



INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Engenharia de Telecomunicações e Informática

Projeto de Sistema de Telecomunicações

Projeto de uma Ligação por Feixes Hertzianos

Ligação Sines – Odemira

Grupo 22

João Rabuge | 98509

Bernardo Assunção | 98616

Docente:

Francisco António Bucho Cercas

Ano curricular: 3º

Semestre: 2º Semestre

2022/23

Índice

Acrónimos e Siglas utilizadas	3
1 Introdução.....	4
2 Análise e Resultados.....	5
2.1 Frequências de Trabalho mais Adequadas e Cálculo do Fator Ruído e Potência de Emissão.....	5
2.1.1 Frequência de Trabalho mais Adequadas	5
2.1.2 Cálculo do Fator Ruído	6
2.1.3 Cálculo da Potência de Emissão	6
2.2 Ligação Direta (Sines-Odemira).....	7
2.2.1 Viabilidade da Ligação por Feixe Direto (Sines-Odemira)	8
2.3 Ligação Indireta (Com Repetidor) Sines-Odemira.....	10
2.3.1 Viabilidade da Ligação Indireta (Com Repetidor) Sines-Odemira	11
2.3.2 Otimização da Ligação Indireta (Com Repetidor) Sines-Odemira	13
2.3.3 Fiabilidade do Equipamento e Verificar Disponibilidade da Ligação Sines-Odemira..	15
2.3.4 Cálculo dos Ângulos dos Espelhos e Disposição dos Equipamentos	16
3 Custo e Especificações do Projeto	18
3.1 Equipamento Necessário e Custos.....	18
3.2 Custos Anuais do Projeto e Custos Totais do Projeto	19
4 Conclusão	21
5 Bibliografia	22
6 Anexos	23
6.1 Anexo A – Estudo das Frequências de Trabalho.....	23
6.2 Anexo B – Separação entre Portadoras	25
6.3 Anexo C – Cálculo da Indisponibilidade da Ligação	26
6.4 Anexo D – Plano vertical com 1 Espelho	27
6.5 Anexo E – Cálculo Área Real Espelhos do Periscópio	28
6.6 Anexo F – Disposição Espelhos com Correção Norte Magnético	29
6.7 Anexo G – Disposição Antenas	30
6.8 Anexo H – Preço dos Equipamentos (Fórmulas)	32
6.9 Anexo I – Cálculo para a Evolução de Custos no Projeto	33
7 Apêndice.....	35
7.1 Versão Feixer para Percurso Direto.....	35
7.2 Versão Feixer Final Otimizada.....	53

Acrónimos e Siglas utilizadas

A_o - Atenuação no Espaço Livre

A_{obs} - Atenuação de Obstáculos

Δf – Separação entre Portadoras

LB_{Real} – Largura de Banda Real em GHz

p_m – Potência de Emissão

F – Fator Ruído

PSK – Phase Shift Keying

QAM – Quadrature Amplitude Modulation

C/N_{NEC,mín} – Relação Sinal-Ruído Mínima para Cumprir Todas as Cláusulas

C/N_{CIP} – Relação Sinal-Ruído da Ligação em Condições Ideais de Propagação

I_{Máximo} – Indisponibilidade Máxima

I_{Chuva} – Indisponibilidade Máxima devido à Chuva

I_{Outras} – Indisponibilidade Máxima devido a Outras Causas

MTTR – Medium Time To Repair

MTBF – Medium Time Between Failures

R_{2-I} – Vetor Espelho 2 ao Espelho 1

R_{I-O} – Vetor Espelho 1 a Odemira

R_{S-2} – Vetor Sines a Espelho 2

C₀ - Custo Inicial

1 Introdução

Nesta primeira fase do projeto é pedido para elaborar uma **ligação bidirecional de feixes hertzianos digitais entre Sines e Odemira** para um sinal **STM-1** (155 Mbit/s) que suporta tráfego de **64 canais de vídeo** entre duas estações **TDT** (Televisão Digital Terreste) e que garanta as especificações da **ITU-R**.

Para a realização deste estudo foi necessário seguir certas etapas:

1. Estudo de frequências e cálculo da potência de emissão e do fator ruído,
2. Verificar se a ligação direta é viável,
3. Se necessário, estudar percursos alternativos através de repetidores.

Neste projeto, existem dados específicos a cada grupo e outros gerais que são apresentados na **Tabela 1**.

Dados	Valor
p_0	3.4
a	1.2
F_0	3.2
b	0.1
Ritmo Binário [Mbit/s]	155
Número de canais de vídeo entre as duas estações TDT [canais]	64

Tabela 1 – Características e valores do projeto, para o grupo 22.

Também é necessário a aplicação das **Normas da ITU-R**, mostrando o seu cumprimento, assim como a **Frequência Ótima** e a **Margem Crítica final** para a ligação otimizada, que deverá ser cerca de **3 dB**. Após a obtenção da ligação otimizada, iremos

Para começar o desenvolvimento do projeto para a ligação **Sines – Odemira**, é necessário realizar primeiramente uns cálculos:

1. Frequências de Trabalho mais Adequadas,
2. Fator Ruído,
3. Potência de Emissão.

2 Análise e Resultados

2.1 Frequências de Trabalho mais Adequadas e Cálculo do Fator Ruído e Potência de Emissão

Nesta 1^a Fase do projeto iremos demonstrar quais as **frequências a ser usadas**, e depois realizar o cálculo do **fator ruído** e da **potência de emissão** para cada uma das possíveis frequências a ser usadas. No Anexo A – Estudo das Frequências de Trabalho, é demonstrado que **nem todas estas frequências serão consideradas adequadas** tendo em conta alguns critérios.

2.1.1 Frequência de Trabalho mais Adequadas

No caso da ligação bidirecional associada ao nosso **Grupo 22 (Sines – Odemira)**, e recorrendo ao livro indicado na Bibliografia, conseguimos tirar algumas conclusões das frequências usadas para este ritmo binário, como demonstrado na **Tabela 2**.

Frequências de Trabalho [GHz]	Largura de Banda [MHz]	Índice de Modulação Mínima ($\beta=0.142$)	Modulação	Técnica de Modulação Usada	Fator de Excesso de Banda ($0.142 < \beta < 0.5$)
5	60	7.7283	8	PSK	0.1613
6	60	7.7283	8	PSK	0.1613
	90	3.9089	4	PSK	0.1613
				QAM	
13	35	33.299	64	QAM	0.3548
18	55	9.3074	16	PSK	0.4194
	110	3.0508	4	PSK	
				QAM	

Tabela 2 – Características e valores do projeto, para o grupo 22.

2.1.2 Cálculo do Fator Ruído

$$F = F_0 + b * f \Leftrightarrow F = 3.2 + 0.1 * f$$

- **Frequência = 5GHz**
➤ $F = 3.7 \text{ dB}$
- **Frequência = 6 GHz**
➤ $F = 3.8 \text{ dB}$
- **Frequência = 13 GHz**
➤ $F = 4.5 \text{ dB}$
- **Frequência = 18 GHz**
➤ $F = 5 \text{ dB}$

2.1.3 Cálculo da Potência de Emissão

$$p_m = p_0 / [(f/2)^a] \Leftrightarrow p_m = 3.4 / [(f/2)^{1.2}]$$

- **Frequência = 5GHz**
➤ $p_m = 1.1323 \text{ W}$
- **Frequência = 6 GHz**
➤ $p_m = 0.9098 \text{ W}$
- **Frequência = 13 GHz**
➤ $p_m = 0.3597 \text{ W}$
- **Frequência = 18 GHz**
➤ $p_m = 0.2434 \text{ W}$

2.2 Ligação Direta (Sines-Odemira)

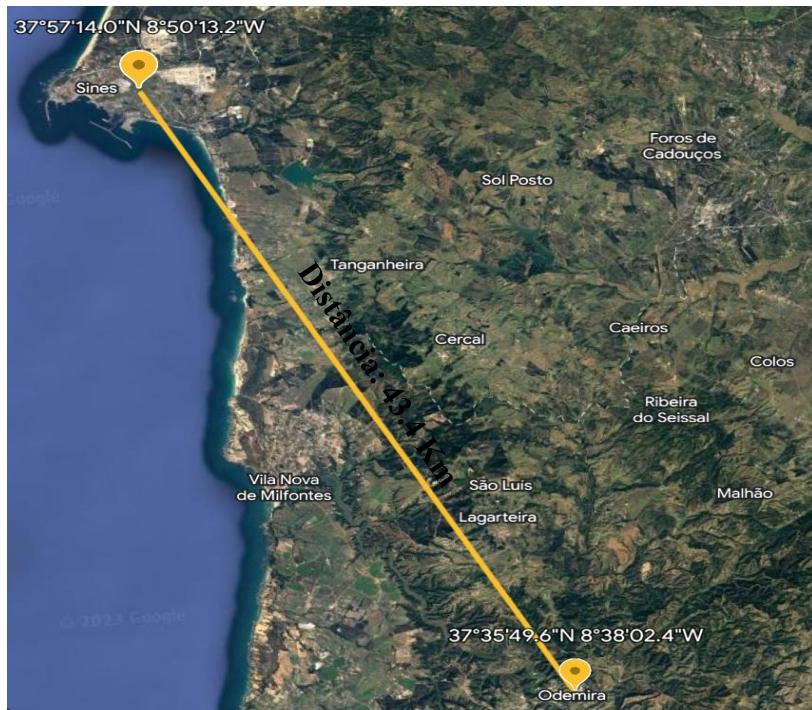


Figura 1 – Ligação Sines-Odemira.

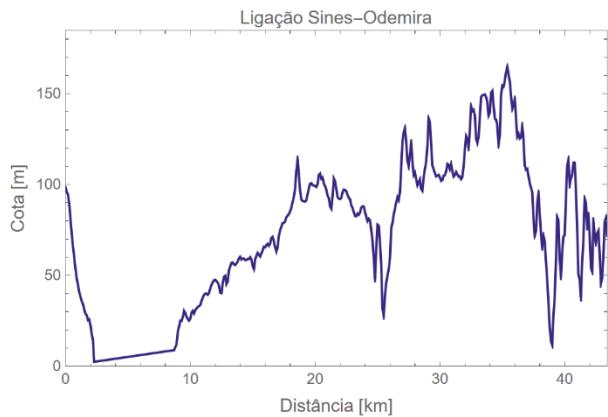


Figura 2 – Perfil Terra Plana.

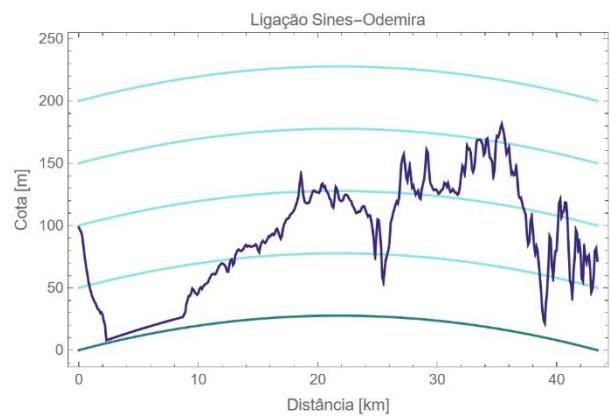


Figura 3 – Perfil Terra Esférica.

Após se terem retirado as cotas da ligação Sines-Odemira de **0.1 Km** em **0.1 Km**, conseguiu-se obter através do *Feixer* os perfis em **Terra plana** e **esférica**. Através da observação da

Figura 2 e 3 conseguiu-se observar um **obstáculo** na ligação que **poderá impossibilitar** a ligação em feixe direto entre Sines e Odemira.

2.2.1 Viabilidade da Ligação por Feixe Direto (Sines-Odemira)

A viabilidade de uma ligação por feixe direto tem na observação da **1^a Elipsoide de Fresnel** um fator muito importante. Esta Elipsoide poderá demonstrar se o obstáculo presente na ligação irá **influenciar a ligação**, ao ponto de esta **não ser possível por feixe direto**. Para isto, considerou-se valores comuns nas antenas e mastros. Os **mastros têm uma altura de 40 metros** e as **antenas um diâmetro de 4.5 metros, um rendimento de 50% e 7.95216 metros² de área efetiva**.

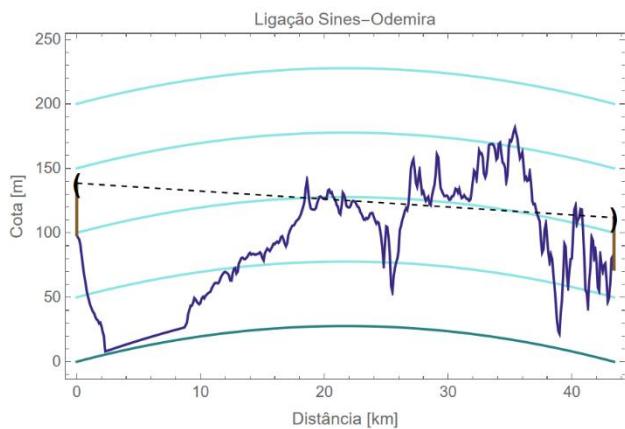


Figura 4 – Feixe direto na ligação Sines-Odemira.

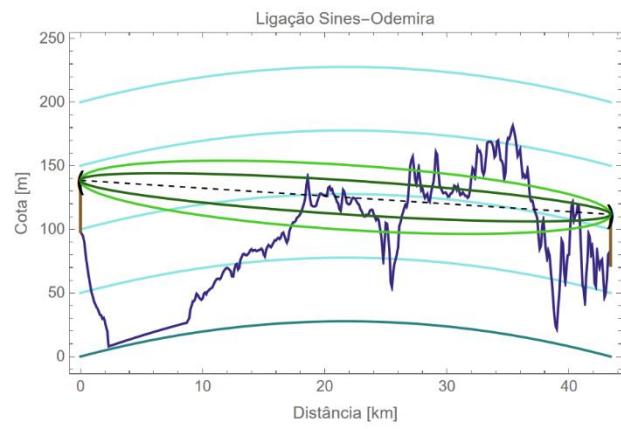


Figura 5 – 1^a Elipsoide de Fresnel no Feixe direto.

Após a observação da **Figura 4 e 5**, pressupõem-se que é possível a **utilização de um repetidor**. A necessidade do mesmo, deve-se maioritariamente ao **obstáculo** no Quilómetro **35.4** que provoca uma **atenuação forte no sinal**.

São possíveis observar os valores de **atenuação, relações sinal ruído ideias e mínimas, margens de segurança e margens críticas** para cada uma das frequências de trabalho na **Tabela 3.**

Frequências de Trabalho [GHz]	5	6	13	18
A_0 [dB]	139.177	140.761	147.476	150.303
A_{obs} [dB]	35.8682	36.6593	40.0262	41.446
C/N _{NEC,mín} [dB]	63.911	57.7102	78.4261	82.3028
C/N _{CIP} [dB]	34.2219	31.0203	25.6955	7.64309
Margem de Segurança [dB]	-28.9692	-26.6899	-52.7306	-74.6597
Margem Crítica [dB]	-61.644	-58.6221	-116.3	-122.217

Tabela 3 – Características da ligação, para o grupo 22.

Assim, concluímos que a atenuação provocada pelo obstáculo provoca grandes complicações na ligação por Feixe Direto. Especialmente, no valor da **margem crítica**, demonstra que estas (para qualquer frequência de trabalho), está **negativa e muito longe dos 3 dB** pedidos. Mesmo após a utilização de **técnicas de diversidade** a cláusula **nunca era cumprida**, sendo por isso **impossível a ligação Sines-Odemira por Feixe Direto**.

2.3 Ligação Indireta (Com Repetidor) Sines-Odemira

Com a **inviabilidade** de realizar a ligação **Sines-Odemira por Feixe Direto**, teve que se arranjar uma **alternativa** de modo a que o obstáculo presente no percurso **não cause atenuação** e que os seus valores estejam em **conformidade com o esperado**. Para isto, escolheu-se utilizar um **Repetidor no quilómetro 35.4** (local onde de encontra o maior obstáculo da ligação). Na *Figura 6*, é possível observar a ligação Sines-Odemira com o local onde se deve proceder à instalação do Repetidor.

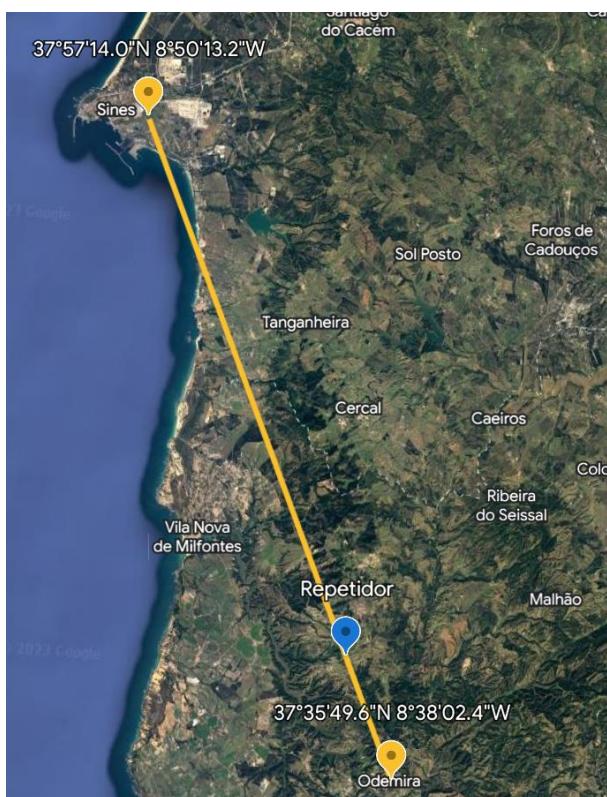


Figura 6 – Ligação Sines-Odemira com Repetidor.

2.3.1 Viabilidade da Ligação Indireta (Com Repetidor) Sines-Odemira

Mais uma vez, para se testar a viabilidade da ligação, realizou-se a observação da **1ª Elipsoide de Fresnel**. Esta Elipsoide poderá demonstrar se o obstáculo presente na ligação irá **influenciar a ligação**, com o recurso a **1 Repetidor**. Para isto, considerou-se valores comuns nas antenas e mastros. Os **mastros têm uma altura de 40 metros** e as **antenas um diâmetro de 4.5 metross**, **um rendimento de 50% e 7.95216 metros² de área efetiva**.

Foi também adicionado um **Repetidor** com valores comuns de **30 metros² de área efetiva**, **95% de rendimento** e **alturas dos mastros em 10 metros**. Com a observação da *Figura 8*, é notório que já **não existe atenuação devido ao obstáculo**.

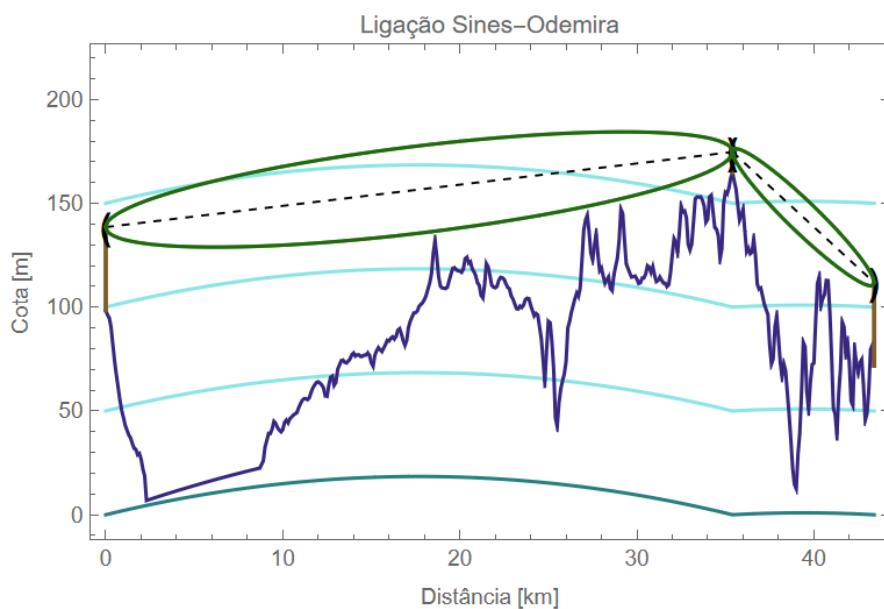


Figura 7 – 1ª Elipsoide de Fresnel na Ligação Indireta (Com Repetidor).

São possíveis observar os valores de **atenuação, relações sinal ruído ideias e mínimas, margens de segurança e margens críticas** para cada uma das frequências de trabalho na **Tabela 4**.

Frequências de Trabalho [GHz]	5	6	13	18
A_0 [dB]	261.896	265.063	278.495	284.148
A_{obs} [dB]	0			
C/N _{NEC,mín} [dB]	63.1825	57.7016	78.4176	82.3028
C/N _{CIP} [dB]	47.5606	46.7338	51.4917	37.6858
Margem de Segurança [dB]	-15.6219	-10.9677	-26.9259	-44.6171
Margem Crítica [dB]	-31.3591	-22.7899	-56.9218	-53.0592

Tabela 4 – Características da ligação indireta, para o grupo 22.

Assim, percebemos que embora as margens críticas tenham melhorado em relação às apresentadas por Feixe Direto, ainda **nenhuma delas cumpre a clausula de Marguem Crítica Requerida de 3 dB e ainda são todas negativas**. Assim, foi necessário a utilização de **Técnicas de Diversidade de Frequência (Anexo B – Separação entre Portadoras)**.

Esta foi escolhida em detrimento da Diversidade no Espaço, devido ao facto de necessitar de **2 Repetidores**, coisa que não possuímos. Na **Tabela 5** é possível observar as características da ligação Sines-Odemira num **caminho indireto, mas agora com recurso às técnicas mencionadas anteriormente**.

Frequências de Trabalho [GHz]	5	6	13	18
Δf [GHz]	0.3	0.36	0.49	1.54
C/N _{NEC,mín} [dB]	48.4117	44.017	65.9603	82.3028
C/N _{CIP} [dB]	47.5606	46.7338	51.4917	37.6858
Margem de Segurança [dB]	-0.851072	2.71684	-14.4685	-44.6171
Margem Crítica [dB]	-3.91442	12.4843	-61.4794	-46.3593

Tabela 5 – Características da ligação com diversidade de frequência, para o grupo 22.

Assim, com a introdução desta nova Técnica de Diversidade, observa-se que apenas uma frequência satisfaz a clausula de **ser positiva**, que é a Frequência de **Trabalho de 6 GHz**, que se considera assim a **Frequência Ótima**.

2.3.2 Otimização da Ligação Indireta (Com Repetidor) Sines-Odemira

Após se verificar que a **ligação é possível** ser realizada através de um percurso com 1 Repetidor, é necessário também **otimizar** a mesma, conseguindo uma Margem Crítica próxima dos 3 dB. Assim, foi realizado através do *Feixer* uma combinação de valores, de modo a que a Margem Crítica para a **frequência ótima de 6 GHz** fosse de **3.0593 dB** após utilizar a **técnica de diversidade de frequência**.

Na *Tabela 6*, é demonstrado os valores necessários das **Antenas e Repetidor** para dar uma **Margem Crítica perto de 3 dB**.

	Frequência [GHz]	6
	Largura de Banda [MHZ]	90
Repetidor	Área Efetiva [m²]	25.05
	Mastro Emissão [m]	10
	Mastro Re却ão [m]	10
Antenas [m]	Diâmetro	4.5
	Mastro Emissão	40
	Mastro Re却ão	40
Margens [dB]	Segurança	0.665406
	Crítica	3.0593

Tabela 6 – Valores para otimização da ligação, para o grupo 22.

Embora como poderá ser visível mais à frente no projeto que o **aumento do diâmetro da antena** fosse **economicamente mais vantajoso** que o **aumento da área efetiva do repetidor**, as antenas já possuíam o **diâmetro máximo**, então, apenas se poderia alterar a área efetiva do repetidor de **10 m²** para **25.05 m²**.

2.3.3 Fiabilidade do Equipamento e Verificar Disponibilidade da Ligação Sines-Odemira

É necessário que a **ligação Sines-Odemira cumpra as normas da ITU-R**. Para isto tem-se em conta vários parâmetros. Sendo a **fiabilidade dos equipamentos** e a **indisponibilidade da ligação devido à chuva e outras causas**.

Sendo a nossa ligação bidirecional **inferior a 280 Km (43.5 Km)**, utilizou-se os valores recomendados pelo **ITU-R - F.695**.

Os valores apresentados foram os seguintes:

Indisponibilidade	Total (%)
Devido à Chuva	10
Devido ao Equipamento	40
Devido a Outras Causas	50

Tabela 7 – Valores para Indisponibilidade, para o grupo 22.

MTBF	Tempo Médio Entre Avarias [Horas]
Emissor	120 000
Modulador	200 000
Recetor	200 000
Desmodulador	140 000
Comutador 1+1	90 000

Tabela 8 – Valores para MTBF, para o grupo 22.

Foi utilizado **1 Elemento de Reserva e 1 Elemento de Serviço de Reserva**, de modo a que a **indisponibilidade do equipamento seja cumprida**.

Após a realização dos cálculos realizados no Anexo C – Cálculo da Indisponibilidade da Ligação, conclui-se que a $I_{Equipamento} = I_{Real} = 1.334 * 10^{-4}$. Assim, a **indisponibilidade do equipamento cumpre as normas ITU-R**.

2.3.4 Cálculo dos Ângulos dos Espelhos e Disposição dos Equipamentos

Após se obter a ligação **otimizada** entre Sines-Odemira, e verificar a que a **indisponibilidade do equipamento cumpre as normas ITU-R**, é necessário saber a disposição que os equipamentos terão que ter. Para isso, é necessário realizar o cálculo dos **ângulos dos espelhos do Repetidor**, de modo a saber que tipo se irá utilizar (um espelho ou periscópio).

Através do Anexo D – Plano vertical com 1 Espelho, chegamos à conclusão que o **Plano vertical com 1 Espelho não é suficientemente eficiente** pois devem-se evitar valores onde o $\alpha > 60^\circ$ e neste caso, o $\alpha = 82.46^\circ$. Com uma **Área Física que teria que ser de 200.95 m²**, sendo por isso completamente **impossível** a sua utilização. Assim a solução que será utilizada é um **Periscópio de 2 Espelhos com 1 Mastro**. Através dos cálculos efetuados no Anexo E – Cálculo Área Real Espelhos do Periscópio, chegou-se aos valores das **Áreas Reais** apresentados *Tabela 9* abaixo.

Espelho	6 GHz
1 [m ²]	43.48
2 [m ²]	37.38

Tabela 9 – Áreas Reais dos Espelhos do Periscópio, para o grupo 22.

Após se saber a Área Real de cada espelho no periscópio, terá agora que se saber como ficará a **disposição dos equipamentos no projeto**. No Anexo F – Disposição Espelhos com Correção

Norte Magnético e Anexo G – Disposição Antenas são realizados os cálculos que levaram à realização da *Tabela 10* abaixo, que demonstra a **disposição dos equipamentos**, com os seus **ângulos corrigidos magnéticos, ângulos de fogo e ângulos da vertical com os espelhos**.

	Sines	Odemira	Espelho 1	Espelho 2
θ_{MAG}	22° E	127° O	56.2° E	59° E
Ψ	55.97°	58.96°	-	-
α	-	-	58.99°	46.34°

Tabela 10 – Disposição do Equipamento, para o grupo 22.

3 Custo e Especificações do Projeto

3.1 Equipamento Necessário e Custos

Tendo em conta os **custos** da Bibliografia - Salema, C. (out. 2002) , Anexo B –Custos Feixes Hertzianos e o Anexo H – Preço dos Equipamentos (Fórmulas).

O projeto tem os seguintes **custos associados aos equipamentos**:

Local	Descrição	Diâmetro/altura...	Preço [euros]
Sines	Antena	4.5 m ²	7834.38
	Torre Espiada	40 m	15500
	Guia de Ondas	10 m	400
	Equipamento Emissor/Recetor	-	35000
	Abrigo de alimentação de Energia	-	60000
Odemira	Antena	4.5 m ²	7834.38
	Torre Espiada	40 m	15500
	Guia de Ondas	10 m	400
	Equipamento Emissor/Recetor	-	35000
	Abrigo de alimentação de Energia	-	60000
Periscópio	Torre Espiada	2 de 10 m	13000
	Espelho 1	43.48 m ²	31337.5
	Espelho 2	37.38 m ²	26785
Taxa Emissão Licença de Estação			5500
Custo Inicial (C₀)			314 091,26

Tabela 11 – Custo Inicial do Projeto, para o grupo 22.

3.2 Custos Anuais do Projeto e Custos Totais do Projeto

Para o estudo da **evolução dos custos** no projeto de 25 anos, existe diversos valores a necessitarem de ser pagos a complementar ao **preço dos equipamentos** e à **taxa de emissão de licença de estação**. São estes:

- **Encargos de exploração anuais** = 94,227.38 €
- **Encargos com terreno e direitos de passagem** = 125,636.50 €
- **Taxa de utilização** = 546,840.0 €
- **Despesa Média Anual** = 2,075,512.50 €
- **Receita Média Anual** = 2,284,866.18 €
- **Custo Médio Diário do Canal** = 77.83 €

Com base nestes valores, que se pode consultar os **cálculos** utilizados em *Anexo I – Cálculo para a Evolução de Custos no Projeto.*

O projeto é considerado **rentável a partir do 4º ano**, ano onde já não existe **amortizações** a serem realizadas do preço inicial do projeto, e começa a existir lucro (Lucro = Receitas – (Despesas + C₀)), como é possível observar na *Tabela 12 e Gráfico 1*.

Ano	Custo Diário de Canal por Ano	Receita Anual	Despesa Anual	Lucro Anual	Balanco Atual
1	30.78 €	903,122.90 €	820,373.15 €	82,749.75 €	- 231,341.51 €
2	32.85 €	966,341.50 €	877,799.27 €	88,542.23 €	- 142,799.28 €
3	35.24 €	1,033,985.41 €	939,245.22 €	94,740.18 €	- 48,059.10 €
4	37.71 €	1,106,364.39 €	1,004,992.39 €	101,372.00 €	53,312.90 €
5	40.35 €	1,183,809.89 €	1,075,341.86 €	108,468.04 €	161,780.94 €
6	43.05 €	1,266,676.59 €	1,150,615.79 €	116,060.80 €	277,841.74 €
7	46.19 €	1,355,343.95 €	1,231,158.89 €	124,185.06 €	402,026.79 €
8	49.43 €	1,450,218.02 €	1,317,340.01 €	132,878.01 €	534,904.80 €
9	52.89 €	1,551,733.29 €	1,409,553.82 €	142,179.47 €	677,084.27 €
10	56.43 €	1,660,354.62 €	1,508,222.58 €	152,132.03 €	829,216.31 €
11	60.55 €	1,776,579.44 €	1,613,798.16 €	162,781.28 €	991,997.58 €
12	64.79 €	1,900,940.00 €	1,726,764.03 €	174,175.97 €	1,166,173.55 €
13	69.32 €	2,034,005.80 €	1,847,637.52 €	186,368.28 €	1,352,541.83 €
14	73.97 €	2,176,386.21 €	1,976,972.14 €	199,414.06 €	1,551,955.90 €
15	79.37 €	2,328,733.24 €	2,115,360.19 €	213,373.05 €	1,765,328.94 €
16	84.93 €	2,491,744.57 €	2,263,435.41 €	228,309.16 €	1,993,638.10 €
17	90.87 €	2,666,166.69 €	2,421,875.88 €	244,290.80 €	2,237,928.91 €
18	96.97 €	2,852,798.35 €	2,591,407.20 €	261,391.16 €	2,499,320.06 €
19	104.04 €	3,052,494.24 €	2,772,805.70 €	279,688.54 €	2,779,008.60 €
20	111.32 €	3,266,168.84 €	2,966,902.10 €	299,266.74 €	3,078,275.34 €
21	119.11 €	3,494,800.66 €	3,174,585.25 €	320,215.41 €	3,398,490.75 €
22	127.10 €	3,739,436.70 €	3,396,806.21 €	342,630.49 €	3,741,121.24 €
23	136.37 €	4,001,197.27 €	3,634,582.65 €	366,614.62 €	4,107,735.86 €
24	145.92 €	4,281,281.08 €	3,889,003.43 €	392,277.64 €	4,500,013.50 €
25	156.13 €	4,580,970.75 €	4,161,233.67 €	419,737.08 €	4,919,750.58 €
Soma	1,945.68 €	57,121,654.39 €	51,887,812.54 €	5,233,841.84 €	4,919,750.58 €

Tabela 12 – Evolução dos Custos do Projeto, para o grupo 22.

Evolução custos do projeto

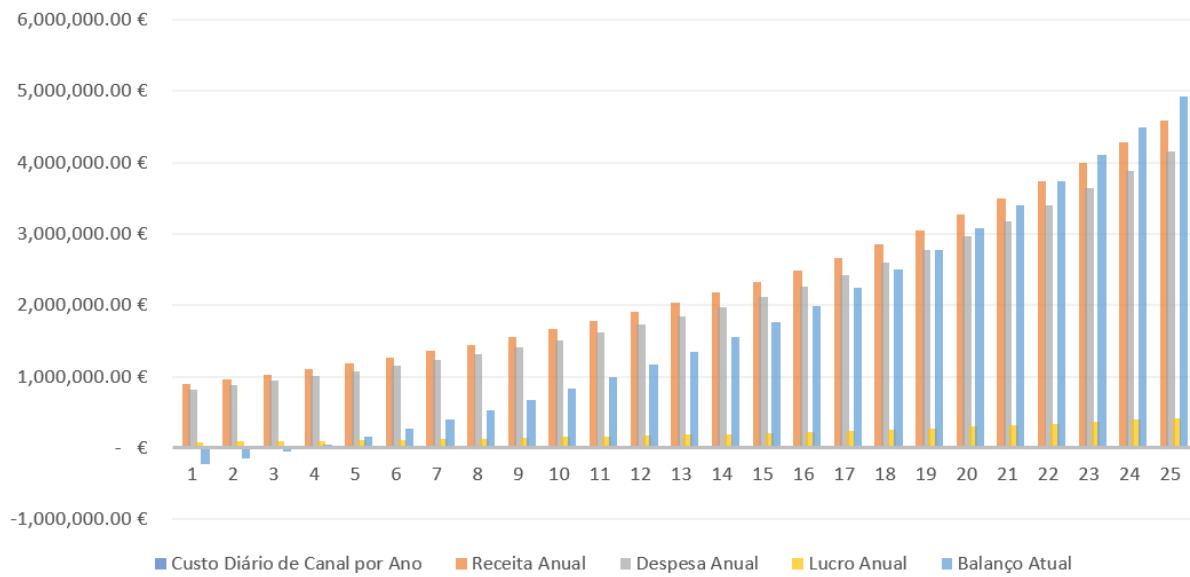


Gráfico 1 – Evolução dos Custos do Projeto, para o grupo 22.

4 Conclusão

Nesta **1ª Parte do Projeto de Ligação Bidirecional de Feixes Hertzianos entre Sines e Odemira**, para um sinal de ritmo binário 155 Mbit/s que suporta tráfego de 64 canais de vídeo entre duas estações TDT, foi necessário realizar certas tarefas. Para isto foram realizados vários *Feixer's* (com 0 e 1 Repetidor) com as possíveis frequências de trabalho, de modo **a extrair os dados necessários**.

Primeiramente realizámos um **estudo das bandas de frequência** e modulações mais adequadas para ligação (*Anexo A – Estudo das Frequências de Trabalho*).

Posteriormente, realizámos o **estudo da ligação em Feixe Direto** e concluímos que esta **não era possível**, sendo por isso necessário recorrer a um **caminho alternativo**, colocando um **Repetidor** no ponto em que a **atenuação por parte dos obstáculos se torna nula**.

Verificámos através da **Margem Crítica qual a Frequência Ótima**, concluindo-se assim que seria a de **6 GHz** por ser a única que tinha Margem Crítica Positiva quando aplicada **Técnica de Diversidade de Frequência** (*Anexo B – Separação entre Portadoras*).

Na **2ª Parte do Projeto** realizámos a otimização do projeto, podendo modificar as alturas, diâmetros e áreas efetivas do Repetidor e Antenas, tendo como objetivo a maior **proximidade à Margem Crítica Ideal (3 dB)** e tendo em conta os **custos inerentes ao projeto**.

Foi realizado um **estudo dos ângulos de incidências** nos **espelhos do Repetidor** e das **Antenas**, de modo a saber que tipo de **Repetidor** usar (foi escolhido o **Periscópio**), que **áreas reais** são necessárias e a **disposição do equipamento** (*Anexo D – Plano vertical com 1 Espelho*, *Anexo E – Cálculo Área Real Espelhos do Periscópio*, *Anexo F – Disposição Espelhos com Correção Norte Magnético* e *Anexo G – Disposição Antenas*).

Foi também realizado um estudo de modo a que a **Indisponibilidade do Equipamento** estivesse em **conformidade com as normas ITU-R** (*Anexo C – Cálculo da Indisponibilidade da Ligação*).

Por fim fizemos um **estudo extensivo** dos custos do **projeto ao longo dos 25 anos** pedidos, demonstrando assim o **retorno do investimento** ao fim de **4 anos** (*Anexo H – Preço dos Equipamentos (Fórmulas)* e *Anexo I – Cálculo para a Evolução de Custos no Projeto*).

5 Bibliografia

Salema, C . (out. 2002) , Anexo A – Planos de Frequência Detalhados. Em C. Salema, *Feixes Hertzianos*. IST Press 2^a Edição.

Salema, C . (out. 2002) , Anexo B – Custos Feixes Hertzianos. Em C. Salema, *Feixes Hertzianos*. IST Press 2^a Edição.

6 Anexos

6.1 Anexo A – Estudo das Frequências de Trabalho

Na **Tabela 6** é possível observar como foi realizada a escolha das **frequências de trabalho** para este projeto, mostrando quais foram **invalidadas e porquê**, e quais foram validadas.

Frequências de Trabalho [GHz]	Largura de Banda [MHz]	Índice de Modulação [$\beta = 0.142$]	Critério Nyquist [Válido ou Inválido]	Excesso de Banda [entre 0.142 e 0.5]	Excesso de Banda [Válido ou Inválido]
2	14	6398.74	Inválido	-	-
4	10	213074.7	Inválido	-	-
	29	68.78	Inválido	-	-
5	20	461.6002	Inválido	-	-
	28	79.99	Inválido	-	-
	40	21.48	Válido	0.548	Inválido
	60	7.73	Válido	0.1613	Válido
6	20	461.6	Inválido	-	-
	40	21.48	Válido	0.548	Inválido
	60	7.73	Válido	0.1613	Válido
	90	3.91	Válido	0.1613	Válido
7	28	79.99	Inválido	-	-
8	28	79.99	Inválido	-	-
10	7	40943833.7	Inválido	-	-
11	40	21.48	Válido	0.548	Inválido
13	35	33.3	Válido	0.355	Válido
15	28	79.99	Inválido	-	-
18	55	9.31	Válido	0.419	Válido
	110	3.051	Válido	0.419	Válido

Tabela 13 – Estudo das Frequências de Trabalho.

É tido em conta para os cálculos realizados na **Tabela 6**, as **Fórmulas 1, 2, 3 e 4**.

$$LB \geq (R_b / \log_2 M) * (1 + \beta)$$

Fórmula 1 - Expressão para verificar Critério de Nyquist.

$$M_{\text{Min}} = 2^{\lceil (R_b / LB) * (1 + \beta) \rceil}$$

Fórmula 2 - Expressão para calcular o índice de modulação.

$$LB_{\text{Min}} \geq (R_b / \log_2 M)$$

Fórmula 3 - Expressão para calcular Largura de Banda Mínima.

$$B = (LB / LB_{\text{Min}}) - 1$$

Fórmula 4 - Expressão para verificar Excesso de Banda.

Há casos em que numa Frequência de Trabalho há **mais do que uma Largura de Banda Válida**, nesses casos opta-se pela **Largura de Banda que tenha menor Modulação**.

6.2 Anexo B – Separação entre Portadoras

Tendo em conta a necessidade de realizar **Técnicas de Diversidade de Frequência**, é:

$$\Delta f = (\text{número de canais} - 2) * LB_{\text{Real}}$$

Fórmula 5 - Expressão para o cálculo da separação entre as portadoras.

No livro referido na bibliografia, são indicados **o número de canais e largura de banda real** para cada frequência. Sendo assim, é possível calcular a **separação entre portadoras** das frequências de trabalho. Na **Tabela 7** é possível observar os valores da separação de portadora para cada uma das frequências de trabalho escolhidas.

Frequências de Trabalho [GHz]	Número de Canais [Canais]	Largura de Banda Real [MHz]	Δf [GHz]
5	7	60	0.3
6	8	60	0.36
	6	90	0.36
13	8	35	0.21
18	16	55	0.77
	16	110	1.54

Tabela 14 – Cálculo da Separação entre Portadoras para as Frequências de Trabalho.

6.3 Anexo C – Cálculo da Indisponibilidade da Ligação

$$I_{\text{Máxima}} = 0.003 * (280/2500) = 3.36 * 10^{-4}$$

Fórmula 6 – Fórmula para o cálculo da Indisponibilidade Máxima.

$$I_{\text{Equipamento}} = 0.4 * (3.36 * 10^{-4}) = 1.344 * 10^{-4}$$

Fórmula 7 – Fórmula para o cálculo da Indisponibilidade devido ao Equipamento.

$$I_{\text{Chuva}} = 0.1 * (3.36 * 10^{-4}) = 0.336 * 10^{-4}$$

Fórmula 8 – Fórmula para o cálculo da Indisponibilidade devido à Chuva.

$$I_{\text{Outras}} = 0.5 * (3.36 * 10^{-4}) = 1.68 * 10^{-4}$$

Fórmula 9 – Fórmula para o cálculo da Indisponibilidade devido a Outras Causas.

$$I_{\text{RealEquipamento}} = \text{MTTR}/\text{MTBF} = 3.1 * 10^{-4}$$

Fórmula 10 – Fórmula para o cálculo da Indisponibilidade Real do Equipamento.

$$\text{MTTR [Horas]} = 6, \text{ pois MTTR} = [6,12]$$

Fórmula 11 – Fórmula para o cálculo do MTTR.

$$\text{MTBF}_{\text{Unidirecional [Horas]}} = 1 / \Sigma (1/\text{MTBF}) = 39\ 251$$

Fórmula 12 – Fórmula para o cálculo do MTBF_{Unidirecional}.

$$\text{MTBF}_{\text{Bidirecional [Horas]}} = \text{MTBF}_{\text{Unidirecional}} / 2 = 19\ 626$$

Fórmula 13 – Fórmula para o cálculo do MTBF_{Bidirecional}.

Como $I_{\text{RealEquipamento}} > I_{\text{Equipamento}}$, a indisponibilidade do equipamento **não** cumpre a norma ITU-R. Assim, foi necessário a colocação de **1 Elemento de Reserva e 1 Elemento de Serviço em Paralelo**.

$$\text{MTBF}_{\text{Comutadores [Horas]}} = \text{MTBF}_{\text{Comutadores}} / \text{Nº de Comutadores} = 45\ 000$$

Fórmula 14 – Fórmula para o cálculo do MTBF_{Comutadores}.

$$\text{MTBF}_{\text{Ligaçāo [Horas]}} = \text{MTTR} / \text{Combinação 2 de 2} * (I_{\text{RealEquipamento}})^2 = 6.419977 * 10^7$$

Fórmula 15 – Fórmula para o cálculo do MTBF_{Ligaçāo}.

$$\text{MTBF}_{\text{Bir}} \text{ [Horas]} = ((1/\text{MTBF}_{\text{Comutadores}}) + (1/\text{MTBF}_{\text{Ligaçāo}})) = 44\,968.5$$

Fórmula 16 – Fórmula para o cálculo do MTBF_{Bir}.

Voltando a calcular a **Indisponibilidade Real do Equipamento**:

$$I_{\text{RealEquipamento}} = \text{MTTR}/\text{MTBF}_{\text{Bir}} = 1.334 * 10^{-4}$$

Fórmula 17 – Fórmula para o cálculo do I_{RealEquipamento}.

Assim, consegue agora concluir-se que o valor da **Indisponibilidade do Equipamento tendo em conta as normas da ITU-R** são cumpridas pela **Indisponibilidade Real do Equipamento**.

6.4 Anexo D – Plano vertical com 1 Espelho

Para verificação se seria **possível a utilização de um Repetidor com apenas 1 Espelho**, foi necessário realizar alguns cálculos.

Necessitou-se de primeiro realizar o vetor $\mathbf{R}_{1-S} = (-2.1416.793, 11475.0405, 25461.909)$ e o vetor $\mathbf{R}_{1-O} = (3162.985, -2832.0275, -7070.334)$.

Após a descoberta destes vetores, realizou se a fórmula:

$$\alpha = \frac{1}{2} * \arccos ((\mathbf{R}_{1-S} \cdot \mathbf{R}_{1-O}) / |\mathbf{R}_{1-S}| \cdot |\mathbf{R}_{1-O}|)$$

Fórmula 18 – Fórmula para o cálculo do α.

Que levou à conclusão que $\alpha = 82.46^\circ > 60^\circ$, sendo assim a área real necessária para a área efetiva necessária seria de **200.95 m²**, que é algo **inconcebível**.

	X	Y	Z
Sines	4976319.098	773645.3096	3901495.352
Odemira	5000898.876	759338.2416	3868963.109
Espelho 1	4997735.891	762170.2691	3876033.443
Espelho 2	4997731.978	762169.6724	3876030.388

Tabela 15 – Coordenadas cartesianas, para o grupo 22.

6.5 Anexo E – Cálculo Área Real Espelhos do Periscópio

Visto ser necessário um **periscópio de 2 espelhos e 1 mastro**, é necessário proceder aos cálculos das **áreas reais** e dos **ângulos de incidência**, de modo a perceber se a utilização deste tipo de periscópio é possível.

Cálculo do Espelho 1:

Vetor $\mathbf{R}_{2-1} = (3.913, 0.5967, 3.055)$ e Vetor $\mathbf{R}_{1-O} = (3162.985, -2832.0275, -7070.334)$

Onde se calcula o **ângulo de incidência** a partir da fórmula:

$$\Theta = \arccos((\mathbf{R}_{2-1} \cdot \mathbf{R}_{1-O}) / |\mathbf{R}_{2-1}| \cdot |\mathbf{R}_{1-O}|)$$

Fórmula 19 – Fórmula para o cálculo de Θ .

Que assim $\Theta = 52.67^\circ < 60^\circ$ e sendo a sua **área real = 43.48m²**. Calculado através da fórmula de:

$$A_{Real} = A_{efetiva} / \cos(\Theta) * 0.95$$

Fórmula 20 – Fórmula para o cálculo da área real .

Cálculo do Espelho 2:

Vetor $\mathbf{R}_{2-1} = (3.913, 0.5967, 3.055)$ e Vetor $\mathbf{R}_{S-2} = (21412.88, -11475.6372, -25464.964)$

Que através das fórmulas já apresentadas se consegue descobrir que $\Theta = 45.14^\circ < 60^\circ$ e sendo a sua área real = **37.38m²**.

Desta forma verifica-se que a utilização do **periscópio de 2 espelhos** e um mastro é **possível**.

6.6 Anexo F – Disposição Espelhos com Correção Norte Magnético

É necessário também ter em conta o **Norte Geográfico**, vetor $\mathbf{N} = (0,1,0)$. Assim:

$$\Theta_{\text{Sines}} = \arccos((\mathbf{R}_{S-2} \cdot \mathbf{N}) / |\mathbf{R}_{S-2}| \cdot |\mathbf{N}|) = 109^\circ \text{ E}$$

$$\Theta_{\text{Odemira}} = \arccos((\mathbf{R}_{1-O} \cdot \mathbf{N}) / |\mathbf{R}_{1-O}| \cdot |\mathbf{N}|) = 110^\circ \text{ O}$$

Com base na **longitude** das localidades, conseguimos **corrigir o ângulo de incidência** com base no **Norte Magnético**, ficando assim:

$$\Theta_{\text{Sines}} = 117^\circ \text{ E}$$

$$\Theta_{\text{Odemira}} = 102^\circ \text{ O}$$

Assim, tal como se realizou nas localidades, também se tem que realizar no espelho 1 e 2, num **plano horizontal** onde $z=0$.

$$\Theta_{\text{Espelho 1}} = \frac{1}{2} \arccos((\mathbf{R}_{2-1} \cdot \mathbf{R}_{1-O}) / |\mathbf{R}_{2-1}| \cdot |\mathbf{R}_{1-O}|) = 52.67^\circ$$

$$\Theta_{\text{Espelho 2}} = \frac{1}{2} \arccos((\mathbf{R}_{2-1} \cdot \mathbf{R}_{S-2}) / |\mathbf{R}_{2-1}| \cdot |\mathbf{R}_{S-2}|) = 45.14^\circ$$

Com base no **Norte Geográfico**:

$$\Theta_{\text{Espelho } 1} = -14^\circ 0$$

$$\Theta_{\text{Espelho } 2} = -119^\circ E$$

De modo a corrigir o **ângulo de incidência** tendo em conta o **Norte Magnético**:

$$\Theta_{\text{Espelho } 1} = 22^\circ E$$

$$\Theta_{\text{Espelho } 2} = -127^\circ E$$

6.7 Anexo G – Disposição Antenas

Agora, é necessário obter a **elevação das antenas** e dos **espelhos**. E cálculo dos **ângulos de fogo**.

Antena Sines:

$$B = \arctan((. | R_{S-2}|) / r_{eq}) = 0.24^\circ$$

Sabendo que o $r_{eq} = 8493.33$ Km

$$\Theta = \arccos((R_{S-2} \cdot R_{S-2,z=0}) / | R_{S-2} | \cdot | R_{S-2,z=0} |) \quad 56.2^\circ$$

Assim, consegue calcular-se o **ângulo de fogo na antena de Sines**

$$\Psi_{\text{Sines}} = 55.97^\circ$$

Antena Odemira:

$$\mathbf{B} = \arctan((. | R_{1-O}|) / r_{eq}) = \mathbf{0.056^\circ}$$

Sabendo que o $r_{eq} = 8493.33$ Km

$$\Theta = \arccos((R_{1-O} \cdot R_{1-O,z=0}) / |R_{1-O}| |R_{1-O,z=0}|) = \mathbf{59^\circ}$$

Assim, consegue calcular-se o **ângulo de fogo na antena de Odemira**:

$$\Psi_{\text{Sines}} = 58.96^\circ$$

Espelho 1:

É necessário um **vetor com direção normal ao espelho 1**:

$$\text{Vetor } \mathbf{D}_1 = - (R_{2-1} + R_{1-O}) = (-3166.898, 2831.4308, 7067.279)$$

Assim, consegue-se calcular o ângulo entre a vertical e a normal ao espelho , através de, sendo o vetor $\mathbf{V} = (0,0,1)$:

$$\Theta = \arccos((D_1 \cdot V) / |D_1| |V|) = \mathbf{31^\circ}$$

Consegue assim calcular-se o **ângulo da vertical com o espelho 1**:

$$\alpha = 90 - \Theta = \mathbf{58.99^\circ}$$

Espelho 2:

É necessário um **vetor com direção normal ao espelho 2**:

$$\text{Vetor } \mathbf{D}_2 = -(\mathbf{R}_{2-1} + \mathbf{R}_{S-2}) = (-21416.793, 11475.0405, 25461.909)$$

Assim, consegue-se calcular o ângulo entre a vertical e a normal ao espelho , através de, sendo o vetor $\mathbf{V} = (0,0,1)$:

$$\Theta = \arccos((\mathbf{D}_2 \cdot \mathbf{V}) / |\mathbf{D}_2| |\mathbf{V}|) = 43^\circ$$

Consegue assim calcular-se o **ângulo da vertical com o espelho 2**:

$$\alpha = 90 - \Theta = 46.34^\circ$$

6.8 Anexo H – Preço dos Equipamentos (Fórmulas)

Antenas

$$C_a = 1000 + 75d^3 \text{ €}$$

Sendo d = Diâmetro da Antena

Espelhos Planos

$$C_e = 2500 + 750(s-5) \text{ €}$$

Sendo s = Área Real do Espelho

Torres Espiadas

$$C_{te} = 3500 + 300h \text{ €}$$

Sendo h = Altura dos mastros

Emissor e Recetor

$$\text{Preço} = 35\,000 \text{ €}$$

Abrigo e Sistema de Alimentação de Energia Sem Interrupção

$$\text{Preço} = 60\,000 \text{ €}$$

Guia de Ondas Elíptico

$$C_{ge} = 15 * (1 + 10/f) * 10 \text{ €} \text{ (número de metros do guia de ondas do nosso grupo)}$$

Sendo f = frequência = 6

6.9 Anexo I – Cálculo para a Evolução de Custos no Projeto

Para o estudo do **custo do projeto** ao longo dos anos, necessitou-se de realizar alguns **cálculos**.

Através do **Valor Líquido (VAL)**, consegue-se calcular depois as **despesas de exploração (dexploração)** e as **receitas de exploração (rexploração)**.

$$VAL = \sum ((r_{exp,i} - d_{exp,i}) / (1 + j)^i - C_0)$$

É necessário realizar assim, o cálculo da:

- **Taxa de utilização (T_u)** = $70 * 43.4$ (distância) * 2 * 90 (LB) = **546,840 €**
- **Encargos de exploração anual** – $314,091.26 (C_0) * 0.3 = 94,227.38 €$
- **Encargos de terrenos e direitos por passagem** – $314,091.26 (C_0) * 0.4 = 125,636.50 €$
- **Despesas de exploração ($d_{exploração}$)** – $0.3 * 314,091.26 (C_0) + 0.4 * 314,091.26 (C_0) + 546,840 (T_u) = 766,703.88 €$
- **Taxa interna de retorno (j)** = 25%

Através do **VAL** e destes valores acima calculados, consegue-se calcular a fórmula para o cálculo das **despesas de exploração anuais ($d_{exploração,i}$)**tendo em conta uma **inflação de 7%** e a **receita de exploração anuais ($r_{exploração,i}$)** também tendo em conta a **inflação**, assim:

$r_{exploração,i} = (314,091.26 (C_0) * (0.70 + (0.25 (j) / 1 - (1+0.25 (j))^{-25 (m)}) + 546,840 (T_u)) * (1+0.07 (inflação))^i$, o **i** irá variar entre **1** e **25**, consoante o ano que se quiser verificar.

$d_{exploração,i} = (0.3 * 314,091.26 (C_0) + 0.4 * 314,091.26 (C_0) + 546,840 (T_u)) * (1+0.07 (inflação))^i$, o **i** irá variar entre **1** e **25**, consoante o ano que se quiser verificar.

Através do **$r_{exploração,i}$** consegue-se calcular o **custo diário médio de transmissão de um canal**.

Sabendo que o sinal é para 64 canais TDT, o **N** irá variar em anos comuns e anos bissextos sendo:

$$N_{Comum} = 64 * 365 = \mathbf{23360}$$

$$N_{Bissexto} = 64 * 366 = \mathbf{23424}$$

Consegue assim, calcular-se o **custo diário médio de transmissão de um canal** através:

$$C_{mi} = ((314,091.26 (C_0) * (0.70 + (0.25 (j) / 1 - (1+0.25 (j))^{-25 (m)}) + 546,840 (T_u)) * (1+0.07 (inflação))^i) / N)$$

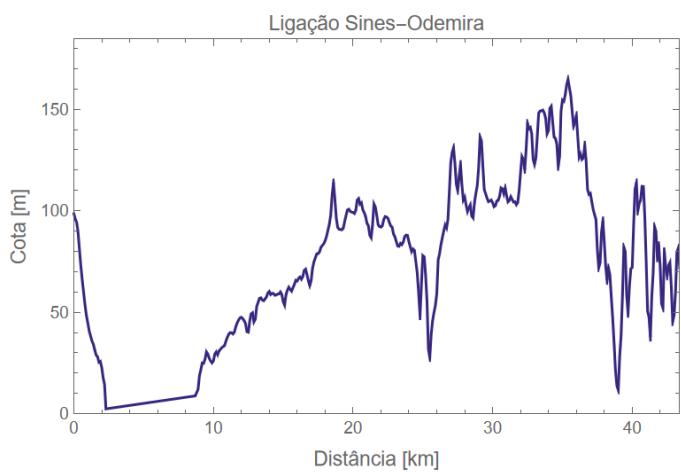
Através destas fórmulas foi possível formar a tabela apresentada em 3.2 Custos Anuais do Projeto e Custos Totais do Projeto.

7 Apêndice

7.1 Versão Feixer para Percurso Direto

1.1.1 ~~Perfil do percurso com Terra plana~~

Perfil em Terra plana



O percurso tem uma percentagem de cotas inferiores a 100 m de $rc=70.1493\%$.
A distância total da ligação é de 43.4 km.

1.1.2 Perfil do percurso com Terra esférica

A recomendação da ITU-R [2], propõe um critério em que o valor K (definido como o coeficiente entre o raio aparente e real da Terra) e a fracção do primeiro elipsóide de Fresnel a libertar, é função do comprimento do percurso d e das condições de propagação.

Os pontos de k_e foram extraídos de [2] mas podem igualmente ser vistos em [1], figura 2.35 e no botão, figura de $K_{min}(d)$. Estes representam os valores de k_e excedidos em aproximadamente 99.9% do tempo do pior mês em clima temperado continental.

No projecto da ligação deve procurar garantir-se o cumprimento da mais severa das seguintes condições:

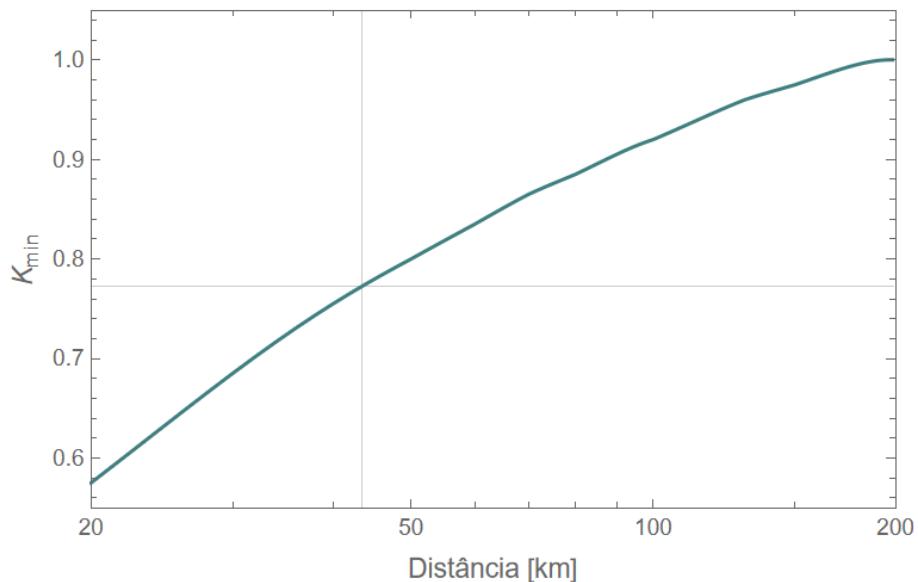
1. libertação de r_{1e} para o valor de k_e apropriado ao local da ligação (habitualmente $k_e = 4/3$);
2. libertação de $0.6 r_{1e}$ para o $k_{min}(d)$, para $d > 30$ km, em climas tropicais;
3. libertação do raio directo (incidência rasante), para $k_{min}(d)$, em clima temperado se existir apenas um obstáculo ao raio directo no percurso;
4. libertação de $0.3 r_{1e}$ para $k_{min}(d)$, em clima temperado, se existir um obstáculo extenso no percurso.

A utilização de $K = 4/3$ (que corresponde ao valor usual de K em países de clima temperado) e a exigência de libertação completa do primeiro elipsóide de Fresnel é comum a vários países.

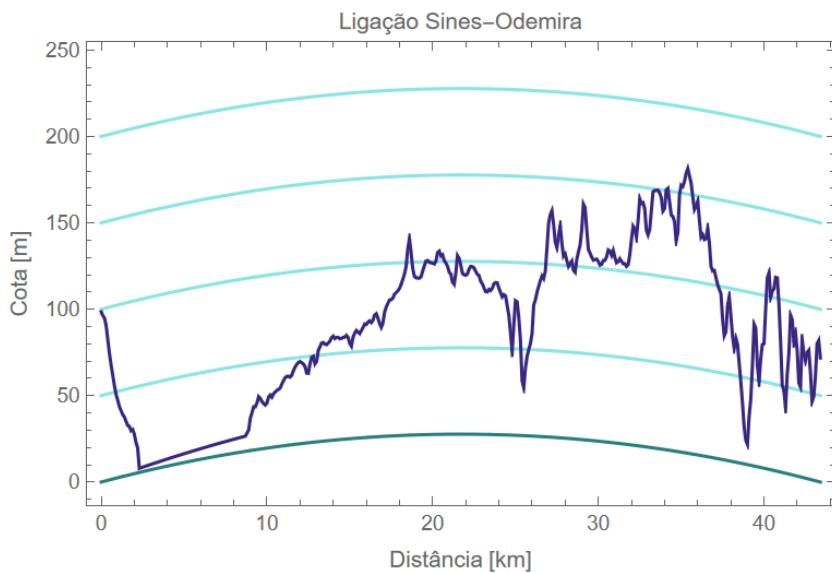
O efeito provocado pela curvatura dos raios ópticos, num modelo de Terra esférica com atmosfera, deve considerar-se um raio equivalente da Terra, dado por $r_0 = K \times r_T$.

[2]- Recomendação da ITU-R, P.530-8, figura 2.

[Figura de \$K_{min}\(d\)\$](#) | [Condição 1](#) | [Condição 2](#) | [Condição 3](#) | [Condição 4](#)



O coeficiente entre o raio aparente e o real da Terra é $k=0.772353$.



O coeficiente entre o raio aparente e o real da Terra na condição 1 é $k = \frac{4}{3}$.

O raio equivalente da Terra é $r_{eq} = 8493.33$ km.

1.2 Frequência da ligação

O Feixer permite fazer varrimento de bandas de frequência. Atenção contudo, que se desejar um varrimento diferente do dado por emissão, ao valor inicial e final do vector de frequências. O valor das bandas não pode estar abaixo de 1.7 GHz e acima de 27 GHz, devido à limitação imposta pelos guias existentes em catálogo.

Varrimento de frequência Frequência de trabalho

Frequência inicial: 6 GHz.

Incremento de frequência: 0 GHz.

A frequência de utilização é $f = (6)$ GHz.

O comprimento de onda em utilização é $\lambda = (0.0499654)$ m.

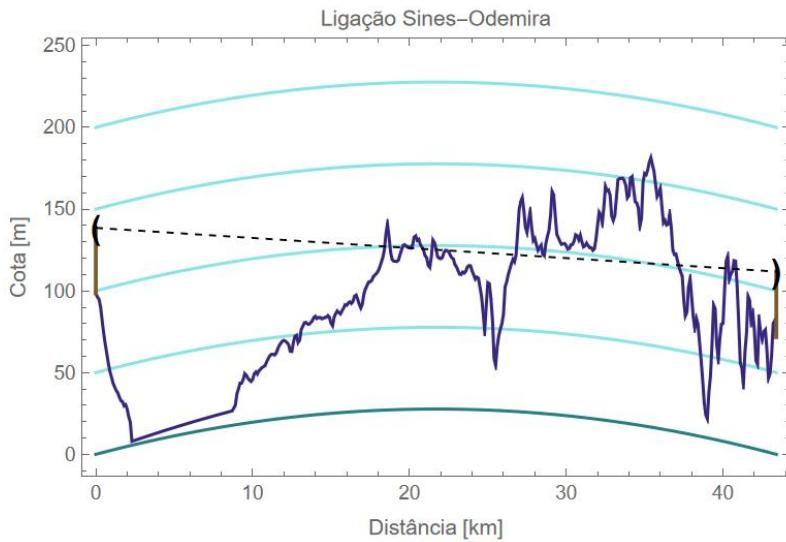
1.3 Altura dos mastros das antenas

O valor da altura dos mastros, coincide aqui em termos simplistas com o foco das antenas, do tipo parabólico. Esta altura deve deixar um mínimo de 3 m entre o solo e o extremo inferior da antena.

Mastro de emissão Mastro de receção Foco

Altura do mastro de emissão: 40 m.

Altura do mastro de receção: 40 m.



1.4 Características das antenas

O diâmetro das antenas emissora e receptora, segundo os fabricantes, pode ser: 0.6, 1, 1.5, 2, 3 e 4,5 metros,

2, 4, 6, 8, 10, 12 e 15 pés (1 pé = 0.3048 m).

Através da introdução do 1º elipsóide de Fresnel ($n=1$) no raio directo, tem-se uma ideia da sua percentagem de interrupção. Num varrimento de frequências, apenas se apresentam os elipsóides correspondentes aos extremos.

A atenuação do espaço livre é dada pela expressão $L_0 = 32.44 + 20 \log_{10}\left(\frac{d}{\text{km}}\right) + 20 \log_{10}\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right)$ [dB] visto em [1].

[Antenas](#) [Antena Vertical](#) [Antena de Yagi](#)

O diâmetro da antena emissora é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de $\eta_e = 0.5$.

O diâmetro da antena receptora é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de $\eta_r = 0.5$.

A área física da antena de emissão é $a_{fe} = 15.9043 \text{ m}^2$, correspondendo a uma área efectiva de $a_{ef_e} = 7.95216 \text{ m}^2$.

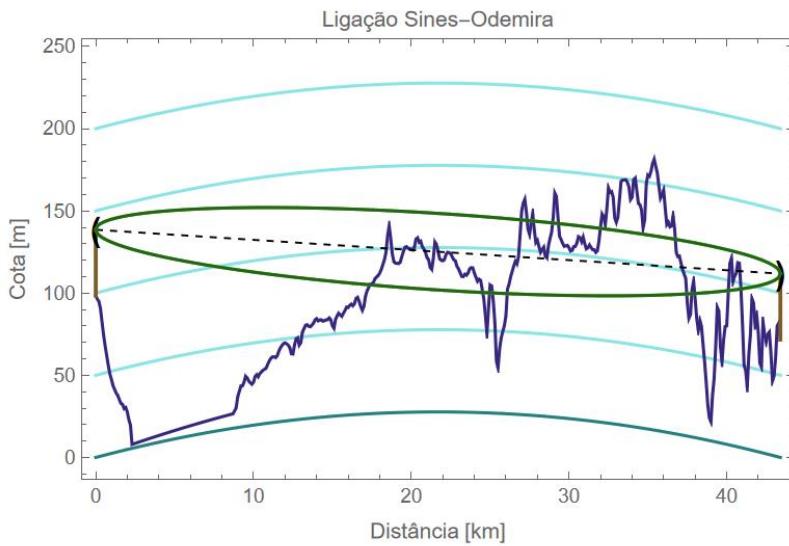
A área física da antena de recepção é $a_{fr} = 15.9043 \text{ m}^2$, correspondendo a uma área efectiva de $a_{ef_r} = 7.95216 \text{ m}^2$.

Ganho da antena de emissão:

$ge = (46.0236) \text{ dBi}$.

Ganho da antena de recepção:

$gr = (46.0236) \text{ dBi}$.



A atenuação em espaço livre entre antenas é:
 $L_0 = \{140.761\}$ dB.

1.5 Atenuação de obstáculo

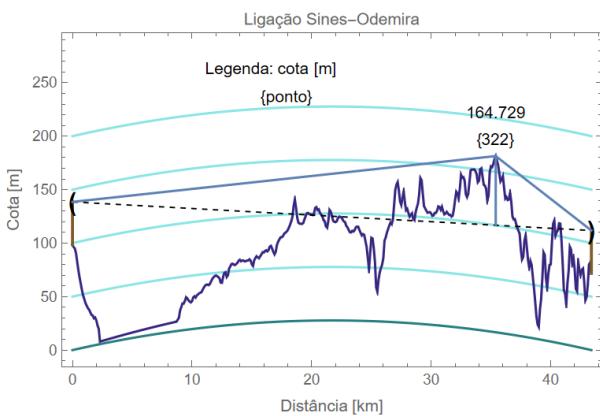
Com vista à possível necessidade de implantar um ou mais repetidores no projecto, o Feixer encontra o ponto a que corresponde o obstáculo principal, que deve ser visualizado pela definição geométrica do obstáculo.

No projecto da ligação podemos optar por três processos de calcular a atenuação de obstáculo:

1. Segundo a Norma 526-7 da ITU-R (aplicável para terreno irregular),
2. Atenuação calculada segundo o método do Obstáculo em Lâmina,
3. Atenuação calculada segundo o método de Devaout.

Usando um dos botões obteremos a atenuação segundo o método pretendido.

[Norma 526-7](#) [Obstáculo em Lâmina](#) [Método Devaout](#)



O obstáculo principal está à distância de 35.4 km, a que corresponde o ponto 322 dos 402 do ficheiro de entrada.

Atenuação de obstáculo calculada pelo método 1, entre a antena emissora e receptora:

$$A_{obst} = \{36.6593\} \text{ dB.}$$

1.6 Atenuação atmosférica

Habitualmente, os sistemas de feixes hertzianos utilizam frequências entre 1 e 55 GHz.

O cálculo da atenuação atmosférica é calculado com base em algoritmos segundo a norma P676-5 da ITU-R referenciada no capítulo 2.5.2 de [1].

Em Portugal os valores do conteúdo de vapor de água no ar ρ são:

Portugal	Temperatura [°C]	Humidade [%]	ρ [g/m³]
Inverno	10	85	7.3
Verão	25	50	11.3

[Mais detalhes](#)

[Mais detalhes](#)

Pressão atmosférica: $p = 1013$ milibar.

Temperatura do ambiente: $T = 25$ °C.

Humidade relativa: $H = 85$ %.

Atenuação específica do oxigénio:

$$\gamma_{ox} = \{0.00678432\} \frac{\text{dB}}{\text{km}}.$$

A pressão parcial do vapor de água saturado é $e_s = 31.6703$ hPa.

A pressão parcial do vapor de água no ar húmido é $e = 26.9198$ hPa.

A concentração de vapor de água é $\rho = 19.5559$ g/m³.

Atenuação específica do vapor de água:

$$\gamma_{va} = \{0.00574584\} \frac{\text{dB}}{\text{km}}.$$

Atenuação da atmosfera:

$$A_{atmos} = \{0.543809\} \text{ dB.}$$

1.7 Distribuição da indisponibilidade

Comprimentos máximos das secções rádioeléctricas e objectivos de indisponibilidade para cada uma das classes de qualidade de ligação rádioeléctrica, nos termos da recomendação F.696-2 da ITU-R.

Classe	Comprimento [km]	Indisponibilidade [%]
1	280	0.033
2	280	0.05
3	50	0.05
4	50	0.1

No sentido da despenalização das ligações muito curtas, a recomendação F.695 da ITU-R sugere limitar o valor da distância de ligação (dkm) ao mínimo de 280. Compete ao projectista da ligação distribuir a indisponibilidade total pelas diferentes causas.

Comprimento da ligação

Distribuição da indisponibilidade máxima

Indisponibilidade

Comprimento do circuito fictício de referência da ligação: 280 km.

Fracção da indisponibilidade máxima para a chuva: 0.1 .

Fracção da indisponibilidade máxima para o equipamento: 0.4 .

Fracção da indisponibilidade máxima para outras causas: 0.5 .

A indisponibilidade máxima para a ligação é $I_{\max} = \{3.36 \times 10^{-4}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida à precipitação é $I_{chuva} = \{3.36 \times 10^{-5}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida ao equipamento é $I_{equip} = \{1.344 \times 10^{-4}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida a outras causas é $I_{outros} = \{1.68 \times 10^{-4}\}$.

1.8 Atenuação provocada por hidrometeoritos

Os valores de κ e α (funções da frequência, da temperatura, da forma e distribuição estatística da dimensão das gotas de água), para as polarizações horizontal e vertical, estão descritas pela recomendação P.838-1 da ITU-R.

A distribuição acumulada da intensidade da precipitação r_i (mm/h) nas zonas H e K (a do continente Europeu) observa-se da seguinte tabela (esta faz parte da recomendação P.837-1 da ITU-R).

Zona H	Intensidade de precipitação (mm/h)	Intensidade de precipitação (mm/h)	Percentagem de tempo, no ano, em que o valor da intensidade de precipitação é excedido
	Zona K		
2	1.5	1	
4	4.2	0.3	
10	12	0.1	
18	23	0.03	
32	42	0.01	
55	70	0.003	
83	100	0.001	



Antenas utilizando polarização vertical:

Intensidade de precipitação: 42 mm/h.

Fracção de tempo no ano em que o valor da intensidade de precipitação é excedido: $\{3.36 \times 10^{-5}\}$.

Valor de κ à frequência imposta é:

$$\kappa = \{1.55 \times 10^{-3}\}.$$

Valor de α à frequência imposta é:

$$\alpha = \{1.265\}.$$

O coeficiente de atenuação por unidade de comprimento:

$$\gamma = \{0.175284\}.$$

O comprimento eficaz do percurso é Def=13.0399 km.

Atenuação da chuva não excedida em mais de 0.01% do tempo:

$$Ar = \{2.28569\} \text{ dB.}$$

Atenuação da chuva não excedida em mais de Panual= $\{3.36 \times 10^{-5}\}$ do tempo:

$$achuva = \{3.35506\} \text{ dB.}$$

Antenas utilizando polarização horizontal:

Intensidade de precipitação: 42 mm/h.

Fracção de tempo no ano em que o valor da intensidade de precipitação é excedido: $\{3.36 \times 10^{-5}\}$ %.

Valor de κ à frequência imposta é:

$$\kappa = \{1.75 \times 10^{-3}\}.$$

Valor de α à frequência imposta é:

$$\alpha = \{1.308\}.$$

O coeficiente de atenuação por unidade de comprimento:

$$\gamma = \{0.232406\}.$$

O comprimento eficaz do percurso é Def=13.0399 km.

Atenuação da chuva não excedida em mais de 0.01% do tempo:

$$Ar = \{3.03056\} \text{ dB.}$$

Atenuação da chuva não excedida em mais de Panual= $\{3.36 \times 10^{-5}\}$ % do tempo:

$$achuva = \{4.44843\} \text{ dB.}$$

1.9 Atenuação dos guias

Os guias de seção elíptica (os mais utilizados) correspondem aos da figura 7.6, capítulo 7.7 de [1].

O valor do comprimento do guia é dado pela soma da altura dos mastros emissor/receptor e das folgas necessárias para que este chegue às antenas e/ou cabine do equipamento. Na folga, é usual colocar 10 metros em ambos os mastros.

Esta secção apenas designa guias para frequência inferiores a 27 GHz.

Folga dada: 10 m.

O guia elíptico utilizado à frequência de 6 GHz tem a designação EW52.

O guia de emissão tem uma atenuação de:

$A_{ge} = \{1.945\}$ dB.

O guia de recepção tem uma atenuação de:

$A_{gr} = \{1.945\}$ dB.

Gráfico não disponível. Consultar secção 7.7 de [1].

1.10 Introdução de repetidor passivo

1.10.1 Características do repetidor passivo

Caso não queira introduzir um elemento repetidor passivo, coloque 0 (zero) no botão , repetidor passivo. Este valor entra por omissão no projeto. Os outros botões são de imediato omitidos.

Caso opte por um ou mais repetidores, indique no botão , repetidor passivo, o número destes. Esta opção faz com que tenha de colocar algumas características do repetidor, pedidas nos outros botões.

Número de repetidores passivos: 0 .

1.11 Desvanecimento rápido

O desvanecimento rápido é calculado segundo método da Recomendação P.530-8 da ITU-R (capítulo 3.3 [1]).

Atenção!! Se desejar colocar um repetidor passivo volte à secção 1.10.2

Atenção!! Se desejar colocar um repetidor passivo volte à secção 1.10.2
Os cálculos seguintes são para uma ligação em raio directo.

Valor de c_0 : 6 .

Valor de c_{Lat} : 0 .

Valor de c_{Long} : 3 .

Tempo em que o gradiente médio da refractividade é inferior a -100 N/km: $pL = 20\%$.

Latitude do percurso colocada: $\eta_{Lat} = 42^\circ$.

Classificação do percurso: terrestre .

O factor geoclimático no mês mais desfavorável, no percurso terrestre é $K = \{2.24138 \times 10^{-7}\}$.

O módulo da inclinação da ligação é $\epsilon_p = 0.615952$ miliradianos.

O parâmetro q_t calculado com um desvanecimento de {25} dB, é:
 $qt = \{0.322321\}$.

Ligação total:

A fração de tempo calculada pelo 2º método da Rec. P.530-8, correspondente à ligação total é:
 $PA2 = \{1.40034 \times 10^{-3}\}$.

1.12 Reflexões no terreno

Esta secção pretende mostrar os possíveis trocos da ligação com reflexões e calcular a relação entre a potência recebida do raio directo com a potência reflectida ou dispersa no solo.

No segundo botão, definição das características do terreno, é pedido o valor de s , parâmetro que caracteriza a inclinação das rugosidades da superfície (capítulo 2.8.2 [1]). A introdução do valor de s é feita troco a troco. Sabendo de ante-mão que s colocar para cada tipo de superfície da ligação, basta introduzir os pontos referentes ao início e fim de cada troco. O formato é o seguinte:

1 único troco na ligação: {{ 1, ponto final, s}}

2 trocos na ligação: {{ 1, ponto intermédio, s1}, { ponto intermédio, ponto final, s2}}

Os pontos dos trocos, estão no ficheiro de entrada.

Pode observar-se a cor vermelha os trocos com reflexões na figura apresentada pelo primeiro botão. A cor azul visualiza-se a área iluminada por duas antenas não simultaneamente.

Troços com reflexões

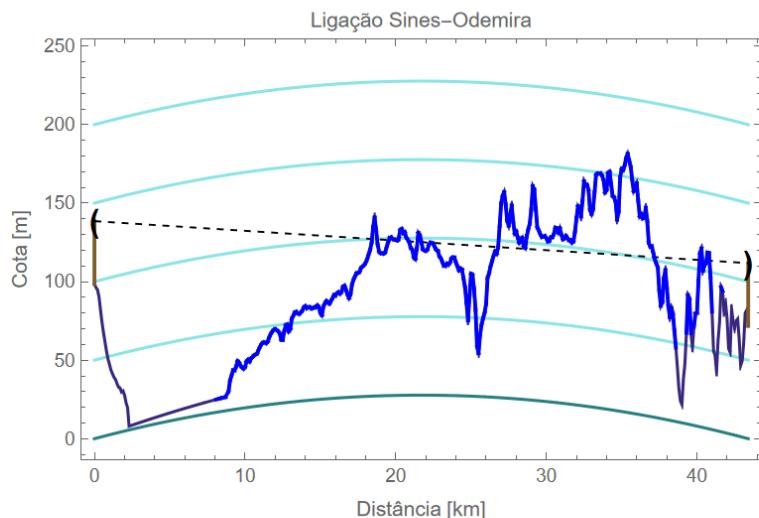
Definição das características do terreno

Cálculo das reflexões

O número de divisões utilizadas entre dois pontos para o cálculo de reflexões é de 1.

Atenção, este processamento demora algum tempo!!!

O perfil com as zonas de reflexão é para a frequência de 6 GHz.



O valor de s para o troço definido entre os pontos 1 e 402 é 0.01.

O valor da relação $\frac{ps}{pd}$ para a frequência de 6 GHz é de $-\infty$ dB.

1.13 Potência de recepção

A potência de recepção é calculada pela fórmula de Friis, para valores de zona distante da antena de maiores dimensões, $P_{min} \leq \frac{2 \times D_{ant}^2}{\lambda}$. No caso desta não estar na zona distante, introduza uma atenuação suplementar (consultar capítulo 2.12, fig. 2.62 [1]).

Atenuação suplementar | Potência de emissão | Potência de recepção

A potência de emissão é:
 $pe = \{-0.410541\}$ dBW.

Atenuação suplementar colocada: 0 dB.

A potência de recepção, em condições ideais de propagação, dada pela fórmula de Friis é:
 $pr = \{-90.2171\}$ dBW.

3. Feixes Hertzianos Digitais

3.1 Sinal digital

Os ritmos binários e o número de canais úteis de 64 kbit/s para as hierarquias digitais plesiócronas (PDH), são observáveis no capítulo 5.5.1, respectivamente nas tabelas 5.4 e 5.5 [1].

Ritmos binários das hierarquias digitais síncronas (SDH), estão no capítulo 5.5.2, tabela 5.6 [1].

Ritmo binário	Número mínimo de níveis por palavra
---------------	-------------------------------------

Ritmo binário: $f_b = 155 \text{ Mbits/s}$.

Largura de banda para a transmissão: $\text{largura}_b = \{90\} \text{ MHz}$.

Factor de excesso de banda: $\beta = 0.142$.

O número mínimo de níveis na modulação é de $\{3.90894\}$ por palavra de código.

3.2 Fiabilidade do equipamento

Na caracterização da fiabilidade de um equipamento é habitual considerar que as avarias têm uma distribuição exponencial negativa, caracterizada por um tempo médio entre acontecimentos. A indisponibilidade do equipamento, por ligação bidireccional, deve cumprir a recomendação da ITU-R.

MTBF	MTTR	Indisponibilidade	Custo de reparação
------	------	-------------------	--------------------

O tempo médio entre avarias do emissor: $\text{MTBF}_{\text{emissor}} = \{120000\} \text{ h}$.

O tempo médio entre avarias do desmodulador: $\text{MTBF}_{\text{desmodulador}} = \{140000\} \text{ h}$.

O tempo médio entre avarias do modulador: $\text{MTBF}_{\text{modulador}} = \{200000\} \text{ h}$.

O tempo médio entre avarias do receptor: $\text{MTBF}_{\text{receptor}} = \{200000\} \text{ h}$.

O tempo médio para detecção, reparação e reposição de uma avaria: $\text{MTTR} = \{6\} \text{ h}$.

Recorda-se que a indisponibilidade devida ao equipamento recomendada é $I_{\text{equip}} = \{1.344 \times 10^{-4}\}$.

Tempo médio entre avarias de uma série de elementos usando 1 canal bidireccional: $\text{MTBF}_{bi} = 19626.2 \text{ h}$.

A indisponibilidade devida ao equipamento usando 1 canal bidireccional é $I_{\text{equip1}} = \{3.05714 \times 10^{-4}\}$.

A indisponibilidade não cumpre a recomendação, aconselha-se a adopção de uma configuração com canal de reserva.

A instalação de 1 canal de reserva implica a existência de 2 comutadores (um em cada terminal).

O número de elementos de reserva: 1.

O número de elementos de serviço em paralelo: 1.

O tempo médio entre avarias do comutador 1+1: $\text{MTBF}_{\text{comutador1}} = \{90000\} \text{ h}$.

Tempo médio entre avarias dos comutadores, numa ligação bidireccional: $\text{MTBF}_{\text{comut}} = 45000 \text{ h}$.

Tempo médio entre avarias da ligação, excluindo os comutadores: $\text{MTBF}_{\text{ligação}} = 6.41977 \times 10^7 \text{ h}$.

Tempo médio entre avarias da ligação: $\text{MTBF}_{\text{bir}} = 44968.5 \text{ h}$.

A indisponibilidade devida ao equipamento usando 1 canal de reserva é $I_{\text{equipr}} = \{1.33427 \times 10^{-4}\}$.

A indisponibilidade devido ao equipamento cumpre a recomendação da ITU-R.

3.3 Largura de banda em rádio-frequência

Número de níveis por palavra

Largura de banda em RF

Número de níveis por palavra: $m = \{4\}$.

A largura de banda em rádiofrequência é $b_{rf} = \{88.505\} \text{ MHz}$.

3.4 Tipo de modulação da portadora

Nesta secção, tem a hipótese de escolher uma das seguintes modulações: AM, FSK, PSK ou QAM.

Se optar pela modulação em amplitude (AM), escolhe-se o código do sinal em banda de base, unipolar, bipolar ou multinível.
Se optar pela modulação por desvio na frequência (FSK), escolhe-se o processo de desmodulação, coerente ou incoerente.

Modulação da portadora Taxa de erros binária

Modulação colocada: PSK .

$$\text{A taxa de erros binária em função da relação } \frac{C}{N_0} \text{ para a } f = 6 \text{ e } n^{\circ} \text{ níveis} = 4 \text{ é } P_{ber} = \frac{1}{2} \operatorname{Erfc} \left[\frac{\sqrt{\frac{C}{10^{10} N_0}}}{\sqrt{2}} \right].$$

3.5 Relação portadora/ruído em rádio-frequência (cip)

A temperatura vista pelas antenas é de 293 K.

Factor de ruído

Relação portadora/ruído em RF

O factor de ruído da ligação é:

$$n_f = \{3.8\} \text{ dB.}$$

Temperatura observada pela antena: T = 293 K.

O ruído térmico é $n_0 = \{-125.037\} \text{ dBW.}$

O ruído aos terminais do desmodulador é:

$$n_{ruído} = \{-121.237\} \text{ dBW.}$$

A relação portadora/ruído em condições ideais de propagação é:

$$\left(\frac{C}{N} \right)_{rf} = \{31.0203\} \text{ dB.}$$

3.6 Recomendações da ITU

De acordo com as recomendações F.1189-1 e P.530-8 da ITU-R e G.826 da ITU-T, os novos critérios de qualidade estão definidos pelo cumprimento das cláusulas SESR, BBER e ESR. Estas cláusulas são obtidas através de um valor X, normalmente definido com o valor 0,08.

Ritmo binário (kbits / s)	esr	sesr	bber
$1 \times 500 - 5 \times 000$	$0.04 \times X$	$0.002 \times X$	$2 \times X \times 10^{-4}$
$> 5 \times 000 - 15 \times 000$	$0.05 \times X$	$0.002 \times X$	$2 \times X \times 10^{-4}$
$> 15 \times 000 - 55 \times 000$	$0.075 \times X$	$0.002 \times X$	$2 \times X \times 10^{-4}$
$> 55 \times 000 - 160 \times 000$	$0.16 \times X$	$0.002 \times X$	$2 \times X \times 10^{-4}$

Segundo P.530-8 da ITU-R estão definidos, na tabela 2 da mesma recomendação, os valores da taxa de erros binários ber_{SES} e número de blocos por segundo para cada ritmo binário/Tipo de percurso.

Tipo de percurso	Ritmo binário (kbits / s)	ber _{SES}	blocos / s	Bits / bloco
VC - 11	1.500	5.4×10^{-4}	2000	832
VC - 12	2.000	4.0×10^{-4}	2000	1120
VC - 2	6.000	1.3×10^{-4}	2000	3424
VC - 3	34.000	6.5×10^{-5}	8000	6120
VC - 4	148.000	2.1×10^{-5}	8000	18792
STM - 1	155.000	2.3×10^{-5}	8000	19440

O valor de X para o cálculo de SESR, BBER e ESR é X=0.08

O valor de SESR é de 0.00016

O valor de BBER é de 0.000016

O valor de ESR é de 0.0128

O valor de berSESR é de 0.000233

O valor de n é de 8000.

O valor de Nb é de 19440.

O valor de rber é de $1. \times 10^{-12}$

3.7 Desvanecimento

O desvanecimento rápido é calculado usando o segundo método da Recomendação P.530-8 da ITU-R (capítulo 3.3 [1]).

Distância da ligação introduzida: 43.4 km.

O factor de ocorrência de desvanecimento profundo é:

$$kt = \{0.86628\}$$

3.8 Margem Uniforme

Com base nos cálculos auxiliares da seccção 3.6 são calculados os C/N correspondentes e as respectivas margens uniformes.

A relação portadora/ruído correspondente a ber_{SESR} é $(\frac{C}{N})_{SESR} = \{10.8803\}$ dB.

A relação portadora/ruído correspondente a rber é $(\frac{C}{N})_{rber} = \{16.9446\}$ dB.

A relação portadora/ruído correspondente a ber= 10^{-3} é $(\frac{C}{N})_{ind} = \{9.79982\}$ dB.

A margem uniforme correspondente a ber_{SESR} é Mu_{SESR}= $\{20.14\}$ dB.

A margem uniforme correspondente a rber é Mu_{rber}= $\{14.0757\}$ dB.

3.9 Margem Selectiva

A margem selectiva pode ser calculada de uma das seguintes formas:

1. Método B da recomendação F1093-1 da ITU-R, para mniveis ≤ 64

2. Método alternativo (área da assinatura).

Para sistemas sem igualacão são típicos os seguintes valores de assinatura [s] (capítulo 5.8.3 [1]):

0.5 a 0.8 MHz, para 34 Mbit/s com modulação 4-PSK

25 a 30 MHz, para 140 Mbit/s com modulação 16-QAM

Os factores de redução da área da assinatura para diferentes tipos de igualadores num sistema a 140Mbit/s com modulação 16-QAM são observáveis no cap. 5.8.4, tabela 5.8 [1].

Factor de redução da área da assinatura para desvanecimentos de fase mínima: $i_{mp} = 490$.

Factor de redução da área da assinatura para desvanecimentos de fase não mínima: $i_{nmp} = 35$.

O factor de melhoria na margem selectiva devido à igualação é de 65.3333 dB.

A margem selectiva é $Ms = \{46.0479\}$ dB.

3.10 Margens críticas

3.10.1 Cláusula SESR

Valor da norma SESR = 0.00016

$f=6$ – Cláusula não cumprida, $sesr=0.00840945$

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula SESR é $(\frac{C}{N})_{CIP_SESR} = \{48.8431\}$ dB.

3.10.2 Cláusula BBER

Valor da norma BBER = 0.000016

$f=6$ – Cláusula não cumprida, $bber=0.00703$

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula BBER é $(\frac{C}{N})_{CIP_BBER} = \{58.8744\}$ dB.

3.10.3 Cláusula ESR

Valor da norma ESR = 0.0128

$f=6$ – Cláusula não cumprida, $esr=0.0162716$

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula ESR é $(\frac{C}{N})_{CIP_ESR} = \{32.0759\}$ dB.

Cláusulas devido à chuva

Neste momento as cláusulas devido à chuva encontram-se em estudo na ITU. Por isso considera-se o valor de $Y=0$ (Rec.ITU-R P.530-8, página 30) que será mantido até a actualização da norma. Assim sendo, as cláusulas devido à chuva consideram-se sempre cumpridas!

3.10.4 Cláusula SESR devido à chuva

Valor da norma SESR = 0.00016

$f=6$ – Cláusula cumprida, $sesrchuva=0$

3.10.5 Cláusula BBER devido à chuva

Parâmetros α_1 e α_2 - BBER devido à chuva

Valor da norma BBER = 0.000016

$f=6$ - Cláusula cumprida, $bberchuva=1.944 \times 10^{-8}$

3.10.6 Cláusula ESR devido à chuva

ESR devido à chuva

Valor da norma ESR = 0.0128

$f=6$ - Cláusula cumprida, $esrchuva=0.00015552$

3.10.7 Cláusula da indisponibilidade devido à chuva

Indisponibilidade devido à chuva

$f=6$ - Cláusula cumprida, $(C/N)=31.0203$ dB; $(C/N)_{min}=14.2483$ dB

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula da indisponibilidade devido à chuva é $(\frac{C}{N})_{CIP_ind}=(14.2483)$ dB.

3.10.8 C/N necessária para cumprimento da ligação

(C/N) necessário para cumprir as recomendações

O C/N necessário para a cláusula SESR é:

$(C/N)_{SESR}=\{48.8431\}$ dB.

O C/N necessário para a cláusula BBER é:

$(C/N)_{BBER}=\{58.8744\}$ dB.

O C/N necessário para a cláusula ESR é:

$(C/N)_{ESR}=\{32.0759\}$ dB.

O C/N necessário para as cláusulas da chuva é:

$(C/N)_{chuva}=\{0.\}$ dB.

O C/N necessário para a cláusula indisponibilidade é:

$(C/N)_{IND}=\{14.2483\}$ dB.

A relação Sinal-Ruído mínima necessária para cumprir todas as cláusulas é:

$(C/N)_{NECmin}=\{58.8744\}$ dB.

A relação Sinal-Ruído da ligação em condições ideais de propagação é:

$(C/N)_{CIP}=\{31.0203\}$ dB.

A margem de segurança da ligação ($(C/N)_{CIP}-(C/N)_{NECmin}$) é:
 $\{-27.8541\}$ dB.

A frequência óptima é $f=6$ GHz ($M_{seg}=-27.8541$ dB).

Não é possível cumprir as recomendações da ITU para as frequências assinaladas a "*".

3.10.9 Gráfico da margem crítica

Dado que o $Y=0$, a cláusula SESR devido à chuva é sempre cumprida. Por este motivo a margem referente a esta cláusula não é apresentada no gráfico.

Margem crítica

A margem crítica para a cláusula SESR é: $(10\log[SESR/seSR])$
 $m_{SESR} = \{-39.6194\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula BBER é:
 $m_{BBER} = \{-60.8535\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula ESR é:
 $m_{ESR} = \{-2.39973\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula BBER devido à chuva é:
 $m_{BBERCH} = \{67.1301\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula ESR devido à chuva é:
 $m_{ESRCH} = \{44.1043\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula indisponibilidade é:
 $m_{IND} = \{16.7721\}$ dB.

A margem crítica da ligação é:
 $\{-60.8535\}$ dB.

A frequência óptima é $f=6$ GHz ($M_{crit} = -60.8535$ dB).

3.12 Margens críticas com diversidade

3.12.1 Diversidade

O processo de cálculo da diversidade tem como base as expressões do capítulo 3.9 [1]. O limite de validade para o factor de melhoria pela utilização de diversidade é colocado no Feijer a 1 dB. Abaixo deste valor não há melhoria pela utilização desta. Os valores relativos às características das antenas, são por omissão, iguais à antena de emissão.

Atenção: Não esquecer que são precisos dois repetidores passivos - se tiver a utilizar algum - para garantir a diversidade no espaço.

[Características das antenas](#) [Diversidade no espaço](#) [Diversidade na frequência](#)

Separação entre portadoras: $\Delta f = \{0.36\}$ GHz.

O diâmetro da antena principal é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de $\eta_p = 0.5$.

O diâmetro da antena secundária é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de $\eta_s = 0.5$.

Ganho da antena principal: $g_p = \{46.0236\}$ dB.

Ganho da antena secundária: $g_s = \{46.0236\}$ dB.

O factor de melhoria da margem real ber_{SES}, devido à utilização de diversidade na frequência é:
 $idiv_{berSES} = \{1.91072\}$

O factor de melhoria da margem real rber, devido à utilização de diversidade na frequência é:
 $idiv_{rber} = \{0.473805\}$

O factor de melhoria da margem selectiva, devido à utilização de diversidade na frequência é:
 $idiv_{ms} = \{200\}$

3.12.2 Margem selectiva

[Igualação adaptativa](#) [Método 1](#) [Método 2](#)

Factor de redução da área da assinatura para desvanecimentos de fase mínima: $i_{mp} = 490$.

Factor de redução da área da assinatura para desvanecimentos de fase não mínima: $i_{nmp} = 35$.

O factor de melhoria na margem selectiva devido à igualação é de 65.3333 dB.

A margem selectiva é $Ms = \{69.0582\}$ dB.

3.12.3 Cláusula SESR

SESR c/ diversidade

Valor da norma SESR = 0.00016

f=6 – Cláusula não cumprida, sesr=0.00437881

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula SESR é $(\frac{C}{N})_{CIP_SESR} = \{38.2068\}$ dB.

3.12.4 Cláusula BBER

Parâmetros α_1 e α_2 | BBER c/ diversidade

Valor da norma BBER = 0.000016

f=6 – Cláusula não cumprida, bber=0.00795338

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula BBER é $(\frac{C}{N})_{CIP_BBER} = \{44.5059\}$ dB.

3.12.5 Cláusula ESR

ESR c/ diversidade

Valor da norma ESR = 0.0128

f=6 – Cláusula não cumprida, esr=0.0162662

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula ESR é $(\frac{C}{N})_{CIP_ESR} = \{31.5464\}$ dB.

3.12.6 Cláusula SESR devido à chuva

SESR devido à chuva c/ diversidade

Valor da norma SESR = 0.00016

f=6 – Cláusula cumprida, sesrchuva=0

3.12.7 Cláusula BBER devido à chuva

Parâmetros α_1 e α_2 | BBER devido à chuva c/ diversidade

Valor da norma BBER = 0.000016

f=6 – Cláusula cumprida, bberchuva= 1.944×10^{-8}

3.12.8 Cláusula ESR devido à chuva

ESR devido à chuva c/ diversidade:

Valor da norma ESR = 0.0128

$f=6$ – Cláusula cumprida, $esrchuva=0.00015552$

3.12.9 Cláusula indisponibilidade devido à chuva

indisponibilidade devido à chuva c/ diversidade:

$f=6$ – Cláusula cumprida, $C/N=31.0203$ dB; $(C/N)_{min}=14.2483$ dB

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula da indisponibilidade devido à chuva é $\frac{C}{N}_{CIP_ind}=(14.2483)$ dB.

3.12.10 C/N necessária para cumprimento da ligação

C/N necessária para cumprir as recomendações (c/ diversidade):

O C/N necessário para a cláusula SESR é:

$(C/N)_{SESR}=\{38.2068\}$ dB.

O C/N necessário para a cláusula BBER é:

$(C/N)_{BBER}=\{44.5059\}$ dB.

O C/N necessário para a cláusula ESR é:

$(C/N)_{ESR}=\{31.5464\}$ dB.

O C/N necessário para as cláusulas da chuva é:

$(C/N)_{chuva}=\{0.\}$ dB.

O C/N necessário para a cláusula indisponibilidade é:

$(C/N)_{IND}=\{14.2483\}$ dB.

A relação Sinal-Ruído mínima necessária para cumprir todas as cláusulas é:

$(C/N)_{NEC_{min}}=\{44.5059\}$ dB.

A relação Sinal-Ruído da ligação em condições ideais de propagação é:

$(C/N)_{CIP}=\{31.0203\}$ dB.

A margem de segurança da ligação $((C/N)_{CIP}-(C/N)_{NEC_{min}})$ é:

$\{-13.4856\}$ dB.

A frequência óptima é $f=6$ GHz ($M_{seg}=-13.4856$ dB).

3.12.11 Gráfico da margem crítica

Margem crítica com diversidade:

A margem crítica para a cláusula SESR é: $(10\log[SESR/esr])$
 $m_{SESR}=\{-33.0936\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula BBER é:
 $m_{BBER}=\{-62.0876\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula ESR é:
 $m_{ESR}=\{-2.39645\}$ dB.

Dado que $Y=0$, a margem crítica para a cláusula SESR devido à chuva é infinita não sendo por isso representada no gráfico.

A margem crítica para a cláusula BBER devido à chuva é:
 $m_{BBERCH}=\{67.1301\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula ESR devido à chuva é:
 $m_{ESRCH}=\{44.1043\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula indisponibilidade é:
 $m_{IND}=\{16.7721\}$ dB.

A margem crítica da ligação é:
 $\{-62.0876\}$ dB.

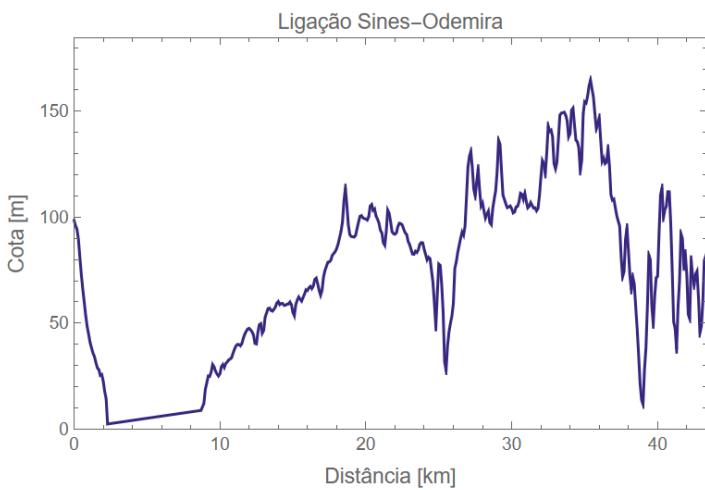
A frequência óptima é $f=6$ GHz ($M_{crit}=-62.0876$ dB).

7.2 Versão Feixer Final Otimizada

1.1 Perfil do percurso

1.1.1 Perfil do percurso com Terra plana

Perfil em Terra plana



O percurso tem uma percentagem de cotas inferiores a 100 m de $rc=70.1493\%$.

A distância total da ligação é de 43.4 km.

1.1.2 Perfil do percurso com Terra esférica

A recomendação da ITU-R [2], propõe um critério em que o valor K (definido como o coeficiente entre o raio aparente e real da Terra) e a fracción do primeiro elipsóide de Fresnel a libertar, é função do comprimento do percurso d e das condições de propagação.

Os pontos de k_e foram extraídos de [2] mas podem igualmente ser vistos em [1], figura 2.35 e no botão, figura de $K_{min}(d)$. Estes representam os valores de k_e excedidos em aproximadamente 99.9% do tempo do pior mês em clima temperado continental.

No projecto da ligação deve procurar garantir-se o cumprimento da mais severa das seguintes condições:

1. Libertação de r_{1e} para o valor de k_e apropriado ao local da ligação (habitualmente $k_e = 4/3$);
2. Libertação de $0.6 r_{1e}$ para o $k_{min}(d)$, para $d > 30$ km, em climas tropicais;
3. Libertação do raio directo (incidência rasante), para $k_{min}(d)$, em clima temperado se existir apenas um obstáculo ao raio directo no percurso;
4. Libertação de $0.3 r_{1e}$ para $k_{min}(d)$, em clima temperado, se existir um obstáculo extenso no percurso.

A utilização de $K = 4/3$ (que corresponde ao valor usual de K em países de clima temperado) e a exigência de libertação completa do primeiro elipsóide de Fresnel é comum a vários países.

O efeito provocado pela curvatura dos raios ópticos, num modelo de Terra esférica com atmosfera, deve considerar-se um raio equivalente da Terra, dado por $r_0 = K \times r_T$.

[2]- Recomendação da ITU-R, P.530-8, figura 2.

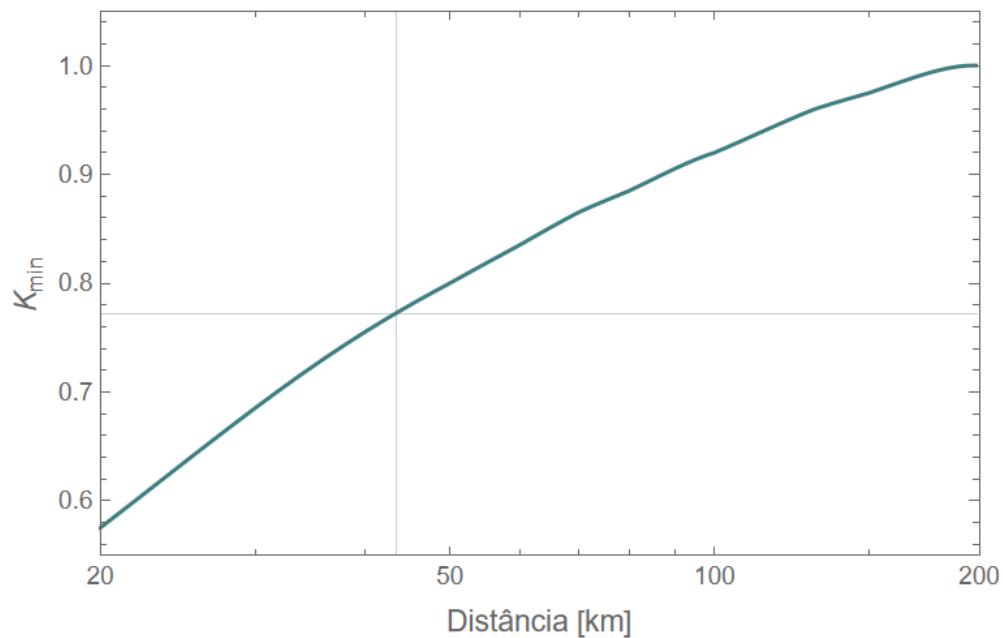
Figura de K_{\min} (d)

Condição 1

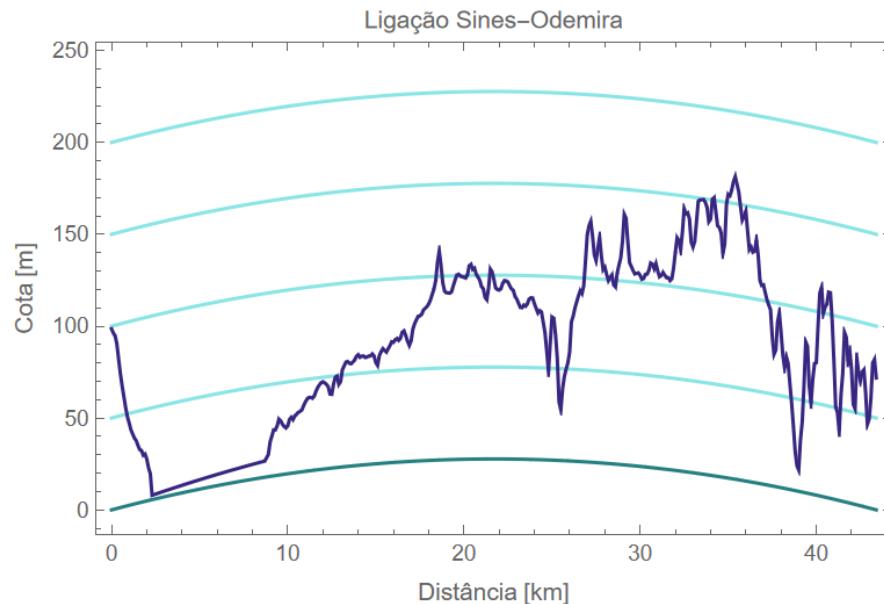
Condição 2

Condição 3

Condição 4



O coeficiente entre o raio aparente e o real da Terra é $k=0.772353$.



O coeficiente entre o raio aparente e o real da Terra na condição 1 é $k= \frac{4}{3}$.

O raio equivalente da Terra é $r_{eq}= 8493.33$ km.

1.2 Frequência da ligação

O Feixer permite fazer varrimento de bandas de frequência. Atencāo contudo, que se desejar um varrimento diferente do dado por omissāo, ao valor inicial e final do vector de frequências. O valor das bandas não pode estar abaixo de 1.7 GHz e acima de 27 GHz, devido à limitação imposta pelos guias existentes em catálogo.

Frequência inicial: 6 GHz.

Incremento de frequência: 0 GHz.

A frequência de utilização é $f= (6)$ GHz.

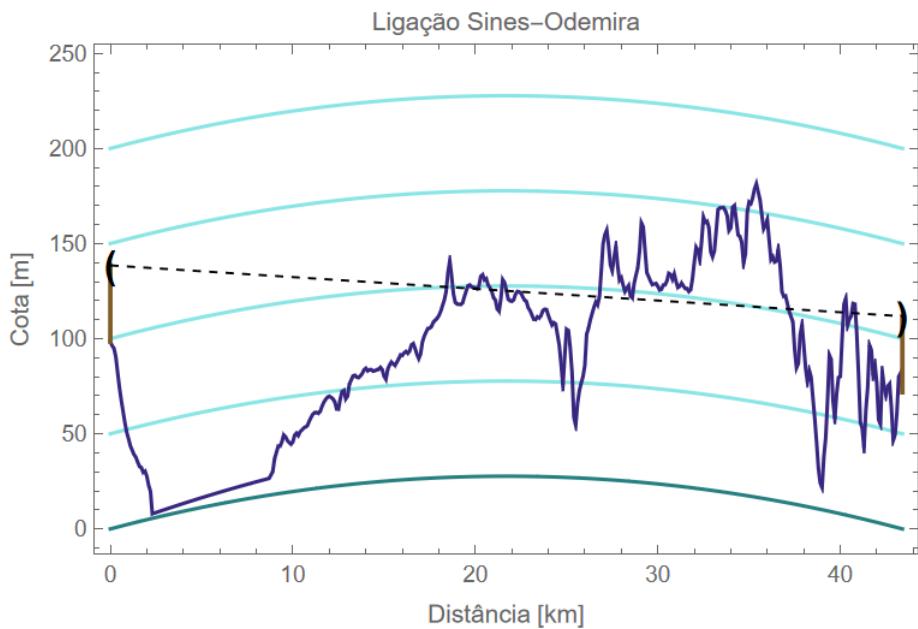
O comprimento de onda em utilização é $\lambda=(0.0499654)$ m.

1.3 Altura dos mastros das antenas

O valor da altura dos mastros, coincide aqui em termos simplistas com o foco das antenas, do tipo parabólico. Esta altura deve deixar um mínimo de 3 m entre o solo e o extremo inferior da antena.

Altura do mastro de emissão: 40 m.

Altura do mastro de recepção: 40 m.



1.4 Características das antenas

O diâmetro das antenas emissora e receptora, segundo os fabricantes, pode ser: 0,6, 1, 1,5, 2, 3 e 4,5 metros,

2, 4, 6, 8, 10, 12 e 15 pés (1 pé = 0,3048 m).

Através da introdução do 1º elipsóide de Fresnel ($n=1$) no raio directo, tem-se uma ideia da sua percentagem de interrupção. Num varrimento de frequências, apenas se apresentam os elipsóides correspondentes aos extremos do vector de frequências.

A atenuacāo do espaço livre é dada pela expressāo $L_0 = 32,44 + 20 \log_{10}\left(\frac{d}{\text{km}}\right) + 20 \log_{10}\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right)$ [dB] visto em [1].

Antena de emissão Antena de recepção 1º elipsóide de Fresnel

O diâmetro da antena emissora é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de $\eta_e = 0.5$.

O diâmetro da antena receptora é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de $\eta_r = 0.5$.

A área física da antena de emissão é $a_{fe} = 15.9043 \text{ m}^2$, correspondendo a uma área efectiva de $a_{ef_e} = 7.95216 \text{ m}^2$.

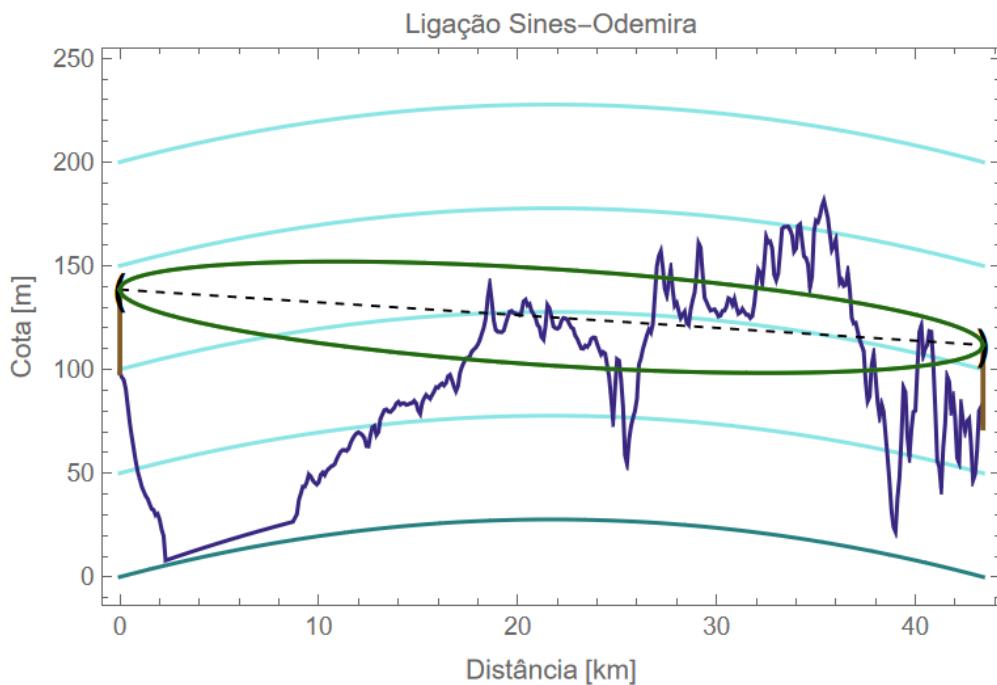
A área física da antena de recepção é $a_{fr} = 15.9043 \text{ m}^2$, correspondendo a uma área efectiva de $a_{ef_r} = 7.95216 \text{ m}^2$.

Ganho da antena de emissão:

$ge = \{46.0236\}$ dBi.

Ganho da antena de recepção:

$gr = \{46.0236\}$ dBi.



A atenuação em espaço livre entre antenas é:
 $L_0 = \{140.761\}$ dB.

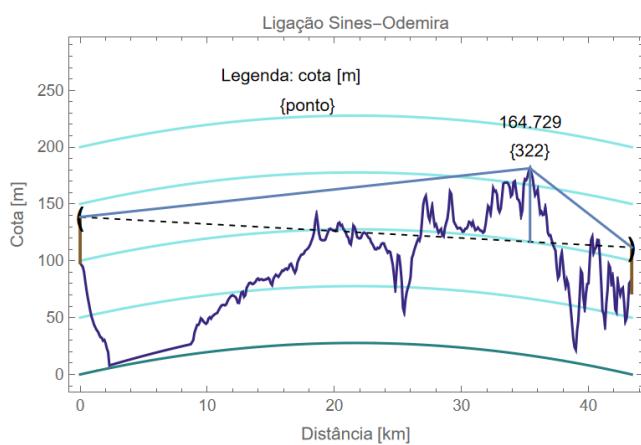
1.5 Atenuação de obstáculo

Com vista à possível necessidade de implantar um ou mais repetidores no projecto, o Feixer encontra o ponto a que corresponde o obstáculo principal, que deve ser visualizado pela definição geométrica do obstáculo.

No projecto da ligação podemos optar por três processos de calcular a atenuação de obstáculo:

1. Segundo a Norma 526-7 da ITU-R (aplicável para terreno irregular),
2. Atenuação calculada segundo o método do Obstáculo em Lâmina,
3. Atenuação calculada segundo o método de Deygout.

Usando um dos botões obteremos a atenuação segundo o método pretendido.



O obstáculo principal está à distância de 35.4 km, a que corresponde o ponto 322 dos 402 do ficheiro de entrada.

Atenuação de obstáculo calculada pelo método 1, entre a antena emissora e receptora:

Aobst = {36.6593} dB.

1.6 Atenuação atmosférica

Habitualmente, os sistemas de feixes hertzianos utilizam frequências entre 1 e 55 GHz.

O cálculo da atenuação atmosférica é calculado com base em algoritmos segundo a norma P676-5 ds ITU-R referenciada no capítulo 2.5.2 de [1]. Em Portugal os valores do conteúdo de vapor de água no ar ρ são:

Portugal	Temperatura [°C]	Humidade [%]	ρ [g/m³]
Inverno	10	85	7.3
Verão	25	50	11.3

Características da atmosfera

Atenuação da atmosfera

Pressão atmosférica: $p = 1013$ milibar.

Temperatura do ambiente: $T = 25$ °C.

Humidade relativa: $H = 85\%$.

Atenuação específica do oxigénio:

$$\gamma_{ox} = \{0.00678432\} \frac{\text{dB}}{\text{km}}.$$

A pressão parcial do vapor de água saturado é $e_s = 31.6703$ hPa.

A pressão parcial do vapor de água no ar húmido é $e = 26.9198$ hPa.

A concentração de vapor de água é $\rho = 19.5559 \text{ g/m}^3$.

Atenuação específica do vapor de água:

$$\gamma_{va} = \{0.00574584\} \frac{\text{dB}}{\text{km}}.$$

Atenuação da atmosfera:

$$\alpha_{atmos} = \{0.543809\} \text{ dB}.$$

1.7 Distribuição da indisponibilidade

~~Comprimentos máximos das secções rádioeléctricas e objectivos de indisponibilidade para cada uma das classes de qualidade de ligação rádioeléctrica, nos termos da recomendação F.696-2 da ITU-R.~~

Classe	Comprimento [km]	Indisponibilidade [%]
1	280	0.033
2	280	0.05
3	50	0.05
4	50	0.1

No sentido da despenalização das ligações muito curtas, a recomendação F.695 da ITU-R sugere limitar o valor da distância de ligação (dkm) ao mínimo de 280. Compete ao projectista da ligação distribuir a indisponibilidade total pelas diferentes causas.

Comprimento da ligação

Distribuição da indisponibilidade máxima

Indisponibilidade

Comprimento do circuito fictício de referência da ligação: 280 km.

Fracção da indisponibilidade máxima para a chuva: 0.1 .

Fracção da indisponibilidade máxima para o equipamento: 0.4 .

Fracção da indisponibilidade máxima para outras causas: 0.5 .

A indisponibilidade máxima para a ligação é $I_{\max} = \{3.36 \times 10^{-4}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida à precipitação é $I_{chuva} = \{3.36 \times 10^{-5}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida ao equipamento é $I_{equip} = \{1.344 \times 10^{-4}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida a outras causas é $I_{outros} = \{1.68 \times 10^{-4}\}$.

1.8 Atenuação provocada por hidrometeoritos

Os valores de κ e α (funções da frequência, da temperatura, da forma e distribuição estatística da dimensão das gotas de água), para as polarizações horizontal e vertical, estão descritas pela recomendação P.838-1 da ITU-R.

A distribuição acumulada da intensidade da precipitação r_i (mm/h) nas zonas H e K (a do continente Europeu) observa-se da seguinte tabela (esta faz parte da recomendação P.837-1 da ITU-R).

Intensidade de precipitação (mm/h) Zona H	Intensidade de precipitação (mm/h) Zona K	Percentagem de tempo, no ano, em que o valor da intensidade de precipitação é excedido
2	1.5	1
4	4.2	0.3
10	12	0.1
18	23	0.03
32	42	0.01
55	70	0.003
83	100	0.001

Intensidade de precipitação

Percentagem de tempo no ano

Polarização vertical

Polarização horizontal

Antenas utilizando polarização vertical:

Intensidade de precipitação: 42 mm/h.

Fracção de tempo no ano em que o valor da intensidade de precipitação é excedido: $\{3.36 \times 10^{-5}\}$.

Valor de κ à frequência imposta é:

$$\kappa = \{1.55 \times 10^{-3}\}.$$

Valor de α à frequência imposta é:

$$\alpha = \{1.265\}.$$

O coeficiente de atenuação por unidade de comprimento:

$$\gamma = \{0.175284\}.$$

O comprimento eficaz do percurso é $Def = 13.0399$ km.

Atenuação da chuva não excedida em mais de 0.01% do tempo:

$$Ar = \{2.28569\} \text{ dB.}$$

Atenuação da chuva não excedida em mais de $P_{anual} = \{3.36 \times 10^{-5}\}$ do tempo:

$$achuva = \{3.35506\} \text{ dB.}$$

Antenas utilizando polarização horizontal:

Intensidade de precipitação: 42 mm/h.

Fracção de tempo no ano em que o valor da intensidade de precipitação é excedido: $\{3.36 \times 10^{-5}\} \%$.

Valor de κ à frequência imposta é:

$$\kappa = \{1.75 \times 10^{-3}\}.$$

Valor de α à frequência imposta é:

$$\alpha = \{1.308\}.$$

O coeficiente de atenuação por unidade de comprimento:

$$\gamma = \{0.232406\}.$$

O comprimento eficaz do percurso é $Def = 13.0399$ km.

Atenuação da chuva não excedida em mais de 0.01% do tempo:

$$Ar = \{3.03056\} \text{ dB.}$$

Atenuação da chuva não excedida em mais de $P_{anual} = \{3.36 \times 10^{-5}\} \%$ do tempo:

$$achuva = \{4.44843\} \text{ dB.}$$

1.9 Atenuação dos guias

Os guias de seção elíptica (os mais utilizados) correspondem aos da figura 7.6, capítulo 7.7 de [1]. O valor do comprimento do guia é dado pela soma da altura dos mastros emissor/receptor e das folgas necessárias para que este chegue às antenas e/ou cabine do equipamento. Na folga, é usual colocar 10 metros em ambos os mastros. Esta secção apenas designa guias para frequência inferiores a 27 GHz.

Folga dos guias

Atenuação dos guias

Gráfico dos guias

Folga dada: 10 m.

O guia elíptico utilizado à frequência de 6 GHz tem a designação EW52.

O guia de emissão tem uma atenuação de:

$Age = \{1.945\}$ dB.

O guia de recepção tem uma atenuação de:

$Agr = \{1.945\}$ dB.

1.10 Introdução de repetidor passivo

1.10.1 Características do repetidor passivo

Caso não queira introduzir um elemento repetidor passivo, coloque 0 (zero) no botão , repetidor passivo. Este valor entra por omissão no projeto. Os outros botões são de imediato omitidos.

Caso opte por um ou mais repetidores, indique no botão , repetidor passivo, o número destes. Esta opção faz com que tenha de colocar algumas características do repetidor, pedidas nos outros botões.

Repetidor passivo

Local de colocação

Área efectiva

Altura dos mastros

1º elipsóide de Fresnel

Número de repetidores passivos: 1 .

O obstáculo principal corresponde ao ponto 322 dos 402 do ficheiro de entrada.

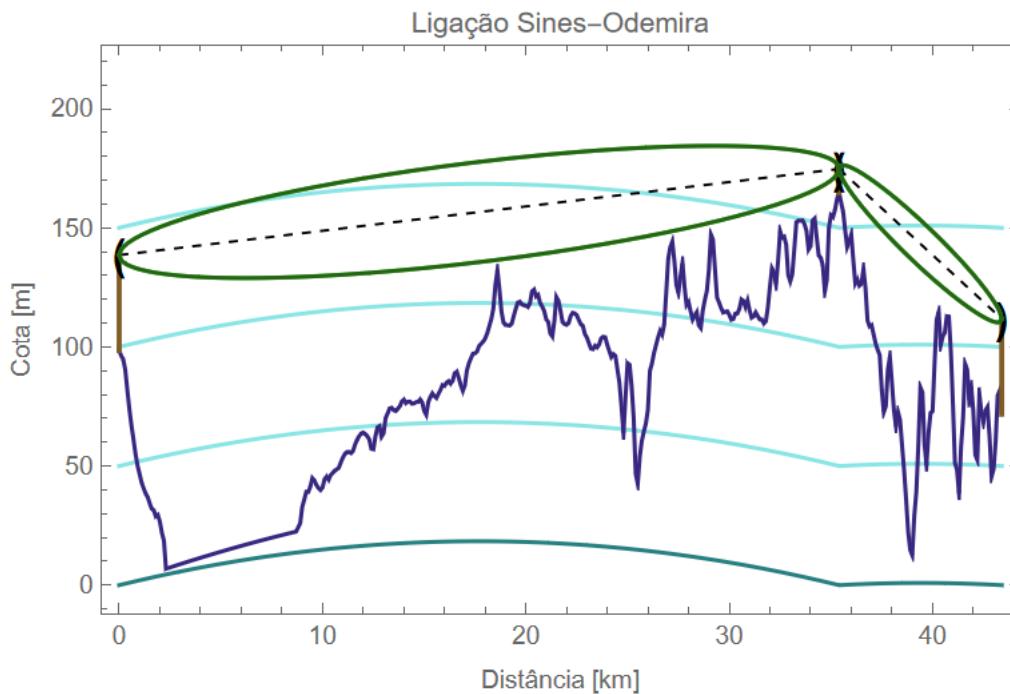
Pontos de implantação física dos repetidores passivos: {322} .

Área efectiva do repetidor passivo: {25.05} m².

Rendimento do repetidor passivo: $\eta_{rep} = \{0.95\}$.

Altura do mastro de recepção do repetidor passivo: {10} m.

Altura do mastro de emissão do repetidor passivo: {10} m.



A zona distante da antena de maior dimensão é:

$$d_{\min} = \{1002.69\} \text{ m.}$$

O repetidor 1 está na zona distante para $f = \{6\}$ GHz.

Ganho do repetidor é $\text{grep} = \{101.791\}$ dB.

No troço 1 a atenuação de espaço livre é:

$$L_0 = \{138.991\} \text{ dB.}$$

No troço 2 a atenuação de espaço livre é:

$$L_0 = \{126.073\} \text{ dB.}$$

A atenuação de espaço livre total no percurso é:

$$L_0 = \{265.063\} \text{ dB.}$$

1.10.2 Atenuação de obstáculo

No projecto da ligação podemos optar por três maneiras de calcular a atenuação de obstáculo:

1. Segundo a Norma 526-7 da ITU-R;
2. Atenuação calculada segundo o método do Obstáculo em Lâmina;
3. Atenuação calculada segundo o método de Deygout;

Método 1

Método 2

Método 3

No troço 1, a atenuação devida à presença de obstáculos é:

$$A_{obst} = \{0\} \text{ dB.}$$

No troço 2, a atenuação devida à presença de obstáculos é:

$$A_{obst} = \{0\} \text{ dB.}$$

No percurso completo, a atenuação total devida à presença de obstáculos é:

$$A_{obst} = \{0.\} \text{ dB.}$$

1.11 Desvanecimento rápido

O desvanecimento rápido é calculado segundo método da Recomendação P.530-8 da ITU-R (capítulo 3.3 [1]).

Classificação do percurso

Probabilidade P_A

[Classificação do percurso](#) [Probabilidade \$P_A\$](#)

Valor de c_0 : 6 .

Valor de c_{Lat} : 0 .

Valor de c_{Long} : 3 .

Tempo em que o gradiente médio da refractividade é inferior a -100 N/km: $pL = 20 \%$.

Latitude do percurso colocada: $\eta_{Lat} = 42^\circ$.

Classificação do percurso: terrestre .

O factor geoclimático no mês mais desfavorável, no percurso terrestre é $K = \{2.24138 \times 10^{-7}\}$.

Troço 1 da ligação:

O módulo da inclinação é $\epsilon_p = 1.02188$ miliradianos.

O parâmetro q_t calculado com um desvanecimento de {25} dB, é:
 $q_t = \{1.22149\}$.

A fracção de tempo calculada pelo 2º método da Rec. P.530-8 é:
 $PA2 = \{4.91387 \times 10^{-4}\}$.

Troço 2 da ligação:

O módulo da inclinação é $\epsilon_p = 7.86336$ miliradianos.

O parâmetro q_t calculado com um desvanecimento de {25} dB, é:
 $q_t = \{7.59262\}$.

A fracção de tempo calculada pelo 2º método da Rec. P.530-8 é:
 $PA2 = \{2.93465 \times 10^{-7}\}$.

Ligação total:

A fracção de tempo calculada pelo 2º método da Rec. P.530-8, correspondente à ligação total é:
 $PA2 = \{4.9168 \times 10^{-4}\}$.

1.12 Reflexões no terreno

Esta secção pretende mostrar os possíveis trocos da ligação com reflexões e calcular a relação entre a potência recebida do raio directo com a potência reflectida ou dispersa no solo.

No segundo botão, definição das características do terreno, é pedido o valor de s, parâmetro que caracteriza a inclinação das rugosidades da superfície (capítulo 2.8.2 [1]). A introdução do valor de s é feita troco a troco. Sabendo de ante-mão que s colocar para cada tipo de superfície da ligação, basta introduzir os pontos referentes ao início e fim de cada troco. O formato é o seguinte:

```
1 único troco na ligação: {{ 1, ponto final, s}}
2 trocos na ligação: {{ 1, ponto intermédio, s1}, { ponto intermédio, ponto final, s2}}
```

Os pontos dos trocos, estão no ficheiro de entrada.

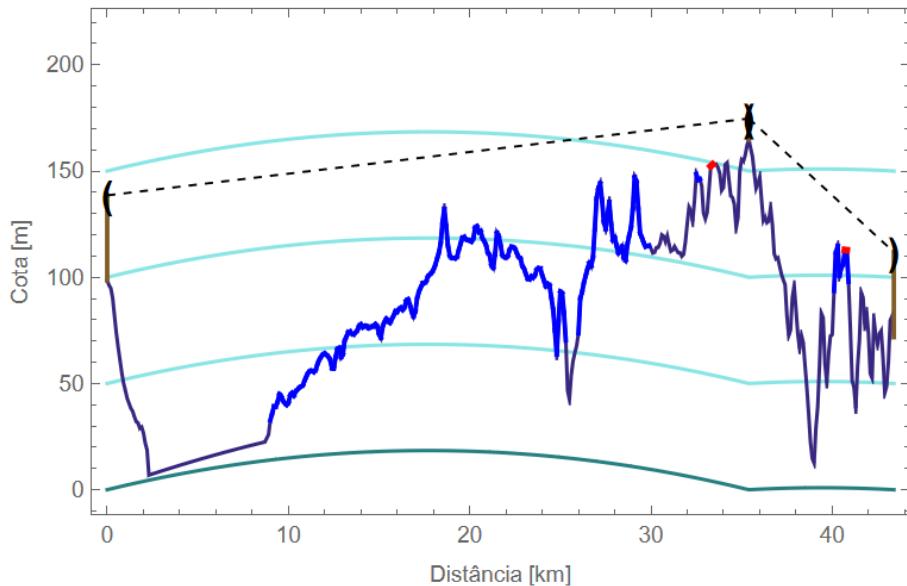
Pode observar-se a cor vermelha os trocos com reflexões na figura apresentada pelo primeiro botão. A cor azul visualiza-se a área iluminada por duas antenas não simultaneamente.

[Troços com reflexões](#) [Definição das características do terreno](#) [Cálculo das reflexões](#)

O número de divisões utilizadas entre dois pontos para o cálculo de reflexões é de 1 .

Atenção, este processamento demora algum tempo!!!

O perfil com as zonas de reflexão é para a frequência de 6 GHz.



O valor de s para o troço definido entre os pontos 1 e 402 é 0.01 .

O valor da relação $\frac{ps}{pd}$ para a frequência de 6 GHz é de -32.8162 dB.

1.13 Potência de recepção

A potência de recepção é calculada pela fórmula de Friis, para valores de zona distante da antena de maiores dimensões, $P_{min} \leq \frac{2 \times D_{ant}^2}{\lambda}$. No caso desta não estar na zona distante, introduza uma atenuação suplementar (consultar capítulo 2.12, fig. 2.62 [1]).

[Atenuação suplementar](#) | [Potência de emissão](#) | [Potência de recepção](#)

A potência de emissão é:

$$pe = \{-0.410541\} \text{ dBW.}$$

Atenuação suplementar colocada: 0 dB.

A potência de recepção, em condições ideais de propagação, dada pela fórmula de Friis é:
 $pr = \{-76.0699\} \text{ dBW.}$

3. Feixes Hertzianos Digitais

3.1 Sinal digital

Os ritmos binários e o número de canais úteis de 64 kbit/s para as hierarquias digitais plesiócronas (PDH), são observáveis no capítulo 5.5.1, respectivamente nas tabelas 5.4 e 5.5 [1].

Ritmos binários das hierarquias digitais síncronas (SDH), estão no capítulo 5.5.2, tabela 5.6 [1].

[Ritmo binário](#) | [Número mínimo de níveis por pulso](#)

Ritmo binário: $f_b = 155$ Mbits/s.

Largura de banda para a transmissão: $\text{largura}_b = \{90\}$ MHz.

Factor de excesso de banda: $\beta = 0.142$.

O número mínimo de níveis na modulação é de $\{3.90894\}$ por palavra de código.

3.2 Fiabilidade do equipamento

Na caracterização da fiabilidade de um equipamento é habitual considerar que as avarias têm uma distribuição exponencial negativa, caracterizada por um tempo médio entre acontecimentos. A indisponibilidade do equipamento, por ligação bidireccional, deve cumprir a recomendação da ITU-R.

MTBF, MTTR, disponibilidade, comutadores

O tempo médio entre avarias do emissor: $\text{MTBF}_{\text{emissor}} = \{120000\}$ h.

O tempo médio entre avarias do desmodulador: $\text{MTBF}_{\text{desmodulador}} = \{140000\}$ h.

O tempo médio entre avarias do modulador: $\text{MTBF}_{\text{modulador}} = \{200000\}$ h.

O tempo médio entre avarias do receptor: $\text{MTBF}_{\text{receptor}} = \{200000\}$ h.

O tempo médio para detecção, reparação e reposição de uma avaria: $\text{MTTR} = \{6\}$ h.

Recorda-se que a indisponibilidade devida ao equipamento recomendada é $I_{\text{equip}} = \{1.344 \times 10^{-4}\}$.

Tempo médio entre avarias de uma série de elementos usando 1 canal bidireccional: $\text{MTBF}_{\text{bi}} = 19626.2$ h.

A indisponibilidade devida ao equipamento usando 1 canal bidireccional é $I_{\text{equip1}} = \{3.05714 \times 10^{-4}\}$.

A indisponibilidade não cumpre a recomendação, aconselha-se a adopção de uma configuração com canal de reserva. A instalação de 1 canal de reserva implica a existência de 2 comutadores (um em cada terminal).

O número de elementos de reserva: 1.

O número de elementos de serviço em paralelo: 1.

O tempo médio entre avarias do comutador 1+1: $\text{MTBF}_{\text{comutador1}} = \{90000\}$ h.

Tempo médio entre avarias dos comutadores, numa ligação bidireccional: $\text{MTBF}_{\text{comut}} = 45000$. h.

Tempo médio entre avarias da ligação, excluindo os comutadores: $\text{MTBF}_{\text{ligação}} = 6.41977 \times 10^7$ h.

Tempo médio entre avarias da ligação: $\text{MTBF}_{\text{bir}} = 44968.5$ h.

A indisponibilidade devida ao equipamento usando 1 canal de reserva é $I_{\text{equipr}} = \{1.33427 \times 10^{-4}\}$.

A indisponibilidade devido ao equipamento cumpre a recomendação da ITU-R.

3.3 Largura de banda em rádio-frequência

Número de níveis por palavra

Largura de banda em RF

Número de níveis por palavra: $m = \{4\}$.

A largura de banda em rádiofrequência é $b_{\text{rf}} = \{88.505\}$ MHz.

3.4 Tipo de modulação da portadora

Nesta secção, tem a hipótese de escolher uma das seguintes modulações: AM, FSK, PSK ou QAM.

Se optar pela modulação em amplitude (AM), escolhe-se o código do sinal em banda de base, unipolar, bipolar ou multinível.

Se optar pela modulação por desvio na frequência (FSK), escolhe-se o processo de desmodulação, coerente ou incoerente.

Modulação da portadora

Taxa de erros binária

Modulação colocada: PSK .

$$\text{A taxa de erros binária em função da relação } \frac{C}{N_0} \text{ para a } f = 6 \text{ e n\o níveis} = 4 \text{ é } P_{ber} = \frac{1}{2} \operatorname{Erfc} \left[\frac{\sqrt{10^{10} N_0}}{\sqrt{2}} \right] .$$

3.5 Relação portadora/ruído em rádio-frequência (cid)

A temperatura vista pelas antenas é de 293 K.

Factor de ruído

Relação portadora/ruído em RF

O factor de ruído da ligação é:

$$n_f = \{3.8\} \text{ dB.}$$

Temperatura observada pela antena: T = 293 K.

O ruído térmico é $n_0 = \{-125.037\}$ dBW.

O ruído aos terminais do desmodulador é:

$$n_{ruído} = \{-121.237\} \text{ dBW.}$$

A relação portadora/ruído em condições ideais de propagação é:

$$\left(\frac{C}{N} \right)_{rf} = \{45.1675\} \text{ dB.}$$

3.6 Recomendações da ITU

De acordo com as recomendações F.1189-1 e P.530-8 da ITU-R e G.826 da ITU-T, os novos critérios de qualidade estão definidos pelo cumprimento das cláusulas SESR, BBER e ESR. Estas cláusulas são obtidas através de um valor X, normalmente definido com o valor 0,08 .

Ritmo binário (kbits / s)	esr	sesr	bber
1 500 - 5 000	$0.04 \times X$	$0.002 \times X$	$2 \times X \times 10^{-4}$
> 5 000 - 15 000	$0.05 \times X$	$0.002 \times X$	$2 \times X \times 10^{-4}$
> 15 000 - 55 000	$0.075 \times X$	$0.002 \times X$	$2 \times X \times 10^{-4}$
> 55 000 - 160 000	$0.16 \times X$	$0.002 \times X$	$2 \times X \times 10^{-4}$

Segundo P.530-8 da ITU-R estão definidos, na tabela 2 da mesma recomendação, os valores da taxa de erros binários ber_{SES} e número de blocos por segundo para cada ritmo binário/Tipo de percurso.

Tipo de percurso	Ritmo binário (kbits / s)	ber _{SES}	blocos / s	Bits / bloco
VC - 11	1 500	5.4×10^{-4}	2000	832
VC - 12	2 000	4.0×10^{-4}	2000	1120
VC - 2	6 000	1.3×10^{-4}	2000	3424
VC - 3	34 000	6.5×10^{-5}	8000	6120
VC - 4	140 000	2.1×10^{-5}	8000	18 792
STM - 1	155 000	2.3×10^{-5}	8000	19 440

O valor de X para o cálculo de SESR, BBER e ESR é X=0.08

O valor de SESR é de 0.00016

O valor de BBER é de 0.000016

O valor de ESR é de 0.0128

O valor de berSESR é de 0.000233

O valor de n é de 8000.

O valor de Nb é de 19440.

O valor de rber é de $1. \times 10^{-12}$

3.7 Desvanecimento

O desvanecimento rápido é calculado usando o segundo método da Recomendação P.530-8 da ITU-R (capítulo 3.3 [1]).

Distância da ligação introduzida: 43.4 km.

O factor de ocorrência de desvanecimento profundo é:

$$kt = \{0.864763\}$$

3.8 Margem Uniforme

Com base nos cálculos auxiliares da seção 3.6 são calculados os C/N correspondentes e as respectivas margens uniformes.

A relação portadora/ruído correspondente a ber_{SESR} é $(\frac{C}{N})_{SESR} = \{10.8803\}$ dB.

A relação portadora/ruído correspondente a rber é $(\frac{C}{N})_{rber} = \{16.9446\}$ dB.

A relação portadora/ruído correspondente a ber=10⁻³ é $(\frac{C}{N})_{ind} = \{9.79982\}$ dB.

A margem uniforme correspondente a ber_{SESR} é Mu_{SESR}= {34.2872} dB.

A margem uniforme correspondente a rber é Mu_{rber}= {28.2229} dB.

3.9 Margem Selectiva

A margem selectiva pode ser calculada de uma das seguintes formas:

1. Método B da recomendação F1093-1 da ITU-R.
para $m_{niveis} \leq 64$
2. Método alternativo (área da assinatura).

Para sistemas sem igualação são típicos os seguintes valores de assinatura [s] (capítulo 5.8.3 [1]):

0.5 a 0.8 MHz, para 34 Mbit/s com modulação 4-PSK

25 a 30 MHz, para 140 Mbit/s com modulação 16-QAM

Os factores de redução da área da assinatura para diferentes tipos de igualadores num sistema a 140Mbit/s com modulação 16-QAM são observáveis no cap. 5.8.4, tabela 5.8 [1].

[Parâmetros](#) [Métricas](#) [Materiais](#)

Factor de redução da área da assinatura para desvanecimentos de fase mínima: $i_{mp} = 490$.

Factor de redução da área da assinatura para desvanecimentos de fase não mínima: $i_{nmp} = 35$.

O factor de melhoria na margem selectiva devido à igualação é de 65.3333 dB.

A margem selectiva é $Ms = \{46.0455\}$ dB.

3.10 Margens críticas

3.10.1 Cláusula SESR

[SESR](#)

Valor da norma SESR = 0.00016

$f=6$ – Cláusula não cumprida, $sesr=0.00034373$

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula SESR é $(\frac{C}{N})_{CIP_SESR} = \{48.8346\}$ dB.

3.10.2 Cláusula BBER

[Parâmetros \$a_1\$ e \$a_2\$](#) [BBER](#)

Valor da norma BBER = 0.000016

$f=6$ – Cláusula não cumprida, $bber=0.000277112$

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula BBER é $(\frac{C}{N})_{CIP_BBER} = \{58.8657\}$ dB.

3.10.3 Cláusula ESR

ESR

Valor da norma ESR = 0.0128

f=6 – Cláusula cumprida, esr=0.000800185

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula ESR é $(\frac{C}{N})_{CIP_ESR} = \{32.0683\}$ dB.

Cláusulas devido à chuva

Neste momento as cláusulas devido à chuva encontram-se em estudo na ITU. Por isso considera-se o valor de Y=0 (Rec.ITU-R P.530-8, página 30) que será mantido até a actualização da norma. Assim sendo, as cláusulas devido à chuva consideram-se sempre cumpridas!

3.10.4 Cláusula SESR devido à chuva

SESR devido à chuva

Valor da norma SESR = 0.00016

f=6 – Cláusula cumprida, sesrchuva=0

3.10.5 Cláusula BBER devido à chuva

Parâmetros α_1 e α_2

BBER devido à chuva

Valor da norma BBER = 0.000016

f=6 – Cláusula cumprida, bberchuva= 1.944×10^{-8}

3.10.6 Cláusula ESR devido à chuva

ESR devido à chuva

Valor da norma ESR = 0.0128

f=6 – Cláusula cumprida, esrchuva=0.00015552

3.10.7 Cláusula da indisponibilidade devido à chuva

Indisponibilidade devido à chuva

f=6 – Cláusula cumprida, (C/N)=45.1675 dB; (C/N)min=14.2483 dB

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula da indisponibilidade devido à chuva é $(\frac{C}{N})_{CIP_ind} = \{14.2483\}$ dB.

3.10.8 C/N necessária para cumprimento da ligação

C/N necessária para cumprir as recomendações

O C/N necessário para a cláusula SESR é:

$$(C/N)_{SESR} = \{48.8346\} \text{ dB.}$$

O C/N necessário para a cláusula BBER é:

$$(C/N)_{BBER} = \{58.8657\} \text{ dB.}$$

O C/N necessário para a cláusula ESR é:

$$(C/N)_{ESR} = \{32.0683\} \text{ dB.}$$

O C/N necessário para as cláusulas da chuva é:

$$(C/N)_{chuva} = \{0.\} \text{ dB.}$$

O C/N necessário para a cláusula indisponibilidade é:

$$(C/N)_{IND} = \{14.2483\} \text{ dB.}$$

A relação Sinal-Ruído mínima necessária para cumprir todas as cláusulas é:

$$(C/N)_{NECmin} = \{58.8657\} \text{ dB.}$$

A relação Sinal-Ruído da ligação em condições ideais de propagação é:

$$(C/N)_{CIP} = \{45.1675\} \text{ dB.}$$

A margem de segurança da ligação ($(C/N)_{CIP} - (C/N)_{NECmin}$) é:

$$\{-13.6982\} \text{ dB.}$$

A frequência óptima é $f=6 \text{ GHz}$ ($M_{seg} = -13.6982 \text{ dB}$).

Não é possível cumprir as recomendações da ITU para as frequências assinaladas a "*".

3.10.9 Gráfico da margem crítica

Dado que o $Y=0$, a cláusula SESR devido à chuva é sempre cumprida. Por este motivo a margem referente a esta cláusula não é apresentada no gráfico.

Margem crítica

A margem crítica para a cláusula SESR é: $(10\log[SESR/sesr])$
 $m_{SESR} = \{-7.64684\} \text{ dB.}$

A margem crítica para a cláusula BBER é:
 $m_{BBER} = \{-28.5183\} \text{ dB.}$

A margem crítica para a cláusula ESR é:
 $m_{ESR} = \{27.7236\} \text{ dB.}$

A margem crítica para a cláusula BBER devido à chuva é:
 $m_{BBERCH} = \{67.1301\} \text{ dB.}$

A margem crítica para a cláusula ESR devido à chuva é:
 $m_{ESRCH} = \{44.1043\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula indisponibilidade é:
 $m_{IND} = \{30.9193\}$ dB.

A margem crítica da ligação é:
 $\{-28.5183\}$ dB.

A frequência óptima é $f=6$ GHz ($M_{crit}=-28.5183$ dB).

3.12 Margens críticas com diversidade

3.12.1 Diversidade

O processo de cálculo da diversidade tem como base as expressões do capítulo 3.9 [1].
O limite de validade para o factor de melhoria pela utilização de diversidade é colocado no Feijer a 1 dB. Abaixo deste valor não há melhoria pela utilização desta.
Os valores relativos às características das antenas, são por omissão, iguais à antena de emissão.

Atenção: Não esquecer que são precisos dois repetidores passivos - se tiver a utilizar algum - para garantir a diversidade no espaço.

[Características das antenas](#) [Diversidade no espaço](#) [Diversidade na frequência](#)

Separação entre portadoras: $\Delta f = \{0.36\}$ GHz.

O diâmetro da antena principal é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de $\eta_p = 0.5$.

O diâmetro da antena secundária é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de $\eta_s = 0.5$.

Ganho da antena principal: $g_p = \{46.0236\}$ dB.

Ganho da antena secundária: $g_s = \{46.0236\}$ dB.

O factor de melhoria da margem real ber_{SES}, devido à utilização de diversidade na frequência é:
 $idiv_{berSES} = \{46.6644\}$

O factor de melhoria da margem real rber, devido à utilização de diversidade na frequência é:
 $idiv_{rber} = \{12.1195\}$

O factor de melhoria da margem selectiva, devido à utilização de diversidade na frequência é:
 $idiv_{ms} = \{200\}$

3.12.2 Margem selectiva

[Igualação adaptativa](#) [Método 1](#) [Método 2](#)

Factor de redução da área da assinatura para desvanecimentos de fase mínima: $i_{mp} = 490$.

Factor de redução da área da assinatura para desvanecimentos de fase não mínima: $i_{nmp} = 35$.

O factor de melhoria na margem selectiva devido à igualação é de 65.3333 dB.

A margem selectiva é $M_s = \{69.0558\}$ dB.

3.12.3 Cláusula SESR

SESR c/ diversidade

Valor da norma SESR = 0.00016

f=6 – Cláusula cumprida, sesr=6.47787 × 10⁻⁶

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula SESR é $(\frac{C}{N})_{CIP_SESR} = \{38.203\}$ dB.

3.12.4 Cláusula BBER

Parâmetros α_1 e α_2

BBER c/ diversidade

Valor da norma BBER = 0.000016

f=6 – Cláusula cumprida, bber=0.000011783

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula BBER é $(\frac{C}{N})_{CIP_BBER} = \{44.5021\}$ dB.

3.12.5 Cláusula ESR

ESR c/ diversidade

Valor da norma ESR = 0.0128

f=6 – Cláusula cumprida, esr=0.000179348

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula ESR é $(\frac{C}{N})_{CIP_ESR} = \{31.5426\}$ dB.

3.12.6 Cláusula SESR devido à chuva

SESR devido à chuva c/ diversidade

Valor da norma SESR = 0.00016

f=6 – Cláusula cumprida, sesrchuva=0

3.12.7 Cláusula BBER devido à chuva

Parâmetros α_1 e α_2

BBER devido à chuva c/ diversidade

Valor da norma BBER = 0.000016

f=6 – Cláusula cumprida, bberchuva=1.944 × 10⁻⁸

3.12.8 Cláusula ESR devido à chuva

ESR devido à chuva c/ diversidade

Valor da norma ESR = 0.0128

f=6 – Cláusula cumprida, esrchuva=0.00015552

3.12.9 Cláusula indisponibilidade devido à chuva

Indisponibilidade devido à chuva c/ diversidade

f=6 – Cláusula cumprida, C/N=45.1675 dB; (C/N)min=14.2483 dB

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula da indisponibilidade devido à chuva é $\frac{C}{N}_{CIP_ind}=\{14.2483\}$ dB.

3.12.10 C/N necessária para cumprimento da ligação

C/N necessária para cumprir as recomendações (c/ diversidade)

O C/N necessário para a cláusula SESR é:
 $(C/N)_{SESR}=\{38.203\}$ dB.

O C/N necessário para a cláusula BBER é:
 $(C/N)_{BBER}=\{44.5021\}$ dB.

O C/N necessário para a cláusula ESR é:
 $(C/N)_{ESR}=\{31.5426\}$ dB.

O C/N necessário para as cláusulas da chuva é:
 $(C/N)_{chuva}=\{0.\}$ dB.

O C/N necessário para a cláusula indisponibilidade é:
 $(C/N)_{IND}=\{14.2483\}$ dB.

A relação Sinal-Ruído mínima necessária para cumprir todas as cláusulas é:

$(C/N)_{NEC_{min}}=\{44.5021\}$ dB.

A relação Sinal-Ruído da ligação em condições ideais de propagação é:

$(C/N)_{CIP}=\{45.1675\}$ dB.

A margem de segurança da ligação ($(C/N)_{CIP} - (C/N)_{NEC_{min}}$) é:

$\{0.665406\}$ dB.

A frequência óptima é f=6 GHz ($M_{seg}=0.665406$ dB).

3.12.11 Gráfico da margem crítica

Margem crítica com diversidade

A margem crítica para a cláusula SESR é: $(10\log[SESR/sesr])$
 $m_{SESR} = \{32.0678\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula BBER é:
 $m_{BBER} = \{3.0593\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula ESR é:
 $m_{ESR} = \{42.6787\}$ dB.

Dado que $Y=0$, a margem crítica para a cláusula SESR devido à chuva é infinita não sendo por isso representada no gráfico.

A margem crítica para a cláusula BBER devido à chuva é:
 $m_{BBERCH} = \{67.1301\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula ESR devido à chuva é:
 $m_{ESRCH} = \{44.1043\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula indisponibilidade é:

$m_{IND} = \{30.9193\}$ dB.

A margem crítica da ligação é:
 $\{3.0593\}$ dB.

A frequência óptima é $f=6$ GHz ($M_{crit} = 3.0593$ dB).