

FEIXER - Programa de Feixes Hertzianos

Comece por abrir a célula à direita, identificada por um parêntesis recto com um pequeno triângulo, fazendo duplo uso sobre este.

I. Introdução

Pretende-se deste programa de análise e projecto de ligações rádio por feixes hertzianos, que o projectista avalie da melhor forma todas as potencialidades que uma transmissão por ondas electromagnéticas lhe pode oferecer.

Dado um percurso, caracterizado pelo perfil, que poderá ter ou não obstáculos e sustentar reflexões na frequência de trabalho, com o equipamento usado, o programa calcula o desempenho dessa ligação.

As ajudas necessárias à execução de uma ligação, serão introduzidas passo a passo, de uma forma natural. Qualquer outra informação mais detalhada sobre o projecto, sobre o qual foi baseado o programa, pode ser consultada em [1].

[1]- Salema, Carlos. "Feixes Hertzianos", IST Press 2ª Edição - Out 2002.

Autores

II. Ficheiro de Entrada

A introdução de um ficheiro de entrada é fundamental para a aquisição dos elementos distância/cota do percurso estabelecido para a ligação.

O ficheiro pode ser escrito em NotePad ou WordPad.

Os elementos escritos de entrada, que são apenas números relativos à distância e cota, terão o seguinte formato:

Distância[km]	Cota[m]	(omite-se esta linha)
0.5	20	(a separação entre os dois elementos é feita com um espaço ou Tab)
1.575	68	
...	...	(o número de elementos admissíveis é infinito)

No caso da ligação ter um ou mais repetidores passivos, a coluna relativa à distância é contínua, ou seja, o percurso comporta vários troços mas a coluna aparenta ser de uma ligação tipo raio directo.

No caso da ligação ter um ou mais repetidores activos, fazem-se à parte, tantos ficheiros de entrada quantos os troços existentes no percurso.

O projecto é iniciado obrigatoriamente pela Introdução, escolha de leitura de ficheiro, podendo ser projectado o feixe digital (3ª secção) sem se ter projectado o feixe analógico (2ª secção).

Não se esqueça que sempre que voltar atrás a actualizar botões, após ter passado por secções que estão à frente dessa, deve actualizar também todas as secções que estão entre estas duas. Por exemplo

ao voltar para a altura dos mastros (secção 1.4), após já ter um valor da potência recebida (secção 1.13), deve passar pelas secções intermédias entre estas, por forma a ter um novo valor de potência. Outra situação também a observar com atenção, é que salvo raras excepções, o Feixer não entra em conta com os limites de validade das equações implícitas ao cálculo da ligação.

As variáveis e respectivos valores que se seguem, são carregados no programa assim que se lê o ficheiro de entrada. Este procedimento, torna a primeira análise do projecto rápida, pois apenas é necessário usar as teclas com **letra a côr amarela** (uso obrigatório) para se ter uma ideia aproximada da margem crítica da ligação. Numa análise mais cuidada, pode eventualmente ser necessário usar as teclas com **letra a branco** de acordo com a sua ligação. Mais uma vez, as secções com **letra a amarelo** são obrigatórias enquanto as com **letra a branco** são opcionais.

Apenas para informação, colocando o cursor na página, que após uso se apresenta com uma linha horizontal, pode-se usar o *Mathematica* como editor de texto ou folha de cálculo.

O procedimento de avaliação das células no *Mathematica* é feito por SHIFT RET.

Se desejar apagar alguma célula, por exemplo uma resposta a um botão, basta tocar no parêntesis recto respectivo e usar a tecla Delete.

Se desejar um ficheiro com as respostas, basta apagar as células com os textos e botões.

1. Elementos de Propagação

1.3.	Frequência inicial, final e incremento	$F_i = 2$, $F_f = 14$, $F_{inc} = 2$ GHz
1.4.	Altura dos mastros de emissão e recepção	$H_e = 30$, $H_r = 30$ m
1.5.	Antena de emissão, diâmetro e rendimento	$d_{e} = 1$ m, $\eta_e = 0.5$
1.5.	Antena de recepção, diâmetro e rendimento	$d_{r} = 1$ m, $\eta_r = 0.5$
1.9.	Pressão atmosférica	$p_a = 1013$ milibar
1.9.	Temperatura da atmosfera	$t_a = 25$ °C
1.9.	Humidade da atmosfera	$H = 85\%$
1.10.	Indisponibilidade, distância da ligação	$d_{lig} = 280$ km
1.10.	Indisponibilidade, percentagem da chuva	$p_{chuva} = 10$ %
1.10.	Indisponibilidade, percentagem do equipamento	$p_{equip} = 40$ %
1.10.	Indisponibilidade, percentagem de outras causas	$p_{outros} = 50$ %
1.10.	Fiabilidade, tempo médio entre avarias do emissor	MTBFemissor = 120 000 h
1.10.	Fiabilidade, tempo médio entre avarias do desmodulador	MTBFdesmodulador = 140 000 h
1.10.	Fiabilidade, tempo médio entre avarias do modulador	MTBFmodulador = 200 000 h
1.10.	Fiabilidade, tempo médio entre avarias do receptor	MTBFreceptor = 200 000 h
1.10.	Tempo para detecção, reparação e reposição da avaria	MTTR = 6 h
1.11.	Intensidade da chuva	$R_{int} = 42$ mm/h
1.12.	Folga dos guias	$folga = 10$ m
1.14.	Desvanecimento---consultar cap. 3.3 [1]	$c_0 = 6$
1.14.	Desvanecimento---consultar cap. 3.3 [1]	$clat = 0$
1.14.	Desvanecimento---consultar cap. 3.3 [1]	$clong = 3$
1.14.	Desvanecimento---consultar cap. 3.3 [1]	$p_L = 20$ %
1.14.	Latitude do percurso	$\eta_{Lat} = 42^\circ$
1.14.	Classificação do percurso	$classif = \text{terrestre}$
1.15.	Diversidade, diâmetro da antena principal	$d_{amp} = \text{diame (antena emissão)}$
1.15.	Diversidade, diâmetro da antena secundária	$d_{ams} = \text{diame (antena emissão)}$

2. Feixes Hertzianos Analógicos

2.1.	Sinal analógico, telefonia múltipla	$n_{canais} = 600$ canais
2.1.	Desvio padrão da potência da voz	$\sigma = 5.8$ dB
2.1.	Índice de actividade	$\tau = 0.25$
2.2.	Telefonia múltipla, frequência máxima em banda de base	$f_{max} = 2.540$ MHz (600 canais)
2.2.	Telefonia múltipla, desvio eficaz de frequência por canal	$\Delta f_{ef} = 0.2$ MHz (600 canais)
2.2.	Telefonia múltipla, largura de banda do canal telefónico	$b_s = 0.004$ MHz
2.2.	Video, frequência máxima de desvio da portadora	$\Delta f_{max} = 4$ MHz
2.2.	Video, frequência máxima em banda de base	$f_{max} = 5.5$ MHz
2.2.	Video, largura de banda do sinal video	$b_s = 5.5$ MHz

2.5. Telefonia múltipla, ponderação	$\text{pond}_t = 3.6 \text{ dB}$
2.5. Telefonia múltipla, acentuação	$\text{acent}_t = 4 \text{ dB}$
2.5. Video, ponderação	$\text{pond}_v = 12.5 \text{ dB}$
2.5. Video, acentuação	$\text{acent}_v = 2.1 \text{ dB}$
2.7. Ruído térmico referente à 1ª cláusula	$\text{ruído}_1 = \frac{3 \text{ dkm}}{2} \text{ pW0p}$
2.7. Ruído térmico referente à 2ª cláusula	$\text{ruído}_2 = 43 \text{ 750 pW0p}$
2.7. Ruído térmico referente à cláusula do corte	$\text{ruído}_{\text{corte}} = 1 \text{ 000 000 pW0}$
2.9. Comprimento da ligação	$d_{\text{comp}} = 50 \text{ km}$
2.11. Diâmetro da antena de emissão otimizado	$\text{diametroe} = 4.572 \text{ m (15 pés)}$
2.11. Diâmetro da antena de recepção otimizado	$\text{diametror} = 4.572 \text{ m (15 pés)}$
2.11. Ângulo de incidência do feixe no espelho plano	$\theta_{\text{incid}} = 40^\circ$
2.11. Rendimento do repetidor tipo espelho plano	$\eta_{\text{esp}} = 0.95$
2.11. Rendimento do repetidor tipo costas-com-costas	$\eta_{\text{costas}} = 0.5$

3. Feixes Hertzianos Digitais

3.1. Ritmo binário	$F_b = 34 \text{ Mbits/s}$
3.1. Largura de banda para transmissão---consultar anexo A [1]	$\text{largurab} = 28 \text{ MHz}$
3.1. Factor de excesso de banda	$\beta = 0.142$
3.3. Número de níveis por palavra	$m = 4$
3.4. Modulação da portadora	$\text{modula} = \text{PSK}$
3.6. Parametro utilizado no cálculo das clausulas	$X = 0.08$
3.6. Cláusula SESR	$\text{SESR} = 0.00016$
3.6. Cláusula BBER	$\text{BBER} = 0.00002$
3.6. Cláusula ESR	$\text{ESR} = 0.006$
3.6. Taxa de erros residual rber	$\text{rber} = 10^{-12}$
3.10. Parâmetro α_1	$\alpha_1 = 10$
3.10. Parâmetro α_2	$\alpha_2 = 1$
3.10. Parâmetro α_3	$\alpha_3 = 1$

Directoria de trabalho

Ficheiro de entrada

Directoria escolhida:

/Users/davidbrito/Desktop/Mestrado/2ºAno/STVR/Projeto/FeixerV313 .

Nome do ficheiro de entrada: percurso2.txt .

Nome da ligação: Setúbal-Queluz .

III. Leitura de parâmetros

Esta versão do Feixer possibilita a leitura de um ficheiro com a configuração de parâmetros de um projecto entretanto realizado e gravado.

Após a leitura deste ficheiro é possível correr o programa ou parte dele, sem que para tal seja necessário voltar a configurar parâmetros.

Não se deve alterar o conteúdo do ficheiro de entrada de modo a não danificar a leitura dos parâmetros.

Caso seja a primeira vez que configura um projecto ou se tenciona correr um de raiz, deve passar pela secção anterior.

Leitura de parâmetros

Visualizar os principais parâmetros

Directoria escolhida: /Users/davidbrito/Desktop .

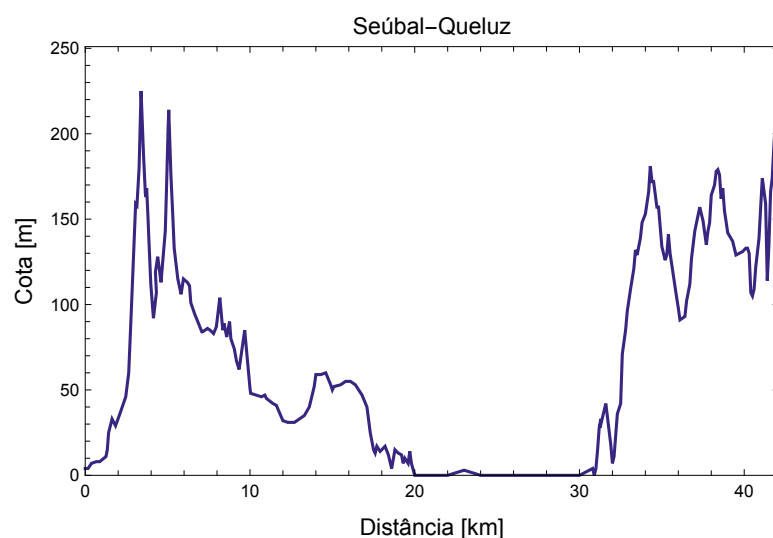
Nome do ficheiro de variáveis : percurso2.txt .

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 $rc=53.2663\%$.

A distância total da ligação é de 42.1 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.

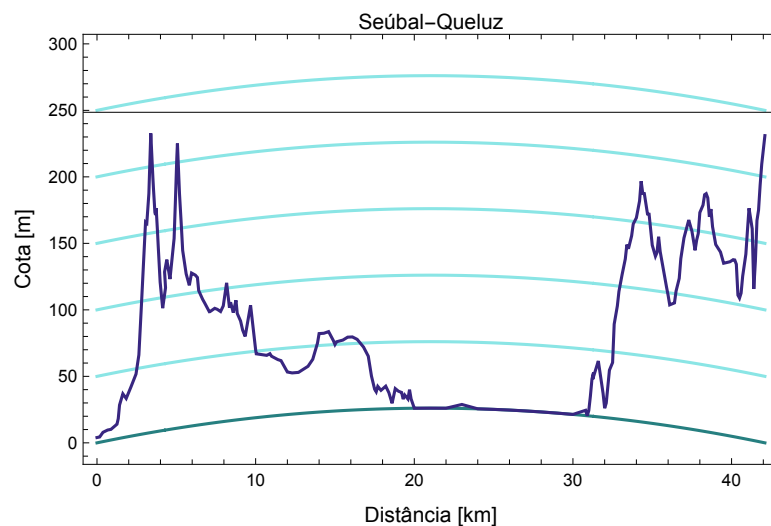
Figura de $K_{\min}(d)$

Condição 1

Condição 2

Condição 3

Condição 4



O coeficiente entre o raio aparente e o real da Terra 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 omissão, 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: 8 GHz.

Incremento de frequência: 1 GHz.

Frequência final: 14 GHz.

São 7 as frequências em utilização:

$f = \{8, 9, 10, 11, 12, 13, 14\}$ GHz.

Os comprimentos de onda em utilização são:

$\lambda = \{0.0374741, 0.0333103, 0.0299792, 0.0272539, 0.0249827, 0.023061, 0.0214137\}$ 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.

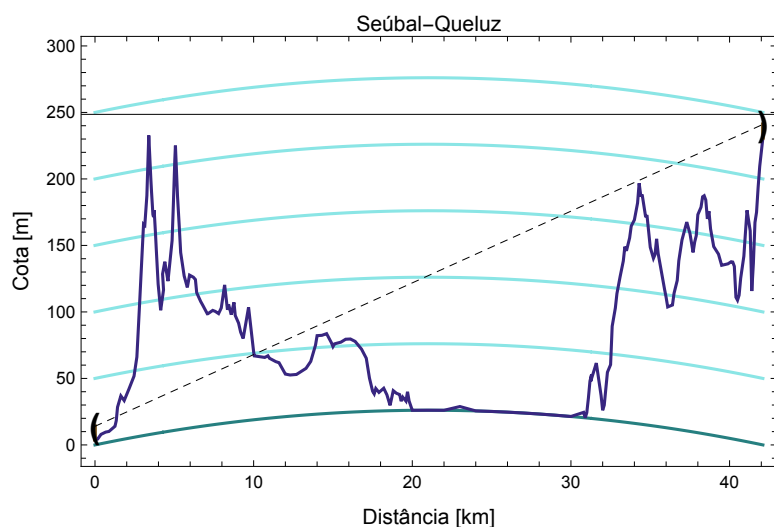
Mastro de emissão

Mastro de recepção

Raio directo

Altura do mastro de emissão: 10 m.

Altura do mastro de recepção: 10 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 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].

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 $\eta_e = 0.55$.

O diâmetro da antena receptora é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de $\eta_r = 0.55$.

A área física da antena de emissão é $a_{fe} = 15.9043$

m^2 , correspondendo a uma área efectiva de $a_{ef_e} = 8.74737 m^2$.

A área física da antena de recepção é $a_{fr} = 15.9043$

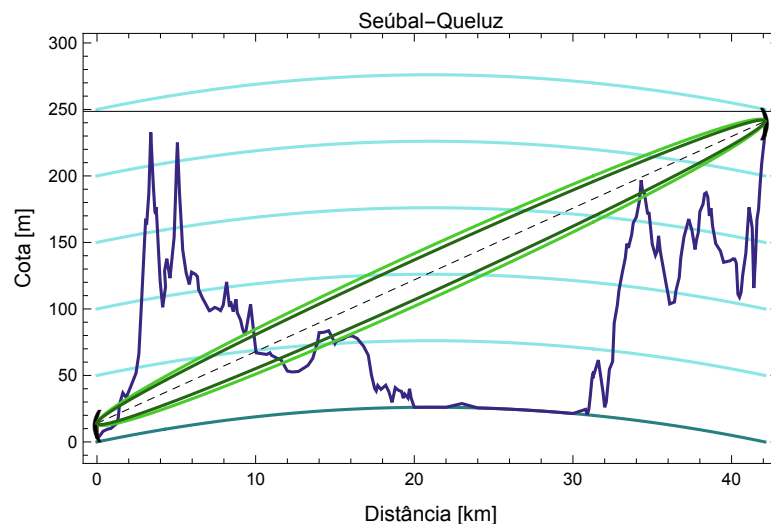
m^2 , correspondendo a uma área efectiva de $a_{ef_r} = 8.74737 m^2$.

Ganho da antena de emissão:

$g_e = \{48.9363, 49.9593, 50.8745, 51.7023, 52.4581, 53.1533, 53.797\}$ dBi.

Ganho da antena de recepção:

$g_r = \{48.9363, 49.9593, 50.8745, 51.7023, 52.4581, 53.1533, 53.797\}$ dBi.



A atenuação em espaço livre entre antenas é:

$L_0 = \{142.995, 144.018, 144.933, 145.761, 146.517, 147.212, 147.856\}$ 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.

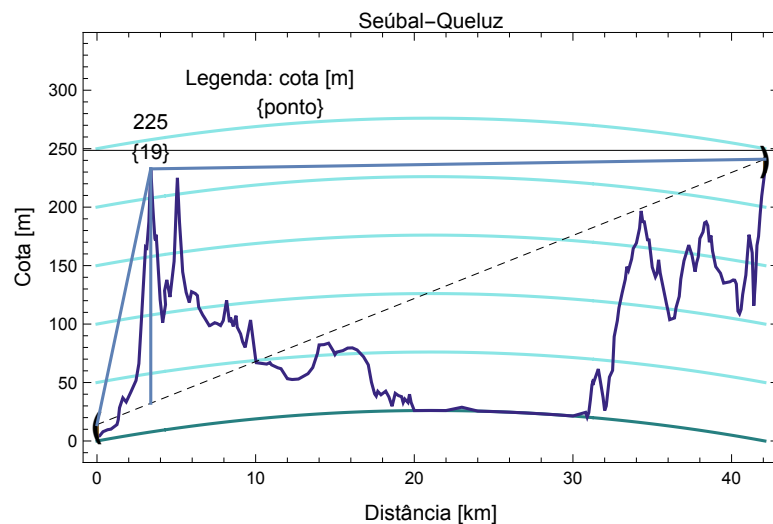
Definição geométrica

Método 1

Método 2

Método 3

Atenuação de obstáculo calculada pelo método 3, entre a antena emissora e receptora:
 $A_{\text{obst}} = \{41.2662, 41.7792, 42.2381, 42.6532, 43.0321, 43.3806, 43.7033\}$ dB.



O obstáculo principal está à distância de 3.39 km, a que corresponde o ponto 19 dos 199 do ficheiro de entrada.

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/m ³]
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:

$$\gamma_{ox} = \{0.00700223, 0.00713234, 0.00728049, 0.00744897, 0.00763999, 0.00785577, 0.00809866\} \frac{\text{dB}}{\text{km}}.$$

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:

$$\gamma_{va} = \{0.0106553, 0.0138802, 0.0177543, 0.0224386, 0.0281731, 0.0353225, 0.0444541\} \frac{\text{dB}}{\text{km}}.$$

Atenuação da atmosfera:

$$a_{atmos} = \{0.743383, 0.884629, 1.05396, 1.25827, 1.50773, 1.8178, 2.21247\} \text{ dB}.$$

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 (d_{km}) 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:

$\kappa = \{ \{3.95 \times 10^{-3}, 6.05396 \times 10^{-3}, 8.87 \times 10^{-3},$
 $1.2386 \times 10^{-2}, 1.68 \times 10^{-2}, 2.15192 \times 10^{-2}, 2.70627 \times 10^{-2}\} \}$.

Valor de α à frequência imposta é:

$\alpha = \{1.31, 1.28572, 1.264, 1.23054, 1.2, 1.17417, 1.15026\}$.

O coeficiente de atenuação por unidade de comprimento:

$\gamma = \{0.528511, 0.739747, 0.999334, 1.23143, 1.49008, 1.73301, 1.99311\}$.

O comprimento eficaz do percurso é Def=12.9201 km.

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

$A_r = \{6.82839, 9.55758, 12.9115, 15.9101, 19.2519, 22.3906, 25.7511\}$ dB.

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

$a_{chuva} = \{10.0231, 14.0291, 18.9522, 23.3537, 28.259, 32.8662, 37.7989\}$ 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:

$\kappa = \{ \{4.54 \times 10^{-3}, 6.92396 \times 10^{-3}, 1.01 \times 10^{-2},$
 $1.39759 \times 10^{-2}, 1.88 \times 10^{-2}, 2.38982 \times 10^{-2}, 2.98432 \times 10^{-2}\} \}$.

Valor de α à frequência imposta é:

$\alpha = \{1.327, 1.30008, 1.276, 1.24516, 1.217, 1.1944, 1.17348\}$.

O coeficiente de atenuação por unidade de comprimento:

$\gamma = \{0.647303, 0.892708, 1.19011, 1.46751, 1.77686, 2.07576, 2.39714\}$.

O comprimento eficaz do percurso é Def=12.9201 km.

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

$A_r = \{8.3632, 11.5338, 15.3763, 18.9603, 22.9571, 26.8189, 30.9712\}$ dB.

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

$a_{chuva} = \{12.276, 16.93, 22.5702, 27.831, 33.6977, 39.3662, 45.4612\}$ dB.

1.9 Atenuação dos guias

Os guias de secção 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.

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

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

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

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

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

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

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

0 guia de emissão tem uma atenuação de:

$A_{ge} = \{1.13, 2.06, 2.12, 2., 2.36, 2.25496, 3.2\}$ dB.

0 guia de recepção tem uma atenuação de:

$A_{gr} = \{1.13, 2.06, 2.12, 2., 2.36, 2.25496, 3.2\}$ 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 projecto. 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

1 ° elipsóide de Fresnel

Número de repetidores passivos: 1 .

O obstáculo principal corresponde ao ponto 19 dos 199 do ficheiro de entrada.

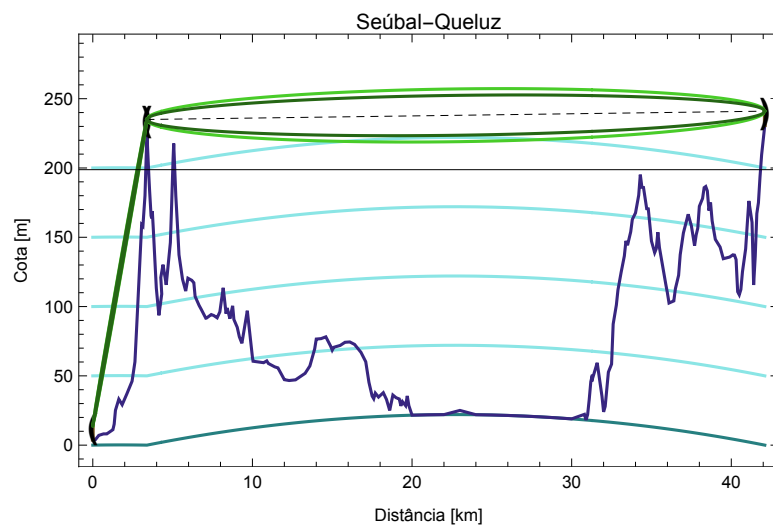
Pontos de implantação física dos repetidores passivos: {19} .

Área efectiva do repetidor passivo: {20} 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:

$d_{min} = \{1080.75, 1215.84, 1350.93, 1486.03, 1621.12, 1756.21, 1891.31\}$ m.

O repetidor 1 está na zona distante para $f = \{8, 9, 10, 11, 12, 13, 14\}$ GHz.

Ganho do repetidor é $g_{rep} =$

$\{104.833, 106.879, 108.709, 110.365, 111.876, 113.267, 114.554\}$ dB.

No troço 1 a atenuação de espaço livre é:

$L_0 = \{121.114, 122.137, 123.052, 123.88, 124.635, 125.331, 125.974\}$ dB.

No troço 2 a atenuação de espaço livre é:

$L_0 = \{142.266, 143.289, 144.204, 145.032, 145.788, 146.483, 147.127\}$ dB.

A atenuação de espaço livre total no percurso é:

$L_0 = \{263.38, 265.426, 267.256, 268.912, 270.423, 271.814, 273.101\}$ 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:

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

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

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

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

$A_{\text{obst}} = \{0., 0., 0., 0., 0., 0., 0.\}$ 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 \mathcal{P}_A

Valor de c_0 : 3.5 .

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: $\eta_{Lat} = 38^\circ$.

Classificação do percurso: terrestre .

O factor geoclimático no mês mais desfavorável, no percurso terrestre é $K = \{3.9858 \times 10^{-7}\}$.

Troço 1 da ligação:

O módulo da inclinação é $\epsilon_p = 65.1917$ miliradianos.

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

$q_t = \{11.9475, 11.8575, 11.7771, 11.7043, 11.6378, 11.5767, 11.52\}$.

A fracção de tempo calculada pelo 2º método da Rec. P.530-8 é:

$PA2 = \left\{ \left\{ 1.83594 \times 10^{-9}, 2.03885 \times 10^{-9}, 2.23928 \times 10^{-9}, 2.43752 \times 10^{-9}, 2.63378 \times 10^{-9}, 2.82825 \times 10^{-9}, 3.02108 \times 10^{-9} \right\} \right\}$.

Troço 2 da ligação:

O módulo da inclinação é $\epsilon_p = 0.154999$ miliradianos.

O parâmetro q_t calculado com um desvanecimento de $\{35, 35, 35, 35, 35, 35, 35\}$ dB, é:

$q_t = \{-0.332464, -0.426433, -0.510493, -0.586536, -0.655959, -0.719823, -0.778953\}$.

A fracção de tempo calculada pelo 2º método da Rec. P.530-8 é:

$PA2 = \left\{ \left\{ 3.41047 \times 10^{-4}, 3.78739 \times 10^{-4}, 4.15972 \times 10^{-4}, 4.52797 \times 10^{-4}, 4.89255 \times 10^{-4}, 5.2538 \times 10^{-4}, 5.61201 \times 10^{-4} \right\} \right\}$.

Ligação total:

A fracção de tempo calculada pelo 2º

método da Rec. P.530-8, correspondente à ligação total é:

$PA2 = \left\{ \left\{ 3.41049 \times 10^{-4}, 3.78741 \times 10^{-4}, 4.15974 \times 10^{-4}, 4.528 \times 10^{-4}, 4.89258 \times 10^{-4}, 5.25383 \times 10^{-4}, 5.61204 \times 10^{-4} \right\} \right\}$.

1.12 Reflexões no terreno

Esta secção pretende mostrar os possíveis troços 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 troço a troço. 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 troço. O formato é o seguinte:

1 único troço na ligação; $\{\{ 1, \text{ponto final}, s \}\}$

2 troços na ligação; $\{\{ 1, \text{ponto intermédio}, s_1 \}, \{ \text{ponto intermédio}, \text{ponto final}, s_2 \}\}$

Os pontos dos troços, estão no ficheiro de entrada.

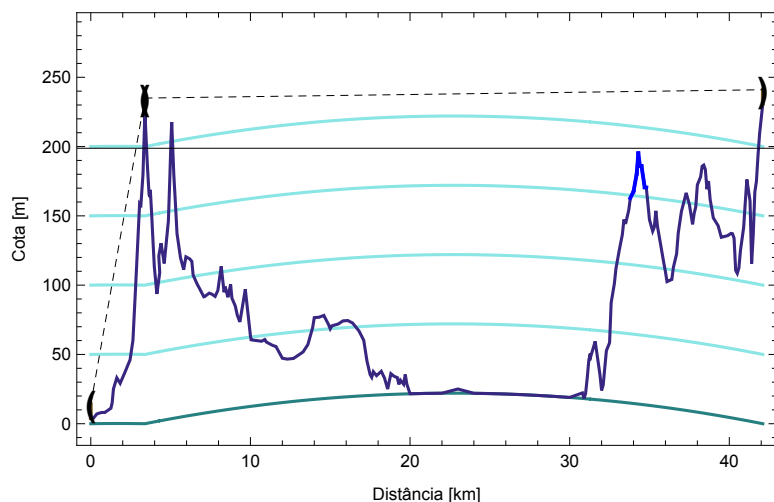
Pode observar-se a **côr vermelha** os troços com reflexões na figura apresentada pelo primeiro botão. A **côr azul** visualiza-se a área iluminada por duas antenas não simultaneamente.

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 8 GHz.



O valor de s para o troço definido entre os pontos 1 e 199 é 0.01 .

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

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

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

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

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

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

O valor da relação $\frac{ps}{pd}$ para a frequência de 14 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, $\rho_{\min} \leq \frac{2 \times D_{\text{ant}}^2}{\lambda}$. 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:

$p_e = \{-3.84738, -4.46121, -5.0103, -5.50701, -5.96047, -6.37762, -6.76384\}$ dBW.

Atenuação suplementar colocada: 0 dB.

A potência de recepção, em condições

ideais de propagação, dada pela fórmula de Friis é:

$p_r = \{-67.5251, -68.094, -67.1022, -65.9075, -65.8188, -64.9455, -66.3291\}$ dBW.

2. Feixes Hertzianos Analógicos

Telefonia múltipla

Video

2.1 Largura de banda em rádiofrequência

Telefonia múltipla por divisão na frequência:

As características preferidas para os sinais de telefonia múltipla por divisão na frequência, onde se observam as frequências máximas do sinal em banda de base $f_{\text{máx}}$, são dados na tabela 4.1, capítulo 4.2.2 de [1].

Para sinais de telefonia múltipla por divisão na frequência, o desvio eficaz de frequência por canal Δf_{ef} para um sinal de 1 mW a 800 Hz, no ponto de nível zero, é dado na tabela 4.5, capítulo 4.3 de [1].

Video:

Em sistemas novos, a ITU-R recomenda a utilização de 525 ou 625 linhas, com a adopção das normas NTSC, PAL ou SECAM para televisão a cores.

Nos pontos de junção video, cuja impedância deverá ser de 75 Ohm assimétrica (em relação à Terra) ou 124 Ohm simétrica, a amplitude nominal do sinal aqui definida como amplitude pico-a-pico nominal da componente monocromática (sinal resultante da soma dos sinais de sincronismo mais o sinal de luminância) é de 1 Volt.

A largura de banda nominal do sinal de video varia, para os sistemas usuais, entre 5 e 6 MHz.

Nota: A largura de banda calculada é a de Nyquist, não a largura de banda ocupada na realidade.

Características do sinal

Largura de Banda

2.2 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.

Os valores de tempo médio entre avarias referem-se ao equipamento digital.

MTBF / MTTR

Fiabilidade base

Canal de reserva

2.3 Relação portadora/ruído em rádiofrequência (condições ideais de propagação)

A temperatura vista pelas antenas é de 293 K.

Factor de ruído

Relação portadora/ruído em RF

2.4 Relação sinal/ruído em baixa frequência (cip)

Telefonia múltipla:

Consultar o capítulo 4.5 e tabela 4.9 [1].

Vídeo:

Alteração da relação sinal/ruído térmico pela introdução da acentuação e desacentuação recomendadas, capítulo 4.4.5 e tabela 4.8 de [1].

Potência de ruído à saída do circuito de ponderação supondo à entrada uma potência de ruído de 0 dBm, capítulo 4.5 e tabela 4.12 de [1].

As expressões apresentadas para a relação sinal/ruído consideram que o sinal modulante é sinusoidal com uma amplitude tal que conduz ao desvio máximo da portadora. No caso da televisão, nos pontos de junção vídeo, o sinal modulante com amplitude pico a pico de 1 Volt produz o desvio máximo de 6 dB.

Influência do ruído no sinal

Relação sinal/ruído em BF

2.5 Recomendações da ITU-R

Ruído admissível em circuitos reais (capítulo 4.11 de [1]):

A potência de ruído psfométrico média durante 1 minuto, no ponto de nível zero, no canal telefónico mais desfavorável de uma ligação por feixes hertzianos, em linha de vista, com multiplexagem por divisão na frequência, não deve exceder os limites,

. Nas ligações de comprimento d (em km), entre 280 e 2500 km, não muito diferentes do circuito fictício de referência:

1ªCláusula, $3d$ pW0p, durante mais de 20% do tempo do pior mês.

2ªCláusula, $47\,500$ pW0p, durante mais de $\left(\frac{d}{2500}\right) \times 0.1\%$ do tempo do pior mês.

. Nas ligações que difiram notavelmente do circuito fictício de referência:

- para $50 \leq d \leq 840$,

1ªCláusula, $3d + 200$ pW0p, durante mais de 20% do tempo do pior mês.

2ªCláusula, $47\,500$ pW0p, durante mais de $\left(\frac{280}{2500}\right) \times 0.1\%$ do tempo do pior mês, quando

$d < 280$, ou $\left(\frac{d}{2500}\right) \times 0.1\%$ do tempo do pior mês, quando $d > 280$ km.

- para $840 \leq d \leq 1670$,

1ªCláusula, $3d + 400$ pW0p, durante mais de 20% do tempo do pior mês.

2ªCláusula, $47\,500$ pW0p, durante mais de $\left(\frac{d}{2500}\right) \times 0.1\%$ do tempo do pior mês .

- para $1670 \leq d \leq 2500$,

1ªCláusula, $3d + 600$ pW0p, durante mais de 20% do tempo do pior mês.

2ªCláusula, $47\,500$ pW0p, durante mais de $\left(\frac{280}{2500}\right) \times 0.1\%$ do tempo do pior mês.

Para ligações estabelecidas sobre feixes hertzianos transorizonte, a potência de ruído psfométrico

média durante 1 minuto, no ponto de nível zero, no canal telefónico mais desfavorável, não deve exceder os limites,

1ªCláusula, 10d pW0p, durante mais de 20% do tempo do pior mês (d em km).

2ªCláusula, 63 000 pW0p, durante mais de $\left(\frac{d}{2500}\right) \times 0.5\%$ do tempo do pior mês.

Cláusulas a cumprir (capítulo 4.10 de [1]):

Sinal Telefónico: a potência de ruído, no ponto de nível zero, no canal mais desfavorável não deve ultrapassar,

1ªCláusula, 7500 pW0p, de potência psofométrica média durante 1 minuto, durante mais de 20% do tempo do pior mês.

2ªCláusula, 47500 pW0p, de potência psofométrica média durante 1 minuto, durante mais de 0.1% do tempo do pior mês.

Cláusula da chuva, 1 000 000 pW0p, de potência não ponderada com tempo de integração de 5ms, durante mais de 0.01% do pior mês.

Sinal de Televisão: a relação entre a amplitude nominal do sinal de luminância e o valor quadrático médio do ruído ponderado, não deve ser inferior,

1ªCláusula, 57 dB, durante mais de 20% do tempo do pior mês.

2ªCláusula, 45 dB, durante mais de 0.1% do tempo do pior mês.

2.6 Distribuição de ruído térmico

Ruído térmico da 1ª cláusula

Ruído térmico da 2ª cláusula

Ruído térmico da cláusula do corte

Distribuição

2.7 Ruído de intermodulação

2.7.1. Ruído de intermodulação devido à desadaptação antena-guia de ondas

O gráfico do ruído de intermodulação devido à desadaptação antena-guia de ondas, observa-se também na figura 4.9 do capítulo 4.6 [1].

Ruído de intermodulação

Gráfico do ruído de intermodulação

2.7.2. Ruído de intermodulação disponibilizado / Relação de onda estacionária

O Feixer oferece a possibilidade do cálculo do ruído de intermodulação disponibilizado, por entrada do valor da relação de onda estacionária (VSWR) ou o oposto, o cálculo da VSWR por entrada do valor disponibilizado de ruído de intermodulação.

Ruído de intermodulação dando VSWR

VSWR dando o ruído de intermodulação

2.8 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

Desvanecimento da ligação

2.9 Margens críticas

2.9.1. Margens críticas

Margens críticas

2.9.2. Dimensões do repetidor passivo

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

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

Um repetidor passivo tipo espelho plano pode ter dimensões até 35 m^2 (é pouco razoável subir esta área devido à complexidade da montagem e aos custos inerentes).

Atenção: Não se esqueça que a solução otimizada de uma ligação, quanto ao diâmetro das antenas, sejam elas terminais ou repetidoras, é realmente ótima quando todas elas têm o mesmo diâmetro.

Redimensionamento das antenas terminais

Área efectiva do repetidor

2.10 Margens críticas com diversidade

2.10.1. 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 Feixer 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

2.10.2. Margens críticas

Margens críticas

2.10.3. Dimensões do repetidor passivo

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

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

Um repetidor passivo tipo espelho plano pode ter dimensões até 35 m^2 (é pouco razoável subir esta área devido à complexidade da montagem e aos custos inerentes).

Atenção: Não se esqueça que a solução otimizada de uma ligação, quanto ao diâmetro das antenas, sejam elas terminais ou repetidoras, é realmente ótima quando todas elas têm o mesmo diâmetro.

Redimensionamento das antenas terminais

Área efectiva do repetidor

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 plesiócronicas (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: $f_b = 34 \text{ Mbits/s}$.

Largura de banda para a transmissão: $\text{largura}_b = \{29.65, 28, 40, 28, 29.65, 28, 28\} \text{ MHz}$.

Factor de excesso de banda: $\beta = 0.1$.

O número mínimo de níveis na modulação é de

$\{2.39725, 2.524, 1.91189, 2.524, 2.39725, 2.524, 2.524\}$ 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

Fiabilidade base

Canal de reserva

- 0 tempo médio entre avarias do emissor: $MTBF_{emissor} = \{120000\}$ h .
- 0 tempo médio entre avarias do desmodulador: $MTBF_{desmodulador} = \{140000\}$ h .
- 0 tempo médio entre avarias do modulador: $MTBF_{modulador} = \{200000\}$ h .
- 0 tempo médio entre avarias do receptor: $MTBF_{receptor} = \{200000\}$ h .
- 0 tempo médio para detecção, reparação e reposição de uma avaria: $MTTR = \{6\}$ h .

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

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

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

- 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).

- 0 número de elementos de reserva: 1 .
- 0 número de elementos de serviço em paralelo: 1 .
- 0 tempo médio entre avarias do comutador 1+1: $MTBF_{comutador1} = \{90000\}$ h .

Tempo médio entre avarias dos comutadores, numa ligação bidireccional: $MTBF_{comut} = 45000$ h .

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

Tempo médio entre avarias da ligação: $MTBF_{bir} = 44968.5$ h .

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

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: $m = \{4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4\}$.

A largura de banda em rádio-frequência é $b_{rf} = \{18.7, 18.7, 18.7, 18.7, 18.7, 18.7, 18.7, 18.7\}$ 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: QAM .

A taxa de erros binária em função da relação $\frac{C}{N_0}$ para a f = 8 e nº níveis = 4 é $P_{ber} = \frac{1}{2} \text{Erfc} \left[\sqrt{2^{-1 + \frac{C}{10 N_0}} \times 5 \frac{C}{10 N_0}} \right]$.

A taxa de erros binária em função da relação $\frac{C}{N_0}$ para a f = 9 e nº níveis = 4 é $P_{ber} = \frac{1}{2} \text{Erfc} \left[\sqrt{2^{-1 + \frac{C}{10 N_0}} \times 5 \frac{C}{10 N_0}} \right]$.

A taxa de erros binária em função da relação $\frac{C}{N_0}$ para a f = 10 e nº níveis = 4 é $P_{ber} = \frac{1}{2} \text{Erfc} \left[\sqrt{2^{-1 + \frac{C}{10 N_0}} \times 5 \frac{C}{10 N_0}} \right]$.

A taxa de erros binária em função da relação $\frac{C}{N_0}$ para a f = 11 e nº níveis = 4 é $P_{ber} = \frac{1}{2} \text{Erfc} \left[\sqrt{2^{-1 + \frac{C}{10 N_0}} \times 5 \frac{C}{10 N_0}} \right]$.

A taxa de erros binária em função da relação $\frac{C}{N_0}$ para a f = 12 e nº níveis = 4 é $P_{ber} = \frac{1}{2} \text{Erfc} \left[\sqrt{2^{-1 + \frac{C}{10 N_0}} \times 5 \frac{C}{10 N_0}} \right]$.

A taxa de erros binária em função da relação $\frac{C}{N_0}$ para a f = 13 e nº níveis = 4 é $P_{ber} = \frac{1}{2} \text{Erfc} \left[\sqrt{2^{-1 + \frac{C}{10 N_0}} \times 5 \frac{C}{10 N_0}} \right]$.

A taxa de erros binária em função da relação $\frac{C}{N_0}$ para a f = 14 e nº níveis = 4 é $P_{ber} = \frac{1}{2} \text{Erfc} \left[\sqrt{2^{-1 + \frac{C}{10 N_0}} \times 5 \frac{C}{10 N_0}} \right]$.

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:

$n_f = \{8.8, 8.9, 9., 9.1, 9.2, 9.3, 9.4\}$ dB.

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

O ruído térmico é $n_0 =$

$\{-131.626, -131.626, -131.626, -131.626, -131.626, -131.626, -131.626\}$ dBW.

O ruído aos terminais do desmodulador é:

$n_{ruído} = \{-122.826, -122.726, -122.626, -122.526, -122.426, -122.326, -122.226\}$ dBW.

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

$\left(\frac{C}{N}\right)_{rf} = \{55.3009, 54.6319, 55.5238, 56.6185, 56.6071, 57.3805, 55.8969\}$ 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	140×000	2.1×10^{-5}	8000	18 792
STM - 1	155×000	2.3×10^{-5}	8000	19 440

Parâmetros de qualidade

rber

Cálculos auxiliares

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 0.00002

O valor de ESR é de 0.00600

O valor de ber_{SESR} é de 0.00007

O valor de n é de 8000.

O valor de Nb é de 6120.

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

Desvanecimento da ligação

Distância da ligação introduzida: 42.1 km.

O factor de ocorrência de desvanecimento profundo é:

$kt=\{ 1.78479, 1.98204, 2.17689, 2.36960, 2.56040, 2.74945, 2.93691\}$

3.8 Margem Uniforme

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

Margem uniforme

A relação portadora/ruído correspondente a ber_{SESR} é $\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{SESR}} =$
 $\{11.6559, 11.6559, 11.6559, 11.6559, 11.6559, 11.6559, 11.6559\}$ dB.

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

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

A margem uniforme correspondente a ber_{SESR} é $\text{MuSESR} =$
 $\{43.645, 42.976, 43.8679, 44.9626, 44.9512, 45.7245, 44.241\}$ dB.

A margem uniforme correspondente a rber é $\text{Murber} =$
 $\{38.3563, 37.6873, 38.5792, 39.6739, 39.6625, 40.4358, 38.9523\}$ 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 $\text{mniveis} \leq 64$
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].

Igualação adaptativa

Método 1

Método 2

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

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

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

A margem selectiva é $\text{Ms} =$
 $\{60.6489, 60.8146, 60.9662, 61.1063, 61.2367, 61.359, 61.4742\}$ dB.

3.10 Margens críticas

3.10.1 Cláusula SESR

SESR

Valor da norma SESR = 0.00016

f=8 - Cláusula cumprida, sesr=0.0000786432

f=9 - Cláusula cumprida, sesr=0.000101531

f=10 - Cláusula cumprida, sesr=0.0000910832

f=11 - Cláusula cumprida, sesr=0.0000774188

f=12 - Cláusula cumprida, sesr=0.000083808

f=13 - Cláusula cumprida, sesr=0.0000755962

f=14 - Cláusula cumprida, sesr=0.000112702

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

{52.1725, 52.6307, 53.0407, 53.4116, 53.7504, 54.0621, 54.3508} dB.

3.10.2 Cláusula BBER

Parâmetros α_1 e α_2

BBER

Valor da norma BBER = 0.000016

f=8 - Cláusula não cumprida, bber=0.0000604388

f=9 - Cláusula não cumprida, bber=0.0000781931

f=10 - Cláusula não cumprida, bber=0.0000700166

f=11 - Cláusula não cumprida, bber=0.0000593397

f=12 - Cláusula não cumprida, bber=0.000064267

f=13 - Cláusula não cumprida, bber=0.0000578364

f=14 - Cláusula não cumprida, bber=0.0000866651

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

{61.162, 61.6254, 62.0402, 62.4157, 62.7588, 63.0745, 63.367} dB.

3.10.3 Cláusula ESR

ESR

Valor da norma ESR = 0.006

f=8 - Cláusula cumprida, esr=0.000192463

f=9 - Cláusula cumprida, esr=0.000234449

f=10 - Cláusula cumprida, esr=0.000215188

f=11 - Cláusula cumprida, esr=0.000190018

f=12 - Cláusula cumprida, esr=0.0002017

f=13 - Cláusula cumprida, esr=0.000186556

f=14 - Cláusula cumprida, esr=0.000254683

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

{39.0693, 39.5246, 39.932, 40.3004, 40.6368, 40.9463, 41.2328} 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=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.

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=8 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

f=9 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

f=10 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

f=11 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

f=12 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

f=13 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

f=14 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

3.10.6 Cláusula ESR devido à chuva

ESR devido à chuva

Valor da norma ESR = 0.006

f=8 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

f=9 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

f=10 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

f=11 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

f=12 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

f=13 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

f=14 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

3.10.7 Cláusula da indisponibilidade devido à chuva

Indisponibilidade devido à chuva

f=8 - Cláusula cumprida, $(C/N)=55.3009$ dB; $(C/N)_{\min}=22.0758$ dB

f=9 - Cláusula cumprida, $(C/N)=54.6319$ dB; $(C/N)_{\min}=26.7298$ dB

f=10 - Cláusula cumprida, $(C/N)=55.5238$ dB; $(C/N)_{\min}=32.37$ dB

f=11 - Cláusula cumprida, $(C/N)=56.6185$ dB; $(C/N)_{\min}=37.6308$ dB

f=12 - Cláusula cumprida, $(C/N)=56.6071$ dB; $(C/N)_{\min}=43.4975$ dB

f=13 - Cláusula cumprida, $(C/N)=57.3805$ dB; $(C/N)_{\min}=49.1661$ dB

f=14 - Cláusula cumprida, $(C/N)=55.8969$ dB; $(C/N)_{\min}=55.2611$ dB

A relação portadora/ruído necessária para cumprir

a cláusula da indisponibilidade devido à chuva é $\left(\frac{C}{N}\right)_{CIP_ind=}$

$\{22.0758, 26.7298, 32.37, 37.6308, 43.4975, 49.1661, 55.2611\}$ dB.

3.10.8 C/N necessária para comprimento da ligação

C/N necessária para cumprir as recomendações

O C/N necessário para a cláusula SESR é:

$(C/N)_{SESR} = \{52.1725, 52.6307, 53.0407, 53.4116, 53.7504, 54.0621, 54.3508\}$ dB.

O C/N necessário para a cláusula BBER é:

$(C/N)_{BBER} = \{61.162, 61.6254, 62.0402, 62.4157, 62.7588, 63.0745, 63.367\}$ dB.

O C/N necessário para a cláusula ESR é:

$(C/N)_{ESR} = \{39.0693, 39.5246, 39.932, 40.3004, 40.6368, 40.9463, 41.2328\}$ dB.

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

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

O C/N necessário para a cláusula indisponibilidade é:

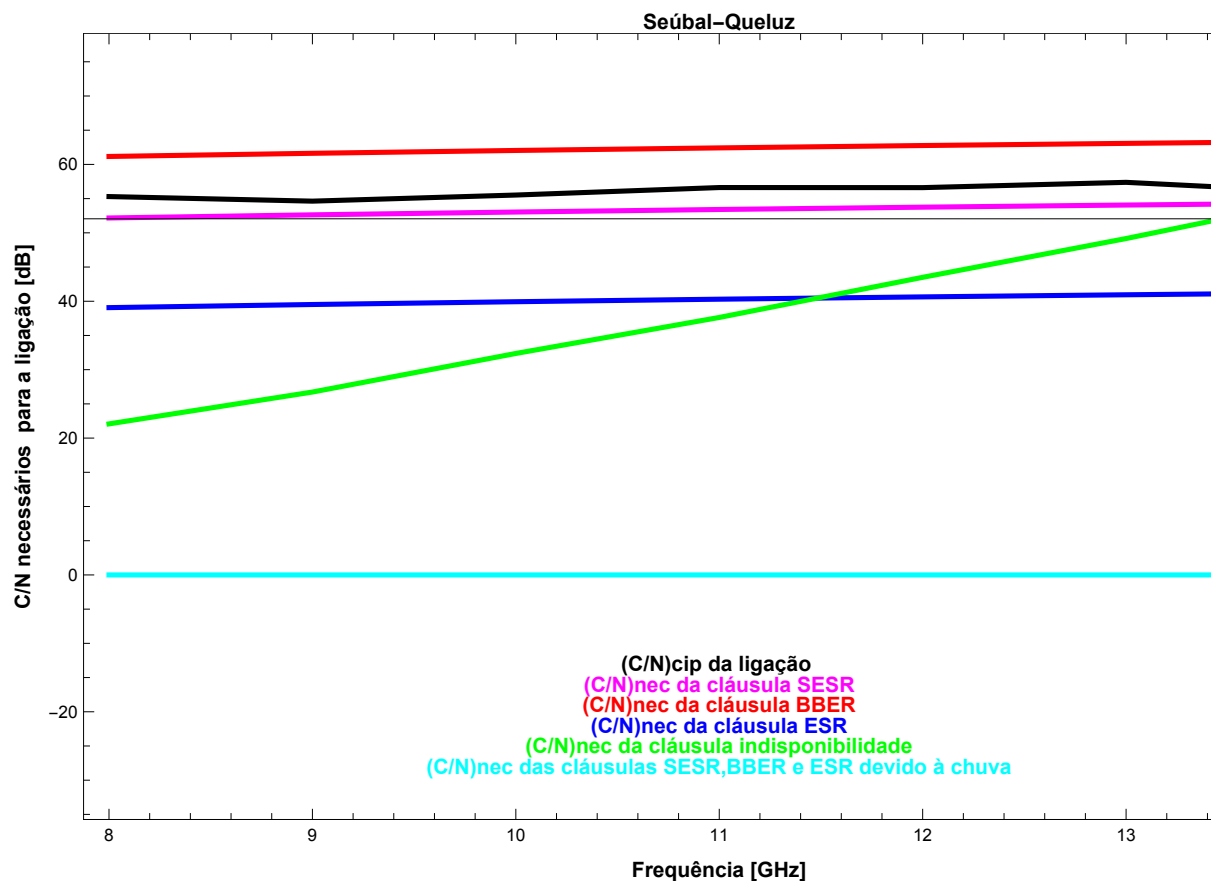
$(C/N)_{IND} = \{22.0758, 26.7298, 32.37, 37.6308, 43.4975, 49.1661, 55.2611\}$ dB.

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

$(C/N)_{NECmin} = \{61.162, 61.6254, 62.0402, 62.4157, 62.7588, 63.0745, 63.367\}$ dB.

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

$(C/N)_{CIP} = \{55.3009, 54.6319, 55.5238, 56.6185, 56.6071, 57.3805, 55.8969\}$ dB.



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

$\{-5.86112, -6.99343, -6.51637, -5.7972, -6.15163, -5.69405, -7.47014\}$ dB.

A frequência ótima é $f=13$ GHz ($M_{seg}=-5.69405$ dB).

Não é possível cumprir as recomendações da ITU para as frequência 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: $(10\log[\text{SESR}/\text{sesr}])$
 $m_{\text{SESR}} = \{7.10253, 4.54812, 5.634, 7.25944, 6.46645, 7.49768, 3.5043\}$ dB.

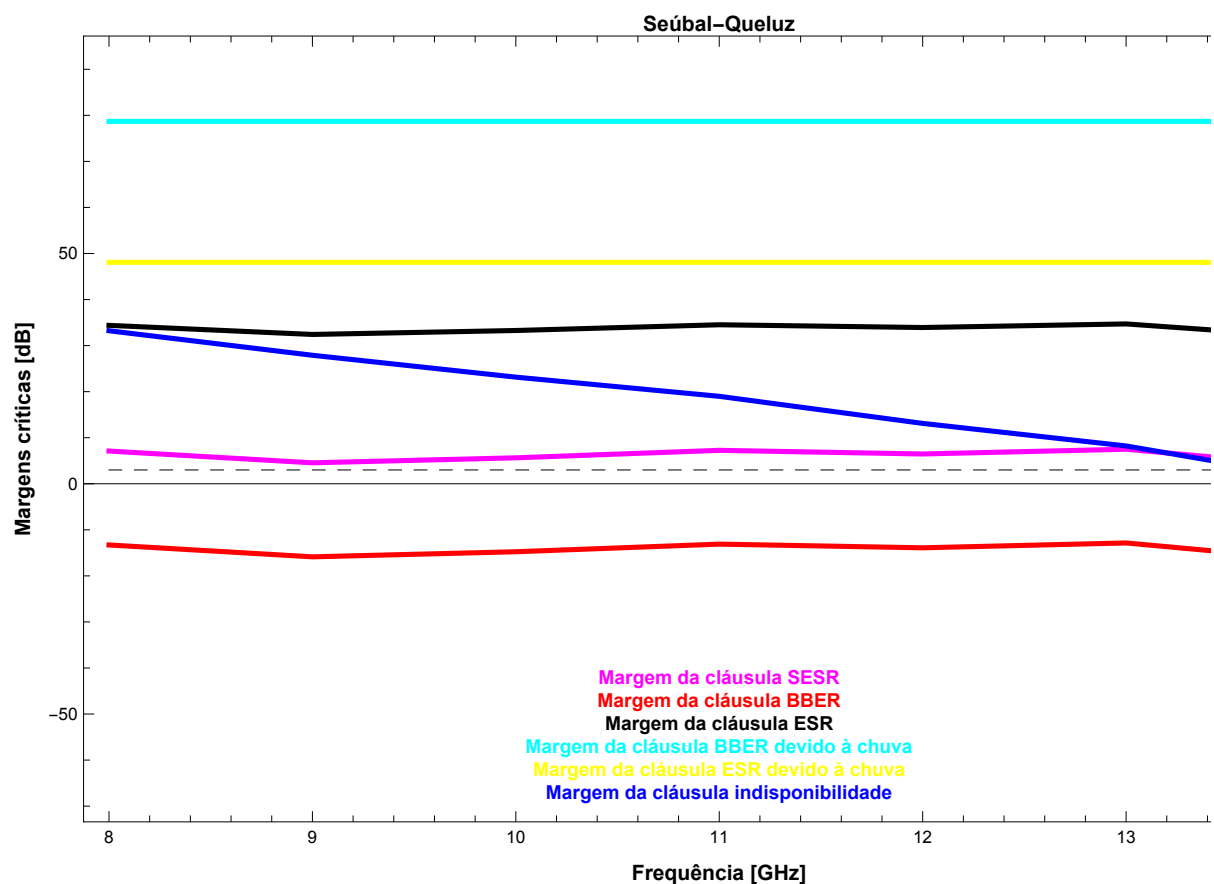
A margem crítica para a cláusula BBER é:
 $m_{\text{BBER}} = \{-13.2904, -15.8659, -14.7614, -13.1069, -13.9046, -12.8503, -16.8946\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula ESR é:
 $m_{\text{ESR}} = \{34.3961, 32.4228, 33.28, 34.5239, 33.9273, 34.7078, 31.5949\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula BBER devido à chuva é:
 $m_{\text{BBERCH}} = \{78.6878, 78.6878, 78.6878, 78.6878, 78.6878, 78.6878, 78.6878\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula ESR devido à chuva é:
 $m_{\text{ESRCH}} = \{48.0851, 48.0851, 48.0851, 48.0851, 48.0851, 48.0851, 48.0851\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula indisponibilidade é:
 $m_{\text{IND}} = \{33.2251, 27.9021, 23.1538, 18.9877, 13.1096, 8.21441, 0.635829\}$ dB.



A margem crítica da ligação é:
 $\{-13.2904, -15.8659, -14.7614, -13.1069, -13.9046, -12.8503, -16.8946\}$ dB.

A frequência ótima é $f=13$ GHz ($M_{\text{crit}}=-12.8503$ dB).

3.11 Dimensões do repetidor passivo

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

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

Um repetidor passivo tipo espelho plano pode ter dimensões até 35 m^2 (é pouco razoável subir esta área devido à complexidade da montagem e aos custos inerentes).

Atenção: Não se esqueça que a solução otimizada de uma ligação, quanto ao diâmetro das antenas, sejam elas terminais ou repetidoras, é realmente ótima quando todas elas têm o mesmo diâmetro.

Redimensionamento das antenas terminais

Área efectiva do repetidor

Diâmetro optimizado da antena emissora: 3 m.

Diâmetro optimizado da antena receptora: 3 m.

Para $f=8$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 124.816 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 $f=9$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 142.195 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 $f=10$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 134.596 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 $f=11$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 123.9 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 $f=12$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 129.061 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 $f=13$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 122.438 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 $f=14$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 150.217 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

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

ATENÇÃO: Caso deseje alterar as características das antenas terminais e do repetidor, deverá voltar às secções 1.4 e 1.10.

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 Feixer 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

Distância entre o centro das antenas: $D_c = 10$ m.

O diâmetro da antena principal é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de $\eta_p = 0.55$.

O diâmetro da antena secundária é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de $\eta_s = 0.55$.

Ganho da antena principal: $g_p =$

{48.9363, 49.9593, 50.8745, 51.7023, 52.4581, 53.1533, 53.797} dB.

Ganho da antena secundária: $g_s =$

{48.9363, 49.9593, 50.8745, 51.7023, 52.4581, 53.1533, 53.797} dB.

O factor de melhoria da margem real

ber_{SES} , devido à utilização de diversidade na espaço é:

$idiv_{berSES} = \{143.856, 109.444, 120.049, 139.191, 126.876, 138.94, 92.1408\}$

O factor de melhoria da margem

real $rber$, devido à utilização de diversidade na espaço é:

$idiv_{rber} = \{43.1593, 32.7565, 36.0062, 41.8849, 38.1586, 41.8956, 27.6245\}$

O factor de melhoria da margem

selectiva, devido à utilização de diversidade na espaço é:

$idiv_{ms} = \{200, 200, 200, 200, 200, 200, 200\}$

3.12.2 Margem selectiva

Igualação adaptativa

Método 1

Método 2

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

A margem selectiva é $M_s =$

{83.6592, 83.8249, 83.9765, 84.1166, 84.247, 84.3693, 84.4845} dB.

3.12.3 Cláusula SESR

SESR c/ diversidade

Valor da norma SESR = 0.00016

f=8 - Cláusula cumprida, $sesr = 5.25625 \times 10^{-7}$

f=9 - Cláusula cumprida, $sesr = 8.98064 \times 10^{-7}$

f=10 - Cláusula cumprida, $sesr = 7.30107 \times 10^{-7}$

f=11 - Cláusula cumprida, $sesr = 5.30255 \times 10^{-7}$

f=12 - Cláusula cumprida, $sesr = 6.3069 \times 10^{-7}$

f=13 - Cláusula cumprida, $sesr = 5.15674 \times 10^{-7}$

f=14 - Cláusula cumprida, $sesr = 1.17839 \times 10^{-6}$

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

{42.8833, 43.3775, 43.8198, 44.2198, 44.5851, 44.9212, 45.2324} dB.

3.12.4 Cláusula BBER

Parâmetros α_1 e α_2

BBER c/ diversidade

Valor da norma BBER = 0.000016

f=8 - Cláusula cumprida, bber= 8.87886×10^{-7}

f=9 - Cláusula cumprida, bber= 1.51269×10^{-6}

f=10 - Cláusula cumprida, bber= 1.23092×10^{-6}

f=11 - Cláusula cumprida, bber= 8.9564×10^{-7}

f=12 - Cláusula cumprida, bber= 1.06413×10^{-6}

f=13 - Cláusula cumprida, bber= 8.71171×10^{-7}

f=14 - Cláusula cumprida, bber= 1.98294×10^{-6}

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula BBER é $\left(\frac{C}{N}\right)_{CIP_BBER} =$
 $\{49.0077, 49.502, 49.9442, 50.3443, 50.7095, 51.0456, 51.3568\}$ dB.

3.12.5 Cláusula ESR

ESR c/ diversidade

Valor da norma ESR = 0.006

f=8 - Cláusula cumprida, esr=0.0000507344

f=9 - Cláusula cumprida, esr=0.0000519918

f=10 - Cláusula cumprida, esr=0.0000514247

f=11 - Cláusula cumprida, esr=0.00005075

f=12 - Cláusula cumprida, esr=0.0000510891

f=13 - Cláusula cumprida, esr=0.0000507008

f=14 - Cláusula cumprida, esr=0.0000529381

A relação portadora/ruído necessária para cumprir a cláusula ESR é $\left(\frac{C}{N}\right)_{CIP_ESR} =$
 $\{37.673, 38.1672, 38.6094, 39.0095, 39.3748, 39.7109, 40.022\}$ dB.

3.12.6 Cláusula SESR devido à chuva

SESR devido à chuva c/ diversidade

Valor da norma SESR = 0.00016

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

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=8 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

f=9 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

f=10 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

f=11 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

f=12 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

f=13 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

f=14 - Cláusula cumprida, bberchuva= 6.12×10^{-9}

3.12.8 Cláusula ESR devido à chuva

ESR devido à chuva c/ diversidade

Valor da norma ESR = 0.006

f=8 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

f=9 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

f=10 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

f=11 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

f=12 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

f=13 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

f=14 - Cláusula cumprida, esrchuva=0.00004896

3.12.9 Cláusula indisponibilidade devido à chuva

indisponibilidade devido à chuva c/ diversidade

f=8 - Cláusula cumprida, C/N=55.3009 dB; (C/N)_{min}=22.0758 dB

f=9 - Cláusula cumprida, C/N=54.6319 dB; (C/N)_{min}=26.7298 dB

f=10 - Cláusula cumprida, C/N=55.5238 dB; (C/N)_{min}=32.37 dB

f=11 - Cláusula cumprida, C/N=56.6185 dB; (C/N)_{min}=37.6308 dB

f=12 - Cláusula cumprida, C/N=56.6071 dB; (C/N)_{min}=43.4975 dB

f=13 - Cláusula cumprida, C/N=57.3805 dB; (C/N)_{min}=49.1661 dB

f=14 - Cláusula cumprida, C/N=55.8969 dB; (C/N)_{min}=55.2611 dB

A relação portadora/ruído necessária para cumprir

a cláusula da indisponibilidade devido à chuva é $\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{CIP_ind}} =$
 $\{22.0758, 26.7298, 32.37, 37.6308, 43.4975, 49.1661, 55.2611\}$ 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:

$(C/N)_{SESR} = \{42.8833, 43.3775, 43.8198, 44.2198, 44.5851, 44.9212, 45.2324\}$ dB.

O C/N necessário para a cláusula BBER é:

$(C/N)_{BBER} = \{49.0077, 49.502, 49.9442, 50.3443, 50.7095, 51.0456, 51.3568\}$ dB.

O C/N necessário para a cláusula ESR é:

$(C/N)_{ESR} = \{37.673, 38.1672, 38.6094, 39.0095, 39.3748, 39.7109, 40.022\}$ dB.

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

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

O C/N necessário para a cláusula indisponibilidade é:

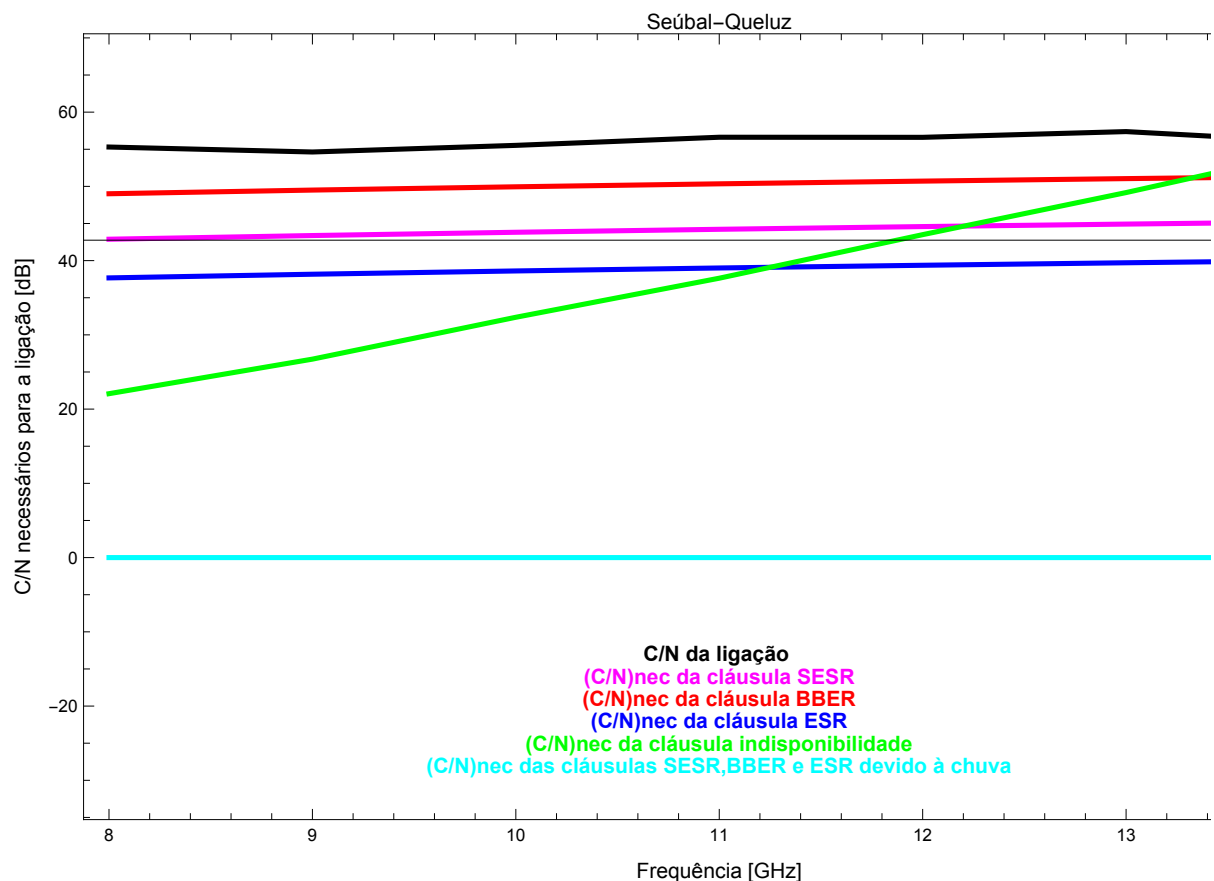
$(C/N)_{IND} = \{22.0758, 26.7298, 32.37, 37.6308, 43.4975, 49.1661, 55.2611\}$ dB.

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

$(C/N)_{NECmin} = \{49.0077, 49.502, 49.9442, 50.3443, 50.7095, 51.0456, 55.2611\}$ dB.

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

$(C/N)_{CIP} = \{55.3009, 54.6319, 55.5238, 56.6185, 56.6071, 57.3805, 55.8969\}$ dB.



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

$\{6.29322, 5.12999, 5.57965, 6.27426, 5.89758, 6.33486, 0.635829\}$ dB.

A frequência óptima é $f=13$ GHz ($M_{seg}=6.33486$ dB).

3.12.11 Gráfico da margem crítica

Margem crítica com diversidade

A margem crítica para a cláusula SESR é: $(10\log[\text{SESR}/\text{sesr}])$

$m_{\text{SESR}} = \{57.1834, 51.8269, 53.8974, 57.0957, 55.3611, 57.3745, 49.1102\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula BBER é:

$m_{\text{BBER}} = \{28.915, 23.587, 25.6483, 28.8281, 27.1044, 29.1051, 20.8801\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula ESR é:

$m_{\text{ESR}} = \{47.7291, 47.4843, 47.594, 47.726, 47.6594, 47.7357, 47.3039\}$ 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:

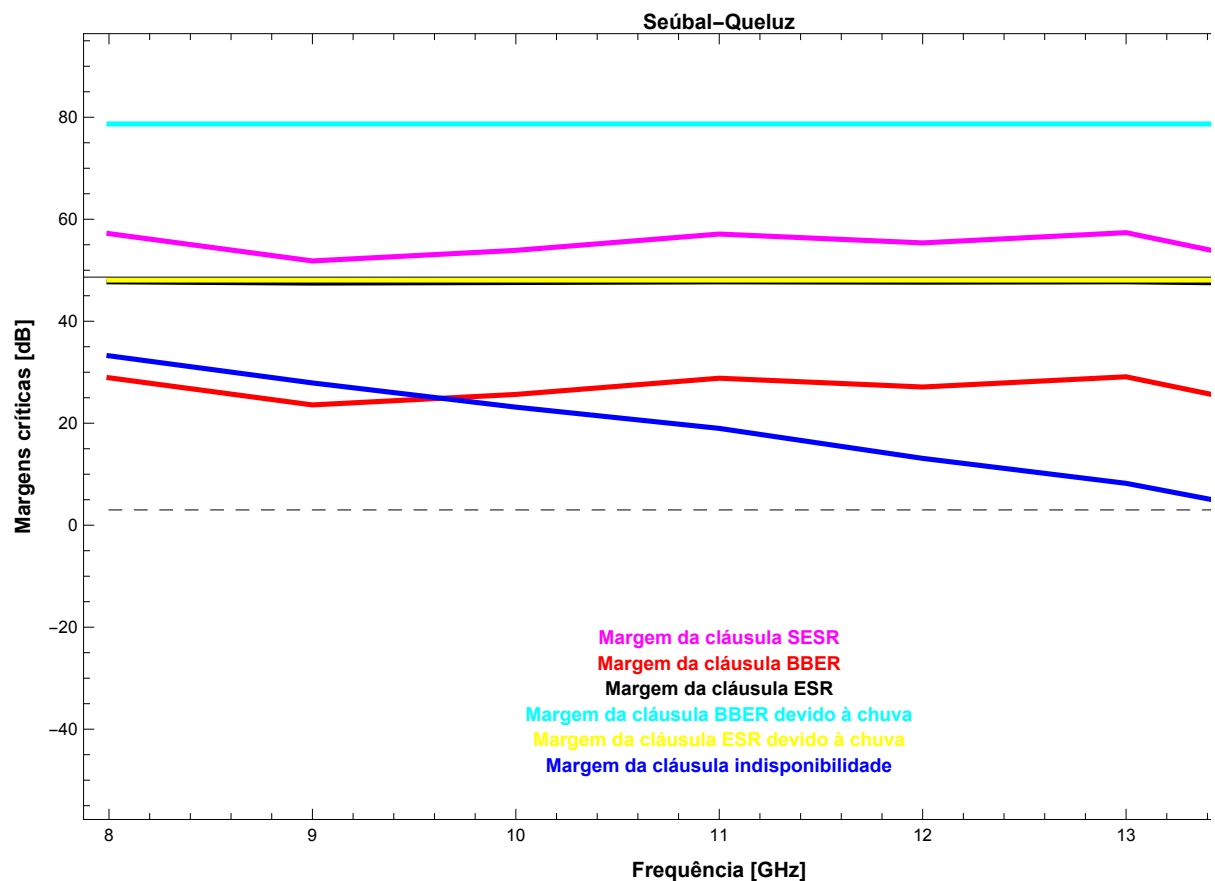
$m_{\text{BBERCH}} = \{78.6878, 78.6878, 78.6878, 78.6878, 78.6878, 78.6878, 78.6878\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula ESR devido à chuva é:

$m_{\text{ESRCH}} = \{48.0851, 48.0851, 48.0851, 48.0851, 48.0851, 48.0851, 48.0851\}$ dB.

A margem crítica para a cláusula indisponibilidade é:

$m_{\text{IND}} = \{33.2251, 27.9021, 23.1538, 18.9877, 13.1096, 8.21441, 0.635829\}$ dB.



A margem crítica da ligação é:

$\{28.915, 23.587, 23.1538, 18.9877, 13.1096, 8.21441, 0.635829\}$ dB.

A frequência ótima é $f=8$ GHz ($M_{\text{crit}}=28.915$ dB).

3.13 Dimensões do repetidor passivo com diversidade

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

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

Um repetidor passivo tipo espelho plano pode ter dimensões até 35 m^2 (é pouco razoável subir esta área devido à complexidade da montagem e aos custos inerentes).

Atenção: Não se esqueça que a solução otimizada de uma ligação, quanto ao diâmetro das antenas, sejam elas terminais ou repetidoras, é realmente ótima quando todas elas têm o mesmo diâmetro.

Redimensionamento das antenas terminais

Área efectiva do repetidor

Diâmetro optimizado da antena emissora: 3 m.

Diâmetro optimizado da antena receptora: 3 m.

Para $f = 8$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 30.8 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 35.2138 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 $f = 10$, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 33.4372 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 30.8674 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 32.2354 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 30.6527 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 59.0774 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

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

ATENÇÃO: Caso deseje alterar as características das antenas terminais e do repetidor, deverá voltar às secções 1.4 e 1.10.

IV. Gravação de dados em ficheiro

De modo a possibilitar a utilização posterior dos dados calculados neste programa, pode-se gravar, num ficheiro exterior, todas as variáveis relevantes.

Quando quiser ler as variáveis basta introduzir o nome do ficheiro que vai gravar em III.

Nome do ficheiro

Directoria escolhida: /Users/davidbritto/Desktop .

Variaveis guardadas no ficheiro : Setubal_queluz.txt