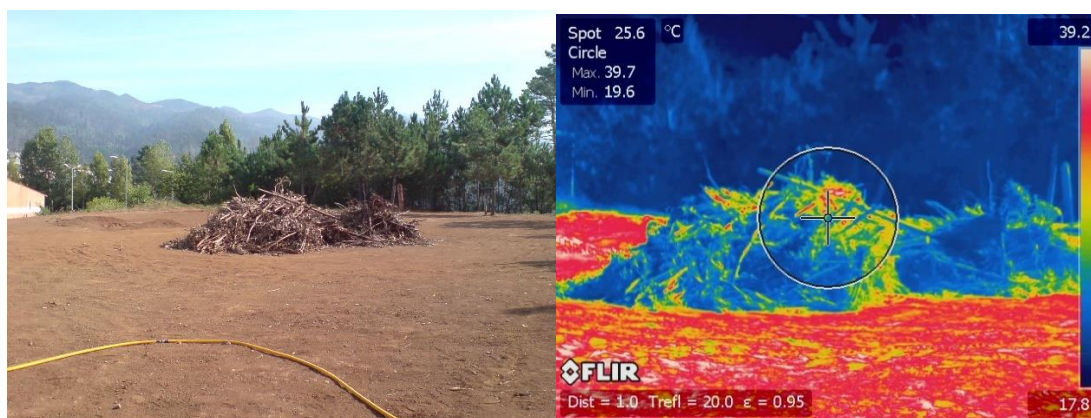


Figura 50- Antes da queima.

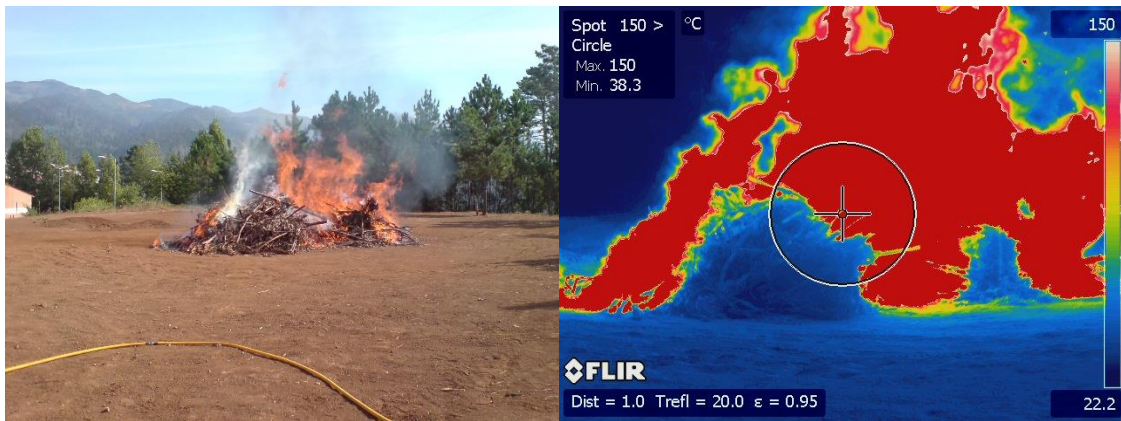


Figura 51- No decorrer da queima.

5.5 Recolha de dados/tratamento de dados

Com recurso à uma base de dados em MySQL (figura 52) foram registados os dados de forma síncrona a cada 18 segundos referente à antena master. Para tal recorreu-se ao uso de uma ferramenta desenvolvida em PHP para este efeito. Em anexo está o código em PHP utilizado para a mesma. O valor do RSSI variou entre 50 dBm e 51 dBm.

Dt	rxpower0	rxpower1	rxcapacity	txmodrate	sinal	rssi	rrxpower0	rrxpower1	txcapacity	txantennagain	rxantennagain	RxFran
2018-10-03 12:38:25	-56	-56	774370560	6x	-52	51	-60	-57	774391040	33	38	
2018-10-03 12:38:42	-56	-56	774375680	6x	-52	50	-60	-57	774379520	33	38	
2018-10-03 12:38:58	-56	-56	774388480	6x	-52	50	-60	-57	774391040	33	38	
2018-10-03 12:39:15	-56	-56	774378240	6x	-52	50	-60	-57	774389760	33	38	
2018-10-03 12:39:31	-56	-56	774364160	6x	-52	50	-60	-57	774384640	33	38	
2018-10-03 12:39:48	-56	-56	774374400	6x	-52	50	-60	-57	774379520	33	38	
2018-10-03 12:40:04	-56	-56	774384640	6x	-52	51	-60	-56	774387200	33	38	
2018-10-03 12:40:21	-56	-56	774380800	6x	-52	51	-60	-57	774375680	33	38	
2018-10-03 12:40:38	-56	-56	774383360	6x	-52	50	-60	-57	774384640	33	38	
2018-10-03 12:40:54	-56	-56	774371840	6x	-52	50	-60	-57	774389760	33	38	
2018-10-03 12:41:11	-55	-56	774382080	6x	-52	50	-60	-57	774376960	33	38	
2018-10-03 12:41:27	-56	-56	774362880	6x	-52	50	-60	-57	774387200	33	38	
2018-10-03 12:41:39	-56	-56	774382080	6x	-52	50	-60	-56	774387200	33	38	
2018-10-03 12:41:55	-56	-56	774380800	6x	-52	50	-60	-57	774379520	33	38	
2018-10-03 12:42:12	-56	-56	774352640	6x	-52	50	-60	-57	774382080	33	38	
2018-10-03 12:42:28	-56	-56	774378240	6x	-52	50	-60	-57	774382080	33	38	
2018-10-03 12:42:45	-56	-56	774365440	6x	-52	50	-60	-57	774376960	33	38	

Figura 52- Base de dados.

Na figura 53 são representados os valores do sinal. É possível verificar que entre as 12:21 e 12:25 ainda não se tinha dado início à queima. A partir das 12:27 teve início a queima dos eucaliptos. O registo indica que a partir das 12:28 existe uma atenuação de 1dB, em que a mesma foi oscilando. Os pneus foram adicionados à queima pelas 12:52 onde às 12:58 registou-se uma atenuação de 1dB quando o fumo se encontrava num estado mais denso. Note-se que o existe um melhoramento no sinal a partir das 13:18 que corresponde a quando os bombeiros deram início à extinção da queima.

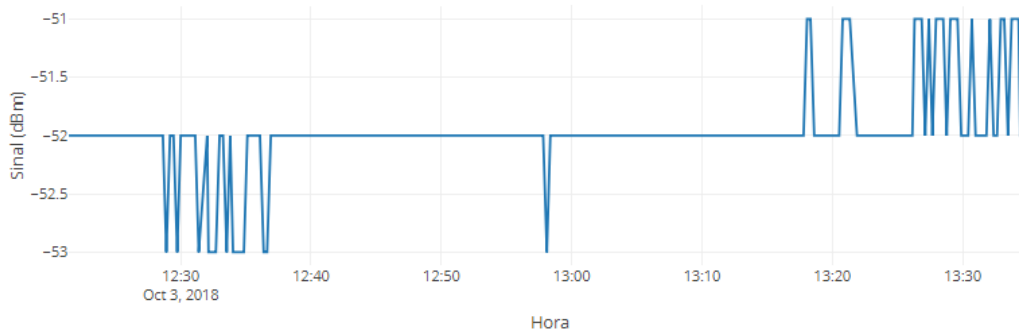


Figura 53- Potência do sinal (dBm).

Na figura 54 são apresentados os valores da capacidade que representam a taxa máxima esperada dos dados transmitidos através do canal. Como é possível verificar, a capacidade recebida, (rxcapacity) diminuiu às 12:51:30 tendo sido registado o valor de 774,277 Mbps altura em que foram introduzidos os pneus na queima. A capacidade transmitida, (txcapacity) teve uma quebra às 13:26:9 passando a ser 774,298 Mbps.

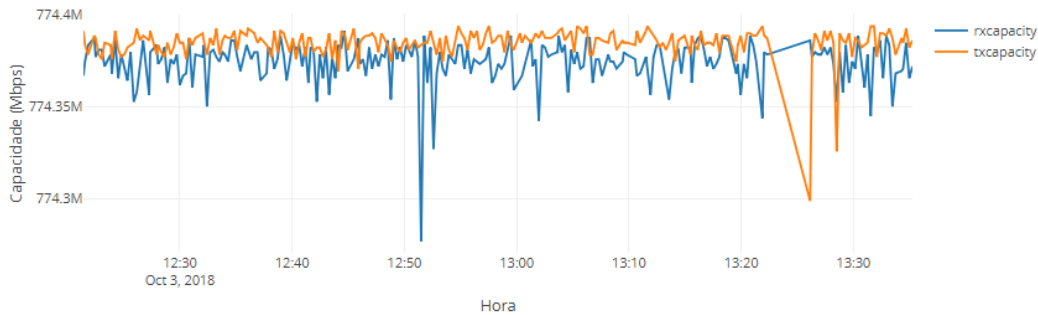


Figura 54- Capacidade (Mbps).

Através do termómetro infravermelho foram adquiridos valores da temperatura da combustão dos eucaliptos e dos pneus, como é possível verificar na figura 55. Entre as 12:30 até 12:40 foram queimados os eucaliptos, posteriormente entre as 12:51 até 12:59 foram adicionados à combustão os pneus. Após colocação dos pneus conseguiu-se atingir a temperatura de 898°C.

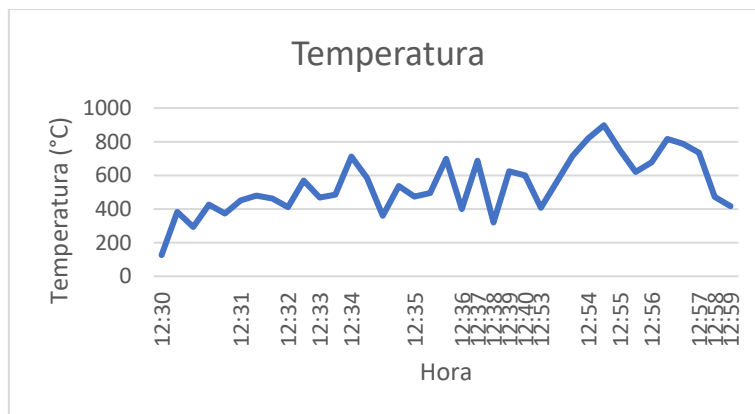


Figura 55- Temperatura.

5.5.1. Laboratório

Após a extinção do incêndio simulado foram recolhidas algumas amostras de cinzas que de seguida foram transportadas para o laboratório de forma a serem analisadas para a determinação de metais nas cinzas. De seguida será apresentado o método de ensaio.

Primeiramente moeu-se as cinzas num almofariz de porcelana e peneirou-se, tal como pode ser observado na figura 57.



Figura 56- Amostra das cinzas.



Figura 57- Cinzas peneiradas.

Na figura 58 apresenta-se a calcinação a 455°C na mufla durante 1 hora e pesou-se 5 gramas de cinzas calcinadas para um copo de vidro.



Figura 58- Mufla.



Figura 59- Amostra calcinada.

Posteriormente adicionou-se 5ml de HCl 1+1, ácido clorídrico, que corresponde ao processo de extração ácido, aqueceu-se até a libertação de vapores. De seguida, filtrou-se com água destilada para um balão de 100ml e, por fim, foi efetuada a diluição da amostra utilizando água acidificada com HNO₃, ácido nítrico, 1,5 ML/1000 ml, como pode ser observado na figura 60.

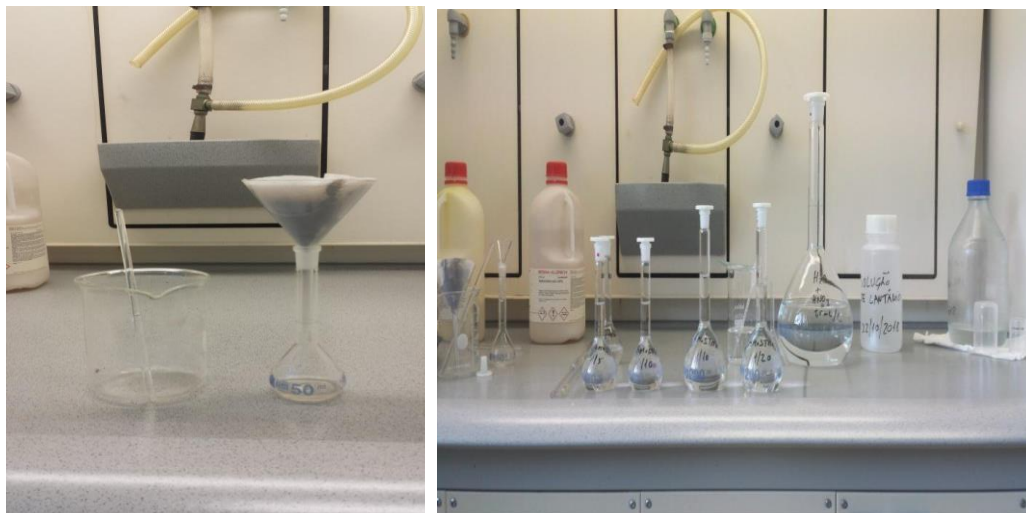


Figura 60- Tratamento da amostra.

A amostra foi passada pelo o espectrómetro de absorção atômica (AA) (figura 61), utilizando o método de interpolação através de retas de calibração (figura 63 e 64) obtidas com padrões de concentração conhecida de analito.

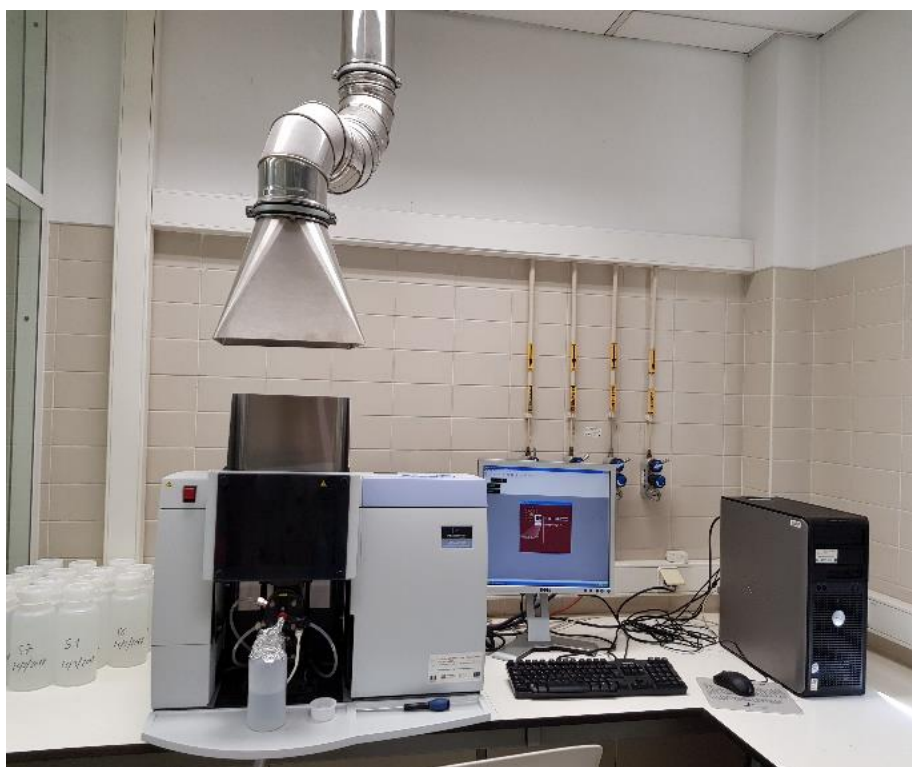


Figura 61- Espectrómetro de absorção atômica (AA).



Figura 62- A chama no espectrómetro de absorção atômica (AA).

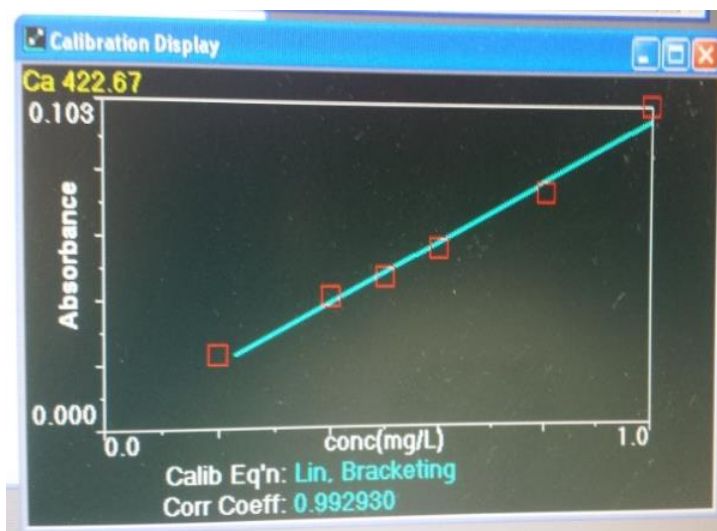


Figura 63- Reta de calibração do cálcio.

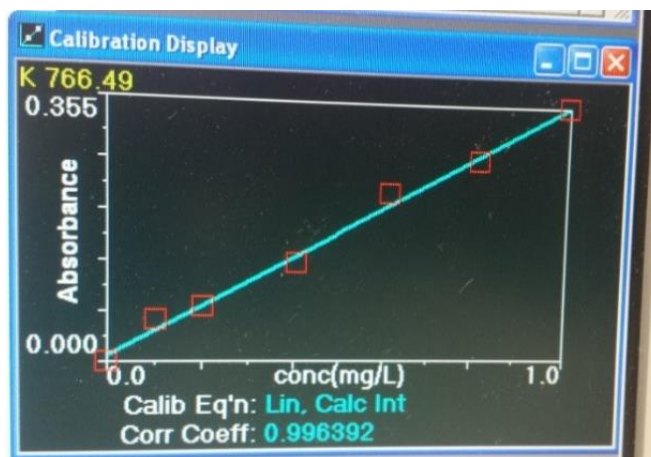


Figura 64- Reta de calibração do potássio.

Depois deste processo obtiveram os valores de diferentes metais, que está apresentado na tabela 1. Como pode-se analisar o potássio e o cálcio são os valores mais elevados da análise referentes à amostra de 100g.

Tabela 1- Valores obtidos de diferentes metais

Metal	Valor obtido (mg/L)	Diluição	Quantidades nos 100mL/5g de cinzas (mg)	Porcentagem em massa relativa a 100g de amostra (%)
Na	0,339	1/1000	33,900	0,678
K	0,650	1/2000	130,000	2,600
Ca	0,972	1/4000	388,800	7,776
Mg	0,246	1/1000	24,600	0,492
Fe	0,334	1/1	0,033	0,001

M.L.Heron e K. Mphale [19], concluíram que a atenuação do sinal não varia significativamente com a frequência, mas sim com a densidade eletrônica e do conteúdo do combustível que contém potássio, como por exemplo o eucalipto ou erva. Na tabela 2 está representada a atenuação com baixo e alto teor de potássio, pode-se observar que para um baixo teor de potássio (correspondente a 0,1%) a atenuação é baixa. Para um nível de potássio (correspondente a 2,6%) já é considerado elevado, resultando uma atenuação elevada por volta de 100dB.

Tabela 2- Atenuação [19]

	Low Fuel Load	High Fuel Load
Low Potassium Content	Low Loss (few db)	Low Loss (few db)
High Potassium Content	High Loss 75~80db	High Loss (radio blackout) Around 100db

O valor obtido através das cinzas recolhidas nos prazeres foi de 2,6 % de potássio para 100g de amostra, que corresponde a um nível de potássio elevado. Comparando com o estudo M.L.Heron e K. Mphale [19], os resultados não foram idênticos. Pois para alto nível de potássio teria de ter uma atenuação acerca de 100dB, mas o valor obtido foi uma baixa atenuação cerca de 1dB. Por isso, não se pode fundamentar o trabalho através deste estudo.

6. Comparação com outros estudos

Serão abordadas duas pesquisas para a comparação de resultados e conclusões. Primeiramente, Jonathan Boan [6] estudou três fogos que estão representados na tabela pode-se verificar que são de dimensões diferentes e no fogo C foram adicionado potássio na combustão. Na tabela 4 está apresentada os resultados da atenuação obtida com diferentes frequências nos três incêndios. Pode-se observar que a atenuação maior é entre as frequências 300MHz e 600MHz. Existe atenuação do sinal de -3dB até -21dB, que é causada pelo fogo em que o combustível utilizado são folhas e ramos de eucalipto. Verifica-se que existe uma atenuação maior quando é adicionado um aditivo K_2SO_4 , sulfato de potássio, o que fez aumentar o teor de potássio do combustível logo aumenta a concentração dos eletrões e a frequência de plasma nas chamas.

Tabela 3- Dimensões dos fogos [7]

	<i>TX/RX Height</i>	<i>TX/RX Distance</i>	<i>Fuel Height</i>	<i>Fuel Diameter</i>	<i>Additives</i>
Fire A	1.6m	1.5m	1.5m	3.0m	-
Fire B	1.8m	5.0m	3.6m	7.5m	-
Fire C	1.8m	5.0m	2.8m	7.0m	K_2SO_4

Tabela 4- Atenuação com vários fogos e frequência [7]

	Fire A	Fire B	Fire C
Band 1	-3.30dB (180MHz)	-3.70dB (180MHz)	-6.00dB (180MHz)
Band 2	-12.5dB (418MHz)	-14.4dB (446MHz)	-15.4dB (408MHz)
Band 3	-0.70dB (947MHz)	-4.70dB (921MHz)	-7.20dB (874MHz)
Worst ^a	-17.7dB (577MHz)	-17.0dB (497MHz)	-21.4dB (309MHz)

Masayasu Hata [20] utilizou uma frequência de 38.875GHz e usou como combustível a madeira utilizada para a construções de casas. Na tabela 5 está representado a atenuação para uma espessura/parede da chama de 100m. Pode verificar-se que esta foi baixa (0.7dB) quando o link de rádio passou entre o fumo e o ar quente, havendo mais atenuação quando o link atravessou entre as chamas sendo até 10dB.

Tabela 5- Atenuação[20]

Cause of loss	Estimated Value
Inflow of Smoke and Hot air Current	0.7 ~ 1.4dB/100m
Fire Flames	6 ~ 9 dB/100m

Na figura 65 está representado o panorama do incêndio simulado para uma frequência de 24GHz nos Prazeres. O cenário de estudo é de pequenas dimensões com uma área de 25 m², o ensaio demorou aproximadamente trinta minutos.

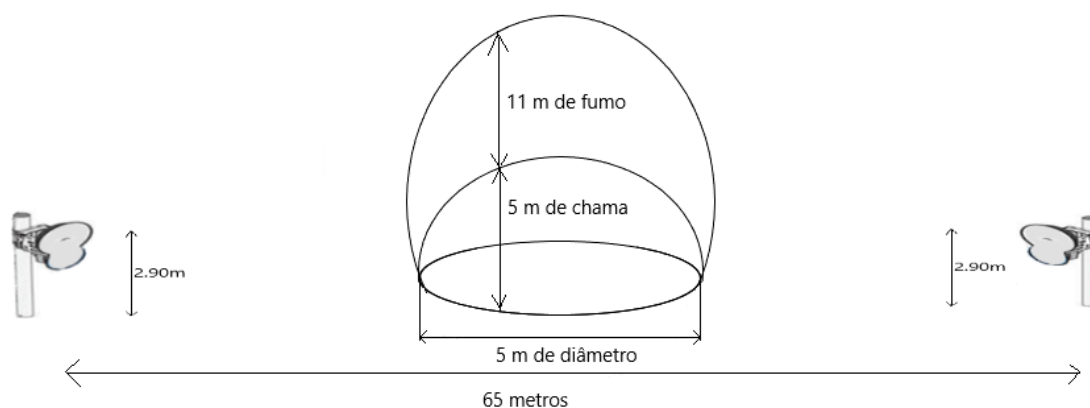


Figura 65- Cenário do ensaio.

Primeiro queimou-se o eucalipto e de seguida adicionaram os pneus. Foram escolhidos os eucaliptos e os pneus para queima com o objetivo de verificar se existia alguma variação da atenuação do sinal. Verificou-se que a densidade da coluna de fumo dos pneus foi mais densa e escura do que na queima dos eucaliptos. Após iniciar a queima a atenuação conseguida foi cerca de 1dB, obtendo o mesmo resultado quando foram adicionados os pneus em que o sinal variou sempre entre -52 dBm e -53 dBm. Unicamente quando foram colocados os pneus conseguiu-se atingir uma temperatura de 898°C e aí verificou-se a diminuição da capacidade recebida, rxcapacity. Como atingiu uma temperatura elevada, fez com que a capacidade recebida diminuísse.

De acordo com Jonathan Boan [6], verificou que as bandas de comunicação VHF e UHF como possui uma frequência baixa, os elétrons ionizados interagem com o fogo, assim causando atenuação do sinal nas proximidades da frente da chama. As frequências entre os 400-450MHz têm uma maior sensibilidade ao fogo, e as frequências em torno dos 180MHz são sensíveis ao fogo, mas são ajudadas pela difração que está à volta e sobre o fogo logo aumentando o sinal no recetor.

A baixa atenuação obtida no cenário dos Prazeres foi devido a baixa temperatura, cerca de 898 ° C, e o pouco combustível utilizado. A difração ao redor e sobre o fogo aumenta a intensidade do sinal no recetor, este aumento difrativo irá aumentar com o comprimento de onda [21].

7. Conclusão

O objetivo principal deste trabalho foi alcançado, que consistiu em encontrar um local para a realização de um ensaio para um incêndio simulado entre duas antenas, em estudar o comportamento do link rádio para a frequência de 24GHz e assim obter a medição de vários parâmetros como a atenuação do sinal e a temperatura. A degradação do sinal num incêndio pode ocorrer devido a vários fatores, os gases libertados, coluna de fumo, temperaturas altas e ionização do meio de propagação, provocando a mudança da direção da onda eletromagnética e assim ocorrendo a perda do sinal.

A atenuação do sinal obtida nesta experiência foi bastante baixa (cerca de 1dB), sendo que este resultado pode ter várias causas. A quantidade de combustível ou o tipo de combustível utilizado não ser o suficiente para se obter uma parede, de forma a ocorrer degradação do sinal. Quando o link de rádio atravessa a região mais quente do fogo, a zona de combustão sofre uma perda significativa do sinal, mas quando atravessa as regiões mais frias da coluna de fumo tem uma baixa atenuação. Este efeito pode ser explicado como o efeito de plasma colisional [5].

A degradação do sinal depende da densidade eletrónica ou do conteúdo do combustível que contém potássio e não varia significativamente com a frequência da onda de rádio. Existe uma grande diferença em termos de comunicação se o combustível contém alto (2.6%) ou baixo (0.1%) teor de potássio. No ensaio nos Prazeres as amostras retiradas mostram um elevado teor de potássio (2.6%) mas atenuação do sinal foi (1dB), onde não posso fundamentar o trabalho através do estudo de M.L.Heron e K. Mphale [19], que se baseia quando potássio numa concentração elevada com atenuação a rondar os 100dB.

Considerou-se como hipótese de justificação a baixa atenuação (de 1db), à existência de uma parede de chamas de diâmetro 5 metros. Por motivos logísticos não foi possível ter um ensaio numa área de maiores dimensões (uma parede superior a 5 m). Tendo em conta que para uma parede de 5 metros foi obtida uma atenuação de 1dB, logo para uma parede de 100 metros seria exetável uma atenuação a rondar os 20db.

8. Bibliografia

- [1] “Incêndios florestais | Relatório do Estado do Ambiente.” [Online]. Available: <https://rea.apambiente.pt/content/incendios-florestais>. [Accessed: 09-Dec-2018].
- [2] T. Oliveira, “(PDF) Relatório sobre os Incêndios florestais na Ilha da Madeira (2016),” 2016. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/316676063_Relatorio_sobre_os_Incendios_florestais_na_Ilha_da_Madeira_2016. [Accessed: 10-Dec-2018].
- [3] A. S. Reis, “Determinação de cenários de incêndio em edifícios,” Universidade de Aveiro, 2011.
- [4] L. M. Mariani, “Simulação de Incêndio com o Fire Dynamic Simulator (FDS),” Centro Universitário UNIEURO, 2009.
- [5] N. Leitão, “A Química do Fogo,” 2009. [Online]. Available: <http://naturlink.pt/article.aspx?menuid=23&cid=8373&bl=1&viewall=true>. [Accessed: 10-Dec-2018].
- [6] J. A. Boan, “Radio Propagation in Fire Environments,” University of Adelaide, Australia, 2009.
- [7] K. M. Mphale, “Radiowave Propagation Measurements and Prediction in Bushfires,” University of Botswana, 2008.
- [8] M. Gouveia, “Sistema de Comunicações e procedimentos com rádio.” [Online]. Available: <https://pt.scribd.com/doc/110824931/Sistema-de-Comunicacoes-e-procedimentos-com-radio>. [Accessed: 10-Dec-2018].
- [9] R. Ferreira, “Comunicações SIRESP,” 2014. [Online]. Available: <https://pt.scribd.com/document/245708149/Fe-07-II-5-Siresp-v2>. [Accessed: 10-Dec-2018].
- [10] P. Vitor, “Rede SIRESP,” 2010. [Online]. Available: <https://pt.scribd.com/document/246566114/Manual-Rede-SIRESP>. [Accessed: 10-Dec-2018].
- [11] “Terrestrial Trunked Radio.” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Terrestrial_Trunked_Radio. [Accessed: 10-Dec-2018].
- [12] K. Mphale, M. Heron, and T. Verma, “Effect of wildfire-induced thermal bubble on radio communication,” *Prog. Electromagn. Res.*, vol. 68, pp. 197–228, 2007.
- [13] A. K. Temme, “Experimental Studies of Microwave Propagation through fires for through-wall, search-and-rescue radar in firefighting,” Michigan State University, 2015.
- [14] U. Networks, “AirFiber - Datasheet.” [Online]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_DS.pdf.
- [15] Ubiquiti Networks, “User Guide.” [Online]. Available: https://dl.ubnt.com/guides/airfiber/airFiber_AF24_UG.pdf. [Accessed: 11-Dec-2018].
- [16] Ubiquiti Networks, “Ubiquiti Networks - airFiber®,” 2018. [Online]. Available: <https://www.ubnt.com/airfiber/airfiber/>. [Accessed: 10-Dec-2018].
- [17] “Flir P640.” [Online]. Available:

- <http://www.testequipmentdepot.com/flir/pdf/p640.pdf>. [Accessed: 11-Dec-2018].
- [18] Prokits, "MT-4612 INFRARED THERMOMETER User's Manual 1 st Edition." [Online]. Available: https://www.circuitspecialists.com/content/330219/MT-4612_manual.pdf. [Accessed: 11-Dec-2018].
- [19] M.L.Heron and K.Mphale, "Radio wave attenuation in bushfires, tropical cyclones and other severe atmospheric conditions.," James Cook University, 2004.
- [20] M. Hata and S. Doi, "Propagation Tests for 23 GHz and 40 GHz," *Electr. Commun.*, vol. vi, 1983.
- [21] J. Boan, "Radio Experiments With Fire," *IEEE*, vol. 6, pp. 411–414, 2007.

Anexo A

Specifications

airFiber AF-24	
Operating Frequency	24.05 – 24.25 GHz*
Dimensions Radio Box	649 x 426 x 303 mm (25.55 x 16.77 x 11.93") 725 x 520 x 410 mm (28.54 x 20.47 x 16.14")
Weight Radio (Mount Included) Box	10.5 kg (23.15 lb) 17 kg (37.48 lb)
Max. Power Consumption	50W
Power Supply	50V, 1.2A PoE GigE Adapter (Included)
Power Method	Passive Power over Ethernet
Supported Voltage Range	+42 to +58VDC, -48VDC
Certifications	CE, FCC, IC
Wind Loading	480 N @ 200 km/hr (108 lbf @ 125 mph)
Wind Survivability	200 km/hr (125 mph)
Mounting	Pole Mount Kit (Included)
Operating Temperature	-40 to 55° C (-40 to 131° F)
LEDs	(8) Status LEDs: Data Port Speed Data Port Link/Activity Configuration Port Speed Configuration Port Link/Activity GPS Synchronization Modulation Mode Master/Slave RF Status (1) Two-Digit LED Display Calibrated in dBm
Interface	
Data Port	(1) 10/100/1000 Ethernet Port
Configuration Port	(1) 10/100 Ethernet Port
Auxiliary Port	(1) RJ-12, Alignment Tone Port
System	
Maximum Throughput	1.5+ Gbps
Maximum Range	13+ km
Packets per Second	> 1 Million
Encryption	128-Bit AES
Uplink/Downlink Ratio	50% Fixed
Latency Full Duplex Mode Half Duplex Mode	< 200 µs at Full Throughput < 2 ms at Full Throughput
MTU (Maximum Transmission Unit)	Up to 9600

* Two 100 MHz channels are available: 24.1 GHz (24.05-24.15 GHz) and 24.2 GHz (24.15-24.25 GHz)

airFiber AF-24 Receive Sensitivity			
Modulation	Sensitivity	FDD Capacity*	TDD Capacity*
64QAM	-66 dBm	1500 Mbps	760 Mbps
16QAM	-72 dBm	1000 Mbps	507 Mbps
QPSK MIMO	-78 dBm	500 Mbps	253 Mbps
QPSK SISO	-80 dBm	250 Mbps	127 Mbps
¼x QPSK SISO	-87 dBm	62.5 Mbps	31.7 Mbps

* FDD = (2) 100 MHz channels and TDD = (1) 100 MHz channel

airFiber AF-24 Radio Frequency	
GPS	GPS Clock Synchronization
Transceiver	
EIRP	~33 dBm (FCC/IC), ~20 dBm (CE), ~40 dBm (Other Regions)
Frequency Accuracy	±2.5 ppm without GPS Synchronization ±0.2 ppm with GPS Synchronization
Channel Bandwidth	100 MHz
Operating Channels	24.1 GHz, 24.2 GHz
Modulation	64QAM MIMO 16QAM MIMO QPSK MIMO QPSK SISO ¼x QPSK SISO
Integrated Split Antenna	
TX Gain	33 dBi
RX Gain	38 dBi
Beamwidth	< 3.5°
Front-to-Back Ratio	70 dB
Polarity	Dual-Slant Polarization
Cross-Polarity Isolation	> 28 dB

airFiber AF-24 Capacity (Mbps)		
Rate	Modulation	100 MHz Channel Width*
6x	64 QAM MIMO	1500.0
4x	16 QAM MIMO	1000.0
2x	QPSK MIMO	500.0
1x	QPSK SISO	250.0
¼x	¼ QPSK SISO	62.5

* Aggregated capacity in Full-Duplex mode



Anexo B

FLIR P640 Technical Specifications

Imaging Performance	
Thermal	
Field of view/min focus distance	24° x 18° / 0.3 m
Spatial resolution (IFOV)	0.65 mrad
Thermal sensitivity @ 50/60Hz	0.06°C at 30° C
Electronic zoom / pan function	1 - 8 x continuous, including pan function
Focus	Automatic or manual
Digital image enhancement	Normal and enhanced
Detector type	Focal plane array (FPA) uncooled microbolometer; 640 x 480 pixels
Spectral range	7.5 to 13 µm
Visual	
Built-in digital video	1.3 Mpixel, full color / built-in Target Illuminator / exchangeable lens
Standard lens performance	f=8 mm / FOV 32°
Image Presentation	
Viewfinder	Built-in, tiltable, high-resolution color viewfinder (800 x 480 pixels)
External display	Built-in 5.6" LCD (1024 x 600 pixels)
Video output	RS170 EIA/NTSC or CCIR/PAL composite video, IEEE-1394 FireWire, USB
Measurement	
Temperature ranges	-40°C to +500°C, in 2 ranges; up to + 2000°C, optional
Accuracy (% of reading)	± 2 °C or ± 2% of reading
Measurement modes	Spots/Areas (Boxes, Circles), Isotherms (above, below, Interval), Delta T
Menu controls	Palettes , load custom palettes, auto adjust (manual/continuous/ based on histogram equalization), on screen live and reference image (PoP), image gallery, sequence storage, programmable storage
Alarm functions	Automatic alarm on any selected measurement function, audible/visible alarm above/below
Emissivity correction	Variable from 0.1 to 1.0 or select from listings in pre-defined material list
Measurement features	Automatic corrections based on user input for reflected ambient temperature, distance, relative humidity, atmospheric transmission, and external optics
Optics transmission correction	Automatic, based on signals from internal sensors
Image Storage	
Type	Removable SD-card (256 MB), built in RAM memory for burst recording
File format - THERMAL	Standard JPEG; 14 bit thermal measurement data included
File format -VISUAL	Standard JPEG linked with corresponding thermal image
Voice annotation of images	30 sec. of digital voice "clips" stored together with the image wired headset
Text annotation of images	Predefined by user and stored with image
Video Storage	
Type	Recording of fully radiometric IR-video clips in camera, transferable to SD-card Recording of MPEG-4 non-radiometric video to SD-card
Video Streaming	
Type	MPEG-4, IP-link using FireWire or USB
Laser LocatIR*	
Classification type	Class 2, Semiconductor AlGaInP Diode Laser: 1 mW/635 nm (red)
Power Source	
Battery type	Li-Ion, rechargeable, field-replaceable
Battery operating time	3 hours continuous operation
Charging system	In camera (AC adapter or 12V from car) or 2 bay intelligent charger
External power operation	AC adapter 110/220 VAC, 50/60Hz or 12V from car (cable with standard plug optional)
Power saving	Automatic shutdown and sleep mode (user-selectable)
Environmental	
Operating temperature range	-15° C to +50° C (5° F to 122° F)
Storage temperature range	-40° C to +70° C (-40° F to 158° F)
Humidity	Operating and storage 10% to 95%, non-condensing
Encapsulation	IP 54 IEC 529
Shock	Operational: 25G, IEC 68-2-29
Vibration	Operational: 2G, IEC 68-2-6
Physical Characteristics	
Weight	1.7 kg (3.8 lbs) w/battery
Size	120mm x 145mm x 220 mm (4.7" x 5.7" x 8.7")
Tripod mounting	1/4"-20

Camera Includes:	
Camera with visual and IR lens	
Power supply	
2 batteries (3 hours operating time on each)	
2 bay charging station	
QuickView software	
Manual and Quick Reference Card	
DS-card Including USD Card Reader	
Headset	
Cables	
Lenses (optional)	
<i>Automatic lens identification</i>	
Field of view/minimum focus distance	
12° x 9° / 0.5m telelens	
45° x 34° / 0.1m wide angle lens	
Close-up 50mm 32 mm x 24 mm / 75 mm	
Interfaces	
USB	Image (thermal and visual), measurement data, voice and text transfer to PC
IRDA	Wireless communication
SD-card (2)	I/O slot; storage slot
Firewire output (IEEE 1394)	IEEE-1394 FireWire output (real-time non-radiometric video / filetransfer to PC)

NEW! RUGGED & LIGHTWEIGHT MAGNESIUM HOUSING!



Anexo C

```
<?php
$buffer="";
$ip_addr = "192.168.1.20";
$port = 23;
$socket = fsockopen($ip_addr,$port,$errno,$errstr,10);
stream_set_timeout($socket,1);
if ($socket) {
    echo "CONNECTED!\n";
    //sleep(1);
        usleep(500000);
    fwrite($socket, "ubnt\r"); // enviar username
    sleep(1);
    fwrite($socket, "lizette\r"); // enviar password
    sleep(1);
    While(true)
    {
        $data = date('Y-m-d H:i:s');
        echo date('Y-m-d H:i:s') . "\n";

                fwrite($socket, "af get speed \r");
                $i=0;
        while($i<15){
                $exemplo0 =fgets($socket);

                $i++;
        }echo $exemplo0;
        fwrite($socket, "af get rxpower0 \r");
        sleep(2);
        $i=0;
        while($i<2){
```

```

    $exemplo =fgets($socket);

    $i++;
}
echo "Rxpower0: ".$exemplo."\n";

fwrite($socket, "af get rxpower1 \r");
$i=0;
while($i<2){
    $exemplo1 =fgets($socket);
    $i++;
}
        echo "Rxpower1: ".$exemplo1."\n";

fwrite($socket, "af get rxcapacity \r");
$i=0;
while($i<2){
    $exemplo2 =fgets($socket);
    $i++;
}echo "Rxcapacity: ".$exemplo2."\n";

fwrite($socket, "af get txmodrate \r");
$i=0;
while($i<2){
    $exemplo3 =fgets($socket);
    $i++;
}echo "Txmodrate: ".$exemplo3."\n";

fwrite($socket, "mca-status |egrep signal\r");
$i=0;
while($i<2){

```

```

    $exemplo4 =fgets($socket);
    $i++;
}
$signal = explode ('=', $exemplo4);
$s = $signal[1];
echo "Sinal: ".$s."\n";

fwrite($socket, "af get rssi \r");
$i=0;
while($i<2){
    $exemplo5 =fgets($socket);
    $i++;
}echo "Rssi: ".$exemplo5."\n";

fwrite($socket, "af get rrxpower0 \r");
$i=0;
while($i<2){
    $exemplo6 =fgets($socket);
    $i++;
}echo "Rrxpower0: ".$exemplo6."\n";

fwrite($socket, "af get rrxpower1 \r");
$i=0;
while($i<2){
    $exemplo7 =fgets($socket);
    $i++;
}echo "Rrxpower1: ".$exemplo7. "\n";

fwrite($socket, "af get txcapacity\r");
$i=0;
while($i<2){

```

```

    $exemplo8 =fgets($socket);
    $i++;
}echo "Txcapacity: ".$exemplo8."\n";

fwrite($socket, "af get txantennagain \r");
$i=0;
while($i<2){
    $exemplo9 =fgets($socket);
    $i++;
}echo "Txantennagain: ".$exemplo9."\n";

fwrite($socket, "af get rxantennagain \r");
$i=0;
while($i<2){
    $exemplo10 =fgets($socket);
    $i++;
}echo "Rxantennagain: ".$exemplo10."\n";

fwrite($socket, "af get RxFrameCrcErr \r");
$i=0;
while($i<2){
    $exemplo11 =fgets($socket);
    $i++;
}echo "RxFrameCrcErr: ".$exemplo11."\n";

fwrite($socket, "af get RxErroredFrames\r");
$i=0;
while($i<2){
    $exemplo12 =fgets($socket);
    $i++;
}echo "RxErroredFrames: ".$exemplo12."\n";

```

```
fwrite($socket, "af get TxErroredFrames\r");
```

```
$i=0;
```

```
while($i<2){
```

```
    $exemplo13 =fgets($socket);
```

```
    $i++;
```

```
}echo "TxErroredFrames: ".$exemplo13."\n";
```

```
fwrite($socket, "af get RxTooLongFrameCrcErr\r");
```

```
$i=0;
```

```
while($i<2){
```

```
    $exemplo14 =fgets($socket);
```

```
    $i++;
```

```
}echo "RxTooLongFrameCrcErr: ".$exemplo14."\n";
```

```
fwrite($socket, "af get RxTooShortFrameCrcErr\r");
```

```
$i=0;
```

```
while($i<2){
```

```
    $exemplo15 =fgets($socket);
```

```
    $i++;
```

```
}echo "RxTooShortFrameCrcErr: ".$exemplo15."\n";
```

```
$bd_con = mysqli_connect("localhost", "root", "", "estudo_link_24ghz") or die("Erro na abertura!");
```

```
$query1 = "INSERT INTO sinal (Dt, rxpower0, rxpower1, rxcapacity, txmodrate, sinal, rssi, rrxpower0, rrxpower1, txcapacity, txantennagain, rxantennagain, RxFrameCrcErr, RxErroredFrames, TxErroredFrames, RxTooLongFrameCrcErr, RxTooShortFrameCrcErr)
```

```
VALUES ('$data', '$exemplo', '$exemplo1', '$exemplo2', '$exemplo3', '$s', '$exemplo5', '$exemplo6', '$exemplo7', '$exemplo8', '$exemplo9', '$exemplo10', '$exemplo11', '$exemplo12', '$exemplo13', '$exemplo14', '$exemplo15')";
```

```
$resultDF = mysqli_query($bd_con, $query1);
```

```
}
```

```
}  
mysqli_close($bd_con);
```

```
?>
```