

# Apresentação

O objetivo principal deste texto é servir como material básico para uma disciplina introdutória sobre sistemas de comunicações em um curso de Engenharia Elétrica. Ele tem abrangência limitada, abordando apenas os conceitos mais importantes dos sistemas de comunicações analógicos e digitais - para um estudo mais profundo e amplo sobre o assunto, existe uma excelente e conhecida bibliografia. Por outro lado, incorpora resultados de muitos anos de experiência dos seus autores como professores do Centro de Estudos em Telecomunicações da PUC-Rio, o que permitiu um tratamento didático do assunto em nível adequado aos alunos típicos do curso de graduação. Além disso, inclui um bom número de exercícios, todos eles com solução.

# Sumário

<b>Apresentação</b> .....	<b>VII</b>
<b>1</b>	
<b>Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	
<b>Análise de Sinais e Sistemas</b> .....	<b>5</b>
2.1 SÉRIE DE FOURIER .....	8
2.2 TRANSFORMADA DE FOURIER .....	13
2.3 PROPRIEDADES DA TRANSFORMADA DE FOURIER .....	19
2.4 TRANSFORMADAS DE FOURIER DE SINAIS DE ENERGIA INFINITA .....	36
2.4.1 Função Impulso .....	36
2.4.2 Transformadas de Fourier Baseadas na Função Impulso ..	40
2.5 SISTEMAS LINEARES .....	47
2.5.1 Caracterização de Sistemas Lineares .....	48
2.5.2 Obtenção do Sinal de Saída em um Sistema Linear .....	49
2.5.3 Função de Transferência .....	51
2.5.4 Filtros .....	54
2.6 ENERGIA E POTÊNCIA DOS SINAIS .....	57

2.7	TEOREMA DA AMOSTRAGEM .....	61
2.8	APÊNDICE: PRINCIPAIS TRANSFORMADAS DE FOURIER.....	63
2.9	EXERCÍCIOS.....	67

**3**

<b>Princípios da Modulação .....</b>	<b>73</b>
3.1 MODULAÇÃO DE AMPLITUDE.....	74
3.1.1 Modulação AM-DSB-SC.....	82
3.1.2 Modulação AM .....	82
3.1.3 Modulação AM-SSB .....	90
3.1.4 Modulação AM-VSB .....	98
3.1.5 Modulação de Amplitude em Quadratura.....	99
3.1.6 Translação de Frequência.....	101
3.2 MODULAÇÃO DE FREQUÊNCIA .....	104
3.2.1 Definições Básicas.....	105
3.2.2 Modulação FM.....	106
3.2.3 FM de Faixa Estreita.....	110
3.2.4 FM com Sinal Modulador Senoidal.....	112
3.2.5 Geração de FM – Método Indireto.....	113
3.2.6 Espectro de um Sinal FM com Sinal Modulador Senoidal ..	116
3.2.8 Demodulação de Sinais FM.....	119
3.3 EXERCÍCIOS.....	122

**4**

<b>Técnicas de Codificação de Mensagens .....</b>	<b>127</b>
4.1 CODIFICAÇÃO DE FONTES DISCRETAS SEM MEMÓRIA .....	128
4.1.1 Informação Própria e Entropia.....	128
4.1.2 Princípios da Codificação de Bloco .....	129
4.1.3 Codificação de Huffman.....	131
4.2 CODIFICAÇÃO DE FONTES CONTÍNUAS – SINAIS DE VOZ ..	133
4.2.1 Sistema PCM .....	134
4.2.2 Quantização Adaptativa.....	146
4.2.3 Codificação Diferencial.....	149
4.2.4 Codificação no Domínio da Frequência.....	158
4.2.5 Codificação Paramétrica.....	169
4.3 EXERCÍCIOS.....	174

## 5

<b>Transmissão Digital</b> .....	<b>177</b>
5.1 MODELO GERAL DO TRANSMISSOR E DO RECEPTOR .....	178
5.1.1 Filtro Casado .....	183
5.1.2 Receptores com Filtro Casado .....	185
5.2 SISTEMAS DE MODULAÇÃO DIGITAL .....	190
5.2.1 Sistemas com Modulação de Pulsos em Amplitude .....	191
5.2.2 Sistemas com Modulação de Amplitude e Fase .....	200
5.2.3 Sistemas com Modulação de Frequência .....	219
5.2.4 Sistemas com Recepção não Coerente .....	225
5.3 LARGURA DE FAIXA DA TRANSMISSÃO DIGITAL .....	233
5.3.1 A Interferência entre Símbolos .....	234
5.3.2 Eliminação da Interferência entre Símbolos – Critério de Nyquist .....	242
5.3.3 Largura de Faixa e Interferência entre Símbolos .....	246
5.4 APÊNDICE: O DIAGRAMA DO OLHO .....	248
5.5 APÊNDICE: OTIMIZAÇÃO CONJUNTA TRANSMISSOR-RECEPTOR .....	251
5.6 EXERCÍCIOS .....	253

## 6

<b>Ruído em Sistemas de Comunicações</b> .....	<b>261</b>
6.1 CARACTERIZAÇÃO MATEMÁTICA DO RUÍDO .....	262
6.1.1 Ruído Branco Filtrado .....	264
6.1.2 Decomposição de um Ruído Passa-Faixa .....	271
6.2 CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO NOS RECEPTORES .....	278
6.2.1 Ruído nos Resistores .....	279
6.2.2 Temperatura Equivalente de Ruído e Fator de ruído .....	281
6.2.3 Modelo Equivalente do Receptor .....	292
6.3 EXERCÍCIOS .....	293

## 7

<b>Desempenho de Sistemas AM e FM em Presença de Ruído</b> .....	<b>297</b>
7.1 SISTEMA AM-DSB-SC .....	299
7.2 SISTEMA AM-SSB .....	301
7.3 SISTEMA AM .....	302

7.4	SISTEMA FM.....	307
7.4.1	Pré-ênfase.....	314
7.5	COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO.....	316
7.6	EXERCÍCIOS.....	320
<b>8</b>		
	<b>Desempenho de Sistemas de Transmissão Digital em Presença de Ruído</b>	<b>323</b>
8.1	SISTEMAS BINÁRIOS.....	324
8.2	SISTEMAS PAM.....	335
8.3	SISTEMAS COM MODULAÇÃO DE AMPLITUDE E FASE.....	339
8.3.1	ASK.....	339
8.3.2	QAM.....	340
8.3.3	PSK.....	345
8.4	SISTEMA FSK.....	347
8.5	SISTEMAS COM RECEPÇÃO NÃO COERENTE.....	347
8.6	ANÁLISE DE DESEMPENHO.....	352
8.6.1	Taxa de Erro de Bit versus $E_b/N_0$ .....	353
8.6.2	Comparação.....	357
8.6.3	Limitantes da taxa de bits.....	359
8.6.4	Capacidade do Canal.....	362
8.7	APÊNDICE: DESEMPENHO COM CÓDIGO CORRETOR DE ERRO.....	364
8.8	APÊNDICE: TABELA DA FUNÇÃO $Q(\alpha)$ .....	367
8.9	EXERCÍCIOS.....	368
	<b>Solução dos Exercícios</b> .....	<b>373</b>
	Capítulo 2.....	373
	Capítulo 3.....	390
	Capítulo 4.....	403
	Capítulo 5.....	413
	Capítulo 6.....	444
	Capítulo 7.....	455
	Capítulo 8.....	461