



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ELECTROTECNIA**

Curso de Engenharia Electrónica

Relatório do Estágio Profissional

**Optimização do Desempenho da Rede de Comunicação VHF dos Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique – Sul: (Estudo do Caso da Linha de Limpopo)**

**Autor:** Siteo, Nélcia Lázaro

**Supervisor:** Eng<sup>o</sup>. Hélder Baloi

**Supervisor da Empresa:** Eng<sup>o</sup>. Francisco Samuel

Maputo, Setembro de 2022



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ELECTROTECNIA**

Curso de Engenharia Electrónica

Relatório do Estágio Profissional

**Optimização do Desempenho da Rede de Comunicação VHF dos Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique – Sul: (Estudo do Caso da Linha de Limpopo)**

**Autor:** Siteo, Nélcia Lázaro

**Supervisor:** Eng<sup>o</sup>. Hélder Baloi

**Supervisor da Empresa:** Eng<sup>o</sup>. Francisco Samuel

Maputo, Setembro de 2022

## Índice

---

<b>Declaração</b> .....	i
<b>Dedicatória</b> .....	ii
<b>Agradecimentos</b> .....	iii
<b>Lista de símbolos</b> .....	iv
<b>Resumo</b> .....	v
<b>Abstract</b> .....	vi
<b>CAPÍTULO 1: CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA</b> .....	1
<b>1.1 Introdução</b> .....	1
<b>1.1.1 Cantonamento telefónico</b> .....	2
<b>1.2 Definição do problema</b> .....	3
<b>1.3 Justificativa</b> .....	3
<b>1.4 Objectivos</b> .....	4
<b>1.4.1 Objectivo geral</b> .....	4
<b>1.4.2 Objectivos específicos</b> .....	4
<b>1.4.3 Metodologias</b> .....	4
<b>1.5 Estrutura do trabalho</b> .....	5
<b>CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	6
2.1 Descrição geral da rede.....	6
<b>2.2 Descrição do funcionamento dos elementos da rede</b> .....	8
2.2.1 Repetidoras .....	8
2.2.2 Localização dos repetidores.....	8
2.2.3 Elementos básicos das repetidoras.....	9
2.2.4 Funcionamento das repetidoras .....	9
<b>2.2.4.1 Operação Talk-around (DMO – Direct Mode)</b> .....	11
<b>2.2.4.2 Múltiplos grupos</b> .....	12
<b>2.2.4.3 Sinalização das unidades</b> .....	12
<b>2.3 Modelos de equipamentos instalados</b> .....	12
2.3.1 Repetidoras da série GR.....	12
2.3.2 Repetidora modelo GR400.....	14
2.3.2.1 Ciclo de trabalho .....	14

2.3.2.2	Aplicação do GR400 .....	15
2.3.2.3	Repetidora modelo GR500.....	15
2.3.2.4	Ciclo de trabalho .....	15
2.3.2.5	Aplicações .....	16
<b>2.4</b>	<b>Controlador do repetidor .....</b>	<b>16</b>
2.4.1	Visão geral.....	16
2.5.2.1	Controlador repetidor básico.....	16
<b>2.4.2</b>	<b>Base de decisão sobre os modelos .....</b>	<b>18</b>
2.4.2.1	Modelo de selecção das repetidoras GR400 ou GR500.....	18
<b>CAPÍTULO III: MATERIAIS E METODOLOGIA DE PESQUISA .....</b>		<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Classificação da metodologia de pesquisa .....</b>	<b>20</b>
3.1.1	Tipo de pesquisa .....	20
3.1.2	Apresentação do objecto em estudo/empresa .....	20
3.1.3	Missão, visão e valores da empresa.....	20
3.1.4	Objectivos da empresa.....	21
3.1.5	Organograma .....	21
<b>3.1</b>	<b>Análise do desempenho do sistema .....</b>	<b>22</b>
3.1.1	Requisitos para o sistema de telecomunicações.....	23
3.1.2	Requisitos operacionais do sistema rádio .....	23
3.1.3	Requisitos básicos da rede.....	23
<b>4.1</b>	<b>Balanço de potência .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>Caracterização do desvanecimento .....</b>	<b>28</b>
4.2.1	Efeito Doppler .....	29
4.2.2	Desvanecimento lento .....	30
3.2.3	Desvanecimento Rápido .....	31
<b>4.3</b>	<b>Modelo de Propagação .....</b>	<b>31</b>
4.3.1	Considerações gerais.....	31
4.3.2	Modelo de Okumura-Hata.....	32
4.3.2	Proposta de solução.....	34
<b>4.4.</b>	<b>Cálculos.....</b>	<b>34</b>
4.4.1	Rede VHF da linha do Limpopo.....	34
4.4.2	Ligação Maputo – Manhiça e Manhiça – Maputo .....	36

4.4.3 Condições dos <i>links</i> .....	37
<b>4.4.4 Ligação Manhiça – Ungubana e Ungubana – Manhiça</b> .....	<b>37</b>
4.4.5 Condições dos <i>links</i> .....	38
<b>4.4.6 Ligação Ungubana - Motaze e Motaze – Ungubana</b> .....	<b>39</b>
4.4.7 Condições dos <i>links</i> .....	40
<b>4.4.8 Ligação Motaze – Monte Alto e Monte Alto – Motaze</b> .....	<b>40</b>
4.4.9 Condições dos <i>links</i> .....	41
<b>4.4.10 Ligação Monte Alto – Mabalane e Mabalane – Monte Alto</b> .....	<b>42</b>
4.4.11 Condições dos <i>links</i> .....	43
<b>4.4.12 Ligação Mabalane - Combomune, Combomune - Mabalane</b> .....	<b>43</b>
4.4.13. Condições dos <i>links</i> .....	44
<b>4.4.14 Ligação Combomune – Mpuzi, Mpuzi - Combomune</b> .....	<b>45</b>
4.4.15 Condições dos <i>links</i> .....	46
<b>4.4.16 Ligação Mpuzi – Mapai, Mapai - Mpuzi</b> .....	<b>46</b>
4.4.17 Condições dos <i>links</i> .....	47
<b>4.4.18 Ligação Mapai – Chicualacuala, Chicualacuala - Mapai</b> .....	<b>48</b>
4.4.19. Condições dos <i>links</i> .....	49
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSÕES</b> .....	<b>50</b>
5.1 Conclusões .....	50
<b>Anexo 1: Características das Antenas</b> .....	<b>51</b>
<b>Referências bibliográficas</b> .....	<b>52</b>

## Índice de Figuras

---

Figura 1: distribuição dos sites da rede de telecomunicações da linha do Limpopo .....	7
Figura 2: interligação dos elementos da rede .....	8
Figura 3: Diagrama básico do repetidor .....	9
Figura 4: Operação do repetidor .....	10
Figura 5: Operação em Talk-Around .....	11
Figura 6: Diagrama de repetidoras da serie GR.....	14
Figura 7: Repetidora Motorola GR400 .....	19
Figura 8: Organograma dos CFM .....	21
Figura 9: Link budget.....	26
Figura 10: Ilustração do efeito Doppler .....	29
Figura 11: Rede VHF da linha do Limpopo .....	34
Figura 12: Link Maputo – Manhiça .....	36
Figura 13: Link Manhiça – Maputo.....	36
Figura 14: Link Manhiça - Ungubana.....	37
Figura 15: Ungubana – Manhiça.....	38
Figura 16: Ungubana – Motaze.....	39
Figura 17: Motaze – Ungubana.....	39
Figura 18: Motaze – Monte Alto .....	40
Figura 19: Monte Alto – Motaze .....	41
Figura 20: Monte Alto – Mabalane.....	42
Figura 21: Mabalane – Monte Alto.....	42
Figura 22: Mabalane - Combomune .....	43
Figura 23: Combomune - Mabalane .....	44
Figura 24: Combomune - Mpuzi.....	45
Figura 25: Mpuzi - Combomune.....	45
Figura 26: Mpuzi - Mapai .....	46
Figura 27: Mapai - Mpuzi .....	47
Figura 28: Mapai - Chicualacuala.....	48
Figura 29: Chicualacuala – Mapai .....	48

## Índice de Tabelas

---

Tabela 1: Parâmetros dos sites .....	35
Tabela 2: Parâmetros do link Maputo – Manhiça (Fonte: Autora).....	37
Tabela 3: Parâmetros do link Manhiça – Ungubana.....	38
Tabela 4: Parâmetros do link Ungubana – Motaze.....	40
Tabela 5: Parâmetros do link Motaze – Monte Alto.....	41
Tabela 6: Parâmetros do link Monte Alto – Mabalane .....	43
Tabela 7: Parâmetros do link Mabalane - Combomune (fonte: Autora) .....	44
Tabela 8: Parâmetros do link Combomune - Mpuzi.....	46
Tabela 9: Parâmetros do link Mpuzi - Mapai .....	47
Tabela 10: Parâmetros do link Mapai – Chicualacuala .....	49

## **Declaração**

Eu, Nélcia Lázaro Siteo, declaro por minha honra que este trabalho do estágio profissional do final do curso de Engenharia Electrónica, nunca foi apresentado em nenhuma instituição para obtenção de qualquer nível.

Este trabalho é fruto da minha investigação e de um trabalho colaborativo.

Maputo, Setembro de 2022

---

(Nélcia Lázaro Siteo)



## **Dedicatória**

Dedico à minha filha Shania Zacarias Chauque, minha mãe Utilia Tembe, aos meus irmãos, amigos e colegas que directamente e indirectamente acompanharam me nesta jornada académica.

## **Agradecimentos**

Agradeço ao meu bom Deus, Pai, Filho e Espírito Santo, pelo dom da vida e por ser o meu maior alicerce, e guia de luz. Agradeço a mim mesma, pela força e dedicação, fonte de inspiração. Agradeço à minha família, pelo grande apoio proporcionado, em especial ao meu primo padrinho Jorge Nhaca, a minha mãe Utilia Georgania Tembe, minha filha Shania Chauque, minha força da vida, meus irmãos por estarem sempre presentes nesta jornada difícil, porém victoriosa. O meu enorme agradecimento é extensivo a todos professores desta Faculdade de Engenharia, aos técnicos e Engenheiros do CFM, em especial aos Engenheiros Helder Baloi e Francisco Samuel na orientação desta caminhada.

Muito obrigada.

## Lista de símbolos

CFM Sul	<i>Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique Sul</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
OBC	<i>Onboard Computer</i>
DST	<i>Departamento de Sinalização e Telecomunicações</i>
CCC	<i>Comando de Circulação de Comboios</i>
DMO (TALK AROUND)	<i>Direct Mode of Operation</i>
EIRP	<i>Equivalent Isotropic Radiated Power</i>
PMR	<i>Private (or Professional) Mobile Radio</i>
PTT	<i>Push To talk</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RICK	<i>Repeater Interface Communications Kit</i>
TX	<i>Transmit</i>
RX	<i>Reception</i>
PL	<i>Private Line</i>
DPL	<i>Digital Private Line</i>
UIC	<i>Union International des Chemins de Ferre</i>
DTMF	<i>Dual-Tone Multi-Frequency</i>
CQS	<i>Carrier Squelch</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standardization Institute</i>
MAPL	<i>Maximum Allowed Path Loss</i>

## **Resumo**

O CFM-Sul usa para a regulação das circulações ferroviários, uma rede de comunicação VHF, que permite as comunicações entre o centro de controle e as estações, e este com as tripulações ao longo da linha. O estágio por mim realizado na empresa Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique, fez com que o presente trabalho abordasse sobre uma necessidade de Otimização do Desempenho da Rede de Comunicação VHF dos Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique, concretamente no sul, na linha de Limpopo. Foram feitos levantamentos e estudos no campo, e feitas as respectivas descrições em todas as fases deste trabalho, desde a participação nos trabalhos feitos no campo com os membros da equipe do D.S.T. dos Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique (SUL), verificação dos itens até sua respectiva abordagem e conclusão. Este trabalho consiste no desenvolvimento de um mecanismo para melhorar o sistema de comunicação entre o centro de controle e as estações nesta empresa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Otimização da rede de comunicação VHF, linha de Limpopo (CFM-SUL).

## **Abstract**

CFM-Sul uses a VHF communication network for the regulation of railway circulation, which allows communications between the control center and the stations, and the latter with the crews along the line. The internship I carried out at the company Ports and Railways of Mozambique, made the present work approach a need for Optimization of the Performance of the VHF Communication Network of the Ports and Railways of Mozambique, specifically in the South, in the line of clean. Surveys and studies were carried out in the field, and the respective descriptions were made in all phases of this work, from the participation in the work done in the field with the members of the D.S.T. of the Ports and Railways of Mozambique (SUL), verification of the items until their respective approach and conclusion. This work consists in the development of a mechanism to improve the communication system between the control center and the stations in this company.

**KEYWORDS:** Optimization of the VHF communication network, Limpopo line (CFM-SUL).

## **CAPÍTULO 1: CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA**

### **1.1 Introdução**

O movimento de um veículo ferroviário é realizado sempre por definição em rota de colisão com outros veículos ferroviários que circulam ou que entram na mesma via. Sendo assim, a base da segurança de circulação ferroviária consiste na garantia da existência permanente de um espaçamento adequado (distância de segurança) entre veículos (comboios) circulando na mesma via. O uso deste princípio rege pela divisão da via-férrea em secções elementares designadas por “cantões” de dimensão variável conforme a localização, o modelo de exploração, o tipo de comboio, entre outros. Sendo o elemento primário da segurança de circulação a garantia de que cada cantão possa ser ocupado por um e único comboio. Cantão é o espaço existente entre cada duas estações consecutivas. O princípio base da segurança ferroviária diz que em cada cantão um só comboio deve ocupar. Também foram estabelecidos os outros princípios das regras de segurança de circulação, atribuindo ao responsável por cada estação (Chefe de estação) o zelo pela segurança na sua estação e aos responsáveis de cada duas estações consecutivas a responsabilidade solidária pela segurança de circulação entre essas estações que autorizam a circulação e expedir cada comboio entre essas estações. Para além dos princípios essenciais da estruturação e organização da segurança da circulação ferroviária, como seja o princípio básico de cantão e do cantonamento e o princípio de separação dos conceitos de segurança nas estações e na plena via, houve necessidade da existência de meios de comunicação entre as estações.

Os caminhos de ferro foram autorizados a instalar meios privados de telecomunicações, em regime de exceção aos monopólios de estado que ainda prevalecem. Essas ligações começaram por ser constituídas por um Sistema de telegrafia, suportado por linhas aéreas unifilares com retorno pela terra, instaladas ao longo da via (daí que a designação corrente do gabinete de telecomunicações das estações seja “telegrafo”). Assim foi a origem do desenvolvimento ao longo de décadas nos países em geral, altas redes ferroviárias de telecomunicações, com modelos diferenciados.

Os sistemas de telecomunicações ferroviárias e as suas relações com os modelos de segurança e de comando da circulação, desempenham papel importante na segurança e na qualidade do serviço

ferroviário, concluindo se que, a fiabilidade e a disponibilidade das comunicações são factores de influência direta na qualidade do serviço, mas também de influência indireta (e um potencial fator de risco) na segurança da circulação. Nestas condições, considera se importante proceder a uma sistematização dos principais atributos que devem caracterizar a qualidade e adequação de um Sistema de telecomunicações ferroviárias para o cenário concreto a que se destinam, assim como analisar e tipificar os factores de risco que podem comprometer o seu bom desempenho e consequentemente ameaçar a qualidade e segurança do serviço ferroviário.

Um dos primeiros factores que definem a qualidade e adequação de um Sistema de comunicações é a sua correspondência e aderência às efetivas necessidades a que deve dar resposta.

### **1.1.1 Cantonamento telefónico**

O modelo de exploração e segurança designado por cantonamento telefónico, previsto e utilizado baseia se em regras, procedimentos e decisões humanas, tomadas entre os chefes de cada duas estacoes consecutivas, por tanto, as acções de detenção, avaliação e decisão são feitas a partir do conhecimento da situação de ocupação do cantão e da subsequente possibilidade de expedir em segurança cada comboio. Esses todos procedimentos são feitos através da comunicação Telefónica, devidamente regulamentada e registada, pelo qual o chefe da estação que pretende expedir um comboio pede autorização (avanço) ao chefe da estação seguinte para essa expedição. Depois de obtida a resposta de autorização e registada é dada a ordem de partida ao comboio. Esta comunicação é complementada por uma outra, apos a efectiva saída do comboio, pelo qual o chefe da estação que expediu o comboio confirma ao chefe da estação seguinte sobre a partida em tempo real.

O cantonamento telefónico, abrange à generalidade de uma linha ou zona, a rigorosidade deste sistema aplica se à segurança da plena via e não propriamente à de cada estação envolvida.

O principal componente dos sistemas de telecomunicações aplicados nas áreas de cantonamento telefónico, na Valencia de segurança da circulação, é constituído por conjunto de ligações de cada estação com as suas colaterais, através das quais são concedidas as autorizações de circulação entre essas estacoes.

## 1.2 Definição do problema

O CFM-Sul usa para a regulação das circulações ferroviárias, uma rede de comunicação VHF, que permite as comunicações entre o centro de controle e as estações, e este com as tripulações ao longo da linha.

Em situação de falta destas comunicações, acidentes graves com consequências enormes para as pessoas, materiais, equipamentos, confiança ao sistema de transporte ferroviário e à economia nacional, poderão ser gravemente afetados.

A cobertura desta rede não é total ao longo da linha como seria de desejar conforme os regulamentos operacionais, variando ainda de acordo com as condições meteorológicas, remetendo a seguinte pergunta de pesquisa: **como melhorar o sistema de comunicação entre o centro de controle e as estações na empresa Caminhos de Ferro de Moçambique – Sul na linha de Limpopo?**

## 1.3 Justificativa

Este trabalho é justificado pela importância que o sistema ferroviário tem, este sistema pela sua natureza é um sistema guiado, o que leva com que os diversos veículos que circulam na via férrea sejam sempre feitos em rota de colisão de uns contra os outros. Como forma de se proceder ao controlo da circulação a linha é dividida em diversas secções nas quais em cada uma, apenas um veículo ou comboio, poderá ocupá-lo, sendo para o efeito, necessário uma comunicação segura entre o centro de controlo e os veículos que ocupam cada uma das secções, por forma a proceder à gestão eficiente da sua circulação. As telecomunicações e os transportes funcionam como agentes facilitadores na operacionalização das transações financeiras, comerciais e no aumento do fluxo das trocas de mercadoria pelo mundo. Despertando desta forma, a paixão pelo ramo da telecomunicação.



## **1.4 Objectivos**

### **1.4.1 Objectivo geral**

- Conceber uma solução para melhoria do desempenho da rede VHF da linha do Limpopo.

### **1.4.2 Objectivos específicos**

- Descrever a arquitetura da rede VHF da linha de Limpopo;
- Avaliar os parâmetros da rede VHF com os definidos nas normas;
- Identificar as causas do baixo desempenho da rede;
- Propor eventuais correções a realizar na rede por forma a melhorar a performance.

### **1.4.3 Metodologias**

- Quanto a abordagem: pesquisa qualitativa;
- Quanto a natureza: pesquisa aplicada;
- Quanto aos procedimentos: pesquisas bibliográficas e estudo de campo.

## **1.5 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho encontra se organizado em cinco capítulos. No primeiro capítulo trata se de uma breve “introdução”, onde aborda o controle de tráfego ferroviário e a necessidade de sistemas de telecomunicação. Fundamentos na utilização das telecomunicações para o controle de tráfego ferroviário, regime de exploração na base de telecomunicações de voz (cantonamento telefónico).

No segundo capítulo fala se da “descrição” da rede de telecomunicações VHF na linha do Limpopo. Onde destaca se extensão da linha, estacoes base (tipos e características), ligação entre as estacoes base, Equipamentos nas estacoes e nas unidades motoras e recomendações da UIC (união internacional dos caminhos de ferro).

No terceiro capítulo “Análise do desempenho do sistema implementado, dimensionamento das redes VHF”. O quarto capítulo fala de “resultados da pesquisa, modelos de propagação” no que tange aos modelos aplicáveis para redes VHF convencionais quase síncronos. aborda sobre o “desempenho da rede VHF” com destaque ao balanço de potências, calculo de EIRPV, desvanecimento (rápido e lento), efeito Doppler, tráfego e proposta de solução. No Quinto capitulo trata se da “conclusão”, e por ultimo” recomendações” e “referência bibliografia”.

## **CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA**

No presente capítulo procura-se descrever a rede de telecomunicações em uso na linha do Limpopo. São descritos os principais equipamentos, que compõem a rede de telecomunicações da linha do Limpopo, suas funcionalidades, e a forma como se encontram interligados para compor a actual rede de telecomunicações naquela linha.

### **2.1 Descrição geral da rede**

A rede de telecomunicações da linha do Limpopo, é composta por 10 (dez) sites com torres, de acordo com a imagem abaixo e equipamentos ativos em cada local compostos por repetidora de cobertura local e repetidora link, que conecta cada um dos locais com os sites adjacentes. A figura 1 abaixo, mostra a distribuição dos sites da rede de telecomunicações da linha do Limpopo.

A cobertura local, é feita por equipamentos VHF Motorola GR400, na faixa dos 138 – 145 MHz e links em UHF, na faixa dos 457 – 467 MHz. A faixa de VHF, faz a cobertura local e a faixa de UHF é utilizada para a realização de links entre as 12 (doze) estações de repetição, através de repetidoras GR500 da Motorola.

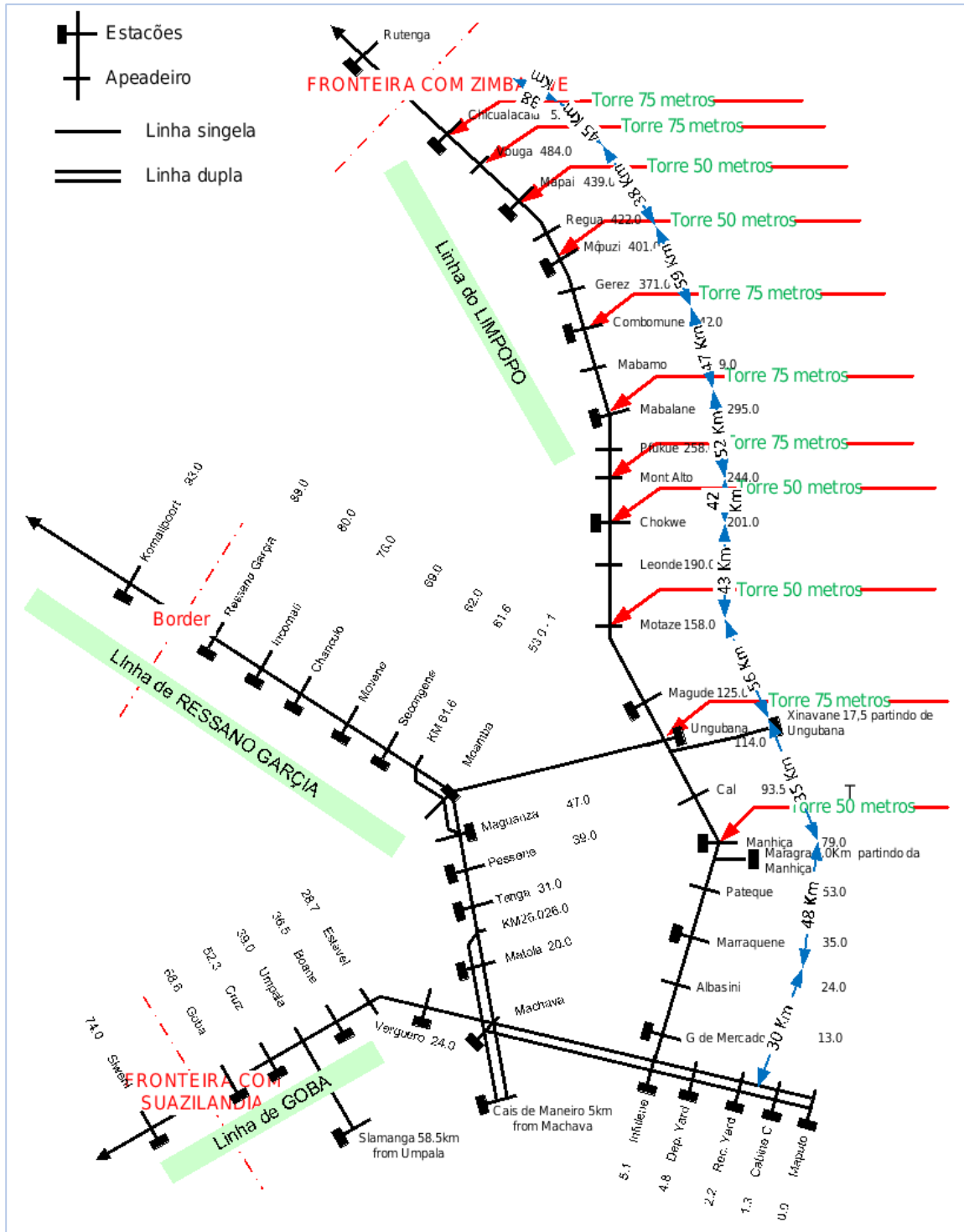


Figura 1: distribuição dos sites da rede de telecomunicações da linha do Limpopo (fonte: Autora)

A figura 2 abaixo, mostra a interligação entre os diversos elementos da rede VHF na linha do Limpopo.

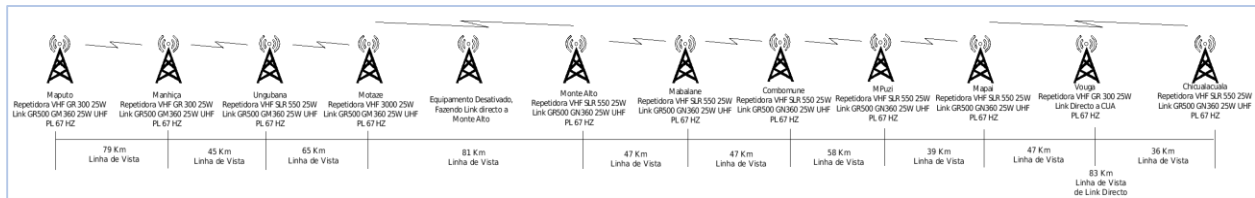


Figura 2: interligação dos elementos da rede (fonte: Autora)

## 2.2 Descrição do funcionamento dos elementos da rede

### 2.2.1 Repetidoras

Em muitas situações, um sistema de rádio simples não pode atender às necessidades de cobertura de rádio dos usuários. Isso ocorre porque o alcance não é suficiente para a zona de cobertura, ou o terreno bloqueia o sinal de rádio. A solução para a maioria dos problemas de cobertura é um dispositivo chamado repetidor. Um repetidor recebe transmissões de rádio e as retransmite para que a comunicação seja mantida. Os repetidores são necessários nos seguintes casos:

- alcance de comunicação desejado excede os limites de alcance dos rádios de campo;
- O terreno cria áreas significativas de má recepção ou perda;
- Edifícios ou outras barreiras estruturais bloqueiam as comunicações.

### 2.2.2 Localização dos repetidores

Para que sejam mais úteis, as repetidoras e as suas antenas estão localizadas em torres, construídas ao longo da linha. A altura da antena repetidora está, dependente da altura da torre e colocada por forma a superar as obstruções que impedem as unidades de campo de se comunicarem diretamente. Com estas localizações vantajosas, permitem que haja uma disponibilidade de mais energia do que o rádio móvel portátil e ou móvel, típico seria capaz de alcançar. Os sistemas repetidores oferecem uma área de cobertura muito maior, portanto, permitem que rádios de campo de baixa potência se comuniquem entre si em distâncias muito maiores.

### 2.2.3 Elementos básicos das repetidoras

Os repetidores da linha do Limpopo, são compostos por vários equipamentos padrão (compostos por rádios) acoplados ao RICK (*Basic Repeater Controller*). Como o diagrama indica, um repetidor básico deve ter um receptor e um transmissor. O RICK é um dispositivo eletrônico que cria um repetidor ligando o transmissor e o receptor. O repetidor tem também um duplexer (um dispositivo que permite que uma única antena transmita e receba ao mesmo tempo).

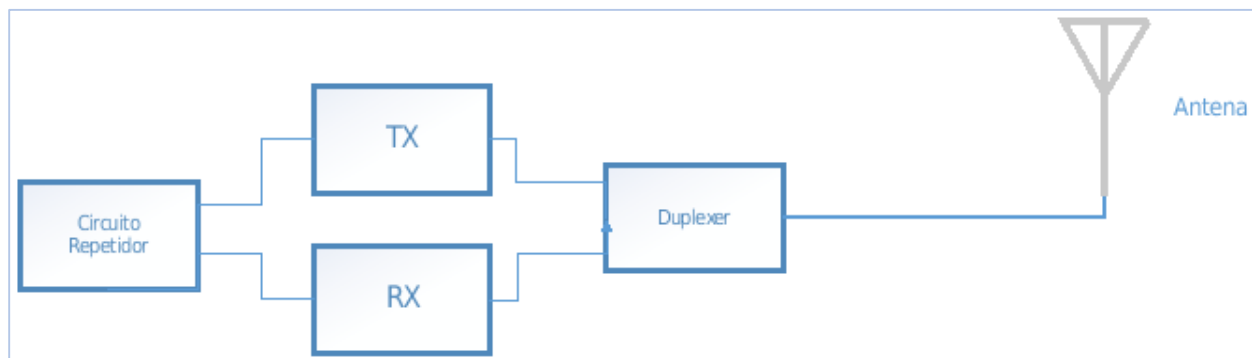


Figura 3: Diagrama básico do repetidor (fonte: Autora)

### 2.2.4 Funcionamento das repetidoras

Os repetidores funcionam no modo “half-duplex”. Isso significa que eles podem transmitir e receber quase simultaneamente. O diagrama abaixo, mostra o fluxo de como uma das repetidoras da linha de Limpopo opera. Observe as seguintes abreviações:

- F# - Refere-se à frequência, (F1 e F2 representam duas frequências separadas)
- TX - Transmissão
- RX - Recepção

Um sistema de rádio com repetidor é configurado para que os rádios de campo transmitam (TX) em uma frequência (F1) e recebam (RX) em uma frequência diferente (F2).

O repetidor usa as mesmas duas frequências, com suas funções invertidas. Ou seja, o repetidor transmite na frequência que o rádio de campo recebe e recebe a frequência que o rádio de campo transmite.

Como mostra a imagem abaixo, o rádio de campo "A" inicia as comunicações transmitindo em F1. O repetidor recebe uma transmissão em F1 e simultaneamente retransmite a mensagem em F2, onde é recebido pelas unidades de campo "B" e "C"

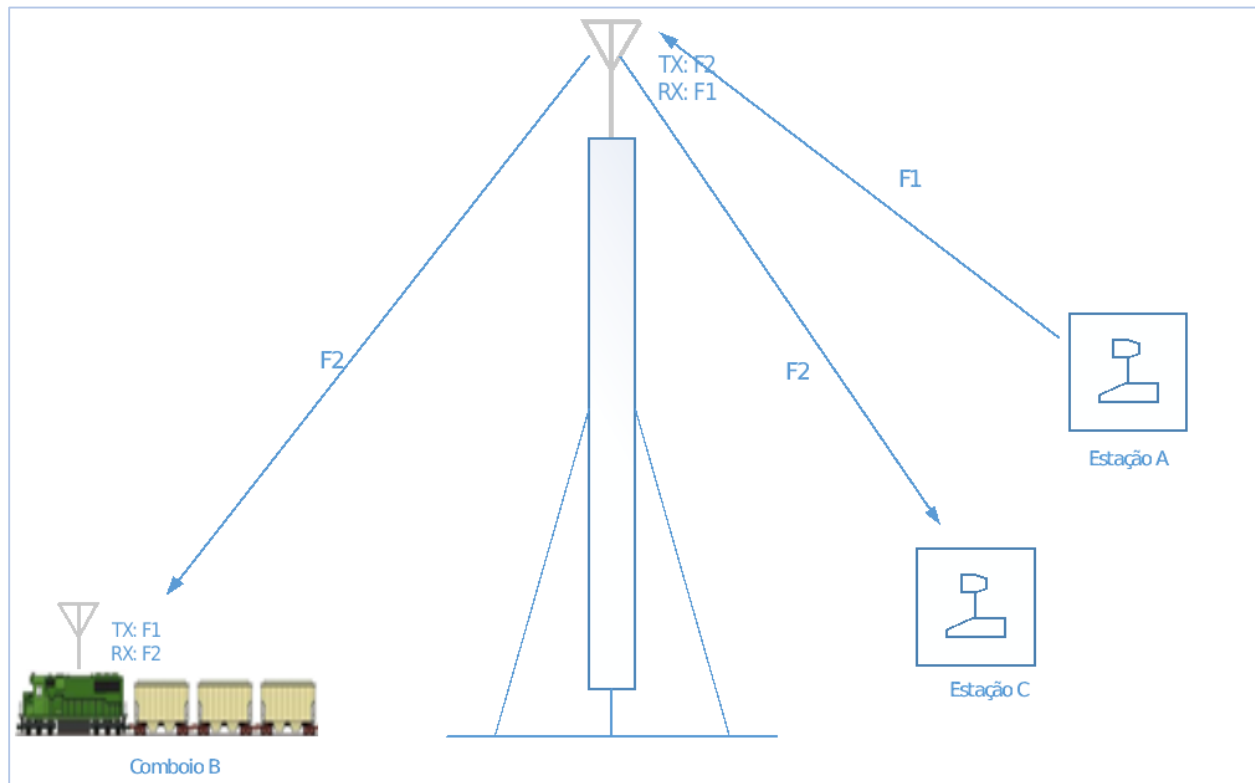


Figura 4: Operação do repetidor (fonte: Autora)

Como se pode notar, em um sistema de rádio repetidor, os rádios de campo não se comunicam diretamente entre si. Toda a comunicação vai do rádio para o repetidor e depois para outro rádio. Embora esta comunicação possa parecer um grande problema, tudo acontece de forma a que não haja nenhum efeito perceptível nas comunicações. Mais importante, os rádios de campo podem se comunicar via repetidor a distâncias muito maiores do que seria possível de outra forma.

### 2.2.4.1 Operação Talk-around (DMO – Direct Mode)

Nos casos que dois rádios de campo estejam dentro do alcance um do outro e desejem se comunicar sem sobrecarregar o repetidor e/ou, quando os rádios de campo podem estar dentro do alcance um do outro, mas fora do alcance do repetidor. A solução que é apresentada pelo sistema e é conhecido como "talk-around". Como o nome sugere, os rádios com capacidade de conversação podem comunicar entre si sem usar o repetidor.

O sistema, também está configurado, com acesso de repetidor e conversação directa, os rádios de campo têm no mínimo dois canais. O canal 1 (CH 1) opera através do repetidor exatamente como a configuração de rádio de canal único que vimos no diagrama anterior.

O CH 2. Este canal de conversação, é uma frequência simplex directamente entre dois ou mais rádios. Como se pode ver, o usuário A e o usuário B podem se comunicar directamente um com o outro se ambos estiverem sintonizados no canal 2. Se ambos estiverem sintonizados no canal 1, eles se comunicarão através do repetidor. As frequências não estão relacionadas aos números dos canais. Qualquer canal pode ser programado para TX ou RX em qualquer frequência.

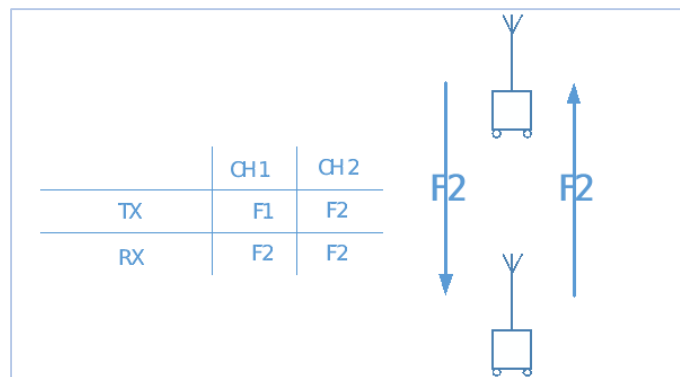


Figura 5: Operação em Talk-Around (fonte: autora)



#### **2.2.4.2 Múltiplos grupos**

Os códigos PL e DPL são usados para limitar o acesso à repetidora. Apenas rádios de campo com o código correto programado. Uma vez que o conjunto de usuários no repetidor se torna grande ou diversificado o suficiente, é desejável ter grupos diferentes. É possível separar os grupos de forma que cada unidade de campo ouça apenas a transmissão dos outros membros de seu grupo. Os membros do grupo podem se comunicar apenas uns com os outros. Isso é conseguido usando o PL ou DPL nos rádios de campo e um painel múltiplo PL/DPL no repetidor. O painel PL/DPL múltiplo também permite que o gerenciador da repetidora adapte muitas funções às necessidades dos grupos individuais.

#### **2.2.4.3 Sinalização das unidades**

A sinalização integrada ao repetidor permite que o rádio de campo seja chamado individualmente ou em grupos. Com esta sinalização, as comunicações individuais ocorrem sem envolver rádios desnecessários no grupo de comunicação. Apenas a unidade desejada é envolvida para a conversa. A esta sinalização melhora muito a operação do repetidor. Qualquer rádio equipado com teclado DTMF, pode se comunicar especificamente com a pessoa de que precisa.

### **2.3 Modelos de equipamentos instalados**

#### **2.3.1 Repetidoras da série GR**

A série GR de repetidores modulares é baseada em rádios móveis Motorola para fornecer os recursos de transmissão e recepção. Usando rádios existentes, bem testados e de grande sucesso como ponto de partida, foi possível criar uma série de repetidores que:

- Têm desempenho, qualidade e durabilidade comprovados
- Cobrem toda a gama de potência, frequências e separações de canais
- Reduzam os requisitos de estoque do revendedor
- São fáceis de reparar e manter

Para a Série GR, o circuito do repetidor é compreendido por uma série de controladores de repetidor. Os controladores do repetidor fornecem a funcionalidade do repetidor ligando o rádio de transmissão e o rádio de recepção. Os controladores também oferecem uma ampla gama de recursos de valor agregado. Como resultado, as necessidades dos clientes podem ser atendidas com um sistema de baixo custo que pode ser expandido e adaptado à medida que as necessidades dos usuários evoluem.

A Série GR consiste nos repetidores GR400 e GR500. O GR400 é uma unidade de mesa ou portátil, e o GR500 é um modelo de montagem na parede. Cada repetidor GR, quando configurado, contém:

- Carcaça do repetidor em metal
- Dois rádios móveis
- Fonte de energia
- Ventoinha
- Duplexer

Os repetidores da Série GR são compatíveis com os rádios GM300, M10 e M120 e ainda com os rádios da serie CM e DM (estes últimos quando configurados em digital). Nem todos os controladores funcionam com todos os rádios e alguns rádios podem exigir pequenas modificações.

Ambos os repetidores da Série GR compartilham os seguintes recursos:

- Design modular - Permite fácil adaptação a uma ampla variedade de usos;
- Facilidade de serviço - O tempo de inatividade é praticamente eliminado;
- Montagem interna do duplexer - Para uma unidade bem organizada e independente;
- Ciclo de trabalho flexível - serviço contínuo de 25W ou serviço intermitente de 40-45W;
- Programável em campo - adaptável para requisitos em mudança;
- Atualizável - Cresce com as necessidades de comunicação dos usuários.

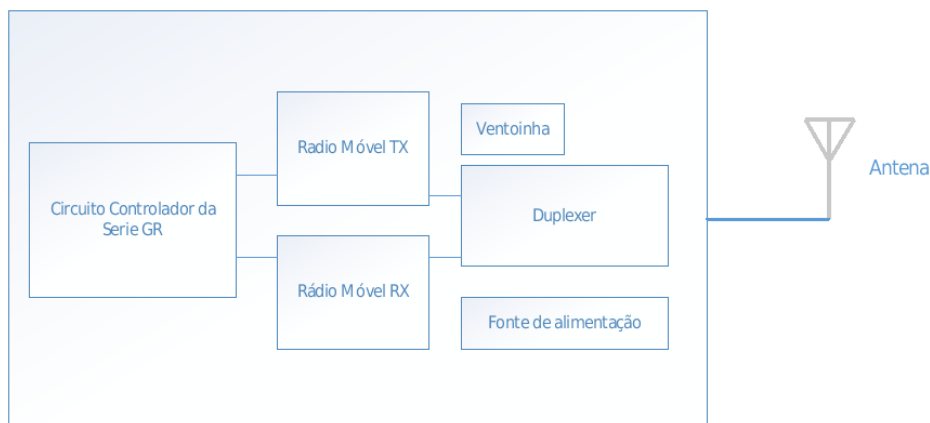


Figura 6: Diagrama de repetidoras da serie GR (fonte: Autora)

### 2.3.2 Repetidora modelo GR400

O GR400 é usado como repetidor de mesa. Este repetidor pode ser implementado, em qualquer lugar que seja necessário. Com sua carcaça de metal compacta e durável, o GR400 é eficiente em termos de espaço como repetidor de mesa robusto. Um despachante ou supervisor pode estar sentado perto do GR400 e manter o controle completo sobre o sistema.

#### 2.3.2.1 Ciclo de trabalho

O GR400 tem uma operação contínua a 25 watts, e serviço intermitente com rádios de 40 a 45 watts instalados. Para o GR400, operação intermitente significa 20% de ciclo de trabalho, até 30 segundos de transmissão e 120 segundos de recepção/espera.

### **2.3.2.2 Aplicação do GR400**

Este repetidor foi projetado como unidade compacta, modular, de mesa, que enfatiza o controle local e as capacidades de sinalização. Ocupa um espaço mínimo e foi projetado para ser silencioso, eficiente e fácil de usar. O GR400 é, portanto, a escolha ideal para atender às necessidades do um usuário que precisa manter o repetidor em um ambiente protegido ou de cabine.

Recursos como a alça/tampa de transporte existem opcionalmente e a montagem do duplexer integrado conferem ao GR400 uma grande capacidade.

### **2.3.2.3 Repetidora modelo GR500**

O modelo da série GR500, é o repetidor de parede. A carcaça do GR500 é uma carcaça de metal resistente que fornece:

- Fixação permanente na parede
- Reversão de bateria padrão com troca de manutenção de bateria
- Slot de expansão para adaptador de controle remoto
- Montagem interna do duplexador
- Montagem interna do pré-seletor
- Montagem de cadeado para segurança

### **2.3.2.4 Ciclo de trabalho**

O GR500 é de operação contínua a 25 watts e ciclo de trabalho intermitente com rádios de 40 ou 45 watts instalados. Para o GR500, intermitente significa ciclo de trabalho de 50%, até 20 minutos de transmissão, seguido por 20 minutos de recepção/espera

Acessórios disponíveis:

- Pré-selector
- Conjuntos de mesa remota e adaptador remoto

### **2.3.2.5 Aplicações**

O GR500 foi projetado para ser fixado permanentemente, localizado o mais próximo possível da antena para minimizar a perda de cabos da antena. O GR500 representa uma escolha ideal para atender a maioria das aplicações de repetidores permanentes quando o usuário não precisa de controle local. A capacidade de bloquear com segurança o repetidor torna o GR500 a escolha ideal para clientes que desejam estabelecer o repetidor em um local não protegido, onde o roubo e arrombamento possam ser uma preocupação. Embora o GR500 seja à prova de roedores, não é à prova de intempéries podendo também lidar com gotas ocasionais na superfície superior, devendo para tal ser montado em ambientes internos ou em uma caixa de proteção.

## **2.4 Controlador do repetidor**

### **2.4.1 Visão geral**

Um recurso importante que diferencia a Série GR de outros repetidores é a abordagem modular para fornecer recursos de controlador de repetidor. Os vários controladores disponíveis permitem flexibilidade para atender a uma ampla variedade de necessidades dos usuários. Nesta seção, explicaremos os recursos do controlador:

- Controlador de Repetidor Básico, em uso nas repetidoras da linha do Limpopo

Embora os módulos do controlador forneçam circuitos repetidores, não se deve presumir que cada um dos controladores oferece todos os recursos dos repetidores. Neste caso falaremos do controlador em uso nas repetidoras GR400 e GR500 do CFM.

### **2.5.2.1 Controlador repetidor básico**

O controlador básico é de menor custo e mais simples dos controladores para os repetidores da série GR, preenchendo a maioria dos requisitos de repetidores.

- Operação unidirecional - O controlador básico fornece operação de repetidor padrão, retransmitindo uma frequência recebida
- Operação bidirecional - Fornece um link completo entre dois grupos separados por ter ambos os rádios repetidores funcionando no modo de transmissão e recepção. Isso possibilita que um grupo em uma frequência se comunique diretamente com outro grupo em uma frequência diferente. O controlador básico é o único controlador da série GR que suporta operação bidirecional
- Operação de banda cruzada - Além da operação simples, o controlador básico suporta os requisitos de banda cruzada. Isto é possível para um grupo em UHF se comunicar diretamente com um grupo separado em VHF. A banda cruzada pode ser unidirecional ou bidirecional como um link bidirecional entre as bandas. um repetidor de banda cruzada bidirecional pode ser usado para conectar diferentes locais.
- Configuração e desativação do repetidor remoto - usando um alerta de chamada rápida com buzina e saída de luzes, um rádio de campo pode sinalizar o repetidor para desligar ou ligar. Esta é a configuração ideal para um repetidor de emergência que fica esperando em caso de mau funcionamento do repetidor primário, ou para uma empresa que deseja controlar a operação do repetidor.
- Operação transparente - O controlador básico pode permitir que códigos de rádio de campo e sinalização passem pelo repetidor inalterados.
- Tempo de espera selecionável - O tempo de espera é quanto tempo o repetidor permanece codificado após a unidade de campo parar de transmitir. Isso é ajustável para os requisitos do sistema.
- Acesso PL, DPL, CQS - O repetidor pode ser configurado para que seja necessário um código de acesso PL ou DPL, ou pode ser repetidor de silenciamento de portadora
- Led indicadores para habilitação do repetidor, relé operado por portadora e configuração do repetidor - LEDs fornecem uma indicação visual do status do repetidor
- Controle do painel frontal para habilitação e configuração do repetidor - dois botões no controlador permitem a função (habilitar/desabilitar) e configuração local. Isso é especialmente útil em um repetidor GR400 controlado localmente usado em um desktop.

## **2.4.2 Base de decisão sobre os modelos**

### **2.4.2.1 Modelo de selecção das repetidoras GR400 ou GR500**

Embora em muitos casos seja óbvio qual modelo é desejável, existem algumas questões-chave que devem ser respondidas:

1. O controle local na área de trabalho será vantajoso? Isso geralmente pode reduzir o custo do sistema, eliminando a necessidade de rádio ou controle remoto do despachante. Se sim, o GR400 é a escolha correta.
2. Será usada alta potência? Se sim, há uma grande diferença nas capacidades do ciclo de trabalho de alta potência entre o GR400 e o GR500. O GR500 pode suportar rádios de alta potência para um ciclo de trabalho muito mais longo.
3. Onde é o local de montagem real? Em que ambiente? O GR500 tem a melhor proteção do meio ambiente, protegendo os rádios melhor que o GR400
4. O controle remoto de tom será usado? Ambos os modelos GR podem usar controlador remoto de tom. O GR500 possui um segundo slot de controlador para que o adaptador remoto de tom possa ser adicionado a qualquer um dos outros controladores dentro da caixa. GR400 suporta apenas um controlador
5. O repetidor estará em um ambiente de muita interferência RF? Enquanto a série GR não se destina a locais de muita interferência de RF, para melhor lidar com RF interferente, o modelo GR500 permite a montagem de pré-seletores internos e knockouts para isolador externo.



Figura 7: Repetidora Motorola GR400 (fonte: Autora)



## **CAPÍTULO III: MATERIAIS E METODOLOGIA DE PESQUISA**

### **3.1 Classificação da metodologia de pesquisa**

#### **3.1.1 Tipo de pesquisa**

O procedimento técnico utilizado na pesquisa foi do tipo estudo de caso, realizado numa empresa de transporte ferroviário. Silva e Menezes (2001, p.21) afirmam que o estudo de caso envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objectos, de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento. Na pesquisa em epígrafe procura-se conhecer através de técnicas de diagnósticos, e com os conhecimentos captados, propor uma solução alternativa para aumentar o desempenho na empresa Portos e Caminhos de Mocambique.

#### **3.1.2 Apresentação do objecto em estudo/empresa**

Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique - CFM, com presença nas três regiões do país, concretamente na zona Sul, Centro e Norte. A maior empresa pública do sector de transporte de Pessoas e Bens no país, a empresa está operando a 126 anos.

Neste caso em particular, em representação às três principais regiões da empresa, os dados aqui apresentados referem-se à região Sul (CFM–Sul).

O manejo portuário abrange a cabotagem, importações e exportações de trânsito de diferentes tipos de mercadoria dos países vizinhos através dos portos moçambicanos.

Os CFM fazem também serviços de logística, como o clínquer, contentores, açúcar, gasóleo, ferrocrómio e tantos outros.

#### **3.1.3 Missão, visão e valores da empresa**

Desenvolver e modernizar o sistema ferro-portuário de modo eficiente e competitivo ao mercado, cuja visão é ser uma empresa de referência e de melhor qualidade nos serviços prestados. Deste modo acrescentando valores na boa governação, eficiência, credibilidade e responsabilidade social.

### 3.1.4 Objectivos da empresa

- Maximizar os lucros;
- Promover a actividade logística de bens, mercadorias, e transporte de passageiros;
- Desenvolver as infraestruturas ferro-portuárias;

### 3.1.5 Organograma

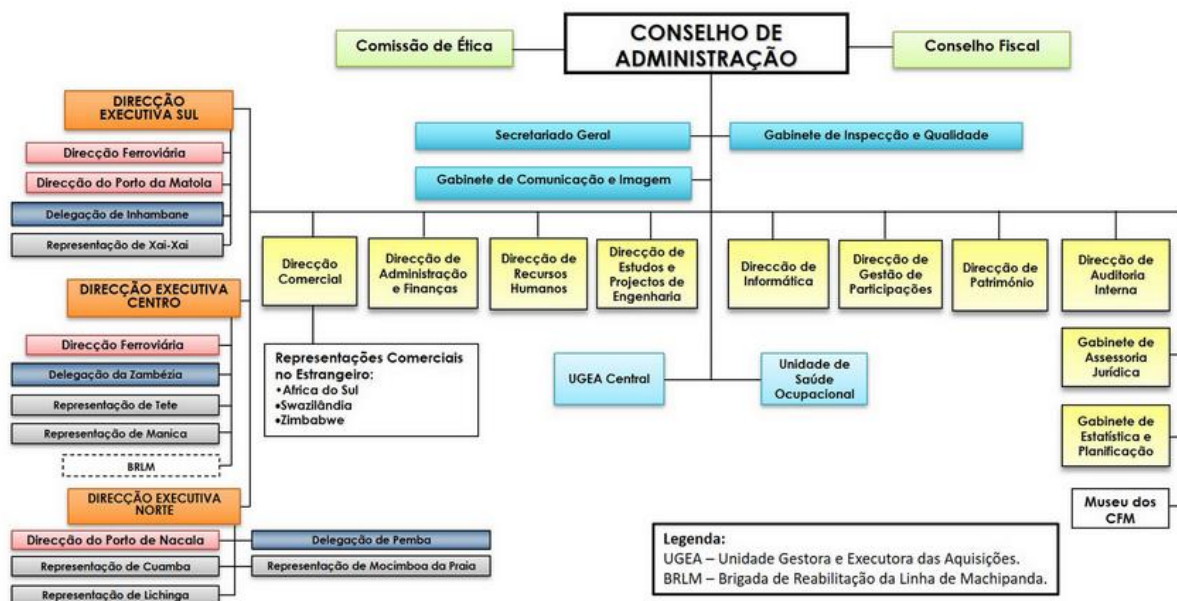


Figura 8: Organograma dos CFM (fonte: <https://www.cfm.co.mz/index.php/pt/sobre-o-cfm/missao-e-objectivos>)

### 3.1 Análise do desempenho do sistema

Este capítulo estuda os modelos de propagação aplicáveis para a rede que foi implementada, analisa as equações de balanço de potência. É feito um estudo sobre o equipamento que pode responder aos requisitos da rede.

Os cálculos serão realizados com a ajuda da aplicação Radio Mobile, uma aplicação Freeware, por vários profissionais, no dimensionamento de sistemas de radiocomunicações.

O processo de verificação das condições actuais do link, também será realizado com ajuda do software Radio Mobile e seguirá os seguintes passos:

- a. Cadastro no sistema, dos pontos atuais da rede
- b. Cadastro do sistema (equipamentos) usados na rede tendo em conta os seguintes parâmetros:
  - i. Potência de transmissão
  - ii. Nível de sensibilidade
  - iii. Ganho da antena
  - iv. Tipo de antena
- c. Criação da rede no software
- d. Análise do link de radiofrequência.

Apos a construção de cada *link*, serão verificadas as seguintes condições, para analisar o desempenho de cada um:

- a. Perda máxima permitida em um percurso ou *Maximum Allowed Path Loss* (MAPL), que permite avaliar o alcance de uma célula. Estes cálculos serão realizados nos dois sentidos de cada link.
- b. Outro factor será avaliado, tal como o RX relativo entre os equipamentos, tendo em conta o valor mínimo determinado de 3 dB, para que haja comunicação entre as repetidoras

### **3.1.1 Requisitos para o sistema de telecomunicações**

O CFM Sul, tem implementada, uma rede de telecomunicações VHF destinada a estabelecer a comunicação entre o comando de circulação de comboios, as estações e os veículos ferroviários

### **3.1.2 Requisitos operacionais do sistema rádio**

O sistema de comunicações, deve garantir a comunicação, entre os controladores de tráfego e os maquinistas e ainda entre o comando de circulação de comboios, maquinistas e as estações. Os controladores transmitem as ordens de avanço aos maquinistas indicando os limites até aonde poderão se movimentar.

Para tal, a rede do CFM Sul, basicamente deve suportar para suportar as funcionalidades de comunicação de voz, ponto multiponto e ponto-a-ponto.

### **3.1.3 Requisitos básicos da rede**

O sistema de rádio foi projectado para que garantisse uma boa qualidade de transmissão e de recepção de voz.

As ligações rádio com as locomotivas deverão ser estabelecidas a partir das estações existentes ao longo das linhas. A cobertura deve satisfazer o mínimo de sinal requerido para recepção nos rádios da cabine, isto é, 1  $\mu\text{V}$  sobre 95% da distância e 95% do tempo. As estações base deverão ter como sinal mínimo 2  $\mu\text{V}$ .

O equipamento móvel de rádio, deve estar adaptado ao ambiente ferroviário. O equipamento deve ter robustez mecânica e suportar as vibrações da locomotiva. O equipamento deve possuir controlos a partir de botões (*detachable control unit*). A selecção de canais deverá ser automática, podendo, no entanto, permitir uma comutação manual. O modo de acesso deverá ser compatível com o sistema adoptado. O equipamento deve ser capaz de funcionar em canal aberto para propósitos de trabalhos de “manobras”. O equipamento deve ser equipado com interfaces de dados adequadas para interligação com equipamentos externos, tais como o OBC. Os equipamentos móveis poderão funcionar tanto em modo *Half Duplex* como em *Full Duplex*, com microfone de

mão e botão de PTT. Os equipamentos móveis devem estar equipados com altifalante e com cancelamento de ruído e botão PTT.

O sistema instalado deve indicar como os dados e a voz deverão ser utilizados, isto é, se em simultâneo ou em rajada de dados e pausas de voz. O sistema a instalar deve prover mecanismos de verificação “escuta” das rajadas de dados durante as comunicações de voz.

O equipamento deverá funcionar com alimentação da locomotiva (*DC Voltage*). Em caso de necessidade de conversão DC/DC, deve estar previsto um conversor com isolamento galvânico entre a entrada (*input*) e saída (*output*). A variação da tensão da locomotiva é de 50 V a 165 V.

A antena da locomotiva deve ser do tipo “*low profile*” com protecção por redoma. O equipamento de radiação (cabos, antenas e conectores) devem ter características adequadas para a cobertura desejada. As estações base deverão ser adequadas para instalações remotas. Preferencialmente em cabines de 19”, devendo estar projectadas para utilização 24/7.

As estações base deverão estar equipadas com sensores específicos (porta aberta, alto VSWR, carga de bateria baixa) e manutenção adequada da rede.

Para garantir as funcionalidades acima indicadas, sistema rádio implementado, é suposto que a rede provê comunicações de voz e estar de acordo com as seguintes características:

a. Banda de frequências

Preferencialmente, em VHF, para que pudesse cobrir maior zonas com o mínimo de equipamentos necessários.

b. Tipo de transmissão:

Analógica

c. Modo de Acesso:

O sistema permite uma transmissão via rádio aplicável para o sistema ferroviário. É desejável que seja compatível em canal aberto com equipamento analógico desde que opere nas mesmas frequências.

d. Capacidade de operação em DMO (*Direct Mode of Operation*):

- Potência de saída de 25 W
- Frequência de recepção baseada no critério de melhor relação sinal/ruído.
- Cobertura.

As características da rede descritas acima, constituem a base dos requisitos definidos para que a rede VHF do CFM, cumpra com os requisitos de rede de despacho, tal como solicitado nas especificações técnicas, suporte todas as necessidades de comunicações do CFM, nomeadamente no que se refere a comunicações para suporte ao sistema de controlo de tráfego.

O dimensionamento de uma rede de telecomunicações, para aplicações ferroviárias, tem como objectivos principais a determinação das características básicas de transmissão e transporte para o serviço que se deseja servir, nos aspectos seguintes:

- Topologia;
- Largura de banda;
- Capacidade de autorrecuperação.

Para o efeito, no presente trabalho, vão ser analisados os seguintes critérios fundamentais:

- Cobertura
- Capacidade de transmissão requerida e energia.

A verificação desses critérios terá em conta a seguinte metodologia:

1. Avaliação da cobertura rádio utilizado as equações do modelo de propagação de Okumura Hata, aplicado no software Radio Mobile;
2. Caracterização do desvanecimento, que eventualmente, afete o desempenho do sistema rádio e verificação da sua aplicabilidade neste caso.
3. Avaliação do efeito Doppler, sobre a comunicação dos veículos em movimento.
4. Capacidade do sistema de alimentação, para verificar se não tem efeitos em determinados momentos do funcionamento da rede.

Serão dados de entrada no software Radio Mobile, os dados referentes a:

1. Frequências utilizadas na rede do CFM SUL, em especial na linha do Limpopo.
2. Os dados referentes a altura das antenas e perdas no sistema

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS DA PESQUISA

### 4.1 Balanço de potência

Nos sistemas VHF/UHF, para cálculo de potência nos terminais do receptor, as perdas de percurso usadas no cálculo do *link budget* são indicados a seguir. A Figura xx, mostra as componentes do link budget, onde o ganho da antena é assumido como positivo; contudo o ganho da antena dos equipamentos portáteis pode ser negativo.

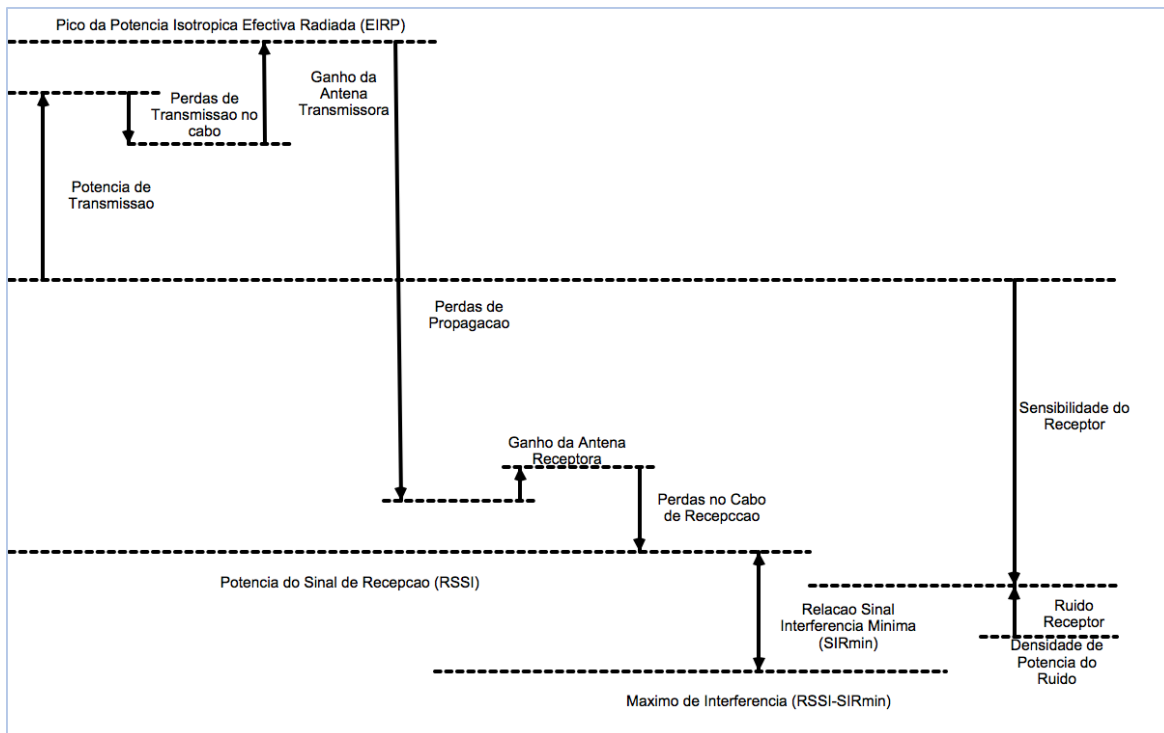


Figura 9: Link budget (fonte: Autora)

As componentes do *link budget* são complexas. A potência de transmissão é geralmente definida como a potência de transmissão do amplificador. Alguma parte do sinal é perdida no cabo da antena. A sensibilidade do receptor depende do nível do ruído, e o ruído no receptor vai depender do tipo de receptor. O valor pelo qual a potência do sinal de recepção excede a sensibilidade do receptor define a margem da potência no link budget em relação ao desvanecimento. Se o desvanecimento for superior a este valor, a performance do sistema será má ou mesmo inexistente.

A atenuação da propagação, é dada por:

$$L_{p[dB]} = P_{e[dBm]} + G_{e[dBi]} - P_{r[dBm]} + G_{r[dBi]}$$

onde:

- $P_{e[dBm]}$ : potência de emissão nos terminais da antena
- $G_{e[dBi]}$ : ganho na antena de emissão
- $P_{r[dBm]}$ : potência disponível na recepção aos terminais da antena
- $G_{r[dBi]}$ : ganho da antena de recepção

O cálculo da EIRP depende do sentido da ligação:

- No sentido descendente,

$$P_{EIRP[dBm]} = P_{Tx[dBm]} - L_c[dB] + G_e[dBi]$$

onde:

- $P_{Tx}$ : potência de saída do emissor
  - $G_e$ : ganho da antena de emissão
  - $L_c$ : perdas no cabo entre o emissor e a antena
- No sentido ascendente,

$$P_{EIRP[dBm]} = P_{Tx[dBm]} + G_e[dBi] - L_u[dB]$$

onde

- $P_{Tx}$ : potência de saída do emissor
- $G_e$ : ganho da antena de emissão
- $L_u$ : perdas devidas a presença do utilizador

Após o cálculo do balanço da potência, devem ser contabilizadas todas as margens devidas ao desvanecimento, penetração de interiores e outras:

$$M_{[dB]} = M_{FSF[dB]} + M_{FFF[dB]} + L_{in[dB]}$$

onde



- $M_{FSF}$ : desvanecimento lento
- $M_{FFF}$ : desvanecimento rápido
- $L_{int}$ : penetração de interiores

A atenuação total fica:

$$L_{total[dB]} = L_p[dB] + M_{[dB]}$$

## 4.2 Caracterização do desvanecimento

Desvanecimento ou fading é o nome dado para se caracterizar o fenómeno da existência de variações aleatórias da intensidade de sinal recebido ao longo do tempo. Essa variação é considerada na análise dos sistemas, e é conhecida como atenuação suplementar tendo, portanto, como referência, o valor de campo em espaço livre.

Os desvanecimentos são normalmente classificados em rápidos e lentos [Corr09]. Embora não exista uma regra definida para essa classificação, pode-se indicar, genericamente, que os desvanecimentos lentos correspondem a variações de poucos dB por minuto na intensidade do sinal, enquanto que os desvanecimentos rápidos podem corresponder a variações de dezenas de dB em segundos. O desvanecimento tem várias causas, sendo para as comunicações móveis a principal causa a variação das perdas por difracção devido à movimentação do terminal.

### 4.2.1 Efeito Doppler

Como é sabido, o movimento relativo entre o transmissor e o receptor, produz uma aparente alteração da frequência, conhecida como efeito Doppler. O efeito Doppler depende também do ângulo especial de chegada do sinal, podendo ser descrito por:

$$f_D = \frac{u}{l} \cos \theta$$

onde  $u$  é a velocidade,  $l$  o comprimento de onda e  $\theta$  o ângulo entre a direcção de deslocamento da onda transmitida e o receptor. A Figura 7, descreve o efeito Doppler, conforme o móvel se desloca ocorre uma mudança no ângulo de recepção e na velocidade do móvel.

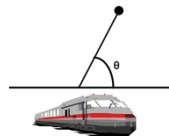


Figura 10: Ilustração do efeito Doppler (fonte: Autora)

A máxima alteração da frequência ( $f_m$ ) ocorre quando as comunicações (entre locomotivas) ocorrem no sentido oposto ( $\alpha=0$ ) em relação a linha recta. O movimento na direcção do sinal de recepção, deslocamento positivo, aumenta a frequência de recepção. Caso o receptor se afaste do transmissor, ocorre um deslocamento negativo, que resulta na diminuição da frequência de recepção.

Como resultado de existência de “várias ondas” vindo em diferentes direcções, a frequência de desvio pode variar de acordo com cada uma das ondas que chegam, pelo que o espectro de Doppler não é uniforme.

Em caso de radiação isotrópica, o espectro pode ser dado pelo modelo de Jakes.

$$D(f) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{f - f_c}{f_m}\right)^2}}$$

A aproximação (3.7) não é válida em presença da linha de vista (LOS – Line of Sight); neste caso, o espectro deve incluir a função  $\delta$ , que pode ser dada como:

$$D(f) = \frac{0.41}{2\rho \sqrt{1 - \frac{af}{f_m} \delta}} + 0.91d(f - 0.7f_m)$$

Para a nossa situação, três cenários podem ocorrer:

1. Comboio na estação: normalmente a estrutura permite a linha de vista, contudo a velocidade é menor que os 20 km/h, levando a variações não perceptíveis (alguns Hz), portanto, desprezíveis.
2. Comboio em zona de manobras: este caso, é semelhante ao anterior.
3. Comboio em plena via: neste caso, para a situação da infraestrutura do CFM, a velocidade máxima admissível é de 60 km/h; e, portanto, a variação é desprezível.

Assim, para efeitos de dimensionamento do nosso sistema, o efeito de Doppler não será tido em conta.

#### 4.2.2 Desvanecimento lento

O desvanecimento lento, também conhecido por desvanecimento por atenuação, ocorre principalmente quando o nível do sinal recebido permanece abaixo do limiar especificado ( $P_{min}$ ) em intervalos de tempo que podem ir até vários segundos. O fenómeno é causado por sombreamento do sinal transmitido, devido a grandes obstruções como construções e relevos localizados entre o transmissor e o receptor. Outras causas comuns são a absorção atmosférica e mudança na trajectória de propagação.

Consideram-se as propriedades do desvanecimento lento associados a uma Distribuição Log-Normal e existente nos trajectos com propagação por difracção ou mesmo de dispersão troposférica:

Potência média no receptor,  $\overline{P_r}$

Desvio padrão no ambiente (neste caso consideramos o ambiente suburbano),  $\sigma$ , que é dado por:

$$s_s(f)_{[dB]} = 0.98 \log^2(f_{[MHz]}) - 3.40 \log(f_{[MHz]}) + 11.88$$

O nível do sinal a uma distância R da estação base com sinal superior a P min é dada por:

$$F_{circ}(P_{min}, R) = \Pr ob(P_{rR} > P_{min}) = \frac{1 + \operatorname{erfc} \frac{\sqrt{2} DP_{[dB]} \sigma}{\sigma}}{2}$$

com  $DP_{[dB]} = \overline{P_{rR}} - P_{min}$ .

A margem de desvanecimento vem portanto

$$M_{SF} = DP$$

### 3.2.3 Desvanecimento Rápido

O desvanecimento rápido, também chamado de desvanecimento de multipercurso ou por interferência, caracteriza-se por variações bruscas no nível de sinal, devido a captação de diversos sinais com fases aleatórias.

## 4.3 Modelo de Propagação

### 4.3.1 Considerações gerais

Modelo de propagação adequados são necessários para um cálculo efetivo da cobertura do sinal e análise da interferência. Para permitir comunicações eficientes, é necessária uma cobertura apropriada do sinal de rádio e prover capacidade suficiente ao sistema.

Em sistemas convencionais, situações de emergência podem ocorrer em determinadas áreas onde o sinal de rádio não existe; em alternativa, as comunicações vão ocorrer em modo directo (simplex). Nestes casos, modelos de propagação em simplex, ainda não foram suficientemente investigados. O modelo de propagação no espaço livre, serve de base para entender os modelos mais avançados.

$$L_{0[dB]} = 32.44 + 20 \log(d_{[km]}) + 20 \log(f_{[MHz]})$$

### 4.3.2 Modelo de Okumura-Hata

Este modelo empírico, que serve actualmente de padrão, foi proposto por Okumura em 1968, baseado em medidas na banda [150, 2000] MHz. O valor padrão do modelo, corresponde a um ambiente urbano sobre terreno quase plano, são depois adicionados factores de correcção.

O modelo fornece o valor mediano da atenuação de propagação, dependente de:

f frequência

d distância do móvel a base

hm altura da antena do móvel ao solo

O cálculo de  $L_p$  requer o conhecimento bastante detalhado do ambiente. Para cálculos gerais, o ambiente é usualmente classificado dentro de uma categoria. Comumente, é utilizado para ambientes rurais e suburbanos. Os ambientes são divididos em 3 classes:

- Área aberta: ausência de obstáculos numa região de pelo menos 300 a 400 m diante do móvel.
- Área suburbana: existência de alguns obstáculos, não muito densos, na região próxima do móvel
- Área Urbana: região com grande densidade urbanística, edifícios com 2 ou mais andares

A mediana da atenuação da propagação vem dada por:

$$L_{p[dB]} = 69.55 + 26.16 \log(f_{[MHz]}) - 13.82 \log(h_{be[m]}) + \\ + [44.90 - 6.55 \log(h_{be[m]})] \log d_{[km]} - H_{mu[dB]}(h_m, f) \\ - \overset{\circ}{a} \text{ factores de correcao}$$

Onde:

$$H_{m(a)} = \begin{cases} [1.10 \log(f_{[MHz]}) - 0.70] h_{n(m)} - [1.56 \log(f_{[MHz]}) - 0.80] & \text{Cidade pequena/media} \\ 8.29 \log^2(1.54 h_{n(m)}) - 1.10, & f \in 200 MHz \text{ Cidade pequena} \\ 3.20 \log^2(11.75 h_{n(m)}) - 4.97, & f \in 400 MHz \text{ Cidade grande} \end{cases}$$

Para efeitos deste trabalho, temos os factores de correcção para áreas abertas, Koa, ou quase abertas, Kqo:

$$K_{oa}(f)_{[dB]} = 4.78 \log^2(f_{[MHz]}) - 18.33 \log(f_{[MHz]}) + 40.9$$

$$K_{qo}(f)_{[dB]} = K_{oa}(f)_{[dB]} - 5$$

O desvio padrão para ambientes urbano,  $\sigma_u$ , e suburbano,  $\sigma_s$ , é aproximado por:

$$\sigma_u(f)_{[dB]} = 0.70 \log^2(f_{[MHz]}) - 2.50 \log(f_{[MHz]}) + 11.10$$

$$\sigma_s(f)_{[dB]} = 0.98 \log^2(f_{[MHz]}) - 3.40 \log(f_{[MHz]}) + 11.88$$

Esta formulação é valida para:

$$f \hat{=} [150, 1500] MHz$$

$$d \hat{=} [1, 20] km$$

$$h_{be} \hat{=} [30, 200] m$$

$$h_m \hat{=} [1, 10] m$$

### 4.3.2 Proposta de solução

Para a otimização desta comunicação VHF é necessário:

- Introdução de um ponto intermédio no link, na coordenada (24° 30' 24.4S e 032 50 59.59), no ponto kilométrico 32.92 em relação ao site de motaze.
- Alterar o padrão das antenas em uso, podendo para o efeito utilizar antenas do tipo omnidirecionais. Isso irá garantir que o novo site tenha a altura da antena numa torre com 50 metros ou mais. E também será possível garantir os níveis acima do limiar mínimo necessários. A empresa pode investir nesta aposta, para que tenha uma cobertura total da rede e comunicação eficiente longe das interferências.

## 4.4. Cálculos

A análise é sempre feita para a situação mais desfavorável, isto é, na situação em que o móvel ou portátil se encontram dentro da cabine da locomotiva. A previsão é realizada para 90% e 95%.

### 4.4.1 Rede VHF da linha do Limpopo

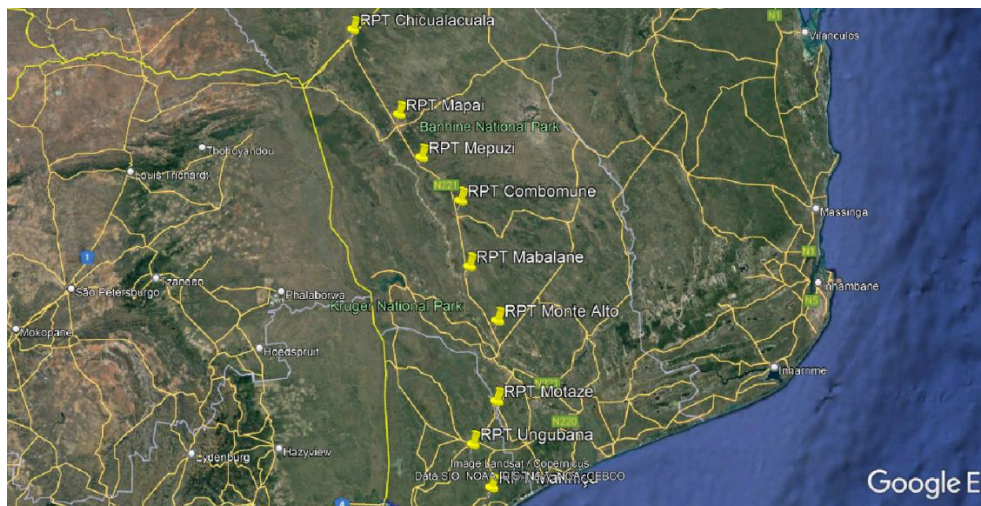


Figura 11: Rede VHF da linha do Limpopo (fonte: Autora)

Tabela 1: Parâmetros dos sites

<b>Rede da Linha do Limpopo</b>				
Locais			ASL	Torres
Prédio CFM	Latitude	25 57 56.28 S	42.28 m	Pre. 23 An
	Longitude	032 34 24.18 E		
Manhica	Latitude	25 24 15.78 S	34.70 m	50 m
	Longitude	032 48 14.53 E		
Ungubana	Latitude	25 06 25.68 S	44.08 m	75 m
	Longitude	032 39 57.90 E		
Motaze	Latitude	24 48 10.92 S	27.60 m	50 m
	Longitude	032 50 58.14 E		
Monte Alto	Latitude	24 14 25.92 S	55.70 m	75 m
	Longitude	032 51 00.66 E		
Mabalane	Latitude	23 50 56.28 S	91.38 m	75 m
	Longitude	032 37 34.50 E		
Combumune	Latitude	23 22 49.56 S	135.48 m	75 m
	Longitude	032 33 35.70 E		
Mepuzi	Latitude	23 02 00.18 S	204.46 m	50 m
	Longitude	032 14 58.44 E		
Mapai	Latitude	22 43 45.36 S	243.08 m	50 m
	Longitude	032 03 26.88 E		
Chicualacuala	Latitude	22 04 47.73 S	457.91 m	75 m
	Longitude	031 40 58.43 E		



## 4.4.2 Ligação Maputo – Manhiça e Manhiça – Maputo

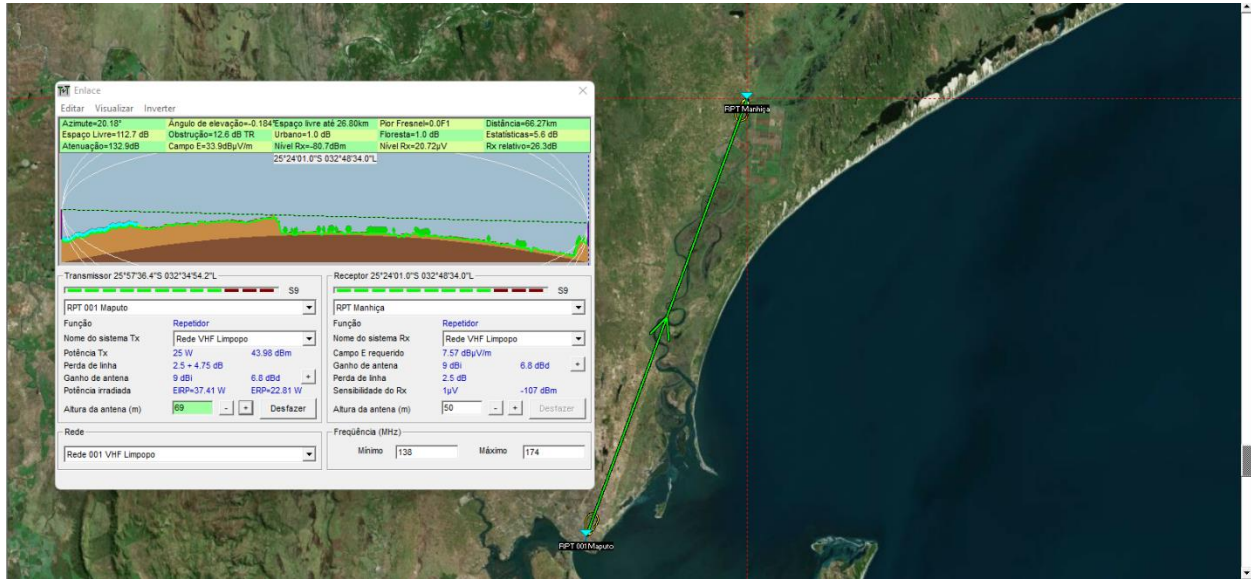


Figura 12: Link Maputo – Manhiça (fonte: Autora)

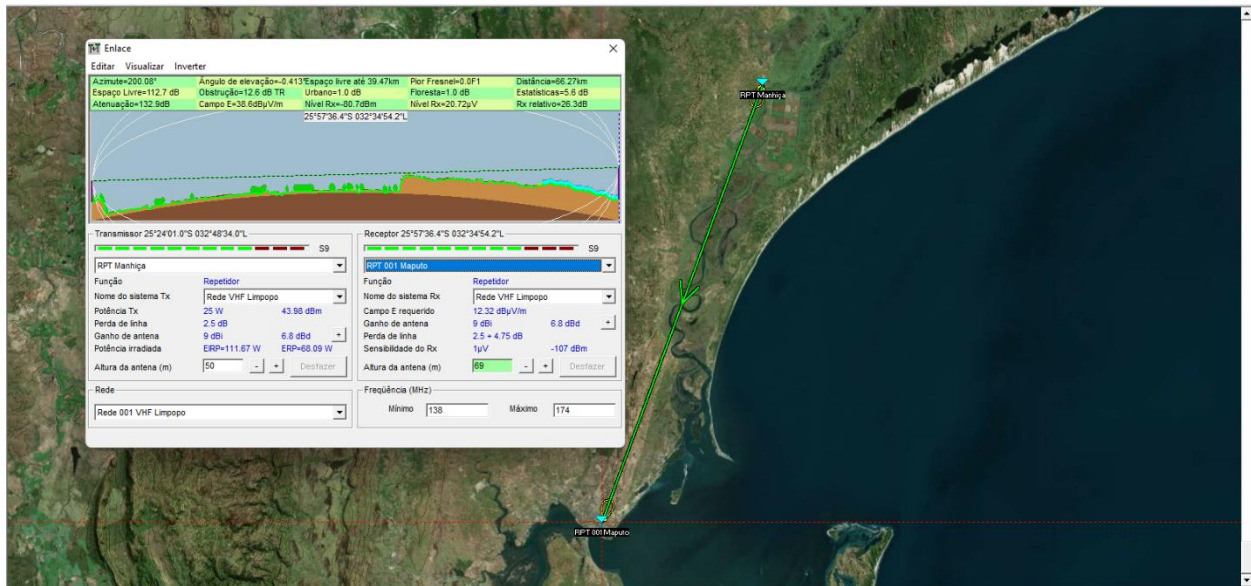


Figura 13: Link Manhiça – Maputo (fonte: Autora)

### 4.4.3 Condições dos links

Tabela 2: Parâmetros do link Maputo – Manhiça (Fonte: Autora)

Comprimento do link – 66.27 Km	Perdas no espaço livre – 112.7 dB
Atenuação máxima permitida – 139.2 dB	RX relativo – 26.3 dB
Nível de RX = 87.7 dBm (20.72 $\mu$ V)	

### 4.4.4 Ligação Manhiça – Ungubana e Ungubana – Manhiça

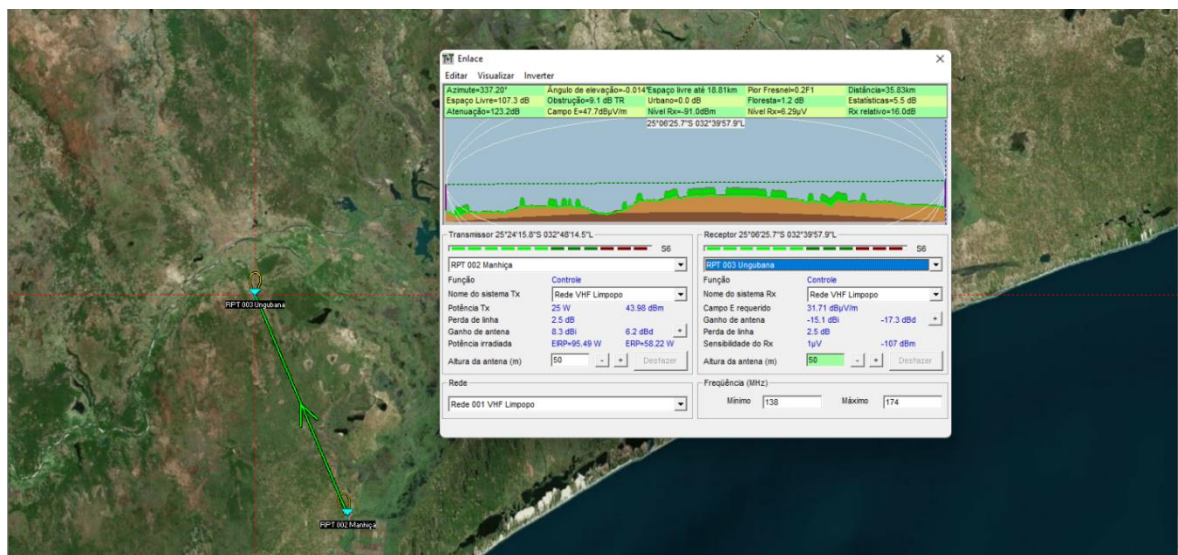


Figura 14: Link Manhiça - Ungubana (fonte: Autora)

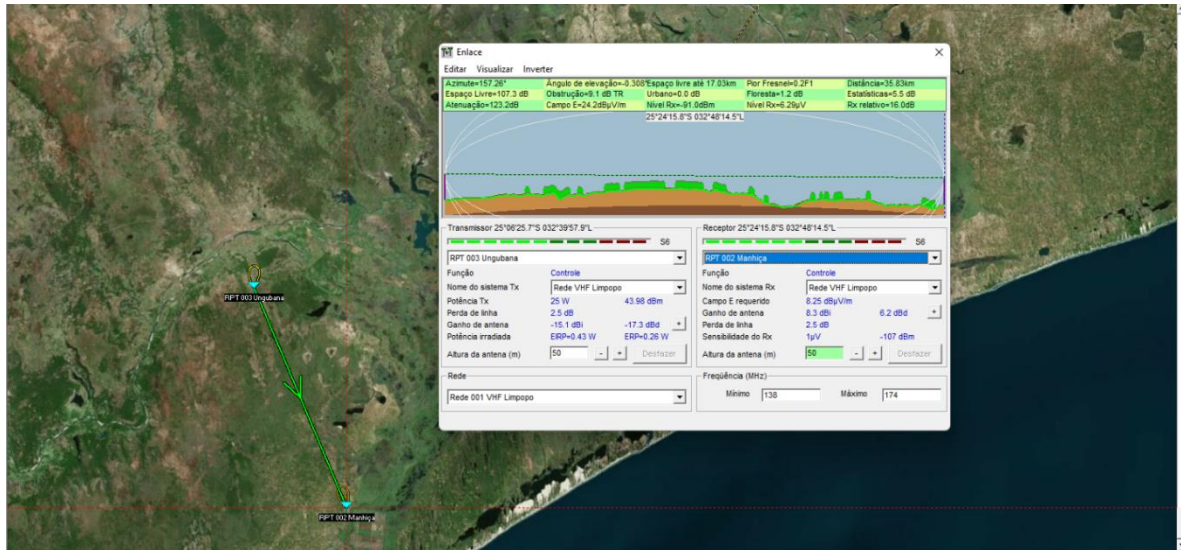


Figura 15: Ungubana – Manhica (fonte: Autora)

#### 4.4.5 Condições dos links

Tabela 3: Parâmetros do link Manhica – Ungubana

Comprimento do link – 35.83 Km	Perdas no espaço livre – 107.3 dB
Atenuação máxima permitida – 123.2 dB	RX relativo – 15.0 dB
Nível de RX = 91.0 dBm (6.9 μV)	

#### 4.4.6 Ligação Ungubana - Motaze e Motaze – Ungubana

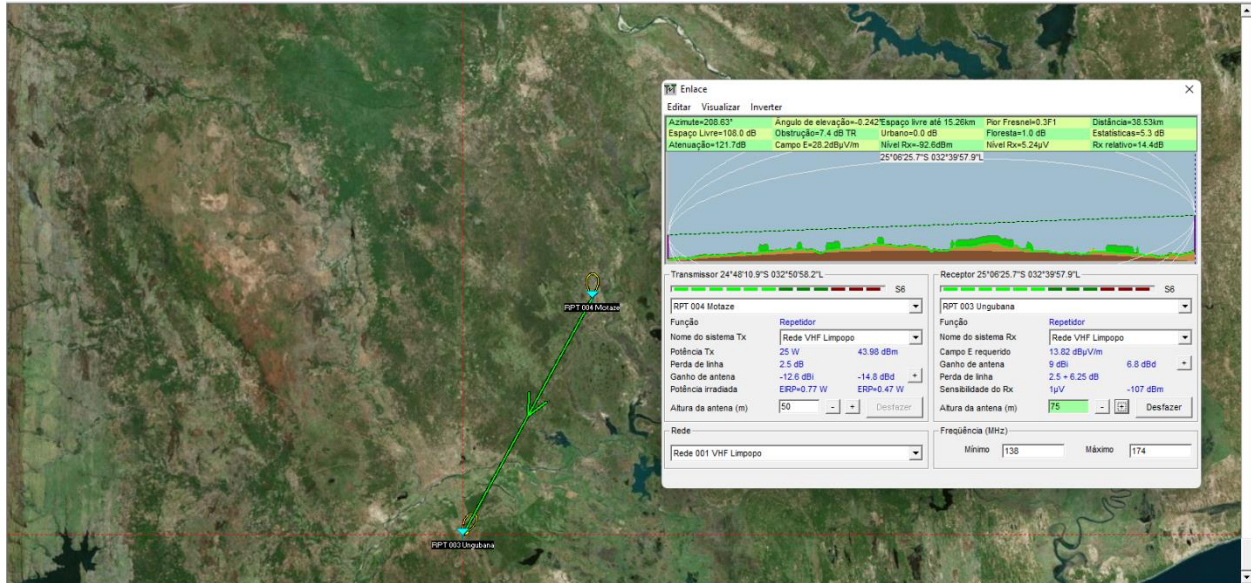


Figura 16: Ungubana – Motaze (fonte: Autora)

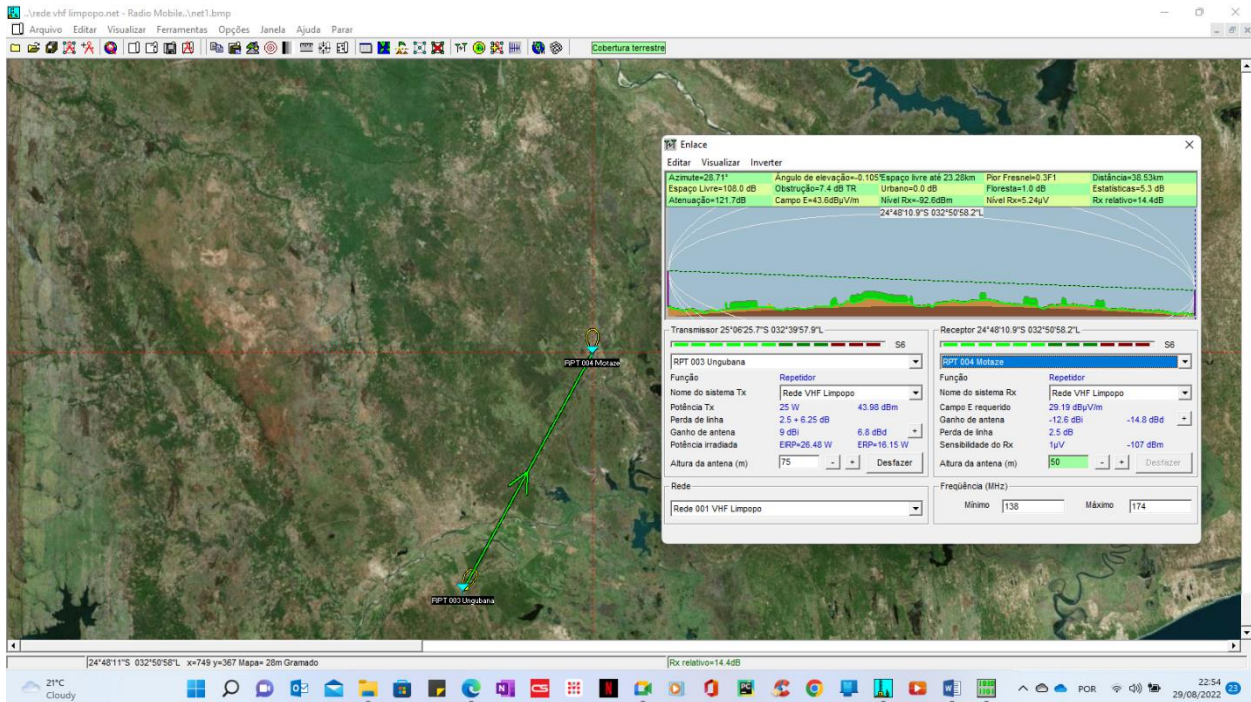


Figura 17: Motaze – Ungubana (fonte: Autora)

#### 4.4.7 Condições dos links

Tabela 4: Parâmetros do link Ungubana – Motaze

Comprimento do link – 38.53 Km	Perdas no espaço livre – 108 dB
Atenuação máxima permitida – 123.4 dB	RX relativo – 18.9 dB
Nível de RX = 88.1 dBm (8.85 $\mu$ V)	

#### 4.4.8 Ligação Motaze – Monte Alto e Monte Alto – Motaze

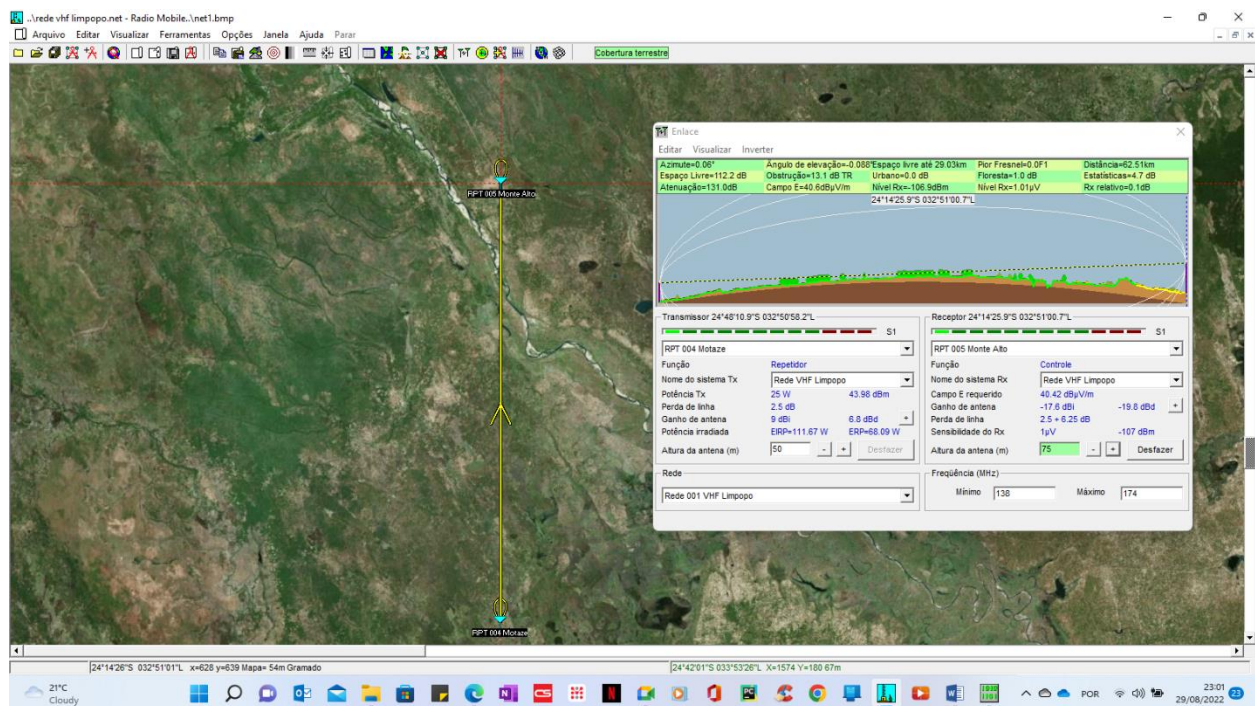


Figura 18: Motaze – Monte Alto (fonte: Autora)

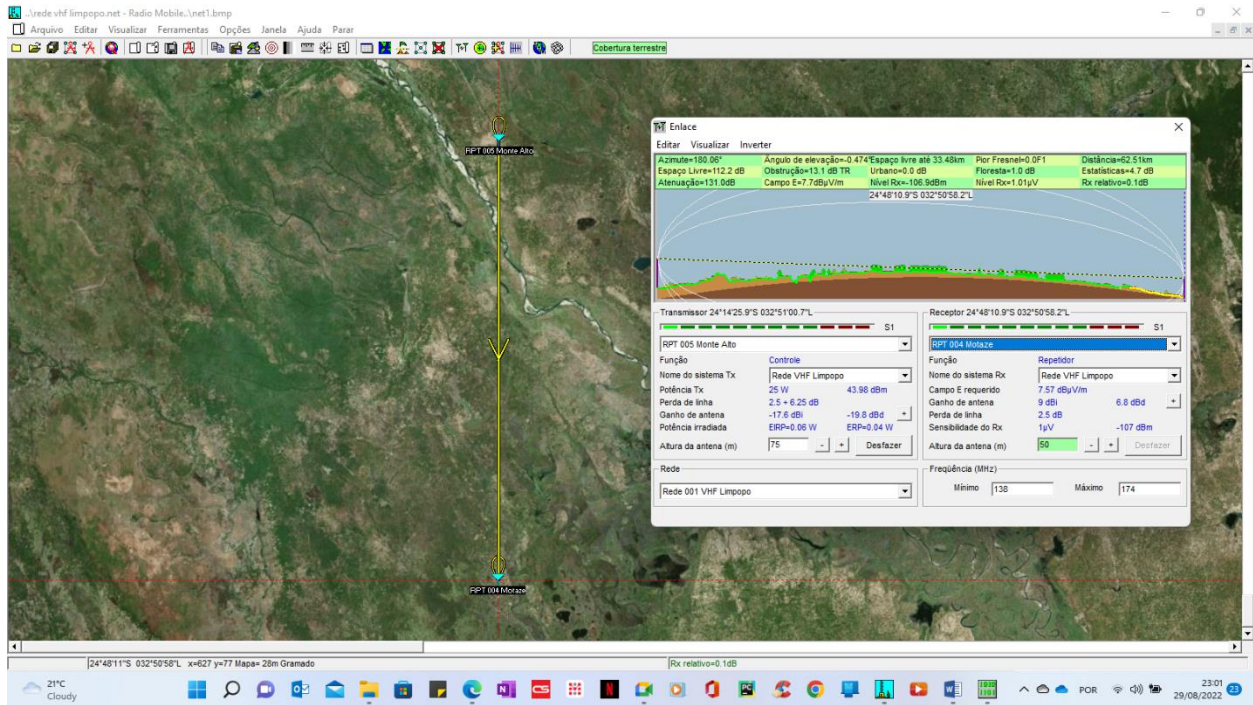


Figura 19: Monte Alto – Motaze (fonte: Autora)

#### 4.4.9 Condições dos links

Tabela 5: Parâmetros do link Motaze – Monte Alto

Comprimento do link – 62.51 Km	Perdas no espaço livre – 112.2 dB
Atenuação máxima permitida – 131.0 dB	RX relativo – 0.1 dB
Nível de RX = 106.9 dBm (1.01 µV)	

#### 4.4.10 Ligação Monte Alto – Mabalane e Mabalane – Monte Alto

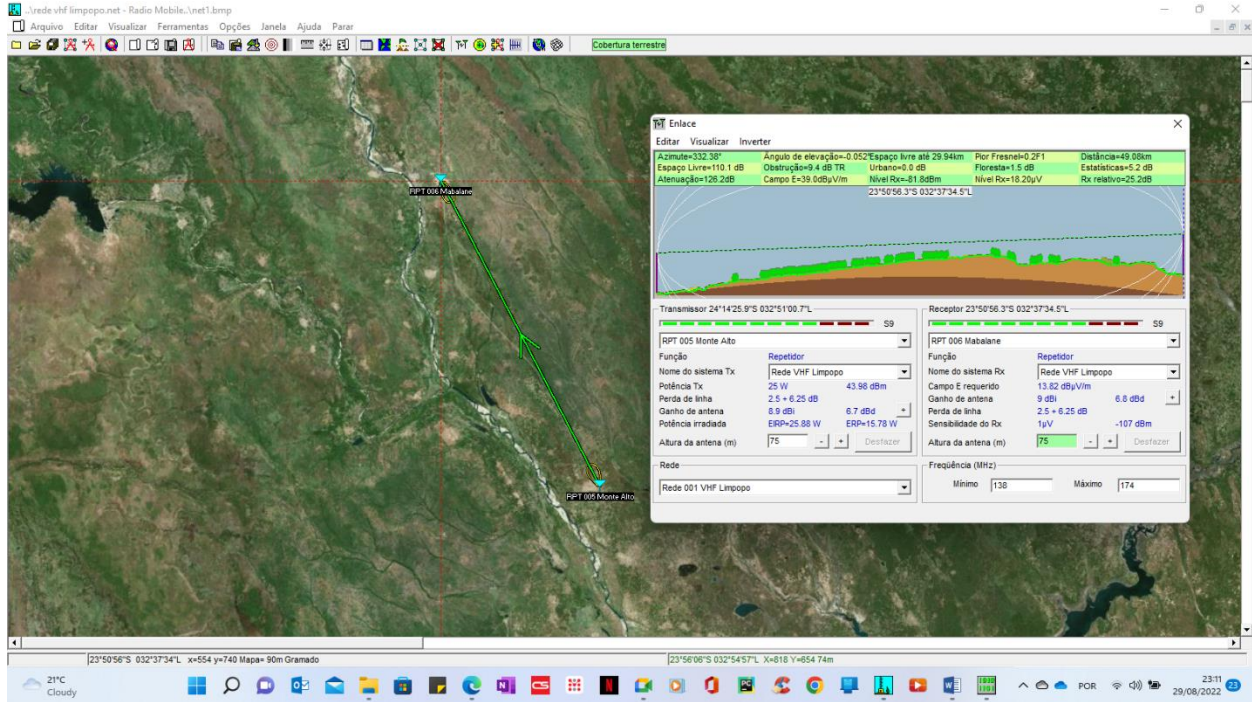


Figura 20: Monte Alto – Mabalane (fonte: Autora)

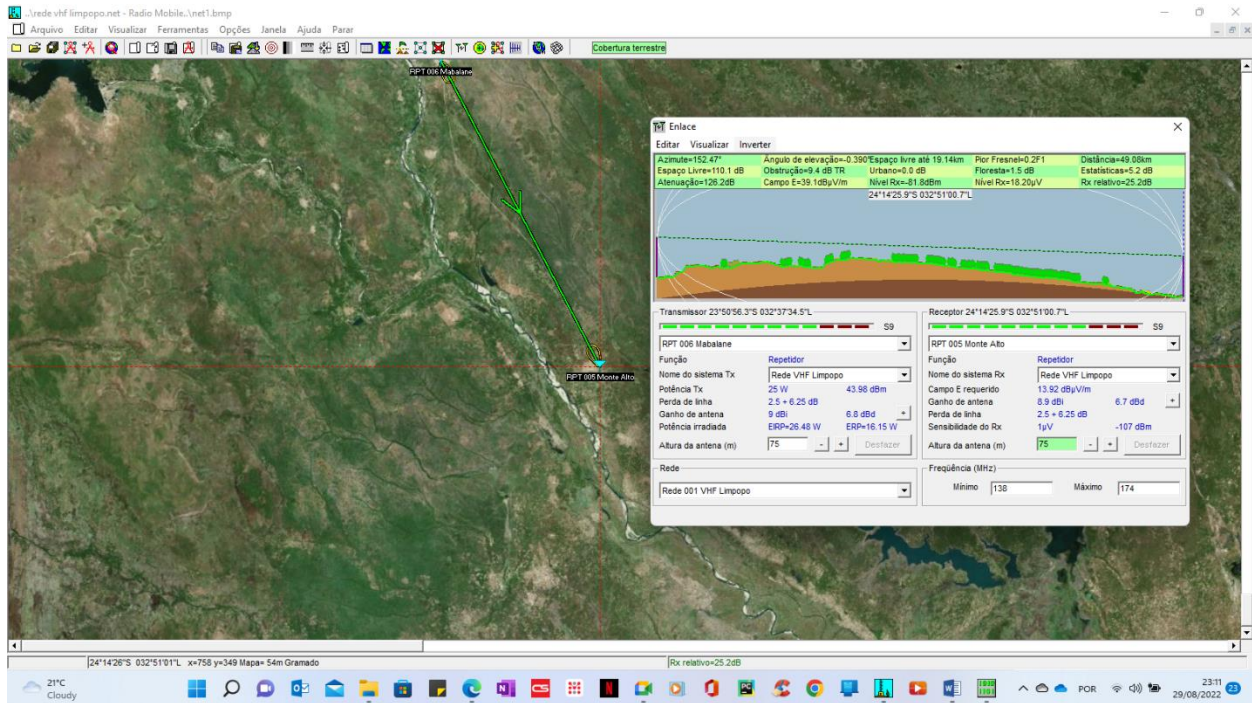


Figura 21: Mabalane – Monte Alto (fonte: Autora)

#### 4.4.11 Condições dos links

Tabela 6: Parâmetros do link Monte Alto – Mabalane

Comprimento do <i>link</i> – 49.08 Km	Perdas no espaço livre – 110.1 dB
Atenuação máxima permitida – 126.2 dB	RX relativo – 25.2 dB
Nível de RX = 88.8dBm (18.2 $\mu$ V)	

#### 4.4.12 Ligação Mabalane - Combomune, Combomune - Mabalane

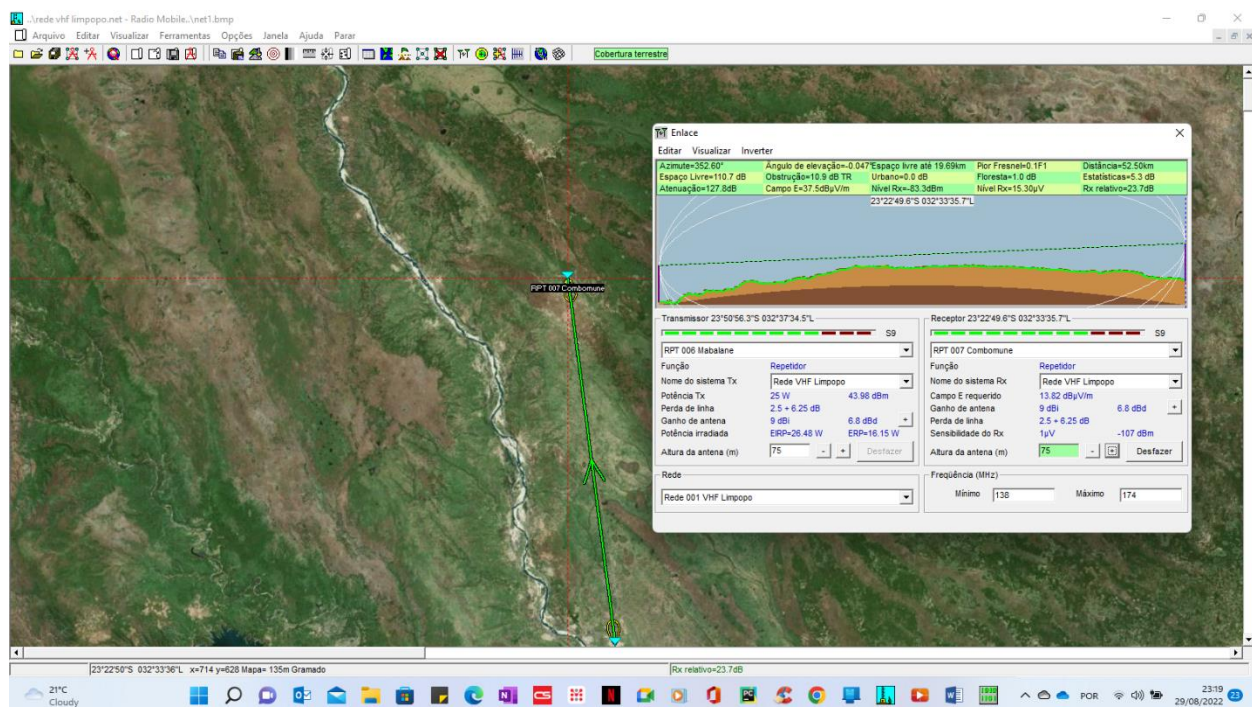


Figura 22: Mabalane - Combomune (fonte: Autora)



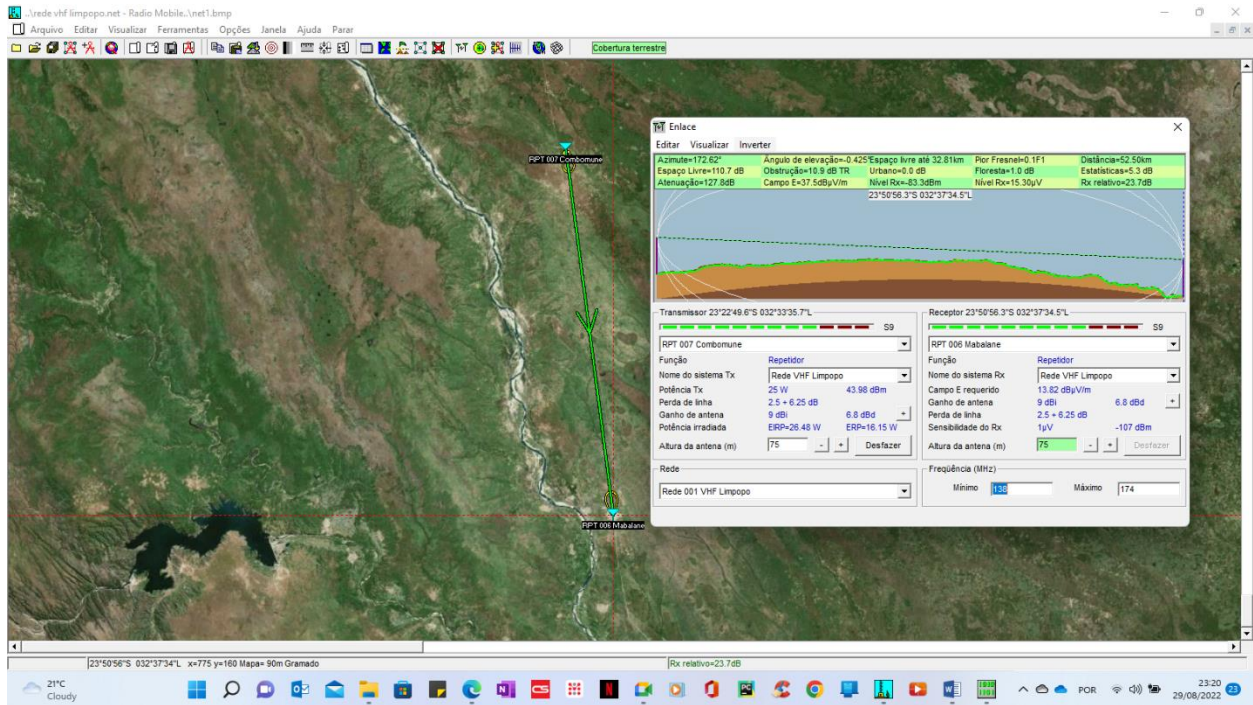


Figura 23: Combomune - Mabalane (fonte: Autora)

#### 4.4.13. Condições dos links

Tabela 7: Parâmetros do link Mabalane - Combomune (fonte: Autora)

Comprimento do link – 52.50 Km	Perdas no espaço livre – 110.7 dB
Atenuação máxima permitida – 127.8 dB	RX relativo – 23.7 dB
Nível de RX = 83.3 dBm (15.30 µV)	

#### 4.4.14 Ligação Combomune – Mpuzi, Mpuzi - Combomune

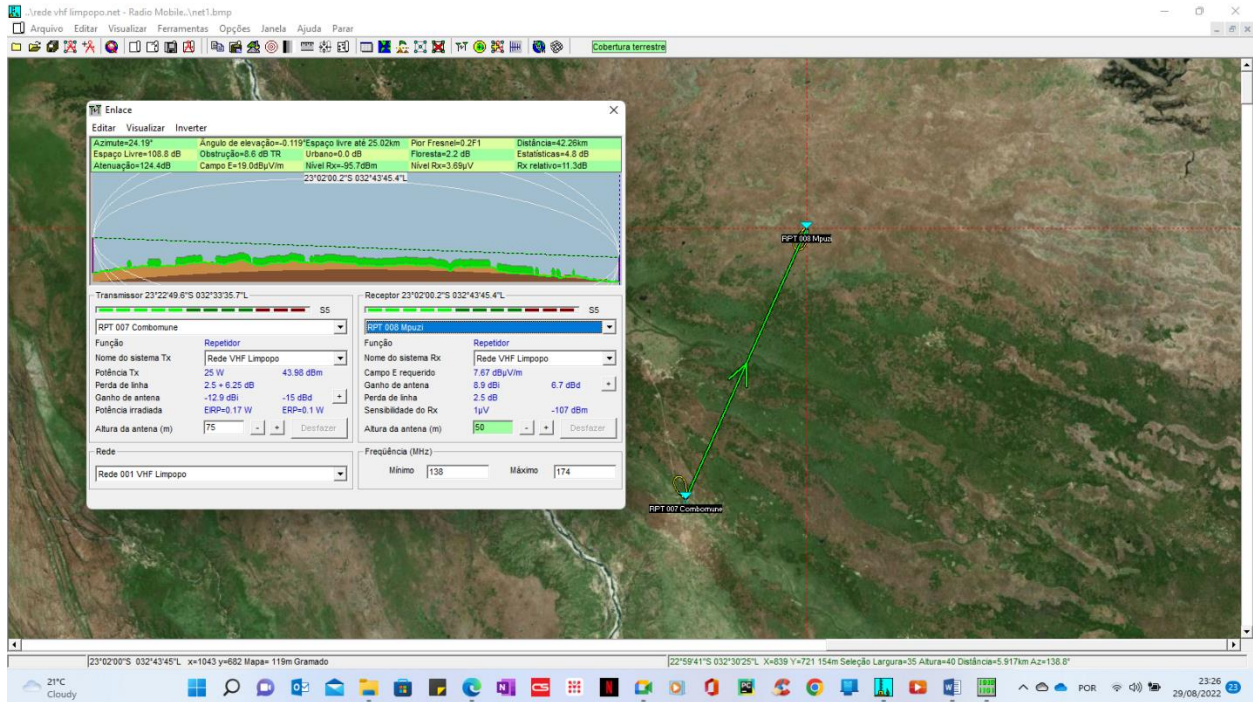


Figura 24: Combomune - Mpuzi (fonte: Autora)

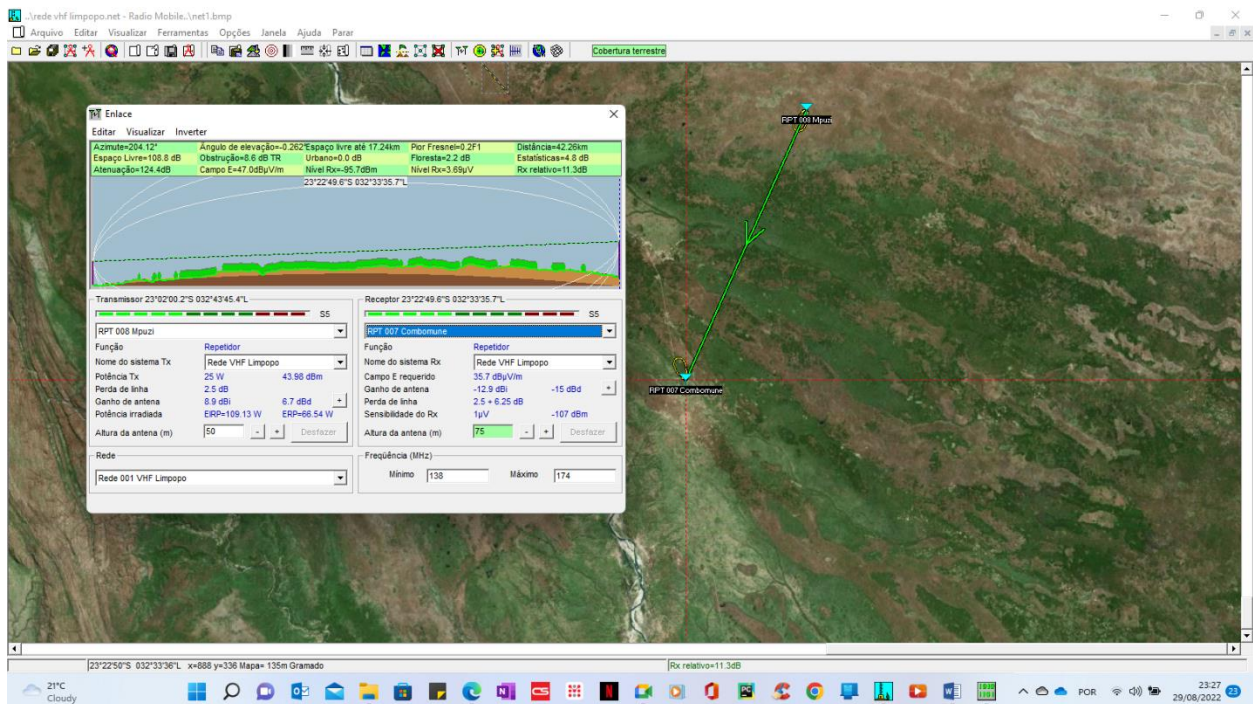


Figura 25: Mpuzi - Combomune (fonte: Autora)

#### 4.4.15 Condições dos links

Tabela 8: Parâmetros do link Combumune - Mpuzi

Comprimento do link – 42.26 Km	Perdas no espaço livre – 108.8 dB
Atenuação máxima permitida – 124.4 dB	RX relativo – 11.3 Db
Nível de RX = 95.7 dBm (3.69 µV)	

#### 4.4.16 Ligação Mpuzi – Mapai, Mapai - Mpuzi

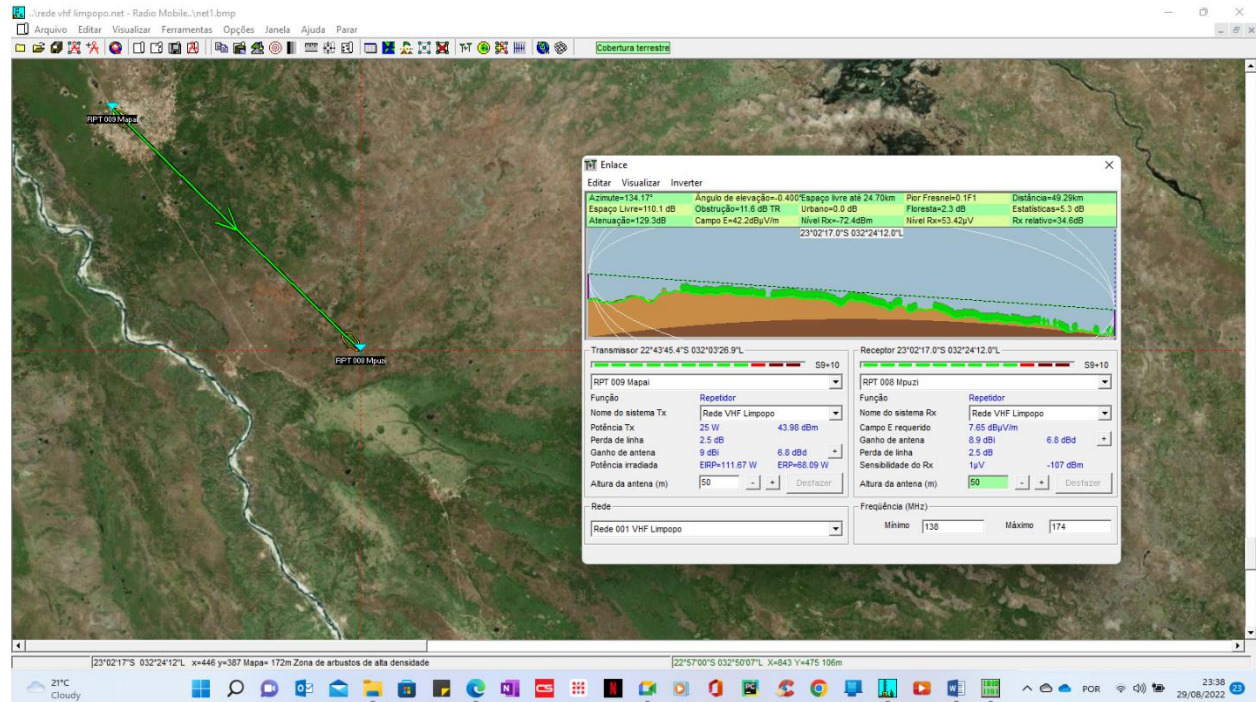


Figura 26: Mpuzi - Mapai (fonte: Autora)

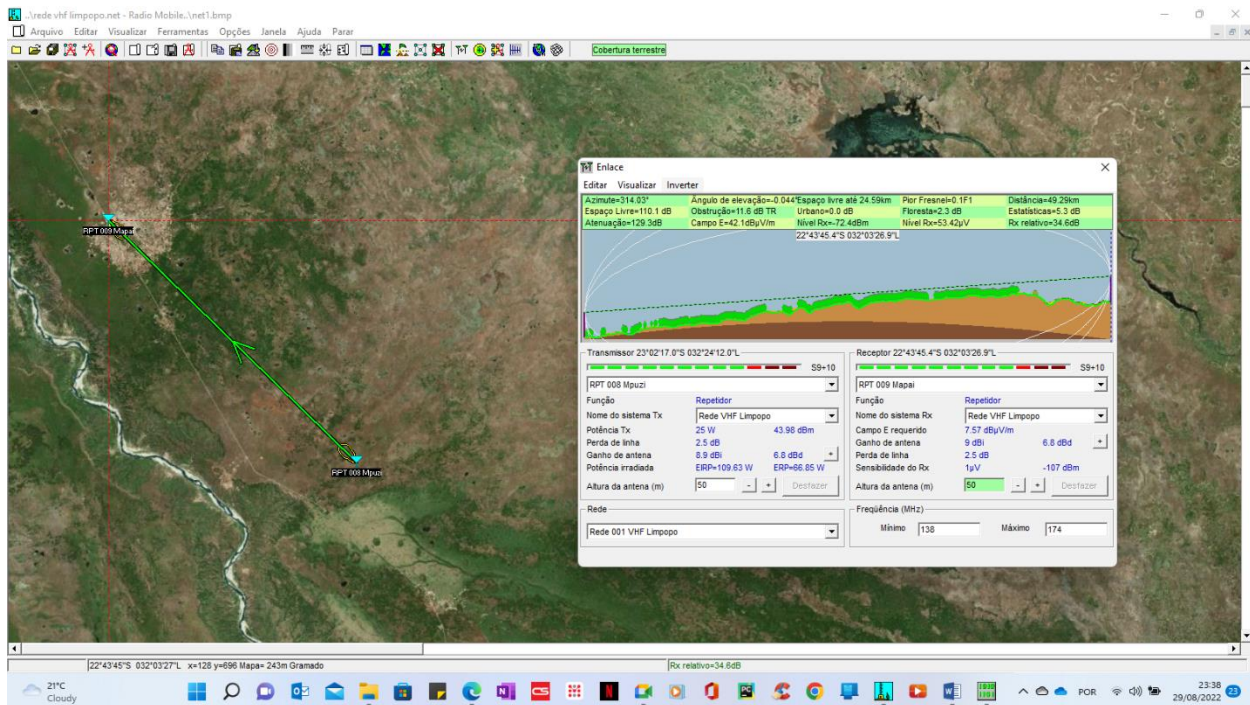


Figura 27: Mapai - Mpuzi (fonte: Autora)

#### 4.4.17 Condições dos links

Tabela 9: Parâmetros do link Mpuzi - Mapai

Comprimento do link – 76.59 Km	Perdas no espaço livre – 113.9 dB
Atenuação máxima permitida – 140.3 dB	RX relativo – 19.3 Db
Nível de RX = 87.7 dBm (9.25 µV)	

#### 4.4.18 Ligação Mapai – Chicualacuala, Chicualacuala - Mapai

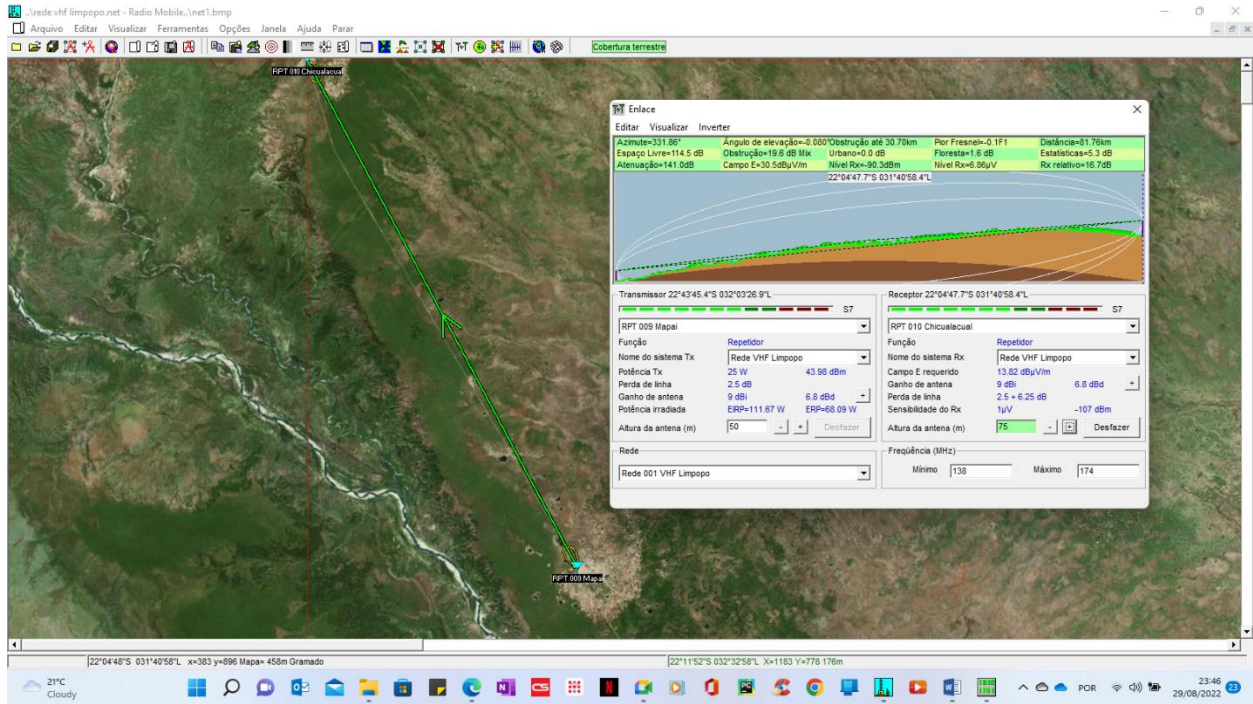


Figura 28: Mapai - Chicualacuala (fonte: Autora)

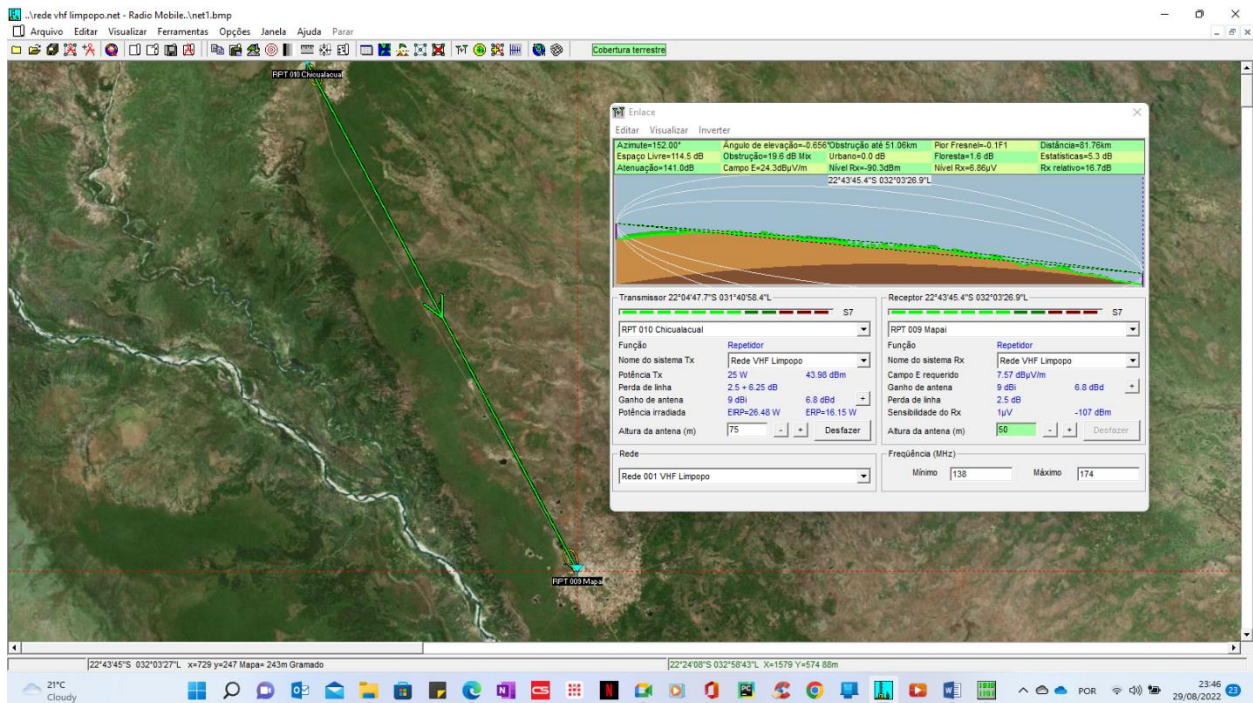


Figura 29: Chicualacuala – Mapai (fonte: Autora)

#### 4.4.19. Condições dos links

Tabela 10: Parâmetros do link Mapai – Chicualacuala

Comprimento do <i>link</i> – 81.76 Km	Perdas no espaço livre – 114.5 dB
Atenuação máxima permitida – 141.5 dB	RX relativo – 16.7 Db
Nível de RX = 90.3 dBm (6.68 $\mu$ V)	

## CAPÍTULO V: CONCLUSÕES

Neste capítulo, faz-se a apresentação das principais conclusões obtidas, o resumo do procedimento utilizado para determinar as eventuais causas que estão por trás do baixo desempenho da rede VHF do CFM.

### 5.1 Conclusões

No início desta monografia, foi definido como objectivo principal o estudo do funcionamento da rede de telecomunicações do CFM, na linha do Limpopo, verificação do seu dimensionamento e a identificação das causas que estão por trás do seu mau desempenho em condições climáticas adversas. Inicialmente, começou-se por estudar a necessidade de sistemas de redes de telecomunicações em sistemas ferroviários, em especial ao sistema do CFM, os tipos de equipamentos utilizados e a verificação relativa à satisfação dos requisitos pelo sistema existente.

- **Verificação do dimensionamento da rede:** Neste estágio, foram realizados os cálculos teóricos, na base dos requisitos para alcançar links de cobertura confiáveis, para a cobertura da célula, baseados nos modelos de propagação recomendados pela ETSI [ETSI], para sistemas VHF e nos parâmetros reais do equipamento. Este processo, permitiu-nos que obtivéssemos os dados necessários em relação aos seguintes aspectos:
- **Frequências:** As frequências utilizadas no estudo, são as do sistema em operação, tendo se verificado com estas se obtém um sistema livre de interferências. Na linha do Limpopo, é utilizado o conceito de reuso de frequências, tendo em conta que é utilizado um grupo de 04 (quatro) canais na faixa de 130 a 174 MHz. O conceito de reuso de frequências é aplicado de forma realística de acordo com os resultados de análise de cobertura.

Em termos numéricos, foi concluída a necessidade de melhoramento do *link* entre Motaze – Monte Alto, por estar abaixo dos valores mínimos recomendados pelo fabricante dos equipamentos para a obtenção de um nível satisfatório de recepção e ainda o melhoramento dos *links* Mpuzi – Mapai e Mapai – Chicualacuala, que apesar de estar dentro dos limites mínimos em caso de chuvas e outras intempéries podem piorar os seus índices, resultando em atenuações maiores que podem também estar abaixo do recomendado, criando assim as perturbações que se vem registando neste momento na operação do sistema.

## Anexo 1: Características das Antenas



138 ... 268 MHz

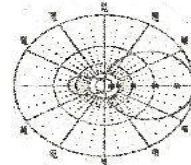
### 3-ELEMENT VHF YAGI ANTENNAS

- ☑ These Yagi Antennas are commonly used for point-to-point communications.
- ☑ High gain and high front-to-back ratio.
- ☑ All metal parts DC grounded.

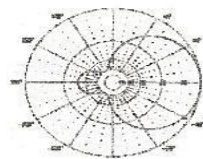


3-ELEMENT YAGI

Electrical Data	Y160/3	Y250/3
Part Number	A10AA0035A A10AA2092A	A10AA0870A
Frequency	138...174 MHz	254 — 268 MHz
Nominal Gain	7 dBd	
VSWR	≤ 1,5:1	
Bandwidth VSWR	<1,5:1 2%	
Polarisation	Vertical or horizontal	
H Plane	3dB Beam Width 96°	
E Plane	3dB Beam Width 64°	
Front-to-back ratio	> 10 dB	
Rated power	150 W	
Impedance	50 Ω	
Termination	N Male          N Female          N Male	
Surge Protection	All metal parts DC Grounded	
Mechanical Data		
Max. wind velocity	200 km/h	
Wind Load	18,5 kg @ 144 km/h	
Flat Plate Area	0,175 m <sup>2</sup>	
Material	Aluminium with SS bolts and nuts	
Mounting	With CO1 plate assy to support pipes Ø 25 - Ø 50 mm	
Largest Dims	Boom 1,5 m long, Elements 1.1 m high	
Packed Dims	145 cm x 20 cm x 8 cm	
Packed Weight	4,6 kg	



Y160/3 Vertical



Y160/3 Horizontal

NOTES:  
VERTICAL POLARIZATION.  
NORMALIZED SCALE - NOT  
GAIN.  
\* TUNEABLE WITHIN  
FREQUENCY.



www.webb.co.za          tel..... +27 11 719-0000  
webb@webb.co.za      fax..... +27 11 444-2288

© 2020/03/19. Specifications subject to change without notice.





## Referências bibliográficas

1. Correia, Luís M. *Comunicações Móveis*. Lisboa, Portugal. 2009.
2. Garcia., Criastina Rico., Andreas Lehner., Tomas Strang, and Korbinian Frank., *Channel Model for Train to Train Communication using the 400 MHz Band*. 2008.  
([http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabss/Channel Model for Train to Train Communication using the 400 MHz Band.pdf](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabss/Channel%20Model%20for%20Train%20to%20Train%20Communication%20using%20the%20400%20MHz%20Band.pdf))
3. Ghaham, Adrian W. *Mobile Radio Network Design in the VHF and UHF Bands, A practical approach*. Jonh Wiley and Sons, Ltd, London, UK, 2007.
4. GR300 & GR500 Repeater Stations and Controllers, Motorola. 1997
5. Palit, S. K. “Design of Wireless Communications Sensing Networks for Tunels, Trains and Buildings.” *Internation Journal on Smart Sensing and Inteligent Systems*, Vol 2, No. 1, March, 2009, pp17.
6. Salema, Carlos. *Uma Introdução as Telecomunicações com Mathematica*. IST Press, Lisboa, Portugal. 2009.