

## Conceção de uma Rede de Comunicações para Detecção de Incêndios em Zonas de Orografia Complexa na RAM

RELATÓRIO DE ESTÁGIO DE MESTRADO

**Marisa Raquel Fernandes Silva Berenguer**

MESTRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA - TELECOMUNICAÇÕES



UNIVERSIDADE da MADEIRA

*A Nossa Universidade*

[www.uma.pt](http://www.uma.pt)

abril | 2021



**Conceção de uma Rede de Comunicações  
para Detecção de Incêndios  
em Zonas de Orografia Complexa na RAM**

RELATÓRIO DE ESTÁGIO DE MESTRADO

**Marisa Raquel Fernandes Silva Berenguer**

MESTRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA - TELECOMUNICAÇÕES

ORIENTAÇÃO

Alberto de Jesus Nascimento

CO-ORIENTAÇÃO

José Carlos Fernandes Neves





**Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia**

**Conceção de uma Rede de Comunicações para  
Deteção de Incêndios em Zonas de Orografia Complexa  
na RAM**

Marisa Raquel Fernandes Silva Berenguer

Relatório de estágio submetido à Universidade da Madeira para obtenção do  
Grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica - Telecomunicações, sob a  
orientação do Professor Doutor Alberto de Jesus Nascimento e orientação  
externa do Engenheiro José Carlos Fernandes Neves (LREC)

Funchal, abril 2021



## **Agradecimentos**

A origem e elaboração deste trabalho não seria possível sem a contribuição e influência de diversas pessoas, às quais quero prestar o meu profundo agradecimento pois foi através delas que consegui alcançar mais um objetivo na minha vida, o de concluir o mestrado na área das telecomunicações.

Em primeiro lugar gostaria de expressar o meu agradecimento ao Professor Doutor Alberto Nascimento, que sugeriu este trabalho, a sua disponibilidade e orientação em todo o seu processo.

Ao Engenheiro Carlos Neves, LREC, por me ter orientado durante todo o estágio, pela partilha de conhecimentos, otimismo, ajuda, paciência e imensa disponibilidade, agradeço pela oportunidade que me foi proporcionada. Agradeço também ao LREC por me receber e às pessoas envolvidas neste projeto, como é o caso do Engenheiro Miguel Silva e o Sr. Jorge Martins.

Ao Engenheiro Nelson Melim, ANACOM, pela disponibilidade e partilha de conhecimentos.

Aos meus pais agradeço pelo apoio constante, motivação e todos os esforços feitos ao longo de todo o meu percurso académico.

Um agradecimento muito especial ao meu marido, José Carlos por estar sempre ao meu lado, pela motivação, apoio incondicional, ajuda, disponibilidade e exemplo, sem ele não teria concluído este trabalho.

Por fim, mas não menos importante, agradeço ao Bernardo, o meu filho que me motiva todos os dias a ser mais e melhor.





## Resumo

No âmbito do projeto-piloto “Ações inovadoras para a Prevenção e Gestão de Riscos no Âmbito da Detecção de Incêndios em Zonas de Orografia Complexa na Região Autónoma da Madeira” implementado pelo LREC (Laboratório Regional de Engenharia Civil) e aprovado pelo POSEUR (Programa Operacional de Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos), surge a “Proposta de Conceção de uma Rede *Backbone* Comum ao SAARAM”. Esta proposta consiste numa extensão da rede de comunicações já existente (SAARAM – Sistema de Alerta de Aluviões da RAM) ligando a Ilha da Madeira de oeste a este (Calheta – Funchal), com centralização da informação no LREC. Dado o historial de incêndios na Madeira em especial na zona da Calheta, e sua orografia particularmente complexa surgiu a necessidade de um sistema de prevenção e deteção precoce de incêndios baseado em câmaras de vigilância para servir de apoio às equipas móveis de combate aos incêndios para tornar este processo mais rápido e eficiente.

Foi elaborada uma rede de telecomunicações de Feixes Hertzianos desde o Funchal (LREC) até à Calheta, passando pelo Miradouro do Paredão, Pico Ruivo do Paul e Cabeço da Pedreira, a funcionar à frequência de 5 GHz. Outros pontos foram concebidos para vigiar a zona florestal crítica na Calheta, nomeadamente os pontos situados no Loiral, Pico Gordo, Fonte do Bispo, Pico Alto da Ponta do Pargo e Casa do Elias. Foi também proposta redundância à rede através da ligação desta à já existente através do Miradouro do Paredão e ligação em fibra ótica desde o Pico Ruivo do Paul à zona do Rosário, São Vicente.

Aquando da conclusão deste trabalho verificou-se que este sistema era insuficiente para o objetivo pretendido, havendo deficiência na cobertura das câmaras para os vales. Como complemento a este projeto foi proposto a instalação de múltiplos sensores baseado na tecnologia emergente, IoT (Internet of Things).

**Palavras chave:** Propagação; Ligação por Feixes Hertziano; Otimização da Rede, Vigilância para Prevenção Incêndios.



## **Abstract**

For the project “Innovative actions for the prevention and management of risks associated with fire detection in orographically complex areas in Madeira” implemented by LREC (Regional Laboratory for Civil Engineering) and approved by POSEUR (Operational Programme for Sustainability and Efficient Use of Resources), it is proposed the “Conception of a Backbone Network common to SAARAM”. This project consists in an extension for the already implemented network (SAARAM – Alluvial Alert System of Madeira) with the purpose of connecting Madeira from West to East (Calheta - Funchal) with his operating centre located in LREC. The historical data of fires in Madeira, especially in Calheta and with his complex orography it became necessary to create a system that could prevent and detect fires in early stages based on surveillance cameras to help firefighter units improve their response time and efficiency.

It was elaborated a network of microwave radio relay links from Funchal (LREC) to Calheta going through, Miradouro do Paredão, Pico Ruivo do Paul and Cabeço da Pedreira operating in an 18 GHz frequency. Other points were created for the surveillance of Calheta, namely, Loiral, Pico Gordo, Fonte do Bispo, Pico Alto da Ponta do Pargo and Casa do Elias. It was also proposed redundancy using the already available networks through Miradouro do Paredão and a connection to optical fiber from Pico Ruivo do Paul to Rosário, São Vicente.

We concluded that this system is not enough given the demand of this project due to the uncovered areas in the deepest valleys. As a complement it was proposed the use of multiple sensors based on the emergent IoT (Internet of Things).

**Keywords:** Propagation; Radio Links; System Optimization; Fire Prevention



# Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTA DE ACRÓNIMOS</b> .....	<b>XV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 ESTRUTURA DO RELATÓRIO.....	3
<b>2 INTRODUÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>5</b>
2.1 REDE DE LIGAÇÃO POR FEIXES HERTZIANOS.....	5
2.2 PROPAGAÇÃO DO SINAL.....	6
2.2.1 <i>Espaço Livre</i> .....	7
2.2.2 <i>Elipsoide de Fresnel</i> .....	9
2.2.3 <i>Atmosfera</i> .....	10
2.3 ANTENAS.....	13
2.3.1 <i>Circuito Equivalente e Perdas Associadas ao Sistema</i> .....	14
2.3.2 <i>Fonte Isotrópica</i> .....	15
2.3.3 <i>Parâmetros das Antenas</i> .....	15
<b>3 PROJETO DE LIGAÇÕES POR FEIXES HERTZIANOS</b> .....	<b>19</b>
3.1 ESCOLHA DO PERCURSO DA LIGAÇÃO.....	19
3.2 ESCOLHA DA FREQUÊNCIA DE TRABALHO.....	20
3.3 DISPONIBILIDADE E FIABILIDADE DO SISTEMA.....	20
3.4 ESCOLHA DAS ANTENAS.....	22
3.5 ESCOLHA DOS CABOS E GUIAS.....	23
3.6 ESCOLHA DO EQUIPAMENTO PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA.....	24
<b>4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DA REDE DE FEIXES HERTZIANOS</b> .....	<b>27</b>
4.1 ESTUDOS PRELIMINARES.....	27
4.1.1 <i>Orografia e Clima da Região Autónoma da Madeira</i> .....	27
4.1.2 <i>Áreas Florestais Críticas</i> .....	29
4.2 DESCRIÇÃO DOS SIMULADORES.....	33
4.2.1 <i>QGIS – Quantum GIS</i> .....	33
4.2.2 <i>LINKPlanner</i> .....	35
4.3 MODELAÇÃO GEOGRÁFICA DA REDE A IMPLEMENTAR – PERCURSO DA LIGAÇÃO.....	37
4.3.1 <i>Considerações Iniciais</i> .....	38
4.3.2 <i>Panorama Geral da Rede</i> .....	39

4.3.3	<i>Descrição dos Links e Pontos do Backbone Principal</i> .....	41
4.3.4	<i>Links e Pontos de Vigilância Ativa e Detecção de Incêndios</i> .....	48
4.3.5	<i>Proposta Alternativa de Pontos Redundantes</i> .....	54
4.4	ESCOLHA DA FREQUÊNCIA DE TRABALHO .....	55
4.5	ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS, DISPONIBILIDADE E FIABILIDADE DO SISTEMA .....	58
4.5.1	<i>Equipamento Rádio e Antenas</i> .....	59
4.5.2	<i>Sistema de Detecção Precoce de Incêndios</i> .....	61
4.5.3	<i>Vigilância contra Vandalismo e Intrusão</i> .....	63
4.5.4	<i>Fornecimento de Energia</i> .....	63
4.5.5	<i>Sistema de Informação Geográfica</i> .....	67
4.6	SIMULAÇÃO DA REDE.....	68
4.6.1	<i>Parâmetros da Simulação</i> .....	68
4.6.2	<i>Resultados da Simulação</i> .....	69
4.7	ANÁLISE DE CUSTOS DE INVESTIMENTO E OPERAÇÃO .....	70
4.8	CONCLUSÕES DE CAPÍTULO .....	73
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO</b> .....	<b>75</b>
5.1	CONCLUSÕES DO TRABALHO .....	75
5.2	TRABALHO FUTURO .....	77
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>79</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>83</b>
7.1	TESTES AOS <i>LINKS</i> NO PROGRAMA LINKPLANNER – MEMÓRIA DESCRITIVA .....	83
7.1.1	<i>Link 1: LREC – Miradouro do Paredão</i> .....	83
7.1.2	<i>Link 2: Paredão – Pico Ruivo do Paul</i> .....	84
7.1.3	<i>Link 3: Pico Gordo - Pico Ruivo do Paul</i> .....	85
7.1.4	<i>Link 4: Loiral – Pico Ruivo do Paul</i> .....	86
7.1.5	<i>Link 5: Rabaçal – Pico Ruivo do Paul</i> .....	87
7.1.6	<i>Link 6: Cabeço da Pedreira – Pico Ruivo do Paul</i> .....	88
7.1.7	<i>Link 7: Fonte do Bispo – Cabeço da Pedreira</i> .....	89
7.1.8	<i>Link 8: Pico Alto da Ponta do Pargo – Fonte do Bispo</i> .....	90
7.1.9	<i>Link 9: Casa do Elias – Pico Ruivo do Paul</i> .....	91

## Índice de Figuras

Figura 2.1 – Diferentes tipos de atenuação num sistema de transmissão [4] .....	7
Figura 2.2 - Definição do primeiro Elipsoide de <i>Fresnell</i> . .....	9
Figura 2.3 - Atenuação devida aos gases atmosféricos, nomeadamente vapor de água e oxigénio, considerando uma pressão atmosférica de 1013 hPa, uma temperatura de 15° C e uma concentração de vapor de água de 7,5 g/m <sup>3</sup> [3]. .....	11
Figura 2.4 - A antena como dispositivo transdutor, entre a linha de transmissão e espaço livre. [6] .....	13
Figura 2.5 - Circuito equivalente de Thevenin de uma antena transmissora [6]. .....	14
Figura 2.6 – Diagrama de radiação polar tridimensional simétrico de uma antena, com representação dos lóbulos e largura de feixe [6]. .....	16
Figura 2.7 – Rotação de uma onda eletromagnética e a sua polarização como função no tempo [6]. .....	18
Figura 2.8 - Esquema equivalente a uma antena de transmissão [6]. .....	18
Figura 3.1 - Tipos de antenas: a) Antena Yagi-Uda, b) Antena parabólica sem redoma, c) Antena parabólica com redoma. ....	23
Figura 4.1 – Ilha da Madeira com isolinhas. A amarelo as zonas mais altas, de 1400 m a 1862 m. QGIS. ....	28
Figura 4.2 – a) Distribuição da ocupação do solo na Ilha da Madeira. b) Distribuição da área da floresta e outras áreas arborizadas [1]. .....	29
Figura 4.3 - Localização da floresta Laurissilva na Ilha da Madeira [1]. .....	30
Figura 4.4 - Localização da floresta Cultivada na Ilha da Madeira [1]. .....	30
Figura 4.5 – Distribuição espacial das áreas ardidas na Ilha da Madeira, por ano, no período 2006 – 2013 [18]. .....	31
Figura 4.6 - Área ardida por município na RAM, 2016 [19]. .....	31
Figura 4.7 - Distribuição das áreas ardidas na RAM, 2016 [19]. .....	32
Figura 4.8 - Suscetibilidade a incêndios florestais na Ilha da Madeira [1]. .....	32
Figura 4.9 - Interface do programa QGIS. ....	34
Figura 4.10 - Localização dos pontos, <i>links</i> e elaboração do perfil do terreno, QGIS. ....	34
Figura 4.11 - Observação do ponto localizado no LREC pela ortofoto, QGIS. ....	35
Figura 4.12 - Interface do programa <i>LINKPlanner</i> . ....	36
Figura 4.13 - Dados obtidos pela simulação de um <i>link</i> , <i>LINKPlanner</i> . ....	37
Figura 4.14 - Representação geográfica da localização dos pontos e <i>links</i> da rede, QGIS. ....	39
Figura 4.15 - Traçado do perfil entre o LREC e o Miradouro do Paredão, QGIS. ....	41
Figura 4.16 - Análise da visibilidade do LREC com um raio de 10 km, QGIS. ....	42
Figura 4.17 - Localização do ponto no LREC. ....	42
Figura 4.18 - Localização do ponto no Miradouro do Paredão. ....	43
Figura 4.19 - Análise da visibilidade do Miradouro do Paredão com um raio de 17 km, QGIS. ...	43

Figura 4.20 – Vista do Miradouro do Paredão para: a) Funchal (LREC) e b) Pico Ruivo do Paul. .....	44
Figura 4.21 - Vista do Miradouro do Paredão para: a) GTW3 e b) Curral das Freiras.....	44
Figura 4.22 - Traçado do perfil entre o Miradouro do Paredão e GTW3, QGIS.....	44
Figura 4.23 - Traçado do perfil entre o Miradouro do Paredão e Pico Ruivo do Paul, QGIS. ....	44
Figura 4.24 - Análise da visibilidade do Pico Ruivo do Paul com um raio de 17 km, QGIS. ....	45
Figura 4.25 - Vista do Pico Ruivo do Paul para o Miradouro do Paredão. ....	45
Figura 4.26 – Vista do Pico Ruivo do Paul para o Vale de São Vicente.....	46
Figura 4.27 - Localização do ponto no Pico Ruivo do Paul.....	46
Figura 4.28 - Acesso ao Pico Ruivo do Paul: a) estrada de terra batia e rochosa; b) inclinação. 46	
Figura 4.29 - Traçado do perfil entre o Cabeço da Pedreira e o Pico Ruivo do Paul, QGIS. ....	47
Figura 4.30 - Análise da visibilidade do Cabeço da Pedreira com um raio de 10 km, QGIS.....	47
Figura 4.31 – a) Acesso ao ponto do Cabeço da Pedreira; b) Localização física do ponto. ....	48
Figura 4.32 - Traçado do perfil entre o Pico Gordo e o Pico Ruivo do Paul, QGIS.....	48
Figura 4.33 – a) Acessibilidade ao ponto do Pico Gordo; b) Vista do Pico Ruivo do Paul para o Pico Gordo. ....	49
Figura 4.34 – Vista do ponto do Pico Gordo nas várias direções (360°), junto ao marco geodésico. Primeiras duas fotos na direção do Pico Ruivo do Paul, as duas últimas fotos são respetivamente na direção do Pavilhão da Calheta e na direção da Ponta do Pargo e Porto Moniz.....	49
Figura 4.35 – a) Acesso ao ponto do Loiral; b) Localização física do ponto.....	50
Figura 4.36 - Traçado do perfil entre o Loiral e o Pico Ruivo do Paul, QGIS. ....	50
Figura 4.37 - Traçado do perfil entre o Rabaçal e o Pico Ruivo do Paul, QGIS. ....	50
Figura 4.38 - Localização física do ponto do Rabaçal.....	51
Figura 4.39 - Vista nas várias direções do ponto da Torre Vigia na Fonte do Bispo, sobre a floresta da Calheta. ....	51
Figura 4.40 - Traçado do perfil entre o Fonte do Bispo e o Cabeço da Pedreira, QGIS. ....	52
Figura 4.41 - Traçado do perfil entre o Pico Alto da Ponta do Pargo e a Fonte do Bispo, QGIS. 52	
Figura 4.42 – a) Acesso ao ponto do Pico Alto da Ponta do Pargo; b) Localização física do ponto. .....	52
Figura 4.43 - Traçado do perfil entre a Casa do Elias e o Pico Ruivo do Paul, QGIS. ....	53
Figura 4.44 - Análise de visibilidade dos pontos de vigilância ativa e deteção de incêndios na zona oeste da Ilha. ....	53
Figura 4.45 – Análise da visibilidade Miradouro do Paredão para o SAARAM, QGIS. ....	54
Figura 4.46 - Mapa dos <i>links</i> e respetiva banda de frequência de operação, <i>LINKPlanner</i> .....	57
Figura 4.47 – Radiocomunicações e aplicações: Ponto- ponto para a faixa do 18 GHz [10]. ....	57
Figura 4.48 - <i>Robot InsightFD 3</i> [29].....	61
Figura 4.49 - Vista traseira do robot e por baixo o motor de Inteligência artificial [29].....	61
Figura 4.50 - <i>Layout</i> da rede na aplicação SIG, LREC.....	67
Figura 4.51 - Informação adicional para o pior caso de disponibilidade do <i>link</i> , <i>LINKPlanner</i> . ....	70
Figura 5.1 - Multisensores de riscos naturais.....	78



Figura 7.1 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre LREC – Miradouro do Paredão, LINKPlanner.....	83
Figura 7.2 -Configurações em cada ponto, LINKPlanner. ....	83
Figura 7.3 - Resumo da performance do link entre o LREC - Miradouro do Paredão, LINKPlanner. ....	83
Figura 7.4 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Miradouro do Paredão – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.....	84
Figura 7.5 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner. ....	84
Figura 7.6 - Resumo da performance do link entre o Miradouro do Paredão – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner. ....	84
Figura 7.7 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Pico Gordo – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner. ....	85
Figura 7.8 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner. ....	85
Figura 7.9 - Resumo da performance do link entre o Pico Gordo – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner. ....	85
Figura 7.10 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Loiral – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner. ....	86
Figura 7.11 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner. ....	86
Figura 7.12 - Resumo da performance do link entre o Loiral – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner. ....	86
Figura 7.13 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Rabaçal– Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.....	87
Figura 7.14 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner. ....	87
Figura 7.15 - Resumo da performance do link entre o Rabaçal – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner. ....	87
Figura 7.16 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Cabeço da Pedreira – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.....	88
Figura 7.17 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner. ....	88
Figura 7.18 - Resumo da performance do link entre o Cabeço da Pedreira– Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner. ....	88
Figura 7.19 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Fonte do Bispo - Cabeço da Pedreira, LINKPlanner. ....	89
Figura 7.20 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner. ....	89
Figura 7.21 - Resumo da performance do link entre o Fonte do Bispo - Cabeço da Pedreira, LINKPlanner. ....	89
Figura 7.22 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Fonte do Bispo – Pico Alto da Ponta do Pargo, LINKPlanner.....	90
Figura 7.23 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner. ....	90
Figura 7.24 - Resumo da performance do link entre o Pico Alto da Ponta do Pargo – Fonte do Bispo, LINKPlanner.....	90

Figura 7.25 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Casa do Elias – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner. ....	91
Figura 7.26 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner. ....	91
Figura 7.27 - Resumo da performance do link entre o Casa do Elias – Pico Ruivo do Paul LINKPlanner. ....	91

## Índice de Tabelas

Tabela 4.1 - Designação e coordenadas dos pontos da rede.....	40
Tabela 4.2 - Designação, constituição, frequência de operação e comprimento dos <i>links</i> . .....	40
Tabela 4.3 - Taxa aplicável por ligação hertziana e por canal consignado [23].....	55
Tabela 4.4 - Sumário de equipamentos necessários a instalar em cada ponto.....	58
Tabela 4.5 - Características do rádio para a banda dos 5 GHz [24].....	59
Tabela 4.6 - Características do rádio para a banda dos 18 GHz [25].....	60
Tabela 4.7 - Características do rádio com antena integrada para a banda dos 24 GHz [26]. .....	60
Tabela 4.8 - Características das antenas para as bandas dos 5 GHz e 18 GHz [27] e [28]. .....	60
Tabela 4.9 - Especificações do <i>InsightFD</i> 3.0 [30]. .....	62
Tabela 4.10 - Distribuição do fornecimento de energia pelos pontos.....	64
Tabela 4.11 - Consumos máximo por ponto. ....	64
Tabela 4.12 – Potência máxima de cada aparelho.....	65
Tabela 4.13 - Dimensionamento do sistema de alimentação solar. ....	65
Tabela 4.14 - Especificações técnicas do painel fotovoltaico [38] e baterias [36][37].....	66
Tabela 4.15 - Parâmetros da simulação. ....	68
Tabela 4.16 – Resultados gerais das simulações aos <i>links</i> , <i>LINKPlanner</i> . ....	69
Tabela 4.17 - Propostas para instalação do lote 1, projeto piloto.....	71
Tabela 4.18 - Propostas para instalação do lote 2, projeto piloto.....	71



## Lista de Acrónimos

ACC	Comando de Controlo e Apoio à Decisão
API	<i>Application Programming Interface</i>
DRF	Direção Regional de Florestas
DTM	<i>Digital Terrain Model</i>
FOV	<i>Field Of View</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GNU	<i>General Public License</i>
GW	<i>Gateway</i>
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional
IoT	<i>Internet of Things</i>
IR	<i>Infrared</i>
ITU-R	Recomendações da União Internacional das Telecomunicações
LORAWAN	<i>Long Range Wide Area Network</i>
LOS	<i>Line – Of – Sight</i>
LREC	Laboratório Regional de Engenharia Civil
LWIR	<i>Long Wave Infrared</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
OSGEO	<i>Open Source Geospatial Foundation</i>
POSEUR	Programa Operacional de Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos
PTZ	<i>Pan – Tilt - Zoom</i>
QNAF	Quadro Nacional de Atribuição de Frequências
RAM	Região Autónoma da Madeira
REMAS	Rede de Estações Meteorológicas Automáticas
SAARAM	Sistema de Alerta de Aluviões da Região Autónoma da Madeira
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>



# 1 Introdução

No âmbito do projeto-piloto “Ações inovadoras para a Prevenção e Gestão de Riscos no Âmbito da Detecção de Incêndios em Zonas de Orografia Complexa na Região Autónoma da Madeira” implementado pelo LREC (Laboratório Regional de Engenharia Civil) e aprovado em 2017 pelo POSEUR (Programa Operacional de Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos), surge a “Proposta de Conceção de uma Rede *Backbone* Comum ao SAARAM”. Esta proposta consiste numa extensão da rede de comunicações já existente (SAARAM – Sistema de Alerta de Aluviões da RAM) ligando a Ilha da Madeira de oeste a este (Calheta – Funchal), com centralização da informação no LREC.

A rede servirá para recolha e correlação, em tempo real, de dados meteorológicos, através das REMAS (Rede de Estações Meteorológicas Automáticas) já implementadas e da informação de câmaras estrategicamente colocadas pela ilha de modo a maximizar a cobertura das principais zonas de risco de incêndio, com o objetivo de haver uma deteção precoce e análise da evolução de fogos florestais e consequente aumento da eficácia no seu combate.

## 1.1 Motivação

A Região Autónoma da Madeira, RAM, situa-se no oceano Atlântico Norte sob a placa tectónica Africana, a cerca de 900 km de Portugal Continental. Tem uma área total de sensivelmente 737 km<sup>2</sup> (cerca de 74 193 ha), 63 km de comprimento no sentido este – oeste e 23 km de largura no sentido norte-sul [1].

De origem vulcânica, a Ilha da Madeira é conhecida pela sua orografia complexa, fortemente caracterizada por montanhas rochosas de encostas íngremes e vales acentuados, tendo o pico mais alto uma altitude de 1 862 m. A ilha divide-se pela vertente sul, mais soalheira e pela vertente norte, mais húmida e desprotegida de ventos provenientes de nordeste, por uma cordilheira central que se estende de este a oeste.

A junção destas características (localização, orografia e clima) faz com que existam vários microclimas o que estimula o desenvolvimento florestal característico da ilha, bem como a conservação e manutenção da Laurissilva.

No geral, a floresta ocupa cerca de 46% (34 044 ha) do solo madeirense onde somente 45% é floresta natural e 49% é floresta cultivada, segundo tabela 101.IM do IFRAM2 disponibilizado pela DRF [2], o que significa que a maior parte da floresta existente na RAM compõe espécies não endémicas, cultivadas, com predominância na vertente sul da ilha. Quando analisados os valores obtidos para a área ardida durante os últimos anos verifica-se que também existe uma maior ocorrência e suscetibilidade na vertente sul da ilha, mais precisamente na área dos concelhos da Calheta e do Funchal.

Considerando o registo da área ardida, ocupação do solo, temperatura, humidade e ventos que se faz sentir na ilha, principalmente na época do verão, verifica-se uma necessidade urgente de implementação de uma solução tecnológica que permita a deteção precoce dos incêndios, especialmente em zonas de orografia complexa, servindo de apoio às equipas de prevenção. Atualmente estas equipas fazem prevenção diurna em torres de vigilância onde torna-se complicado ou até mesmo impossível a monitorização especialmente dos vales, em que o fogo se torna imprevisível, ganhando velocidade devido aos ventos e ao próprio microclima.

A solução proposta é a implementação de uma rede de comunicações, que estabeleça a ligação entre o Funchal (LREC) e a zona da Calheta com base na orografia complexa da RAM. Esta rede servirá para transmissão em tempo real de imagens captadas pelas câmaras termográficas inteligentes instaladas nos diversos pontos assim como dados meteorológicos, para previsão de propagação de incêndios. Todos estes dados serão centralizados num centro de operação, que situar-se-á no LREC.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo principal deste trabalho é a conceção da rede *Backbone* Principal usando a orografia complexa característica da RAM para a deteção precoce de incêndios, procurando minimizar o número total de pontos da ligação, levando a uma rentabilização de custos, e maximização da área vigiada. Para atingir o objetivo principal com sucesso foram propostos para este trabalho a realização dos seguintes tópicos:

- Estudo da orografia da Região Autónoma da Madeira com recurso a modelos DTM – *Digital Terrain Model* (Modelo Digital Terrestre)



- Identificação das áreas florestais críticas
- Enquadramento legal, potência e largura de banda
- Análise de custos de investimento e operação
- Levantamento das condições geográficas no terreno, para localização do ponto destino (Calheta)
- Representação geográfica da localização dos pontos no programa de *software* QGIS
- Representação dos perfis geográficos dos vários troços da ligação entre o ponto origem (LREC) e o ponto destino (Calheta), tendo em conta a otimização da ligação no programa de *software* QGIS
- Representação gráfica das várias hipóteses de redes *Backbone* comum ao SAARAM, no programa de *software* QGIS
- Otimização de custos da rede. Simulação dos melhores trajetos
- Verificação no terreno da geolocalização dos pontos
- Proposta final da rede
- Proposta de pontos redundantes.

O estudo dos *links* e dos pontos faz-se recorrendo aos programas de software QGIS (*Software* de Sistema de Informação Geográfica) e *LINKPlanner* (*Software* de Simulação de Redes de Transmissão de Dados). O *LINKPlanner* é usado para a simulação dos *links* com as características técnicas desejadas para a rede, de modo a se confirmar a viabilidade do sistema e a sua otimização.

### **1.3 Estrutura do Relatório**

Este relatório está estruturado em sete capítulos, começando pelo capítulo introdutório onde se fala sobre o âmbito do trabalho, motivação, objetivos e respetiva estrutura.

Em seguida têm-se o capítulo 2, uma introdução teórica onde são abordados diversos temas e conceitos relacionados com a área a desenvolver, seguindo-se o capítulo 3 de introdução ao projeto de Feixes Hertzianos onde são descritos os passos a ter em conta na elaboração de um projeto de forma a que este seja viável.

O capítulo 4 aborda o desenvolvimento do projeto da rede, onde se começa pelos estudos preliminares. São analisados a orografia e clima da ilha, assim como a localização e identificação das principais zonas florestais, o que servirá de base para

a localização geográfica dos pontos onde os equipamentos rádio são colocados. É através deste estudo que os pontos são rentabilizados, levando a uma maior cobertura visual da ilha com um número reduzido de pontos. Em seguida tem-se descrição breve dos simuladores usados neste trabalho e é explicado em que consiste cada programa e o processo de simulação da rede. Num outro tópico é explicado a escolha do percurso da ligação principal, com a descrição de cada ponto e *link* escolhido, localização dos pontos e *links* de vigilância ativa e deteção de incêndios e proposta de pontos redundantes. A escolha da frequência, disponibilidade e fiabilidade do sistema, assim como dos equipamentos constituintes de cada ponto também são desenvolvidos.

Ainda no capítulo 4 é feita a simulação da rede apresentando os respetivos resultados e por fim análise dos custos de investimento e de operação deste projeto.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho assim como propostas de projetos futuros.

Nos capítulos 6 e 7 tem-se respetivamente as referências usadas para a elaboração deste relatório e os anexos.

## 2 Introdução Teórica

Neste capítulo é feita uma introdução teórica aos Feixes Hertzianos servindo de base à elaboração deste trabalho.

Começa-se pela definição de uma rede de Feixes Hertzianos, a sua composição e parâmetros a ter em conta no projeto de uma ligação deste tipo. Em seguida faz -se uma abordagem breve acerca dos elementos de propagação, particularmente a propagação em espaço livre, a importância dos elipsoides de *Fresnel* na ligação e a atmosfera como canal entre antenas e os seus efeitos neste tipo de comunicações, nomeadamente na atenuação do sinal ao longo do percurso, com ênfase na atenuação devido ao índice de refração, ao vapor de água, oxigénio e a chuva.

No tópico final, é abordado o conceito de antena como sendo o meio de conversão do sinal para a onda eletromagnética e vice-versa, entre outros conceitos que servem de apoio ao projeto de uma rede de Feixes Hertzianos.

### 2.1 Rede de Ligação por Feixes Hertzianos

O sistema de comunicação por Feixes Hertzianos torna-se vantajoso na medida em que não só se conseguem atingir capacidades de transmissão elevadas, devido ao uso de frequências superiores a 1 GHz, com antenas diretivas tipo parabólica, como também à possibilidade de transmitir dados a longas distâncias sem depender de elementos físicos. O sinal propaga-se normalmente em linha de vista, e com recurso a repetidores quando a distância entre antenas é superior a 50 km ou quando a linha de vista é comprometida pela existência de obstáculos. É especialmente atrativo face a outras tecnologias quando se trata de ligações em zonas de difícil acesso, ou aquando da existência de obstáculos, ex. montanhas, rios, etc., não sendo necessário a passagem de fios ou cabos no percurso para estabelecimento da ligação [3].

De forma a se obter percursos em linha de vista, os pontos terminais, ou estações terminais, devem ser posicionados em cotas elevadas e próximas dos pontos origem e destino do tráfego, assim como serem de fácil acesso, de modo a facilitar a sua manutenção. O mesmo se aplica no caso da existência de estações repetidoras. Estas devem ser posicionadas também em cotas elevadas e o mais

distante possível umas das outras de forma a diminuir o número de pontos de ligação. As antenas são instaladas em torres ou mastros, dependendo da altura a considerar. Os emissores e os recetores estão ligados à antena através de cabo coaxial ou guia de onda, sendo este último o mais comum para frequências elevadas (acima dos 2 GHz). São usados filtros, ou associações de circuladores e filtros (para frequências superiores a 2 GHz), para a ligação de vários emissores e recetores à mesma antena [3].

## 2.2 Propagação do Sinal

Um sistema de comunicação tem por objetivo principal levar o sinal/ informação de um ponto emissor a outro ponto recetor. Em traços gerais, esta informação que é gerada no emissor é propagada através de ondas pelo canal de transmissão até ao respetivo recetor.

As ondas podem ser propagadas pelo canal em modo guiado, onde o percurso do sinal é bem definido através do cabo coaxial, guia de onda ou fibra ótica. O canal também pode ser a própria atmosfera, em que o sinal é transmitido pela energia que é radiada por uma antena emissora e alcançada pela antena recetora por múltiplas trajetórias. Idealmente a onda é propagada em linha reta, ou seja, a onda é plana, mas devido à atmosfera não ser um meio homogéneo a onda tende a curvar. Várias condicionantes naturais, tais como chuva, nevoeiro, etc., podem afetar o sinal, dependendo da frequência a que este é transmitido. Quanto maior a frequência de transmissão maior será a influência da atmosfera na propagação do sinal [3].

Neste tipo de sistemas existem diferentes tipos de atenuação a considerar, conforme ilustra a figura 2.1 [3] e [4].

- **Atenuação Global:** considerando condições reais de instalação, propagação e operação, a atenuação global é a razão entre a potência fornecida pelo emissor e a potência entregue ao recetor, determinada à entrada ou saída da antena transmissora ou recetora, o que inclui linha de alimentação e filtros.

- **Atenuação de sistema:** é a razão entre a potência transmitida nos terminais da antena transmissora e a potência resultante ou disponível nos terminais da antena recetora. Exclui as perdas nas linhas de alimentação, mas inclui todas as perdas associadas à antena.

- **Atenuação de Transmissão:** é a razão entre a potência que é radiada pela antena emissora e a potência disponível nos terminais da antena recetora, não considerando as perdas associadas às antenas.

- **Atenuação Básica de Transmissão:** é a razão entre a potência radiada pela antena transmissora e a potência disponível nos terminais da antena recetora, não incluindo perdas associadas as antenas e considerando que as antenas em questão são isotrópicas com a mesma polarização das antenas reais, considerando o mesmo trajeto de propagação e excluindo os efeitos dos obstáculos próximos.

- **Atenuação Básica de Espaço Livre:** é a razão entre a potência radiada pela antena emissora e a potência disponível nos terminais da antena recetora, se as antenas reais fossem substituídas por antenas isotrópicas sem perdas devido ao Espaço Livre, em que a distância entre antenas é a mesma, mas considerando um ambiente idealmente dielétrico, homogêneo e isotrópico entre antenas.

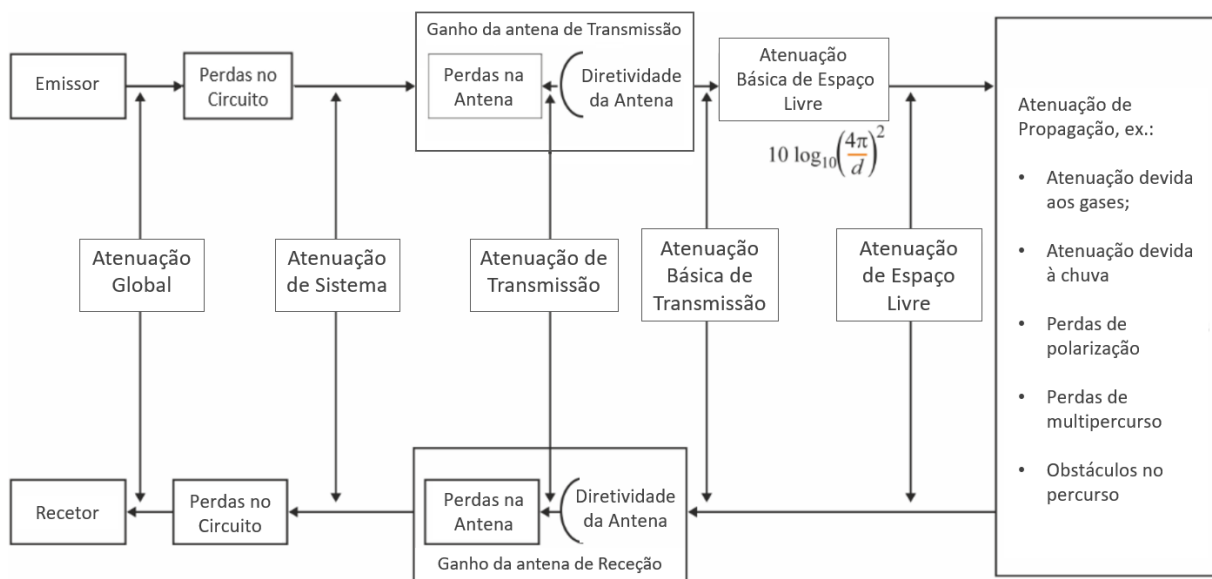


Figura 2.1 – Diferentes tipos de atenuação num sistema de transmissão [4]

### 2.2.1 Espaço Livre

Conforme referido anteriormente, devido à existência da atmosfera e a esta não ser uniforme, a onda não se propaga em linha reta e o conceito de espaço livre não existe na realidade. Contudo conseguem-se boas aproximações ao espaço livre mediante certas condições, como por exemplo, se as antenas estiverem suficientemente afastadas tanto da superfície terrestre como de qualquer outro

obstáculo à sua volta. Consegue-se também boa aproximação à propagação em linha de vista com uma antena diretiva em que o feixe se torna tanto mais estreito quanto maior é a sua área eficaz (dimensão da abertura) em relação ao comprimento de onda.

A relação entre a potência emitida e a potência recebida, tendo em conta o espaço livre, é o primeiro passo no estudo de uma ligação rádio. Esta relação é dada pela Fórmula de Friis

$$P_r = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 a_t a_r G_r G_t P_t \quad (2.1)$$

que considera que a antena recetora se encontra na região de campo distante, em que a distância mínima entre antenas é dada por  $d_{min} = 2D^2/\lambda$ , onde  $D$  é a maior dimensão da abertura da antena (diâmetro da antena), ou emissora ou recetora e  $\lambda$  é o comprimento de onda ( $\lambda = c/f$ ), sendo  $c$  a velocidade de propagação da onda eletromagnética no vazio ( $2,998 \times 10^8 m/s$ ).

Na potência recebida é importante considerar o fator de perda em espaço livre,  $\left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$  devido ao facto parte da potência emitida se perca no percurso à medida que a distancia entre antenas aumenta.

As antenas mais utilizadas em sistemas de Feixes Hertzianos são as parabólicas, cujo ganho é dado por:

$$G = 20 \log_{10} \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \eta \quad (2.2)$$

sendo  $\eta$  a eficiência da abertura e o  $G$  o ganho dado em dBi.

Num sistema real, a propagação do sinal não só sofre atenuação devido ao espaço livre, mas também de outras origens. Nomeadamente a atenuação devido ao meio de transmissão (obstáculos). Considerando antenas isotrópicas, a atenuação de transmissão desprezando perdas nos circuitos, é a relação entre a potência radiada pela antena emissora e a recebida aos terminais da antena recetora. A atenuação do sistema, que já inclui perdas nos circuitos, no solo, dielétricas e perdas nas antenas. Por fim tem-se a atenuação global considerando as condições de instalação, propagação e explorações reais do sistema, relacionando a potência que é emitida com a potência que é fornecida ao recetor [3].

### 2.2.2 Elipsoide de Fresnel

É através dos elipsoides de *Fresnell* que se consegue definir se a propagação entre antenas de uma ligação radio está nas condições de ser considerada em espaço livre.

Numa ligação real, as antenas estão próximas do solo o que compromete a propagação em espaço livre, que deixa de ser realizável. Uma boa aproximação é conseguida desde que, mesmo na presença de obstáculos no percurso, estes não entrem na área definida pelo primeiro elipsoide de *Fresnell*, fazendo com que a ligação entre um ponto emissor e um ponto recetor seja em linha de vista desobstruída, conforme ilustra a figura 2.2. Quando esta situação é verificada, a atenuação entre antenas é praticamente igual à atenuação em espaço livre [3].

Seja E um ponto na antena emissora, R um ponto na antena recetora, a distância entre antenas  $d \gg r$ , numa ligação rádio a uma frequência f, com um comprimento de onda  $\lambda$  [3].

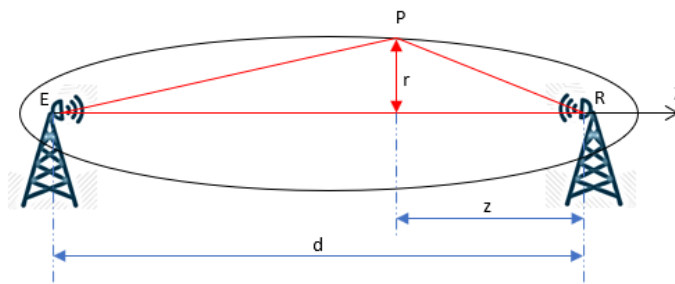


Figura 2.2 - Definição do primeiro Elipsoide de *Fresnell*.

O ponto P, definido no sistema de coordenadas representado na figura, pertence ao n-ésimo elipsoide de *Fresnell* se:

$$\overline{EP} + \overline{PR} - d = n \frac{\lambda}{2} \quad (2.3)$$

Reescrevendo a equação (2.3) nas coordenadas de P ( $r, \theta, z$ ), tem-se:

$$\sqrt{z^2 + r^2} + \sqrt{(d-z)^2 + r^2} - d = n \frac{\lambda}{2} \quad (2.4)$$

A partir da equação (2.4) tem-se o raio, r, dado por:

$$r = \pm \sqrt{n \frac{z(d-z)}{d} \lambda} \quad (2.5)$$

Através da equação anterior e considerando  $z = d/2$ , tem-se o maior raio do primeiro elipsoide de *Fresnell*,  $r_{1m}$ :

$$r_{1m} = \sqrt{\frac{\lambda d}{4}} \quad (2.6)$$

### 2.2.3 Atmosfera

Para além do efeito da própria Terra, um dos principais problemas no estudo da propagação é a atmosfera, os gases que a constituem. De uma forma muito simples, a atmosfera é uma camada de gases que envolve a Terra e que através da gravidade são atraídos à sua superfície. Essencialmente a atmosfera divide-se em três camadas: a troposfera, considerada a camada baixa da atmosfera que se estende até cerca de 17 km de altitude da superfície terrestre, a estratosfera e a ionosfera que se inicia aproximadamente a 50 km estendendo-se até cerca 500 km.

A atmosfera tem efeitos importantes e que devem ser considerados no estudo de uma ligação rádio. Tal como referido anteriormente, devido à sua não homogeneidade, as ondas eletromagnéticas tendem a curvar em função do índice de refração da atmosfera (i) que por sua vez varia ao longo do percurso, diminuindo com a altitude. Outro efeito é a atenuação suplementar que surge devido à presença de gases, nomeadamente o oxigénio e vapor de água (ii), e também devido à chuva, nevoeiro, granizo e neve (iii). Por outro lado, a propagação do sinal também pode se tornar mais intensa e atingir distâncias muito elevadas em determinadas direções do percurso. O sinal pode chegar ao recetor através de percursos diferentes, tendo cada um o seu tempo de propagação e intensidade o que pode levar ao aparecimento de flutuações na amplitude do sinal recebido. Este fenómeno designa-se por desvanecimento por multipercurso [3].

#### (i) Índice de Refração da Atmosfera

Ao longo do percurso a direção da propagação do sinal vai sofrendo alterações devido ao índice de refração  $n$  da atmosfera, que depende da pressão atmosférica,  $p$  (hPa), da pressão parcial do vapor de água,  $e$  (hPa), e da temperatura absoluta,  $T$  (K). Para frequências habituais [4], tem-se:

$$n = 1 + N \times 10^{-6} \quad (2.7)$$

Em que a refratividade,  $N$ , é dada por:



$$N = \frac{77.6}{T} \left( p + \frac{4810 e}{T} \right) \quad (2.8)$$

Como o índice de refração varia principalmente com a altitude,  $h$ , tem-se:

$$n(h) = 1 + a e^{-\frac{h}{h_0}} \quad (2.9)$$

Pode-se reescrever a expressão anterior numa expressão linear através:

$$n(h) = n_0 - \Delta n \times h \quad (2.10)$$

O índice de refração da atmosfera tendo em conta a altitude, é válido especialmente para regiões da baixa troposfera e o raio da Terra pode ser aproximado ao raio equivalente:

$$r = k_e r_0 \quad (2.11)$$

sendo o raio físico da Terra  $r_0 \approx 6370$  e  $k_e$ :

$$k_e = \frac{1}{1 - \frac{r_0}{n_0} \Delta n} \quad (2.12)$$

### **(ii) Atenuação Suplementar devida ao Vapor de Água e Oxigénio**

O gráfico representado na figura 2.3 mostra a atenuação devido ao vapor de água ( $\text{OH}_2$ ) e ao oxigénio ( $\text{O}_2$ ) em função da frequência (GHz).

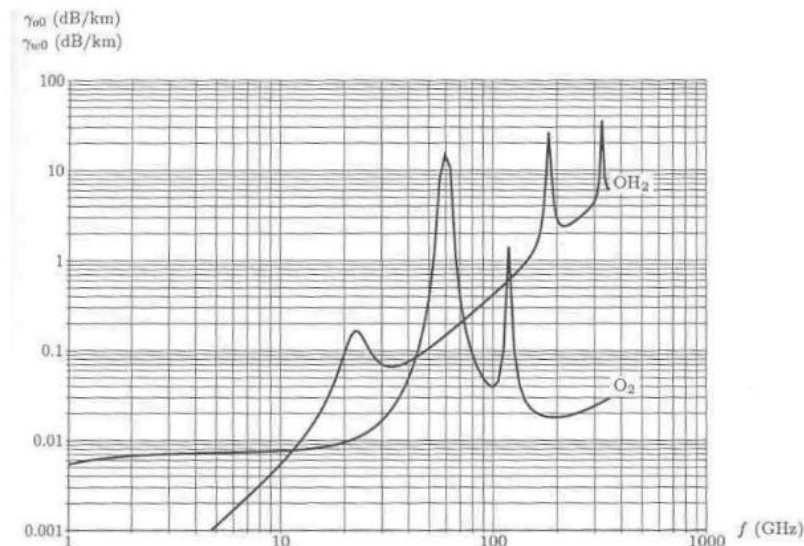


Figura 2.3 - Atenuação devida aos gases atmosféricos, nomeadamente vapor de água e oxigénio, considerando uma pressão atmosférica de 1013 hPa, uma temperatura de 15° C e uma concentração de vapor de água de 7,5 g/m<sup>3</sup> [3].

Pela sua análise é possível ver que a atenuação suplementar é considerável a partir de frequências de sensivelmente 10 GHz, principalmente o vapor de água, que

para frequências mais elevadas chega a ser um fator determinante na fase de projeto da ligação. Para percursos curtos, esta atenuação é desprezável abaixo dos 2 GHz. Considerando percursos até cerca de 20 km o intervalo de frequências aceitável é até 50 GHz, para ligações que suportem eventuais interrupções devido a chuva. Para percursos longos normalmente são usadas frequências mais baixas.

A atenuação suplementar devido à atmosfera e para percursos de ligações terrestres (baixa troposfera) é dada pela seguinte expressão:

$$A_a = (\gamma_{o0} + \gamma_{w0})d \quad (2.13)$$

em que  $d$  é o comprimento do percurso,  $\gamma_{o0}$  e  $\gamma_{w0}$  são respetivamente os coeficientes de atenuação devidos ao oxigénio e ao vapor de água, por unidade de comprimento.

### **(iii) Atenuação Suplementar devida à Chuva**

A atenuação devida à chuva é significativa para ligações com frequências superiores a alguns GHz, aumentando com o aumento da frequência, e onde o tempo e intensidade de precipitação são elevados, podendo mesmo ser um fator limitativo numa ligação. Esta atenuação deve-se à dispersão, absorção e alteração na polarização das ondas eletromagnéticas.

É possível relacionar a intensidade de precipitação,  $Ri$  (mm/h), com o coeficiente de atenuação por unidade de comprimento,  $\gamma_r$ , pela seguinte expressão:

$$\gamma_r = kRi^\alpha \quad (2.14)$$

onde  $k$  e  $\alpha$  dependem da frequência, da temperatura, geometria das gotas da chuva e da distribuição estatística das suas dimensões. Devido à forma da gota não ser esférica, o coeficiente de atenuação é diferente para a polarização horizontal e para a polarização vertical. Pode-se calcular a atenuação devida a chuva através da recomendação P.530-80 da ITU-R, para frequências inferiores a 40 GHz e distâncias de até 60 km [3].

A atenuação devido ao nevoeiro, por ser inferior à atenuação devida chuva fraca, granizo e neve e por não ser frequente, geralmente não é considerada no projeto [3].

## 2.3 Antenas

Como referido anteriormente, é através das antenas que é possível o sinal elétrico viajar entre dois pontos terminais utilizando a atmosfera como canal, sem elementos físicos e em espaço livre.

A antena é geralmente um objeto constituído por material bom condutor que transmite e/ou recebe ondas rádio a longas distâncias. É o elemento que está entre o meio físico, linha de transmissão ou guia de onda, e o espaço livre conforme ilustra a figura 2.4. Funciona basicamente como um transdutor que converte correntes provenientes de ondas condicionadas a linhas de transmissão ou guias de onda em ondas eletromagnéticas que são radiadas para a atmosfera, ou vice-versa no caso da receção. As ondas eletromagnéticas (ou ondas rádio) surgem da excitação das cargas elétricas e da sua aceleração ou desaceleração. A eficiência de uma antena depende do seu comprimento físico mínimo que está relacionado diretamente com o comprimento de onda da frequência de operação [6], [7], [8].

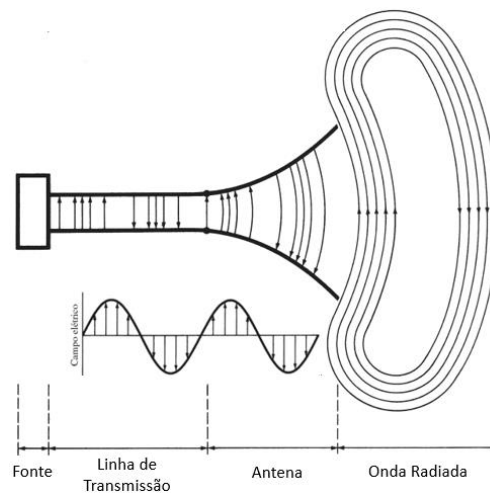


Figura 2.4 - A antena como dispositivo transdutor, entre a linha de transmissão e espaço livre. [6]

Enquanto que o recurso a linhas de transmissão só é viável para comunicações de curta distância e frequências mais baixas devido às perdas associadas que aumentam com a distância e frequência, as antenas são frequentemente usadas nas comunicações rádio (ou sem fio) quando se trata de longas distâncias com frequências de operação elevadas [7]. Neste tipo de comunicações, a antena é um dos elementos mais importantes, que quando bem projetada pode eliminar possíveis condicionamentos e problemas causados por outros elementos do sistema. Dependendo do cenário de aplicação existem antenas de diferentes formatos, sendo

a mais comum nas comunicações sem fios e para longas distâncias os refletores parabólicos, ou parabólicas, que podem atingir até os 305 m de diâmetro [6].

### 2.3.1 Circuito Equivalente e Perdas Associadas ao Sistema

Na figura 2.5 está representado o circuito equivalente de *Thévenin* para o sistema de uma antena. Neste circuito a fonte é representada por um gerador ideal, a linha de transmissão por uma impedância característica,  $Z_c$ , e a antena por uma carga,  $Z_A = (R_L + R_r) + jX_A$ . A reactância  $X_A$  representa a parte imaginária da impedância da antena. As perdas dielétricas e de condução da estrutura da antena assim como a radiação da mesma são representadas pelas resistências  $R_L$  e  $R_r$ , respetivamente. Idealmente a potência gerada pela fonte deveria ser totalmente radiada. Na prática tal não acontece devido a perdas pela natureza imperfeita da linha de transmissão e da própria antena, perdas dielétricas e de condução. Também podem existir perdas devido a reflexões entre a linha de transmissão e a antena e desadaptação entre impedâncias [6].

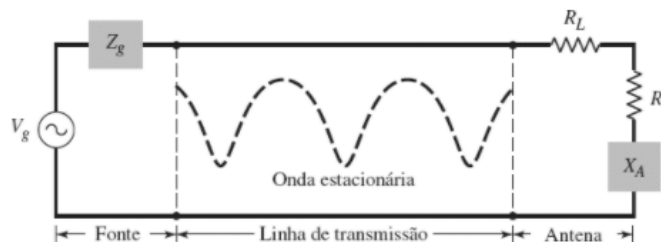


Figura 2.5 - Circuito equivalente de Thevenin de uma antena transmissora [6].

Como referido anteriormente, a linha de transmissão serve para guiar as ondas eletromagnéticas desde a fonte até à antena, ou seja, transportar energia de um ponto a outro. Quando a antena é mal projetada pode acontecer que em vez de haver um transporte de energia, haja um armazenamento de energia fazendo com que gere perdas indesejáveis na linha e consecutivamente na antena. Estas perdas podem ser diminuídas através da escolha de linhas de baixas perdas e as ondas estacionárias que originam o armazenamento de energia podem ser minimizadas através da adaptação da impedância da antena com a impedância característica da linha de transmissão. Em relação às perdas na antena, é importante que a resistência de radiação,  $R_r$  seja muito superior a resistência de perdas,  $R_L$  [6]

### **2.3.2 Fonte Isotrópica**

O conceito de fonte isotrópica, ou antena isotrópica surge no sentido de simplificar cálculos e permitir comparações entre antenas. É um elemento ideal que na prática não existe. Trata-se de uma fonte esférica com uma antena no seu interior que radia a mesma quantidade de energia em todas as direções [6] [8].

### **2.3.3 Parâmetros das Antenas**

Antes de escolher uma antena para uma aplicação em particular é importante conhecer alguns parâmetros de desempenho ou características das antenas, cujos conceitos estão descritos a seguir de forma simplificada.

- **Diagrama de Radiação**

A área de cobertura de uma antena é dada pelo diagrama de radiação, que pode ser definido por “uma função matemática ou representação gráfica das propriedades de radiação da antena em função das coordenadas espaciais” [6].

A figura 2.6 mostra um exemplo de diagrama de radiação de uma antena. Como se pode ver o diagrama de radiação é caracterizado por lóbulos, principais, secundários, laterais e posterior. Os lóbulos são caracterizados pela sua intensidade de radiação e estão limitados pelas regiões do diagrama onde a intensidade de radiação é mais fraca. É no lóbulo principal que se consegue a direção de máxima radiação. Todos os outros lóbulos são secundários. O lóbulo lateral é o lóbulo de radiação para qualquer região a exceção da região principal e o lóbulo posterior/traseiro é o lóbulo situado a  $180^\circ$ , direção oposta, do lóbulo principal. Assim sendo, os lóbulos secundários radiam para direções que não a de interesse e por isso devem ser minimizados. Idealmente pretende-se que a intensidade dos lóbulos laterais seja inferior a -30 dB. Os sinais mais (+) e menos (-) representam a polarização relativa da amplitude entre lóbulos, que alternam conforme os nulos são ultrapassados [6].

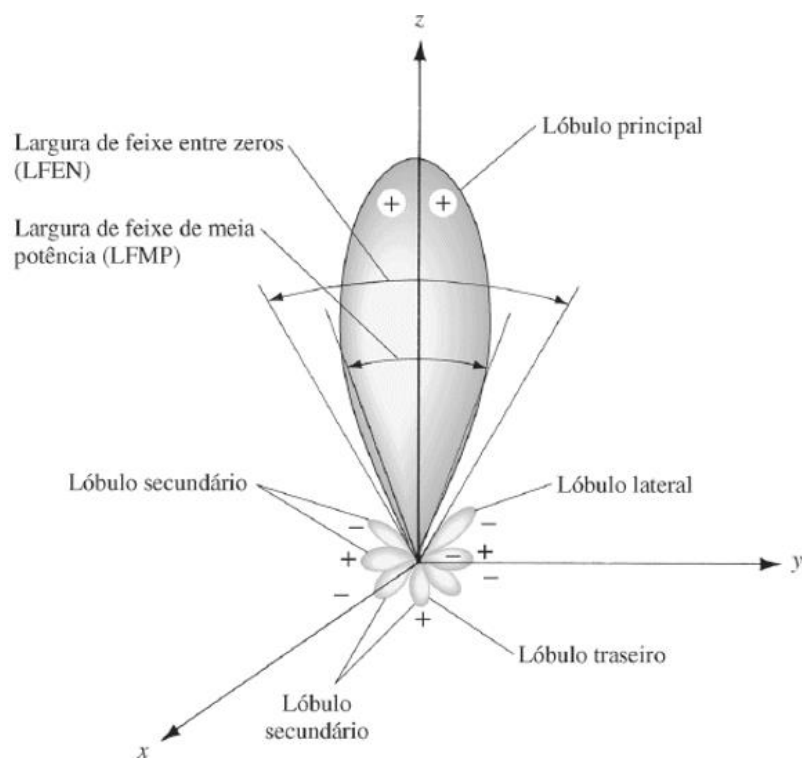


Figura 2.6 – Diagrama de radiação polar tridimensional simétrico de uma antena, com representação dos lóbulos e largura de feixe [6].

O diagrama de radiação normalmente é medido na região de campo distante,  $d > 2D^2/\lambda$ , sendo D a maior dimensão da antena, e algumas das suas propriedades incluem intensidade de campo, que diminui com o aumento da distância, intensidade de radiação, densidade de potência radiada, diretividade, fase ou polarização [6] [9].

- **Largura do Feixe**

A largura do feixe é um parâmetro diretamente relacionado com o diagrama de radiação de uma antena, onde é possível ver diversas larguras de feixe e é definida como “a separação angular entre dois pontos idênticos e em lados opostos do máximo do diagrama” [4]. A mais relevante é a Largura à Meia Potência – LFMP, representada na figura 2.6, e é metade do valor máximo da intensidade de radiação na direção máxima. Tem-se também representado a Largura de Feixe entre Nulos – LFEN, que consiste na separação angular entre os nulos do feixe.

A largura do feixe da antena está diretamente relacionada com a intensidade de radiação dos lóbulos laterais, em que quando a largura do feixe diminui o nível dos lóbulos laterais aumenta, e vice-versa [6].

- ***Diretividade***

O conceito de diretividade de uma antena é igual à razão entre a sua intensidade de radiação numa determinada direção e a intensidade de radiação média em todas as direções, sendo a intensidade de radiação definida como a potência radiada por unidade de ângulo sólido [4]. Com este parâmetro consegue-se saber o quão eficaz é a antena a direcionar a energia numa determinada direção. A diretividade de uma antena está relacionada apenas com as suas capacidades direcionais [6].

- ***Ganho***

O ganho está diretamente relacionado a diretividade e a eficiência da antena, em que o ganho absoluto é a relação entre a intensidade de radiação numa determinada direção e a potência radiada. O conceito de ganho relativo é o mais comum e é a relação entre a intensidade de radiação numa determinada direção e a intensidade de radiação de uma antena de referência na mesma direção e com a mesma potência de entrada [6].

- ***Largura de Banda***

Considera-se a largura de banda de uma antena um determinado valor de frequências, ou gama de frequências, em torno de uma frequência central na qual as características de uma antena são aceitáveis de acordo com parâmetros específicos. Esta gama de frequências é especificada porque os parâmetros das antenas, tais como por exemplo, a impedância de entrada, o ganho e a polarização, não variam da mesma forma com a frequência. Assim é estabelecido um intervalo de frequências para que estes parâmetros tenham valores previsíveis e aceitáveis [6].

- ***Polarização***

A polarização de uma antena é definida pela orientação do vetor campo elétrico numa determinada direção. Quando visto na direção de propagação, trata-se do traçado da extremidade deste vetor numa posição fixa no espaço. Pela figura 2.7 o conceito é clarificado. A polarização pode ser classificada como linear, circular ou elíptica [6] [9].

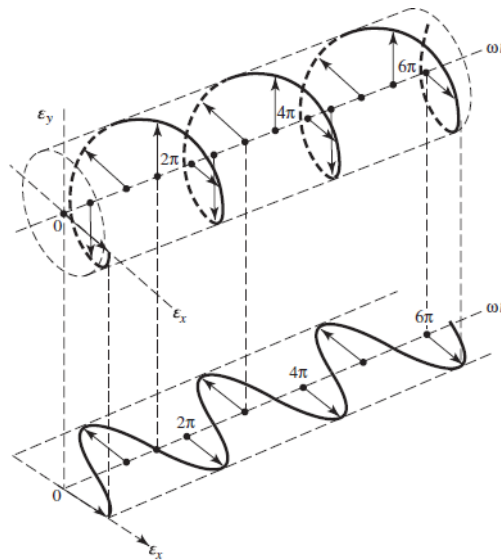


Figura 2.7 – Rotação de uma onda eletromagnética e a sua polarização como função no tempo [6].

- **Eficiência**

A eficiência de uma antena está relacionada com as suas perdas, tanto nos seus terminais como devido à sua estrutura. Tem-se em consideração as perdas por reflexão, devido à desadaptação entre a linha de transmissão e à antena e as perdas de condução e dielétricas [6].

- **Impedância de Entrada**

A impedância de entrada de uma antena é a impedância aos terminais desta e consiste na razão entre a tensão e a corrente nos terminais da antena ou a razão entre o campo elétrico e o magnético nos mesmos pontos. Na figura 2.8 os pontos a e b representam os terminais da antena. Depende da frequência, geometria da antena, alimentação da mesma e proximidade dos objetos ao redor [6].

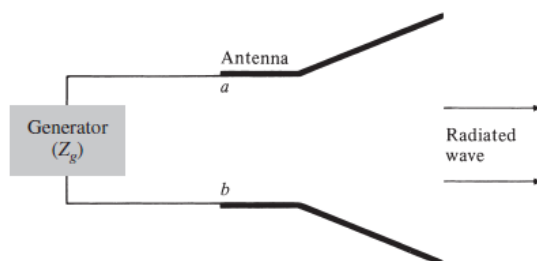


Figura 2.8 - Esquema equivalente a uma antena de transmissão [6].



### **3 Projeto de Ligações por Feixes Hertzianos**

Para se proceder à instalação de uma ligação por Feixes Hertzianos fiável é essencial passar pela fase de projeto. O projeto é feito tendo por base minimizar os custos tirando o maior partido da ligação. Para tal a escolha do percurso, gama de frequência de trabalho e especificação dos principais elementos da comunicação é de extrema importância.

Neste capítulo são abordados os diferentes passos a ter em conta aquando da elaboração de um projeto para uma rede de comunicações por Feixes Hertzianos, método aplicado durante a execução deste trabalho.

#### **3.1 Escolha do Percurso da Ligação**

A escolha do percurso é um aspeto fundamental e determinante numa ligação. À partida já deve ser do conhecimento do projetista pelo menos o ponto de origem e destino. A partir daí cada percurso entre os pontos terminais é escolhido e avaliado pelas suas implicações a nível de custos e fiabilidade da propagação.

O estudo do percurso da ligação inicia-se em carta com uma escala adequada para visualização de toda a ligação ou com recurso a programas SIG – Sistemas de Informação Geográfica. Para ligações com comprimentos entre pontos superiores a 60 km, ou com percursos obstruídos devido à orografia, é habitual o recurso a repetidores intermédios, de modo a se manter o nível de fiabilidade desejado, obter percursos longos em linha de vista e possivelmente partilha de infraestruturas existentes e otimização de custos [3].

É feita uma primeira análise às cotas dos pontos notáveis entre terminais. Manualmente esta tarefa pode levar algumas horas. Atualmente é uma tarefa mais simples recorrendo a programas de *software* SIG. Se na análise inicial o perfil entre pontos estiver desobstruído ou possa ser desobstruído com a instalação de mastro de antenas com altura inferior a 30 m, este percurso é considerado para estudo em maior detalhe. Caso o percurso se verifique obstruído considera-se um novo percurso realizável através da alteração da localização dos pontos terminais, se possível, com a introdução de repetidores passivos e/ou estação repetidora adicional. Tendo em consideração a dimensão da obstrução no percurso, normalmente um percurso

obstruído não é viável devido a razões técnicas e custos associados. A melhor opção e sempre que realizável, é analisar percursos alternativos [3].

Finalizada a escolha do percurso da possível ligação é feito o traçado dos perfis envolventes, tendo em conta a curvatura da Terra, conforme a expressão (2.11). É sobre estes perfis que o projeto da ligação é elaborado, envolvendo numa primeira fase os seguintes parâmetros. Definição da frequência de trabalho, escolhas das antenas e linhas de transmissão, altura dos mastros, cálculo da atenuação do percurso e reflexões, definição das principais características dos equipamentos radioelétricos envolvidos e verificação de conformidade das cláusulas da ITU-R [3].

### **3.2 Escolha da Frequência de Trabalho**

A frequência de trabalho num sistema de comunicação por Feixes Hertzianos está dependente da atribuição, ou não, de licenciamento por parte da entidade reguladora do espectro radioelétrico. Em Portugal, a entidade responsável pelo planeamento, gestão e controlo do espectro radioelétrico é a ANACOM, através do QNAF – Quadro Nacional de Atribuição de Frequências que é atualizado periodicamente [10].

A escolha da frequência assim como da largura de banda deve ter em conta as recomendações da ITU-R – Recomendações da União Internacional das Telecomunicações, as condições de propagação e os sistemas já instalados ou por instalar no local de modo a garantir a menor interferência possível. É importante considerar que a frequência influencia diretamente diferentes parâmetros do sistema, a saber: a atenuação em espaço livre varia com  $20(m + 1) \log_{10}(f)$  (em dB), sendo  $m$  o número de repetidores entre o ponto inicial e final, o ganho das antenas e repetidores passivos varia respetivamente com  $20 \log_{10}(f)$  e  $40m \log_{10}(f)$  (em dB), a atenuação nos guias, a atenuação devida aos gases atmosféricos e à chuva que aumenta com o aumento da frequência até cerca de 20 GHz e 100 GHz respetivamente, enquanto que a potência de emissão diminui e o fator de ruído assim como o desvanecimento tendem a aumentar com a frequência [3].

### **3.3 Disponibilidade e Fiabilidade do Sistema**

Segundo o Anexo 1 da Recomendação F.557 da ITU em acordo com a IEC – Comissão Eletrotécnica Internacional, consultado em [11], a indisponibilidade de um

sistema de comunicações por feixes Hertzianos deve-se maioritariamente ao equipamento e à propagação.

Para percursos com 2500 km de comprimento, a indisponibilidade total é de 0,3%, sendo a indisponibilidade máxima dada por:

$$I = 0,003 \frac{d}{2500} \quad (3.1)$$

com a distância da ligação,  $d$ , dada em km e com valor mínimo de 280 km e máximo de 2500 km [11].

No projeto a indisponibilidade deve ser distribuída pelas diferentes causas. Contudo, com a escolha do percurso ótimo a indisponibilidade devida à propagação é causada maioritariamente pela chuva [3].

### **(i) Falha devida ao equipamento**

Atualmente os equipamentos que compõem um sistema rádio são projetados para serem altamente fiáveis com um MTBF - *Mean Time Between Failures* (Tempo Média entre Avarias), extremamente longo (dezenas de milhares de horas) e um MTTR - *Mean Time To Repair* (Tempo para Detetar e Reparar a Avaria) o mais curto possível. Contudo estes equipamentos podem sofrer avarias tais como: falha ou degradação do equipamento rádio, particularmente nos moduladores e desmoduladores, assim como no equipamento auxiliar como os comutadores. A própria antena, linhas de alimentação e o equipamento de energia também são suscetíveis de avariar [11].

A fiabilidade do equipamento é dada pelo tempo médio entre MTBF e MTTR, sendo

$$I_e = \frac{MTTR}{MTBF} \quad (3.2)$$

Consequentemente a indisponibilidade do equipamento depende diretamente das equipas de manutenção dos mesmos, devido ao parâmetro MTTR, que normalmente varia se as estações são de fácil acesso, e pode ir de 6 a 12 horas considerando valores típicos. É importante também ter em conta a configuração dos equipamentos constituintes do sistema: se estes estão em série ou em paralelo, se estão em série quando existe uma avaria num dos equipamentos a ligação é interrompida, quando em paralelo existem dois ou mais percursos independentes. Note-se que na medida em são acrescentados mais elementos em série ao sistema, menor será a sua

disponibilidade. Já para um sistema cujos elementos estão em paralelo, a indisponibilidade de um conjunto de elementos em paralelo é menor à dos elementos que o constituem [3].

### ***(ii) Falha devida à propagação***

A falha no sistema pode ocorrer devido ao desvanecimento rápido por multipercurso que quando ocorre por mais de 10 s pode levar à indisponibilidade da ligação, assim como desvanecimentos profundos, às vezes de longa duração e devido às condições anormais de propagação. Também pode ocorrer falha para sistemas normalmente com frequências acima dos 10 GHz, devido a chuva muito intensa e por um longo período [11].

### ***(iii) Falha devida a outras causas***

A indisponibilidade pode acontecer devido a interferências de fontes externas ao sistema, tais como interferências associadas a sistemas espaciais ou sistemas de radares com anomalias na propagação, causando picos de ruído não previstos. Causas naturais, tais como os terremotos podem causar danos ou até mesmo colapso das torres onde as antenas estão instaladas, fazendo com que a ligação seja interrompida. Um sistema com má manutenção ou erro de exploração também pode levar a falhas de ligação [11].

As falhas no sistema de outras causas podem ser minimizadas se o projetista exigir determinadas configurações no equipamento que permitam cumprir os objetivos da ligação [3].

## **3.4 Escolha das Antenas**

A escolha das antenas é feita tendo em consideração a frequência de trabalho, condições e necessidades do sistema. Normalmente é através das antenas que se consegue maior adaptação do equipamento à ligação [3]. Para frequências inferiores a 1 GHz geralmente são utilizadas antenas Yagi-Uda (representada na figura 3.1 a) ou helicoidais, para frequências superiores a 1 GHz é comum o uso de refletores parabólicos, com ou sem redoma (representadas respetivamente na figura 3.1 b e c), ou em casos particulares e com necessidades de características especiais usam-se as cornetas refletoras. As antenas parabólicas com redomas são usadas para

proteção contra intempéries, onde são evitadas acumulações de neve e de gelo, e ajudam a diminuir esforços devidos à ação do vento [3].

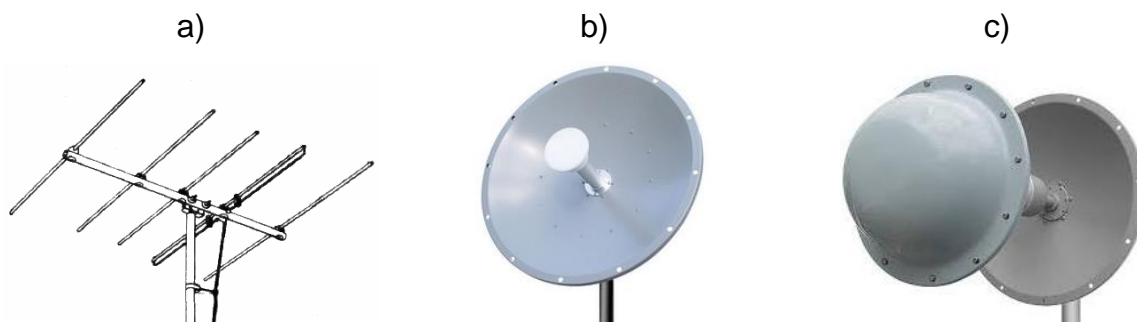


Figura 3.1 - Tipos de antenas: a) Antena Yagi-Uda, b) Antena parabólica sem redoma, c) Antena parabólica com redoma.

Para além das antenas comuns, existem também antenas que obedecem a características especiais, tais como, menor intensidade de radiação nos lóbulos secundários, relação frente trás elevada e melhor discriminação de polarizações ortogonais. Estas antenas têm custos substancialmente maiores que as antenas comuns, podendo custar 100% mais no caso das antenas que tenham características especiais em relação ao diagrama de radiação e de 40 – 50% mais para antenas de dupla polarização, face a antenas de polarização simples [3].

A instalação e construção das antenas, repetidores e mastros deve ser suficientemente forte de modo a suportar as mais diversas condições ambientais mesmo as mais severas, tais como, os efeitos da intempérie com temperatura ambiente à sombra a variar de  $-10^{\circ}$  e  $45^{\circ}$  C, a corrosão do material principalmente nas regiões do litoral, os esforços mecânicos resultantes do vento, sobrevivência a estragos com vento a 210 km/h e garantia do cumprimento das especificações para velocidade de vento pelo menos a 120 km/h, e/ou formação de gelo.

As antenas e repetidores são instalados em torres que, dependendo da importância e altura da ligação, podem ir de até 6 m em estruturas simples, metálicas e auto-suportadas, para alturas até 100 m continuam as estruturas metálicas simples, mas espiadas, para alturas entre os 30 m e os 300 m as estruturas podem ser metálicas ou em betão e são mais complexas [3].

### 3.5 Escolha dos Cabos e Guias

Numa ligação de Feixes Hertzianos é habitual numa só antena estarem conectados vários emissores e recetores. Onde se tem o circuito de interligação de

emissores e recetores e a ligação entre a antena e o circuito de interligação, que são feitas através de cabo coaxial para frequências inferiores a 2 GHz ou para frequências superiores através do guia de onda metálica, sendo este último muito mais atrativo a nível de atenuações mas mais difícil de trabalhar para frequências abaixo dos 2 GHz devido à sua dimensão. Em alternativa ao cabo coaxial nas ligações mais curtas entre os módulos do emissor ou do recetor onde a atenuação não é importante é normalmente utilizado uma linha rígida de pequeno diâmetro.

Os cabos coaxiais distinguem-se pela impedância característica, isolamento e diâmetro do condutor exterior, onde a atenuação aumenta com o aumento da frequência. Os guias de onda são identificados pela forma da sua secção transversal, que pode ser retangular, circular ou elíptica, onde a atenuação decresce com o aumento da frequência numa determinada banda. Se a frequência aumentar para além da banda que o guia permite e tiver de haver uma redução da secção transversal do guia, a atenuação tende a aumentar com a frequência. O comprimento da ligação entre a antena e o circuito de interligação, designado normalmente por “baixada”, é geralmente igual à altura onde a antena será montada no mastro adicionando 5 a 10 m [3].

### **3.6 Escolha do Equipamento para Fornecimento de Energia**

Dependendo do seu propósito, em geral um sistema de feixes hertzianos deve garantir elevada disponibilidade o que passa não só por garantir que as indisponibilidades devidas à propagação, equipamentos e erros humanos sejam baixas, mas também que o fornecimento de energia não seja interrompido, em particular de estações que são instaladas em lugares remotos sem acesso à rede de distribuição de energia pública.

A escolha do equipamento para fornecimento de energia do sistema, deve ter em conta os custos de investimento e exploração e o local de instalação, nomeadamente os acessos e condições ambientais.

Nos sistemas de Feixes Hertzianos com acesso à rede de distribuição de energia eléctrica tem-se um UPS - *Uninterruptible Power Supply* (Sistema de Alimentação de Energia sem Interrupções), constituído por uma bateria que garante a operação do sistema mesmo com interrupções no fornecimento de energia (geralmente esta bateria tem uma autonomia de 12 a 24 horas), um carregador que

mantém a bateria carregada através da rede, um inversor que faz a ligação entre a bateria e a estação e o dispositivo de curto-circuito para fazer a ligação direta entre a estação e a rede elétrica. Para os sistemas cujas estações estão localizadas onde não existe rede de distribuição de energia para além do UPS existem grupos de moto-geradores.

Quando uma estação tem um consumo abaixo dos 1000 w é possível considerar no lugar dos moto-geradores uma bateria de células fotovoltaicas como fonte primária de energia [3].





## 4 Desenvolvimento do projeto da Rede de Feixes Hertzianos

Este projeto visa a conceção de uma rede de comunicações, *Backbone*, que estabeleça ligação desde o concelho do Funchal ao concelho da Calheta. A rede será uma extensão à rede já existente do SAARAM – Sistema de Alerta de Aluviões da Região Autónoma da Madeira.

### 4.1 Estudos Preliminares

Nesta seção são abordadas características da ilha da Madeira, tais como, a sua orografia tipicamente conhecida como sendo muito irregular e o seu clima variável, designado por microclimas. Também é feito um estudo sobre as áreas florestais da ilha, nomeadamente a localização e composição da floresta Laurissilva e florestas cultivadas, sendo estas últimas mais suscetíveis a incêndios que através do estudo histórico de zonas ardidadas considera-se área crítica e com alta suscetibilidade a incêndios, pois trata-se de espécies não endémicas.

É com base nestes estudos que será feito o planeamento da localização dos pontos deste projeto, após relação da orografia da ilha, clima e identificação das florestas consideradas de risco para incêndios.

#### 4.1.1 Orografia e Clima da Região Autónoma da Madeira

A Região Autónoma da Madeira, RAM, situa-se no oceano Atlântico Norte sob a placa tectónica Africana, a cerca de 900 km de Portugal Continental. Tem uma área total de sensivelmente 737 km<sup>2</sup> (cerca de 74.193 ha), 63 km de comprimento no sentido este – oeste e 23 km de largura no sentido norte-sul. De origem vulcânica é conhecida pela sua orografia complexa [13].

Como se pode ver no DTM (Modelo Digital Terrestre) da ilha da Madeira, na figura 4.1, esta é composta por uma série de ranhuras que representam os vales acentuados e profundos no final das encostas íngremes e montanhas rochosas, tão características da ilha. Na mesma as sombras mais escuras representam as zonas mais profundas e as mais claras as zonas mais altas onde as isolinhas amarelas e as

brancas representam as zonas mais elevadas compreendidas num intervalo de 1400 m ao ponto mais alto com cerca de 1862 m, o Pico Ruivo [13].

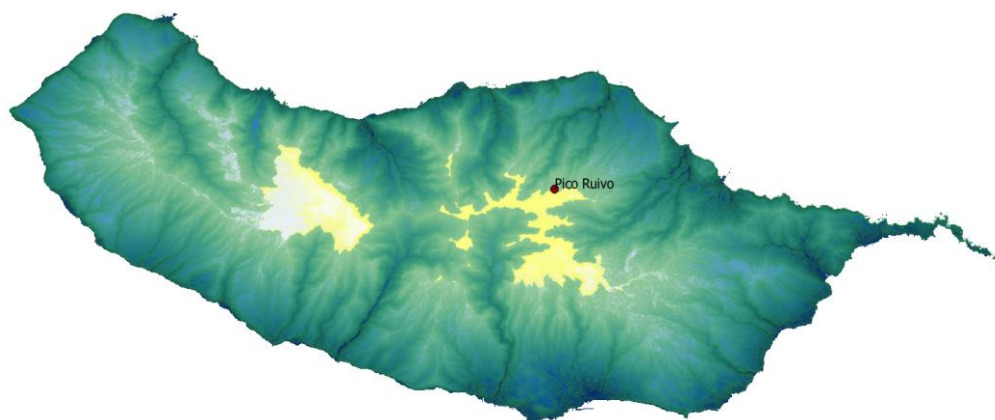


Figura 4.1 – Ilha da Madeira com isolinhas. A amarelo as zonas mais altas, de 1400 m a 1862 m. QGIS.

O seu clima é caracterizado por ser temperado húmido, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger [14]. Devido à sua orografia, as condições meteorológicas variam muito no tempo e de zona para zona, originando os conhecidos microclimas.

A condição meteorológica na ilha da Madeira depende fortemente da localização e intensidade do anticiclone dos Açores e das perturbações da superfície frontal polar vinda do oeste (atlântico norte em direção à Europa). É mais frequente a passagem de superfícies frontais mais frias do que quentes, o que leva a uma grande nebulosidade, chuva e aguaceiros, por vezes fortes, afetando maioritariamente as zonas montanhosas. Nas zonas de maior altitude, acima dos 600 m, o nevoeiro é frequente, sendo raro em zonas abaixo dos 500 m [13].

A Madeira divide-se por uma cordilheira central que se estende de este a oeste, em que a vertente sul é normalmente mais soalheira e quente, onde os níveis de precipitação são frequentemente mais baixos assim como a humidade relativa do ar. Já a vertente norte é mais húmida e desprotegida de ventos provenientes de nordeste, apresentando temperaturas normalmente mais baixas.

Um fenómeno interessante muitas vezes observado em alguns dias do ano, dá-se quando a ilha é atingida por ventos de leste, provenientes do Sahara, quentes e secos, acompanhados de uma poeira fina que dá origem a uma neblina [13].

#### 4.1.2 Áreas Florestais Críticas

Aquando da sua descoberta, em 1420, a ilha da Madeira estava coberta por um extenso e denso arvoredado, daí o seu nome “Madeira”. Atualmente, a floresta e atividades relacionadas com a natureza continuam a ser a grande atração da ilha, em especial para o turismo - sector económico principal. Grande parte da floresta é floresta “Laurissilva”, considerada Património Mundial Natural da UNESCO [15], [16], [17].

Como se pode ver através dos gráficos representados na figura 4.2, cerca de 46% (34.044 ha) do território madeirense é ocupado por floresta e outras áreas arborizadas, onde 45% é floresta natural (99% floresta Laurissilva) e 49% é floresta cultivada.

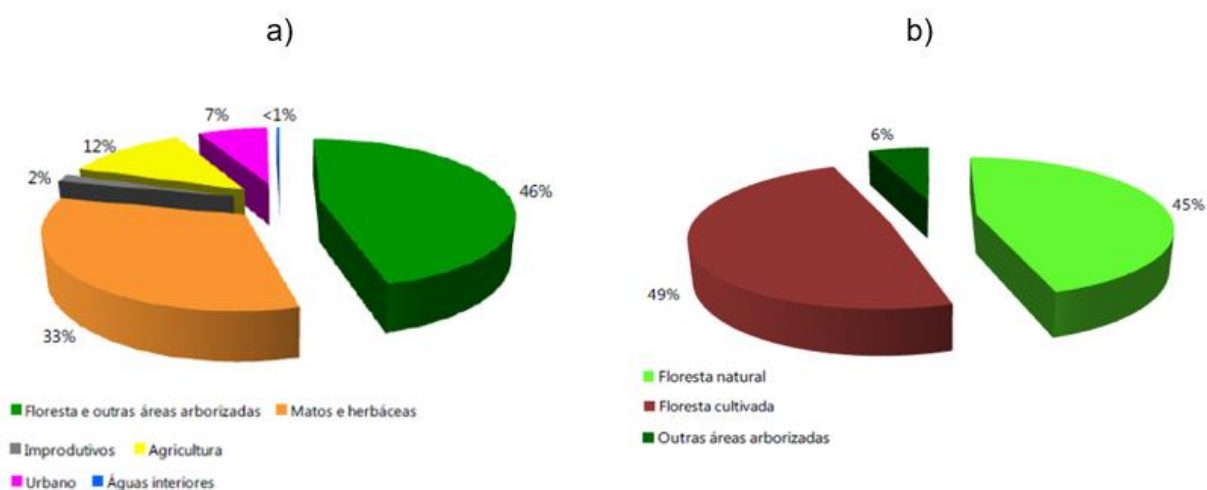


Figura 4.2 – a) Distribuição da ocupação do solo na Ilha da Madeira. b) Distribuição da área da floresta e outras áreas arborizadas [1].

A floresta Laurissilva, representada a verde na figura 4.3, situa-se maioritariamente na costa norte, dos 300 a 1300 m de altitude, cobre cerca de 20% da área geográfica da ilha da Madeira e é uma floresta que alberga várias espécies endémicas, mais concretamente cerca de 80% dos endemismos, muitas delas centenárias sendo as mais conhecidas o Barbusano, o Loureiro, o Til, o Vinhático e os Fetos, entre outras [1].



Figura 4.3 - Localização da floresta Laurissilva na Ilha da Madeira [1].

A floresta cultivada, ilustrada na figura 4.4, predomina ao longo de toda a vertente sul e é constituída maioritariamente pelo Eucalipto (44%), o Pinheiro-Bravo (25%) e pelas Acácias (14%), espécies não endémicas [1].

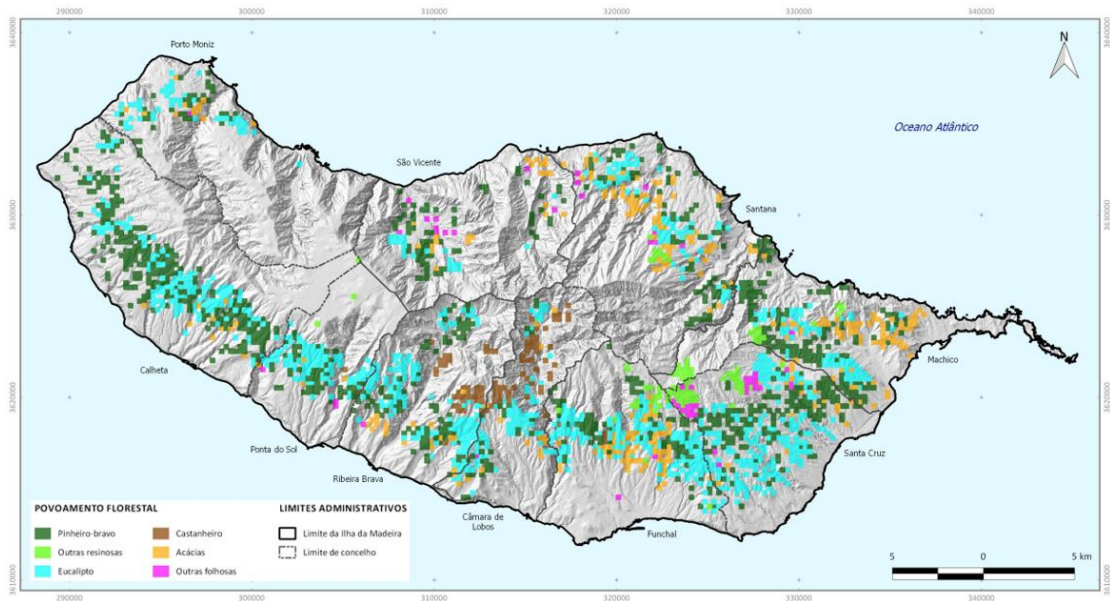


Figura 4.4 - Localização da floresta Cultivada na Ilha da Madeira [1].

Nos últimos anos a Madeira tem vindo a registar números significativos de áreas ardidas, como se pode confirmar pela figura 4.5. Pela análise da imagem, verifica-se que as áreas ardidas com maior frequência e dimensão encontram-se na costa sul, nomeadamente em Santa Cruz, no Funchal, em Câmara de Lobos, na Ribeira Brava e na Calheta.



Figura 4.5 – Distribuição espacial das áreas ardidas na Ilha da Madeira, por ano, no período 2006 – 2013 [18].

Nos registos de 2016, figura 4.6, verifica-se que o concelho da Calheta foi o mais afetado pelos incêndios, apresentando maior área ardida (2.800 ha), seguido do concelho do Funchal (1.900 ha) e Ponta do Sol (1400 ha). No conjunto destes 3 concelhos tem-se cerca de 98% da área total afetada pelos incêndios. Observe-se que os concelhos do Porto Santo, Porto Moniz e São Vicente não registaram nenhuma ocorrência de incêndios [1].

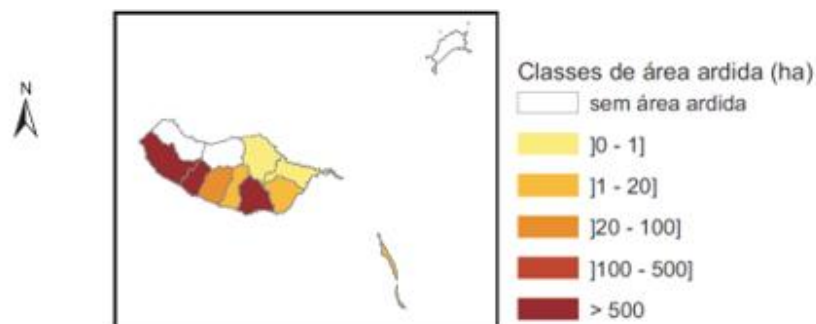


Figura 4.6 - Área ardida por município na RAM, 2016 [19].

Na figura 4.7 tem-se a representação cartográfica dos incêndios florestais relativo ao ano 2016, onde os incêndios com área inferior a 1 ha e queimadas não autorizadas estão representados por pontos e a área afetada superior a 1 ha está representada a amarelo. Conforma-se assim que a Calheta, Ponta do Sol e Funchal foram as zonas mais afetadas.



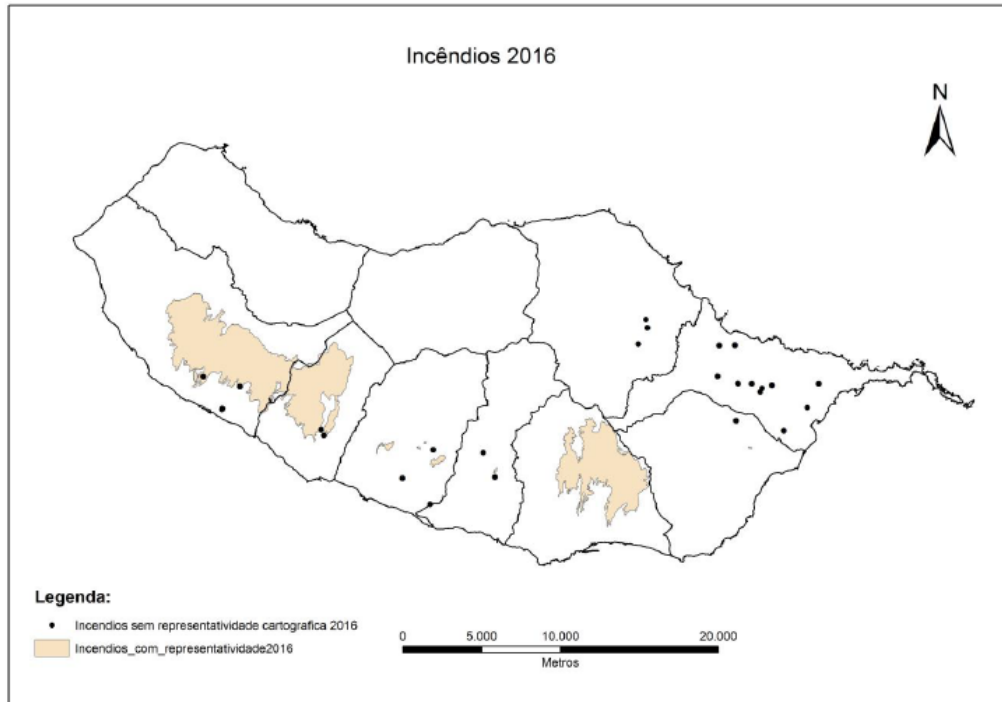


Figura 4.7 - Distribuição das áreas ardidas na RAM, 2016 [19].

Analisando os três mapas representados nas figuras 4.5, 4.6 e 4.7, verifica-se que os anos 2010, 2012 e 2016, foram os anos mais complicados a nível de incêndios, registando mais área ardida.

Na figura 4.8 é possível ver que as áreas mais suscetíveis a incêndios, novamente, predominam ao longo da costa sul, do concelho do Funchal ao concelho da Calheta, sendo estas zonas consideradas de risco médio, alto a muito alto de incêndios.

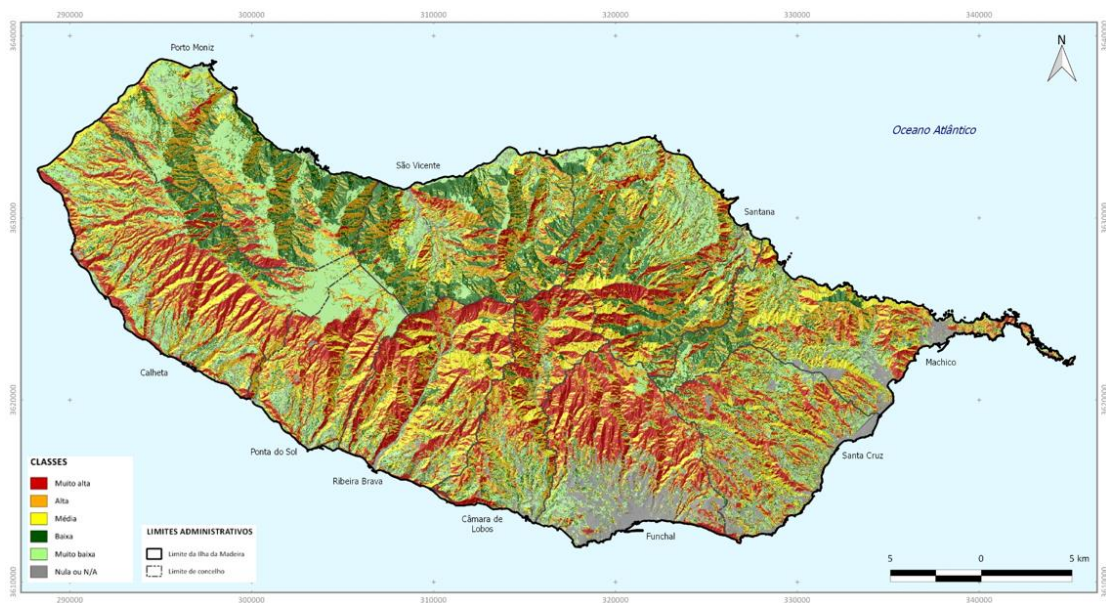


Figura 4.8 - Suscetibilidade a incêndios florestais na Ilha da Madeira [1].

Num panorama geral, considera-se que a ilha da Madeira tenha uma suscetibilidade elevada a incêndios, em especial na vertente costeira a sul, mais propriamente onde o clima no verão é mais quente e seco, e existe também uma maior densidade de floresta cultivada (espécies não endémicas) e em zonas onde a orografia se torna mais acentuada e de difícil acesso.

## **4.2 Descrição dos Simuladores**

Para a elaboração deste trabalho foram usados essencialmente dois programas de simulação, o QGIS e o *LinkPlanner*. Ambos têm por base a ferramenta GIS – *Geographic Information System* (Sistema de Informação Geográfica), sendo que o QGIS foi usado para o estudo de visibilidade e trajeto dos pontos e o segundo para simulação da viabilidade dos *links*.

Nas secções seguintes é feita uma breve descrição de cada um destes programas de software.

### **4.2.1 QGIS – Quantum GIS**

O programa QGIS, mais conhecido por Quantum GIS, é uma aplicação GIS profissional, gratuita e *Open Source* (acesso ao código fonte). É licenciado segundo a GNU - *General Public License* e é um projeto oficial do OSGeo – *Open Source Geospatial Foundation*. Com este programa é possível estudar o terreno de diversas formas graças aos mais variados *plugins* existentes e é possível tratar diferentes dados (vetor e raster) em 2D e 3D sem ter de os converter [20].

Na figura 4.9 pode-se ver a interface principal do programa assim como os seus menus.

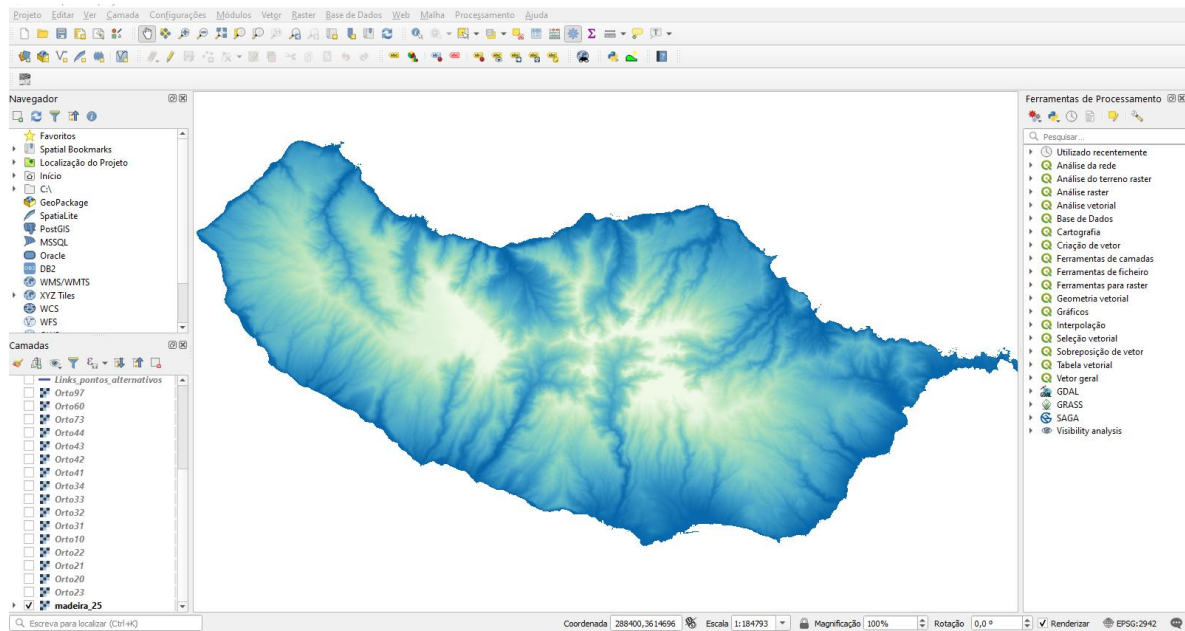


Figura 4.9 - Interface do programa QGIS.

Para este trabalho começou-se por criar um projeto novo, onde se definiu o sistema de coordenadas e foi carregado o ficheiro DTM – *Digital Terrain Model* (modelo digital do terreno) da Ilha da Madeira, como se pode ver pela figura 5.1.

O QGIS trabalha por camadas. Foi feita a camada dos pontos e outra para os *links*, através das coordenadas para o estudo do perfil (conforme figura 4.10), declive e visibilidade.

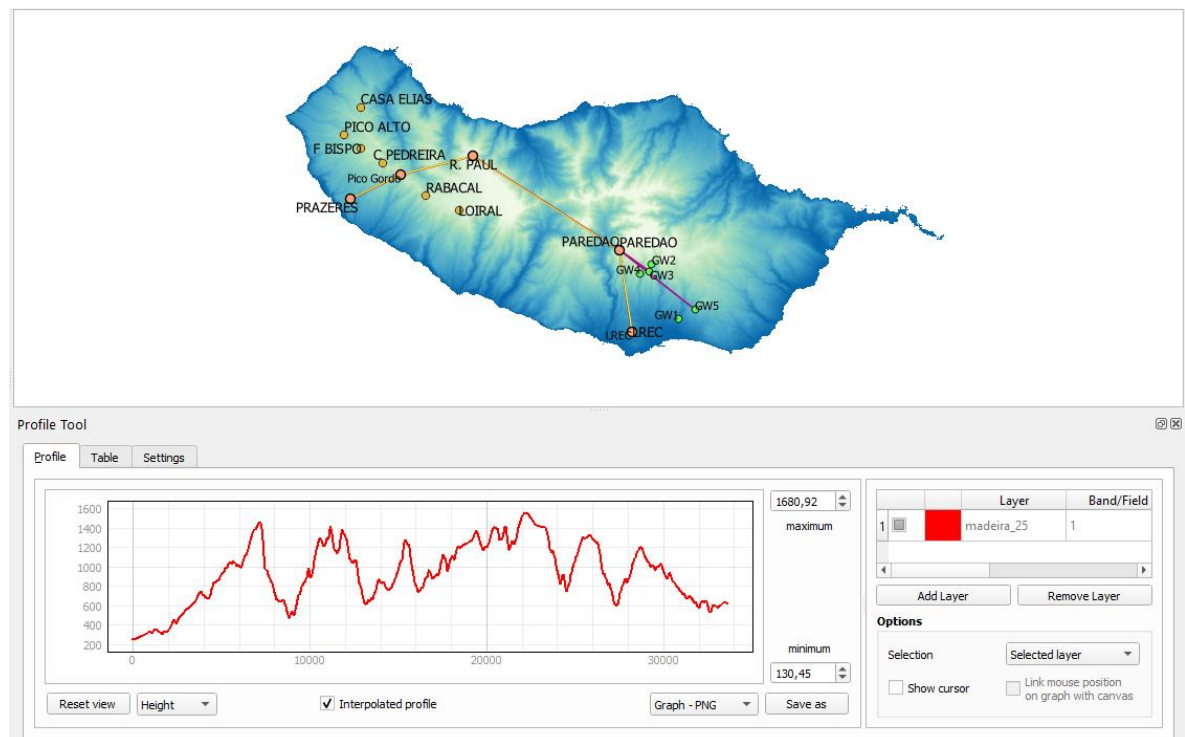


Figura 4.10 - Localização dos pontos, *links* e elaboração do perfil do terreno, QGIS.



O declive é estudado através do DTM carregado que é apresentado por várias cores, sendo no caso do mapa da figura 4.9 ou 4.10 a cor mais escura os pontos mais baixos e a mais clara os pontos mais altos. Já o estudo do perfil e visibilidade é feito com recurso a plugins que são instalados conforme a necessidade do projeto. No caso deste projeto foi necessário a instalação do *Terrain Profile* e do *Visibility Analysis*.

Para ajudar na localização dos pontos e visualização do espaço geográfico dos mesmos é possível carregar ortofotos - fotos de captação aérea, conforme é possível ver na figura 4.11.

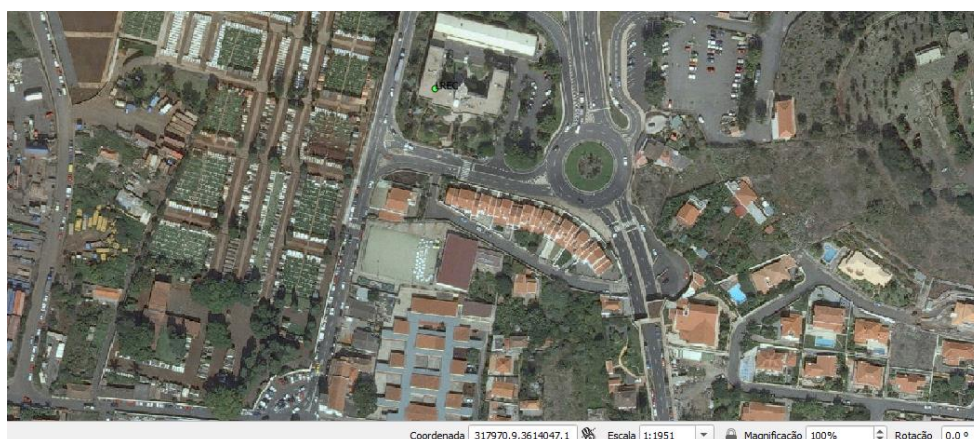


Figura 4.11 - Observação do ponto localizado no LREC pela ortofoto, QGIS.

#### **4.2.2 LINKPlanner**

O *LINKPlanner* é um programa de simulação de cenários hipotéticos de redes sem fios (*links* rádio) que permite o planeamento e otimização da performance de um sistema baseado na orografia, distância, altura, peso e tipo de antena, potência de transmissão, entre outros fatores. Foi criado pela *Cambium Networks*, é gratuito e bastante intuitivo [21]. Na figura 4.12 é possível visualizar a interface do programa.

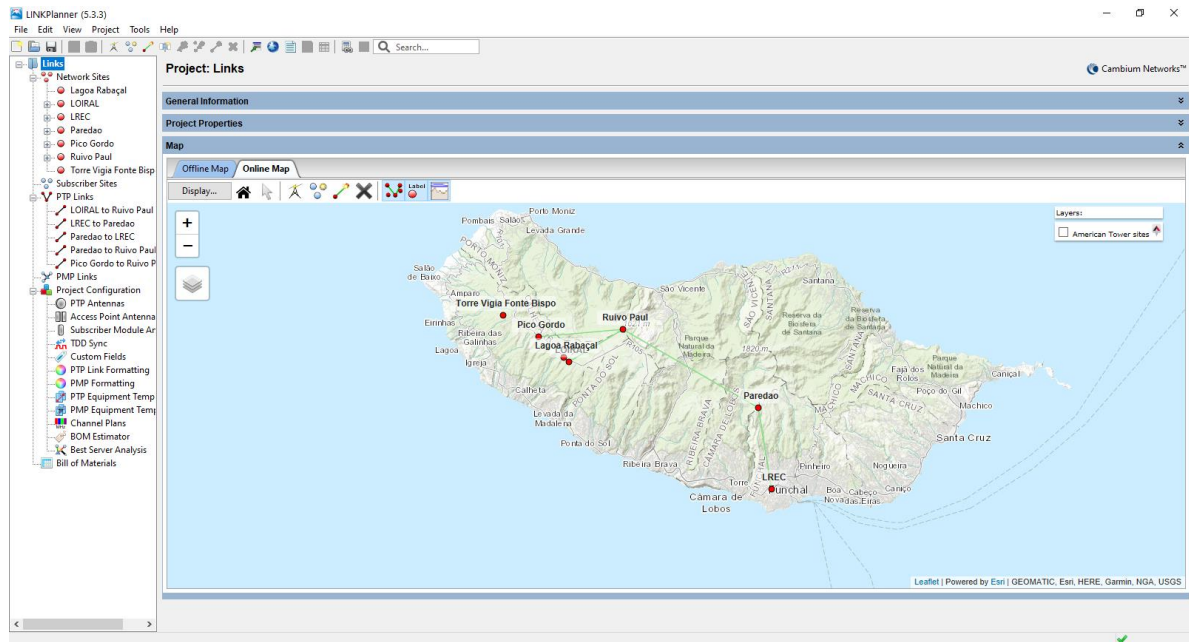


Figura 4.12 - Interface do programa *LINKPlanner*.

Este programa permite que os *links* sejam importados diretamente de uma aplicação GIS da *web* (por ex. *Google Earth*), conforme se pode ver na figura 4.12. Para este trabalho aquando da visita ao local dos pontos, estes foram marcados na aplicação do *Google Earth* e quando foi feito o estudo pelo programa, os pontos foram importados automaticamente, sendo que foi apenas necessário selecionar os *links* de interesse, evitando a criação dos pontos individualmente pela colocação das suas coordenadas no programa.

No *LINKPlanner* é possível otimizar a performance e o *throughput* de um *link* através da modificação de diferentes parâmetros, como por ex. tipo de antena, frequência, largura de banda do canal, etc. Para além da viabilidade do *link* e *throughput*, o *LINKPlanner* também calcula a margem de ganho do sistema assim como perdas de percurso e perfil do *link*. Na figura 4.13 pode-se ver os dados obtidos da simulação de um *link*.

Neste programa também é possível gerar o orçamento do material usado durante a simulação.

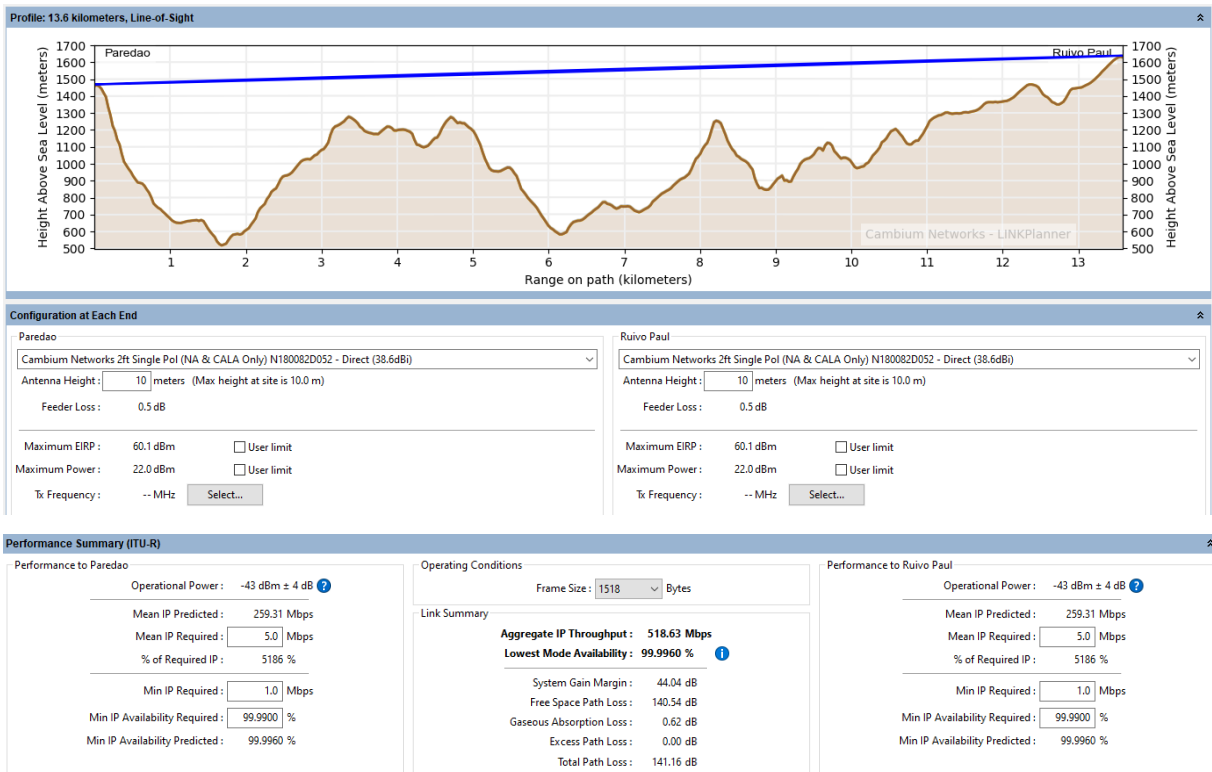


Figura 4.13 - Dados obtidos pela simulação de um link, LINKPlanner.

Este programa por ser da *Cambium Networks*, tem a desvantagem de apenas se poder considerar produtos da marca. No caso da antena a ser considerada no projeto real não ser da *Cambium*, a simulação é feita com uma antena da marca com características equivalentes.

### 4.3 Modelação Geográfica da Rede a Implementar – Percurso da Ligação

Com recurso à orografia particular existente, pretende-se otimizar ao máximo esta rede, com o menor número de pontos possível, cada um com autonomia energética, e criando redundância para que a ligação esteja sempre operacional mesmo em condições meteorológicas adversas.

A rede não só servirá para comunicação de dados, mas também para observação e vigilância das zonas florestais críticas mencionadas anteriormente, tendo cada ponto uma câmara termográfica inteligente. Os pontos serão então estrategicamente localizados com o objetivo de otimizar a rede e cobrir (visualmente) a maior parte da floresta considerada de risco.

O bom funcionamento deste *Backbone* é importante para o sistema de deteção precoce de incêndios porque vai permitir o transporte de informação, tais como coordenadas do foco de incêndio e dados meteorológicos em tempo real para um SIG – Sistema de Informação Geográfica localizado no centro de operações no LREC – Laboratório Regional de Engenharia Civil.

Para além da rede de comunicações pretende-se estudar os melhores locais fora do *Backbone* principal para a instalação de câmaras de forma a cobrir a maior área geográfica possível.

#### **4.3.1 Considerações Iniciais**

O trabalho de seleção dos pontos e *links* para o *Backbone* Principal - designação atribuída à ligação principal que faz comunicação desde o Funchal à Calheta, dividiu-se essencialmente em três partes: pesquisa, estudo de viabilidade dos pontos e respetivos *links* com recurso ao programa de software QGIS e a parte prática.

A parte de pesquisa consistiu na procura de lugares geográficos estratégicos, por exemplo miradouros, zonas de maior altitude ou zonas mais baixas, mas com boa visibilidade (de baixo para cima), que possivelmente pudessem cobrir principalmente as zonas florestais críticas.

Posteriormente as coordenadas desses locais/ pontos foram introduzidas no programa QGIS para análise e otimização da rede. Tendo em conta a altura dos mastros (aprox. 10 m) foram traçados os perfis de cada troço para garantir a existência de linha de vista entre pontos.

É importante que exista linha de vista sem obstruções entre pontos para garantir a menor atenuação possível levando a uma maior potência na receção. Importante também é verificar se o primeiro elipsoide de *Fresnel* está completamente desobstruído para que a ligação seja válida. Para tal foi usado o programa *LINKPlanner*.

Na seleção de um ponto vigia, a análise da visibilidade entre pontos é essencial. Recorreu-se à ferramenta de análise visual disponibilizada pelo QGIS, *Viewshed Analysis*, onde é possível estudar a cobertura observável de um ponto sobre determinada área.

As principais considerações na escolha destes locais foram: um ponto que cobrisse a zona florestal da Calheta (área crítica), outro ponto que fizesse a ligação do *Backbone* Principal para o LREC e se possível para um dos GW - *Gateway* do SAARAM (redundância) e um ponto intermédio que fizesse a ligação entre o ponto da Calheta e o ponto do Funchal. Isto tendo em conta sempre a otimização e cada ponto, de modo a não só cobrir a área de interesse, mas também a maior área geográfica possível.

Feito o levantamento dos lugares de interesse, passou-se à parte prática que consistiu essencialmente em visitar a localização física de cada ponto definido previamente, encontrar outros possíveis pontos, fazer um levantamento geográfico dos locais e ver a sua viabilidade.

Nesta etapa, aquando da visita aos pontos teve-se em consideração a sua acessibilidade, a sua visibilidade, se o espaço físico era suficiente para possível construção das infraestruturas necessárias e se tinha muita carga humana (maior probabilidade de vandalismo).

#### 4.3.2 *Panorama Geral da Rede*

A rede do *Backbone* Principal e pontos de vigilância propostos apresenta-se de forma geral na figura 4.14.

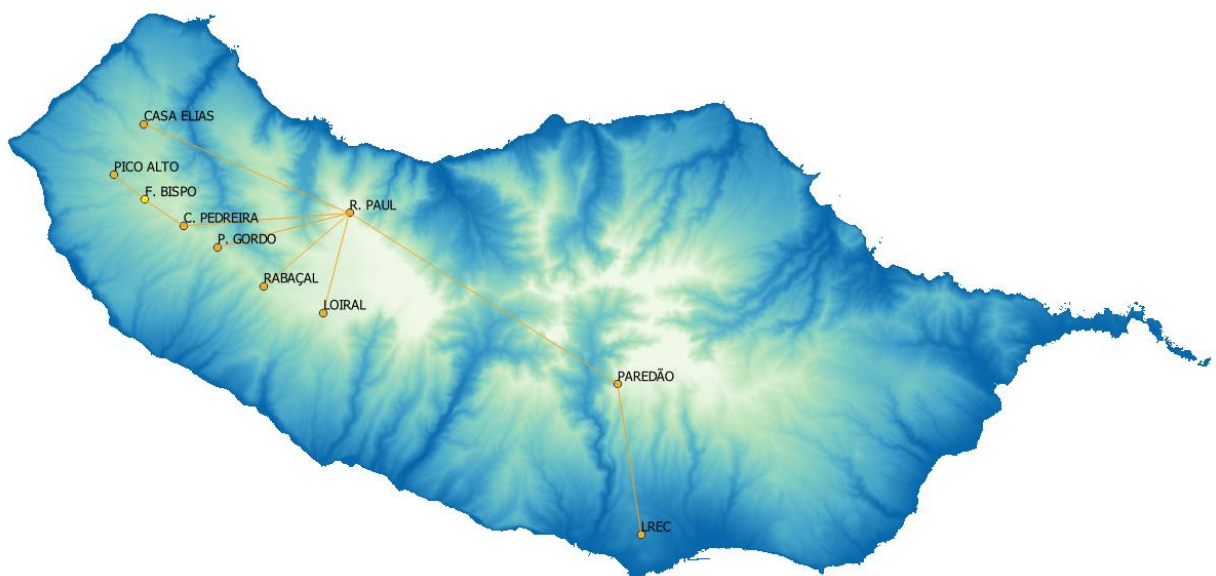


Figura 4.14 - Representação geográfica da localização dos pontos e *links* da rede, QGIS.

Esta rede faz ligação a partir do LREC (Funchal) até à zona de floresta considerada crítica a nível de risco de incêndio na zona da Calheta. É constituída por 10 pontos e 9 *links* de comunicação. As características destes pontos e *links* encontram-se nas tabelas 4.1 e 4.2, respetivamente.

Tabela 4.1 - Designação e coordenadas dos pontos da rede.

<b>Ponto</b>	<b>Designação</b>	<b>Concelho</b>	<b>Coordenadas</b>
P1	LREC	Funchal	318226E, 3614003N
P2	Miradouro do Paredão	Câmara de Lobos	317149E, 3621110N
P3	Pico Ruivo do Paul	Porto Moniz	304431E, 3629241N
P4	Pico Gordo	Calheta	298174E, 3627629N
P5	Loiral	Calheta	303198E, 3624504N
P6	Rabaçal	Calheta	300358E, 3625774N
P7	Cabeço da Pedreira	Calheta	296564E, 3628635N
P8	Fonte do Bispo	Calheta	294734E, 3629881N
P9	Pico Alto da Ponta do Pargo	Calheta	293262E, 3631057N
P10	Casa do Elias	Porto Moniz	294682E, 3633473N

Tabela 4.2 - Designação, constituição, frequência de operação e comprimento dos *links*.

<b>Designação</b>	<b>Constituição</b>	<b>Frequência (GHz)</b>	<b>Comprimento (km)</b>
<i>Link 1</i>	Miradouro do Paredão - LREC	18	7,22
<i>Link 2</i>	Pico Ruivo do Paul – Miradouro do Paredão	18	13,60
<i>Link 3</i>	Pico Gordo - Pico Ruivo do Paul	5	7,40
<i>Link 4</i>	Loiral - Pico Ruivo do Paul	5	4,89
<i>Link 5</i>	Rabaçal - Pico Ruivo do Paul	5	5,35
<i>Link 6</i>	C. Pedreira - Pico Ruivo do Paul	18	7,89
<i>Link 7</i>	F. Bispo – Cabeço da Pedreira	5	2,21
<i>Link 8</i>	Pico Alto – Fonte do Bispo	24	1,88
<i>Link 9</i>	Casa do Elias – Pico Ruivo do Paul	5	10,63

### 4.3.3 Descrição dos Links e Pontos do Backbone Principal

O *Backbone* Principal é constituído pelos *links* 1, 2 e 6, respetivamente os pontos do LREC, Miradouro do Paredão, Pico Ruivo do Paul e Cabeço da Pedreira. Esta rede opera na banda de frequência dos 18 GHz, banda licenciada, e por ela passa toda a informação recolhida não só dos pontos constituintes, mas também dos restantes pontos de vigilância, tais como, Pico Gordo, Loiral, Rabaçal, Fonte do Bispo, Pico Alto e Casa do Elias.

O primeiro *link* é composto pelo ponto do LREC e o ponto do Miradouro do Paredão e tem um comprimento aproximado de 7,22 km. É para o LREC que os dados recolhidos dos restantes pontos são enviados e integrados num SIG – Sistema de Informação Geográfica. Estes dados servirão para o desenvolvimento de algoritmos computacionais que permitam a deteção precoce, direção provável e evolução dos fogos.

O gráfico mostra o traçado do perfil entre os dois primeiros pontos.

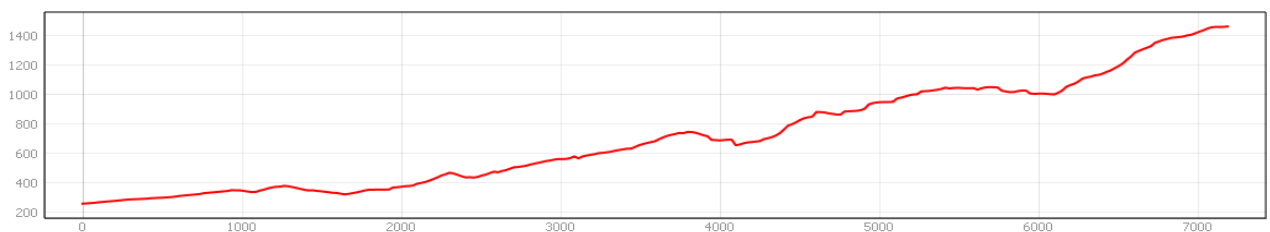


Figura 4.15 - Traçado do perfil entre o LREC e o Miradouro do Paredão, QGIS.

Na figura 4.16 fez-se uma análise de visibilidade através do programa QGIS, onde é considerado um raio de 10 km e altura de 10 m do solo, respetivamente o raio de alcance e altura das câmaras a serem instaladas. Na imagem o sombreado verde é a área visível do através do ponto do LREC.



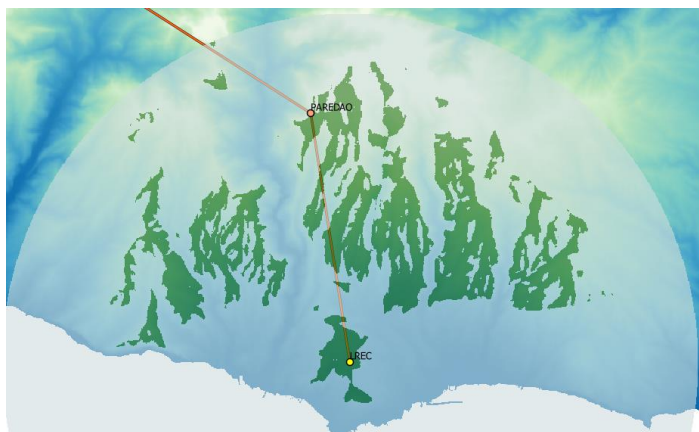


Figura 4.16 - Análise da visibilidade do LREC com um raio de 10 km, QGIS.

No LREC já existe uma torre situada no terraço do edifício onde se poderá aproveitar para colocar a antena, como se pode observar pela figura 4.17.



Figura 4.17 - Localização do ponto no LREC.

Para o segundo ponto foi considerado o Miradouro do Paredão, pois é relativamente perto da estrada alcatroada, sendo o acesso pedonal por um caminho de inclinação ligeira, terra batida e rochoso, mas oferece uma área plana para construção das infraestruturas necessárias, como se pode ver pela figura 4.18.





Figura 4.18 - Localização do ponto no Miradouro do Paredão.

Aquando análise de visibilidade pelo programa QGIS, este ponto oferece uma ótima visibilidade a longo alcance de vários pontos, como se pode ver pela figura 4.19.

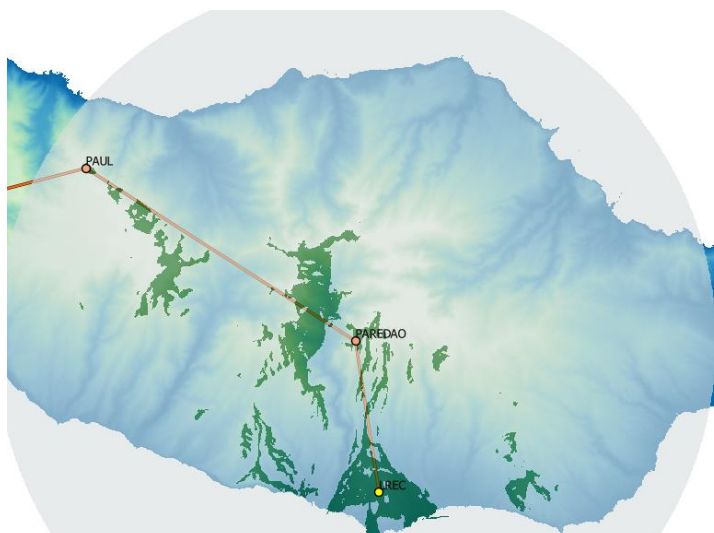


Figura 4.19 - Análise da visibilidade do Miradouro do Paredão com um raio de 17 km, QGIS.

Este ponto tem ampla visibilidade sobre o Funchal e consequentemente o LREC, como também consegue linha de vista com GTW3 (ponto repetidor, SAARAM), GTW5 (Estádio do Nacional), Paul (incluindo Pico Ruivo do Paul) e Ribeira do Curral das Freiras, como é possível confirmar pelas figuras 4.20 e 4.21 e pelos perfis traçados no programa QGIS, através das figuras 4.22 e 4.23.

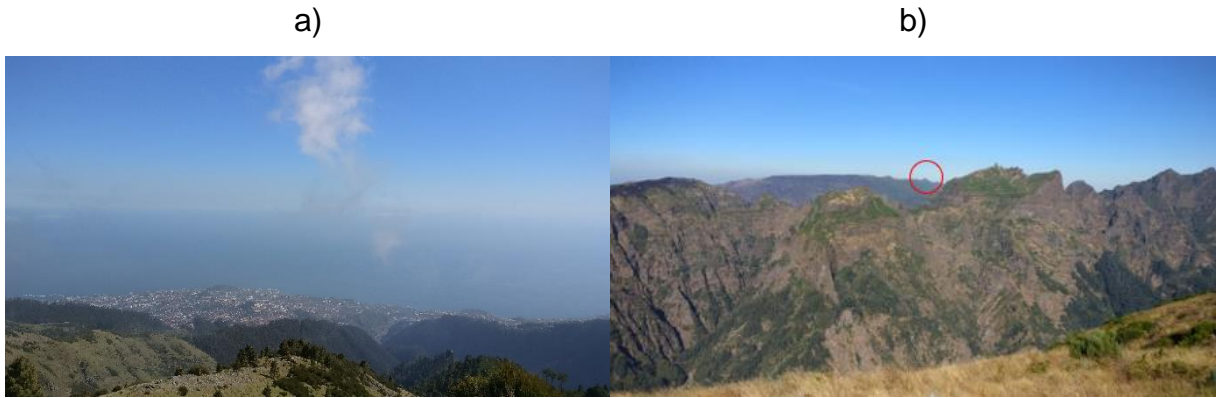


Figura 4.20 – Vista do Miradouro do Paredão para: a) Funchal (LREC) e b) Pico Ruivo do Paul.

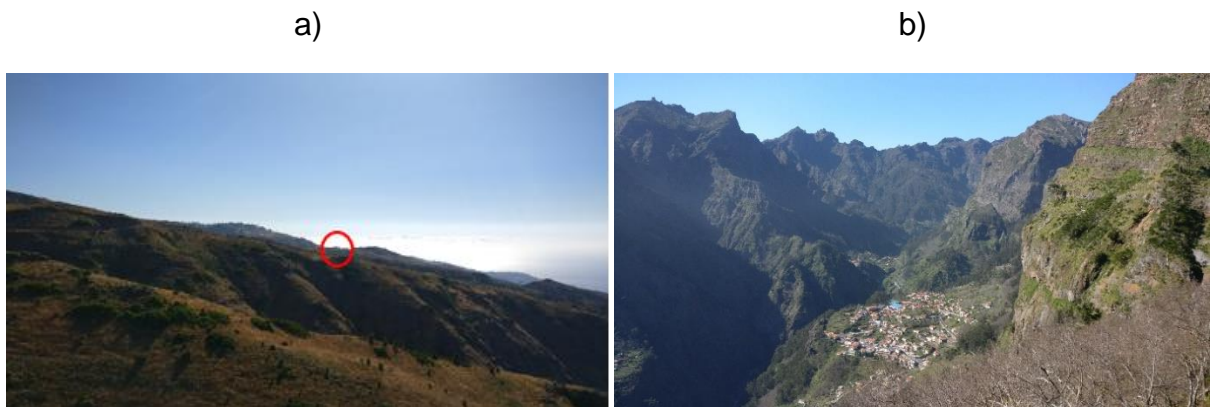


Figura 4.21 - Vista do Miradouro do Paredão para: a) GTW3 e b) Curral das Freiras.

Com este ponto consegue-se que a rede seja comum ao SAARAM e crie redundância caso o *Link* 1 deixe de funcionar por avaria ou outros motivos. Nas figuras 4.22 e 4.23 é observável os perfis traçados no QGIS, respetivamente do Miradouro do Paredão para o GTW3 e para o Pico Ruivo do Paul.

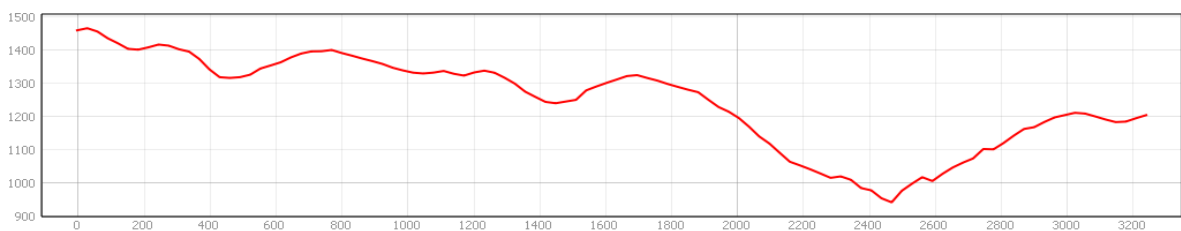


Figura 4.22 - Traçado do perfil entre o Miradouro do Paredão e GTW3, QGIS.

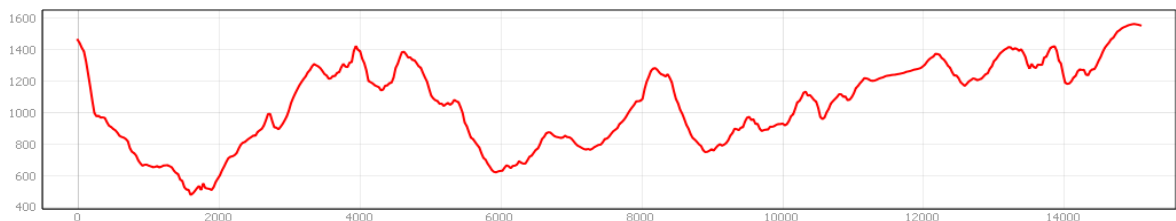


Figura 4.23 - Traçado do perfil entre o Miradouro do Paredão e Pico Ruivo do Paul, QGIS.

O *Link 2* é entre o ponto do Miradouro do Paredão e o ponto localizado no Pico Ruivo do Paul e é o *link* com maior distância entre pontos, com cerca de 13,60 km. O traçado do perfil entre estes pontos é representado na figura 4.23.

Feita a análise de visibilidade pelo QGIS, considerando uma altura de 10 m e alcance visível até 17 km, conforme figura 4.24, verifica-se o grande potencial deste ponto pois consegue-se uma maior distância entre pontos com uma visibilidade ótima não só para os pontos de interesse, mas também para outras zonas de floresta.

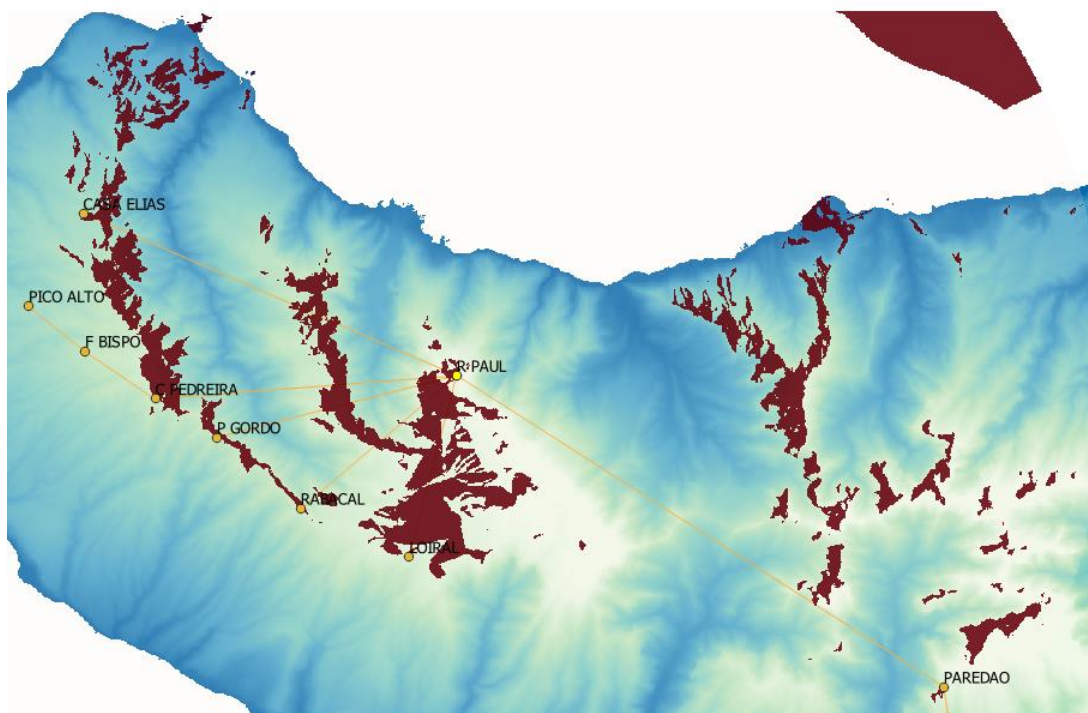


Figura 4.24 - Análise da visibilidade do Pico Ruivo do Paul com um raio de 17 km, QGIS.

O ponto no Pico Ruivo do Paul tem uma linha de vista perfeita quer para o Miradouro do Paredão (figura 4.25) quer para o Pico Gordo (figura 4.33), Rabaçal, Loiral, Cabeço da Pedreira e Casa do Elias, além de ter uma vasta vista sobre São Vicente e as encostas circundantes, conforme se pode ver pela figura 4.26.

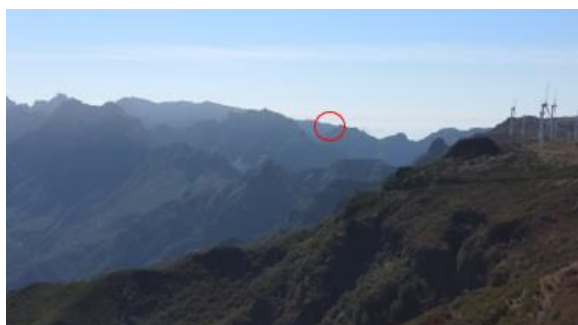


Figura 4.25 - Vista do Pico Ruivo do Paul para o Miradouro do Paredão.





Figura 4.26 – Vista do Pico Ruivo do Paul para o Vale de São Vicente.

É um lugar plano e suficientemente espaçoso para construção das infraestruturas necessárias, como se pode ver pela figura 4.27. Em relação ao acesso, parte é feito de carro e parte a pé por caminho de terra batida e rochoso, mas considera-se relativamente acessível conforme figura 4.28.



Figura 4.27 - Localização do ponto no Pico Ruivo do Paul.

a)

b)



Figura 4.28 - Acesso ao Pico Ruivo do Paul: a) estrada de terra batida e rochosa; b) inclinação.

O terceiro *link* do *Backbone* Principal é o *Link* 6, que liga os pontos do Pico Ruivo do Paul e Cabeço da Pedreira e tem um comprimento aproximado de 7,40 km.

No gráfico representado na figura 4.29 pode-se ver o traçado do perfil entre o Cabeço da Pedreira e Pico Ruivo do Paul, como esperado através da análise de

visibilidade do ponto do Pico Ruivo do Paul e do próprio ponto, respetivamente figura 4.24 e 4.30, confirma-se linha de vista entre estes dois pontos.

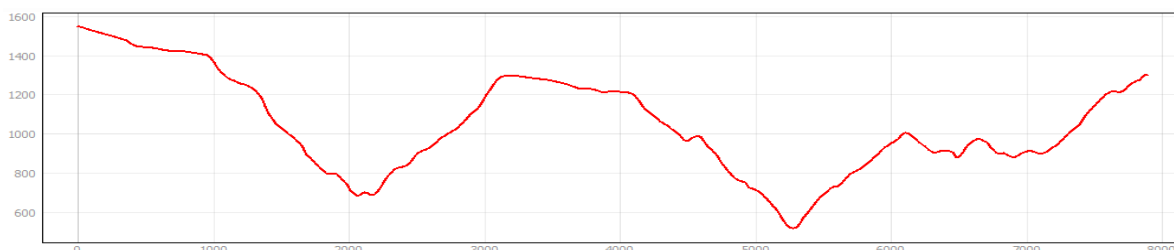


Figura 4.29 - Traçado do perfil entre o Cabeço da Pedreira e o Pico Ruivo do Paul, QGIS.

Pode-se observar também pela análise da figura 4.30, que para além deste ponto ver o Pico Ruivo do Paul, consegue ver o ponto no Rabaçal e Fonte do Bispo, que fará ligação para o ponto do Pico Alto. Cobre visualmente a floresta crítica da Calheta e toda a encosta dos Prazeres.

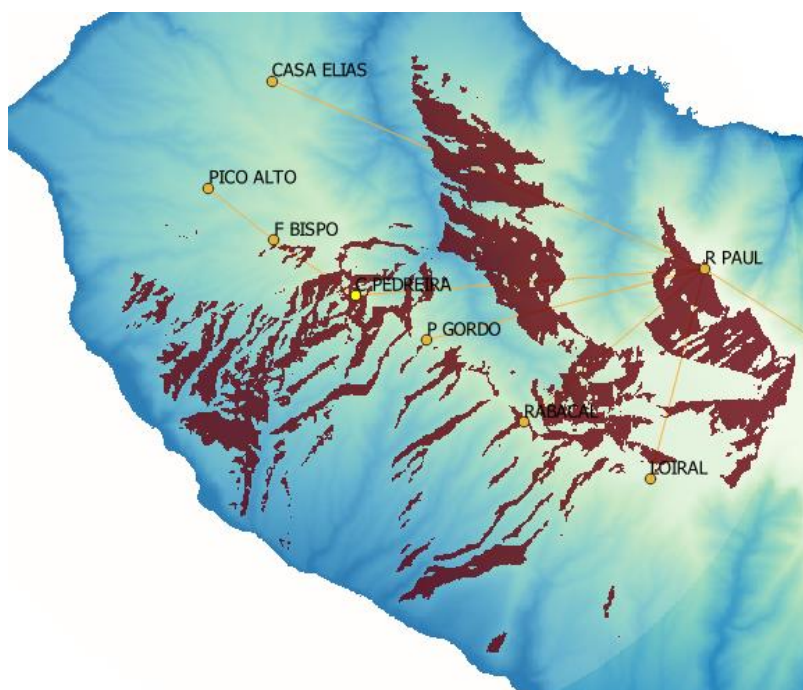


Figura 4.30 - Análise da visibilidade do Cabeço da Pedreira com um raio de 10 km, QGIS.

Este ponto não tem acesso direto ao local, tem apenas caminhos próximos de terra batida. A sugestão é a construção de um caminho de terra batida que permita o acesso ao ponto, conforme ilustra a imagem á esquerda na figura 4.31, onde a violeta tem-se o caminho existente e a amarelo a proposta de construção da estrada de acesso ao ponto. O lugar é rochoso, contudo é amplo para instalação das infraestruturas e plano conforme imagem da direita da figura 4.31.



Figura 4.31 – a) Acesso ao ponto do Cabeço da Pedreira; b) Localização física do ponto.

#### 4.3.4 Links e Pontos de Vigilância Ativa e Detecção de Incêndios

Para além dos pontos que constituem o *Backbone* Principal, que também são pontos de vigilância ativa, foram propostos outros pontos de modo a cobrir a maior área florestal possível da zona oeste da Madeira.

O *Link* 3 liga o ponto do Pico Gordo ao ponto do Pico Ruivo do Paul, tem uma distância total de 6,46 km e o seu perfil pode ser visualizado na figura 4.32.

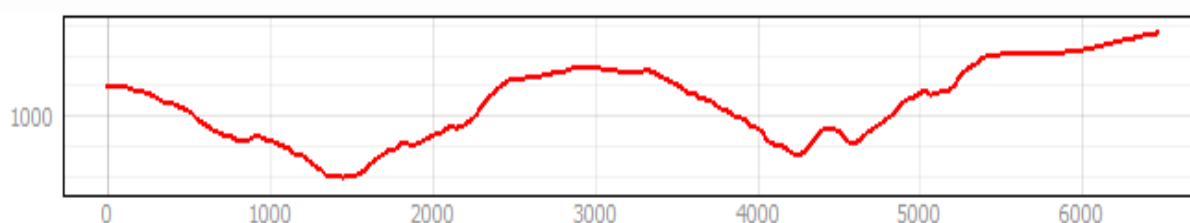


Figura 4.32 - Traçado do perfil entre o Pico Gordo e o Pico Ruivo do Paul, QGIS.

Não tem estrada até ao ponto e é um local rochoso, sendo que o acesso é por terra batida e pode ser feito com um veículo todo o terreno. A área disponível é ampla e plana e tem linha de vista clara e desobstruída do ponto no Pico Ruivo do Paul, como é possível observar pelas imagens da figura 4.33. Também tem boa cobertura visível para a zona crítica da floresta da Calheta e toda a sua encosta, e ainda para a zona mais a norte em direção à Ponta do Pargo e Porto Moniz, conforme imagens da figura 4.34.





Figura 4.33 – a) Acessibilidade ao ponto do Pico Gordo; b) Vista do Pico Ruivo do Paul para o Pico Gordo.



Figura 4.34 – Vista do ponto do Pico Gordo nas várias direções (360°), junto ao marco geodésico. Primeiras duas fotos na direção do Pico Ruivo do Paul, as duas últimas fotos são respetivamente na direção do Pavilhão da Calheta e na direção da Ponta do Pargo e Porto Moniz.

O *Link 4* liga ao ponto no Loiral ao Pico Ruivo do Paul e tem cerca de 4,89 km. É um ponto sem acesso, localizado numa zona rochosa, ter-se-á de construir uma estrada até ao lugar conforme ilustra a figura 4.35 a), onde a violeta tem-se a estrada existente e à direita a estrada a construir, contudo é uma zona plana e ampla, conforme imagem b) da figura 4.35.



Figura 4.35 – a) Acesso ao ponto do Loiral; b) Localização física do ponto.

Na figura 4.36 mostra-se o traçado do perfil entre este ponto e o Pico Ruivo do Paul, onde é possível constatar linha de vista completamente desobstruída. Neste ponto consegue-se fazer a monitorização sobre a zona dos Canhas e parte do Arco da Calheta.

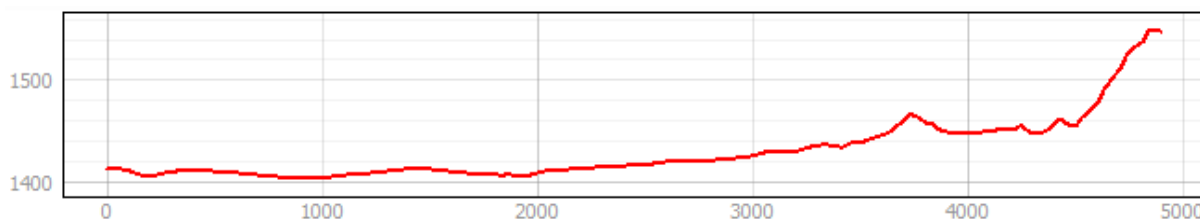


Figura 4.36 - Traçado do perfil entre o Loiral e o Pico Ruivo do Paul, QGIS.

O *Link 5* faz ligação entre o Rabaçal (torre florestal) e o Pico Ruivo do Paul, tem cerca de 5,35 km de comprimento e o seu perfil pode ser visualizado na figura 4.37.

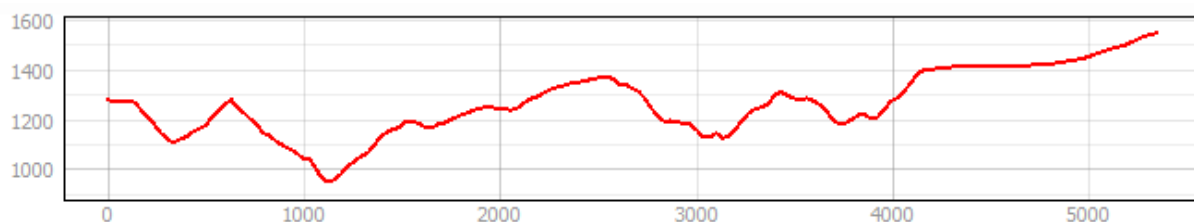


Figura 4.37 - Traçado do perfil entre o Rabaçal e o Pico Ruivo do Paul, QGIS.

Neste ponto tem-se uma vista ampla sobre o Arco da Calheta e Paul. Tem acesso pedonal, contudo está próximo à estrada principal como se pode ver pela figura 4.38.





Figura 4.38 - Localização física do ponto do Rabaçal.

O *Link 7* liga o ponto localizado na Torre de Vigia da Fonte do Bispo ao ponto no Cabeço da Pedreira e tem cerca de 2,21 km. Este ponto é interessante pois a sua localização é “dentro” da floresta da Calheta, conseguindo assim ter uma visão de 360° sobre a mesma, conforme se pode ver pela figura 4.39.

O acesso a este ponto pode ser feito com veículo todo o terreno através de uma estrada de terra batida.



Figura 4.39 - Vista nas várias direções do ponto da Torre Vigia na Fonte do Bispo, sobre a floresta da Calheta.

A torre vigia da Fonte do Bispo situa-se entre o ponto do Cabeço da Pedreira e o ponto no Pico Alto da Ponta do Pargo, serve como ponto de vigilância e detecção de incêndios como também de repetidor. Nas figuras 4.40 e 4.41 podem-se ver os respectivos perfis.

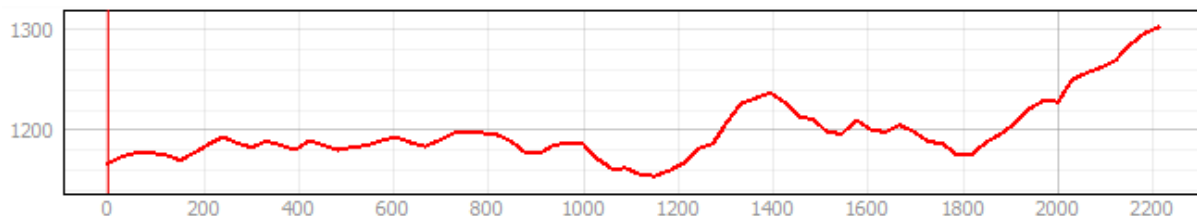


Figura 4.40 - Traçado do perfil entre o Fonte do Bispo e o Cabeço da Pedreira, QGIS.

O *Link 8* liga o ponto localizado no Pico Alto da Ponta do Pargo à Torre Vigia da Fonte do Bispo e tem cerca de 1,88 km. O perfil deste *link* é observável na figura 4.41.

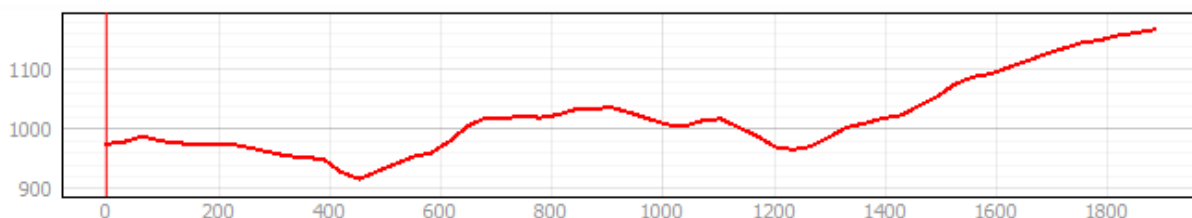


Figura 4.41 - Traçado do perfil entre o Pico Alto da Ponta do Pargo e a Fonte do Bispo, QGIS.

Este ponto tem ampla visibilidade sobre a Ponta do Pargo. É um ponto sem acesso, onde será necessário a construção de estrada, assinalada a amarelo na imagem a) da figura 4.42 e limpeza do local, contudo é um lugar plano, conforme imagem b) da figura 4.42.

a)



b)



Figura 4.42 – a) Acesso ao ponto do Pico Alto da Ponta do Pargo; b) Localização física do ponto.

O *Link 9* liga o ponto localizado na Torre Florestal da Casa do Elias e o ponto no Pico Ruivo do Paul e tem cerca de 10,63 km. O perfil deste *link* poder ser visualizado na figura 4.43.



Figura 4.43 - Traçado do perfil entre a Casa do Elias e o Pico Ruivo do Paul, QGIS.

Este ponto é acessível através de terra batida e com veículo todo o terreno. Tem visibilidade sobre a zona verde da Ponta do Pargo, Ribeira da Janela e Porto Moniz.

A figura 4.44 mostra a análise de visibilidade geral dos pontos de vigilância ativa e deteção de incêndios na zona oeste da Ilha da Madeira. Como se pode observar tentou-se minimizar a quantidade de pontos necessários para cobrir a maior área de interesse possível, que neste caso é a zona florestal da Calheta. Note-se que se conseguiu cobrir áreas de orografia complexa, como são o caso dos vales e das encostas.

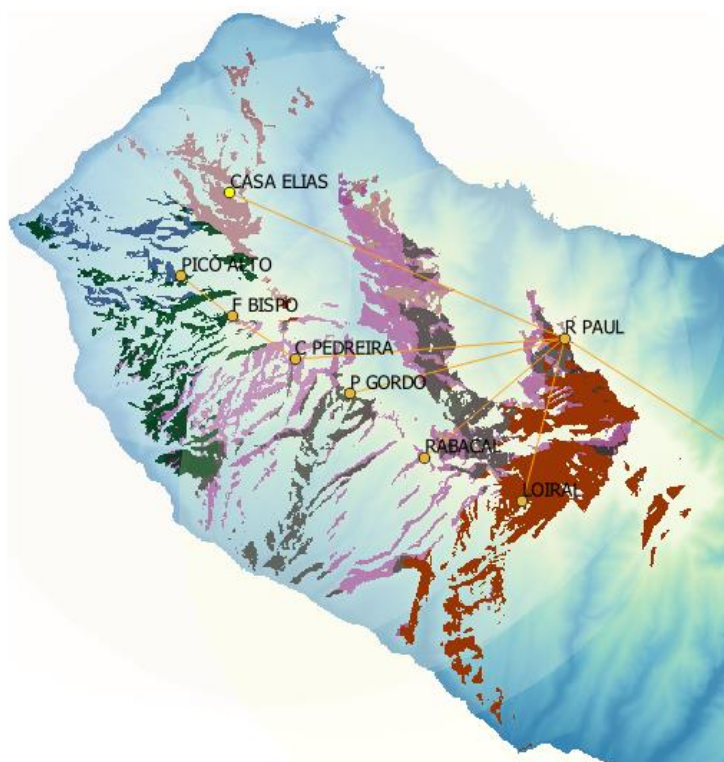


Figura 4.44 - Análise de visibilidade dos pontos de vigilância ativa e deteção de incêndios na zona oeste da Ilha.

#### 4.3.5 Proposta Alternativa de Pontos Redundantes

Nas secções anteriores foram apresentados os *links* e pontos principais da rede de vigilância e deteção de incêndios. Para que este projeto seja eficaz a rede tem de estar sempre ativa e tem de haver garantias que a vigilância é feita 24 horas por dia, 365 dias por ano. Para tal, em caso de avaria tem de ser garantido caminhos alternativos para a transmissão dos dados recolhidos nos pontos vigilantes, ou seja, tem de haver redundância na rede.

Aquando escolha dos pontos para a rede foi considerada a maximização dos mesmos, que estes fossem pontos versáteis, que tivessem linha de vista entre eles para facilitar o processo de redundância da rede sem ter de recorrer a muitos pontos alternativos com novas localizações, o que iria implicar mais custos.

Um dos requisitos deste trabalho é que a rede seja comum à rede já existente SAARAM, por isso a importância de escolher um ponto que tivesse linha de vista com um ou mais pontos do SAARAM, que é o caso do ponto no Miradouro do Paredão e obviamente o LREC. Na figura 4.45 podem-se ver estes dois pontos e os GW do SAARAM, assim como a visibilidade do Miradouro do Paredão para os GW, sendo que a verde são as zonas visíveis. Como referido anteriormente, o ponto do Miradouro do Paredão tem linha de vista para o GW3 e o perfil deste *link* pode ser observado na figura 4.22, na secção 4.3.3 e para o GW5, ambos os GW têm *link* criado para o LREC.

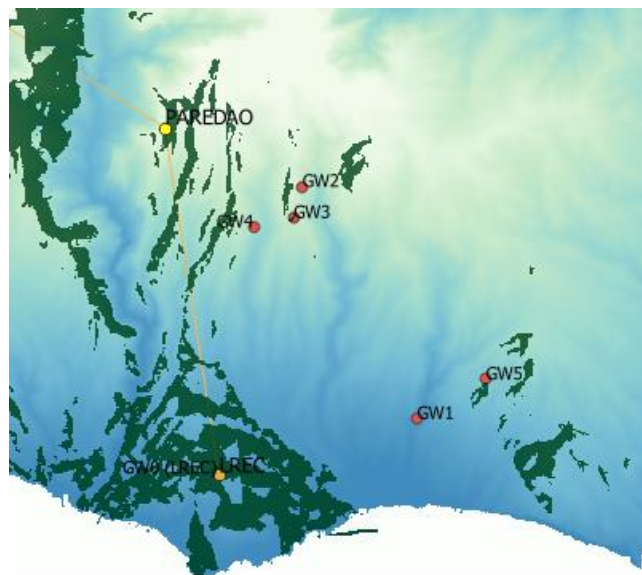


Figura 4.45 – Análise da visibilidade Miradouro do Paredão para o SAARAM, QGIS.



Em relação ao *link* Paredão – Pico Ruivo do Paul, foi considerado fazer redundância através de São Vicente, mais precisamente a zona do Rosário (Igreja), pois sabe-se que passa rede de fibra e a ideia era ligar o ponto do Pico Ruivo do Paul à rede de fibra existente. Outra alternativa seria do Ponto do pico Ruivo do Paul para a zona do Seixal e encontrar a rede de fibra lá, seria um percurso maior.

#### 4.4 Escolha da Frequência de Trabalho

Após a escolha do percurso, a escolha da frequência de operação de uma ligação rádio é uma decisão fundamental para o bom funcionamento da mesma. Esta escolha implica diferentes aspetos, tanto a nível de critérios da rede como a nível de custos.

Conforme já referido, no espectro radioelétrico tem-se uma série de frequências livres, com isenção de licença obedecendo somente a um registo, e tem-se bandas de frequência que necessitam de licença por parte da ANACOM (entidade reguladora do espectro). Esta licença é paga anualmente e os valores diferenciam com as frequências escolhidas, assim como as entidades que as pedem, por exemplo os serviços de proteção civil as licenças têm descontos que podem ir até os 70% na anuidade. É de referir também que as frequências que carecem de licença são frequências protegidas contra invasão e interferências. Na tabela 4.3 pode-se confirmar as taxas aplicáveis por faixa de frequências que pode ser consultada no site da ANACOM [23].

Tabela 4.3 - Taxa aplicável por ligação hertziana e por canal consignado [23].

Faixa de Frequências (GHz)	1 - 3	4 - 11	12 - 15	18 - 24	25 - 38	47 - 59	61 - 71	>71
Comprimento Min. da Ligação (L <sub>min</sub> )	n.a	10 km	5 km	2 km	n.a	n.a	n.a	n.a
Taxa por Megahertz (€)	48,5x√L	57,5x√L	30,5x√L	15,5x√L	12,7x√L	8,8x√L	4,5x√L	0,85x√L

Para ligações com débitos maiores, é necessária maior largura de banda o que implica escolher uma frequência de operação mais alta. Como a frequência é mais alta, os *links* têm de ser mais diretivos e consegue-se ter antenas mais pequenas, com menor comprimento de onda.

Como o âmbito deste trabalho é a detecção precoce de incêndios e exige-se que esta rede tenha elevada disponibilidade de ligação e fiabilidade, considera-se um serviço essencial. Como tal, e à partida, a frequência aconselhável para este tipo de ligação seria na banda de frequências licenciadas, pois oferece proteção e garante a largura de banda necessária.

Em relação à escolha da banda de frequência a usar tem-se de ter em conta não só o projetista da rede como também o fornecedor dos equipamentos. Normalmente se o fornecedor utiliza frequentemente equipamentos para determinada banda tem mais *stock* desses produtos, o que levará a maior disponibilidade a um custo menor. A disponibilidade do equipamento é importante pois garante que em caso de avaria existe reposição imediata, o que leva à importância de a rede ser homogênea a nível das frequências escolhidas. Não só caso de avaria de um ponto consegue-se peças mais facilmente, mas também a nível de encomenda inicial dos equipamentos para a rede, se for pedido uma quantidade maior de um mesmo equipamento consegue-se melhores preços.

No projeto piloto o *link* entre o LREC e Miradouro do Paredão foi testada na banda dos 5 GHz. Trata-se de uma banda livre, não licenciada, logo sem custos de licença. Como esta banda não oferece proteção, devido ao crescente uso desta frequência e à localização do *link*, este acabou por não resultar pois sofria constantes interferências.

Posteriormente acabou-se por mudar a banda de frequências proposta do *Backbone* Principal para a faixa dos 18 GHz. Trata-se de uma banda mais estável e fiável, e por ser licenciada, garante proteção.

No mapa representado na figura 6.33 é possível ver a atribuição de frequências para cada *link*.

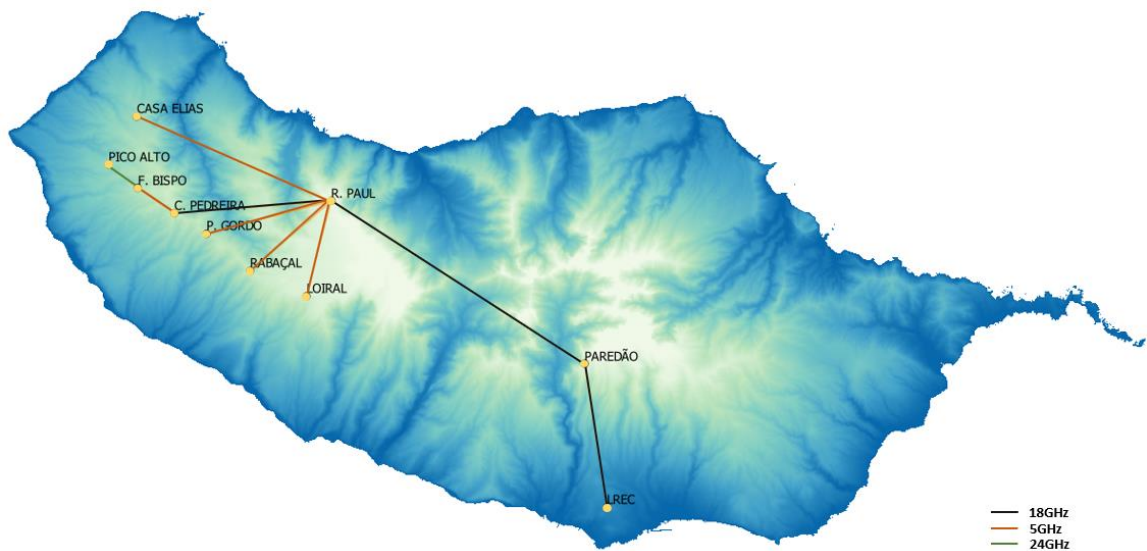


Figura 4.46 - Mapa dos *links* e respetiva banda de frequência de operação, *LINKPlanner*.

Consultando o site da ANACOM [9] e filtrando as aplicações para apenas as de ponto-ponto consegue-se ter acesso às faixas de frequências disponíveis na banda dos 18 GHz, conforme tabela apresentada na figura 4.47.

Nesta tabela é possível ver para quais os serviços que a faixa está apta, no caso para serviço fixo ponto- ponto, a largura de banda, a separação de canal, a potência, sempre considerada a potência mínima de operação para não alargar o elipsoide de *Fresnell* e diminuir o risco de interferências e o regime de autorização, no caso é uma faixa licenciada. É informado também quais as recomendações a seguir para operar nesta frequência, no caso da banda dos 18 GHz tem-se a recomendação da ITU-R F.595-10 [22].

Faixas de frequências	Serviços de radiocomunicações	Aplicações	Canalização	Modulação / ocupação de faixa	Direção / separação	Duty cycle	Potência	Regime de autorização
<u>17.700 - 18.670 GHz</u>	Fixo	Ponto-ponto	13.75 MHz, 27.5 MHz, 55 MHz		1010 MHz		Minimum power to liaison	network license
<u>17.700 - 18.680 GHz</u>	Fixo	Ponto-ponto	3.5 MHz		1008 MHz		Minimum power to liaison	network license
<u>17.700 - 18.690 GHz</u>	Fixo	Ponto-ponto	7.5 MHz		1010 MHz		Minimum power to liaison	network license
<u>18.710 - 19.700 GHz</u>	Fixo	Ponto-ponto	13.75 MHz, 27.5 MHz, 55 MHz		1010 MHz		Minimum power to liaison	network license
<u>18.710 - 19.700 GHz</u>	Fixo	Ponto-ponto	7.5 MHz		1010 MHz		Minimum power to liaison	network license
<u>18.720 - 19.700 GHz</u>	Fixo	Ponto-ponto	3.5 MHz		1008 MHz		Minimum power to liaison	network license

Figura 4.47 – Radiocomunicações e aplicações: Ponto- ponto para a faixa do 18 GHz [10].

Outro aspeto importante a ser considerado é a projeção futura do projeto a ser implementado. Este projeto prevê a extensão da rede para o lado este da ilha, o Caniçal. Através da ANACOM foi informado que para esta zona a banda dos 18 GHz está a ser utilizada por uma empresa local, logo a troca de frequência de operação para a banda do 15 GHz pode ser uma opção mais fiável por ser uma faixa limpa e para serem evitadas interferências futuras.

Para os restantes *links* foram propostas as bandas livres dos 5 GHz e 24 GHz. Esta escolha vem da razão de essencialmente estarem localizados em zonas não muito populosas ou mesmo fora do meio urbano, o que se assume que não trará problemas de interferências na ligação, reduzindo assim os custos da rede com as licenças.

#### 4.5 Escolha dos Equipamentos, Disponibilidade e Fiabilidade do Sistema

Na tabela 4.4 é possível observar sumariamente os equipamentos a instalar em cada ponto.

Tabela 4.4 - Sumário de equipamentos necessários a instalar em cada ponto.

Pontos	Rádio 5 GHz	Rádio 18 GHz	Rádio 24 GHz	Antenas	Det. Inc.	CCTV	Switch M2M	Switch 5 Portas	Torre
LREC	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Miradouro do Paredão	0	2	0	2	0	0	1	0	1
Pico Ruivo do Paul	5	2	0	7	1	1	1	1	1
Pico Gordo	1	0	0	1	1	1	1	0	1
Loiral	1	0	0	1	1	1	1	0	1
Rabaçal	1	0	0	1	0	1	1	0	0
Cabeço Pedreira	2	1	0	3	1	1	1	1	1
Fonte do Bispo	1	0	1	2	0	1	1	0	0
Pico Alto da Ponta do Pargo	0	0	1	1	1	1	1	0	1
Casa do Elias	1	0	0	1	0	1	1	0	0



É de referir que os pontos onde não é necessário a construção da torre é devido a já existir uma torre de telecomunicação, como é o caso do LREC e Miradouro do Paredão ou serem locais onde existe torre florestal, como é o caso dos pontos no Rabaçal, Casa do Elias e Fonte do Bispo.

Nas secções seguintes é descrito o processo de escolha das antenas, o sistema de deteção precoce de incêndios, equipamentos para fornecimento de energia e sistema contra intrusão e vandalismo.

Note-se que não foi referido neste trabalho requisitos de outro tipo de equipamentos tais como, *routers*, *switches*, armários de acomodação e proteções electroestáticas pois iria entrar no detalhe que não é o pretendido.

#### **4.5.1 Equipamento Rádio e Antenas**

As antenas foram escolhidas tendo em consideração os elementos do sistema, tais como a frequência, condições da ligação e localização dos pontos, conforme referido no capítulo 3.

Tendo em conta as frequências de trabalho usadas: 5 GHz, 18 GHz e 24 GHz, numa ligação por Feixes Hertzianos tipicamente são usadas antenas parabólicas pois são antenas bastante diretivas e devido às frequências de operação têm ganhos elevados com dimensões físicas aceitáveis. Tendo em consideração as localizações dos pontos serem em lugares de “difícil” acesso e sujeitos a condições climáticas adversas é importante que as antenas tenham algum tipo de proteção, redoma e sejam resistentes a ventos de pelo menos 200 km/h.

Nas tabelas seguintes são descritos os parâmetros do equipamento rádio e respetivas antenas, conforme banda de frequência de operação.

Tabela 4.5 - Características do rádio para a banda dos 5 GHz [24].

<b>Frequências de Operação</b>	5,1 GHz – 5,9 GHz
<b>Largura de Banda</b>	40 MHz
<b>Capacidade</b>	1,4 Gbps
<b>Eficiência Espectral</b>	8.5 bps/Hz
<b>Potência Máx. Transmissão</b>	26 dBm
<b>Consumo</b>	30 W
<b>Alcance</b>	200 km
<b>Tamanho dos Pacotes</b>	1700 Bytes

Tabela 4.6 - Características do rádio para a banda dos 18 GHz [25].

<b>Frequências de Operação</b>	18 GHz
<b>Débito</b>	491 Mbps @ 60 MHz usando 2048QAM
<b>Largura de Banda</b>	ETSI 3,5 MHz – 56 MHz FCC 5 MHz – 60 MHz
<b>Consumo Máx. de Potência</b>	45 W
<b>Funcionamento a Temperaturas</b>	-33° C a 55° C
<b>Tamanho dos Pacotes</b>	<i>Jumbo frames</i> 9600Bytes

Tabela 4.7 - Características do rádio com antena integrada para a banda dos 24 GHz [26].

<b>Frequências de Operação</b>	24,05 GHz – 24,25 GHz
<b>Alcance</b>	13 km
<b>Largura de Banda</b>	100 MHz
<b>EIRP Max.</b>	20 dBm
<b>Consumo Máx. de Potência</b>	40 W
<b>Ganho Antena</b>	33 dBi
<b>Relação Frente-Trás</b>	70 dB
<b>Funcionamento a Temperaturas</b>	-40° C a +55° C
<b>Carga de Vento</b>	480 N @ 200 Km/h

Tabela 4.8 - Características das antenas para as bandas dos 5 GHz e 18 GHz [27] e [28].

<b>Frequências de Operação</b>	4,8 GHz – 5,8 GHz	17,7 GHz – 19,7 GHz
<b>Diâmetro</b>	60 cm	60 cm
<b>Ganho</b>	30 dBi	39 dBi
<b>Abertura Horizontal</b>	4,8°	2,1°
<b>Abertura Vertical</b>	4,9°	2,1°
<b>Relação Frente – Trás</b>	>35 dB	67 dB
<b>Resistência a Ventos</b>	200 km/h	250 km/h

As torres onde as antenas serão instaladas, assim como as fundações e fixações devem suportar as dimensões das antenas e requisitos exigidos para cada *link*, nomeadamente a largura de banda e disponibilidade de 99,9% do *link*, de inércia não variável e ser facilmente desmontável e amovível, devido à localização e acesso aos pontos. A estrutura da torre assim como dos armários de acomodação deverá possuir tratamento anti corrosão e ser do tipo galvanizado.

#### 4.5.2 Sistema de Detecção Precoce de Incêndios

O sistema usado para detetar numa fase inicial pontos quentes/fogos e colunas de fumo usado é o *InsightFD 3*. Trata-se de um “robot”, conforme figura 4.48, com um sistema automático de vigilância ativa, noite e dia, resistente às mais diversas condições atmosféricas. Consegue detetar fogo a distâncias superiores a 15 Km com boa visibilidade.



Figura 4.48 - Robot *InsightFD 3* [29].

As imagens são continuamente processadas, permitindo a deteção automática dos pontos quentes/fogos e colunas de fumo. Aquando deteção de colunas de fumo, estas passam a ser possíveis “candidatas a incêndios”, são processadas pelo algoritmo de Inteligência Artificial do sistema e posteriormente é enviado um alerta ao operador, através de uma aplicação, o que pode mais tarde levar a um alerta de incêndio se na presença de fogo e, neste caso, ser apresentado no *Insight Globe Command and Control Application 3D GIS* – Aplicação de comando e controlo com sistema *GIS - Geographic Information System* (Sistema de Informação Geográfica) incorporado. Este processo pode correr com ou sem a presença do operador [29].

Na figura 4.49 é possível visualizar a vista traseira do robot onde é possível ver a caixa do motor de Inteligência Artificial.



Figura 4.49 - Vista traseira do robot e por baixo o motor de Inteligência artificial [29].

Na tabela a seguir são descritas as características mais relevantes deste sistema para este trabalho.

Tabela 4.9 - Especificações do *InsightFD* 3.0 [30].

<b>Movimento Horizontal</b>	<b>0° a 360°</b> <b>Max. 0,01°/s~30°/s ± 0,1°</b>
<b>Movimento Vertical</b>	-60° a 60° Max. 0,01°/s~15°/s ± 0,1°
<b>Potência</b>	40 W nominal 50 W pico
<b>Voltagem de Entrada</b>	100 a 240 VAC
<b>Vento</b>	Operacional: 180 km/h Sobrevive: 200 km/h
<b>Câmara Visível</b>	Câmara RGB integrada Resolução: 1920 x 1080 pixels Zoom Ótico 30x
<b>Câmara Infravermelhos</b>	Câmara Termal LWIR integrada Resolução: 640 x 480 pixels Zoom digital 4x
<b>Deteção Automática IR de Pontos Quentes</b>	5 km (tam. Fogo 2 x 2 m) em linha de vista 8 km (tam. Fogo 3 x 3 m) Até 15 km para fogos de dimensões maiores
<b>Deteção Automática de Fumo</b>	8 km – 23° H.FOV 12 km – 11° H.FOV Até 15 km para fogos maiores com grandes colunas de fumo
<b>Comunicação da Câmara Termal</b>	1 Gbps Ethernet
<b>Taxa de Compressão de Saída</b>	32 Kbps ~ 12Mbps

O *robot* move-se sobre uma plataforma que permite haver movimento horizontal e vertical. É constituído por duas câmaras. A câmara RGB (Red Green Blue), acrónimo para as três cores primárias – vermelho, verde e azul, que através destas dão origem às demais, o que leva a gerar uma imagem tal como a conhecemos. A câmara termal LWIR - *Long Wave Infrared*, é uma câmara que providencia imagem independentemente da iluminação ambiente e nevoeiro. Discrimina os objetos presentes na imagem pela sua temperatura [31].

O sistema *InsightFD* 3 exige uma largura de banda de 10 Mbps para permitir o vídeo *streaming* de imagens em tempo real captados pelo robot e acomodar alarmística (3 Mbps).

O sistema é composto pelos seguintes componentes: *robot InsightFD* 3, motor de Inteligência Artificial, *hardware* do servidor, aplicação do *Insight Globe* para controlo, gestão e decisão, com uma plataforma GIS 3D integrada e um API –

*Application Programming Interface* (Interface de Programação de Aplicativos) disponível [29].

#### **4.5.3 Vigilância contra Vandalismo e Intrusão**

É importante ter em consideração a vigilância dos pontos contra possíveis atos de vandalismo, intrusão e/ou roubo, pois trata-se de ponto isolados e alguns deles em zonas remotas.

Devem ser implementados mecanismos de prevenção de atos de vandalismo e furto dos equipamentos, tais como, um sistema de intrusão que gere alarmes de detecção de movimento controlado por um *joystick*, luz LED e aviso sonoro no local. Também deve conter uma câmara CCTV de intrusão independente do sistema de câmaras de detecção de incêndios para observação do ponto.

A câmara tem resolução de imagem 1,981(H) x 1,288(V), um total de 2,55 MP rotação de 360° e elevação de 0° a 180°, tem capacidade de retorno a uma posição predefinida (azimute e elevação predefinidos), operar em condições ambientais de -50° a +55° C e menos de 90% de humidade relativa. Consumo máximo de 24 W com aquecedor desligado e máximo de 70 W com aquecedor ligado [32].

O sistema PTZ – *Pan – Tilt - Zoom* funciona através de uma aplicação ACC – Comando de Controlo e Apoio à Decisão conectada a uma *cloud* (nuvem) acessível para um número autorizado de utilizadores. É compatível com vários sistemas operativos. Através da aplicação é possível fazer *zoom* para visualização ao detalhe de atividade suspeita, análise de vídeo, onde também pode ser gerado um alerta em caso de detecção de movimento [33].

#### **4.5.4 Fornecimento de Energia**

Existem pontos cuja localização permite ligação à rede elétrica, sendo necessário em caso de falha na rede uma autonomia para 24 horas garantida por um banco de baterias com carregador ou UPS – *Uninterruptible Power Supply* (Sistema de Alimentação Ininterrompível). Os pontos onde não existe ligação à rede será necessário instalar uma micro central solar com autonomia para 24 horas.

É possível verificar o acesso à energia dos pontos na tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Distribuição do fornecimento de energia pelos pontos.

Pontos	220V	UPS	Painel Solar	Baterias
LREC	1	0	0	0
Miradouro do Paredão	0	0	1	1
Pico Ruivo do Paul	0	0	1	1
Pico Gordo	0	0	1	1
Loiral	0	0	1	1
Rabaçal	1	1	0	0
Cabeço Pedreira	0	0	1	1
Fonte do Bispo	0	0	1	1
Pico Alto da Ponta do Pargo	0	0	1	1
Casa do Elias	1	1	0	0

**(i) Dimensionamento do sistema fotovoltaico**

O sistema de alimentação solar deve ser dimensionado para o consumo de potência do sistema de telecomunicações e do sistema de deteção de incêndios. A estrutura deve ser resistente às condições meteorológicas extremas, nomeadamente a rajadas de vento de até 140 km/h, temperaturas de 0º a 40º C e é importante o sistema estar preparado para futura ligação à rede elétrica.

O sistema é composto por um conjunto de módulos fotovoltaicos, reguladores solares, inversor DC/AC, banco de acumulação de energia e proteções DC.

Na tabela 4.11 apresentam-se os consumos máximos de energia estimados para cada ponto que não tem acesso à rede elétrica e onde será usado o sistema de alimentação solar.

Tabela 4.11 - Consumos máximo por ponto.

Pontos	Consumo Máximo (W)
Miradouro do Paredão	101
Pico Ruivo do Paul	376
Pico Gordo	156
Loiral	156
Cabeço da Pedreira	241
Fonte do Bispo	146
Pico Alto da Ponta do Pargo	176

O consumo de cada ponto foi calculado tendo em conta o consumo máximo de potência de cada aparelho presente no local e consultado nas respetivas folhas de características [24], [25], [26], [29], [32],[34], [35], conforme tabela abaixo.

Tabela 4.12 – Potência máxima de cada aparelho.

<b>Aparelho</b>	<b>Rádio Tipo 1</b>	<b>Rádio Tipo 2</b>	<b>Rádio Tipo 3</b>	<b>CCTV</b>	<b>Det. Inc.</b>	<b>Switch M2M</b>	<b>Switch 5 Portas</b>
<b>Consumo (W)</b>	30	45	40	65	50	11	10

Tendo em conta que o equipamento tem de estar em funcionamento 24 horas por dia, 7 dias por semana e de acordo com os consumos máximos apresentados na tabela 6.11, na tabela 4.13 apresenta-se o dimensionamento do número de baterias e painéis solares a instalar em cada local, tendo em conta as respetivas folhas de características [36], [37], [38].

Tabela 4.13 - Dimensionamento do sistema de alimentação solar.

<b>Pontos/ Parâmetros</b>	<b>Consumo Total por dia (Wh/dia)</b>	<b>Capacidade da Bateria (Wh)</b>	<b>Eficiência 80% (Wh/dia)</b>	<b>Corrente (Ah 12V)</b>	<b>Nº de Baterias</b>	<b>Nº de Painéis</b>
<b>Miradouro do Paredão</b>	2424	1800	2908,80	150	2	2
<b>Pico Ruivo do Paul</b>	9024	2400	10828,80	200	6	7
<b>Pico Gordo</b>	3744	2400	4492,80	200	2	3
<b>Loiral</b>	3744	2400	4492,80	200	2	3
<b>Cabeço da Pedreira</b>	5784	2400	6940,80	200	4	5
<b>Fonte do Bispo</b>	3504	2400	4204,80	200	2	3
<b>Pico Alto da Ponta do Pargo</b>	4224	1800	5068,80	150	4	4

O consumo total por dia é dado pela seguinte formula:

$$\text{Consumo (Wh/dia)} = \text{Consumo/h} \times \text{horas de funcionamento (h)} \quad (4.1)$$

A eficiência de 80% é dada por:

$$Eficiencia (Wh/dia) = Consumo Total/dia (Wh/dia) \times 1,2 \quad (4.2)$$

Para o cálculo do número de baterias, através da respetiva folha de características, sabe-se que a tensão nominal é de 12 V, a corrente é de 150 A ou 200 Ah e a capacidade da carga é de respetivamente 1800 W e 2400 W. Foi utilizada a expressão 4.3 para o cálculo do número de baterias com arredondamento para cima.

$$N^{\circ} Baterias = Consumo Total (Wh/dia)/Cap. Bateria (Wh) \quad (4.3)$$

Para o dimensionamento do número de painéis a usar (expressão 4.4) foi considerado uma média de 5 horas de sol por dia (pico solar) [39] e potência nominal máxima do painel de 335 W.

$$N^{\circ} Paineis = Eficiencia (Wh/dia)/Consumo Total (W) \quad (4.4)$$

A energia produzida por cada painel é de 1675 W, calculada através da seguinte expressão:

$$\begin{aligned} Energia Produzida/dia (Wh) \\ = Potência Painel (W) \times Horas de Sol/dia (h) \end{aligned} \quad (4.5)$$

As especificações elétricas e mecânicas dos painéis e baterias a serem utilizadas são apresentadas na tabela seguinte:

Tabela 4.14 - Especificações técnicas do painel fotovoltaico [38] e baterias [36][37].

<b>Painel Fotovoltaico</b>	
<b>Máxima Potência Nominal</b>	335 W
<b>Dimensões</b>	1954 X 981 x 40 mm
<b>Peso</b>	21 Kg
<b>Tipo de Célula</b>	Policristalina
<b>Condições Operacionais</b>	-40° C a + 85° C
<b>Garantia de Desempenho</b>	Nos primeiros 10 anos até 90% Nos 15 anos seguintes até 80%



Baterias	
Tensão Nominal	12 V (6 células)
Dimensões	482 X 170 X 240 mm
Peso	47 Kg

#### 4.5.5 Sistema de Informação Geográfica

Conforme referido ao longo deste relatório, todos os dados recolhidos através da rede são centralizados para uma aplicação SIG – Sistema de Informação Geográfica presente no centro de controlo situado no LREC – Laboratório Regional de Engenharia Civil. Nesta aplicação são recolhidos os dados não só do sistema de deteção precoce de incêndios, mas também do SAARAM – Sistema de Alerta de Aluviões na Região Autónoma da Madeira e das REMAS – Rede de Estações Meteorológicas Automáticas para futura correlação.

Na figura 4.50 pode-se ver o *layout* da aplicação SIG. Esta aplicação é acessível de qualquer parte, desde que o utilizador tenha permissão.

Através desta aplicação é possível ter uma vista geral das redes, assim como algumas características da mesma, tais como, tipo de ligação (fibra ótica ou feixes Hertziano), frequências de operação, localização das câmaras CCTV, câmaras das ribeiras (SAARAM), futuramente câmaras de deteção precoce de incêndios, *gateways*, pluviosidade, risco das bacias e histórico de alarmes.

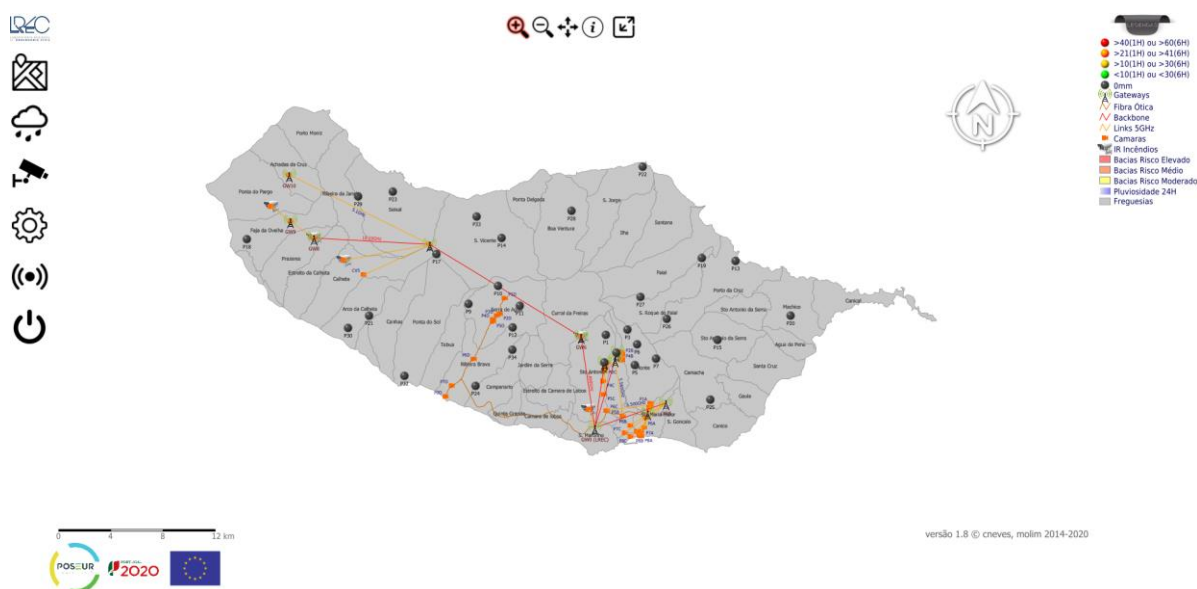


Figura 4.50 - *Layout* da rede na aplicação SIG, LREC.

Aquando geração de um alarme o sistema gera um alerta através da aplicação, que por sua vez comunica também com a proteção civil de modo a verificar a situação de risco e tomar as devidas medidas interventivas.

## 4.6 Simulação da Rede

O estudo da rede foi realizado no programa de software da *Cambium Networks*, o *LINKPlanner*. O simulador fornece vários parâmetros interessantes, tais como, a desobstrução do primeiro Elipsoide de *Fresnel*, a disponibilidade do *link*, o *Throughput*, o total de perdas de percurso, etc.

### 4.6.1 Parâmetros da Simulação

Na tabela 4.15 apresentam-se os parâmetros considerados para simulação dos links da rede, nomeadamente para análise de viabilidade, disponibilidade e execução de testes dos *links* e respetivos pontos. Os débitos mínimos de cada *link* foram definidos tendo em conta o espaço espectral que cada câmara ocupa e quantas câmaras existem por *link*.

Tabela 4.15 - Parâmetros da simulação.

<i>Links</i>	<i>Freq. (GHz)</i>	<i>Largura de Banda (MHz)</i>	<i>Throughput Mínimo (Mbps)</i>	<i>Disp. Mínima</i>	<i>Ganho Antena (dBi)</i>
<b>LREC – Paredão</b>	18	28	200	99,9%	39.0
<b>Paredão – Ruivo do Paul</b>	18	28	200	99,9%	39.0
<b>Pico Gordo – Ruivo do Paul</b>	5	20	100	99,9%	29.2
<b>Loiral – Ruivo do Paul</b>	5	20	100	99,9%	29.2
<b>Rabaçal – Ruivo do Paul</b>	5	20	100	99,9%	29.2
<b>C. Pedreira – Ruivo do Paul</b>	18	28	200	99,9%	39.0
<b>F. Bispo – C. Pedreira</b>	5	20	100	99,9%	29.2
<b>Pico Alto – F. Bispo</b>	24	100	100	99,9%	40.9
<b>Casa Elias – Ruivo Paul</b>	5	20	100	99,9%	29.2

No programa *LINKPlanner* trabalha-se com as antenas da *Cambium* por isso a simulação foi feita tendo em conta antenas com especificações semelhantes.

#### 4.6.2 Resultados da Simulação

Os resultados obtidos da simulação foram resumidos na tabela 4.16. Como se pode ver pela respetiva análise dos resultados, todos os *links* apresentam disponibilidade superior a 99,99% do tempo o que significa que, por exemplo para o *link* que apresenta menor disponibilidade que é o caso do Miradouro do Paredão – Pico Ruivo do Paul com 99,9961% de disponibilidade, o *link* estará eventualmente indisponível num total de cerca de 20,6 min/ano. No programa de simulação este parâmetro é facilmente visualizado através da janela representada pela figura 4.51, onde são apresentados detalhadamente a indisponibilidade/ disponibilidade e outro tipo de parâmetros, tais como, indisponibilidade devido à chuva para o pior caso.

Tabela 4.16 – Resultados gerais das simulações aos *links*, LINKPlanner.

<i>Links</i>	<i>Throughput</i> Agregado (Mbps)	Disponibilidade (%)	Perdas Totais (dB)
<b>LREC – Paredão</b>	519.097	99,9993	135.6
<b>Paredão – Ruivo do Paul</b>	518.663	99,9961	141.8
<b>Pico Gordo – Ruivo do Paul</b>	342.870	100,0000	125.2
<b>Loiral – Ruivo do Paul</b>	391.382	100,0000	122.6
<b>Rabaçal – Ruivo do Paul</b>	394.178	100,0000	122.4
<b>C. Pedreira – Ruivo do Paul</b>	519.040	99,9986	137.8
<b>F. Bispo – C. Pedreira</b>	403.908	100,0000	112.0
<b>Pico Alto – F. Bispo</b>	454.588	99,9972	126.0
<b>Casa Elias – Ruivo Paul</b>	275.907	99,9998	129.2

As perdas totais resultam da soma das perdas em espaço livre, perdas atmosféricas (atenuação devido ao oxigénio e vapor de água) e desobstrução da linha de vista. A variação das perdas apresentadas era o esperado e está de acordo com os diferentes parâmetros e comprimento dos *links*. O *throughput* apresentado nos resultados na simulação é referente ao agregado, ou seja, ao *throughput* do conjunto dos dois pontos do link. Confirma-se que também está acima do mínimo exigido.

Os detalhes dos resultados obtidos da simulação são apresentados no anexo 7.1. Pode-se ver que em relação ao parâmetro LOS – *Line of Sight* visível nas figuras onde aparece o perfil do link juntamente com o primeiro elipsoide de Fresnel a azul, confirma-se que todos os *links* apresentam perfis com linha de vista desobstruída,

este parâmetro também pode ser confirmado pela componente *Excess Path Loss* (dB) estar a zeros, que é o que acontece em todos os *links*.

Na figura 4.51, o fator geoclimático assim como a ocorrência de desvanescimento é calculado de acordo com a recomendação P530-12 do ITU-R [40]. A taxa de 0.01% de chuva e disponibilidade de chuva são calculadas de acordo respetivamente com as recomendações P530-12 ITU-R e P837-5 [40] e [41].

Lowest Mode Availability for MIRADOURO DO PAREDÃO to PICO RUIVO P... >

	MIRADOURO DO PAREDÃO	PICO RUIVO PAUL
dN/dH not exceeded for 1% of time	-197.41 N units/km	
Area roughness 110x110km	198 m	
Geoclimatic factor	5.34e-05	
Fade Occurrence Factor (P0)	8.76e-03	
Path inclination	0.00 mr	
Value of K Exceeded for 99.9% (ke)	0.48	
Excess Path Loss at K = 0.48 (Not included in the availability calculations.)	5.07 dB	
0.01% Rain rate	52.72 mm/hr	
Rain Availability	99.99609 %	
Rain Unavailability	20.5 mins/year	
Annual 1-way Availability (K= 1.33)	99.99999 %	99.99999 %
Annual 2-way Availability (K= 1.33)	99.99998 %	
Annual 2-way Unavailability	5 secs/year	
Annual 2-way Availability Including Rain	99.99608 %	
Annual 2-way Unavailability Including Rain	20.6 mins/year	

Figura 4.51 - Informação adicional para o pior caso de disponibilidade do *link*, *LINKPlanner*.

#### 4.7 Análise de Custos de Investimento e Operação

Em relação aos custos de investimento, os valores apresentados a seguir foram os valores reais dos diversos concorrentes à instalação do ponto no Miradouro do Paredão, aquando a execução do projeto piloto.

O projeto piloto começado em 2017 e implementado em 2018, é para um ponto “protótipo” a funcionar a 100%, que servirá de teste para a restante rede e identificação de possíveis falhas. O ponto está situado no Miradouro do Paredão e o *link* até ao LREC é de 5 GHz, frequência de operação considerada previamente. Mais tarde verificou-se que este *link* a operar nesta frequência não era fiável devido as demasiadas interferências existentes nesta banda.

Pretende-se a instalação de dois lotes. O lote 1 consiste num sistema ótico centralizado de deteção de incêndios florestais e o lote 2 consiste num sistema ótico e multiespectral descentralizado de deteção de incêndios florestais. O lote 2 é um método de deteção de incêndios por espectrometria ótica durante o dia e noite, respetivamente através da análise química da atmosfera e análise algorítmica da evolução temporal da luz.

Para a instalação dos lotes foram apresentadas as propostas presentes nas seguintes tabelas.

Tabela 4.17 - Propostas para instalação do lote 1, projeto piloto.

<b>Proposta</b>	<b>Concorrentes</b>	<b>Preço Global</b>
1	A	55 150.00 €
2	B	81 000.00 €
3	C	53 220.32 €
4	D	57 699.63 €
5	E	80 000.00 €

Tabela 4.18 - Propostas para instalação do lote 2, projeto piloto.

<b>Proposta</b>	<b>Concorrentes</b>	<b>Preço Global</b>
1	A	81 100.00 €
2	C	80 970.32 €

Feita análise às propostas dos concorrentes para verificar se estavam em conformidade com o caderno de encargos realizado pelo LREC, a empresa ganhadora do concurso e responsável pela instalação do lote 1 foi a D. Embora não fosse a proposta com o valor mais baixo, foi a única que cumpriu com todos os parâmetros exigidos pelo caderno de encargos. Em relação ao lote 2, este ficou sem efeito pois os concorrentes não cumpriram com os requisitos exigidos no caderno de encargos.

O valor global de 57 699.63 € para o projeto piloto de instalação do *link* LREC – Paredão está estruturado da seguinte forma:

- Fornecimento, montagem, programação, calibração e implementação do sistema de deteção precoce de incêndios florestais, software completo e controlo SIG: 28.599,98 €
- Fornecimento, construção e montagem do contentor técnico estanque (com sistema de vigilância remota e anti-intrusão) e torre de suporte em aço galvanizado a quente: 6.885,00 €
- Sistema de comunicações 5 GHz: 7.419,65 €
- Formação e treino: 2.020,00 €
- Teste e comissionamento & demonstração: 2.020,00 €

A instalação da rede total tem um valor global de 556.999,00 €, valor o qual acresce IVA. Neste valor estão incluídos todos os equipamentos a serem instalados no local quer da rede de telecomunicações quer do sistema de deteção e vigilância de incêndios, equipamentos de monitorização para o LREC, construção de acessos, suportes às torres e formação para utilização do sistema.

O valor global está dividido em duas partes. A primeira parte, com um custo de 263.118,77 €, é para a rede de telecomunicações do sistema de deteção de incêndios, que engloba o fornecimento de uma rede de telecomunicações sem fios nas bandas não licenciadas de 5 GHz e 24 GHz e na banda licenciada de 18 GHz, o que inclui a instalação/montagem, configuração, testes e formação. Por ponto dá em média de 30.000,00 €.

A segunda parte tem um custo de 293.880,23 € e é referente aos 6 sistemas de deteção de incêndios florestais, 48.980,04 €/ por sistema, inclui o fornecimento do sistema de deteção precoce de incêndios e toda a instalação/montagem, configuração, testes e formação. Aos valores mencionados acresce o IVA.

Os valores apresentados são apenas uma média por ponto. Existem pontos que não terão o sistema de deteção de incêndios, e têm somente o sistema de vigilância, existem pontos que não será necessária torre, como é o caso das torres vigia em que se aproveita a infraestrutura para colocação de um poste para suporte do equipamento rádio e antenas e existem pontos com mais equipamento rádio e antenas que outros.

A licença a pagar a ANACOM referente à faixa de frequência de operação de 18 GHz do *Backbone* principal, tem um valor de 4.000 €/ano.

## 4.8 Conclusões de Capítulo

Neste capítulo descreveu-se o procedimento da escolha dos *links* e pontos constituintes da rede, assim como dos pontos em si, o espaço físico destes, acessos e visibilidade. Esta memória descritiva foi contendo fotos do local e testes de cobertura de visibilidade no programa de software QGIS para fundamentar a escolha.

De seguida foram abordados os processos de escolha das frequências mais indicadas a cada *link*, descreveu-se os equipamentos que cada ponto necessita, assim como o sistema de deteção precoce de incêndios.

Foi abordado como será o fornecimento de energia dos pontos, visto esta ser uma questão fundamental para o funcionamento de 24 horas, 7 dias por semana, todos os dias do ano, em que os pontos sem acesso à rede elétrica irão recorrer ao sistema de alimentação solar e os restantes a um UPS virtual.

Posteriormente foram apresentados os parâmetros usados na simulação da rede através do programa de software *LINKPlanner* assim como os respetivos resultados. No anexo 7.1 são apresentadas as simulações de cada ponto na integra.

A simulação num projeto é sempre importante, contudo neste projeto tem especial importância devido a este ser um sistema crucial e elementos como LOS, disponibilidade do *link* e *Throughput* serem críticos para o bom funcionamento da rede.

Por fim foram apresentados os custos inerentes a este projeto e o processo de adjudicação a um fornecedor.

Este projeto dividiu-se, resumidamente, em duas partes. Começando pelo projeto piloto que serviu de identificação de vários problemas e uma segunda parte para a instalação da restante rede, retificando os problemas identificados na primeira fase. Tudo isto com os seus respetivos custos.





## 5 Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo expõe-se as conclusões finais deste trabalho desenvolvido durante um estágio e a sua contribuição para projeto final. São também apresentadas algumas propostas de trabalho futuro para melhoria do sistema de deteção precoce de incêndios.

### 5.1 Conclusões do Trabalho

Os objetivos de conceção e estudo de otimização para localização dos pontos e *links* para o *Backbone* principal e pontos vigilantes, assim como a criação da respetiva redundância à rede propostos inicialmente foram cumpridos.

Começou-se por um estudo teórico tanto a nível de revisão de conceitos como de projeto de um sistema de Feixes Hertzianos para servir de base à execução do presente trabalho.

Seguidamente começaram os estudos preliminares para fundamentar a importância de um sistema de deteção precoce de incêndios florestais, caracterizando a orografia e clima da ilha e identificando as principais áreas florestais críticas tendo em conta a composição florestal, assim como o histórico e suscetibilidade a incêndios. Foi verificado que a costa sul da ilha era a zona mais afetada, com principal destaque para a zona da Ponta do Sol e Calheta.

Posteriormente foi iniciado o estudo dos locais mais vantajosos para localização dos pontos de modo a fazer uma rede *Backbone* que ligasse o Funchal (LREC), à Calheta, recorrendo assim aos pontos de cotas mais elevadas e vigilantes (do tipo miradouros e torres vigias). Após identificação destes pontos no programa de software QGIS, foi feita a análise de visibilidade dos mesmos de modo a se obter a área de cobertura visível, foram traçados também os perfis entre os pontos de interesse e mais tarde foi feita a visita à sua localização física para confirmação da visibilidade “real” assim como as suas áreas para possível construção de infraestruturas necessárias e acessos.

Em seguida foram feitas as simulações dos *links*, no programa de software *LINKPlanner*, tendo em conta os requisitos mínimos propostos para a rede. Nas simulações foram verificados diversos parâmetros, tais como, LOS, perdas, ganho, capacidade e disponibilidade do *link*.

Para sistemas com esta dimensão a questão da disponibilidade do *link* é especialmente importante, normalmente é requerido uma disponibilidade superior a 99,9% do tempo, o que foi atingido com sucesso na simulação de todos os *links*, assim como os outros parâmetros ficaram dentro do mínimo exigido para este projeto.

Em relação às frequências de operação no caso a frequência do *Backbone* principal o mais lógico e prudente foi mesmo ser uma banda de frequências licenciadas pois garante proteção aos *links* e dado este ser um sistema crucial este aspeto é prioritário. Já a escolha da faixa, embora todo este trabalho tenha sido simulado para a faixa dos 18 GHz e essa faixa quando trazida para o projeto real atual funciona-se, a rede irá acabar por operar na faixa dos 15 GHz por questões de projeção futura do projeto, extensão da rede para o Caniçal, e por esta ser uma faixa mais limpa e garantir algum conforto. Foi ainda levantada a questão de como é que os *links* se comportar-se-ão face às condições climatéricas, nomeadamente a chuva. É esperado que existam perdas associadas, mas nada de significativo, também porque se trata de *links* com comprimentos relativamente curtos.

A primeira fase do projeto do sistema de deteção precoce de incêndios visa a instalação de um “projeto piloto” implementado em 2018, o *link* entre o LREC – Miradouro do Paredão, onde foi possível constatar ao longo da sua operação que a frequência escolhida na altura de 5 GHz para este *link* não era a mais indicada, sofrendo conseqüentemente muitas interferências devido a estar numa zona mais populosa e a esta faixa de frequências ser cada vez mais usada. Outro aspeto importante foi a escolha da câmara para este ponto que não apresentava na prática abertura vertical suficiente para varrer a área. Estes aspetos foram tidos em conta e foram alterados para as fases seguintes do projeto, que visam a instalação da rede, passando a frequência dos *links* do Backbone principal para uma banda licenciada, mas que contorna o problema das interferências e conseguindo-se também manter outros requisitos do *link*, tais como, a largura de banda do canal.

Com este estágio teve-se contacto com os custos envolventes no desenvolvimento de trabalhos deste género, foi também visto como um caderno de encargos é elaborado e como se analisa, processa e gere-se todas as candidaturas das empresas instaladoras e fabricantes.

No geral foi conseguida uma boa cobertura da zona de floresta crítica, zona da Calheta, tendo em conta a orografia da ilha para localização dos pontos de interesse,

assim como foi alcançado o objetivo desta rede ser em comum com a rede já existente, SAARAM – Sistema de Alerta de Aluviões da região Autónoma da Madeira, fazendo com que exista redundância.

Contudo verificou-se deficiências nesta cobertura o que fará com que este sistema não seja totalmente eficaz utilizando somente câmaras, pois, a problemática dos vales mais acentuados, tão característicos da ilha não foi totalmente contornada. Foi então sugerido para projeto futuro a instalação de sensores recorrendo à recente tecnologia da IoT – *Internet of Things* (Internet das Coisas). Este projeto tem a característica de ser muito mais vantajoso face à instalação de mais quantidade de câmaras, devido a ser de muito baixo custo, muito baixa manutenção e ter um tempo de vida elevado.

## **5.2 Trabalho Futuro**

Infelizmente os incêndios quer florestais são cada vez mais frequentes e por vezes de grandes dimensões, tendo em conta os gráficos apresentados na secção 4, fazendo com que os danos sejam elevados e pondo em risco não só o nosso património florestal como também a segurança da população.

Como foi possível constatar pelos estudos preliminares, as áreas que apresentam maior risco de incêndio estendem-se por toda a costa sul atravessando a ilha de este a oeste. Sendo este projeto direcionado para a área da Calheta, seria importante fazer uma extensão desta rede para a zona dos concelhos do Funchal, Santa Cruz, Machico e Caniçal, zonas com carga humana elevada e onde a floresta existente é não endémica, apresentando assim maiores riscos de incêndio. Foi também observado que a costa norte apresenta áreas cujo risco é elevado, por isso, à semelhança deste projeto, o projeto futuro teria a base de otimização dos pontos de modo a se fazer uma cobertura total da ilha.

Contudo este sistema de vigilância e deteção de incêndios florestais tendo por base câmaras óticas não é o suficiente para ser totalmente eficiente, sendo facilmente observável pelas análises de visibilidade realizadas ao longo deste trabalho. Existe um problema na área de cobertura das câmaras, nos vales acentuados que as câmaras não conseguem visibilidade para o seu interior. O que leva ao projeto complementar da utilização da tecnologia conhecida como IoT – *Internet of Things* (Internet das Coisas) que utiliza redes LORAWAN – *Long Range Wide Area Network*

e consiste em múltiplos sensores, económicos, inteligentes e com grande autonomia energética. Baseia-se na colocação de vários sensores (representados na figura 5.1) ao longo dos vales das zonas florestais críticas, onde as câmaras não têm alcance. Estes sensores medem a temperatura e CO<sub>2</sub>, detetam o calor ou fumo antes destes serem detetados pelas câmaras, tornando assim o sistema de deteção de incêndios florestais muito mais eficaz. Esta solução é também apreciada devido aos custos associados serem muito menores que a implementação de câmaras, de muito baixo consumo e o tempo de vida da bateria é de cerca de 10 anos, o que não exigirá qualquer tipo de manutenção [42] e [43].



Figura 5.1 - Multisensores de riscos naturais.

## 6 Referências

- [1] IFCN – Instituto das Florestas e Conservação da Natureza (2016, novembro 11) [Online] Disponível: <https://ifcn.madeira.gov.pt/biodiversidade/fauna-e-flora/flora/a-madeira.html>
- [2] IFCN – Instituto das Florestas e Conservação da Natureza, "2º Inventário Florestal da Região Autónoma da Madeira" – IFRAM2 (abril 2015); [Online] Disponível: <https://ifcn.madeira.gov.pt/florestas/inventarios-florestais/relatorio-final-ifram2.html>
- [3] Salema C., "Feixes Hertzianos", 3ª ed., IST Press, 2011
- [4] Recomendação P.341-7 da ITU-R; [Online] Disponível: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.341-7-201908-I!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.341-7-201908-I!!PDF-E.pdf)
- [5] Recomendação P.453-6 da ITU-R; [Online] Disponível: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.453-6-199705-S!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.453-6-199705-S!!PDF-E.pdf)
- [6] Balanis, Constantine A., "Antenna Theory: Analysis and Design", 4ª ed., Wiley, 2016
- [7] Stutzman, Warren L., Thiele, Gary A., Antenna Theory and Design, 3ª ed., Wiley, 2012
- [8] Carr J., Hippisley G., "Practical Antenna Handbook", McGraw-Hill Education TAB, 5ª ed., 2011
- [9] Bhabha, H., Pashan, Pune, "Antennas and its Applications", Armament Research & Development Establishment, March 2009
- [10] ANACOM [Online] Disponível: <https://www.anacom.pt/>
- [11] Recomendação F.557 da ITU-R; [Online] Disponível: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.557-5-201402-I!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.557-5-201402-I!!PDF-E.pdf)
- [12] Recomendação F.695 da ITU-R; [Online] Disponível: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.695-0-199006-I!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.695-0-199006-I!!PDF-E.pdf)
- [13] Meteorologia na RAM; [Online] Disponível: <http://aprenderamadeira.net/clima-e-meteorologia/>; consultado em julho 2019
- [14] IPMA, "Atlas Climático dos Arquipélagos das Canárias, da Madeira e dos Açores, Temperatura do Ar e Precipitação (1971-2000)"; Agência Estatal de Meteorologia, Ministério da Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente e Instituto de Meteorologia de Portugal, [Online] Disponível: <https://www.ipma.pt/export/sites/ipma/bin/docs/publicacoes/atlas.clima.ilhas.iberico.2011.pdf>
- [15] Direção Geral do Património Cultural, "Floresta Laurissilva da Madeira", [Online] Disponível: <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-mundial/portugal/floresta-laurissilva-da-madeira/>
- [16] Comissão Nacional da UNESCO, "Floresta Laurissilva da Madeira"; [Online] Disponível: <https://unescoportugal.mne.gov.pt/pt/temas/proteger-o-nosso-patrimonio-e-promover-a-criatividade/patrimonio-mundial-em-portugal/floresta-laurissilva-na-madeira>
- [17] IFCN – Instituto das Florestas e Conservação da Natureza, "Laurissilva da Madeira"; [Online] Disponível: <https://ifcn.madeira.gov.pt/areas-protegidas/parque-natural-da-madeira/laurissilva-da-madeira.html>

- [18] Plano Regional de Proteção Civil da Região Autónoma da Madeira (2015), [Online] Disponível: [https://www.procivmadeira.pt/images/planeamento-de-emergencia/PREPCRAM\\_10set2015.pdf](https://www.procivmadeira.pt/images/planeamento-de-emergencia/PREPCRAM_10set2015.pdf)
- [19] Instituto Nacional de Estatística, “Estatísticas do Ambiente”, Edição 2017; [Online] Disponível: [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOESpub\\_boui=277089809&PUBLICACOESmodo=2](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=277089809&PUBLICACOESmodo=2)
- [20] QGIS Documentation, “A Gentle Introduction to GIS”; [Online] Disponível em: [https://docs.qgis.org/3.16/en/docs/gentle\\_gis\\_introduction/index.html](https://docs.qgis.org/3.16/en/docs/gentle_gis_introduction/index.html)
- [21] Cambium Networks, “LINKPlanner Easy and Accurate Link Planning Tool”, Data Sheet, 2020
- [22] Recomendação F.595-10 da ITU-R; [Online] Disponível: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.595-10-201203-I!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.595-10-201203-I!!PDF-E.pdf)
- [23] ANACOM, “Redes de ligação ponto-ponto – Faixas Superiores a 1 GHz”; [Online] Disponível: <https://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=336628>
- [24] Cambium Networks, “PTP 550 Series System Release 4.3.0.1”, User Guide, 2018
- [25] SAF Tehnika, “Integra-GS Carrier-grade microwave radio, delivering up to 1 Gbps Full Duplex”, 2017
- [26] Ubiquiti Networks, “AirFiber Full-Duplex, Point-to-Point Gigabit Radio”, Data Sheet, 2012-2017
- [27] L-com, “HyperLink Wireless 4.9 to 5.8 GHz 30 dBi Dual Polarity & X Polarized/Dual Feed Dish Antenna – Model: HG4958DP-30D”, Data Sheet
- [28] CommScope, Inc., “VHLP2-18-2WH/C”, Data Sheet, 2020
- [29] Insight Robotics, “InsightFD3 Early Wildfire Detection System”, General System Description, 2020
- [30] Insight Robotics, “InsightFD3 Early Wildfire Detection System”, Product Specifications, July 2020
- [31] A. Filippov and O. Dzhimiev, “Long Range 3D with Quadocular Thermal (LWIR) Camara”, Elphel, Inc. 1455 W. 2200 S. #205, Salt Lake City, Utah 84119 USA, Nov. 20, 2019
- [32] Wisenet Qseries, “QNP-6230H/6230”, Data Sheet, 2018 Hanwha Techwin Co., Ltd
- [33] Wisenet, “Intuitive Software”, Data Sheet ,2017 Hanwha Techwin Co., Ltd
- [34] Teltonika Networks, “RUTX09 – LTE-A CAT6 Dual-SIM Roteador”, Data Sheet, 2020
- [35] Comnet Communication Networks, “CNGE5MS”, Data Sheet ,2015
- [36] Systems Sunlight S.A.,” SPG 12V – 150Ah | VRLA GEL Battery”, Data Sheet
- [37] Systems Sunlight S.A.,” SPG 12V – 200Ah | VRLA GEL Battery”, Data Sheet
- [38] Sonali Energiees USA LLC., “Sonali Solar SS320-335 Series”, Data Sheet, 2016
- [39] Vásquez, M., Belmonte, P., Navarro, J., Cerqueira, M., Esteves, j., “Atlas da Radiação Solar do Arquipélago da Madeira”, Laboratório Regional de Engenharia Civil e Departamento de Hidráulica e Tecnologias Energéticas, Ed. 2008
- [40] Recomendação P.530-12 da ITU-R; [Online] Disponível: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-12-200702-S!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-12-200702-S!!PDF-E.pdf)
- [41] Recomendação P.837-5 da ITU-R; [Online] Disponível: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.837-5-200708-S!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.837-5-200708-S!!PDF-E.pdf)
- [42] Silicon Canals, “Internet of Trees: This German IoT start-up raises €1.8M seed funding to develop ultra-early wildfire detection system”, [Online] Disponível: <https://siliconcanals.com/news/german-environmental-iot-startup-dryad-raises-1-8m/> , October 7, 2020

[43] IoT Evolution, "LADSensores Uses LoRa and Taoglas Technology to Fight Wildfires", [Online] Disponível: <https://www.iotevolutionworld.com/iot/articles/439342-ladsensors-uses-lora-taoglas-technology-fight-wildfires.htm>, August 30, 2018





## 7 Anexos

### 7.1 Testes aos Links no Programa LINKPlanner – Memória Descritiva

#### 7.1.1 Link 1: LREC – Miradouro do Paredão

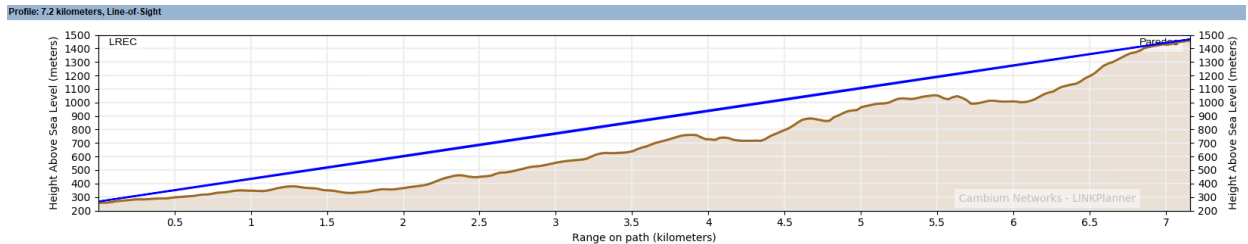


Figura 7.1 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre LREC – Miradouro do Paredão, LINKPlanner.

Configuration at Each End

Parameter	LREC	MIRADOURO DO PAREDÃO
Antenna	Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N180082D033 - Direct (39.0dBi)	Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N180082D033 - Direct (39.0dBi)
Antenna Height	10 meters (Max height at site is 10.0 m)	10 meters (Max height at site is 10.0 m)
Feeder Loss	0.5 dB	0.5 dB
Maximum EIRP	60.5 dBm <input type="checkbox"/> User limit	60.5 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Maximum Power	22.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit	22.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Tx Frequency	-- MHz <input type="button" value="Select..."/>	-- MHz <input type="button" value="Select..."/>

Figura 7.2 -Configurações em cada ponto, LINKPlanner.

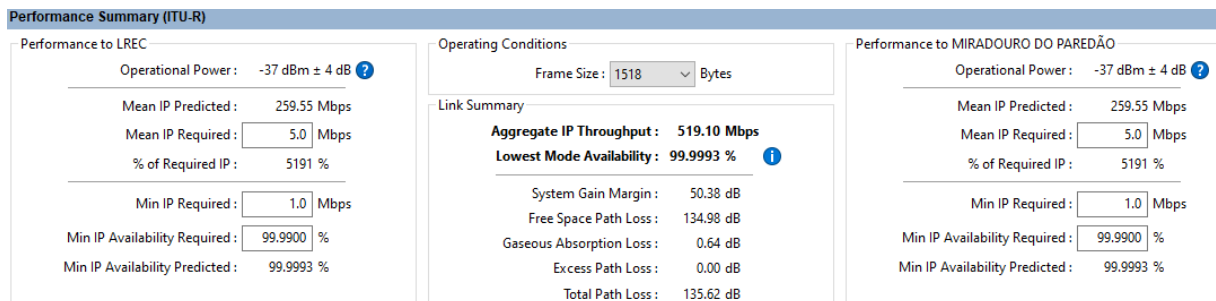


Figura 7.3 - Resumo da performance do link entre o LREC - Miradouro do Paredão, LINKPlanner.

## 7.1.2 Link 2: Paredão – Pico Ruivo do Paul

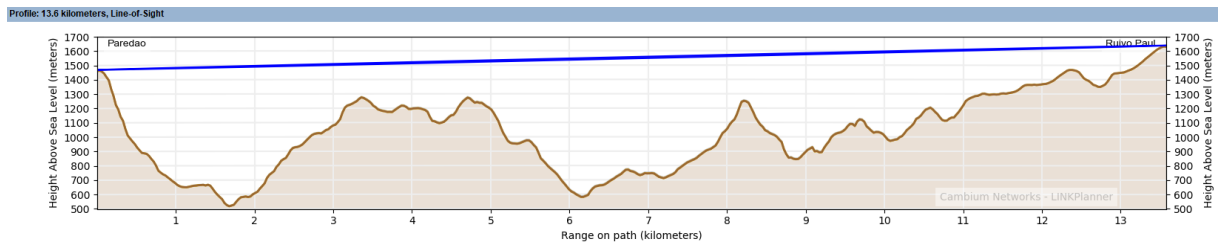


Figura 7.4 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Miradouro do Paredão – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.

Configuration at Each End	
<b>MIRADOURO DO PAREDÃO</b>	<b>PICO RUIVO PAUL</b>
Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N180082D033 - Direct (39.0dBi)	Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N180082D033 - Direct (39.0dBi)
Antenna Height: 10 meters (Max height at site is 10.0 m)	Antenna Height: 10 meters (Max height at site is 10.0 m)
Feeder Loss: 0.5 dB	Feeder Loss: 0.5 dB
Maximum EIRP: 60.5 dBm <input type="checkbox"/> User limit	Maximum EIRP: 60.5 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Maximum Power: 22.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit	Maximum Power: 22.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Tx Frequency: -- MHz <input type="button" value="Select..."/>	Tx Frequency: -- MHz <input type="button" value="Select..."/>

Figura 7.5 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner.

Performance Summary (ITU-R)		
<b>Performance to MIRADOURO DO PAREDÃO</b>	<b>Operating Conditions</b>	<b>Performance to PICO RUIVO PAUL</b>
Operational Power: -43 dBm ± 4 dB	Frame Size: 1518 Bytes	Operational Power: -43 dBm ± 4 dB
Mean IP Predicted: 259.33 Mbps	<b>Link Summary</b>	Mean IP Predicted: 259.33 Mbps
Mean IP Required: 5.0 Mbps		Mean IP Required: 5.0 Mbps
% of Required IP: 5187 %	<b>Aggregate IP Throughput: 518.66 Mbps</b>	% of Required IP: 5187 %
Min IP Required: 1.0 Mbps	<b>Lowest Mode Availability: 99.9961 %</b>	Min IP Required: 1.0 Mbps
Min IP Availability Required: 99.9900 %	System Gain Margin: 44.25 dB	Min IP Availability Required: 99.9900 %
Min IP Availability Predicted: 99.9961 %	Free Space Path Loss: 140.54 dB	Min IP Availability Predicted: 99.9961 %
	Gaseous Absorption Loss: 1.21 dB	
	Excess Path Loss: 0.00 dB	
	Total Path Loss: 141.75 dB	

Figura 7.6 - Resumo da performance do link entre o Miradouro do Paredão – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.

### 7.1.3 Link 3: Pico Gordo - Pico Ruivo do Paul

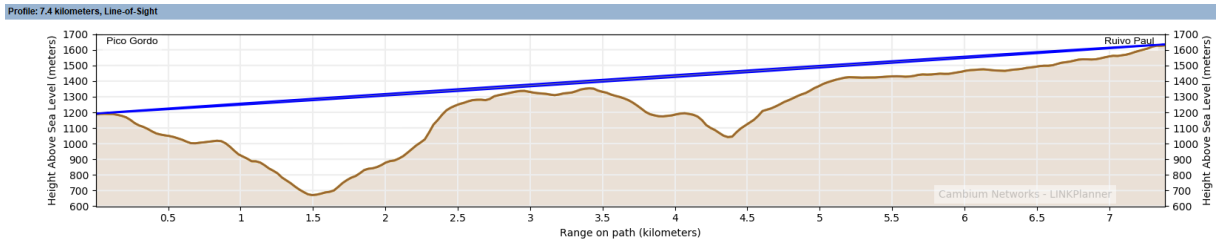


Figura 7.7 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Pico Gordo – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.

Configuration at Each End	
<b>Pico Gordo</b> Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508 (29.2dBi) Antenna Height: <input type="text" value="10"/> meters (Max height at site is 10.0 m) Spatial Diversity: <input type="checkbox"/> Cable Loss: <input type="text" value="1.0"/> dB <input type="checkbox"/> Calculate Maximum EIRP: 35.2 dBm <input type="checkbox"/> User limit Maximum Power: 7.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit	<b>Ruivo Paul</b> Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508 (29.2dBi) Antenna Height: <input type="text" value="10"/> meters (Max height at site is 10.0 m) Spatial Diversity: <input type="checkbox"/> Cable Loss: <input type="text" value="1.0"/> dB <input type="checkbox"/> Calculate Maximum EIRP: 35.2 dBm <input type="checkbox"/> User limit Maximum Power: 7.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit

Figura 7.8 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner.

Performance Summary (ITU-R)		
<b>Performance to PICO GORDO</b> Predicted Receive Power: -62 dBm ± 5 dB Mean IP Predicted: 171.44 Mbps Mean IP Required: <input type="text" value="5.0"/> Mbps % of Required IP: 3429 % Min IP Required: <input type="text" value="1.0"/> Mbps Min IP Availability Required: <input type="text" value="99.9900"/> % Min IP Availability Predicted: 100.0000 %	<b>Link Summary</b> Aggregate IP Throughput: <b>342.87 Mbps</b> Lowest Mode Availability: <b>100.0000 %</b> System Gain Margin: 27.07 dB Free Space Path Loss: 125.08 dB Gaseous Absorption Loss: 0.08 dB Excess Path Loss: 0.00 dB Total Path Loss: 125.16 dB	<b>Performance to PICO RUIVO PAUL</b> Predicted Receive Power: -62 dBm ± 5 dB Mean IP Predicted: 171.44 Mbps Mean IP Required: <input type="text" value="5.0"/> Mbps % of Required IP: 3429 % Min IP Required: <input type="text" value="1.0"/> Mbps Min IP Availability Required: <input type="text" value="99.9900"/> % Min IP Availability Predicted: 100.0000 %

Figura 7.9 - Resumo da performance do link entre o Pico Gordo – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.

### 7.1.4 Link 4: Loiral – Pico Ruivo do Paul

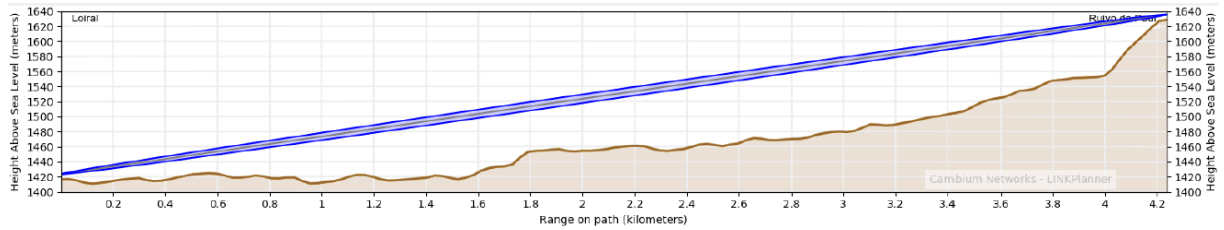


Figura 7.10 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Loiral – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.

Configuration at Each End	
<b>LOIRAL</b>	<b>PICO RUIVO PAUL</b>
Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508 (29.2dBi)	Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508 (29.2dBi)
Antenna Height: 10 meters (Max height at site is 10.0 m)	Antenna Height: 10 meters (Max height at site is 10.0 m)
Spatial Diversity: <input type="checkbox"/>	Spatial Diversity: <input type="checkbox"/>
Cable Loss: 1.0 dB <input type="checkbox"/> Calculate	Cable Loss: 1.0 dB <input type="checkbox"/> Calculate
Maximum EIRP: 35.2 dBm <input type="checkbox"/> User limit	Maximum EIRP: 35.2 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Maximum Power: 7.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit	Maximum Power: 7.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit

Figura 7.11 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner.

Performance Summary (ITU-R)		
<b>Performance to LOIRAL</b>	<b>Link Summary</b>	<b>Performance to PICO RUIVO PAUL</b>
Predicted Receive Power: -59 dBm ± 5 dB	<b>Aggregate IP Throughput: 391.38 Mbps</b>	Predicted Receive Power: -59 dBm ± 5 dB
Mean IP Predicted: 195.69 Mbps	<b>Lowest Mode Availability: 100.0000 %</b>	Mean IP Predicted: 195.69 Mbps
Mean IP Required: 5.0 Mbps	System Gain Margin: 29.64 dB	Mean IP Required: 5.0 Mbps
% of Required IP: 3914 %	Free Space Path Loss: 122.53 dB	% of Required IP: 3914 %
Min IP Required: 1.0 Mbps	Gaseous Absorption Loss: 0.06 dB	Min IP Required: 1.0 Mbps
Min IP Availability Required: 99.9900 %	Excess Path Loss: 0.00 dB	Min IP Availability Required: 99.9900 %
Min IP Availability Predicted: 100.0000 %	Total Path Loss: 122.59 dB	Min IP Availability Predicted: 100.0000 %

Figura 7.12 - Resumo da performance do link entre o Loiral – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.

## 7.1.5 Link 5: Rabaçal – Pico Ruivo do Paul

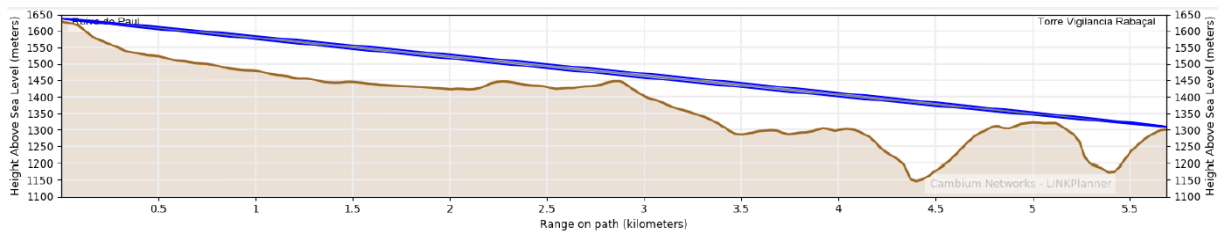


Figura 7.13 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Rabaçal– Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.

Configuration at Each End	
<b>RABAÇAL</b>	<b>PICO RUIVO PAUL</b>
Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508 (29.2dBi)	Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508 (29.2dBi)
Antenna Height: 10 meters (Max height at site is 10.0 m)	Antenna Height: 10 meters (Max height at site is 10.0 m)
Spatial Diversity: <input type="checkbox"/>	Spatial Diversity: <input type="checkbox"/>
Cable Loss: 1.0 dB <input type="checkbox"/> Calculate	Cable Loss: 1.0 dB <input type="checkbox"/> Calculate
Maximum EIRP: 35.2 dBm <input type="checkbox"/> User limit	Maximum EIRP: 35.2 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Maximum Power: 7.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit	Maximum Power: 7.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit

Figura 7.14 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner.

Performance Summary (ITU-R)		
<b>Performance to RABAÇAL</b>	<b>Link Summary</b>	<b>Performance to PICO RUIVO PAUL</b>
Predicted Receive Power: -59 dBm ± 5 dB	<b>Aggregate IP Throughput: 394.18 Mbps</b>	Predicted Receive Power: -59 dBm ± 5 dB
Mean IP Predicted: 197.09 Mbps	<b>Lowest Mode Availability: 100.0000 %</b>	Mean IP Predicted: 197.09 Mbps
Mean IP Required: 5.0 Mbps	System Gain Margin: 29.82 dB	Mean IP Required: 5.0 Mbps
% of Required IP: 3942 %	Free Space Path Loss: 122.35 dB	% of Required IP: 3942 %
Min IP Required: 1.0 Mbps	Gaseous Absorption Loss: 0.05 dB	Min IP Required: 1.0 Mbps
Min IP Availability Required: 99.9900 %	Excess Path Loss: 0.00 dB	Min IP Availability Required: 99.9900 %
Min IP Availability Predicted: 100.0000 %	Total Path Loss: 122.41 dB	Min IP Availability Predicted: 100.0000 %

Figura 7.15 - Resumo da performance do link entre o Rabaçal – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.

## 7.1.6 Link 6: Cabeço da Pedreira – Pico Ruivo do Paul

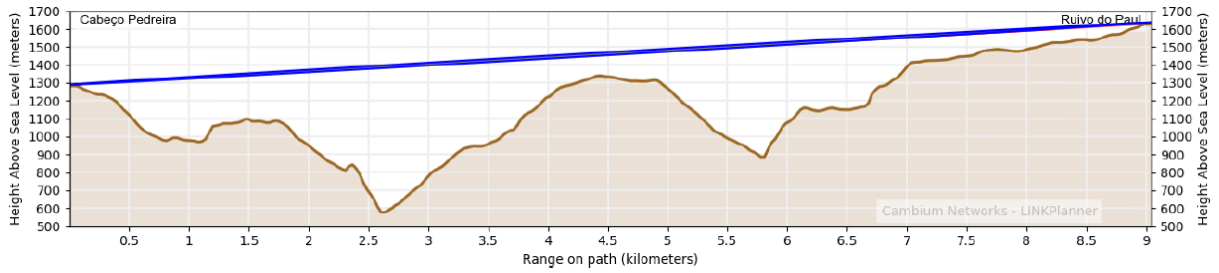


Figura 7.16 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Cabeço da Pedreira – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.

Configuration at Each End	
<b>C. PEDREIRA</b>	<b>PICO RUIVO PAUL</b>
Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N180082D033 - Direct (39.0dBi)	Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N180082D033 - Direct (39.0dBi)
Antenna Height: 10 meters (Max height at site is 10.0 m)	Antenna Height: 10 meters (Max height at site is 10.0 m)
Feeder Loss: 0.5 dB	Feeder Loss: 0.5 dB
Maximum EIRP: 60.5 dBm <input type="checkbox"/> User limit	Maximum EIRP: 60.5 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Maximum Power: 22.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit	Maximum Power: 22.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Tx Frequency: -- MHz <input type="button" value="Select..."/>	Tx Frequency: -- MHz <input type="button" value="Select..."/>

Figura 7.17 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner.

Performance Summary (ITU-R)		
<b>Performance to C. PEDREIRA</b>	<b>Operating Conditions</b>	<b>Performance to PICO RUIVO PAUL</b>
Operational Power: -39 dBm ± 4 dB	Frame Size: 1518 Bytes	Operational Power: -39 dBm ± 4 dB
Mean IP Predicted: 259.52 Mbps	Link Summary	Mean IP Predicted: 259.52 Mbps
Mean IP Required: 5.0 Mbps	<b>Aggregate IP Throughput: 519.04 Mbps</b>	Mean IP Required: 5.0 Mbps
% of Required IP: 5190 %	<b>Lowest Mode Availability: 99.9986 %</b>	% of Required IP: 5190 %
Min IP Required: 1.0 Mbps	System Gain Margin: 48.18 dB	Min IP Required: 1.0 Mbps
Min IP Availability Required: 99.9900 %	Free Space Path Loss: 137.01 dB	Min IP Availability Required: 99.9900 %
Min IP Availability Predicted: 99.9986 %	Gaseous Absorption Loss: 0.81 dB	Min IP Availability Predicted: 99.9986 %
	Excess Path Loss: 0.00 dB	
	Total Path Loss: 137.82 dB	

Figura 7.18 - Resumo da performance do link entre o Cabeço da Pedreira– Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.

## 7.1.7 Link 7: Fonte do Bispo – Cabeço da Pedreira

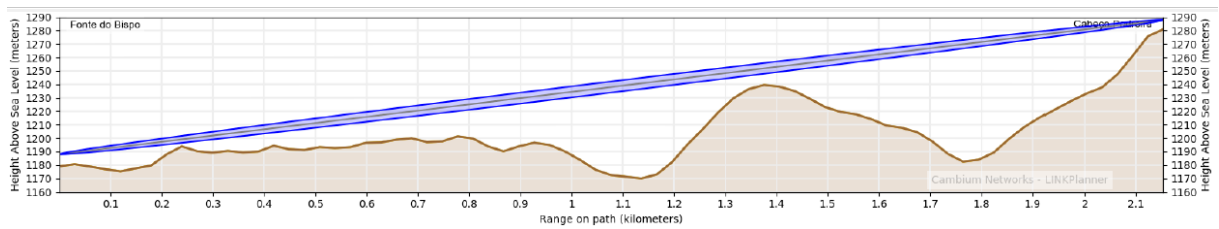


Figura 7.19 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Fonte do Bispo - Cabeço da Pedreira, LINKPlanner.

Configuration at Each End	
<b>F. BISPO</b> Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508 (29.2dBi) Antenna Height: <input type="text" value="10"/> meters (Max height at site is 10.0 m) Spatial Diversity: <input type="checkbox"/> Cable Loss: <input type="text" value="1.0"/> dB <input type="checkbox"/> Calculate Maximum EIRP: 32.2 dBm <input type="checkbox"/> User limit Maximum Power: 4.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit	<b>C. PEDREIRA</b> Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508 (29.2dBi) Antenna Height: <input type="text" value="10"/> meters (Max height at site is 10.0 m) Spatial Diversity: <input type="checkbox"/> Cable Loss: <input type="text" value="1.0"/> dB <input type="checkbox"/> Calculate Maximum EIRP: 32.2 dBm <input type="checkbox"/> User limit Maximum Power: 4.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit

Figura 7.20 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner.

Performance Summary (ITU-R)		
<b>Performance to F. BISPO</b> Predicted Receive Power: -52 dBm ± 5 dB Mean IP Predicted: 201.95 Mbps Mean IP Required: <input type="text" value="5.0"/> Mbps % of Required IP: 4039 % Min IP Required: <input type="text" value="1.0"/> Mbps Min IP Availability Required: <input type="text" value="99.9900"/> % Min IP Availability Predicted: 100.0000 %	<b>Link Summary</b> Aggregate IP Throughput: <b>403.91 Mbps</b> Lowest Mode Availability: <b>100.0000 %</b> System Gain Margin: 37.24 dB Free Space Path Loss: 111.97 dB Gaseous Absorption Loss: 0.02 dB Excess Path Loss: 0.00 dB Total Path Loss: 111.99 dB	<b>Performance to C. PEDREIRA</b> Predicted Receive Power: -52 dBm ± 5 dB Mean IP Predicted: 201.95 Mbps Mean IP Required: <input type="text" value="5.0"/> Mbps % of Required IP: 4039 % Min IP Required: <input type="text" value="1.0"/> Mbps Min IP Availability Required: <input type="text" value="99.9900"/> % Min IP Availability Predicted: 100.0000 %

Figura 7.21 - Resumo da performance do link entre o Fonte do Bispo - Cabeço da Pedreira, LINKPlanner.

## 7.1.8 Link 8: Pico Alto da Ponta do Pargo – Fonte do Bispo

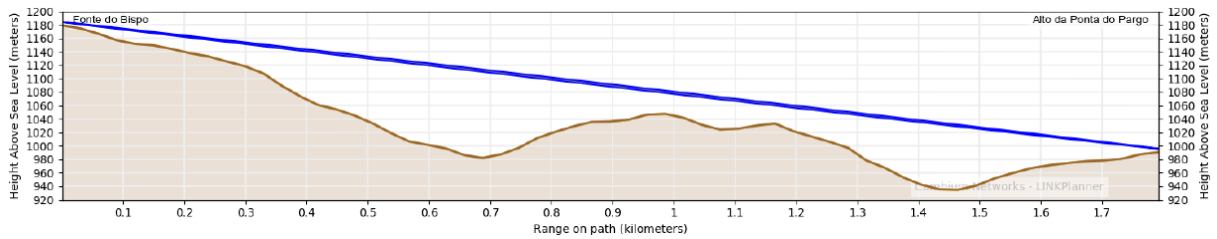


Figura 7.22 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Fonte do Bispo – Pico Alto da Ponta do Pargo, LINKPlanner.

Configuration at Each End	
<b>ALTO PONTA DO PARGO</b>	<b>F. BISPO</b>
Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N260082D019 - Direct (40.9dBi)	Cambium Networks 2ft Single Pol (Global) N260082D019 - Direct (40.9dBi)
Antenna Height : 10 meters (Max height at site is 10.0 m)	Antenna Height : 10 meters (Max height at site is 10.0 m)
Feeder Loss : 0.5 dB	Feeder Loss : 0.5 dB
Maximum EIRP : 19.4 dBm <input checked="" type="checkbox"/> User limit 20.0 dBm	Maximum EIRP : 19.4 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Maximum Power : -21.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit	Maximum Power : -21.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Tx Frequency : -- MHz <input type="button" value="Select..."/>	Tx Frequency : -- MHz <input type="button" value="Select..."/>

Figura 7.23 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner.

Performance Summary (ITU-R)		
<b>Performance to ALTO PONTA DO PARGO</b>	<b>Operating Conditions</b>	<b>Performance to F. BISPO</b>
Predicted Receive Power : -66 dBm ± 4 dB	Frame Size : 1518 Bytes	Predicted Receive Power : -66 dBm ± 4 dB
Mean IP Predicted : 227.29 Mbps	Link Summary	Mean IP Predicted : 227.29 Mbps
Mean IP Required : 5.0 Mbps	<b>Aggregate IP Throughput : 454.59 Mbps</b>	Mean IP Required : 5.0 Mbps
% of Required IP : 4546 %	<b>Lowest Mode Availability : 99.9972 %</b>	% of Required IP : 4546 %
Min IP Required : 1.0 Mbps	System Gain Margin : 16.36 dB	Min IP Required : 1.0 Mbps
Min IP Availability Required : 99.9900 %	Free Space Path Loss : 125.59 dB	Min IP Availability Required : 99.9900 %
Min IP Availability Predicted : 99.9972 %	Gaseous Absorption Loss : 0.39 dB	Min IP Availability Predicted : 99.9972 %
	Excess Path Loss : 0.00 dB	
	Total Path Loss : 125.98 dB	

Figura 7.24 - Resumo da performance do link entre o Pico Alto da Ponta do Pargo – Fonte do Bispo, LINKPlanner.



### 7.1.9 Link 9: Casa do Elias – Pico Ruivo do Paul

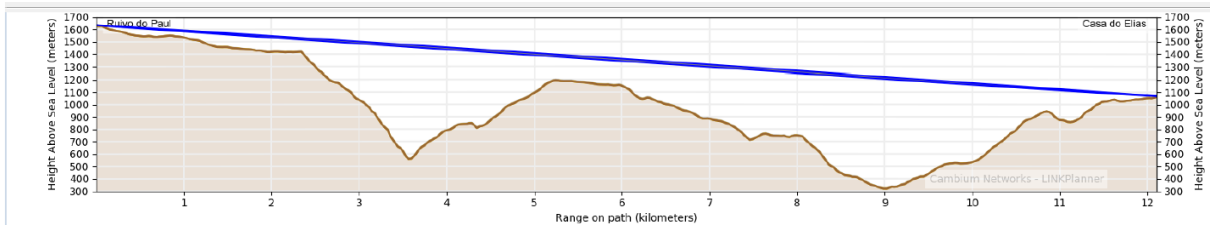


Figura 7.25 - Análise da linha de vista e desobstrução do primeiro Elipsoide de Fresnel no link entre Casa do Elias – Pico Ruivo do Paul, LINKPlanner.

Configuration at Each End	
<b>CASA DO ELIAS</b>	<b>PICO RUIVO PAUL</b>
Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508 (29.2dBi)	Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508 (29.2dBi)
Antenna Height : 10 meters (Max height at site is 10.0 m)	Antenna Height : 10 meters (Max height at site is 10.0 m)
Spatial Diversity : <input type="checkbox"/>	Spatial Diversity : <input type="checkbox"/>
Cable Loss : 1.0 dB <input type="checkbox"/> Calculate	Cable Loss : 1.0 dB <input type="checkbox"/> Calculate
Maximum EIRP : 35.2 dBm <input type="checkbox"/> User limit	Maximum EIRP : 35.2 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Maximum Power : 7.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit	Maximum Power : 7.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit

Figura 7.26 - Configurações em cada ponto, LINKPlanner.

Performance Summary (ITU-R)		
<b>Performance to CASA DO ELIAS</b>	<b>Link Summary</b>	<b>Performance to PICO RUIVO PAUL</b>
Predicted Receive Power : -66 dBm ± 5 dB	<b>Aggregate IP Throughput : 275.91 Mbps</b>	Predicted Receive Power : -66 dBm ± 5 dB
Mean IP Predicted : 137.95 Mbps	<b>Lowest Mode Availability : 99.9998 %</b>	Mean IP Predicted : 137.95 Mbps
Mean IP Required : 5.0 Mbps	System Gain Margin : 23.07 dB	Mean IP Required : 5.0 Mbps
% of Required IP : 2759 %	Free Space Path Loss : 129.04 dB	% of Required IP : 2759 %
Min IP Required : 1.0 Mbps	Gaseous Absorption Loss : 0.12 dB	Min IP Required : 1.0 Mbps
Min IP Availability Required : 99.9900 %	Excess Path Loss : 0.00 dB	Min IP Availability Required : 99.9900 %
Min IP Availability Predicted : 99.9998 %	Total Path Loss : 129.16 dB	Min IP Availability Predicted : 99.9998 %

Figura 7.27 - Resumo da performance do link entre o Casa do Elias – Pico Ruivo do Paul LINKPlanner.

