

**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](#_Toc515575709)

[**1.1 – Especificações do projecto** 2](#_Toc515575710)

[**1.2 – Ferramentas a utilizar** 3](#_Toc515575711)

[**2. Percurso com repetidor passivo** 3](#_Toc515575712)

# **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 = p0 \* fb, onde p0 é igual no caso do nosso grupo 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 = F0 + a \* f, onde F0 é igual a 4.0 dB; a 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 até a 1 km respectivamente das áreas urbanas de Setúbal e Carcavelos, 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 fáceis acessibilidades 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.

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.

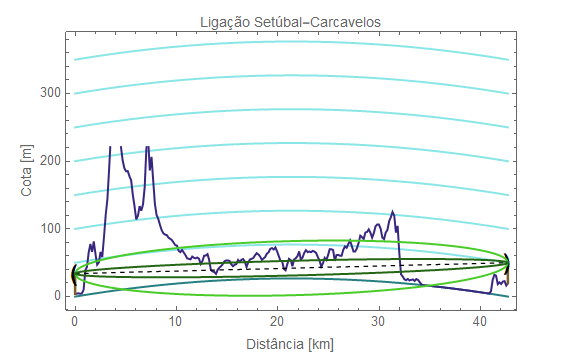


Figura 1 – Ligação directa entre Setúbal (esquerda) e Carcavelos (direita). A 1ª elipsóide de Fresnel mais pequena corresponde a uma frequência de 2 GHz, a elipsóide maior a uma frequência de 27 GHz. O cume mais alto foi truncado pelo Feixer, situando-se ligeiramente abaixo dos 300 metros

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.

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 103.

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\*(D/2)2 \* n, onde a é a área efectiva em m2, 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 m2. Dessa forma, uma área efectiva necessária com ordem de grandeza igual a 103 era um claro sinal de que o percurso não era o ideal.

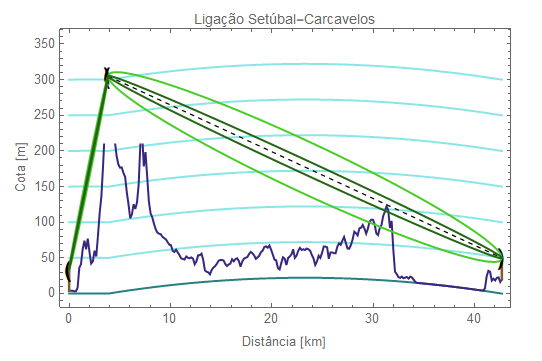


Figura 2 – Ligação entre Setúbal e Carcavelos recorrendo a um repetidor passivo, com uma obstrução no troço maior na zona da Costa da Caparica

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 e varrimento das frequências mantiveram-se inalterados. Obteve-se para a frequência óptima, neste caso de 7 GHz, uma área efectiva de cerca de 300 m2, 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 e varrimento das frequências 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 90 m2, ainda 11 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.

# **Anexo A – Percurso com repetidor passivo**

Segue-se o output do Feixer para o percurso optimizado, 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

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 obrigatóriamente 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 implicitas 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 \[ShiftKey]\[ReturnKey].

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 Fi = 2 , Ff = 14 , Finc = 2 GHz

1.4. Altura dos mastros de emissão e recepção He = 30 , Hr = 30 m

1.5. Antena de emissão, diâmetro e rendimento diame = 1m, Subscript[\[Eta], e]= 0.5

1.5. Antena de recepção, diâmetro e rendimento diamr = 1m, \[Eta]r= 0.5

1.9. Pressão atmosférica pa= 1013 milibar

1.9. Temperatura da atmosfera ta= 25 \[Degree]C

1.9. Humidade da atmosfera H = 85%

1.10. Indisponibilidade, distância da ligação Subscript[d, lig] = 280 km

1.10. Indisponibilidade, percentagem da chuva Subscript[p, chuva] = 10 %

1.10. Indisponibilidade, percentagem do equipamento Subscript[p, equip] = 40 %

1.10. Indisponibilidade, percentagem de outras causas Subscript[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 Rint = 42 mm/h

1.12. Folga dos guias folga = 10 m

1.14. Desvanecimento---consultar cap. 3.3 [1] c0 = 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] pL = 20 %

1.14. Latitude do percurso \[Eta]Lat = 42\[Degree]

1.14. Classificação do percurso classif = terrestre

1.15. Diversidade, diâmetro da antena principal Subscript[diam, p] = diame (antena emissão)

1.15. Diversidade, diâmetro da antena secundária Subscript[diam, s] = diame (antena emissão)

2. Feixes Hertzianos Analógicos

2.1. Sinal analógico, telefonia múltipla Subscript[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 Subscript[f, max] = 2.540 MHz (600 canais)

2.2. Telefonia múltipla, desvio eficaz de frequência por canal Subscript[\[CapitalDelta]f, ef] = 0.2 MHz (600 canais)

2.2. Telefonia múltipla, largura de banda do canal telefónico Subscript[b, s] = 0.004 MHz

2.2. Video, frequência máxima de desvio da portadora Subscript[\[CapitalDelta]f, max] = 4 MHz

2.2. Video, frequência máxima em banda de base Subscript[f, max] = 5.5 MHz

2.2. Video, largura de banda do sinal video Subscript[b, s] = 5.5 MHz

2.5. Telefonia múltipla, ponderação Subscript[pond, t] = 3.6 dB

2.5. Telefonia múltipla, acentuação Subscript[acent, t] = 4 dB

2.5. Video, ponderação Subscript[pond, v] = 12.5 dB

2.5. Video, acentuação Subscript[acent, v] = 2.1 dB

2.7. Ruído térmico referente à 1ª cláusula Subscript[ruido, 1] = (3 dkm)/2 pW0p

2.7. Ruído térmico referente à 2ª cláusula Subscript[ruido, 2] = 43 750 pW0p

2.7. Ruído térmico referente à cláusula do corte Subscript[ruido, corte] = 1 000 000 pW0

2.9. Comprimento da ligação Subscript[d, comp] = 50 km

2.11. Diâmetro da antena de emissão optimizado diametroe = 4.572 m (15 pés)

2.11. Diâmetro da antena de recepção optimizado diametror = 4.572 m (15 pés)

2.11. Ângulo de incidência do feixe no espelho plano \[Theta]incid = 40\[Degree]

2.11. Rendimento do repetidor tipo espelho plano \[Eta]esp = 0.95

2.11. Rendimento do repetidor tipo costas-com-costas \[Eta]costas = 0.5

3. Feixes Hertzianos Digitais

3.1. Ritmo binário Fb = 34 Mbits/s

3.1. Largura de banda para transmissão---consultar anexo A [1] largurab = 28 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 modula = PSK

3.6. Parametro utilizado no cálculo das clausulas X = 0.08

3.6. Cláusula SESR SESR = 0.00016

3.6. Cláusula BBER BBER = 0.00002

3.6. Cláusula ESR ESR = 0.006

3.6. Taxa de erros residual rber rber = 10^-12

3.10. Parâmetro Subscript[\[Alpha], 1] Subscript[\[Alpha], 1] = 10

3.10. Parâmetro Subscript[\[Alpha], 2] Subscript[\[Alpha], 2] = 1

3.10. Parâmetro Subscript[\[Alpha], 3] Subscript[\[Alpha], 3] = 1

Directoria de trabalho Ficheiro de entrada

Directoria escolhida: c:\projecto\_scom .

Nome do ficheiro de entrada: 5 repetidor passivo best.txt .

Nome da ligação: Ligação Setúbal-Carcavelos .

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 seccção anterior.

Leitura de parâmetros Visualizar os principais parâmetros

frequências : f MHz

Nome da ligação : nomlig

Nome do ficheiro de entrada da ligação : nomein

Ritmo binário : fb Mbps

Modulação : modula

Níveis por palavra : mniveis

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=86.7188%.

A distância total da ligação é de 41.012 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 Subscript[k, e] foram extraídos de [2] mas podem igualmente ser vistos em [1], figura 2.35 e no botão, figura de Subscript[K, min](d). Estes representam os valores de Subscript[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 Subscript[r, 1e] para o valor de Subscript[k, e] apropriado ao local da ligação (habitualmente Subscript[k, e]= 4/3);

2. libertação de 0.6 Subscript[r, 1e] para o Subscript[k, min](d), para d > 30 km, em climas tropicais;

3. libertação do raio directo (incidência rasante), para Subscript[k, min](d), em clima temperado se existir apenas um obstáculo ao raio directo no percurso;

4. libertação de 0.3 Subscript[r, 1e] para Subscript[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 Subscript[r, 0]=K\*Subscript[r, T].

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

Figura de Subscript[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= 4/3 .

O raio equivalente da Terra é Subscript[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: 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:

\[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

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

Atenção!! Passe primeiro pela secção 1.botn

Altura do mastro de emissão: 30 m.

Altura do mastro de recepção: 30 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 Subscript[L, 0]=32.44+20 Subscript[log, 10](d/km)+20 Subscript[log, 10](f/MHz) [dB] visto em [1].

Antena de emissão Antena de recepção 1º elipsóide de Fresnel

O diâmetro da antena emissora é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de \[Eta]e= 0.5 .

O diâmetro da antena receptora é de 4.5 m, sendo o seu rendimento de \[Eta]r= 0.5 .

A área física da antena de emissão é afe=15.9043 m^2, correspondendo a uma área efectiva de Subscript[aef, e]=7.95216 m^2.

A área física da antena de recepção é afr=15.9043 m^2, correspondendo a uma área efectiva de Subscript[aef, r]=7.95216 m^2.

Ganho da antena de emissão:

ge={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} dBi.

Ganho da antena de recepção:

gr={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} dBi.

A atenuação em espaço livre entre antenas é:

L0={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} 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

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:

Aobst={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} dB.

1.6 Atenuação atmosférica

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

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

Em Portugal os valores do conteúdo de vapor de água no ar \[Rho] são:

Portugal Temperatura [ºC] Humidade [%] \[Rho] [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 ºC.

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} dB/km.

A pressão parcial do vapor de água saturado é es=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/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} dB/km.

Atenuação da atmosfera:

aatmos={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} dB.

1.7 Distribuição da indisponibilidade

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

Classe Comprimento [km] Indisponibilidade [%]

1 280 0.033

2 280 0.05

3 50 0.05

4 50 0.1

No sentido da despenalização das ligações muito curtas, a recomendação F.695 da ITU-R sugere limitar o valor da distância de ligação (dkm) ao mínimo de 280.

Compete ao projectista da ligação distribuir a indisponibilidade total pelas diferentes causas.

Comprimento da ligação Distribuição da indisponibilidade máxima Indisponibilidade

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

Fracção da indisponibilidade máxima para a chuva: 0.1 .

Fracção da indisponibilidade máxima para o equipamento: 0.4 .

Fracção da indisponibilidade máxima para outras causas: 0.5 .

A indisponibilidade máxima para a ligação é Subscript[\[ScriptCapitalI], máx]= {3.36\*10^(-4)} .

A fracção da indisponibilidade devida à precipitação é \[ScriptCapitalI]chuva= {3.36\*10^(-5)} .

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

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

1.8 Atenuação provocada por hidrometeoritos

Os valores de \[Kappa] e \[Alpha] (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 Subscript[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 horizontal:

Intensidade de precipitação: 42 mm/h.

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

Valor de \[Kappa] à frequência imposta é:

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

Valor de \[Alpha] à frequência imposta é:

\[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:

\[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 Def=12.8157 km.

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

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 Panual= {3.36\*10^(-5)} % do tempo:

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

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.

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:

Age={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:

Agr={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

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 1º elipsóide de Fresnel

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} m^2.

Rendimento do repetidor passivo: \[Eta]rep= {1} .

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:

Subscript[d, min]={270.187,405.28,540.374,675.467,810.561,945.654,1080.75,1215.84,1350.93,1486.03,1621.12,1756.21,1891.31,2026.4,2161.5,2296.59,2431.68,2566.78,2701.87,2836.96,2972.06,3107.15,3242.24,3377.34,3512.43,3647.52} 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} GHz.

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

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

Ganho do repetidor é 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} dB.

No troço 1 a atenuação de espaço livre é:

L0={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} dB.

No troço 2 a atenuação de espaço livre é:

L0={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} dB.

A atenuação de espaço livre total no percurso é:

L0={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} 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:

Aobst={0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} dB.

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

Aobst={0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} dB.

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

Aobst={0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,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 Subscript[\[ScriptCapitalP], A]

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: pL= 20 %.

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

Classificação do percurso: terrestre .

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

Troço 1 da ligação:

O módulo da inclinação é Subscript[\[Epsilon], p]=84.4916 miliradianos.

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

qt={14.4723,14.1626,13.9429,13.7724,13.6332,13.5154,13.4134,13.3235,13.243,13.1702,13.1037,13.0426,12.986,12.9333,12.884,12.8377,12.794,12.7527,12.7136,12.6763,12.6407,12.6068,12.5743,12.5431,12.5131,12.4843}.

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

PA2={{9.68754\*10^(-11),1.38974\*10^(-10),1.79527\*10^(-10),2.18968\*10^(-10),2.57544\*10^(-10),2.95416\*10^(-10),3.32696\*10^(-10),3.69465\*10^(-10),4.05786\*10^(-10),4.41709\*10^(-10),4.77274\*10^(-10),5.12515\*10^(-10),5.47458\*10^(-10),5.82127\*10^(-10),6.16543\*10^(-10),6.50723\*10^(-10),6.84683\*10^(-10),7.18435\*10^(-10),7.51993\*10^(-10),7.85366\*10^(-10),8.18565\*10^(-10),8.51598\*10^(-10),8.84474\*10^(-10),9.17199\*10^(-10),9.4978\*10^(-10),9.82224\*10^(-10)}}.

Troço 2 da ligação:

O módulo da inclinação é Subscript[\[Epsilon], p]=8.90851 miliradianos.

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

qt={3.72903,3.41932,3.19957,3.02912,2.88985,2.7721,2.6701,2.58013,2.49965,2.42685,2.36038,2.29924,2.24263,2.18992,2.14062,2.09431,2.05065,2.00935,1.97016,1.93289,1.89735,1.8634,1.83088,1.7997,1.76974,1.7409}.

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

PA2={{2.64629\*10^(-5),3.79628\*10^(-5),4.90404\*10^(-5),5.98141\*10^(-5),7.03518\*10^(-5),8.06971\*10^(-5),9.08805\*10^(-5),1.00924\*10^(-4),1.10846\*10^(-4),1.20659\*10^(-4),1.30374\*10^(-4),1.40001\*10^(-4),1.49546\*10^(-4),1.59016\*10^(-4),1.68418\*10^(-4),1.77754\*10^(-4),1.87031\*10^(-4),1.96251\*10^(-4),2.05417\*10^(-4),2.14534\*10^(-4),2.23603\*10^(-4),2.32626\*10^(-4),2.41606\*10^(-4),2.50546\*10^(-4),2.59446\*10^(-4),2.68308\*10^(-4)}}.

Ligação total:

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

PA2={{2.6463\*10^(-5),3.7963\*10^(-5),4.90406\*10^(-5),5.98143\*10^(-5),7.0352\*10^(-5),8.06974\*10^(-5),9.08808\*10^(-5),1.00925\*10^(-4),1.10847\*10^(-4),1.2066\*10^(-4),1.30375\*10^(-4),1.40001\*10^(-4),1.49546\*10^(-4),1.59017\*10^(-4),1.68418\*10^(-4),1.77755\*10^(-4),1.87031\*10^(-4),1.96251\*10^(-4),2.05418\*10^(-4),2.14535\*10^(-4),2.23603\*10^(-4),2.32627\*10^(-4),2.41607\*10^(-4),2.50547\*10^(-4),2.59447\*10^(-4),2.68309\*10^(-4)}}.

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 rogusidades 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, ponto final, s}}

2 troços na ligação; {{ 1, ponto intermédio, Subscript[s, 1]},{ ponto intermédio, ponto final, Subscript[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 simultâneamente.

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 2 GHz.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 2 GHz é de -21.1276 dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 3 GHz é de -25.9459 dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 4 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 5 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 6 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 7 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 8 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 9 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 10 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 11 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 12 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 13 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 14 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 15 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 16 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 17 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 18 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 19 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 20 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 21 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 22 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 23 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 24 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 25 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 26 GHz é de -\[Infinity] dB.

O valor da relação ps/pd para a frequência de 27 GHz é de -\[Infinity] 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, Subscript[\[Rho], min]<=(2\*Subscript[D, ant]^2)/\[Lambda] . No caso desta não estar na zona distante, introduza uma atenuação suplementar (consultar capítulo 2.12, fig. 2.62 [1]).

Atenuação suplementar Potência de emissão Potência de recepção

A potência de emissão é:

pe={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.

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 Subscript[f, 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 Subscript[\[CapitalDelta]f, 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].

Video:

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 video, 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 psofométrico 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 (d/2500)\*0.1% do tempo do pior mês.

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

- para 50 <= d <= 840,

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

2ªCláusula, 47 500 pW0p, durante mais de (280/2500)\*0.1% do tempo do pior mês, quando d<280, ou (d/2500)\*0.1% do tempo do pior mês, quando d>280km.

- para 840 <= d <= 1670,

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

2ªCláusula, 47 500 pW0p, durante mais de (d/2500)\*0.1% do tempo do pior mês .

- para 1670 <= d <= 2500,

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

2ªCláusula, 47 500 pW0p, durante mais de (280/2500)\*0.1% do tempo do pior mês.

Para ligações estabelecidas sobre feixes hertzianos transorizonte, a potência de ruído psofométrico 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 (d/2500)\*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 de ruído térmico

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 optimizada 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 optimizada 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 plesiócronas (PDH), são observáveis no capítulo 5.5.1, respectivamente nas tabelas 5.4 e 5.5 [1].

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

Ritmo binário Número mínimo de níveis por palavra

Ritmo binário: Subscript[f, b]= 8 Mbits/s.

Largura de banda para a transmissão: Subscript[largura, b]= {14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14} MHz.

Factor de excesso de banda: \[Beta]=0.2 .

O número mínimo de níveis na modulação é de {1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085,1.6085} 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

3.3 Largura de banda em rádio-frequência

Número de níveis por palavra Largura de banda em RF

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

A largura de banda em rádiofrequência é Subscript[b, rf]={9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6,9.6} MHz.

3.4 Tipo de modulação da portadora

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

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

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

Modulação da portadora Taxa de erros binária

Modulação colocada: PSK .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 2 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 3 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 4 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 5 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 6 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 7 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 8 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 9 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 10 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 11 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 12 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 13 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 14 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 15 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 16 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 17 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 18 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 19 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 20 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 21 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 22 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 23 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 24 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 25 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 26 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 Subscript[N, 0]))]] .

A taxa de erros binária em função da relação C/Subscript[N, 0] para a f = 27 e nº niveis = 2 é Subscript[P, ber]= Erfc[Sqrt[10^(C/(10 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:

Subscript[n, f]={9.4,9.6,9.8,10.,10.2,10.4,10.6,10.8,11.,11.2,11.4,11.6,11.8,12.,12.2,12.4,12.6,12.8,13.,13.2,13.4,13.6,13.8,14.,14.2,14.4} dB.

Temperatura observada pela antena: T= 293 K.

O ruído térmico é Subscript[n, 0]={-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9,-134.9} dBW.

O ruído aos terminais do desmodulador é:

Subscript[n, ruído]={-125.5,-125.3,-125.1,-124.9,-124.7,-124.5,-124.3,-124.1,-123.9,-123.7,-123.5,-123.3,-123.1,-122.9,-122.7,-122.5,-122.3,-122.1,-121.9,-121.7,-121.5,-121.3,-121.1,-120.9,-120.7,-120.5} dBW.

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

(C/NSubscript[), rf]= {38.2075,41.8137,44.7894,46.4992,47.3995,48.518,48.6296,45.902,46.4867,47.6439,46.7434,47.5653,44.0375,44.6725,39.4717,39.9592,39.6434,38.3799,27.2179,24.5582,22.3159,22.1742,18.414,21.6834,24.5874,26.8115} dB.

3.6 Recomendações da ITU

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

Ritmo binário

(kbits/s) esr sesr bber

1 500-5 000 0.04\*X 0.002\*X 2\*X\*10^-4

>5 000-15 000 0.05\*X 0.002\*X 2\*X\*10^-4

>15 000-55 000 0.075\*X 0.002\*X 2\*X\*10^-4

>55 000- 160 000 0.16\*X 0.002\*X 2\*X\*10^-4

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

Tipo de

percurso Ritmo binário

(kbits/s) Subscript[ber, SES] blocos/s Bits/bloco

VC-11 1 500 5.4x10^-4 2000 832

VC-12 2 000 4.0x10^-4 2000 1120

VC-2 6 000 1.3x10^-4 2000 3424

VC-3 34 000 6.5x10^-5 8000 6120

VC-4 140 000 2.1x10^-5 8000 18792

STM-1 155 000 2.3x10^-5 8000 19440

Parâmetros de qualidade rber Cálculos auxiliares

O valor de berSESR é de 0.0001

O valor de n é de 2000.

O valor de Nb é de 4000.

O valor de rber é de 1.\*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: 41.012 km.

O factor de ocorrência de desvanecimento profundo é:

kt={0.262545,0.376639,0.486542,0.593431,0.697978,0.800616,0.901648,1.0013,1.09973,1.19709,1.29348,1.38898,1.48368,1.57764,1.67091,1.76355,1.85558,1.94705,2.038,2.12844,2.21842,2.30794,2.39704,2.48573,2.57403,2.66196}

3.8 Margem Uniforme

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

Margem uniforme

A relação portadora/ruído correspondente a Subscript[ber, SESR] é (C/NSubscript[), SESR]={8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001,8.79001} dB.

A relação portadora/ruído correspondente a rber é (C/NSubscript[), rber]={14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521,14.0521} dB.

A relação portadora/ruído correspondente a ber=10^-3 é (C/NSubscript[), ind]={7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501,7.33501} dB.

A margem uniforme correspondente a Subscript[ber, SESR] é MuSESR={29.4175,33.0237,35.9994,37.7092,38.6095,39.728,39.8396,37.112,37.6967,38.8539,37.9534,38.7753,35.2475,35.8825,30.6817,31.1692,30.8534,29.5899,18.4279,15.7682,13.5259,13.3842,9.62402,12.8934,15.7973,18.0215} dB.

A margem uniforme correspondente a rber é Murber={24.1554,27.7616,30.7373,32.4471,33.3474,34.4659,34.5775,31.8499,32.4346,33.5918,32.6913,33.5132,29.9854,30.6204,25.4196,25.9071,25.5913,24.3278,13.1658,10.5061,8.2638,8.12206,4.36192,7.6313,10.5353,12.7594} dB.

3.9 Margem Selectiva

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

1. Método B da recomendação F1093-1 da ITU-R.

para mniveis<=64

2. Método alternativo (área da assinatura).

Para sistemas sem 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

Assinatura introduzida: 0.1 MHz.

A margem selectiva é Ms=49.0309 dB.

3.10 Margens críticas

3.10.1 Cláusula SESR

SESR

Valor da norma SESR = 0.00016

f=2 - Cláusula não cumprida, sesr=0.000303512

f=3 - Cláusula não cumprida, sesr=0.000192449

f=4 - Cláusula cumprida, sesr=0.000128312

f=5 - Cláusula cumprida, sesr=0.000107984

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/NSubscript[), 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 Subscript[\[Alpha], 1] e Subscript[\[Alpha], 2] BBER

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

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/NSubscript[), 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.

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=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 Subscript[\[Alpha], 1] e Subscript[\[Alpha], 2] BBER devido à chuva

Valor da norma BBER = 0.00002

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

f=3 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=4 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=5 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=6 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=7 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=8 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=9 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=10 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=11 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=12 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=13 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=14 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=15 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=16 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=17 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=18 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=19 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=20 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=21 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=22 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=23 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=24 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=25 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=26 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

f=27 - Cláusula cumprida, bberchuva=4.\*10^-9

3.10.6 Cláusula ESR devido à chuva

ESR devido à chuva

Valor da norma ESR = 0.006

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

f=3 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=4 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=5 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=6 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=7 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=8 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=9 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=10 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=11 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=12 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=13 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=14 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=15 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=16 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=17 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=18 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=19 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=20 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=21 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=22 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=23 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=24 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*10^-6

f=25 - Cláusula cumprida, esrchuva=8.\*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

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/NSubscript[), 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

C/N necessária para cumprir as recomendações

O C/N necessário para a cláusula SESR é:

(C/NSubscript[), 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.

O C/N necessário para a cláusula BBER é:

(C/NSubscript[), 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.

O C/N necessário para a cláusula ESR é:

(C/NSubscript[), 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.

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

(C/NSubscript[), chuva]={0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.} dB.

O C/N necessário para a cláusula indisponibilidade é:

(C/NSubscript[), 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.

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

(C/NSubscript[), NECmin]={48.9444,50.5916,51.7776,52.7093,53.4792,54.1364,54.7107,55.221,55.6805,56.0987,56.4823,56.8368,57.1662,58.8961,65.1522,71.7187,78.5914,85.7663,93.2398,100.263,107.494,114.929,122.563,130.395,137.511,144.746} dB.

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

(C/NSubscript[), CIP]={38.2075,41.8137,44.7894,46.4992,47.3995,48.518,48.6296,45.902,46.4867,47.6439,46.7434,47.5653,44.0375,44.6725,39.4717,39.9592,39.6434,38.3799,27.2179,24.5582,22.3159,22.1742,18.414,21.6834,24.5874,26.8115} dB.

A margem de segurança da ligação ((C/NSubscript[), CIP]-(C/NSubscript[), NECmin]) é:

{-10.7369,-8.77789,-6.98814,-6.21013,-6.07967,-5.61836,-6.08105,-9.31903,-9.19384,-8.45476,-9.73892,-9.27146,-13.1287,-14.2236,-25.6805,-31.7595,-38.9479,-47.3864,-66.0219,-75.7051,-85.1783,-92.7545,-104.149,-108.711,-112.923,-117.935} dB.

A frequência óptima é f=7 GHz (Subscript[M, seg]=-5.61836 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: (10Log[SESR/sesr])

Subscript[m, SESR]={-6.40246,-1.84659,2.20712,3.93191,4.22522,5.1874,4.22853,-2.58591,-2.26389,-0.654654,-3.33717,-2.30668,-10.5983,-9.8132,-22.0351,-21.4692,-22.6937,-26.0463,-52.0999,-58.6545,-64.2296,-64.9515,-73.9867,-66.8233,-60.4881,-55.7059} dB.

A margem crítica para a cláusula BBER é:

Subscript[m, BBER]={-24.3107,-19.6684,-15.4659,-13.5989,-13.2063,-12.0908,-13.0322,-20.1723,-19.7957,-18.0555,-20.8426,-19.7175,-28.3184,-27.4938,-39.9205,-39.3439,-40.5755,-43.9517,-70.0701,-76.6271,-82.2035,-82.9254,-91.9616,-84.7974,-78.4608,-73.6766} dB.

A margem crítica para a cláusula ESR é:

Subscript[m, ESR]={24.7137,29.218,33.2143,34.9313,35.254,36.235,35.3293,28.6012,28.9396,30.5637,27.9024,28.9506,20.6578,21.4521,9.21716,9.78602,8.56236,5.20779,-20.8552,-27.4101,-32.9855,-33.7074,-42.7428,-35.5792,-29.2436,-24.461} dB.

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

Subscript[m, BBERCH]={85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719,85.1719} dB.

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

Subscript[m, ESRCH]={66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007,66.2007} dB.

A margem crítica para a cláusula indisponibilidade é:

Subscript[m, IND]={30.7665,34.1311,36.6472,37.1188,35.6925,32.9576,29.1178,21.7737,16.7638,12.7026,5.98282,1.18196,-8.39165,-14.2236,-25.6805,-31.7595,-38.9479,-47.3864,-66.0219,-75.7051,-85.1783,-92.7545,-104.149,-108.711,-112.923,-117.935} dB.

A margem crítica da ligação é:

{-24.3107,-19.6684,-15.4659,-13.5989,-13.2063,-12.0908,-13.0322,-20.1723,-19.7957,-18.0555,-20.8426,-19.7175,-28.3184,-27.4938,-39.9205,-39.3439,-40.5755,-47.3864,-70.0701,-76.6271,-85.1783,-92.7545,-104.149,-108.711,-112.923,-117.935} dB.

A frequência óptima é f=7 GHz (Subscript[M, crit]=-12.0908 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 optimizada de uma ligação, quanto ao diâmetro das antenas, sejam elas terminais ou repetidoras,

é realmente óptima quando todas elas têm o mesmo diâmetro.

Redimensionamento das antenas terminais Área efectiva do repetidor

Diâmetro optimizado da antena emissora: 4.5 m.

Diâmetro optimizado da antena receptora: 4.5 m.

Para f= 2, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 38.6651 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

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

Para f= 3, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 30.8582 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

Para f= 4, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 25.1121 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

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 fisica 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 fisica 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 fisica 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 fisica 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 fisica 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 fisica 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 fisica 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 fisica não deve exceder os 35 m^2.)

Para f= 22, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 203887. m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

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

Para f= 23, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 487754. m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

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

Para f= 24, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 1.81107\*10^6 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

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

Para f= 25, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 3.06223\*10^6 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

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

Para f= 26, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 4.97319\*10^6 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

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

Para f= 27, a área efectiva do repetidor passivo terá de ser de 8.85532\*10^6 m^2 para cumprir a margem de segurança desejada de 3 dB.

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

ATENÇÃO: Caso deseje alterar as 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

3.12.2 Margem selectiva

Igualação adaptativa Método 1 Método 2

3.12.3 Cláusula SESR

SESR c/ diversidade

3.12.4 Cláusula BBER

Parâmetros Subscript[\[Alpha], 1] e Subscript[\[Alpha], 2] BBER c/ diversidade

3.12.5 Cláusula ESR

ESR c/ diversidade

3.12.6 Cláusula SESR devido à chuva

SESR devido à chuva c/ diversidade

3.12.7 Cláusula BBER devido à chuva

Parâmetros Subscript[\[Alpha], 1] e Subscript[\[Alpha], 2] BBER devido à chuva c/ diversidade

3.12.8 Cláusula ESR devido à chuva

ESR devido à chuva c/ diversidade

3.12.9 Cláusula indisponibilidade devido à chuva

indisponibilidade devido à chuva c/ diversidade

3.12.10 C/N necessária para cumprimento da ligação

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

3.12.11 Gráfico da margem crítica

Margem crítica com diversidade

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 optimizada de uma ligação, quanto ao diâmetro das antenas, sejam elas terminais ou repetidoras,

é realmente óptima quando todas elas têm o mesmo diâmetro.

Redimensionamento das antenas terminais Área efectiva do repetidor

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: c:\ .

Save::noopen: Cannot open 5 repetidor passivo best dados.txt.

Save::noopen: Cannot open 5 repetidor passivo best dados.txt.

Save::noopen: Cannot open 5 repetidor passivo best dados.txt.

General::stop: Further output of Save::noopen will be suppressed during this calculation.

Variaveis guardadas no ficheiro : 5 repetidor passivo best dados.txt

Directoria escolhida: c:\ .

Save::noopen: Cannot open 5 repetidor passivo best dados.txt.

Save::noopen: Cannot open 5 repetidor passivo best dados.txt.

Save::noopen: Cannot open 5 repetidor passivo best dados.txt.

General::stop: Further output of Save::noopen will be suppressed during this calculation.

Variaveis guardadas no ficheiro : 5 repetidor passivo best dados.txt

Directoria escolhida: c:\projecto\_scom .

Variaveis guardadas no ficheiro : 5 dados.txt