

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS xiii

LISTA DE TABELAS xxiii

PREFÁCIO DA 1A EDIÇÃO xxvii

PREFÁCIO DA 2A EDIÇÃO xxix

AGRADECIMENTOS xxxi

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 Ligações por Feixes Hertzianos 3

1.2 Resenha Histórica 5

1.3 Descrição de uma Ligação 8

1.4 Planos de Frequência 15

Referências Bibliográficas 21

2 ELEMENTOS DE PROPAGAÇÃO 23

2.1 Propagação em Espaço Livre 25

2.2 Elipsóides de Fresnel 32

2.3 Terra Plana 35

2.4 Terra Esférica 43

2.5 Atmosfera 53

2.5.1 Introdução 53

2.5.2 Atenuação suplementar devida à presença de gases 54

2.5.3 Atenuação suplementar devida a hidrometeoritos 65

2.5.4 Atenuação adicional devida à areia e à poeira 72

2.5.5 Efeitos refractivos 73

2.6 Anomalias Troposféricas 81

2.7 Perfil do Terreno 84

2.8 Dispersão pelo Terreno 86

2.8.1 Introdução 86

2.8.2 Potência dispersa por um elemento de área do terreno 87

2.8.3 Secção eficaz de dispersão 90

2.8.4 Potência dispersa pelo terreno na direcção da antena de recepção 95

2.8.5 Aplicação do método 101

2.9 Propagação por Difracção 103

2.9.1 Introdução 103

2.9.2 Difracção sobre a Terra esférica 105

2.9.3 Obstáculo em lâmina isolado 108

2.10 Atenuação suplementar devida à vegetação 119

2.11 Dispersão Troposférica 121

2.12 Repetidores Passivos 124

Referências Bibliográficas 131

3 DESVANECIMENTO 135

3.1 Introdução 137

3.2 Desvanecimento Rápido. Modelos Teóricos 139

3.3 Desvanecimento Rápido. Modelos Empíricos 147

3.4 Desvanecimento Lento. Modelo Lognormal 159

3.5 Desvanecimento Lento. Modelos Empíricos 162

3.6 Desvanecimento Simultâneo Lento e Rápido 163

3.7	Diversidade	165
3.7.1	Combinador de diversidade por selecção	168
3.7.2	Combinador de diversidade por adiçao	171
3.7.3	Combinador de diversidade por optimizaçao	177
3.8	Diversidade e Desvanecimento	180
3.9	Cálculo de Ligações com Diversidade	182
3.10	Diversidade e Repetidores Passivos	187
3.11	Diversidade em Percursos com Reflexões	187
	Referências Bibliográficas	189
4	FEIXES HERTZIANOS ANALÓGICOS	191
4.1	Introdução	193
4.2	Sinais Analógicos	194
4.2.1	Sinal telefónico	194
4.2.2	Sinal de telefonia múltipla por divisao na frequência	196
4.2.3	Sinal de radiodifusão sonora	203
4.2.4	Sinal de televisão	205
4.3	Largura de Banda em Radiofrequência	207
4.4	Ruído Térmico	209
4.4.1	Introdução	209
4.4.2	Cálculo da relação portadora-ruído térmico	210
4.4.3	Acção do desmodulador	212
4.4.4	Limiar de sensibilidade	213
4.4.5	Acentuação	213
4.5	Ponderação do Ruído Térmico	220
4.6	Ruído de Intermodulação	224
4.7	Interligação de Feixes Hertzianos	228
4.8	Ruído em associações de feixes hertzianos	229
4.9	O circuito fictício de referência	234
4.9.1	Introdução	234
4.9.2	Sinal telefónico	234
4.10	Ruído admissível no circuito fictício de referência	237
4.10.1	Sinal telefónico	237
4.10.2	Sinal de radiodifusão sonora	239
4.10.3	Sinal de televisão	241
4.11	Ruído admissível em circuitos reais	242
4.12	Distribuição do Ruído	243
4.13	Medição do Ruído	244
	Referências Bibliográficas	246
5	FEIXES HERTZIANOS DIGITAIS	249
5.1	Introdução	251
5.2	Conversão Analógica-Digital	254
5.2.1	Introdução	254
5.2.2	Amostragem	254
5.2.3	Quantificação	255
5.2.4	Codificação	268
5.2.5	Modulação delta	269
5.3	Conversão Digital-Analógica	270
5.4	Sinais Digitais	276
5.4.1	Introdução	276
5.4.2	Densidade espectral de potência de um sinal binário síncrono	277
5.4.3	Código unipolar	278
5.4.4	Código polar	280

5.4.5	Código bipolar ou AMI	281
5.4.6	Códigos BNZS	282
5.4.7	Código PST	284
5.4.8	Código 4B-3T	285
5.4.9	Código bifase digital	286
5.4.10	Código CMI	288
5.4.11	Códigos de resposta parcial	289
5.4.12	Códigos multinível	290
5.5	Hierarquias digitais	291
5.5.1	Hierarquias Digitais Plesiócronas	291
5.5.2	Hierarquias Digitais Síncronas	292
5.6	Transmissão em Banda de Base	295
5.6.1	Introdução	295
5.6.2	Código polar (NRZ)	296
5.6.3	Código unipolar	299
5.6.4	Código bipolar (AMI)	303
5.6.5	Códigos multinível	304
5.7	Transmissão de Sinais Modulados	308
5.7.1	Introdução	308
5.7.2	Tipos de modulação	310
5.7.3	Comportamento dos diferentes tipos de modulação face ao ruído	315
5.7.4	Largura de banda em radiofrequência	332
5.7.5	Sensibilidade do receptor	334
5.8	Desvanecimento Selectivo	335
5.8.1	Introdução	335
5.8.2	Características do canal de transmissão	336
5.8.3	Sensibilidade ao desvanecimento selectivo	339
5.8.4	Redução dos efeitos do desvanecimento selectivo	343
5.9	Qualidade das Ligações	347
5.9.1	Associação de feixes hertzianos em cadeia	347
5.9.2	O circuito digital fictício de referência	347
5.9.3	Configuração hipotética de referência	349
5.9.4	Objectivos de qualidade para o circuito fictício de referência	349
5.9.5	Objectivos de qualidade da ligação hipotética de referência	352
5.10	Conversão dos parâmetros de qualidade em taxas de erros binários	355
5.10.1	Fracção de segundos com erros severos	355
5.10.2	Fracção de blocos errados de fundo	359
5.10.3	Fracção dos segundos com erros	360
5.11	Um exemplo de aplicação dos critérios de qualidade	361
5.11.1	Objectivos de qualidade para troços de RDIS	364
	Referências Bibliográficas	366

6 CÓDIGOS DE CONTROLO DE ERRO 369

6.1	Introdução	371
6.2	A importância dos códigos de controlo de erros	372
6.3	Uma primeira aproximação aos códigos de correcção de erros	374
6.4	Códigos de bloco	377
6.4.1	Introdução	377
6.4.2	Deteção e correcção de erros com códigos de bloco	380
6.4.3	Códigos de Hamming	383
6.4.4	Códigos de Hamming aumentados	384
6.4.5	Códigos duais	384
6.4.6	Códigos de Reed-Muller	385
6.4.7	Códigos com bit de paridade entrelaçado	386

6.4.8	Códigos de produto	387
6.5	Códigos cíclicos	388
6.5.1	Deteção e correcção de erros com códigos cíclicos	390
6.5.2	Códigos cíclicos de verificação da redundância	392
6.5.3	Códigos de Golay	394
6.5.4	Códigos de Bose-Chaudhuri-Hocquenhem (BCH)	395
6.5.5	Códigos de Reed-Solomon	398
6.5.6	Códigos descodificáveis com lógica de maioria	398
6.5.7	Códigos para deteção e correcção de rajadas de erros	400
6.6	Códigos entrelaçados	401
6.7	Códigos convolucionais	402
6.7.1	Introdução	402
6.7.2	Diagramas de estados representativos dos códigos convolucionais	406
6.7.3	Função de transferência	410
6.7.4	Descodificador de máxima verosimilhança para códigos convolucionais	413
6.7.5	Desempenho dos códigos convolucionais com descodificação de Viterbi	415
6.8	Códigos concatenados	420
6.9	Turbocódigos	421
6.10	Códigos do espaço do sinal	425
6.10.1	Introdução	425
6.10.2	Códigos de Ungerboeck	426
6.11	Descodificação iterativa suave	431
6.11.1	Introdução	431
6.11.2	Teorema de Bayes	431
6.11.3	Decisão de máxima verosimilhança	431
6.11.4	Decisão de máxima verosimilhança a posterior	432
6.11.5	Razão logarítmica de verosimilhança	432
6.11.6	Álgebra dos logaritmos de verosimilhança	435
6.11.7	Cálculo dos verosimilhanças logarítmicas extrínsecas	436
6.12	Limites do desempenho	439
6.12.1	O teorema de Shannon	439
6.12.2	O limite de Shannon e o ganho de codificação	439
6.12.3	O limite de Shannon e a razão do código	440
6.12.4	Eficiência de modulação	444
6.12.5	O limite de Shannon e o comprimento dos blocos	446
6.12.6	O limite de Shannon para canais binários	448
6.13	Comparação dos desempenhos dos códigos	449
	Referências Bibliográficas	449

7 PROJECTO DE LIGAÇÕES 451

7.1	Introdução	453
7.2	Custo	453
7.3	Percurso	458
7.4	Frequência	461
7.5	Disponibilidade da Ligação	467
7.6	Antenas	477
7.7	Cabos e Guias	481
7.8	Equipamento Radioeléctrico	485
7.9	Fornecimento de Energia	486
7.10	Instalações	489
	Referências Bibliográficas	490

A PLANOS DE FREQUÊNCIA DETALHADOS 491

A.1	Introdução	493
-----	------------	-----

A.2 Banda dos 2 GHz	493
A.3 Banda dos 4 GHz	494
A.4 Banda dos 5 GHz	496
A.5 Banda dos 6 GHz	497
A.6 Banda dos 7 GHz	499
A.7 Banda dos 8 GHz	500
A.8 Banda dos 10 GHz	502
A.9 banda dos 11 GHz	503
A.10 Banda dos 13 GHz	504
A.11 Banda dos 15 GHz	506
A.12 Banda dos 18 GHz	508
A.13 Banda dos 23 GHz	510
A.14 Bandas dos 25, 26 e 28 GHz	510
A.15 Banda dos 38 GHz	511
A.16 Banda dos 55 GHz	511
A.17 Feixes Hertzianos Auxiliares	512
Referências Bibliográficas	514

B RELAÇÃO SINAL-RUÍDO EM MODULAÇÕES DE ÂNGULO 515

B.1 Introdução	517
B.2 Sinal-Ruído em Modulação de Frequência e de Fase	517
B.3 Comparação das modulações de frequência e de fase	524
Referências Bibliográficas	529

C CUSTOS 531

D EXEMPLO DE CÁLCULO DE UMA LIGAÇÃO 535

D.1 Introdução	537
D.2 Escolha da Frequência	537
Referências Bibliográficas	541

ÍNDICE REMISSIVO 543