

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**



JOÃO PAULO FAVERO

**RÁDIO ENLACE, UMA PROPOSTA PARA TRANSMISSÃO
DE DADOS DE MONITORAMENTO DOS SÍTIOS DO
CORPO DE BOMBEIRO MILITARES DO ESPÍRITO SANTO**

VITÓRIA – ES
JULHO /2019

JOÃO PAULO FAVERO

**RÁDIO ENLACE, UMA PROPOSTA PARA TRANSMISSÃO DE
DADOS DE MONITORAMENTO DOS SÍTIOS DO CORPO DE
BOMBEIRO MILITARES DO ESPÍRITO SANTO**

Parte manuscrita da Proposta de Projeto de Graduação do aluno João Paulo Favero, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para aprovação na disciplina “ELE08552 – Projeto de Graduação 2”.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo E. V. Segatto

VITÓRIA – ES
JULHO/2019

JOÃO PAULO FAVERO

**RÁDIO ENLACE, UMA PROPOSTA PARA TRANSMISSÃO DE DADOS
DE MONITORAMENTO DOS SÍTIOS DO CORPO DE BOMBEIRO
MILITARES DO ESPÍRITO SANTO**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **João Paulo Favero**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 19, de julho de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo E. V. Segatto
Departamento de Engenharia Elétrica - UFES
Orientador

Prof. Dr. Jair Adriano Lima Silva
Departamento de Engenharia Elétrica - UFES
Examinador

Eng. David Justo Santos
Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Espírito Santo
Examinador

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que me deu de presente o dom da vida e o talento da ciência. E a minha família pais e irmãos, que entenderam os momentos de ausência e foram meus alicerces nos momentos de dificuldade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador deste trabalho Prof. Dr. Marcelo E. V. Segatto e aos professores, colegas e funcionários do LabTel, que prontamente ajudaram direta e indiretamente na idealização deste trabalho.

Agradeço também a Sessão de Rádio Comunicação do Corpo de Bombeiros Militares do Espírito Santo, que veemente apoiaram o projeto e nos deram todo apoio técnico necessário, para instalações dos equipamentos utilizados neste trabalho.

Por último agradeço aos colegas e amigos, que conheci durante a jornada do curso, pela parceria nas incansáveis noites de estudos e o apoio nos momentos de dificuldade que fizeram parte do currículo deste curso.

RESUMO

Atualmente a internet das coisas (IoT), torna-se presente cada dia mais na rotina das pessoas, seja nos equipamentos eletrônicos pessoais ou nos de trabalho. Devido ao desenvolvimento tecnológico atual, é possível monitorar e automatizar praticamente todos os sistemas de uma residência ou uma empresa. Tendo em vista o que a tecnologia nos oferece hoje, o Corpo de Bombeiros Militares do Espírito Santo (CBMES) começou a observar a possibilidade de implantação de sistema de automação baseado em IoT, para os Sítios Repetidores do Sistema de Rádio da Corporação. A implantação desse sistema de automação garantiria a melhor confiabilidade das repetidoras, visto que a Sessão de Rádio Comunicação da Corporação passaria a ter acesso remoto aos sítios em tempo real garantindo o perfeito funcionamento e estabilidade das repetidoras. Porém, para o sistema funcionar em tempo real, há necessidade de um link de dados estável e confiável, para prover a comunicação do sistema de automação com o sistema supervisor. Com intuito de resolver esse problema, este trabalho avalia de forma teórica e prática, a utilização de rádios que operam em caráter secundário, isto é, frequência não licenciada para implantação de enlaces de dados de monitoramento dos sítios repetidores do CBMES. Foram realizadas simulações teóricas na implantação de um enlace para teste da tecnologia, posteriormente, com o estabelecimento do enlace através dos dados obtidos pelo programa de gerência dos rádios, foi possível comprovar na prática que os resultados computacionais foram próximos dos simulados, garantindo a confiabilidade das simulações. Isto comprovou que a tecnologia pode ser uma solução ao problema de telecomunicações enfrentado pelo CBMES na implantação do sistema de automação dos sítios repetidores.

Palavras Chaves: Rádio Enlace; Simulação de Rádio Enlace; Radio Mobile; Frequência não Licenciada;

ABSTRACT

Nowadays, the internet of things (IoT), has become evermore present to the everyday life, that is, to people's personal and work electronic gadgets. Due to the current development of electronics, it's possible to monitor and automate virtually all systems of any household or company. Bearing in mind what technology can provide us today, the Espírito Santo Military Fire Brigade (CBMES) started looking into the possibility of the implementation of an IoT-based automation system for the Repeater Base Stations of the Corporation's Radio System. The implementation of such automation system could improve the reliability of the repeaters, once the Corporation's Radio Communication Department would gain the capability of real-time remote control, ensuring the perfect operation and stability of the repeaters. However, for the system to operate in real time, a stable and reliable data link is required to provide communication between the automation system and the supervisory system. In order to accomplish such requirement, the current work evaluates, in a theoretical and practical analysis, the use of radios operating in secondary character, meaning unlicensed frequency band, for implementation of data links for monitoring CBMES' Repeater Base Stations. In such fashion, Theoretical Simulations were executed, for the implementation of a link for testing the technology, with a later in-situ implementation of the link. Through the data obtained by the radio management program, it was possible to prove in practice that the computational results were quite close to those simulated, ensuring reliability of the simulations and demonstrating that such technology, can be a solution to the CBMES' problem in the implementation of the automation system for the Repeater Base Stations.

Keywords: Radio Link; Radio Link Simulation; Mobile Radio; Unlicensed frequency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de Comunicação Rádios CBMES	12
Figura 2 – Localização dos sítios repetidores do CBMES	13
Figura 3 – Diagrama de irradiação horizontal antena parabólica 5.8 GHz	20
Figura 4 – Exemplo simulação rádio enlace no programa Rádio Mobile	21
Figura 5 – Exemplo do Elipsoide de Fresnel.....	22
Figura 6 – Sítios Repetidores prioritários	23
Figura 7 – Enlace CT6 UFES - Jaburuna	24
Figura 8 – Simulação airLink, enlace CT6 – Jaburuna	26
Figura 9 – Rádio Mobile Parâmetros do enlace UFES - Jaburuna	27
Figura 10 – Rádio Mobile Topologia do enlace UFES - Jaburuna	28
Figura 11 – Rádio Mobile Membros do enlace UFES - Jaburuna.....	28
Figura 12 – Rádio Mobile Sistemas do enlace UFES - Jaburuna.....	29
Figura 13 – Comparação do diagrama de irradiação antena do Rádio Mobile com a Folha de dados do Rádio PBE 5AC 400	29
Figura 14 – Resultado da simulação pelo programa Rádio Mobile enlace UFES - Jaburuna	30
Figura 15 – Torre autoportante do prédio CT6 - UFES.....	32
Figura 16 – Suporte para instalação do rádio no CT6-UFES	33
Figura 17 – Detalhe da instalação do rádio no CT6 -UFES	34
Figura 18 - Torre Jaburuna Vila Velha.....	35
Figura 19 – Instalação Rádio Torre Jaburuna.....	35
Figura 20 – Espectro de Frequência Torre de Jaburuna	36
Figura 21 – Espectro de Frequência Torre do CT6 - UFES	37
Figura 22 – Janela de configuração dos parâmetros de rede sem fio do rádio	37
Figura 23 – Tela de supervisão dos dados de operação do rádio instalado no CT6 -UFES...	38
Figura 24 – Diagramas de constelação do rádio instalado no CT6 -UFES	40
Figura 25 – Torre autoportante que causa interferência da linha de visada.	42
Figura 26 – Simulação dos Enlace CBMES	43
Figura 27 – Simulação Enlace Quartel CBMES - torre de Fonte Grande	44
Figura 28 – Simulação torre de Fonte Grande – torre de Jaburuna	44
Figura 29 – Simulação torre de Jaburuna - torre de Goiapabaçu (Fundão).....	45
Figura 30 – Simulação torre de Jaburuna – torre Vovó Tereza (Marechal Floriano).....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixas de Frequência	17
Tabela 2 – Dados Enlace UFES - Jaburuna.....	25
Tabela 3 – Resultados da Simulação programa airLink	26
Tabela 4 – Principais resultados da Simulação programa Rádio Mobile	30
Tabela 5 – Comparação dos valores de potência no rádio receptor	31
Tabela 6 – Resultados Práticos	40
Tabela 7 – Comparação resultados experimentais com os simulados e teóricos	41
Tabela 8 – Levantamento dos custos para implantação dos enlaces CBMES.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ERB	Estação Rádio Base
RF	Rádio Frequência
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
LabTel	Laboratório de Telecomunicações da UFES
CBMES	Corpo de Bombeiros Militares do Espírito Santo
COBOM	Centro de Operações de Bombeiros
HT's	Rádio portátil de uso individual dos soldados
VHF	Frequência Muito Alta
UHF	Frequência Ultra Alta
SHF	Frequência Super Alta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	JUSTIFICATIVA.....	12
3	OBJETIVO	15
	3.1 Objetivo Geral	15
	Objetivos Específicos	15
4	EMBASAMENTO TEÓRICO	16
	4.1 Espectro de Rádio Frequência	16
	4.2 Propagação em espaço livre	18
	4.3 Antenas	20
	4.4 Programas de Simulação de Rádio Enlace	21
5	METODOLOGIA E SIMULAÇÃO	23
	5.1 Análise Teórica do Projeto do Enlace Proposto	24
	5.2 Simulações do rádio enlace utilizando o programa airLink UBIQUITI	25
	5.3 Simulações do rádio enlace utilizando o programa Radio Mobile.....	27
	5.4 Comparação dos resultados simulados	31
6	IMPLANTAÇÃO DO ENLACE UFES – JABURUNA	32
	6.1 Implantação do Enlace	32
	6.1.1 Primeira fase: Instalação do rádio na Torre do CT6 - UFES	32
	6.1.2 Segunda fase: Instalação do rádio na Torre de Jaburuna (Vila Velha)	34
	6.2 Gerência do Rádio implantado	36
	6.2.1 Configurações do Rádio.	36
	6.2.2 Avaliação da estabilidade do enlace.....	38
	6.3 Resultados práticos.	40
	6.4 Comparação dos resultados experimentais com os teóricos.....	41
7	PROJETO DOS ENLACES PARA CBMES.....	43
	7.1 Simulação	43
	7.2 Estimativa de custo de implantação do sistema rádio enlace para CBMES.....	46
8	CONCLUSÕES	47
9	REFERÊNCIAS	48
	ANEXO A – FOLHA DE DADOS RÁDIO PBE 5AC 400	50
	ANEXO B – FOLHA DE DADOS RADIO PBE 5AC 620	52

1 INTRODUÇÃO

O Corpo de Bombeiros Militares do Espírito Santo (CBMES) atua em todo o território do Estado do Espírito Santo executando diversas atividades, tais como a prevenção e combate à incêndio, atividades de defesa civil, perícias nos locais em que houveram incêndios e explosões, busca e salvamento, controle de tráfego de embarcações próximos às praias e a elaboração de normas de segurança contra incêndios e pânico e sua respectiva fiscalização (1).

Como qualquer outra organização, os meios de telecomunicações são de extrema importância para que as equipes possam operar de forma organizada e em sintonia com as diversas frentes de trabalho. Atualmente as redes de telefonia celular, junto com os aplicativos de mensagens como por exemplo o Whatsapp e o Telegram, agilizam o trabalho das equipes de campo, pois é estabelecido um canal de comunicação que oferece suporte de áudio e vídeo. Contudo em momentos de crises, ou pela localização geográfica da missão, ou ainda pela complexidade da missão as redes de telefonia celular, não conseguem atender as equipes, logo o sistema de rádio comunicação militar torna-se a ferramenta de comunicação mais importante e eficaz.

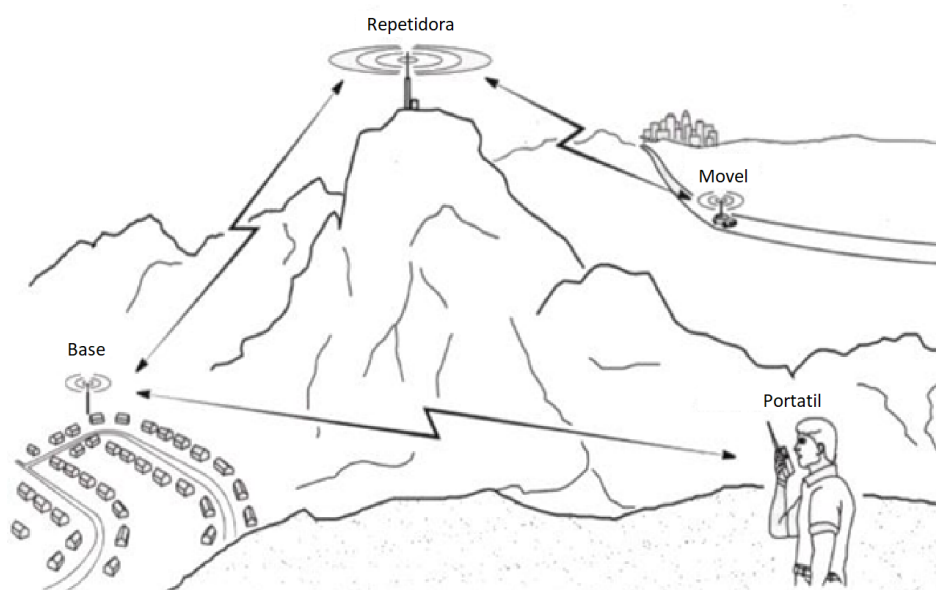
Como exemplo da importância do sistema de rádio comunicação podemos citar o cenário de combate a incêndio, ambiental ou em edificações, sendo necessário o acesso a locais de risco como espaços confinados e afins. Nesse caso, é de extrema importância a comunicação em tempo real da equipe combatente com o comandante da missão, visando em primeiro lugar a segurança da equipe e posteriormente sucesso da missão. Caso não ocorra uma comunicação satisfatória, a segurança de toda a equipe é posta em risco, logo a missão não será completada com sucesso, com a possibilidade de perda vidas e patrimônios (2).

Assim, para a segurança da equipe e sucesso da missão a comunicação deve ocorrer com intensa interação, deve ser nítida de forma a não haver a incorreta compreensão de uma instrução, levando-se a concluir que o sistema de rádio comunicação para Corpo de Bombeiros deve ser robusto, com boa qualidade de áudio e garantir que a comunicação não sofra falhas.

2 JUSTIFICATIVA

O sistema de rádios de comunicação do CBMES é composto pelos rádios portáteis de uso individual dos soldados (HT's), pelos rádios móveis instalados nas viaturas e os rádios fixos instalados em bancadas normalmente encontrados no Centro de Operação de Bombeiros (COBOM) de uma determinada unidade, e por último as repetidoras, conforme pode-se observar na Figura 1 a seguir:

Figura 1 – Esquema de Comunicação Rádios CBMES



Fonte: Site hamslife.com/606/

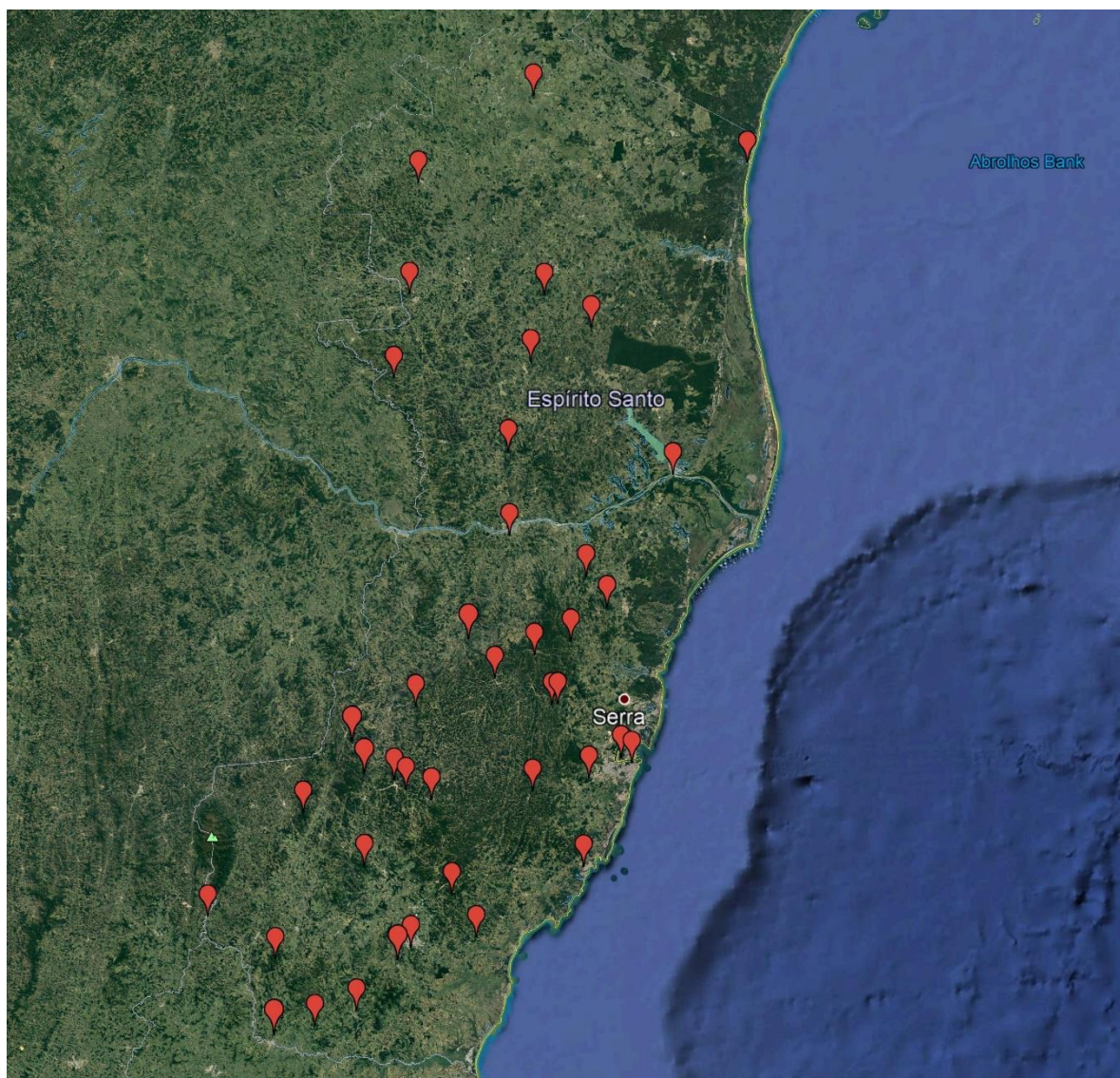
As repetidoras ou sítios repetidores, foco deste trabalho, são compostas por um pequeno abrigo em alvenaria ou um contêiner no qual são instalados os equipamentos ativos da repetidora, como por exemplo fontes de alimentação, baterias de *back-up* para falta de energia elétrica e os equipamento de RF da repetidora. Próximo ao abrigo, é instalada uma torre em estrutura metálica, que pode ser do tipo autoportante ou estaiada para instalação das antenas. De forma que a irradiação da repetidora cubra a maior área possível do município, o conjunto é instalado no topo dos morros mais altos de cada município, onde o CBMES possui instalações, conforme apresentado na Figura 1.

O sistema de rádio comunicação do CBMES opera em duas situações ponto a ponto, rádio com rádio em pequenas distâncias e com poucas barreiras, ou via repetidora, maioria dos casos, o que faz com que o sítio repetidor seja de crucial importância para a comunicação da corporação.

O sítio repetidor é responsável por receber o sinal de um rádio e retransmitir o mesmo para rádios que estejam localizados em outras regiões. As repetidoras têm ainda a função repetir o sinal de outra repetidora, assim um rádio conectado a uma repetidora no sul do estado consegue-se comunicar com um rádio no norte do estado, pois as repetidoras vão propagando o sinal de uma para outra até chegar ao rádio de destino.

De forma a garantir a cobertura do sinal de rádio em grande parte do território do Espírito Santo, o CBMES possui instalados em diversos locais estratégicos os sítios repetidores conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Localização dos sítios repetidores do CBMES



Fonte: Produção própria do autor, via programa Google Earth

Como já visto, os sítios repetidores são de extrema importância para comunicação via rádio da corporação. Logo, nos últimos tempos vem-se observando a necessidade de monitoramento de dados dos sítios repetidores, como por exemplo estabilidade do fornecimento de energia elétrica, temperatura e umidade do abrigo dos ativos, tensão e corrente elétrica das baterias de *back-up*, vídeo monitoramento e sistema de alarme em locais onde há a possibilidade de vandalismo.

Com o monitoramento desses dados em tempo real, a Sessão de Radiocomunicação do CBMES, conseguirá otimizar os planos de manutenção preventiva dos sítios, pois terão como acompanhar os dados em tempo real essa otimização é de relevância importância para a Sessão, pois como pode-se observa na Figura 2, os sítios repetidores estão em sua maioria localizados em locais de difícil acesso.

Para que seja possível a implantação de um sistema de monitoramento de dados dos Sítios Repetidores, se faz necessário a conexão do sistema com uma rede de dados, seja ela intranet ou internet. Pensando em rede de internet duas possibilidades são observadas, que são rede de dados 3G/4G das telefonias móveis ou internet via satélite. Porém, essas soluções geram custos contratuais ao CBMES, onde para cada sítio repetidor será necessário realizar um contrato de fornecimento de internet, e cada contrato terá suas particularidades. Logo a gerência de todos esses contratos torna-se uma tarefa burocrática que demandará um profissional específico a cuidar das mesmas.

Como uma solução alternativa aos links de internet, neste trabalho faz-se um estudo de caso para avaliar a viabilidade técnica de implantação de enlace de dados próprio, por meio da tecnologia de rádio enlace, utilizando rádios não licenciados que operam na faixa de frequência de 5,8 [GHz]. Os rádios utilizados neste trabalho são homologados na Anatel e se destacam pela sua extrema robustez, simplicidade de configuração e instalação e ótimo custo benefício. Vale ressaltar que os resultados obtidos neste trabalho, também se aplicam a rádios licenciados, logo, caso o CBMES necessite de links troncos com maior confiabilidade, os rádios não licenciados podem ser substituídos por rádios licenciados.

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste no projeto e execução de um sistema de rádio enlace para transmissão de dados, utilizando rádios que operem em frequência aberta (não licenciada), com o intuito de prover ponto de rede ethernet, para conexão de sistemas de automação dos sítios repetidores do CBMES.

Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral pretende-se:

1. Realizar as simulações dos enlaces a serem implantados utilizando os programas *Radio Mobile* e *Ubiquiti airLink*;
2. Comparação dos resultados das simulações realizadas nos dois programas citados no item anterior;
3. Implantação do sistema de rádio enlace;
4. Comparação dos dados simulados com os dados reais obtidos do enlace implantado;
5. Monitoração da estabilidade do enlace projeto e implantado;

4 EMBASAMENTO TEÓRICO

O conhecimento mínimo sobre espectro de rádio frequência, o comportamento da propagação das ondas eletromagnéticas sobre a superfície da terra, se faz necessário. Para o projeto de rádio enlace é muito importante o conhecimento sobre a propagação em meios naturais, os tipos de antenas e suas aplicações conforme as faixas de frequência, os tipos de propagação e suas características, a influência da atmosfera na propagação vizinhas à superfície terrestre e influência do solo na propagação vizinhas as superfícies do solo, sendo que neste último conceito é muito importante o conhecimento sobre as Zonas de Fresnel (3).

4.1 Espectro de Rádio Frequência

Segundo a ANATEL rádio frequência é definida como:

[...] a faixa do espectro eletromagnético de 8,3 kHz a 3000 GHz, onde é possível a radiocomunicação.

O espectro de radiofrequências é um recurso limitado, constituindo-se em bem público e, conforme prevê a Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, é administrado pela Anatel. [...]

Na administração do espectro de radiofrequências são observadas as atribuições das faixas, definidas em tratados e acordos internacionais [...] anualmente, é emitido o Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil, o qual contém o detalhamento do uso das faixas de radiofrequências associadas aos diversos serviços e atividades de telecomunicações (4).

A Tabela 1, apresenta as faixas de frequência utilizadas para comunicação via rádio. Estas faixas de frequência, são classificadas e denominadas de acordo com o valor da faixa de frequência.

Tabela 1 – Faixas de Frequência

Faixa de Frequência	Comprimento de Onda	Denominação
300 Hz – 3 kHz	1000 a 100 km	ELF – Frequência Extremamente Baixa
3 kHz – 30 kHz	100 a 10 km	VLF – Frequência muito baixa
30 kHz – 300 kHz	10 a 1 km	LF – Baixa Frequência
300 kHz – 3 MHz	1000 a 100 m	MF – Média Frequência
3 MHz – 30 MHz	100 a 10 m	HF – Alta Frequência
30 MHz – 300 MHz	10 a 1 m	VHF – Frequência Muito Alta
300 MHz – 3 GHz	1 a 0,1 m	UHF – Frequência Ultra Alta
3 GHz – 30 GHz	100 a 10 mm	SHF – Frequência Super Alta
30 GHz – 300 GHz	10 a 1 mm	EHF – Frequência Extremamente Alta

Fonte: Sanches (2002, p.196)

Dentre as faixas de frequências apresentadas na Tabela 1, a Anatel, subclassifica as faixas em caráter primário e secundário. As faixas de caráter primário (frequência licenciadas) são faixas de frequência com proteção contra interferências. As faixas classificadas como caráter secundário não possuem proteção contra interferências, estas por sua vez não podem causar interferências nas faixas de caráter primário (5).

Os rádios especificados neste trabalho utilizam tecnologia conforme o padrão IEEE 802.11ac, que opera em frequências não licenciadas, ou seja, de caráter secundário. Isso torna a tecnologia interessante pois sua implantação fica mais viável economicamente, pelo fato de não se precisar pagar para utilizar um faixa de frequência de caráter primário. Por outro lado, tem-se que levar em consideração que, uma vez que se esteja utilizando equipamento que opere em caráter secundário, não se tem garantia contra a questão de interferências. Isto em um sistema de rádio enlace para prover um link de *backbone* (link principal), pode ser crucial, devido à importância dos dados que serão trafegados neste enlace.

Os rádios que serão utilizados para o enlace ponto a ponto deverão operar em frequência de 5.8 GHz, pois segundo a resolução nº 506 da ANATEL:

[...] sistemas operando na faixa 5.725-5.850 MHz e utilizados exclusivamente em aplicações ponto-a-ponto do serviço fixo podem fazer uso de antenas de transmissão com ganho direcional superior a 6 dBi sem necessidade de uma correspondente redução na potência de pico máxima na saída do transmissor [...] (6).

4.2 Propagação em espaço livre

Em um sistema de rádio enlace, o meio de transmissão é a atmosfera, essa o que pode apresentar as vantagens e desvantagens. O sistema possui como vantagens, menor custo de implantação e grande flexibilidade no momento do projeto, devido a propagação do sinal se dar pela atmosfera. Em contrapartida a faixa de espectro de frequência eficiente disponível é limitada, o que torna o sistema ineficiente quando há necessidade de link de transmissão de dados com taxas superiores a 1,5 Gbps.

Para frequências elevadas, com limite superior a faixa de VHF e as faixas subsequentes UHF e SHF, considera-se a propagação de onda direta no espaço livre, pois não se torna mais possível a refração pela ionosfera. Assim pode-se estimar a potência do sinal recebido no rádio receptor através da fórmula de Friis, a qual é apresentada a seguir (7).

$$P_R = \frac{G_T P_T A_{er}}{4 \pi r^2} \quad (1)$$

Onde: G_T é o Ganho da antenna transmissora, P_T representa a Potência transmitida
 A_{er} é área efetiva da antenna receptora e r a distância entre as antenas.

Nota-se da equação que a potência irradiada decresce com o quadrado da distância, supondo uma área constante

Ao se desconsiderar as perdas de potência da antenna receptora, pode-se considerar o ganho da antenna em função da sua diretividade logo a área efetiva da antenna receptora é dada por:

$$A_{er} = \frac{\lambda^2 G_R}{4 \pi} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3)$$

Onde λ é o comprimento de onda obtido pela frequência de operação:

Logo a Equação (1), pode ser rescrita como a seguir:

$$P_R = \frac{G_T G_R P_T \lambda^2}{(4 \pi r)^2} \quad (4)$$

Organizando a Equação (4) temos:

$$P_R = G_T G_R P_T \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (5)$$

Na Equação (5), o termo:

$$L_{fs} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2$$

representa a perda no espaço livre. Escrevendo a mesma em notação (dB) tem-se:

$$L_{fs}(dB) = -(32,44 + 20 \log r_{(km)} + 20 \log f_{(MHz)}) \quad (6)$$

Assim, rescrevendo a Equação (5), tem-se que a potência recebida no rádio receptor é dada por:

$$P_{R(dBm)} = G_{T(dBi)} + G_{R(dBi)} + P_{T(dBm)} - (32,44 + 20 \log r_{(km)} + 20 \log f_{(MHz)}) \quad (7)$$

Manipulado a Equação (4) e sabendo o menor limiar de potência que o rádio receptor pode operar, obtém-se a distância máxima de operação do conjunto de rádio escolhido para o enlace como sendo:

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{G_T G_R P_T}{P_{r_{min.}}}}, \quad (8)$$

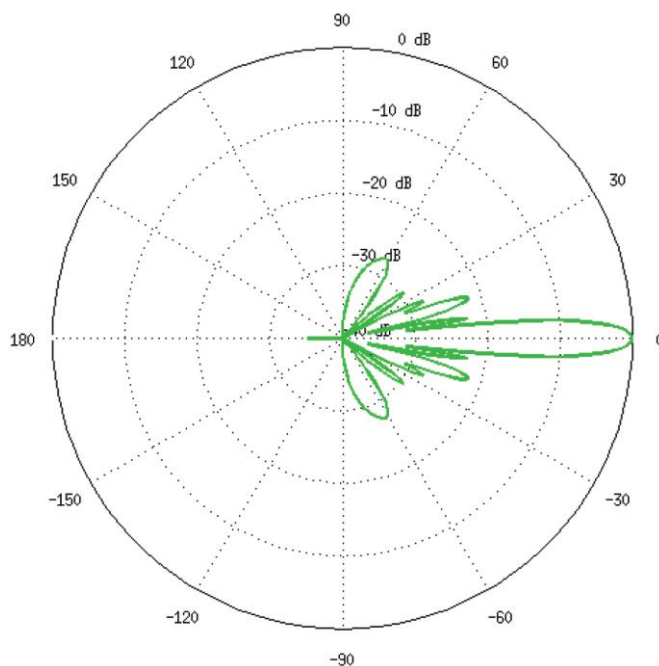
Para $P_{r_{min.}}$ que é a sensibilidade do rádio receptor.

4.3 Antenas

Para se projetar qualquer sistema rádio enlace, é imprescindível um conhecimento mínimo sobre antenas, pois elas fazem a interface do sinal do rádio com a atmosfera, além de proverem o ganho no sinal que será irradiado na atmosfera.

Em um projeto de sistema rádio enlace, conhecer e saber interpretar os principais parâmetros de uma antena, como por exemplo sua diretividade, taxa de onda estacionária, diagramas de radiação, ganho, faixa de operação, polarização entre outros, são fundamentais para a correta especificação da antena a ser utilizada no projeto. Como um exemplo, a Figura 3 , ilustra o diagrama de irradiação horizontal da antena do rádio *Power Beam*, o qual utiliza uma antena parabólica com ganho de 29 dBi (8).

Figura 3 – Diagrama de irradiação horizontal antena parabólica 5.8 GHz



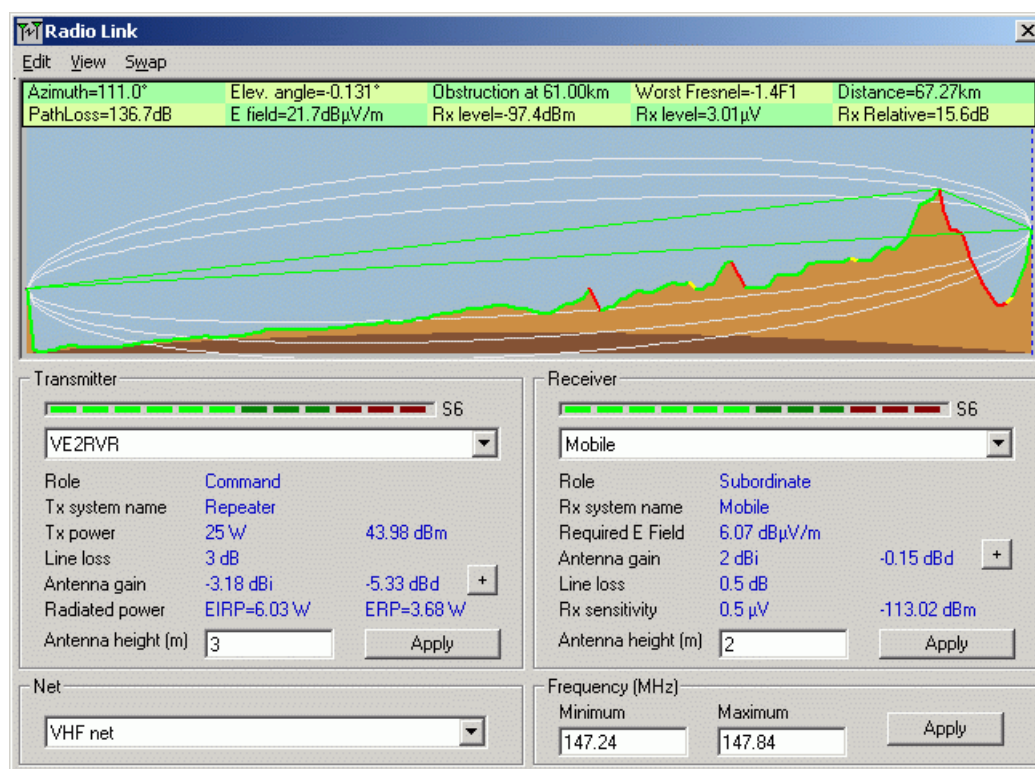
Fonte: Folha de dados do UBIQUITI Power Beam PBE-5AC-620

Em projetos de rádio enlace que operam em frequência UHF ou superior, as antenas utilizadas são antenas diretivas, pois as mesmas concentram a energia em feixes mais estreitos. Quanto maior a diretividade da antena, mais estreito é o feixe de sinal, consecutivamente maior será o ganho da antena (9, p. 196).

4.4 Programas de Simulação de Rádio Enlace

O Rádio Mobile é um programa gratuito muito utilizado por profissionais da área de telecomunicações que trabalham com sistemas de rádio. Foi desenvolvido por Roger Bent Coudé, Engenheiro Eletricista especializado em Telecomunicações, com intuito prever e analisar o desempenho de um sistema de rádio. O programa utiliza dados de elevação digital do terreno para extração automática do perfil do caminho que as ondas de rádio irão percorrer entre o rádio emissor e o receptor. A Figura 4, ilustra a simulação de enlace ponto a ponto utilizando o programa Rádio Mobile (10).

Figura 4 – Exemplo simulação rádio enlace no programa Rádio Mobile



Fonte: Site do programa Rádio Mobile

Uma das ferramentas mais importantes presentes nos programas para projetos de rádio enlace, como o Rádio Mobile, é a avaliação da obstrução da primeira zona ou elipsoide de Fresnel. O programa calcula o raio da elipsoide de Fresnel conforme a Equação (9), e plota as mesmas sobre o perfil do caminho que as ondas de rádio irão percorrer entre o rádio emissor e o receptor, indicando ao operador os pontos de obstruções das elipsoides, se os mesmos existirem. O programa também calcula a atenuação do sinal em função das perdas no espaço livre, considera

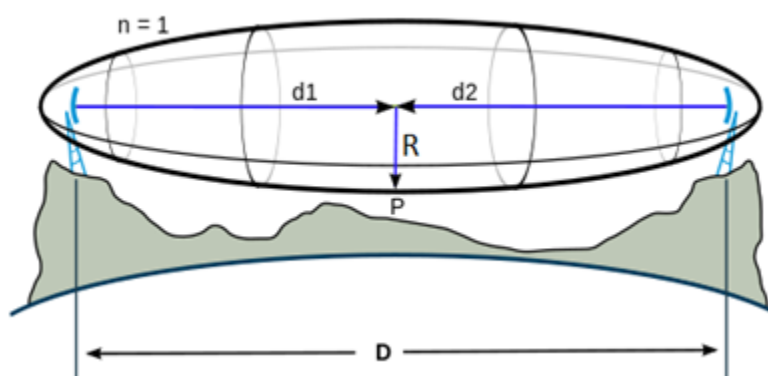
as perdas em função do tipo de clima e calcula as perdas em função do bloqueio das elipsoide de Fresnel.

Como regra prática, um enlace possui visada direta quando o mesmo não possui bloqueio da primeira zona de Fresnel. O raio de uma elipsoide ou zona de Fresnel em um determinado ponto de um enlace, como mostra a Figura 5, é dado pela equação apresentada a seguir (9, p. 197):

$$R_n = 550 \sqrt{\frac{n d_1 d_2}{(d_1 + d_2)f}} \quad (9)$$

Onde, R_n é o raio da elipsoide de Fresnel, n é número das zonas de Fresnel, d_1 e d_2 são respectivamente as distâncias entre os rádios e o ponto de interesse e f a frequência de operação.

Figura 5 – Exemplo do Elipsoide de Fresnel



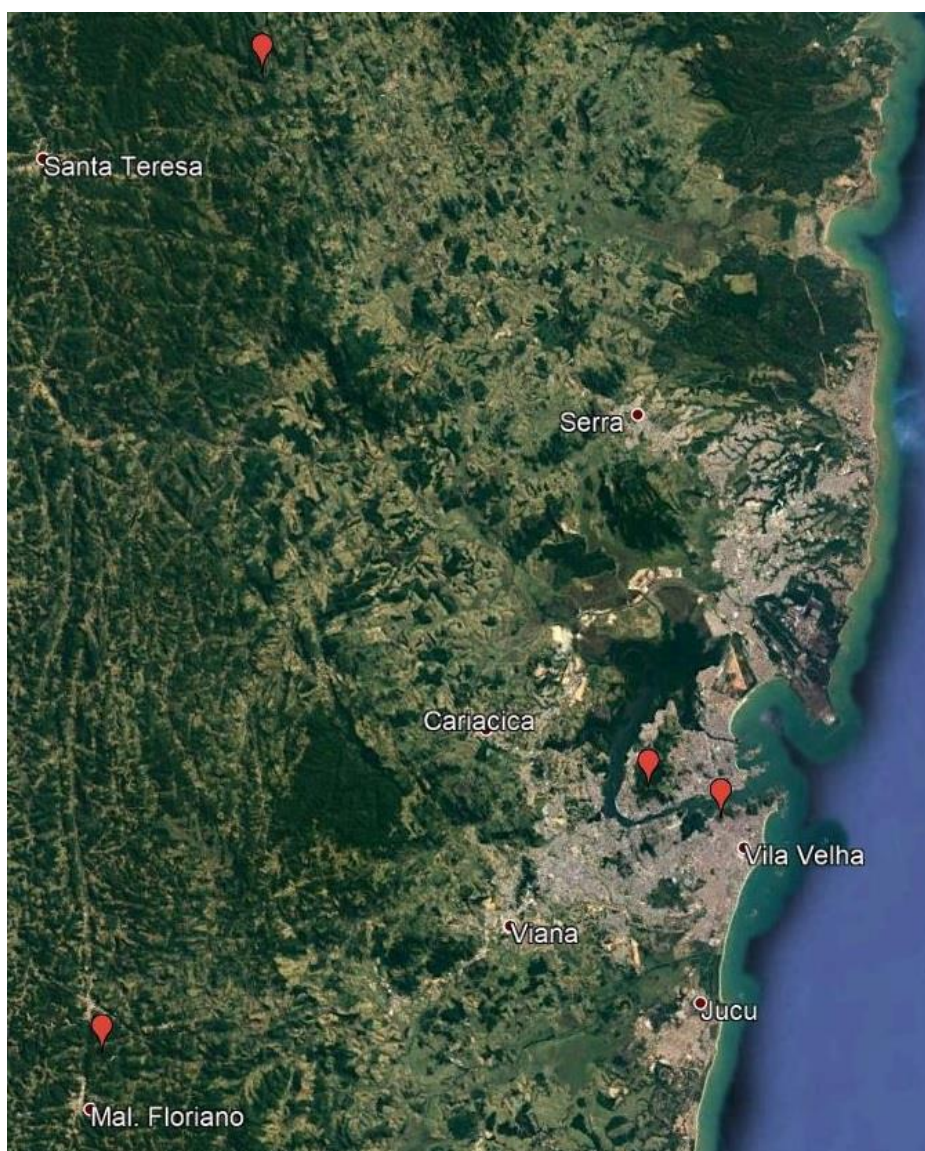
Fonte: Site wikipedia

Alguns fabricantes de rádio, como a Ubiquiti, disponibilizam um programa *online* similar ao Rádio Mobile, com o catálogo de seus rádios à disposição. Isso torna uma primeira simulação do sistema de rádio enlace mais intuitiva, pois estes programas são mais simples (11).

5 METODOLOGIA E SIMULAÇÃO

Conforme apresentado na Figura 2, o CBMES possui instalados em diversos locais estratégicos os sítios repetidores, de forma a garantir a cobertura do sinal de rádio em grande parte do território do Espírito Santo. Segundo a Sessão de Radiocomunicação do CBMES, dentre os sítios repetidores apresentados na Figura 2, a corporação possui prioridade na instalação do sistema de automação nos sítios de Jaburuna (Vila Velha), Fonte Grande (Vitória), Goiapabaçu (Fundão) e Vovó Tereza (Marechal Floriano). A localização geográfica desses sítios é apresentada na Figura 6:

Figura 6 – Sítios Repetidores prioritários



Fonte: Produção própria do autor, via programa Google Earth

5.1 Análise Teórica do Projeto do Enlace Proposto

Com intuito inicial de estudar e avaliar a tecnologia de rádio enlace com os rádios da fabricante Ubiquiti, que operam em caráter secundário, isto é, frequência não licenciada, optou-se inicialmente por realizar um enlace entre o prédio do CT6 UFES e Jaburuna conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Enlace CT6 UFES - Jaburuna



Fonte: Produção própria do autor, via programa Google Earth

A Tabela 2, apresenta os dados de distância do enlace, frequência de operação, e os dados de operação do rádio que será utilizado neste enlace, assim como a máxima potência de saída, limiar de potência de recepção e ganho das antenas.

Tabela 2 – Dados Enlace UFES - Jaburuna

Frequência	Distancia	Potência	Limiar Potência RX	Ganho da Antena
5750 [MHz]	6,45 [km]	24 [dBm]	-83 [dBm]	25 [dBi]

Fonte: Produção própria do autor

Substituindo os dados da Tabela 2 na Equação (7), obtém-se a potência recebida no rádio receptor, conforme a seguir:

$$P_{R(dBm)} = 25 + 25 + 24 - (32,44 + 20 \log(6,45) + 20 \log(5750))$$

$$P_{R(dBm)} = -49,82 [dBm]$$

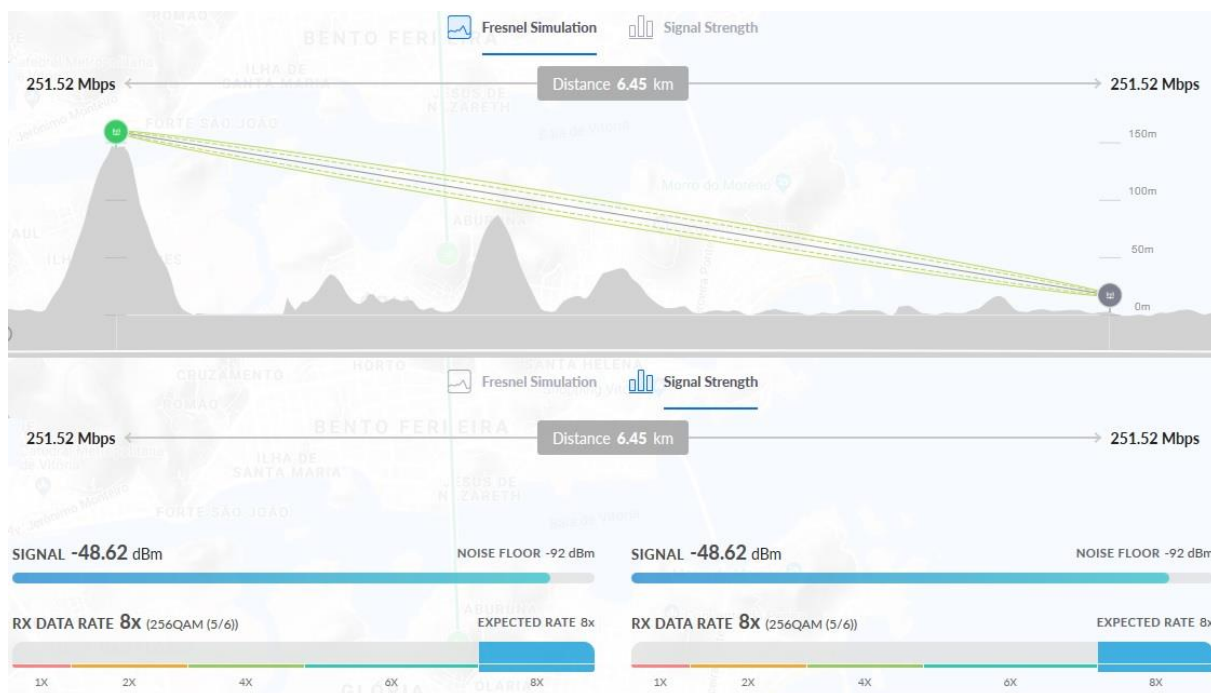
Como a potência recebida calculada é maior que a potência limiar de recepção do rádio, conclui-se que o rádio especificado conseguirá operar nas condições especificadas, desde que não exista obstrução da primeira zona/elipsoide de Fresnel. A avaliação da obstrução da elipsoide de Fresnel será feita com a utilização de programas de simulação como descrito a seguir.

5.2 Simulações do rádio enlace utilizando o programa airLink UBIQUITI

A Ubiquiti fabricante dos rádios utilizados neste trabalho, disponibiliza gratuitamente em um programa de simulação online. A utilização deste programa é fácil e intuitiva, bastando o projetista inserir as coordenadas geográficas de instalação dos rádios, e selecionar o rádio desejado conforme o portfólio da marca. A seleção do rádio normalmente será em função da distância em que o link irá operar e a taxa de transmissão desejada.

Assim, inserindo as coordenadas geográficas da torre do CT6 – UFES (Vitória) e da torre de Jaburuna (Vila Velha), e selecionando o modelo de rádio a ser utilizado neste enlace, UBIQUITI PBE 5AC 400, obtém-se os resultados apresentados conforme a Figura 8.

Figura 8 – Simulação airLink, enlace CT6 – Jaburuna



Fonte: Produção própria do autor, através do programa airLink

O programa *airLink*, permite a alteração da largura de banda de frequência em que o rádio irá operar, sendo que no caso desta simulação ajustou-se uma largura de banda de 40 [Mhz], porem o mesmo não permite a alteração nível de modulação. Assim, o programa considera que o rádio irar operar com sua modulação máxima de 256 QAM, e calcula a máxima taxa de transmissão em função da largura de banda ajustada no programa.

Analisando a Figura 8, obtém-se as seguintes informação sobre o enlace simulado, as quais são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da Simulação programa airLink

Distancia	Potência RX	Máxima taxa de transferência	Nível de Modulação
6,45 [km]	-48,62 [dBm]	251,52 [Mbps]	256 QAM

Fonte: Produção própria do autor

Os rádios da linha *PowerBeam* apresentam grandes taxas de transferência de dados, pois operam conforme o padrão IEEE 802.11ac operando com modulação OFDM e nível de modulação de até 256 QAM que quando operado com modulação alto adaptativa ajusta o nível de modulação em função da relação sinal ruído do sinal recebido no rádio receptor.

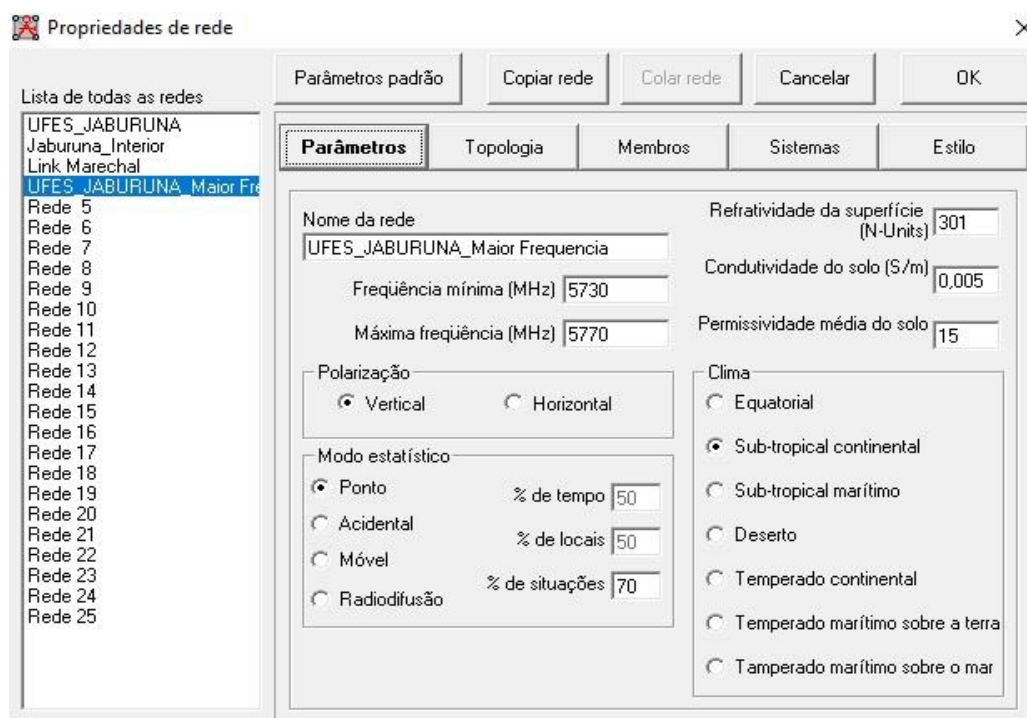
5.3 Simulações do rádio enlace utilizando o programa Radio Mobile

O programa Radio Mobile, diferente do programa airLink proprietário da Ubiquiti, não calcula a taxa de transmissão do enlace. É um programa destinado para calcular a máxima potência recebida, interferências nas zonas/elipsoides de Fresnel, área de cobertura do rádio através do diagrama de irradiação polar, entre outras funções (10).

Para calcular um enlace de rádio com o Rádio Mobile, o projetista deve dispor das informações técnicas do rádio que pretende usar, arquivo de texto com as informações de diretividade da antena utilizada no projeto (dados da antena (12)), as coordenadas geográficas onde serão instalados os rádios, ganho das antenas, potência de transmissão e limiar de potência de recepção. Normalmente, esses dados são encontrados na folha de dados do rádio que se pretende utilizar no enlace. O ANEXO A apresenta a folha de dados e diagrama de irradiação do rádio UBIQUITI PBE 5AC 400.

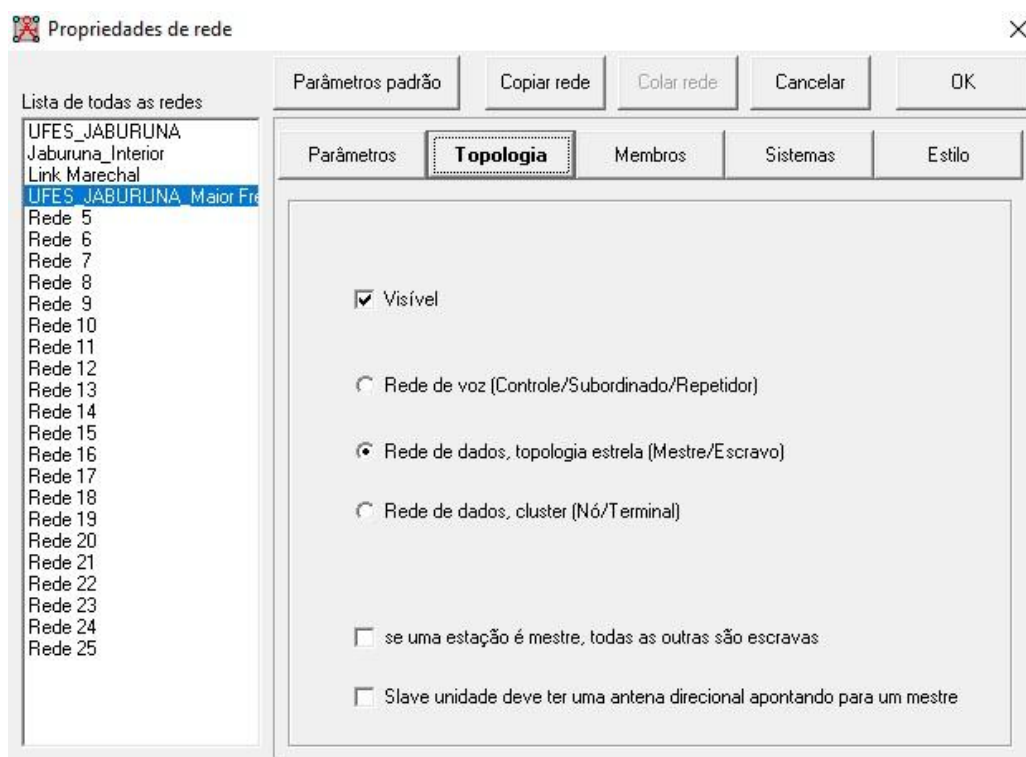
As Figuras 9, 10, 11 e 12, mostram as parametrizações necessárias a serem realizadas no programa Rádio Mobile para simulação de um enlace.

Figura 9 – Rádio Mobile Parâmetros do enlace UFES - Jaburna



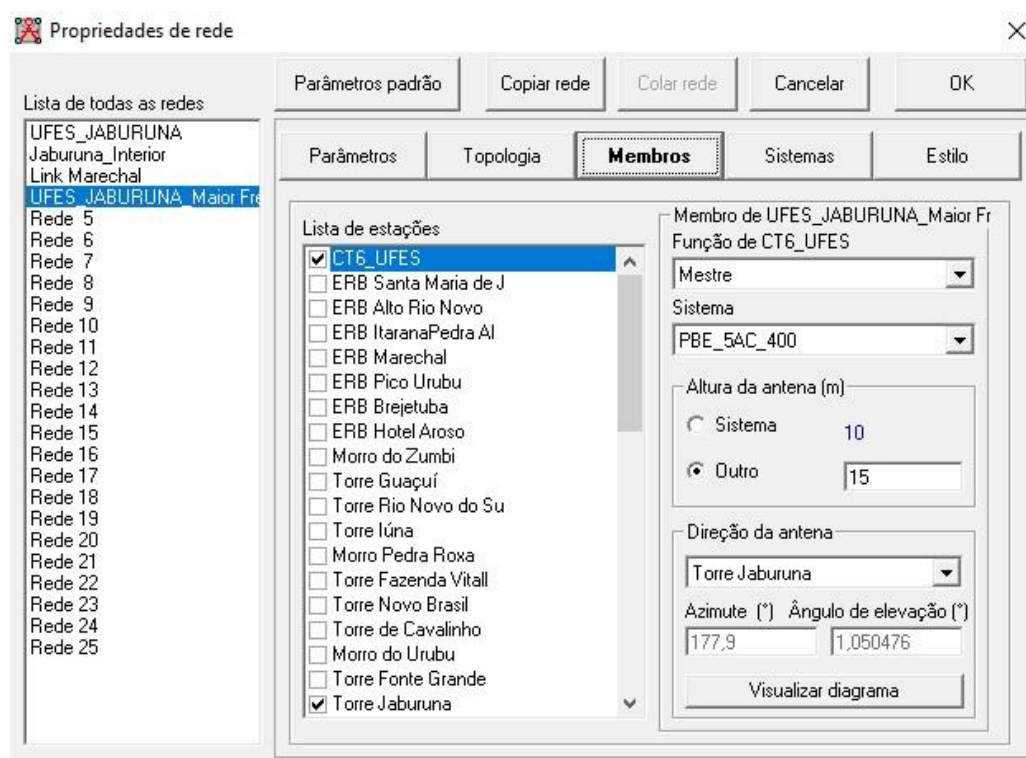
Fonte: Produção própria do autor, pelo programa Rádio Mobile

Figura 10 – Rádio Mobile Topologia do enlace UFES - Jaburna



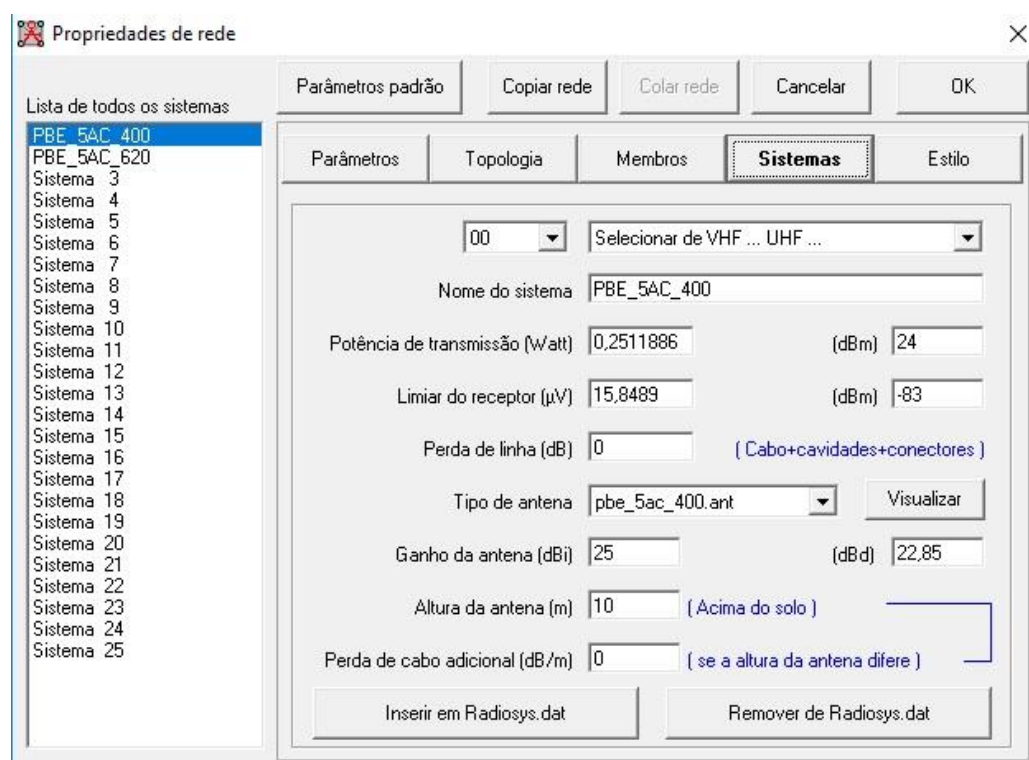
Fonte: Produção própria do autor, pelo programa Rádio Mobile

Figura 11 – Rádio Mobile Membros do enlace UFES - Jaburna



Fonte: Produção própria do autor, pelo programa Rádio Mobile

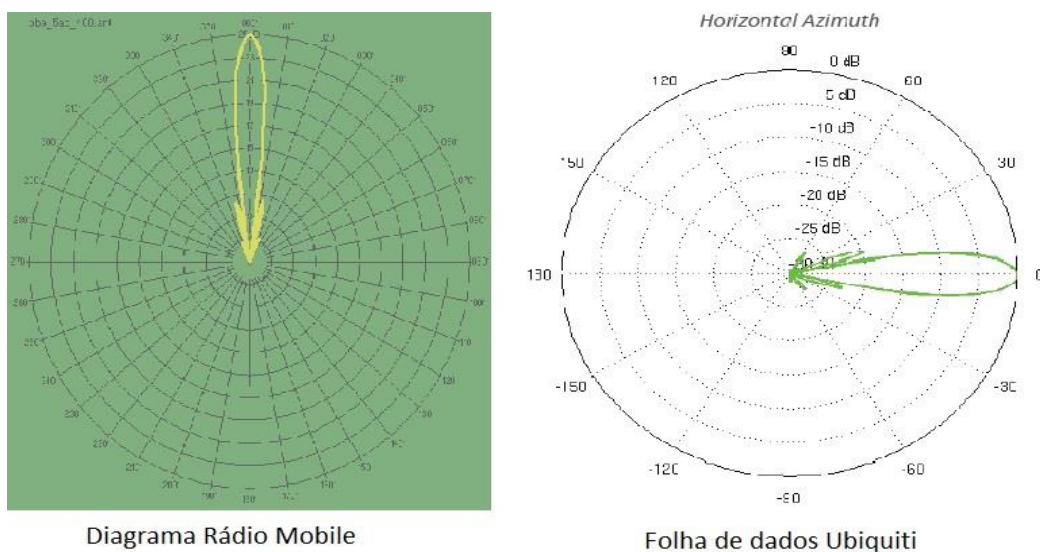
Figura 12 – Rádio Mobile Sistemas do enlace UFES - Jaburna



Fonte: Produção própria do autor, pelo programa Rádio Mobile

A Figura 13, apresenta uma comparação do diagrama de irradiação polar da antena importada no programa Rádio Mobile, com o diagrama de irradiação horizontal da antena encontrada na folha de dados do rádio. Como pode ser observado, os diagramas são muito semelhantes.

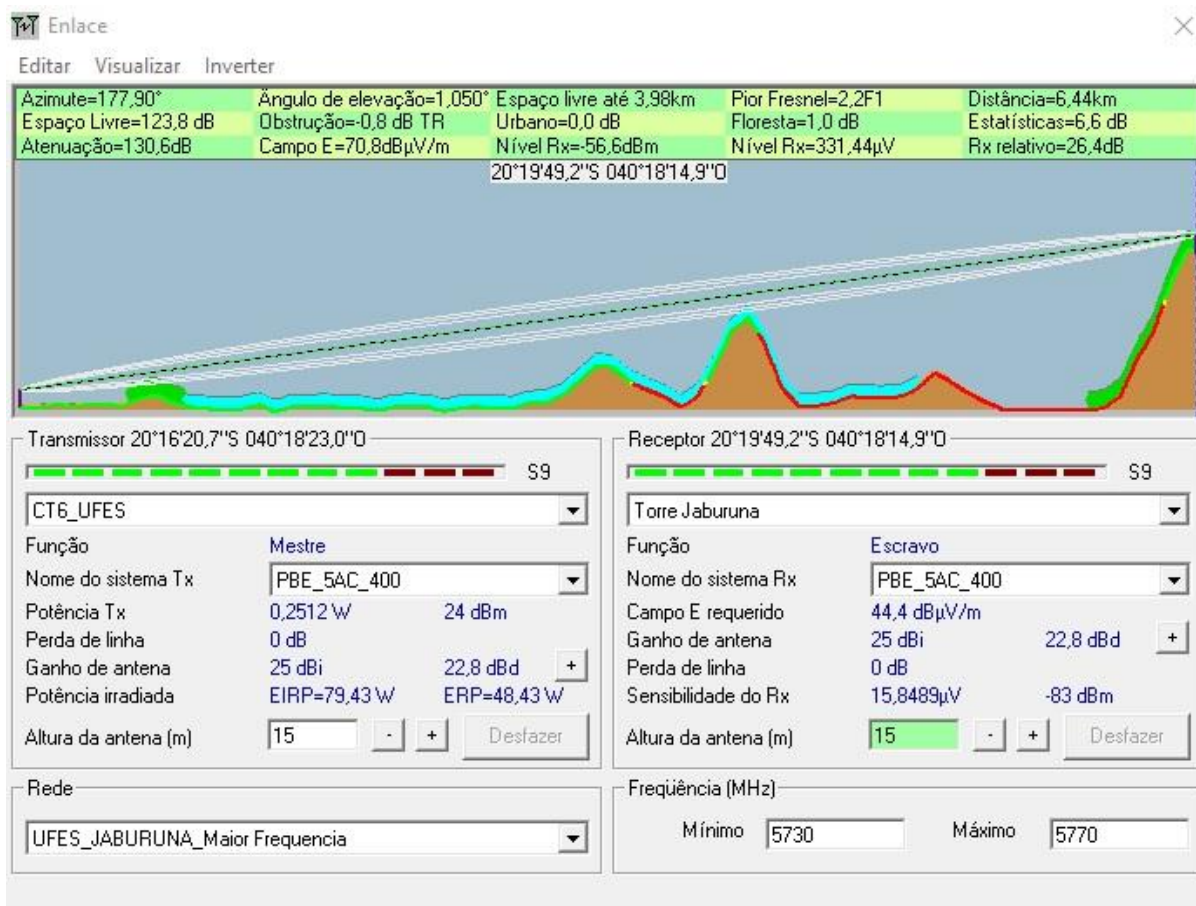
Figura 13 – Comparação do diagrama de irradiação antena do Rádio Mobile com a Folha de dados do Rádio PBE 5AC 400



Fonte: Produção própria do autor, pelo programa Rádio Mobile e folha de dados UBIQUITI

A Figura 14, mostra os resultados obtidos através da simulação utilizando o programa Rádio Mobile.

Figura 14 – Resultado da simulação pelo programa Rádio Mobile enlace UFES - Jaburuna



Fonte: Produção própria do autor, pelo programa Rádio Mobile

Da Figura 14, observa-se que existe uma pequena interferência no elipsoide de Fresnel, porém, isso não chega a bloquear o primeiro elipsoide.

Tabela 4 – Principais resultados da Simulação programa Rádio Mobile

Distancia	Potência RX	Atenuação Espaço Livre	Estatística de Perdas
6,44 [km]	-56,6 [dBm]	123,8 [dB]	6,6 [dB]

Fonte: Produção própria do autor

5.4 Comparação dos resultados simulados

A Tabela 5, apresenta o valor de potência recebida nos rádios, onde pode-se comparar o valor calculado (teórico), como os valores obtidos pelos programas de simulação utilizado.

Tabela 5 – Comparação dos valores de potência no rádio receptor

Potência RX Teórico	Potência RX airLink	Potência RX Rádio Mobile
-49,82 [dBm]	-48,62 [dBm]	-56,6 [dBm]

Fonte: Produção própria do autor

Da análise da Tabela 5, observa-se que o programa airLink proprietário da UBIQUI, é pouco conservador, pois o mesmo informa uma potência recebida maior que a potência calculada pela Equação (7), o qual leva em consideração somente as perdas no espaço livre. Em contrapartida o programa Rádio Mobile é mais conservador, pois o mesmo calcula as perdas no espaço livre, calcula as interferências pela obstrução da zona de Fresnel, e ainda calcula de forma estatística as perdas referente ao ambiente em que o enlace é projeto.

Da análise da Tabela 5 e da experiência adquirida com a utilização dos programas de simulação aqui apresentados, pode-se concluir que o programa *airLink* é interessante para uma primeira simulação e verificação rápida de obstrução da primeira zona de Fresnel. Para um projeto de rádio enlace seja ele com os rádios da Ubiquiti ou outro fabricante, recomenda-se a utilização do programa Rádio Mobile, ou similar, pois o mesmo apresenta resultados mais reais para o projeto.

6 IMPLANTAÇÃO DO ENLACE UFES – JABURUNA

6.1 Implantação do Enlace

As instalações dos rádios ocorreram em duas fases, sendo que na primeira fase foi realizada a instalação do rádio na torre localizada no terceiro andar do prédio CT6 – UFES. Na segunda fase foi realizada a instalação do rádio na torre do CBMES localizada no morro do Jaburuna

6.1.1 Primeira fase: Instalação do rádio na Torre do CT6 - UFES

A torre localizada no terceiro andar do prédio CT6 – UFES, era uma torre utilizada para os sistemas de comunicação da Petrobras, no período em que a empresa tinha suas operações no prédio em questão. Com a saída da empresa para o novo escritório na Reta da Penha, todas as antenas instaladas da torre e demais equipamentos ativos foram removidos. Assim, devido a torre não possuir antenas instaladas, foi fácil a realização da instalação do rádio nessa torre. A Figura 15, mostra os detalhes da torre.

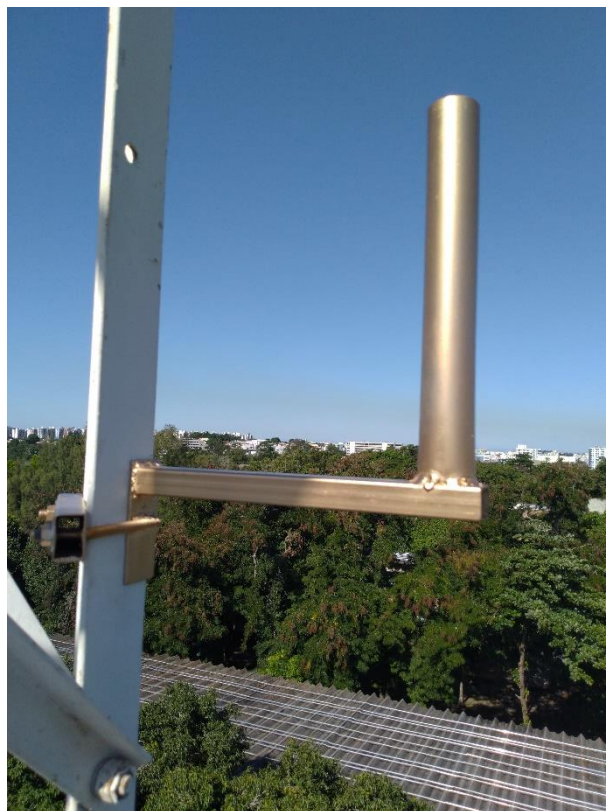
Figura 15 – Torre autoportante do prédio CT6 - UFES



Fonte: Produção própria do autor

Para a instalação do rádio, houve a necessidade de fabricação de um suporte, o qual é apresentado na Figura 16. Este suporte é preso na cantoneira “L” da torre, permitindo assim a instalação do rádio no mastro deslocado a frente.

Figura 16 – Suporte para instalação do rádio no CT6-UFES



Fonte: Produção própria do autor

A fixação do rádio é feita por um grampo “U” no mastro do suporte instalado na torre. O grampo “U” preso ao mastro permite o ajuste horizontal da antena, e devido a um furo oblongo existente na base da antena, pode-se fazer o ajuste de vertical da mesma. Para comunicação do rádio, foi instalado um cabo de rede cat5 dupla camada blindado para uso externo. O mesmo desce pela prumada de cabos da torre até a sala 301, onde foi conectado em *switch* de rede.

A Figura 17, mostra o rádio instalado no mastro, com o cabo de rede já conectado e devidamente fixado na estrutura metálica da torre por abraçadeira plásticas.

Figura 17 – Detalhe da instalação do rádio no CT6 -UFES



Fonte: Produção própria do autor

6.1.2 Segunda fase: Instalação do rádio na Torre de Jaburuna (Vila Velha)

Na torre do CBMES localizada no morro do bairro Jaburuna em Vila Velha, não houve a mesma facilidade em relação ao espaço de instalação. A torre em questão é autoportante, compartilhada, existem equipamentos de várias empresas instaladas na mesma, logo o espaço para instalação do rádio foi um problema a ser solucionado no ato da instalação.

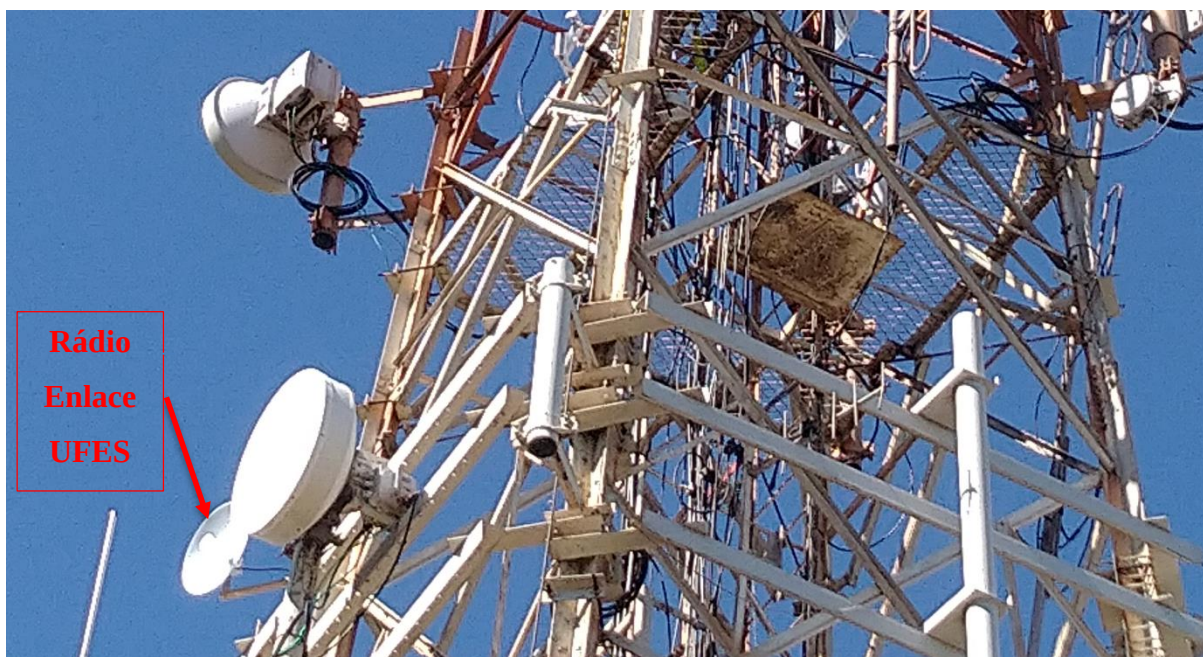
A instalação do rádio, foi realizada pela equipe de manutenção da sessão de Radiocomunicação do CBMES. A antena foi instalada em um suporte semelhante ao instalado na torre do CT 6 – UFES, adaptado para a torre de Jaburuna. Para comunicação do rádio com switch instalado na sala de equipamentos, foi utilizado o cabo de rede cat5 dupla camada blindado para uso externo. O mesmo desce pela prumada de cabos da torre, e chega até a sala de equipamentos através do bandejamento de cabos existente. As Figuras 18 e 19, apresentadas a seguir, mostram os detalhes da instalação física do rádio na torre de Jaburuna.

Figura 18 - Torre Jaburuna Vila Velha



Fonte: Produção própria do autor

Figura 19 – Instalação Rádio Torre Jaburuna



Fonte: Produção própria do autor

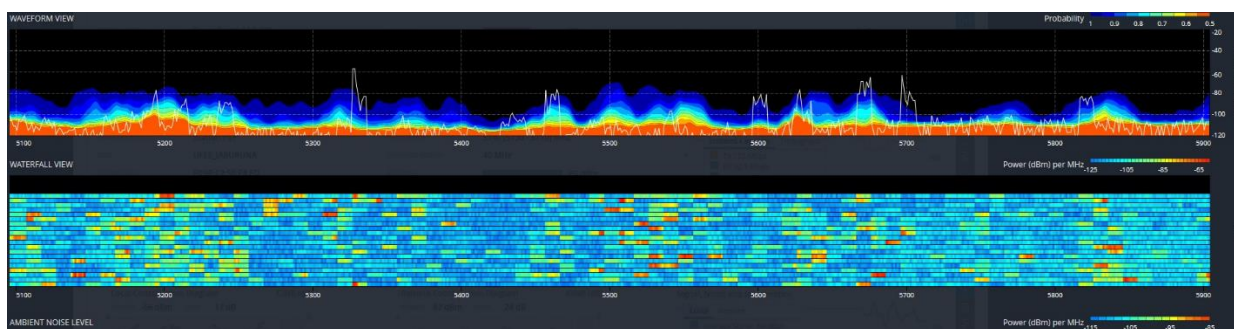
6.2 Gerência do Rádio implantado

6.2.1 Configurações do Rádio.

Após a instalação física dos rádios, se fez necessário realizar as configurações básicas dos mesmos para realizar o fechamento do enlace. A primeira configuração necessária é a definição de usuário, senha e IP do rádio. Por padrão de fábrica o rádio vem configurado com o IP 192.168.1.20. De modo a facilitar futuras configuração remotas configurou-se o IP do rádio UFES com 192.168.1.10 e o rádio Jaburuna com o IP 192.168.1.11.

Realizada a configuração dos IP's, o próximo passo é avaliação do espectro disponível para uso na região. O rádio possui uma ferramenta própria para esta análise. A Figura 20, apresentada a seguir, mostra o resultado da análise de espectro realizada na torre de Jaburuna.

Figura 20 – Espectro de Frequência Torre de Jaburuna

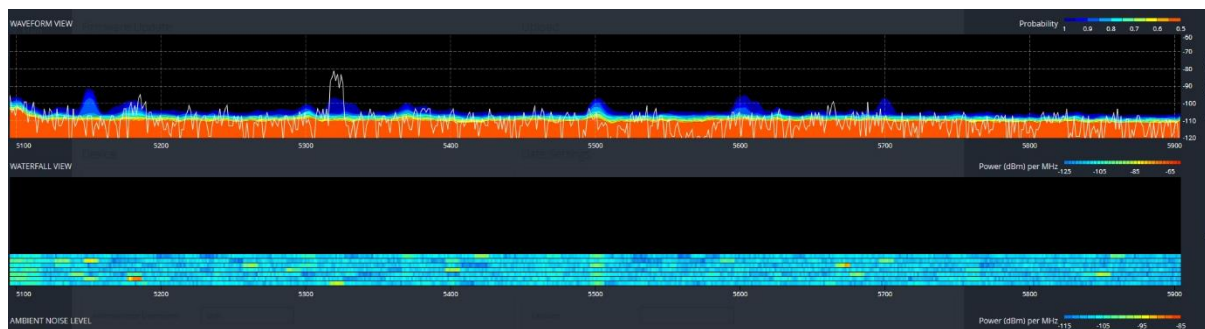


Fonte: Produção própria do autor com o programa airView.

Segundo as informações no manual técnico do rádio, para que o mesmo tenha bom desempenho, a faixa de frequência escolhida deve possuir interferência espectral menor que -90 [dBm], logo analisando a Figura 20 observa-se que a faixa que possui menor interferência espectral é a de 5720 a 5750 [MHz].

A Figura 21, mostra os resultados da análise de espectro realizada na torre do CT6 – UFES. Observa-se nesta Figura que praticamente em toda a faixa de 5 [GHz], a interferência espectral é menor que -100 [dBm], inclusive na faixa de 5720 a 5750 [MGz]. Devido a isso optou-se em operar o rádio na frequência central de 5730 [MHz], com largura de banda de 20 [Mhz].

Figura 21 – Espectro de Frequência Torre do CT6 - UFES



Fonte: Produção própria do autor com o programa airView.

Por último é necessário realizar as configurações da rede wireless, tanto no rádio mestre quando no rádio escravo. Nessa configuração define-se o tipo de conexão sem fio, este pode ser ponto a ponto ou ponto multiponto. Nesse caso o rádio foi configurado como ponto a ponto. Deve-se definir o nome e senha da rede, para o fechamento do enlace. Por último define-se em função da análise de espectro, a frequência de operação do rádio e a largura de banda do canal. A Figura 22, mostra a janela de configuração dos parâmetros de rede sem fio do rádio Ubiquiti.

Figura 22 – Janela de configuração dos parâmetros de rede sem fio do rádio

Fonte: Produção própria do autor com o programa airOS do rádio UBIQUITI.

O rádio pode operar com a frequência e largura de banda do canal em modo automático. O mesmo avalia automaticamente as interferências espectrais e escolhe a melhor frequência e

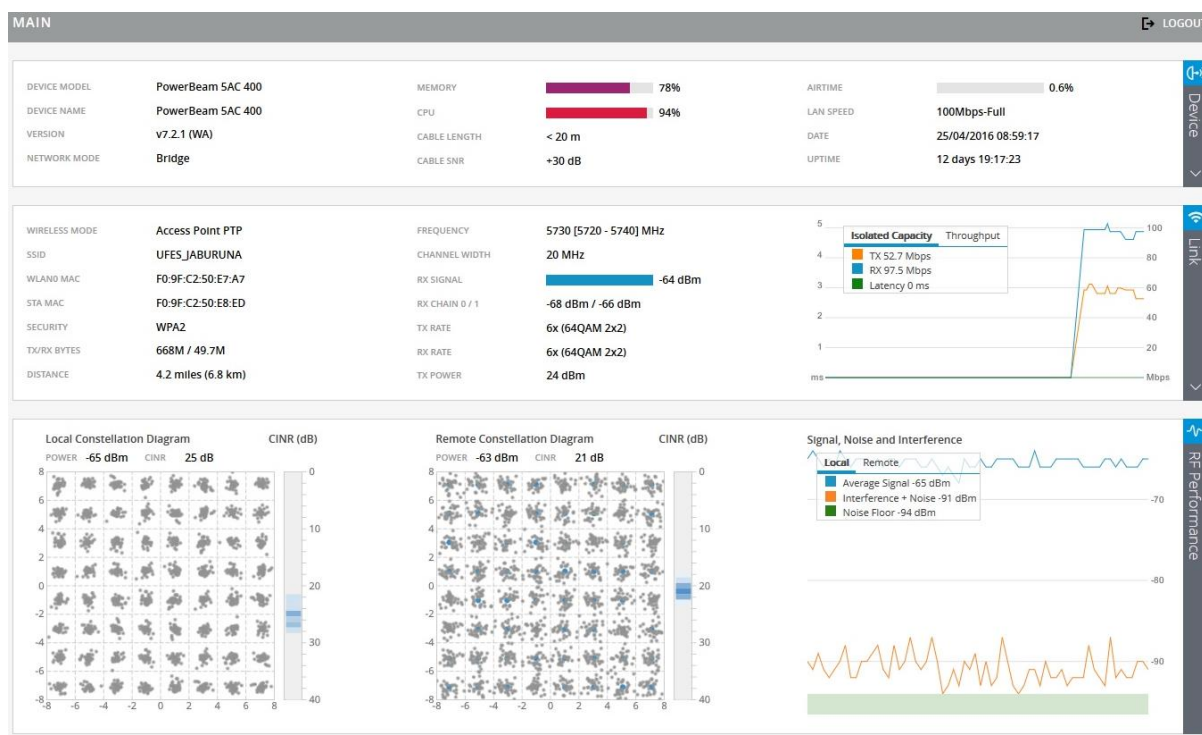
largura de banda do canal para operação, porém esse tipo de configuração pode gerar instabilidade no enlace.

A configuração que é importante deixar em modo automático, é o nível de modulação que o rádio irá operar, pois assim ele ajusta o nível de modulação buscando a melhor estabilidade do link com maior taxa de transferência. Fazer um ajuste manual desse campo, como por exemplo 64 QAM, pode tornar-se inconveniente ao passar do tempo da implantação do enlace, pois as possíveis interferências espectrais poderão começar a gerar erros nos símbolos do diagrama de constelação prejudicando a estabilidade do link. Logo, deixando essa configuração em automático (modulação adaptativa), quando o rádio percebe a existência elevada de erros, o mesmo diminui o nível de modulação afim melhorar a qualidade do link.

6.2.2 Avaliação da estabilidade do enlace.

Uma vez realizada as configurações básicas do rádio, conforme apresentado no item anterior, o mesmo já estará apto a operar. Ao colocar os rádios em operação pode se acessar via navegador web pelo IP do rádio, a tela de supervisão do rádio, conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Tela de supervisão dos dados de operação do rádio instalado no CT6 -UFES.



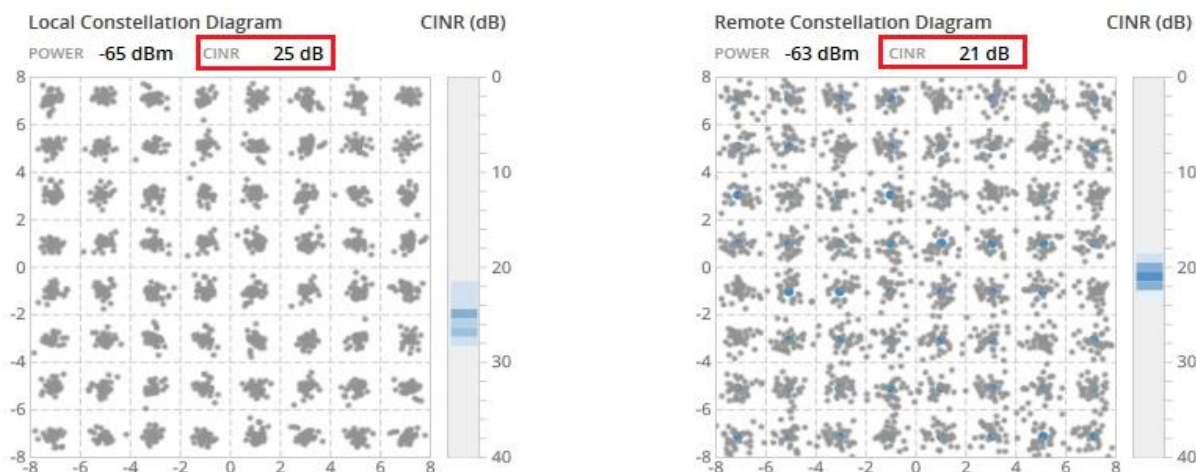
Fonte: Produção própria do autor com o programa airOS do rádio UBIQUITI.

Conforme mostra a Figura 23, a tela de supervisão é dividida em três campos, Dispositivo, Link e RF Performance. No campo do dispositivo, encontra-se as informações de hardware do rádio, como por exemplo, uso de memória e processador, modo de conexão de rede, tempo que o equipamento se encontra ligado. No campo link, encontra-se as informações básicas do link sem fio, são elas a frequência que o rádio está operando, a largura de banda do canal, potência transmitida e recebida, nível de modulação e um gráfico, com as informações de estimativa da taxa de transferência e latência do link. O campo de RF Performance, encontra-se as informações sobre a qualidade do sinal de RF recebido pelos rádios. Neste campo encontram-se os diagramas de constelação do rádio local e rádio remoto. Através na análise da dispersão dos pontos no diagrama de constelação pode-se ter a ideia da influência do ruído sobre o sinal recebido. Quanto menor a relação sinal ruído do sinal recebido, maior será a dispersão dos pontos no diagrama de constelação.

A Figura 24, mostra o diagrama de constelação local do rádio instalado no CT6 – UFES e o diagrama de constelação remoto do rádio instalado na torre de Jaburuna (Vila Velha), nota-se que no diagrama de constelação do rádio da UFES, os pontos estão mais agrupados e que o parâmetro CINR (*Carrier to Interference-plus-Noise Ratio*) é maior. Isso se deve ao fato de existir menos interferência espectral próximo ao rádio da UFES, como pode ser observado na Figura 21. Já no diagrama de constelação remoto (rádio instalado em Jaburuna), os pontos estão mais dispersos e o parâmetro CINR é menor, isso se deve ao fato da existência de vários equipamentos operando na faixa de frequência de 5 a 6 [GHz] na torre do morro de Jaburana. Essa diferença no diagrama de constelação explica porque a taxa de transmissão é maior na recepção dos dados do rádio de Jaburuna e menor no envio dos dados para Jaburuna, como pode-se se observar no gráfico do campo link na Figura 23. Por fim, no campo de RF Performance encontra-se o gráfico do sinal recebido (cor azul) e interferência mais ruído (cor laranja).

O parâmetro CINR é uma medida da qualidade do sinal. É o valor mediano de quão alto o sinal está acima da interferência combinada e do ruído. Na Figura 24, cada histograma (a direita do digrama de constelação), a cor mostra a distribuição do CINR em valores, sendo que quanto mais escura a cor, maior o número de ocorrências desse valor (13).

Figura 24 – Diagramas de constelação do rádio instalado no CT6 -UFES



Fonte: Produção própria do autor com o programa airOS do rádio UBIQUITI.

6.3 Resultados práticos.

A partir da análise da Figura 23 é possível obter os resultados práticos de desempenho do rádio enlace instalado, os quais são nível de potência recebida, tipo de modulação e taxa de transmissão de dados e ainda distância estimada do enlace. A Tabela 6 apresenta esses valores.

Tabela 6 – Resultados Práticos

Potência RX	Nível de Modulação	Taxa de Dados RX	Taxa de dados TX
-64 [dBm]	64 QAM	97,5 [Mbps]	52,7 [Mbps]

Fonte: Produção própria do autor

Como pode-se ser observado na Tabela 6, o enlace de rádio foi fechado com sucesso e operou em uma potência de -64 [dBm]. Devido a quantidade de interferência presente na torre do morro de Jaburuna, o rádio conseguiu operar com o nível de modulação máxima de 64 QAM, permitindo assim uma taxa de transmissão de dados de 97,5 [Mbps] para RX e 52,7 [Mbps] para TX em relação ao rádio instalado no prédio CT6 – UFES.

6.4 Comparação dos resultados experimentais com os teóricos

Para realizar a comparação dos resultados experimentais, com os simulados e teóricos montou-se a Tabela 7, a partir das Tabelas 3, 4, 5 e 6 apresentadas anteriormente.

Tabela 7 – Comparação resultados experimentais com os simulados e teóricos

Fonte	Potência RX	Modulação	Taxa de Dados RX	Taxa de dados TX
Teórico	-49,82 [dBm]	-	-	-
Ubiquiti airLink	-48,62 [dBm]	256 QAM	251,52 [Mbps]	251,52 [Mbps]
Radio Mobile	-56,6 [dBm]	-	-	-
Prático	-64 [dBm]	64 QAM	97,5 [Mbps]	52,7 [Mbps]

Fonte: Produção própria do autor.

Com base na Tabela 7, observa-se que o programa *airLink*, realiza o cálculo de atenuação do espaço livre, considerando uma frequência menor que a de operação do rádio para a região do Brasil, pois quanto maior o valor da frequência maior será as perdas no espaço livre. O mesmo considera a operação do rádio nas melhores condições possíveis o que não é encontrado na prática. Assim a simulação através do programa Rádio Mobile, foi a que apresentou os resultados mais próximos da realidade, devido ao programa considerar nos cálculos da potência recebida, uma estimativa de atenuação de potência pela análise da região que o sinal vai propagar.

Outra questão importante de se ressaltar, é a existência de uma torre metálica na linha de visada do rádio instalado em Jaburuna, conforme apresentada na Figura 25. Assim acredita-se que grande parte da divergência entre o sinal simulado pelo Rádio Mobile, e o sinal recebido na prática pelo rádio se deve a interferência na linha de visada causada pela torre em questão.

Figura 25 – Torre autoportante que causa interferência da linha de visada.



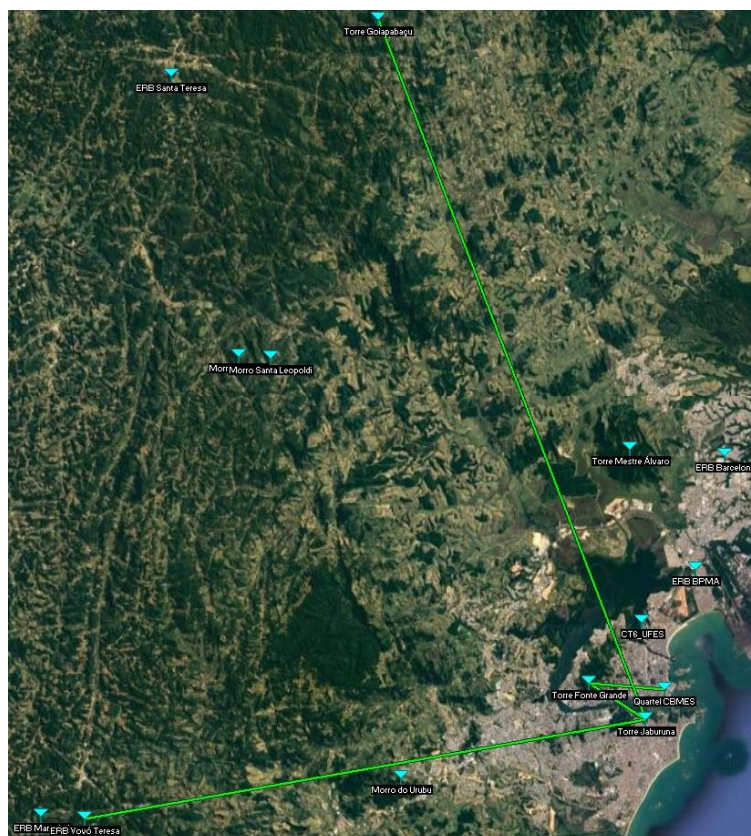
Fonte: Produção própria do autor.

7 PROJETO DOS ENLACES PARA CBMES

7.1 Simulação

Com base nos resultados práticos apresentados anteriormente, pode-se concluir que o sistema de rádio enlace operando em frequência não licenciada é uma solução a ser avaliada pelo CBMES para prover o link de dados para implantação dos sistemas de automação dos sítios repetidores da corporação. Para tanto realizou-se a simulação dos enlaces, a partir do Quartel de Vitória-ES do CBMES até os sítios prioritários, informados pela sessão de Rádio Comunicação da Corporação. Cujo resultado é apresentado na Figura 26.

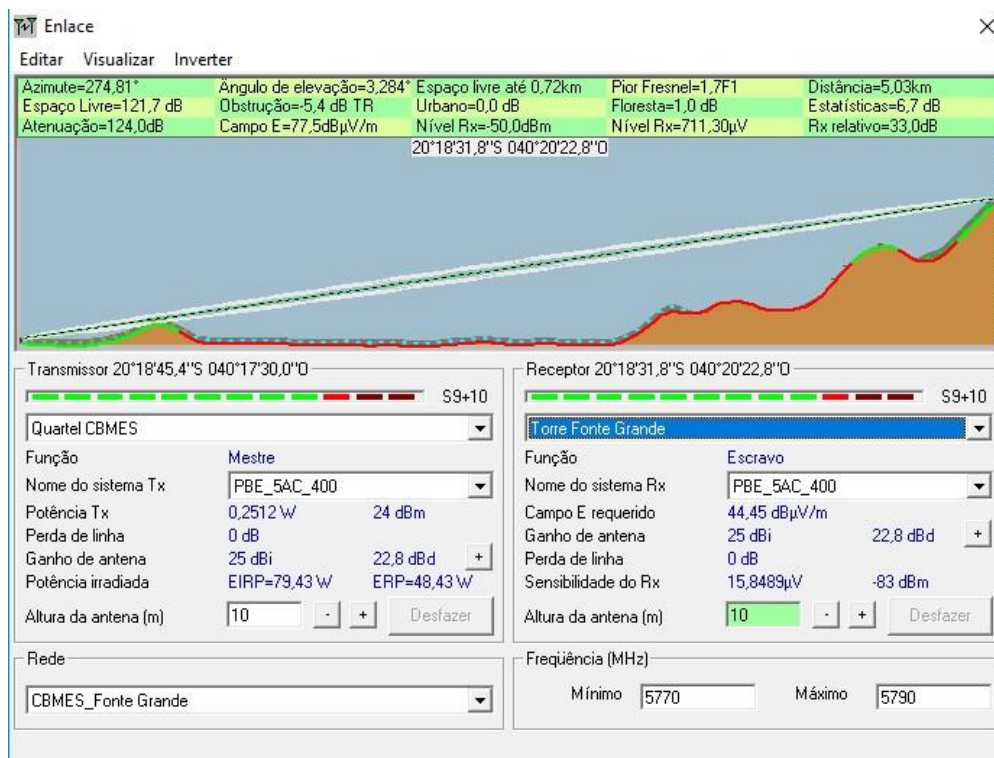
Figura 26 – Simulação dos Enlace CBMES



Fonte: Produção própria do autor, pelo programa Rádio Mobile

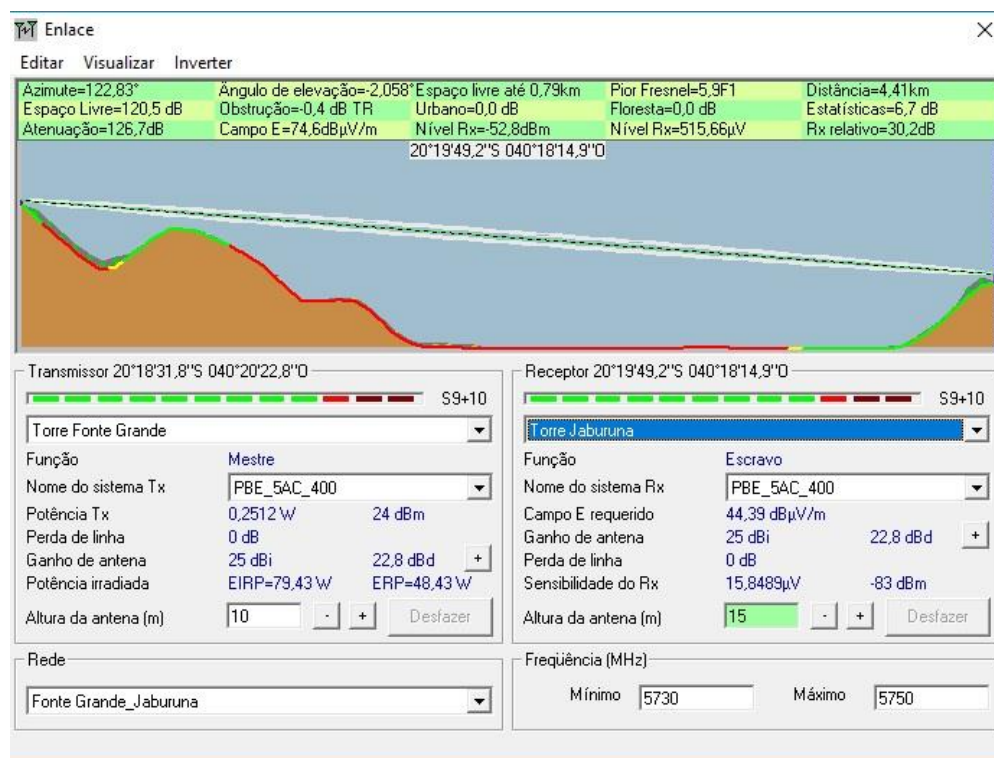
As Figuras 27, 28, 29 e 30, mostram os resultados da simulação de cada enlace necessário para atender os sítios repetidores prioritários.

Figura 27 – Simulação Enlace Quartel CBMES - torre de Fonte Grande



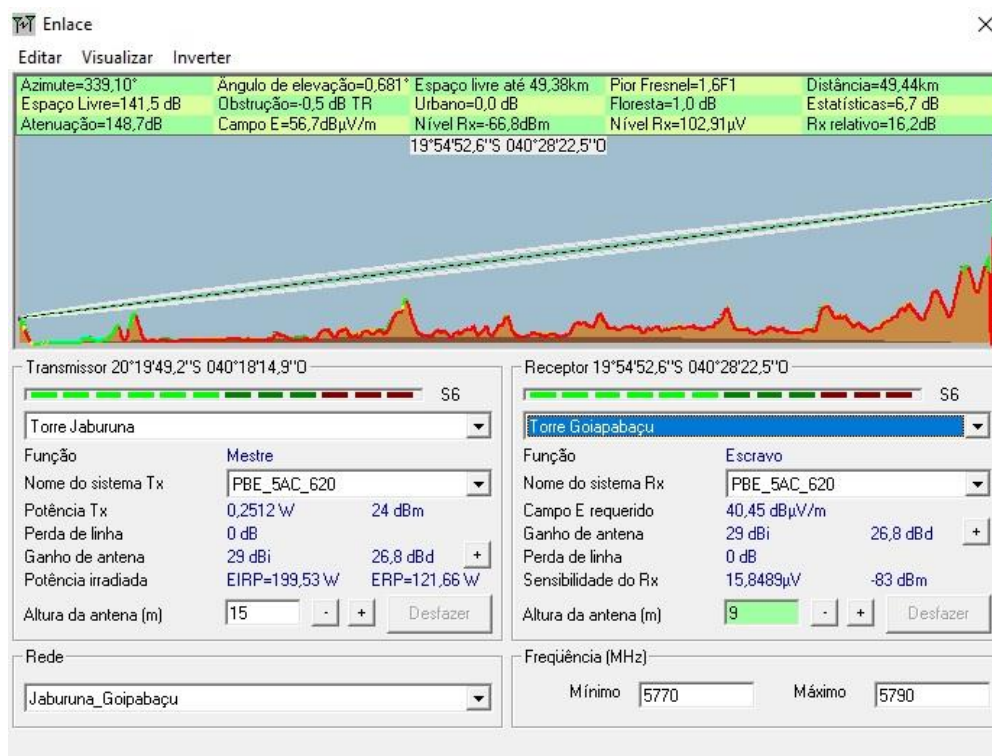
Fonte: Produção própria do autor.

Figura 28 – Simulação torre de Fonte Grande – torre de Jaburuna



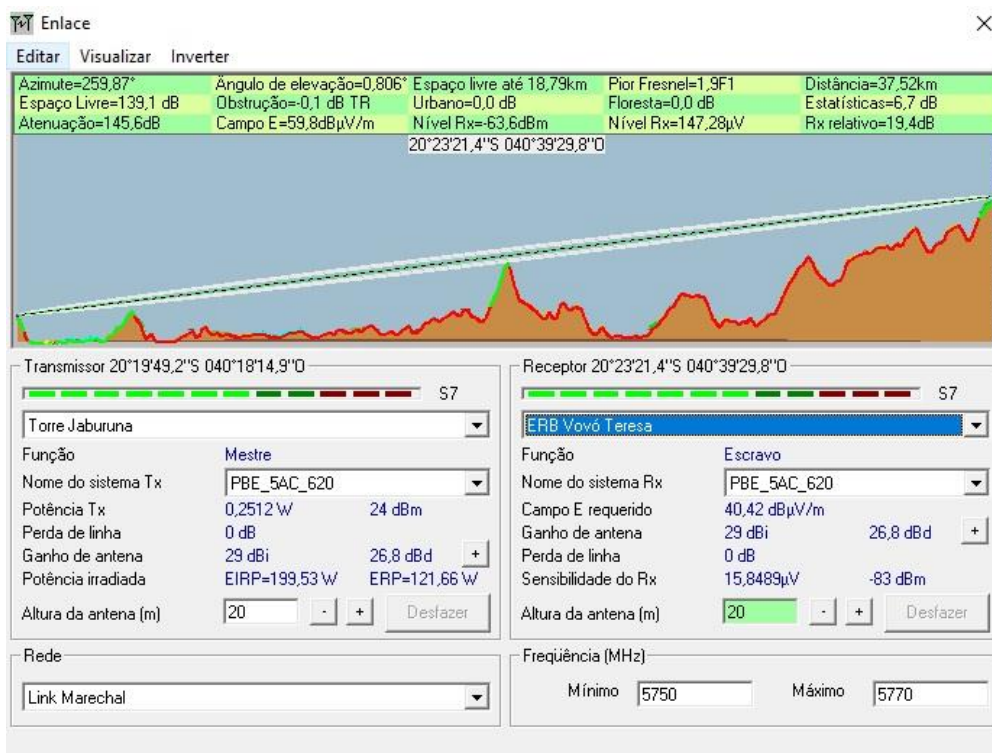
Fonte: Produção própria do autor.

Figura 29 – Simulação torre de Jaburuna - torre de Goiapabaçu (Fundão)



Fonte: Produção própria do autor.

Figura 30 – Simulação torre de Jaburuna – torre Vovó Tereza (Marechal Floriano)



Fonte: Produção própria do autor.

Pode-se observar nas Figuras 27, 28 29 e 30, que em todas as situações, não há obstrução da primeira zona/elipsoide de Fresnel, isto é, todos os enlaces possuem visada direta, e a potência recebida está acima da potência necessária para o perfeito funcionamento do rádio que é -83 [dBm], para operação com nível de modulação de até 64 QAM, conforme pode ser observado nas folhas de dados dos equipamentos conforme o ANEXO A e o ANEXO B deste documento.

7.2 Estimativa de custo de implantação do sistema rádio enlace para CBMES

A Tabela 8, apresenta um levantamento dos custos para a implantação dos enlaces simulados anteriormente.

Tabela 8 – Levantamento dos custos para implantação dos enlaces CBMES

ITEM	DESCRIÇÃO	QTD	UN.	VALOR UNITÁRIO	SUB-TOTAL
1	Rádio Ubiquiti PBE 5AC 400	4	PÇ	R\$ 1.250,00	R\$ 5.000,00
2	Suporte para fixação em torre para rádio PBE 5AC 400	4	PÇ	R\$ 185,00	R\$ 740,00
3	Rádio Ubiquiti PBE 5AC 620	4	PÇ	R\$ 3.750,00	R\$ 15.000,00
4	Suporte para fixação em torre para rádio PBE 5AC 620	4	PÇ	R\$ 375,00	R\$ 1.500,00
5	Cabo Ethernet CAT5e blindado dupla camada uso externo	200	MT	R\$ 3,50	R\$ 700,00
6	Conector RJ45 CAT5e Blindado	16	PÇ	R\$ 2,50	R\$ 40,00
7	Rack de parede 5U	4	PÇ	R\$ 263,25	R\$ 1.053,00
8	Switch 8 Portas Gigabit 10/100/1000	4	PÇ	R\$ 159,23	R\$ 636,92
9	Nobreak Potência 600va	4	PÇ	R\$ 320,18	R\$ 1.280,72
				TOTAL	R\$ 25.950,64

Fonte: Produção própria do autor.

Observa-se na Tabela 8, que os rádios e demais itens necessários à instalação dos quatro enlaces, conforme apresentados na Figura 26, possuem valor muito baixo quando comparados com um sistema de rádio licenciado, tanto é que o valor total para instalação dos quatro enlaces torna-se menor que o valor de compra de apenas um kit de rádio licenciado.

8 CONCLUSÕES

Os sistemas de rádio enlace, muito difundidos no passado, ainda tem um papel importante nos sistemas de telecomunicações, principalmente quando pode-se optar pela instalação de um enlace em faixa de frequência não licenciada, devido a qualidade dos rádios hoje presentes no mercado com baixo custo de investimento e manutenção.

Sistemas de rádio enlace não licenciado, atualmente são muito utilizados por provedores de Internet via rádios e sistema de CFTV nas cidades e grandes indústria, o que prova que a tecnologia é robusta mesmo sendo de baixo custo. Logo nos testes realizados neste trabalho, a tecnologia não se mostrou diferente, pois apresentou ótimos resultados no enlace montado para verificação de desempenho do rádio, chegando-se a conclusão que seu uso, pode sim solucionar o problema de telecomunicações referente a implantação do sistema de automação dos sítios repetidores.

Foi possível observar neste trabalho, que os resultados obtidos das simulações realizadas com o programa Rádio Mobile, foram muito próximos dos resultados práticos obtidos do enlace implantado para verificação de desempenho dos rádios. Logo conclui-se que as simulações com o programa Rádio Mobile possuem boa confiabilidade. Conhecer a confiabilidade dos resultados das simulações de rádio enlace, permite ao projetista o dimensionamento de projetos de enlace de rádio com menor custos, pois uma vez que se tem resultados de simulações próximos dos resultados reais não há necessidade de sobre dimensionamento dos rádios e antenas.

Por último, o estudo de rádio enlace para o CBMES, é um trabalho a continuar sendo explorado, pois através da localização dos sítios repetidores do CBMES, existe a possibilidade de projetar uma grande rede sem fio para cobertura de todo o Estado do Espírito Santo, com a implantação de vários enlace de rádio, que além de ser capaz de prover os pontos de rede para instalação do sistema de automação dos sítios ainda poderia prover uma rede *back-up* para os quartéis da corporação instalados nas demais cidades do estado.

9 REFERÊNCIAS

- 1 CORPO DE BOMBEIROS MILITARES DO ESPÍRITO SANTO. Competências. **Site do Corpo de Bombeiros Militares do Espírito Santo**, 2015. Disponível em: <<https://cb.es.gov.br/competencias>>. Acesso em: 03 Junho 2019.
- 2 COUTINHO, T. C. IMPORTÂNCIA DA RADIOCOMUNICAÇÃO NAS OCORRÊNCIAS DE COMBATE A INCÊNDIO URBANO EM EDIFICAÇÕES. **Proposta de equipamentos e acessórios para uma radiocomunicação mais eficiente**, Goiânia, 24 Abril 2017. 5-10.
- 3 DINIZ, A. B. **Teoria Básica da Propagação em Meios Naturais**. São José do Campos: [s.n.], 1985.
- 4 ANATEL. Setor Regulado. **Site da Anatel**, 06 Fevereiro 2015. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalNivelDois.do?codItemCanal=671&nomeVisao=Informa%E7%F5es%20T%E9cnicas&nomeCanal=Radiofreq%FCencia&nomeItemCanal=Apresenta%E7%E3o>>. Acesso em: 24 Junho 2017.
- 5 TOSTA, F. C. B. **PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE COMUNICAÇÃO MULTIMÍDIA VIA REDES WLAN: ASPECTOS TECNOLÓGICOS E REGULATÓRIOS**. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. CURITIBA, p. 51. 2012.
- 6 ANATEL. Resolução nº 506. **Legislação Agência Nacional de Telecomunicações**, 07 Julho 2008. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2008/104-resolucao-506>>. Acesso em: 24 Junho 2017.
- 7 RIBEIRO, J. A. J. **Propagação das ondas eletromagnéticas: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, v. único, 2004.
- 8 BALANIS, C. A. **Teoria de Antenas Análise e Síntese**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., v. 1, 2009.
- 9 SANCHES, C. A.; MIYOSHI, E. M. **Projetos de Sistemas de Rádio**. 3. ed. São Paulo: Érica LTDA, v. único, 2002.
- 10 COUDÉ, R. B. Página Principal. **Rádio Mobile**, 1997. Disponível em: <<http://www.cplus.org/rmw/english1.html>>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- 11 UBIQUITI NETWORKS. Air Link Simulator: Optimized for Performance. **Site da Ubiquiti Networks**, 2019. Disponível em: <<https://link.ui.com/#>>. Acesso em: 25 Junho 2019.
- 12 UBIQUITI NETWORKS. Antenna Data. **UBNT SUPPORT**, 2019. Disponível em: <<https://help.ubnt.com/hc/en-us/articles/204952114-airMAX-dados-da-antena>>. Acesso em: 02 jul. 2019.

13 UBIQUITI NETWORKS, INC. airOS7. **Site da Ubiquiti**. Disponível em: <<https://www.ui.com/download/airmax-ac/powerbeam-ac/default/airos-7-user-guide>>. Acesso em: 02 Julho 2019.

14 PORTAL BRASIL. Pesquisa revela que mais de 100 milhões de brasileiros acessam a internet. **Portal Brasil**, 13 Setembro 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2016/09/pesquisa-revela-que-mais-de-100-milhoes-de-brasileiros-acessam-a-internet>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

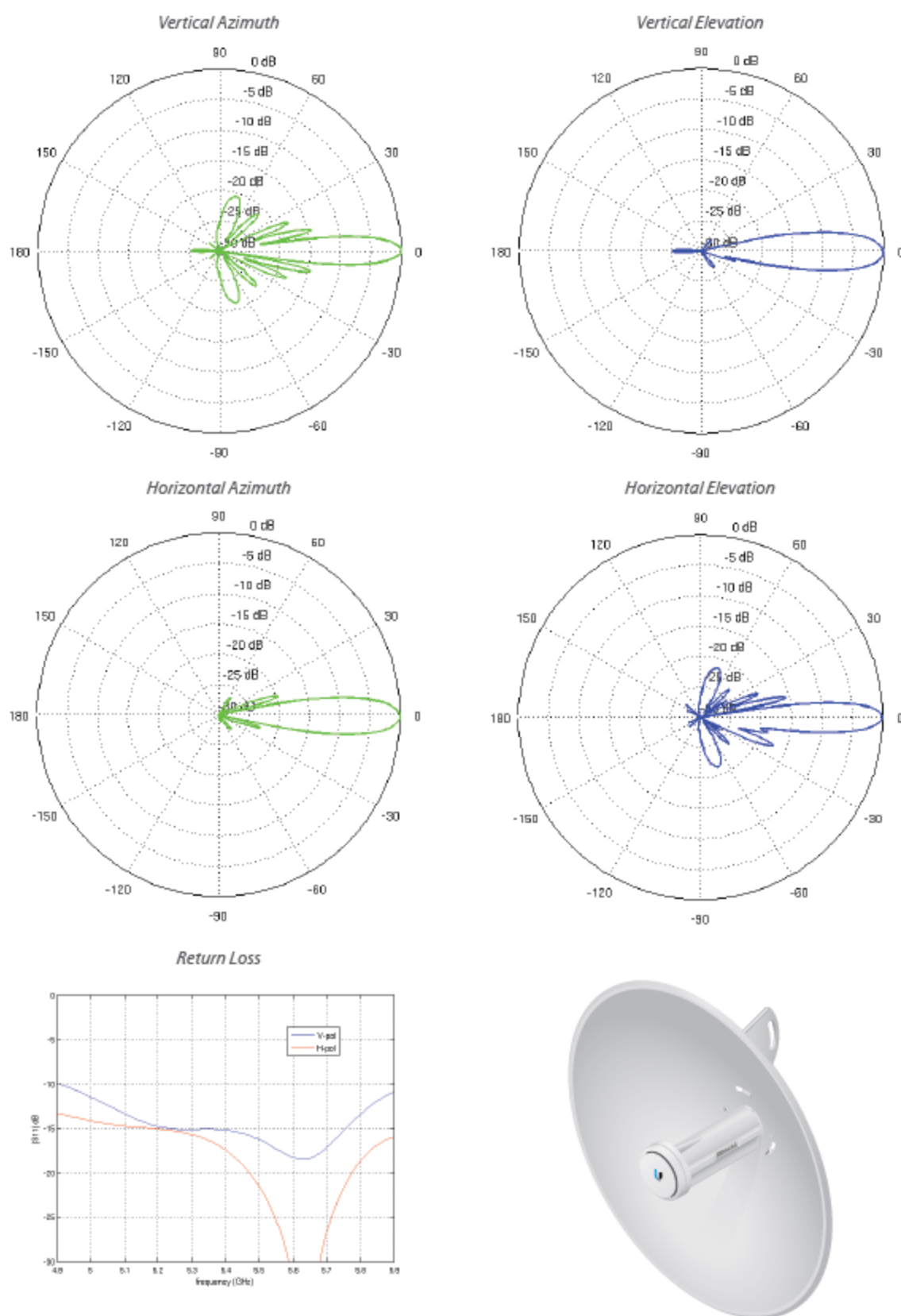
15 UBIQUITI NETWORKS. Folha de Dados PowerBeam AC. **Site da Ubiquiti Networks**, 2014. Disponível em: <https://dl.ubnt.com/datasheets/PowerBeam_ac/PowerBeam5ac_DS.pdf>. Acesso em: 26 Junho 2017.

16 POLETO, O. F. Seção: Banda Larga - Gerenciamento e Monitoramento de Rede II: Gerenciamento SNMP. **Site da Teleco Inteligencia em Telecomunicações**, 2012. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgmredes2/pagina_2.asp>. Acesso em: 25 Junho 2017.

ANEXO A – FOLHA DE DADOS RÁDIO PBE 5AC 400

PBE-5AC-400					
Dimensions	420 x 420 x 275 mm (16.54 x 16.54 x 10.83")				
Weight	1.753 kg (3.87 lbs)				
Power Supply	24V, 0.5A Gigabit PoE				
Max. Power Consumption	8.5W				
Power Method	Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)				
Supported Voltage Range	20-26VDC				
Operating Frequency	Worldwide	USA: U-NII-1	USA: U-NII-2A	USA: U-NII-2C	USA: U-NII-3
	5150 - 5875 MHz	5150 - 5250 MHz*	5250 - 5350 MHz*	5470 - 5725 MHz*	5725 - 5850 MHz*
Gain	25 dBi				
Networking Interface	(1) 10/100/1000 Ethernet Port				
Processor Specs	Atheros MIPS 74Kc, 560 MHz				
Memory	64 MB DDR2, 16 MB Flash				
LEDs	(1) Power, (1) LAN, (4) WLAN				
Signal Strength LEDs	Software-Adjustable to Correspond to Custom RSSI Levels				
Max. VSWR	1.5:1				
Channel Sizes	PtP Mode		PtMP Mode		
	10/20/30/40/50/60/80 MHz		10/20/30/40 MHz		
Polarization	Dual Linear				
Enclosure	Outdoor UV Stabilized Plastic				
Mounting	Pole-Mount (Kit Included)				
Wind Loading	278.4 N @ 120 km/h (63 lbf @ 75 mph)				
Wind Survivability	120 km/h (75 mph)				
ESD/EMP Protection	Air: ± 24 kV, Contact: ± 24 kV				
Operating Temperature	-40 to 70° C (-40 to 158° F)				
Operating Humidity	5 to 95% Noncondensing				
Wireless Approvals	FCC, IC, CE				
RoHS Compliance	Yes				
Salt Fog Test	IEC 68-2-11 (ASTM B117), Equivalent: MIL-STD-810 G Method 509.5				
Vibration Test	IEC 68-2-6				
Temperature Shock Test	IEC 68-2-14				
UV Test	IEC 68-2-5 at 40° C (104° F), Equivalent: ETS 300 019-1-4				
Wind-Driven Rain Test	ETS 300 019-1-4, Equivalent: MIL-STD-810 G Method 506.5				

PBE-5AC-400 Output Power: 25 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
airMAX ac	1x BPSK (1/2)	25 dBm	± 2 dB	airMAX ac	1x BPSK (1/2)	-96 dBm Min.	± 2 dB
	2x QPSK (1/2)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (1/2)	-95 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (3/4)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (3/4)	-92 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (1/2)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (1/2)	-90 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (3/4)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (3/4)	-86 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (1/2)	25 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (1/2)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (3/4)	24 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (3/4)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (5/8)	23 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (5/8)	-74 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (3/4)	21 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (3/4)	-69 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (5/8)	21 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (5/8)	-65 dBm	± 2 dB



ANEXO B – FOLHA DE DADOS RADIO PBE 5AC 620

PBE-5AC-620					
Dimensions	620 x 620 x 386 mm (24.41 x 24.41 x 15.2")				
Weight	6.4 kg (14.11 lbs)				
Power Supply	24V, 0.5A Gigabit PoE				
Max. Power Consumption	8.5W				
Power Method	Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)				
Supported Voltage Range	20-26VDC				
Operating Frequency	Worldwide	USA: U-NII-1	USA: U-NII-2A	USA: U-NII-2C	USA: U-NII-3
	5150 - 5875 MHz	5150 - 5250 MHz*	5250 - 5350 MHz*	5470 - 5725 MHz*	5725 - 5850 MHz*
Gain	29 dBi				
Networking Interface	(1) 10/100/1000 Ethernet Port				
Processor Specs	Atheros MIPS 74Kc, 720 MHz				
Memory	128 MB DDR2, 16 MB Flash				
LEDs	(1) Power, (1) LAN, (4) WLAN				
Signal Strength LEDs	Software-Adjustable to Correspond to Custom RSSI Levels				
Max. VSWR	1.6:1				
Channel Sizes	PtP Mode		PtMP Mode		
	10/20/30/40/50/60/80 MHz		10/20/30/40 MHz		
Polarization	Dual Linear				
Enclosure	Outdoor UV Stabilized Plastic				
Mounting	Pole-Mount (Kit Included)				
Wind Loading	Radome Excluded		Radome Included		
	1510 N @ 200 km/h (340 lbf @ 125 mph)		1830 N @ 200 km/h (411 lbf @ 125 mph)		
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)				
ESD/EMP Protection	Air: ± 24 kV, Contact: ± 24 kV				
Operating Temperature	-40 to 70° C (-40 to 158° F)				
Operating Humidity	5 to 95% Noncondensing				
Wireless Approvals	FCC, IC, CE				
RoHS Compliance	Yes				
Salt Fog Test	IEC 68-2-11 (ASTM B117), Equivalent: MIL-STD-810 G Method 509.5				
Vibration Test	IEC 68-2-6				
Temperature Shock Test	IEC 68-2-14				
UV Test	IEC 68-2-5 at 40° C (104° F), Equivalent: ETS 300 019-1-4				
Wind-Driven Rain Test	ETS 300 019-1-4, Equivalent: MIL-STD-810 G Method 506.5				

PBE-5AC-620 Output Power: 24 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
airMAX ac	1x BPSK (½)	24 dBm	± 2 dB	airMAX ac	1x BPSK (½)	-96 dBm Min.	± 2 dB
	2x QPSK (½)	24 dBm	± 2 dB		2x QPSK (½)	-95 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (¾)	24 dBm	± 2 dB		2x QPSK (¾)	-92 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (½)	24 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (½)	-90 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (¾)	24 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (¾)	-86 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (½)	23 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (½)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (¾)	23 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (¾)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (¾)	22 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (¾)	-74 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (¾)	20 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (¾)	-69 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (¾)	20 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (¾)	-65 dBm	± 2 dB

