



TÉCNICO
LISBOA

PROJECTO DE UMA LIGAÇÃO EM FEIXES HERTZIANOS

Setúbal – Carcavelos

Disciplina de Sistemas de Comunicações, Ano lectivo 2017/2018

Docentes Paula Rodrigues e António Rodrigues

Miguel Gonçalves 84613 LETI

Pedro Maria 84618 LETI

Índice

| | |
|---|-----------|
| 1. Introdução..... | 2 |
| 1.1 – Especificações do projecto | 2 |
| 1.2 – Ferramentas a utilizar | 3 |
| 2. Percurso com repetidor passivo | 4 |
| 3. Percurso com repetidor activo | 6 |
| 3.1 – Optimização do percurso no troço maior..... | 7 |
| 3.2 – Optimização do percurso no troço menor..... | 9 |
| 4. Solução optimizada | 10 |
| 4.1 – Especificações do projecto | 10 |
| 4.2 – Análise dos custos..... | 11 |
| Anexo A – Percurso com repetidor passivo | 13 |
| Anexo B – Troço maior do percurso com repetidor activo | 33 |
| Anexo C – Troço menor com repetidor passivo | 39 |

1. Introdução

O objectivo deste trabalho é projectar uma ligação bidireccional de feixes hertzianos digitais entre as localidades de Setúbal e Carcavelos, no âmbito da disciplina de Sistemas de Comunicações. O projecto deve minimizar o custo de uma chamada telefónica de 3 minutos de duração, ao mesmo tempo que garanta as normas de qualidade e fiabilidade da ITU-R.

Para tal, serão estudados vários parâmetros que irão influenciar o custo do projecto e o custo das chamadas telefónicas: localização do emissor, repetidor e receptor; altura dos mastros; diâmetro das antenas; escolha de repetidor passivo ou repetidor activo; faixa de frequências a usar; largura de banda do canal a usar e consequente escolha da modulação.

1.1 – Especificações do projecto

O sinal a enviar é um sinal PDH/E-2, de frequência igual a 8 Mbits/s, que suporta até 120 canais telefónicos.

A potência máxima do emissor em watts segue a fórmula $p = p_0 * f^b$, onde p_0 , no caso do nosso grupo, é igual a 9 W, f é a frequência em GHz e b é igual a 1,4.

O factor de ruído do receptor em dB é dado pela fórmula $F = F_0 + \alpha * f$, onde F_0 é igual a 4.0 dB; α consiste no factor de excesso de banda dos filtros de Nyquist e no nosso grupo é igual a 0,2; e f consiste na frequência em GHz

É possível colocar o emissor e o receptor num raio de 1 km à volta das áreas urbanas de Setúbal e Carcavelos, respectivamente, com a condição de se situarem ambos em locais de fácil acesso por estrada e alimentação por parte da rede eléctrica, e de não estarem colocados em cima de monumentos protegidos.

O repetidor, quer activo quer passivo, não precisa de ter fácil acesso por estrada, embora não possa igualmente ser colocado em cima dos monumentos indicados. Não é necessário que o emissor, o repetidor e o receptor formem uma linha recta, embora seja aconselhável que o repetidor não se desvie muito da mesma. Caso se opte por usar um repetidor passivo,

este deverá ser do tipo “costas-com-costas”. Não será possível utilizar igualação nem diversidade caso se opte por um repetidor passivo. Pode considerar-se o rendimento de abertura de todas as antenas 0,5; e o rendimento devido a perdas na antena igual a 1. O diâmetro máximo da antena é 4,5 metros.

Pode-se considerar que os encargos de exploração anuais consistirão em 15% dos custos iniciais do projecto. Igualmente não serão considerados encargos com terrenos e direitos de passagem, os quais teriam obrigatoriamente de ser considerados num projecto real. A taxa de utilização anual é definida pela ANACOM, dependendo da faixa de frequências usada.

O projecto terá uma duração de 25 anos, tendo-se um valor residual nulo. O tráfego médio por canal telefónico será dado em Erlang pela fórmula $0,2 + 0,02 * t$, onde t vem em anos e $t=1$ define o ano inicial. A taxa interna de retorno a preços constantes será 10%, e a taxa de inflação manter-se-á igualmente constante e igual a 3%.

1.2 – Ferramentas a utilizar

Todas as ferramentas a utilizar na realização do projecto são inteiramente digitais. O script Feixer do programa Mathematica será usado para obter os parâmetros da ligação, como por exemplo a margem de segurança face às diferentes cláusulas da ITU-R.

O programa Google Earth será usado para obter as coordenadas da localização do receptor, repetidor e emissor, assim como auxiliar à escolha do melhor percurso da ligação. Um script fornecido pelos docentes da disciplina será usado para obter o perfil topográfico da ligação de modo a poder ser inserido no Feixer, dados os pontos de origem, destino e passagem.

Será também utilizado o Excel para se efectuarem cálculos repetitivos relacionados com o custo inicial da ligação e com o custo de uma chamada de 3 minutos.

Por último, mas não menos importante, serão usados os slides e outros documentos disponíveis na página da disciplina para se obter toda a teoria e fórmulas necessárias ao desenvolvimento do projecto.

2. Percurso com repetidor passivo

A 1ª tarefa no âmbito do projecto consistiu em obter um percurso directo entre Setúbal e Carcavelos com recurso ao script fornecido pelos docentes. Obtido esse percurso, e seguindo os passos do 4º guião laboratorial, obtiveram-se os parâmetros de uma ligação directa por feixes hertzianos entre as 2 localidades, conforme visto na Figura 1, rapidamente se verificando que tal ligação não conseguia cumprir as cláusulas da ITU-R independentemente da frequência usada. Importa notar que devido aos catálogos de guias de ondas presentes no Feixer, apenas frequências de 2 a 27 GHz podem ser usadas.

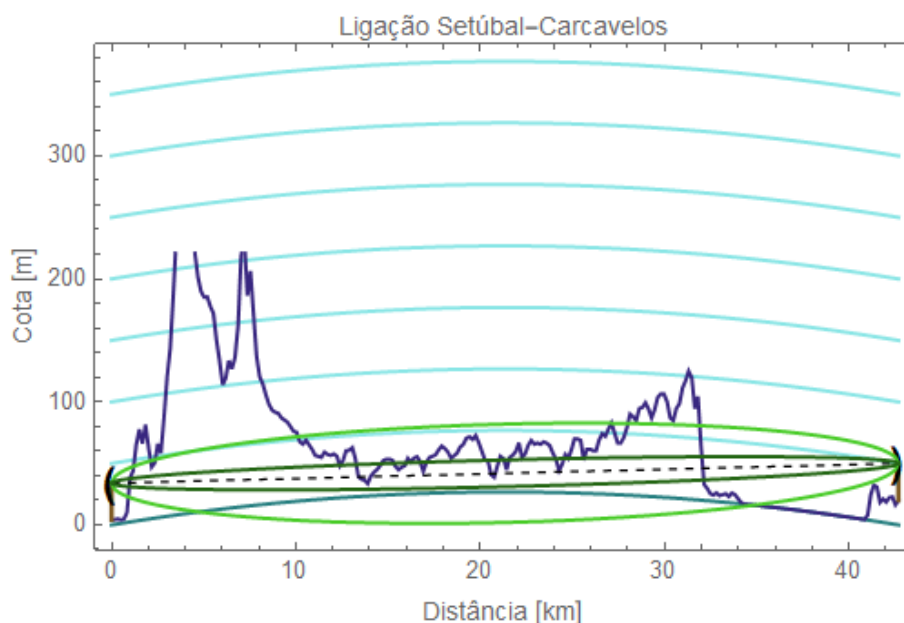


Figura 1 – Ligação directa entre Setúbal (esquerda) e Carcavelos (direita). A 1ª elipsóide de Fresnel mais pequena corresponde a uma frequência de 2 GHz, a elipsóide maior a uma frequência de 27 GHz. O cume mais alto foi truncado pelo Feixer, situando-se ligeiramente abaixo dos 300 metros

Assim, procedeu-se à colocação de um repetidor passivo no cume do monte mais alto do perfil topográfico, situado em localização real na Serra da Arrábida. Como na tentativa anterior, a altura dos metros do emissor e receptor era 30 metros, enquanto a altura dos mastros do repetidor era 10 metros. Igualmente foram varridas todas as frequências entre 2 e 27 GHz, com um salto de 1 GHz. O diâmetro das antenas do emissor e do receptor era 3 metros. Usou-se uma largura de banda de 14 MHz e modulação 2-PSK.

Todavia, conforme visto na Figura 2, o raio directo era obstruído pelo cume situado cerca do quilómetro 32 do percurso, correspondente em

localização real à zona da Costa da Caparica. A ordem de grandeza da área das antenas do repetidor necessária para o cumprimento das cláusulas da ITU-R era assim 10^3 .

Uma vez que o repetidor era do tipo “costas com costas”, a área efectiva a de cada uma das suas antenas é dada pela fórmula $a = \pi \cdot (D/2)^2 \cdot n$, onde a é a área efectiva em m^2 , D é o diâmetro da antena em metros, e n o rendimento de abertura da antena que neste projecto é igual a 0,5. Dado o diâmetro máximo das antenas, 4,5 metros, tem-se que a área efectiva máxima da mesma é $7,952 m^2$. Dessa forma, uma área efectiva necessária com ordem de grandeza igual a 10^3 era um claro sinal de que o percurso não era o ideal.

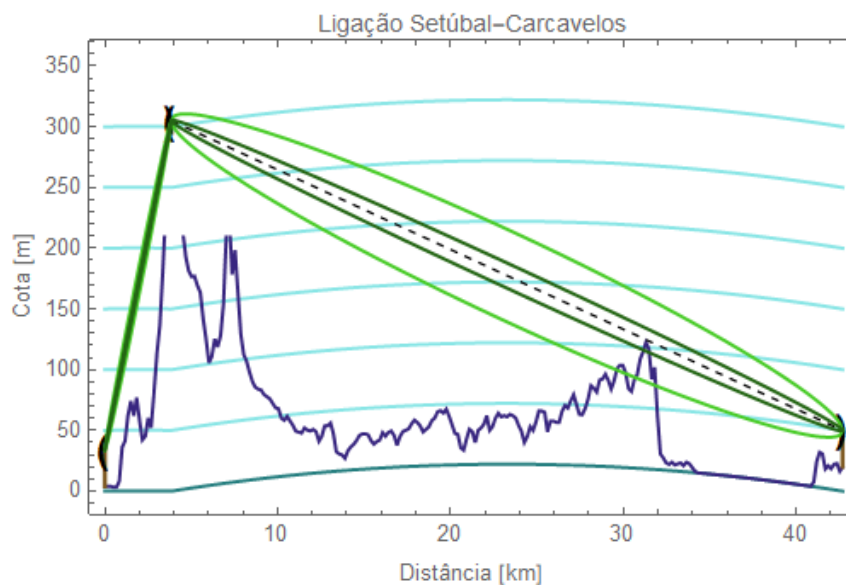


Figura 2 – Ligação entre Setúbal e Carcavelos recorrendo a um repetidor passivo, com uma obstrução no troço maior na zona da Costa da Caparica

Tendo-se mostrado que o percurso directo não era viável, procedeu-se à deslocação do emissor e do receptor para outros pontos da área urbana de Setúbal e Carcavelos, respectivamente, em busca de um percurso directo com apenas 1 obstrução. Tendo-se encontrado esse percurso, procedeu-se ao cálculo dos seus diferentes parâmetros com recurso ao Feixer. A altura dos mastros, diâmetro das antenas, varrimento das frequências, largura de banda e modulação mantiveram-se inalterados. Obteve-se para a frequência óptima, neste caso de 7 GHz, uma área efectiva com uma ordem de grandeza de 10^2 , ainda bastante acima do máximo possível.

Por fim, não se conseguindo melhor com um percurso directo, experimentou-se deslocar o repetidor para o cume de um monte próximo do

percurso directo. Novamente a altura dos mastros, diâmetro das antenas, varrimento das frequências, largura de banda e modulação mantiveram-se inalterados. A frequência óptima manteve-se a mesma, 7 GHz, e a área efectiva da antena necessária para cumprir as cláusulas da ITU-R desceu para cerca de 21 m², ainda 3 vezes acima do máximo possível. Concluiu-se assim que a realização do projecto não era possível com um repetidor passivo, e optou-se pelo uso de um repetidor activo. O Anexo A mostra o output do Feixer na melhor situação encontrada com o uso de um repetidor passivo. Na Figura 3 pode ver-se o perfil do melhor percurso encontrado.

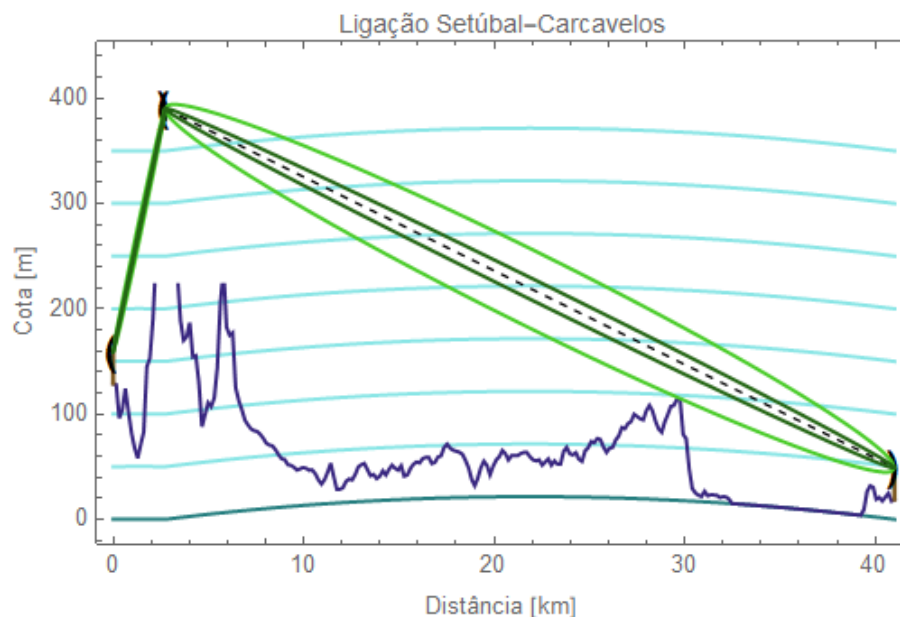


Figura 3 – Ligação entre Setúbal e Carcavelos com o repetidor ligeiramente desviado do percurso directo

O comprimento da ligação com percurso directo sem ajuste das posições do emissor e receptor era 42,627 km. O comprimento da ligação com percurso directo e ajuste das posições do emissor e receptor era 40,997 km. O comprimento da ligação com ajuste da posição do emissor, repetidor e receptor era 41,012 km.

3. Percurso com repetidor activo

Tendo-se visto que a realização do projecto com repetidor passivo não era possível, passou-se à realização do mesmo com recurso a repetidor activo utilizando o mesmo percurso que dera os melhores resultados com repetidor passivo. Dessa forma, procedeu-se primeiramente ao estudo da frequência óptima para o troço maior e posterior optimização dos parâmetros dessa

ligação, passando-se posteriormente à optimização dos parâmetros da ligação do troço menor usando a frequência óptima encontrada para o troço maior.

3.1 – Optimização do percurso no troço maior

O troço maior decorre de um cume na Serra da Arrábida, onde está instalado o repetidor, até ao receptor que está localizado em Carcavelos. O comprimento total do troço é 38,245 km.

Começou-se por se procurar a frequência óptima para o troço. Dessa forma, o Feixer foi corrido para o troço tendo como parâmetros a altura dos mastros de emissão e recepção igual a 30 metros; altura dos mastros do repetidor igual a 10 metros; diâmetro de todas as antenas igual a 4,5 metros; largura de banda de cada canal igual a 14 MHz e modulação 2-PSK. A frequência óptima encontrada foi 2 GHz.

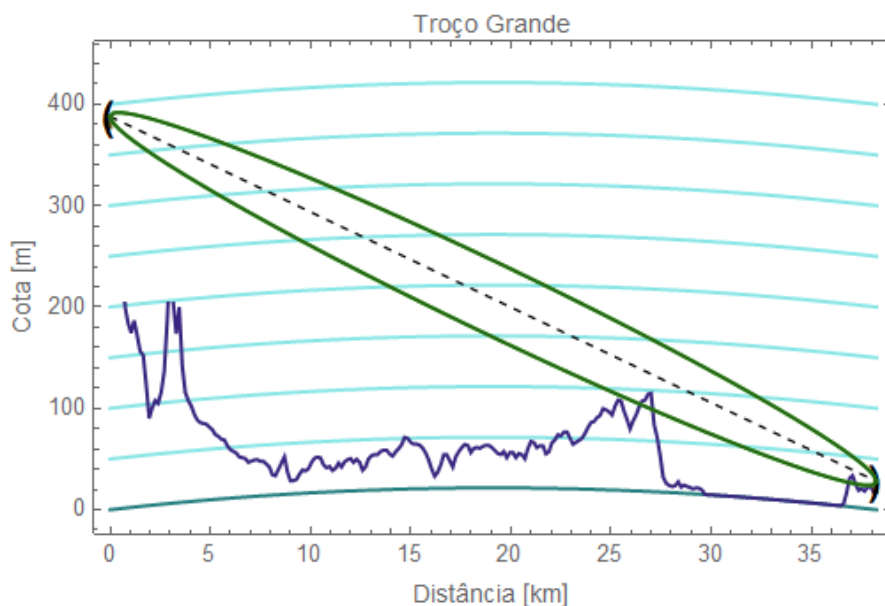


Figura 4 – Troço maior da ligação entre Setúbal e Carcavelos, com a 1ª elipsóide de Fresnel para a frequência óptima de 2 GHz. O repetidor na Serra da Arrábida encontra-se à esquerda e Carcavelos encontra-se à direita

De seguida criou-se uma folha Excel que calculasse tanto o custo inicial da ligação como o custo de uma chamada de 3 minutos em função do diâmetro das antenas; altura dos mastros; faixa de frequências; largura de banda de cada canal e comprimento da ligação. Sendo a faixa de frequências e o comprimento da ligação fixos, os 3 parâmetros a alterar iriam ser o diâmetro das antenas, a altura dos mastros e a largura de banda de cada canal.

A altura dos mastros podia assumir qualquer valor entre 10 e 80 metros, embora as fórmulas do custo dos mesmos fossem distintas para alturas inferiores ou superiores a 30 metros, sendo o custo bastante superior no último caso. O diâmetro das antenas podia assumir um dos seguintes valores: 0,6; 1; 1,5; 2; 3 e 4,5 metros. De acordo com as normas da ANACOM, para a frequência de 2 GHz a largura de banda poderia tomar um dos seguintes valores: 1,75; 3,5; 7 e 14 MHz.

Dado o grande número de combinações possível, por forma a acelerar o processo da obtenção dos parâmetros óptimos decidiu-se proceder da seguinte forma: 2 dos parâmetros em jogo foram fixados no seu valor mínimo, enquanto o 3º valor tomava todos os valores possíveis para o mesmo. Por exemplo, a altura dos mastros assumia a altura mínima de 10 metros e a largura de banda o valor mínimo de 1,75 MHz, enquanto o diâmetro das antenas era variado entre todos os valores possíveis de 0,6 e 4,5 metros. Depois fixava-se a altura dos mastros e o diâmetro das antenas e variava-se a largura de banda, e por fim fixava-se a largura de banda e o diâmetro das antenas e variava-se a altura dos mastros.

Dado que a altura dos mastros podia variar de forma contínua e não discreta, usaram-se saltos de 1 metro entre 10 e 30 metros. Considerou-se desnecessário recorrer a mastros superiores a 30 metros, já que com os 3 parâmetros indicados no seu máximo obtinha-se uma margem de segurança de cerca de 20 dB.

No Excel obtiveram-se os custos iniciais da ligação e de uma chamada telefónica de 3 minutos para todas as combinações possíveis seguindo os procedimentos acima, num total de cerca de 40. O objectivo era descobrir qual o valor mínimo do parâmetro a ser variado que garantisse a margem de segurança de 3 dB para cada uma das combinações, e para cada combinação obter o custo da ligação e o custo da chamada telefónica de 3 minutos. De entre as 3 combinações, a que apresentasse menor custo seria considerada a ideal e portanto a aplicar no troço maior.

Tendo-se corrido o Feixer com alguns dos diferentes valores possíveis, chegou-se assim à conclusão de que uma solução óptima consistia em usar mastros de 10 metros de altura, antenas de 3 metros de diâmetro e largura de banda igual a 1,75 MHz, garantindo uma margem de segurança de 2,998 dB,

o que se pode considerar igual a 3 dB. O Anexo B consiste no output do Feixer para estes parâmetros.

3.2 – Optimização do percurso no troço menor

O troço menor decorre de Setúbal, onde está localizado o emissor, até a um cume na Serra da Arrábida, onde está localizado o repetidor. O comprimento do troço é 2,734 km.

Dado que se trata da mesma ligação, a faixa de frequências e a largura de banda do canal têm de ser iguais nos 2 troços. Tendo-se visto para o troço maior que a melhor faixa de frequências era 2 GHz e a largura de banda que permitia o menor custo era 1,75 MHz, os mesmos parâmetros foram aplicados ao troço menor da ligação.

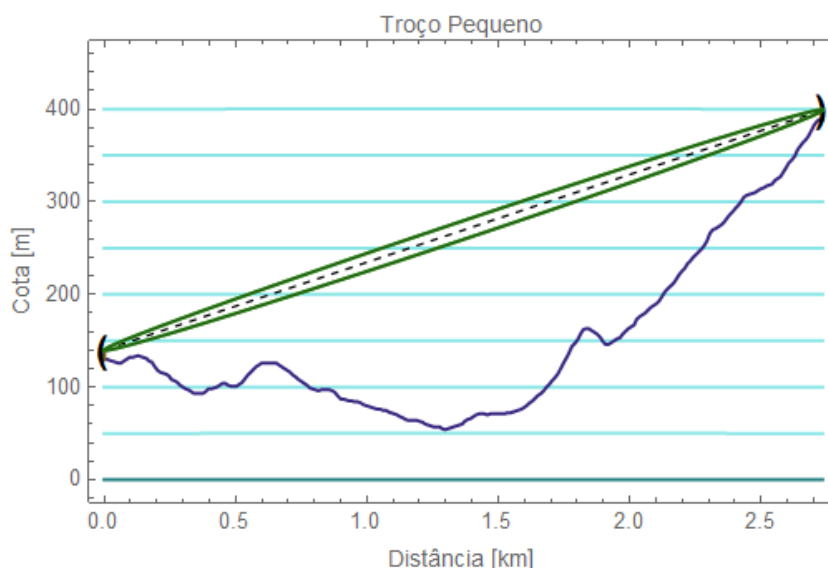


Figura 5 – Troço menor da ligação entre Setúbal e Carcavelos, com a 1ª elipsóide de Fresnel para a frequência óptima de 2 GHz. Setúbal encontra-se à esquerda e o repetidor na Serra da Arrábida encontra-se à direita

Restava assim descobrir os valores óptimos para os restantes 2 parâmetros: o diâmetro das antenas e a altura dos mastros. Verificou-se que os valores mínimos para os 2 parâmetros, respectivamente 0,6 metros e 10 metros, eram suficientes para cumprir as cláusulas da ITU-R, garantindo até uma margem de segurança de 42 dB, muito acima dos 3 dB requeridos. Tal facto pode ser explicado pelo reduzido comprimento do troço, face ao comprimento do troço maior. Dessa forma completou-se a optimização de toda a ligação.

4. Solução otimizada

4.1 – Especificações do projecto

Foi possível concretizar o projecto recorrendo a mastros de altura igual a 10 metros. Não sendo a altura dos mastros superior a 30 metros, reduziu-se assim o custo do projecto.

O emissor está situado nas coordenadas (38°31'12.33"N, 8°54'45.44"W), a sudoeste de Setúbal, a pouco mais de meio quilómetro da área urbana da cidade.

O repetidor está situado nas coordenadas (38°32'0.70"N, 8°56'20.31"W), num cume da Serra da Arrábida.

O receptor está situado nas coordenadas (38°41'1.27"N, 9°20'4.15"W), a sudeste de Carcavelos, a pouco mais de 300 metros da área urbana da localidade.

As antenas da ligação têm as características indicadas na Tabela 1.

| Antena | Diâmetro (m) | Ângulo de fogo (°) | Ângulo de azimuth (°) |
|-----------------------|--------------|--------------------|-----------------------|
| Emissor | 0,6 | 5,402 | 1,317 |
| Receptor do repetidor | 0,6 | -5,421 | 181,337 |
| Emissor do repetidor | 3 | -0,668 | 1,482 |
| Receptor | 3 | 0,410 | 181,799 |

Tabela 1 – Características das antenas da ligação

O comprimento dos guias corresponde à soma das alturas dos mastros mais uma folga tanto no mastro do emissor como no mastro do receptor, folga essa que neste projecto é igual a 10 metros. Dessa forma, o comprimento dos guias é igual a $10 \times 4 + 10 \times 2 = 60$ metros. Dado que as frequências são as mesmas, os guias são todos EW17, tendo uma atenuação de 0,234 dB.

Como referido acima, toda a ligação utiliza uma faixa de frequências de 2 GHz e uma largura de banda por canal de 1,75 MHz.

Sendo a potência do emissor dada em watts por $p_0 * f^b$, com p_0 igual a 9 W, f igual a 2 GHz e b igual a 1,4 é possível concluir que a potência do emissor é igual a 23,75 W.

O factor de ruído da ligação é igual a 9,4 dB. Isto corresponde a uma relação portadora/ruído no troço maior igual a 70,4577 dB, e no troço menor igual a 68,8781 dB.

Dada a largura de banda de 1,75 MHz, a modulação usada nos 2 troços da ligação é a 64-QAM.

4.2 – Análise dos custos

Sendo o custo de uma antena dado pela fórmula $1000+75*D^3$, onde D é o diâmetro da antena em metros, o custo total das antenas ascende a 8082,40€.

Para mastros com altura entre 10 e 30 metros, o custo em função da altura é dado pela expressão $4000+600*h$, sendo h a altura do mastro. Dessa forma, pode concluir-se que o custo dos mastros do projecto é igual a 40.000€.

Tendo o projecto 60 metros de guias de onda, e sendo a fórmula do seu custo dada por $15*(1+10/f)*l_{guias}$, onde f é a faixa de frequências e l_{guias} o comprimento total dos guias de onda, é possível concluir que os guias irão custar 5400€.

Tendo-se um repetidor activo no projecto, são necessários 4 pares emissor/receptor que irão custar 140.000€ e 3 abrigos / sistemas de alimentação de energia que irão custar 180.000€.

Dessa forma, o custo inicial do projecto ascende a 373.482,40€.

A largura de banda é igual a 1,75 MHz, o que a uma taxa de $48,5*raiz(l)$ euros por megahertz, onde l é o comprimento da ligação, dá uma taxa anual de 543,33€ euros.

A taxa de inflação é igual a 3%, e a taxa interna de retorno é igual a 10%. O número de canais telefónicos é 120. É possível efectuar 175.392 chamadas telefónicas de 3 minutos no decurso de 1 ano.

Com estes valores, é possível calcular a evolução do preço de uma chamada telefónica de 3 minutos usando esta ligação ao longo dos 25 anos de duração do projecto. Os valores estão presentes na Tabela 2, sendo ilustrados pelo gráfico presente na Figura 6.

| Ano | Custo (cêntimos) |
|-----|------------------|
| 1 | 2,343872 |
| 2 | 2,14855 |
| 3 | 1,983277 |
| 4 | 1,841614 |
| 5 | 1,71884 |
| 6 | 1,611412 |
| 7 | 1,516623 |
| 8 | 1,432366 |
| 9 | 1,356979 |
| 10 | 1,28913 |
| 11 | 1,227743 |
| 12 | 1,171936 |
| 13 | 1,120982 |
| 14 | 1,074275 |
| 15 | 1,031304 |
| 16 | 0,991638 |
| 17 | 0,954911 |
| 18 | 0,920807 |
| 19 | 0,889055 |
| 20 | 0,85942 |
| 21 | 0,831697 |
| 22 | 0,805706 |
| 23 | 0,781291 |
| 24 | 0,758312 |
| 25 | 0,736646 |

Tabela 2 – Evolução do custo de uma chamada telefónica de 3 minutos em cêntimos usando a ligação projectada ao longo dos 25 anos de duração do projecto

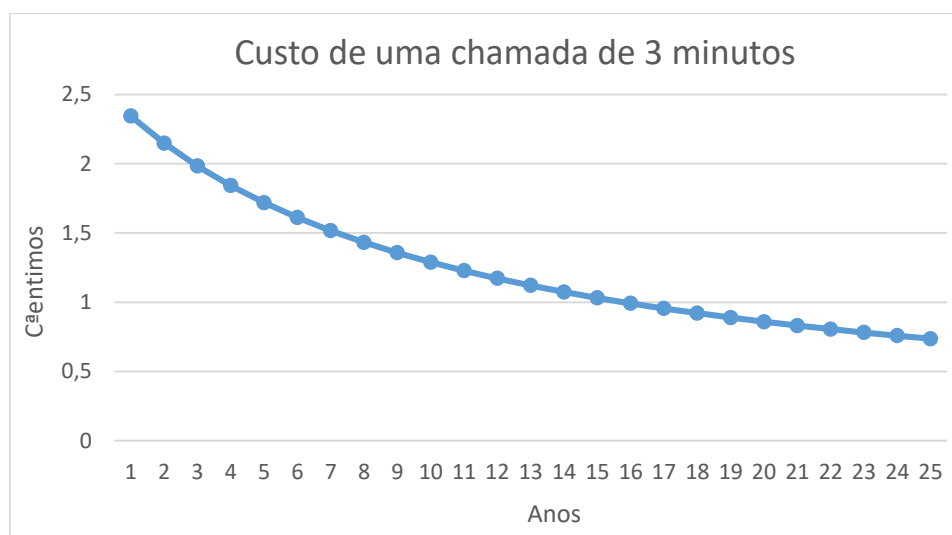


Figura 6 – Evolução do custo de uma chamada telefónica de 3 minutos em cêntimos usando a ligação projectada ao longo dos 25 anos de duração do projecto

Anexo A – Percurso com repetidor passivo

Segue-se o output do Feixer para o percurso otimizado, altura das antenas de emissão e recepção igual a 30 metros; altura das antenas do repetidor igual a 10 metros; diâmetro de todas as antenas igual a 4,5 metros; largura de banda igual a 14 MHz e modulação 2-PSK.

FEIXER - Programa de Feixes Hertzianos

1. Elementos de Propagação

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 $\text{rc}=86.7188\%$.

A distância total da ligação é de 41.012 km.

1.1.2 Perfil do percurso com Terra esférica

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

O raio equivalente da Terra é $\text{Subscript}[r, \text{eq}] = 8493.33$ km.

1.2 Frequência da ligação

Frequência inicial: 2 GHz.

Incremento de frequência: 1 GHz.

Frequência final: 27 GHz.

São 26 as frequências em utilização:

$f=\{2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27\}$ GHz.

Os comprimentos de onda em utilização são:

$\backslash[\text{Lambda}]=\{0.149896,0.0999308,0.0749481,0.0599585,0.0499654,0.0428275,0.0374741,0.0333103,0.0299792,0.0272539,0.0249827,0.023061,0.0214137,0.0199862,0.018737,0.0176349,0.0166551,0.0157786,0.0149896,0.0142758,0.0136269,0.0130345,0.0124914,0.0119917,0.0115305,0.0111034\}$ m.

1.3 Altura dos mastros das antenas

Altura do mastro de emissão: 30 m.

Altura do mastro de recepção: 30 m.

1.4 Características das antenas

O diâmetro da antena emissora é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de $\backslash[\text{Eta}]_e=0.5$.

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 $A_e = 15.9043 \text{ m}^2$, correspondendo a uma área efectiva de $A_{ef} = 7.95216 \text{ m}^2$.

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

Ganho da antena de emissão:

$G_e = \{36.4811, 40.003, 42.5017, 44.4399, 46.0236, 47.3625, 48.5223, 49.5454, 50.4605, 51.2884, 52.0442, 52.7394, 53.3831, 53.9824, 54.5429, 55.0695, 55.566, 56.0356, 56.4811, 56.9049, 57.309, 57.6951, 58.0648, 58.4193, 58.76, 59.0878\} \text{ dBi}$.

Ganho da antena de recepção:

$G_r = \{36.4811, 40.003, 42.5017, 44.4399, 46.0236, 47.3625, 48.5223, 49.5454, 50.4605, 51.2884, 52.0442, 52.7394, 53.3831, 53.9824, 54.5429, 55.0695, 55.566, 56.0356, 56.4811, 56.9049, 57.309, 57.6951, 58.0648, 58.4193, 58.76, 59.0878\} \text{ dBi}$.

A atenuação em espaço livre entre antenas é:

$L_0 = \{130.727, 134.248, 136.747, 138.685, 140.269, 141.608, 142.768, 143.791, 144.706, 145.534, 146.29, 146.985, 147.629, 148.228, 148.788, 149.315, 149.811, 150.281, 150.727, 151.15, 151.554, 151.941, 152.31, 152.665, 153.005, 153.333\} \text{ dB}$.

1.5 Atenuação de obstáculo

O obstáculo principal está à distância de 2.734 km, a que corresponde o ponto 18 dos 256 do ficheiro de entrada.

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

$A_{obst} = \{47.104, 48.8718, 50.1255, 51.0977, 51.8919, 52.5632, 53.1446, 53.6574, 54.116, 54.5309, 54.9096, 55.2579, 55.5804, 55.8806, 56.1615, 56.4252, 56.6739, 56.9091, 57.1323, 57.3445, 57.5469, 57.7403, 57.9254, 58.1029, 58.2735, 58.4377\} \text{ dB}$.

1.6 Atenuação atmosférica

Pressão atmosférica: $p = 1013 \text{ milibar}$.

Temperatura do ambiente: $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Humidade relativa: $H = 85 \%$.

Atenuação específica do oxigénio:

$\gamma_{ox} = \{0.00613408, 0.00643819, 0.00658242, 0.0066868, 0.00678432, 0.00688744, 0.00700223, 0.00713234, 0.00728049, 0.00744897, 0.00763999, 0.00785577, 0.00809866, 0.00837119, 0.0086761, 0.00901644, 0.0093956, 0.00981733, 0.0102859, 0.010806, 0.0113831, 0.0120234, 0.0127337, 0.0135221, 0.0143977, 0.0153713\} \text{ dB/km}$.

A pressão parcial do vapor de água saturado é $e_s = 31.6703 \text{ hPa}$.

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

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

Atenuação específica do vapor de água:

$\gamma_{va} = \{0.000612794, 0.00138691, 0.00248687, 0.00393098, 0.00574584, 0.00796937, 0.0106553, 0.0138802, 0.0177543, 0.0224386, 0.0281731, 0.0353225, 0.0444541, 0.0564712, 0.0728415, 0.0959746, 0.129761, 0.17991, 0.252132, 0.342577, 0.420211, 0.440365, 0.403362, 0.347554, 0.298569, 0.262533\} \text{ dB/km}$.

Atenuação da atmosfera:

$a_{atmos} = \{0.276703, 0.320923, 0.37195, 0.435456, 0.513887, 0.609308, 0.724171, 0.861768, 1.02673, 1.22575, 1.46877, 1.77083, 2.15529, 2.65932, 3.3432, 4.30589, 5.70708, 7.78108, 10.7623, 14.493, 17.7005, 18.5533, 17.0649, 14.8085, 12.8354, 11.3974\} \text{ dB}$.

1.7 Distribuição da 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 $\text{Subscript}[\text{Capital I}, \text{máx}] = \{3.36 \cdot 10^{-4}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida à precipitação é $\text{Capital I}_{\text{chuva}} = \{3.36 \cdot 10^{-5}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida ao equipamento é $\text{Subscript}[\text{Capital I}, \text{equip}] = \{1.344 \cdot 10^{-4}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida a outras causas é $\text{Subscript}[\text{Capital I}, \text{outros}] = \{1.68 \cdot 10^{-4}\}$.

1.8 Atenuação provocada por hidrometeoritos

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: $\{3.36 \cdot 10^{-5}\}$ %.

Valor de Kappa à frequência imposta é:

$\text{Kappa} = \{1.54 \cdot 10^{-4}, 3.57562 \cdot 10^{-4}, 6.5 \cdot 10^{-4}, 1.12106 \cdot 10^{-3}, 1.75 \cdot 10^{-3}, 3.01 \cdot 10^{-3}, 4.54 \cdot 10^{-3}, 6.92396 \cdot 10^{-3}, 1.01 \cdot 10^{-2}, 1.39759 \cdot 10^{-2}, 1.88 \cdot 10^{-2}, 2.38982 \cdot 10^{-2}, 2.98432 \cdot 10^{-2}, 3.67 \cdot 10^{-2}, 4.30953 \cdot 10^{-2}, 5.01144 \cdot 10^{-2}, 5.77762 \cdot 10^{-2}, 6.60988 \cdot 10^{-2}, 7.51 \cdot 10^{-2}, 8.38026 \cdot 10^{-2}, 9.30379 \cdot 10^{-2}, 1.02812 \cdot 10^{-1}, 1.13131 \cdot 10^{-1}, 1.24 \cdot 10^{-1}, 1.35458 \cdot 10^{-1}, 1.47481 \cdot 10^{-1}\}$.

Valor de Alpha à frequência imposta é:

$\text{Alpha} = \{0.963, 1.05542, 1.121, 1.22391, 1.308, 1.332, 1.327, 1.30008, 1.276, 1.24516, 1.217, 1.1944, 1.17348, 1.154, 1.14166, 1.13007, 1.11914, 1.10881, 1.099, 1.09069, 1.08277, 1.0752, 1.06795, 1.061, 1.0524, 1.04412\}$.

O coeficiente de atenuação por unidade de comprimento:

$\text{Gamma} = \{0.00563261, 0.0184743, 0.0429117, 0.108729, 0.232406, 0.437255, 0.647303, 0.892708, 1.19011, 1.46751, 1.77686, 2.07576, 2.39714, 2.74092, 3.07348, 3.42255, 3.78789, 4.1693, 4.56658, 4.93994, 5.32432, 5.71953, 6.12537, 6.54168, 6.91995, 7.30458\}$.

O comprimento eficaz do percurso é $\text{Def} = 12.8157$ km.

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

$\text{Ar} = \{0.072186, 0.236762, 0.549945, 1.39344, 2.97846, 5.60374, 8.29566, 11.4407, 15.2521, 18.8072, 22.7717, 26.6023, 30.7211, 35.1268, 39.3889, 43.8625, 48.5446, 53.4326, 58.524, 63.3089, 68.2351, 73.2999, 78.5011, 83.8364, 88.6842, 93.6135\}$ dB.

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

$\text{achuva} = \{0.105959, 0.347532, 0.807239, 2.04537, 4.37194, 8.22547, 12.1768, 16.7933, 22.3879, 27.6063, 33.4256, 39.0483, 45.0941, 51.5611, 57.8172, 64.3837, 71.2564, 78.4313, 85.9048, 92.9283, 100.159, 107.594, 115.228, 123.06, 130.176, 137.411\}$ dB.

1.9 Atenuação dos guias

Folga dada: 10 m.

O guia elíptico utilizado à frequência de 2 GHz tem a designação EW17.

O guia elíptico utilizado à frequência de 3 GHz tem a designação EW28.

O guia elíptico utilizado à frequência de 4 GHz tem a designação EW34.

O guia elíptico utilizado à frequência de 5 GHz tem a designação EW43.

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

O guia elíptico utilizado à frequência de 7 GHz tem a designação EW63.

O guia elíptico utilizado à frequência de 8 GHz tem a designação EW77.

O guia elíptico utilizado à frequência de 9 GHz tem a designação EW85.

O guia elíptico utilizado à frequência de 10 GHz tem a designação EW90.

O guia elíptico utilizado à frequência de 11 GHz tem a designação EW90.

O guia elíptico utilizado à frequência de 12 GHz tem a designação EW127.

O guia elíptico utilizado à frequência de 13 GHz tem a designação EW127.

O guia elíptico utilizado à frequência de 14 GHz tem a designação EW132.

O guia elíptico utilizado à frequência de 15 GHz tem a designação EW132.

O guia elíptico utilizado à frequência de 16 GHz tem a designação EW180.

O guia elíptico utilizado à frequência de 17 GHz tem a designação EW180.

O guia elíptico utilizado à frequência de 18 GHz tem a designação EW180.

O guia elíptico utilizado à frequência de 19 GHz tem a designação EW180.

O guia elíptico utilizado à frequência de 20 GHz tem a designação EW220.

O guia elíptico utilizado à frequência de 21 GHz tem a designação EW220.

O guia elíptico utilizado à frequência de 22 GHz tem a designação EW220.

O guia elíptico utilizado à frequência de 23 GHz tem a designação EW220.

O guia elíptico utilizado à frequência de 24 GHz tem a designação EW240.

O guia elíptico utilizado à frequência de 25 GHz tem a designação EW240.

O guia elíptico utilizado à frequência de 26 GHz tem a designação EW240.

O guia elíptico utilizado à frequência de 27 GHz tem a designação EW240.

O guia de emissão tem uma atenuação de:

$A_{ge} = \{0.468, 0.832, 0.8428, 1.116, 1.556, 1.71931, 2.26, 4.12, 4.24, 4., 4.72, 4.50992, 6.4, 6.12, 8.64283, 8.16, 7.84, 7.64, 11.92, 11.56, 11.24, 11.0354, 13.8, 13.424, 13.08, 12.8\}$ dB.

O guia de recepção tem uma atenuação de:

$A_{gr} = \{0.468, 0.832, 0.8428, 1.116, 1.556, 1.71931, 2.26, 4.12, 4.24, 4., 4.72, 4.50992, 6.4, 6.12, 8.64283, 8.16, 7.84, 7.64, 11.92, 11.56, 11.24, 11.0354, 13.8, 13.424, 13.08, 12.8\}$ dB.

1.10 Introdução de repetidor passivo

1.10.1 Características do repetidor passivo

Número de repetidores passivos: 1 .

O obstáculo principal corresponde ao ponto 18 dos 256 do ficheiro de entrada.

Pontos de implantação física dos repetidores passivos: {18} .

Área efectiva do repetidor passivo: $\{7.952\} \text{ m}^2$.

Rendimento do repetidor passivo: $\{\eta_{\text{rep}} = 1\}$.

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

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

A zona distante da antena de maior dimensão é:

$\text{Subscript}[d, \text{min}] = \{270.187, 405.28, 540.374, 675.467, 810.561, 945.654, 1080.75, 1215.84, 1350.93, 1486.03, 1621.12, 1756.21, 1891.3, 2026.4, 2161.5, 2296.59, 2431.68, 2566.78, 2701.87, 2836.96, 2972.06, 3107.15, 3242.24, 3377.34, 3512.43, 3647.52\} \text{ m}$.

O repetidor 1 está na zona distante para $f = \{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20\} \text{ GHz}$.

O repetidor 1 não está na zona distante para $f = \{21, 22, 23, 24, 25, 26, 27\} \text{ GHz}$.

É necessário introduzir um factor correctivo de atenuação, introduzido na atenuação suplementar.

Ganho do repetidor é $\text{grep} = \{72.9621, 80.0057, 85.0033, 88.8797, 92.0469, 94.7248, 97.0445, 99.0906, 100.921, 102.577, 104.088, 105.479, 106.766, 107.965, 109.086, 110.139, 111.132, 112.071, 112.962, 113.81, 114.618, 115.39, 116.129, 116.838, 117.52, 118.175\} \text{ dB}$.

No troço 1 a atenuação de espaço livre é:

$L_0 = \{107.204, 110.726, 113.225, 115.163, 116.747, 118.086, 119.246, 120.269, 121.184, 122.012, 122.767, 123.463, 124.106, 124.706, 125.266, 125.793, 126.289, 126.759, 127.204, 127.628, 128.032, 128.418, 128.788, 129.143, 129.483, 129.811\} \text{ dB}$.

No troço 2 a atenuação de espaço livre é:

$L_0 = \{130.127, 133.649, 136.148, 138.086, 139.67, 141.009, 142.169, 143.192, 144.107, 144.935, 145.69, 146.386, 147.029, 147.629, 148.189, 148.716, 149.212, 149.682, 150.127, 150.551, 150.955, 151.341, 151.711, 152.066, 152.406, 152.734\} \text{ dB}$.

A atenuação de espaço livre total no percurso é:

$L_0 = \{237.332, 244.375, 249.373, 253.249, 256.417, 259.094, 261.414, 263.46, 265.291, 266.946, 268.458, 269.848, 271.136, 272.334, 273.455, 274.508, 275.501, 276.441, 277.332, 278.179, 278.987, 279.76, 280.499, 281.208, 281.889, 282.545\} \text{ dB}$.

1.10.2 Atenuação de obstáculo

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

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

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

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

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

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

1.11 Desvanecimento rápido

Valor de $\text{Subscript}[c, 0]$: 6.

Valor de $\text{Subscript}[c, \text{Lat}]$: 0.

Valor de $\text{Subscript}[c, \text{Long}]$: 3.

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

O valor da relação ps/pd para a frequência de 5 GHz é de $-\infty$ dB.

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

O valor da relação ps/pd para a frequência de 7 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 8 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 9 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 10 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 11 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 12 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 13 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 14 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 15 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 16 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 17 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 18 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 19 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 20 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 21 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 22 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 23 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 24 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 25 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 26 GHz é de $-\infty$ dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 27 GHz é de $-\infty$ dB.

1.13 Potência de recepção

A potência de emissão é:

$pe = \{5.32801, 2.86273, 1.11359, -0.243155, -1.35169, -2.28895, -3.10083, -3.81697, -4.45757, -5.03707, -5.56611, -6.05278, -6.50337, -6.92285, -7.31525, -7.68386, -8.03139, -8.36013, -8.67199, -8.96865, -9.25149, -9.52176, -9.78053, -10.0287, -10.2672, -10.4967\}$ dBW.

Atenuação suplementar colocada: 0 dB.

A potência de recepção, em condições ideais de propagação, dada pela fórmula de Friis é:

$pr = \{-87.292, -83.4859, -80.3101, -78.4004, -77.3001, -75.9815, -75.67, -78.1976, -77.4129, -76.0557, -76.7562, -75.7343, -79.0621, -78.2271, -83.2279, -82.5403, -82.6561, -83.7196, -94.6816, -97.1414, -99.1837, -99.1254, -102.686, -99.2162, -96.1122, -93.6881\}$ dBW.

3. Feixes Hertzianos Digitais

3.1 Sinal digital

Ritmo binário: $\text{Subscript}[f, b] = 8 \text{ Mbits/s}$.

Largura de banda para a transmissão: $B = \{14, 14\}$ MHz.

Factor de excesso de banda: $\beta = 0.2$.

O número mínimo de níveis na modulação é de $\{1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085, 1.6085\}$ por palavra de código.

3.3 Largura de banda em rádio-frequência

Número de níveis por palavra: $m = \{2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2\}$.

A largura de banda em rádio-frequência é $B = \{9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6, 9.6\}$ MHz.

3.4 Tipo de modulação da portadora

Modulação colocada: PSK.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 2$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 3$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 4$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 5$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 6$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 7$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 8$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 9$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 10$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 11$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 12$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 13$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 14$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 15$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

A taxa de erros binária em função da relação C/N_0 para $a = 16$ e $n = 2$ é $B_{\text{er}} = \text{Erfc}[\sqrt{10^{C/(10 N_0)}}]$.

O valor de r_{ber} é de $1 \cdot 10^{-12}$

O factor de ocorrência de desvanecimento profundo é:

A margem selectiva é $M_s=49.0309$ dB.

f=6 - Cláusula cumprida, sesr=0.000104863

f=7 - Cláusula cumprida, sesr=0.0000952433
 f=8 - Cláusula cumprida, sesr=0.000104828
 f=9 - Cláusula não cumprida, sesr=0.000207217
 f=10 - Cláusula não cumprida, sesr=0.00020065
 f=11 - Cláusula não cumprida, sesr=0.000170825
 f=12 - Cláusula não cumprida, sesr=0.000223384
 f=13 - Cláusula não cumprida, sesr=0.00020151
 f=14 - Cláusula não cumprida, sesr=0.000461741
 f=15 - Cláusula não cumprida, sesr=0.000426876
 f=16 - Cláusula não cumprida, sesr=0.00144908
 f=17 - Cláusula não cumprida, sesr=0.00136935
 f=18 - Cláusula não cumprida, sesr=0.00154773
 f=19 - Cláusula não cumprida, sesr=0.00216419
 f=20 - Cláusula não cumprida, sesr=0.0292948
 f=21 - Cláusula não cumprida, sesr=0.0564223
 f=22 - Cláusula não cumprida, sesr=0.0985318
 f=23 - Cláusula não cumprida, sesr=0.105908
 f=24 - Cláusula não cumprida, sesr=0.261411
 f=25 - Cláusula não cumprida, sesr=0.127708
 f=26 - Cláusula não cumprida, sesr=0.0677774
 f=27 - Cláusula não cumprida, sesr=0.0420143

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula SESR é $(C/N_{\text{Subscript}})$, $CIP_SESR=\{41.0309, 42.6378, 43.7883, 44.6887, 45.4308, 46.0636, 46.6164, 47.1082, 47.5518, 47.9565, 48.3291, 48.6746, 48.9973, 49.3002, 49.5859, 49.8565, 50.1138, 50.3592, 50.594, 50.8193, 51.0358, 51.2446, 51.4461, 51.6411, 51.83, 52.0134\}$ dB.

3.10.2 Cláusula BBER

Parâmetros $\text{Subscript}[\text{Alpha}, 1]$ e $\text{Subscript}[\text{Alpha}, 2]$

Valor da norma BBER = 0.00002

f=2 - Cláusula não cumprida, bber=0.000227421
 f=3 - Cláusula não cumprida, bber=0.00014296
 f=4 - Cláusula não cumprida, bber=0.0000939084
 f=5 - Cláusula não cumprida, bber=0.0000779151
 f=6 - Cláusula não cumprida, bber=0.0000749157
 f=7 - Cláusula não cumprida, bber=0.0000670079
 f=8 - Cláusula não cumprida, bber=0.0000736226

f=9 - Cláusula não cumprida, bber=0.00015035
f=10 - Cláusula não cumprida, bber=0.000144792
f=11 - Cláusula não cumprida, bber=0.000121667
f=12 - Cláusula não cumprida, bber=0.000160774
f=13 - Cláusula não cumprida, bber=0.000143664
f=14 - Cláusula não cumprida, bber=0.000339535
f=15 - Cláusula não cumprida, bber=0.000312659
f=16 - Cláusula não cumprida, bber=0.00108332
f=17 - Cláusula não cumprida, bber=0.00102262
f=18 - Cláusula não cumprida, bber=0.00115665
f=19 - Cláusula não cumprida, bber=0.00162116
f=20 - Cláusula não cumprida, bber=0.022087
f=21 - Cláusula não cumprida, bber=0.0425505
f=22 - Cláusula não cumprida, bber=0.0743159
f=23 - Cláusula não cumprida, bber=0.0798796
f=24 - Cláusula não cumprida, bber=0.197185
f=25 - Cláusula não cumprida, bber=0.0963241
f=26 - Cláusula não cumprida, bber=0.0511138
f=27 - Cláusula não cumprida, bber=0.0316785

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula BBER é (C/NSubscript[]), CIP_BBER]={48.9444,50.5916,51.7776,52.7093,53.4792,54.1364,54.7107,55.221,55.6805,56.0987,56.4823,56.8368,57.1662,57.4739,57.7626,58.0344,58.2912,58.5345,58.7657,58.9858,59.1959,59.3967,59.5892,59.7738,59.9512,60.1219} dB.

3.10.3 Cláusula ESR

Valor da norma ESR = 0.006

f=2 - Cláusula cumprida, esr=0.000506814
f=3 - Cláusula cumprida, esr=0.000323021
f=4 - Cláusula cumprida, esr=0.000216607
f=5 - Cláusula cumprida, esr=0.000182433
f=6 - Cláusula cumprida, esr=0.00017664
f=7 - Cláusula cumprida, esr=0.000160134
f=8 - Cláusula cumprida, esr=0.000175316
f=9 - Cláusula cumprida, esr=0.000343572
f=10 - Cláusula cumprida, esr=0.00033214
f=11 - Cláusula cumprida, esr=0.000282348

f=12 - Cláusula cumprida, esr=0.000368439
 f=13 - Cláusula cumprida, esr=0.000331773
 f=14 - Cláusula cumprida, esr=0.000760316
 f=15 - Cláusula cumprida, esr=0.000702258
 f=16 - Cláusula cumprida, esr=0.00238702
 f=17 - Cláusula cumprida, esr=0.00225502
 f=18 - Cláusula cumprida, esr=0.00254855
 f=19 - Cláusula cumprida, esr=0.00356435
 f=20 - Cláusula não cumprida, esr=0.0482928
 f=21 - Cláusula não cumprida, esr=0.0930161
 f=22 - Cláusula não cumprida, esr=0.16244
 f=23 - Cláusula não cumprida, esr=0.174599
 f=24 - Cláusula não cumprida, esr=0.430969
 f=25 - Cláusula não cumprida, esr=0.21054
 f=26 - Cláusula não cumprida, esr=0.111734
 f=27 - Cláusula não cumprida, esr=0.0692591

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula ESR é $(C/N_{\text{Subscript}})$, $CIP_ESR = \{27.3804, 28.9488, 30.062, 30.9256, 31.6314, 32.2283, 32.7455, 33.2018, 33.6101, 33.9796, 34.3169, 34.6273, 34.9148, 35.1824, 35.4329, 35.6682, 35.8901, 36.1001, 36.2993, 36.4888, 36.6696, 36.8424, 37.0078, 37.1666, 37.3191, 37.4659\}$ dB.

3.10.4 Cláusula SESR devido à chuva

Valor da norma SESR = 0.00016

f=2 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0
 f=3 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0
 f=4 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0
 f=5 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0
 f=6 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0
 f=7 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0
 f=8 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0
 f=9 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0
 f=10 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0
 f=11 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.
 f=12 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.
 f=13 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.
 f=14 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

f=15 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

f=16 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

f=17 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

f=18 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

f=19 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

f=20 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

f=21 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

f=22 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

f=23 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

f=24 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

f=25 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

f=26 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

f=27 - Cláusula cumprida, sesrchuva=0.

3.10.5 Cláusula BBER devido à chuva

Parâmetros $\text{Subscript}[\text{Alpha}, 1]$ e $\text{Subscript}[\text{Alpha}, 2]$

Valor da norma BBER = 0.00002

f=2 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=3 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=4 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=5 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=6 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=7 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=8 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=9 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=10 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=11 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=12 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=13 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=14 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=15 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=16 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=17 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=18 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=19 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

f=20 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$
 f=21 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$
 f=22 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$
 f=23 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$
 f=24 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$
 f=25 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$
 f=26 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$
 f=27 - Cláusula cumprida, bberchuva= $4 \cdot 10^{-9}$

3.10.6 Cláusula ESR devido à chuva

Valor da norma ESR = 0.006

f=2 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=3 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=4 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=5 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=6 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=7 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=8 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=9 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=10 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=11 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=12 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=13 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=14 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=15 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=16 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=17 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=18 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=19 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=20 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=21 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=22 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=23 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=24 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$
 f=25 - Cláusula cumprida, esrchuva= $8 \cdot 10^{-6}$

f=26 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.*10⁻⁶

f=27 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.*10⁻⁶

3.10.7 Cláusula da indisponibilidade devido à chuva

f=2 - Cláusula cumprida, (C/N)=38.2075 dB; (C/N)_{min}=7.44097 dB

f=3 - Cláusula cumprida, (C/N)=41.8137 dB; (C/N)_{min}=7.68254 dB

f=4 - Cláusula cumprida, (C/N)=44.7894 dB; (C/N)_{min}=8.14225 dB

f=5 - Cláusula cumprida, (C/N)=46.4992 dB; (C/N)_{min}=9.38038 dB

f=6 - Cláusula cumprida, (C/N)=47.3995 dB; (C/N)_{min}=11.707 dB

f=7 - Cláusula cumprida, (C/N)=48.518 dB; (C/N)_{min}=15.5605 dB

f=8 - Cláusula cumprida, (C/N)=48.6296 dB; (C/N)_{min}=19.5118 dB

f=9 - Cláusula cumprida, (C/N)=45.902 dB; (C/N)_{min}=24.1283 dB

f=10 - Cláusula cumprida, (C/N)=46.4867 dB; (C/N)_{min}=29.7229 dB

f=11 - Cláusula cumprida, (C/N)=47.6439 dB; (C/N)_{min}=34.9413 dB

f=12 - Cláusula cumprida, (C/N)=46.7434 dB; (C/N)_{min}=40.7606 dB

f=13 - Cláusula cumprida, (C/N)=47.5653 dB; (C/N)_{min}=46.3833 dB

f=14 - Cláusula não cumprida, (C/N)=44.0375 dB; (C/N)_{min}=52.4291 dB

f=15 - Cláusula não cumprida, (C/N)=44.6725 dB; (C/N)_{min}=58.8961 dB

f=16 - Cláusula não cumprida, (C/N)=39.4717 dB; (C/N)_{min}=65.1522 dB

f=17 - Cláusula não cumprida, (C/N)=39.9592 dB; (C/N)_{min}=71.7187 dB

f=18 - Cláusula não cumprida, (C/N)=39.6434 dB; (C/N)_{min}=78.5914 dB

f=19 - Cláusula não cumprida, (C/N)=38.3799 dB; (C/N)_{min}=85.7663 dB

f=20 - Cláusula não cumprida, (C/N)=27.2179 dB; (C/N)_{min}=93.2398 dB

f=21 - Cláusula não cumprida, (C/N)=24.5582 dB; (C/N)_{min}=100.263 dB

f=22 - Cláusula não cumprida, (C/N)=22.3159 dB; (C/N)_{min}=107.494 dB

f=23 - Cláusula não cumprida, (C/N)=22.1742 dB; (C/N)_{min}=114.929 dB

f=24 - Cláusula não cumprida, (C/N)=18.414 dB; (C/N)_{min}=122.563 dB

f=25 - Cláusula não cumprida, (C/N)=21.6834 dB; (C/N)_{min}=130.395 dB

f=26 - Cláusula não cumprida, (C/N)=24.5874 dB; (C/N)_{min}=137.511 dB

f=27 - Cláusula não cumprida, (C/N)=26.8115 dB; (C/N)_{min}=144.746 dB

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula da indisponibilidade devido à chuva é (C/N)_{Subscript[]}, CIP_ind]={7.44097,7.68254,8.14225,9.38038,11.707,15.5605,19.5118,24.1283,29.7229,34.9413,40.7606,46.3833,52.4291,58.8961,65.1522,71.7187,78.5914,85.7663,93.2398,100.263,107.494,114.929,122.563,130.395,137.511,144.746} dB.

3.10.8 C/N necessária para cumprimento da ligação

O C/N necessário para a cláusula SESR é:

Para $f=5$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 22.9606 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

Para $f=6$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 22.6183 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

Para $f=7$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 21.4484 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

Para $f=8$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 22.6219 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

Para $f=9$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 32.8419 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

Para $f=10$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 32.3719 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

Para $f=11$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 29.7313 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

Para $f=12$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 34.4685 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

Para $f=13$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 32.6625 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

Para $f=14$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 50.9229 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m^2 .)

Para $f=15$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 57.764 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m^2 .)

Para $f=16$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 216.024 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m^2 .)

Para $f=17$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 434.963 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m^2 .)

Para $f=18$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 995.116 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m^2 .)

Para $f=19$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 2629.02 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m^2 .)

Para $f=20$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 22468.2 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m^2 .)

Para $f=21$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 68506.8 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m².)

Para $f= 22$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 203887. m² para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m².)

Para $f= 23$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 487754. m² para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m².)

Para $f= 24$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de $1.81107 \cdot 10^6$ m² para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m².)

Para $f= 25$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de $3.06223 \cdot 10^6$ m² para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m².)

Para $f= 26$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de $4.97319 \cdot 10^6$ m² para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m².)

Para $f= 27$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de $8.85532 \cdot 10^6$ m² para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

(Atenção que a área física não deve exceder os 35 m².)

Anexo B – Troço maior do percurso com repetidor activo

1.1.1 Perfil do percurso com Terra plana

O percurso tem uma percentagem de cotas inferiores a 100 m de $\alpha=91.0156\%$.

A distância total da ligação é de 38.245 km.

1.1.2 Perfil do percurso com Terra esférica

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

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

1.2 Frequência da ligação

Frequência inicial: 2 GHz.

Incremento de frequência: 0 GHz.

A frequência de utilização é $f=2$ GHz.

O comprimento de onda em utilização é $\lambda=0.149896$ m.

1.3 Altura dos mastros das antenas

Altura do mastro de emissão: 10 m.

Altura do mastro de recepção: 10 m.

1.4 Características das antenas

O diâmetro da antena emissora é de 3 m, sendo o seu rendimento de $\eta_e=0.5$.

O diâmetro da antena receptora é de 3 m, sendo o seu rendimento de $\eta_r=0.5$.

A área física da antena de emissão é $A_{fe}=7.06858$ m², correspondendo a uma área efectiva de $A_{ef}=3.53429$ m².

A área física da antena de recepção é $A_{fr}=7.06858$ m², correspondendo a uma área efectiva de $A_{efr}=3.53429$ m².

Ganho da antena de emissão:

$G_e=32.9593$ dBi.

Ganho da antena de recepção:

$G_r=32.9593$ dBi.

A atenuação em espaço livre entre antenas é:

$L_0=130.12$ dB.

1.5 Atenuação de obstáculo

O obstáculo principal está à distância de 37.045 km, a que corresponde o ponto 248 dos 256 do ficheiro de entrada.

O 1º obstáculo secundário está à distância de 26.996 km, a que corresponde o ponto 181.

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

$A_{obst}=3.22413$ dB.

1.6 Atenuação atmosférica

Pressão atmosférica: $p = 1013$ milibar.

Temperatura do ambiente: $T = 25$ °C.

Humidade relativa: $H = 85$ %.

Atenuação específica do oxigénio:

$\gamma_{ox} = \{0.00613408\}$ dB/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:

$\gamma_{va} = \{0.000612794\}$ dB/km.

Atenuação da atmosfera:

$\alpha_{atmos} = \{0.258034\}$ dB.

1.7 Distribuição da 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 $\text{Subscript}[\text{ScriptCapitalI}, \text{máx}] = \{3.36 \cdot 10^{-4}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida à precipitação é $\text{ScriptCapitalI}_{chuva} = \{3.36 \cdot 10^{-5}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida ao equipamento é $\text{Subscript}[\text{ScriptCapitalI}, \text{equip}] = \{1.344 \cdot 10^{-4}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida a outras causas é $\text{Subscript}[\text{ScriptCapitalI}, \text{outros}] = \{1.68 \cdot 10^{-4}\}$.

1.8 Atenuação provocada por hidrometeoritos

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: $\{3.36 \cdot 10^{-5}\}$ %.

Valor de κ à frequência imposta é:

$\kappa = \{1.54 \cdot 10^{-4}\}$.

Valor de α à frequência imposta é:

$\alpha = \{0.963\}$.

O coeficiente de atenuação por unidade de comprimento:

$\gamma = \{0.00563261\}$.

O comprimento eficaz do percurso é $D_{ef} = 12.5324$ km.

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

$A_r = \{0.0705901\}$ dB.

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

$a_{chuva} = \{0.103616\}$ dB.

1.9 Atenuação dos guias

Folga dada: 10 m.

O guia elíptico utilizado à frequência de 2 GHz tem a designação EW17.

O guia de emissão tem uma atenuação de:

$A_e = \{0.234\}$ dB.

O guia de recepção tem uma atenuação de:

$A_r = \{0.234\}$ dB.

1.10 Introdução de repetidor passivo

1.10.1 Características do repetidor passivo

Número de repetidores passivos: 0 .

1.11 Desvanecimento rápido

Os calculos seguintes são para uma ligação em raio directo.

Valor de $Subscript[c, 0]$: 6 .

Valor de $Subscript[c, Lat]$: 0 .

Valor de $Subscript[c, Long]$: 3 .

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

Latitude do percurso colocada: $Lat = 42$ [Degree] .

Classificação do percurso: terrestre .

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

O módulo da inclinação da ligação é $Subscript[\epsilon, p] = 9.413$ miliradianos.

O parâmetro $Subscript[q, t]$ calculado com um desvanecimento de $\{25\}$ dB, é:

$q_t = \{3.79136\}$.

Ligação total:

A fracção de tempo calculada pelo 2º método da Rec. P.530-8, correspondente à ligação total é:

$PA_2 = \{2.4609 \cdot 10^{-5}\}$.

1.12 Reflexões no terreno

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 2 GHz.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 2 GHz é de $-[\text{Infinity}]$ dB.

1.13 Potência de recepção

A potência de emissão é:

$$P_e = \{5.32801\} \text{ dBW.}$$

Atenuação suplementar colocada: 0 dB.

A potência de recepção, em condições ideais de propagação, dada pela fórmula de Friis é:

$$P_r = \{-62.8234\} \text{ dBW.}$$

3. Feixes Hertzianos Digitais

3.1 Sinal digital

Ritmo binário: $\text{Subscript}[f, b] = 8 \text{ Mbits/s.}$

Largura de banda para a transmissão: $\text{Subscript}[largura, b] = 1.75 \text{ MHz.}$

Factor de excesso de banda: $\text{Subscript}[\beta] = 0.2 .$

O número mínimo de níveis na modulação é de 44.8089 por palavra de código.

3.3 Largura de banda em rádio-frequência

Número de níveis por palavra: $m = 64 .$

A largura de banda em rádio-frequência é $\text{Subscript}[b, rf] = 1.6 \text{ MHz.}$

3.4 Tipo de modulação da portadora

Modulação colocada: QAM .

A taxa de erros binária em função da relação $C/\text{Subscript}[N, 0]$ para $a = 2$ e $n^\circ \text{ níveis} = 64$ é $\text{Subscript}[P, ber] = 7/24 \text{ Erfc}[1/7 \sqrt{2^{-(1+C/(10 \text{ Subscript}[N, 0]))} 5^{(C/(10 \text{ Subscript}[N, 0]))}}]] .$

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:

$$\text{Subscript}[n, f] = \{9.4\} \text{ dB.}$$

Temperatura observada pela antena: $T = 293 \text{ K.}$

O ruído térmico é $\text{Subscript}[n, 0] = \{-142.681\} \text{ dBW.}$

O ruído aos terminais do desmodulador é:

$$\text{Subscript}[n, \text{ruído}] = \{-133.281\} \text{ dBW.}$$

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

$$(C/N \text{ Subscript}[, rf]) = \{70.4577\} \text{ dB.}$$

3.6 Recomendações da ITU

O valor de ber_{SESR} é de 0.0001

O valor de n é de 2000.

O valor de N_b é de 4000.

O valor de r_{ber} é de $1 \cdot 10^{-12}$

3.7 Desvanecimento

Distância da ligação introduzida: 38.245 km.

O factor de ocorrência de desvanecimento profundo é:

$$k_t = \{0.204176\}$$

3.8 Margem Uniforme

A relação portadora/ruído correspondente a $\text{Subscript}[\text{ber}, \text{SESR}]$ é $(\text{C}/\text{N}_{\text{Subscript}}[], \text{SESR}) = \{27.981\}$ dB.

A relação portadora/ruído correspondente a rber é $(\text{C}/\text{N}_{\text{Subscript}}[], \text{rber}) = \{33.7528\}$ dB.

A relação portadora/ruído correspondente a $\text{ber} = 10^{-3}$ é $(\text{C}/\text{N}_{\text{Subscript}}[], \text{ind}) = \{26.2288\}$ dB.

A margem uniforme correspondente a $\text{Subscript}[\text{ber}, \text{SESR}]$ é $\text{MuSESR} = \{42.4767\}$ dB.

A margem uniforme correspondente a rber é $\text{Murber} = \{36.7048\}$ dB.

3.9 Margem Selectiva

Assinatura introduzida: 0.1 MHz.

A margem selectiva é $\text{Ms} = 49.0309$ dB.

3.10 Margens críticas

3.10.1 Cláusula SESR

Valor da norma SESR = 0.00016

f=2 - Cláusula cumprida, $\text{sesr} = 0.0000140957$

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula SESR é $(\text{C}/\text{N}_{\text{Subscript}}[], \text{CIP_SESR}) = \{59.1097\}$ dB.

3.10.2 Cláusula BBER

Parâmetros $\text{Subscript}[\text{Alpha}, 1]$ e $\text{Subscript}[\text{Alpha}, 2]$

Valor da norma BBER = 0.00002

f=2 - Cláusula cumprida, $\text{bber} = 0.0000103982$

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula BBER é $(\text{C}/\text{N}_{\text{Subscript}}[], \text{CIP_BBER}) = \{67.4595\}$ dB.

3.10.3 Cláusula ESR

Valor da norma ESR = 0.006

f=2 - Cláusula cumprida, $\text{esr} = 0.0000309957$

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula ESR é $(\text{C}/\text{N}_{\text{Subscript}}[], \text{CIP_ESR}) = \{45.6892\}$ dB.

3.10.4 Cláusula SESR devido à chuva

Valor da norma SESR = 0.00016

f=2 - Cláusula cumprida, $\text{sesrchuva} = 0$

3.10.5 Cláusula BBER devido à chuva

Parâmetros $\text{Subscript}[\text{Alpha}, 1]$ e $\text{Subscript}[\text{Alpha}, 2]$

Valor da norma BBER = 0.00002

f=2 - Cláusula cumprida, $\text{bberchuva} = 4 \cdot 10^{-9}$

3.10.6 Cláusula ESR devido à chuva

Valor da norma ESR = 0.006

f=2 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.*10⁻⁶

3.10.7 Cláusula da indisponibilidade devido à chuva

f=2 - Cláusula cumprida, (C/N)=70.4577 dB; (C/N)_{min}=26.3324 dB

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula da indisponibilidade devido à chuva é (C/N)_{Subscript{}}, CIP_ind]={26.3324} 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)_{Subscript{}}, SESR]={59.1097} dB.

O C/N necessário para a cláusula BBER é:

(C/N)_{Subscript{}}, BBER]={67.4595} dB.

O C/N necessário para a cláusula ESR é:

(C/N)_{Subscript{}}, ESR]={45.6892} dB.

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

(C/N)_{Subscript{}}, chuva]={0.} dB.

O C/N necessário para a cláusula indisponibilidade é:

(C/N)_{Subscript{}}, IND]={26.3324} dB.

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

(C/N)_{Subscript{}}, NECmin]={67.4595} dB.

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

(C/N)_{Subscript{}}, CIP]={70.4577} dB.

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

{2.99817} dB.

A frequência ótima é f=2 GHz (Subscript{M, seg}=2.99817 dB).

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

Anexo C – Troço menor do percurso com repetidor passivo

1. Elementos de Propagação

1.1 Perfil do percurso

1.1.1 Perfil do percurso com Terra plana

O percurso tem uma percentagem de cotas inferiores a 100 m de $\rho_c=38.2813\%$.

A distância total da ligação é de 2.734 km.

1.1.2 Perfil do percurso com Terra esférica

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

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

1.2 Frequência da ligação

Frequência inicial: 2 GHz.

Incremento de frequência: 0 GHz.

A frequência de utilização é $f=2$ GHz.

O comprimento de onda em utilização é $\lambda=0.149896$ m.

1.3 Altura dos mastros das antenas

Altura do mastro de emissão: 10 m.

Altura do mastro de recepção: 10 m.

1.4 Características das antenas

O diâmetro da antena emissora é de 0.6 m, sendo o seu rendimento de $\eta_e=0.5$.

O diâmetro da antena receptora é de 0.6 m, sendo o seu rendimento de $\eta_r=0.5$.

A área física da antena de emissão é $A_{fe}=0.282743$ m², correspondendo a uma área efectiva de $A_{ef,e}=0.141372$ m².

A área física da antena de recepção é $A_{fr}=0.282743$ m², correspondendo a uma área efectiva de $A_{ef,r}=0.141372$ m².

Ganho da antena de emissão:

$G_e=18.9799$ dBi.

Ganho da antena de recepção:

$G_r=18.9799$ dBi.

A atenuação em espaço livre entre antenas é:

$L_0=107.204$ dB.

1.5 Atenuação de obstáculo

O percurso não tem obstáculo.

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

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

1.6 Atenuação atmosférica

Pressão atmosférica: $p = 1013$ milibar.

Temperatura do ambiente: $T = 25$ °C.

Humidade relativa: $H = 85$ %.

Atenuação específica do oxigénio:

$\gamma_{\text{ox}} = \{0.00613408\}$ dB/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:

$\gamma_{\text{va}} = \{0.000612794\}$ dB/km.

Atenuação da atmosfera:

$a_{\text{atmos}} = \{0.0184459\}$ dB.

1.7 Distribuição da 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 $\text{Subscript}[\text{ScriptCapitalI}, \text{máx}] = \{3.36 \cdot 10^{-4}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida à precipitação é $\text{ScriptCapitalI}_{\text{chuva}} = \{3.36 \cdot 10^{-5}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida ao equipamento é $\text{Subscript}[\text{ScriptCapitalI}, \text{equip}] = \{1.344 \cdot 10^{-4}\}$.

A fracção da indisponibilidade devida a outras causas é $\text{Subscript}[\text{ScriptCapitalI}, \text{outros}] = \{1.68 \cdot 10^{-4}\}$.

1.8 Atenuação provocada por hidrometeoritos

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: $\{3.36 \cdot 10^{-5}\}$ %.

Valor de κ à frequência imposta é:

$\kappa = \{1.54 \cdot 10^{-4}\}$.

Valor de α à frequência imposta é:

$\alpha = \{0.963\}$.

O coeficiente de atenuação por unidade de comprimento:

$\gamma = \{0.00563261\}$.

O comprimento eficaz do percurso é $D_{ef}=2.3843$ km.

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

$A_r=\{0.0134298\}$ dB.

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

$a_{chuva}=\{0.019713\}$ dB.

1.9 Atenuação dos guias

Folga dada: 10 m.

O guia elíptico utilizado à frequência de 2 GHz tem a designação EW17.

O guia de emissão tem uma atenuação de:

$A_{ge}=\{0.234\}$ dB.

O guia de recepção tem uma atenuação de:

$A_{gr}=\{0.234\}$ dB.

1.10 Introdução de repetidor passivo

1.10.1 Características do repetidor passivo

Número de repetidores passivos: 0 .

1.10.2 Atenuação de obstáculo

1.11 Desvanecimento rápido

Os calculos seguintes são para uma ligação em raio directo.

Valor de $Subscript[c, 0]$: 6 .

Valor de $Subscript[c, Lat]$: 0 .

Valor de $Subscript[c, Long]$: 3 .

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

Latitude do percurso colocada: $Lat= 42$ [Degree] .

Classificação do percurso: terrestre .

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

O módulo da inclinação da ligação é $Subscript[\epsilon, p]=94.733$ miliradianos.

O parâmetro $Subscript[q, t]$ calculado com um desvanecimento de $\{25\}$ dB, é:

$q_t=\{14.6083\}$.

Ligação total:

A fracção de tempo calculada pelo 2º método da Rec. P.530-8, correspondente à ligação total é:

$PA_2=\{8.26837 \cdot 10^{-11}\}$.

1.12 Reflexões no terreno

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 2 GHz.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 2 GHz é de -11.0694 dB.

1.13 Potência de recepção

A potência de emissão é:

$p_e = \{5.32801\}$ dBW.

Atenuação suplementar colocada: 0 dB.

A potência de recepção, em condições ideais de propagação, dada pela fórmula de Friis é:

$p_r = \{-64.403\}$ dBW.

3. Feixes Hertzianos Digitais

3.1 Sinal digital

Ritmo binário: $\text{Subscript}[f, b] = 8$ Mbits/s.

Largura de banda para a transmissão: $\text{Subscript}[largura, b] = 1.75$ MHz.

Factor de excesso de banda: $\text{Subscript}[\beta] = 0.2$.

O número mínimo de níveis na modulação é de 44.8089 por palavra de código.

3.3 Largura de banda em rádio-frequência

Número de níveis por palavra Largura de banda em RF

Número de níveis por palavra: $m = 64$.

A largura de banda em rádio-frequência é $\text{Subscript}[b, rf] = 1.6$ MHz.

3.4 Tipo de modulação da portadora

Modulação colocada: QAM.

A taxa de erros binária em função da relação $C/\text{Subscript}[N, 0]$ para $a = 2$ e $n^\circ \text{ níveis} = 64$ é $\text{Subscript}[P, \text{ber}] = 7/24 \text{Erfc}[1/7 \sqrt{2^{-(1+C/(10 \text{Subscript}[N, 0]))}} 5^{(C/(10 \text{Subscript}[N, 0]))}]]$.

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

A temperatura vista pelas antenas é de 293 K.

O factor de ruído da ligação é:

$\text{Subscript}[n, f] = \{9.4\}$ dB.

Temperatura observada pela antena: $T = 293$ K.

O ruído térmico é $\text{Subscript}[n, 0] = \{-142.681\}$ dBW.

O ruído aos terminais do desmodulador é:

$\text{Subscript}[n, \text{ruído}] = \{-133.281\}$ dBW.

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

$(C/N \text{Subscript}[, rf]) = \{68.8781\}$ dB.

3.6 Recomendações da ITU

O valor de ber_{SESR} é de 0.0001

O valor de n é de 2000.

O valor de N_b é de 4000.

O valor de r_{ber} é de $1 \cdot 10^{-12}$

3.7 Desvanecimento

Distância da ligação introduzida: 2.734 km.

O factor de ocorrência de desvanecimento profundo é:

$$k_t = \{0.0000136733\}$$

3.8 Margem Uniforme

A relação portadora/ruído correspondente a $\text{Subscript}[ber, \text{SESR}]$ é $(C/N_{\text{Subscript}[]}, \text{SESR}) = \{27.981\}$ dB.

A relação portadora/ruído correspondente a r_{ber} é $(C/N_{\text{Subscript}[]}, r_{ber}) = \{33.7528\}$ dB.

A relação portadora/ruído correspondente a $ber = 10^{-3}$ é $(C/N_{\text{Subscript}[]}, ind) = \{26.2288\}$ dB.

A margem uniforme correspondente a $\text{Subscript}[ber, \text{SESR}]$ é $\text{MuSESR} = \{40.8971\}$ dB.

A margem uniforme correspondente a r_{ber} é $\text{Murber} = \{35.1253\}$ dB.

3.9 Margem Selectiva

Assinatura introduzida: 0.1 MHz.

A margem selectiva é $M_s = 49.0309$ dB.

3.10 Margens críticas

3.10.1 Cláusula SESR

Valor da norma SESR = 0.00016

$f=2$ - Cláusula cumprida, $\text{sesr} = 1.28307 \cdot 10^{-9}$

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula SESR é $(C/N_{\text{Subscript}[]}, \text{CIP_SESR}) = \{17.2985\}$ dB.

3.10.2 Cláusula BBER

Parâmetros $\text{Subscript}[[\text{Alpha}], 1]$ e $\text{Subscript}[[\text{Alpha}], 2]$

Valor da norma BBER = 0.00002

$f=2$ - Cláusula cumprida, $\text{bber} = 4.98013 \cdot 10^{-9}$

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula BBER é $(C/N_{\text{Subscript}[]}, \text{CIP_BBER}) = \{25.5374\}$ dB.

3.10.3 Cláusula ESR

Valor da norma ESR = 0.006

$f=2$ - Cláusula cumprida, $\text{esr} = 8.00213 \cdot 10^{-6}$

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula ESR é $(C/N_{\text{Subscript}[]}, \text{CIP_ESR}) = \{3.94564\}$ dB.

3.10.4 Cláusula SESR devido à chuva

Valor da norma SESR = 0.00016

$f=2$ - Cláusula cumprida, $\text{sesrchuva} = 0$

3.10.5 Cláusula BBER devido à chuva

Parâmetros $\text{Subscript}[[\text{Alpha}], 1]$ e $\text{Subscript}[[\text{Alpha}], 2]$

Valor da norma BBER = 0.00002

f=2 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.*10⁻⁹

3.10.6 Cláusula ESR devido à chuva

Valor da norma ESR = 0.006

f=2 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.*10⁻⁶

3.10.7 Cláusula da indisponibilidade devido à chuva

f=2 - Cláusula cumprida, (C/N)=68.8781 dB; (C/N)_{min}=26.2485 dB

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula da indisponibilidade devido à chuva é (C/N)_{Subscript[]}, CIP_ind]={26.2485} dB.

3.10.8 C/N necessária para cumprimento da ligação

O C/N necessário para a cláusula SESR é:

(C/N)_{Subscript[]}, SESR]={17.2985} dB.

O C/N necessário para a cláusula BBER é:

(C/N)_{Subscript[]}, BBER]={25.5374} dB.

O C/N necessário para a cláusula ESR é:

(C/N)_{Subscript[]}, ESR]={3.94564} dB.

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

(C/N)_{Subscript[]}, chuva]={0.} dB.

O C/N necessário para a cláusula indisponibilidade é:

(C/N)_{Subscript[]}, IND]={26.2485} dB.

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

(C/N)_{Subscript[]}, NECmin]={26.2485} dB.

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

(C/N)_{Subscript[]}, CIP]={68.8781} dB.

A margem de segurança da ligação ((C/N)_{Subscript[]}, CIP)-(C/N)_{Subscript[]}, NECmin) é:

{42.6296} dB.

A frequência ótima é f=2 GHz (Subscript[M, seg]=42.6296 dB).

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