

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

PEDRO ARMANDO VIEIRA

ANÁLISE DA RESPOSTA EM BANDA ESTREITA DE UM
CANAL MARÍTIMO NA FAIXA DE 3,5 GHz

NITERÓI

2010

PEDRO ARMANDO VIEIRA

ANÁLISE DA RESPOSTA EM BANDA ESTREITA DE UM
CANAL MARÍTIMO NA FAIXA DE 3,5 GHz

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre. Área de concentração: Sistemas de Comunicações Móveis

Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Rodrigues Dal Bello

Co-orientadora: Prof^ª. Dra. Leni Joaquim de Matos

Niterói

2010

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de Computação da UFF

V658 Vieira, Pedro Armando.

Análise da resposta em banda estreita de um canal marítimo na faixa de 3,5 GHz / Pedro Armando Vieira. – Niterói, RJ : [s.n.], 2010.
279 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações) - Universidade Federal Fluminense, 2010.

Orientador: Julio Cesar Rodrigues Dal Bello, Leni Joaquim de Matos.

1. Sistema de comunicação móvel. 2. Propagação de onda.
3. Radiopropagação. 4. Sistema de comunicação em banda estreita. I. Título.

CDD 621.38456

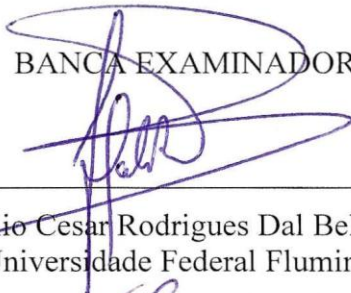
PEDRO ARMANDO VIEIRA

ANÁLISE DA RESPOSTA EM BANDA ESTREITA DE UM
CANAL MARÍTIMO NA FAIXA DE 3,5 GHZ

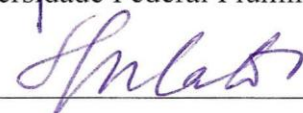
Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistemas de Comunicações Móveis.

Aprovada em 09 de junho de 2010.

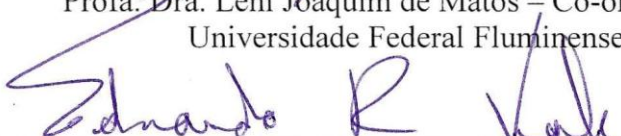
BANCA EXAMINADORA




Prof. Dr. Julio Cesar Rodrigues Dal Bello – Orientador
Universidade Federal Fluminense



Prof. Dra. Leni Joaquim de Matos – Co-orientadora
Universidade Federal Fluminense



Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Vale
Universidade Federal Fluminense



Dr. Eduardo Javier Arancibia Vasquez
CLARO - Rio de Janeiro

Niterói

2010

Dedico este trabalho a minha querida esposa Vanessa pelo apoio nesta longa caminhada e a minha filha Laura para que um dia possa conhecer e, quem sabe, se inspirar neste trabalho.

Dedico, também, aos meus companheiros de Mestrado e, em especial, a Tiago Francisco Barros Cavalcanti, Romar Pinto Vargas, Roberto da Silva Liarth e João Alfredo Cal Braz, que me apoiaram na realização dos testes em campo e me incentivaram a continuar.

Agradecimentos

Ao meu orientador e mentor maior, Professor Julio Cesar Rodrigues Dal Bello, pelo apoio, incentivo e ensinamentos atuais no Curso de Propagação em Ambientes Celulares e anteriores, no Instituto Militar de Engenharia.

À Professora Leni Joaquim Matos pelas aulas de Teoria de Canal e Eletromagnetismo Avançado, e pelo apoio no uso dos equipamentos do laboratório da UFF.

Aos Professores Gláucio Lima Siqueira (PUC/CETUC/RJ), Andrés Pablo López Barbero (UFF/LACOP) e Ricardo Marques Ribeiro (UFF/LACOP), pelo empréstimo de alguns dos equipamentos usados nos testes em campo.

Aos amigos e alunos do Mestrado Tiago Francisco Barros Cavalcanti, Romar Pinto Vargas, Roberto da Silva Liarth e João Alfredo Cal Braz, pelas conversas, troca de ideias, apoio e trabalho na realização dos testes em campo e estudos no período das aulas.

À Petrobras pela minha liberação durante os períodos de aulas, empréstimos de equipamentos utilizados na medição e apoio logístico para realização dos testes em campo. Em especial, gostaria de agradecer ao Gerente da TIC-BC Simonides Linhares Fernandes, ao Gerente do IPT Ralf Camargo Ribeiro e ao Gerente da OMT José Antônio Stivanin, pelo apoio recebido, sem o qual não teria sido possível alcançar os objetivos propostos.

Finalmente, devo agradecer à coordenação do curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da UFF, por toda a ajuda dispensada.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar o resultado de medições, realizadas no ano de 2009, em canal rádio móvel marítimo, em banda estreita, na região litorânea da cidade de Macaé, que serve de base para as operações marítimas para a bacia petrolífera de Campos, no estado do Rio de Janeiro. Com os resultados obtidos, foi feita uma análise comparativa com o modelo de dois raios e o fator de atenuação foi calculado. São apresentados, também, os resultados de extenso estudo da variabilidade lenta e rápida do sinal, de modo a permitir uma melhor caracterização do canal rádio móvel marítimo. A variabilidade rápida foi analisada comparando-a as distribuições de Rayleigh, Rice e Gauss, considerando-se setores de 20λ . Foram determinadas a taxa de cruzamento de nível e a duração média dos desvanecimentos. Por fim, foi analisado o comportamento da variabilidade lenta do sinal e proposto um fator de correção para melhorar o cálculo da previsão da perda de percurso, em função das condições observadas do mar, utilizando a escala Beaufort.

Palavras chaves: propagação, radiopropagação, canal de rádio, canal marítimo, banda estreita, desvanecimentos lento e rápido, variabilidade.

ABSTRACT

This work aims to present the result of narrowband measurements carried out in the year of 2009 in maritime mobile radio channel, in the coast region of Macaé city, base to maritime operations in the Campos' Basin oil bearing, Rio de Janeiro state. With the results obtained a comparative analysis was done with the two-ray model and the attenuation factor was calculated. The results of an extensive study of the slow and fast signal variability to allow a better characterization of the mobile maritime radio channel are also presented. The fast variability was analyzed comparing the Rayleigh, Rice and Gauss distributions, considering 20λ sectors. The level crossing rate and average fading duration were determined as well. At the end, it was analyzed the slow signal variability behavior and a correction factor was proposed in way to improve the calculation of path loss prediction due to observed conditions of the sea by using Beaufort scale.

Keywords: propagation, radio propagation, radio channel, maritime channel, narrowband, slow and fast fading, variability.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	25
1.1	Histórico.....	25
1.2	Comunicação de dados em redes sem fio	29
1.3	Revisão bibliográfica	30
1.4	Objetivo da Dissertação	32
1.5	Roteiro	32
2	Teoria de propagação no canal rádio móvel.....	34
2.1	Classificação do ambiente de propagação	34
2.2	Medições em campo	37
2.3	Propagação de ondas eletromagnéticas.....	38
2.3.1	Modelo básico de propagação	38
2.3.2	Modelo de dois raios para Terra plana	40
2.3.3	Modelo da perda de percurso com o logaritmo da distância	43
2.3.4	Modelos empíricos de propagação	49
2.4	Propagação por múltiplos percursos	54
2.4.1	Manifestações de desvanecimento do canal	55
2.4.2	Variabilidade e desvanecimento do sinal	58
2.4.3	Desvanecimento rápido	59
2.4.4	Dependência com a distância e desvanecimento em larga escala	67
2.4.5	Taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento	69
2.4.6	Taxa de amostragem do sinal recebido.....	73
2.4.7	Separação do desvanecimento lento e rápido	78
2.4.8	Comprimento da pequena área	79
2.4.9	Estimação do nível médio do sinal na pequena área e quantidade de amostras	82
2.5	Simulação do canal rádio móvel.....	91

3	Técnicas de sondagem do canal.....	92
3.1	Sondagem do canal em banda estreita	95
3.1.1	Transmissão e recepção de uma portadora em trechos curtos.....	95
3.1.2	Transmissão e recepção de duas portadoras em trechos curtos.....	96
3.1.3	Transmissão e recepção de uma portadora não modulada em trechos longos ...	98
3.2	Sondagem do canal em banda larga.....	100
3.2.1	Transmissão de um pulso de curta duração	100
3.2.2	Transmissão e recepção de portadoras sincronizadas.....	101
3.2.3	Transmissão de diversas portadoras simultaneamente	101
4	Sistema de medições.....	103
4.1	Condiguração dos sistemas	103
4.2	Ajustes e configuração dos equipamentos	111
4.2.1	Curva de ajuste do analisador de espectro.....	111
4.2.2	Características do equipamento de posicionamento global.....	114
4.3	Determinação da frequência de amostragem, janela de filtragem e intervalo de confiança.....	115
5	Realização das medidas no canal marítimo	119
5.1	Características do ambiente e relação com a propagação.....	119
5.1.1	Condições do mar	119
5.2	Planejamento das medições	122
5.3	Sistemas de Transmissão e Recepção e ambiente marítimo.....	123
5.4	Planta de situação do local de instalação e testes	127
5.5	Visão geral dos trechos percorridos.....	128
6	Resultados e análise das medições	130
6.1	Variação espacial do nível do sinal.....	131
6.2	Análise qualitativa dos trechos	132
6.2.1	Escolha do modelo para avaliação da cobertura.....	139

6.3	Caracterização do desvanecimento rápido.....	143
6.3.1	Análise do desvanecimento rápido.....	143
6.3.2	Estatísticas da variabilidade rápida.....	146
6.3.3	Taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento.....	162
6.4	Dependência da distância, modelo de cobertura e desvanecimento lento.....	170
7	Conclusão.....	184
7.1	Análise conclusiva dos resultados obtidos.....	184
7.1.1	Variabilidade rápida.....	184
7.1.2	Taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento.....	185
7.1.3	Dependência com a distância.....	185
7.1.4	Variabilidade lenta.....	186
7.1.5	Comparação de potência recebida com o modelo mais adequado.....	186
7.1.6	Proposta de ajuste do modelo de dois raios.....	186
7.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	188
8	Referências Bibliográficas.....	189
Anexo 1	Resultado da análise qualitativa dos trechos.....	194
Anexo 2	Fluxograma do processamento dos dados.....	200
Anexo 3	Arquivos utilizados para captura, armazenamento e processamento.....	202
Anexo 4	Programas utilizados para o captura e armazenamento dos dados.....	204
Anexo 5	Programas utilizados para processamento dos dados.....	216
Anexo 6	Estrutura de diretórios.....	279

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Quadro evolutivo dos sistemas de telefonia móvel.....	28
Figura 1.2 – Evolução tecnológica em direção ao LTE	28
Figura 1.3 – Comparação entre os principais sistemas de comunicação de voz e dados em relação à cobertura e taxa de transmissão.....	29
Figura 2.1 – Relação entre medições em campo, teoria e simulações.....	37
Figura 2.2 – Modelo de dois raios.	40
Figura 2.3 – Perda de percurso com a distância para superfície do mar na frequência de 3,515 GHz.....	42
Figura 2.4 – Manifestações de desvanecimento do canal.....	56
Figura 2.5 – Variabilidade em pequena e larga escala	58
Figura 2.6 – Modelo de referência para análise do desvanecimento rápido.....	61
Figura 2.7 – Taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento.....	70
Figura 2.8 – Taxa de cruzamento de nível Rayleigh e Rice	72
Figura 2.9 – Duração média do desvanecimento Rayleigh e Rice	73
Figura 2.10 – Nível do sinal recebido decorrente de multipercurso.....	74
Figura 2.11 – Variação do sinal recebido e taxa de amostragem	75
Figura 2.12 – Determinação da taxa de Nyquist	76
Figura 2.13 – Variância em torno da média x número de comprimentos de onda da pequena área.....	81
Figura 2.14 – Variância em torno da média em dB x número de comprimentos de onda da pequena área	82
Figura 2.15 – Estimativa do nível médio do sinal na pequena área em função da quantidade de amostras	87
Figura 2.16 – Utilização de taxa elevada e obtenção de amostras descorrelacionadas	90
Figura 2.17 – Exemplo de classificação dos métodos para simulação do canal Rádio Móvel	91
Figura 3.1 – Configuração para sondagem do canal em banda estreita (transmissão e recepção de uma portadora em trechos curtos).....	96
Figura 3.2 – Configuração para sondagem do canal em banda estreita (transmissão e recepção de duas portadora em trechos curtos)	97
Figura 3.3 – Configuração para sondagem do canal em banda estreita (transmissão e recepção de duas portadora em trechos longos)	99

Figura 3.4 – Sondagem do canal em banda larga: transmissão de um pulso de curta duração	100
Figura 3.5 – Sondagem do canal em banda larga: transmissão e recepção de portadoras sincronizadas	101
Figura 3.6 – Configuração para medição de várias portadoras (OFDM)	102
Figura 4.1 – Configuração dos sistemas de transmissão e recepção	104
Figura 4.2 – Equipamentos utilizados nas medições	106
Figura 4.3 – VSWR da antena transmissora.....	107
Figura 4.4 – Diagramas de irradiação da antena transmissora	107
Figura 4.5 – VSWR da antena receptora	108
Figura 4.6 – Diagrama de irradiação da antena receptora	108
Figura 4.7 – Módulo conversor A/D, designação da pinagem e cabo de interligação	109
Figura 4.8 – Módulo amplificador de baixo ruído com fonte de alimentação	110
Figura 4.9 – GPS com cabo de dados, de alimentação e antena externa.....	110
Figura 4.10 – Painel traseiro do analisador de espectro	111
Figura 4.11 – Detalhe das saídas de vídeo Y e interface RS-232c	111
Figura 4.12 – Curva de melhor ajuste do nível do sinal na saída de vídeo Y (mV).....	113
Figura 4.13 – Comparação entre taxas de amostragem para desvanecimento profundo.....	117
Figura 4.14 – Comparação entre taxas de amostragem para desvanecimento profundo (detalhe do sinal)	117
Figura 4.15 – Estimativa do nível do sinal pelo número de amostras	118
Figura 5.1 – Condições do mar no local dos testes (12 de dezembro de 2009, de 08:00 h a 12:00h).....	121
Figura 5.2 – Modelo para realização das medidas.....	123
Figura 5.3 – Local do transmissor com gerador, amplificador de potência e antena	124
Figura 5.4 – Antenas do sistema recepção (monopolo vertical) e do GPS	125
Figura 5.5 – Embarcação Propriá I utilizada para as medições.....	125
Figura 5.6 – Equipamentos instalados no interior da embarcação	126
Figura 5.7 – Visão geral do ambiente no dia de realização das medições (12 de dezembro de 2009).....	126
Figura 5.8 – Visão aérea do local de instalação e identificação das regiões de visada obstrução parcial e total	127
Figura 5.9 – Planta detalhada da situação no local de instalação do sistema de transmissão	127

Figura 5.10 – Visão geral dos trechos percorridos e regiões de visada, obstrução parcial e total	128
Figura 5.11 – Rota seguida no ambiente de medições	129
Figura 6.1 – Variação espacial do nível do sinal	131
Figura 6.2 – Nível do sinal no trecho 1	132
Figura 6.3 – Nível do sinal no trecho 2 e foto com embarcações fundeadas	133
Figura 6.4 – Nível do sinal no trecho 3	133
Figura 6.5 – Nível do sinal no trecho 4	134
Figura 6.6 – Nível do sinal no trecho 13	134
Figura 6.7 – Nível do sinal no trecho 14 e foto da embarcação	135
Figura 6.8 – Nível do sinal no trecho 15	135
Figura 6.9 – Nível do sinal no trecho 16	136
Figura 6.10 – Nível do sinal no trecho 17	136
Figura 6.11 – Nível do sinal no trecho 18	137
Figura 6.12 – Nível do sinal no trecho 19	137
Figura 6.13 – Nível do sinal no trecho 20	138
Figura 6.14 – Nível do sinal no trecho 21	138
Figura 6.15 – Nível do sinal no trecho 22 e foto de embarcações fundeadas	139
Figura 6.16 – Sinal medido na radial 1	140
Figura 6.17 – Sinal medido na radial 2	140
Figura 6.18 – Sinal medido na radial 3	141
Figura 6.19 – Sinal medido na radial 4	141
Figura 6.20 – Sinal medido na radial 5	142
Figura 6.21 – Desvanecimento rápido nos trechos da Radial 1	143
Figura 6.22 – Desvanecimento rápido nos trechos da Radial 2	144
Figura 6.23 – Desvanecimento rápido nos trechos da Radial 4	145
Figura 6.24 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 1	148
Figura 6.25 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 2	149
Figura 6.26 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 3	150
Figura 6.27 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 4	151
Figura 6.28 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 13	152
Figura 6.29 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 14	153
Figura 6.30 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 15	154
Figura 6.31 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 16	155

Figura 6.32 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 17	156
Figura 6.33 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 18	157
Figura 6.34 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 19	158
Figura 6.35 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 20	159
Figura 6.36 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 21	160
Figura 6.37 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 22	161
Figura 6.38 – TCN e DMD - trecho 1	162
Figura 6.39 – TCN e DMD - trecho 2	163
Figura 6.40 – TCN e DMD - trecho 3	163
Figura 6.41 – TCN e DMD - trecho 4	164
Figura 6.42 – TCN e DMD - trecho 13	164
Figura 6.43 – TCN e DMD - trecho 14	165
Figura 6.44 – TCN e DMD - trecho 15	165
Figura 6.45 – TCN e DMD - trecho 16	166
Figura 6.46 – TCN e DMD - trecho 17	166
Figura 6.47 – TCN e DMD - trecho 18	167
Figura 6.48 – TCN e DMD - trecho 19	167
Figura 6.49 – TCN e DMD - trecho 20	168
Figura 6.50 – TCN e DMD - trecho 21	168
Figura 6.51 – TCN e DMD - trecho 22	169
Figura 6.52 – Desvanecimento lento, curva de melhor ajuste e fator de atenuação para os trechos da radial 1.....	170
Figura 6.53 – Desvanecimento lento, curva de melhor ajuste e fator de atenuação para os trechos da radial 3.....	171
Figura 6.54 – Desvanecimento lento, curva de melhor ajuste e fator de atenuação para os trechos da radial 4.....	171
Figura 6.55 – Comparação do modelo SUI com o sinal recebido.....	172
Figura 6.56 – Modelo de melhor ajuste na radial 1 (trechos: 1, 2, 3 e 4).....	173
Figura 6.57 – Modelo de melhor ajuste na radial 3 (trechos: 13, 14, 15, 16 e 17).....	173
Figura 6.58 – Modelo de melhor ajuste na radial 4 (trechos: 18,19, 20, 21 e 22).....	174
Figura 6.59 – Ângulo de incidência em função da distância.....	175
Figura 6.60 – Parâmetro C (critério de Rayleigh) em função da distância	176
Figura 6.61 – Sinal medido na radial 1.....	181
Figura 6.62 – Sinal simulado para radial 1	181

Figura 6.63 – Comparação de segmento do sinal medido com o simulado	182
Figura 6.64 – Sinal medido superposto ao simulado.....	182
Figura 6.65 – Distribuição acumulada comparativa.....	183
Figura A.1.1 – Nível do sinal no trecho 5 e foto com Ilhote Sul.....	194
Figura A.1.2 – Nível do sinal no trecho 6 e foto da ilha de Santana.....	195
Figura A.1.3 – Nível do sinal no trecho 7 e foto da ilha do Francês.....	195
Figura A.1.4 – Nível do sinal no trecho 8	196
Figura A.1.5 – Nível do sinal no trecho 9	196
Figura A.1.6 – Nível do sinal no trecho 10	197
Figura A.1.7 – Nível do sinal no trecho 11	197
Figura A.1.8 – Nível do sinal no trecho 12	198
Figura A.1.9 – Nível do sinal no trecho 23	199
Figura A.1.10 – Nível do sinal no trecho 24	199
Figura A.2.1 – Fluxograma do processamento dos dados.....	200
Figura A.2.2 – Fluxograma do processamento dos dados (continuação).....	201

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação do ambiente de propagação	36
Tabela 2.2 – Perda de percurso para diferentes ambientes.....	43
Tabela 2.3 – Tabela comparativa de limites de utilização de modelos de cobertura para ambiente externo.....	50
Tabela 2.4 – Comparação entre modelos de propagação para ambiente externo.....	51
Tabela 2.5 – Modelo Hata-Okumura.....	52
Tabela 2.6 – Modelo Hata-Okumura estendido	53
Tabela 2.7 – Modelo SUI/Erceg	53
Tabela 2.8 - Parâmetros dos modelos SUI/Erceg	54
Tabela 2.9 – Desvanecimento em pequena escala.....	57
Tabela 2.10 – Comprimento médio do desvanecimento e taxa de cruzamento para medidas de desvanecimento Rayleigh em relação ao valor mediano.....	77
Tabela 2.11 – Comparativo da quantidade de amostras entre Lee e Parsons.....	86
Tabela 2.12 – Comparação entre parâmetros para definição de número de amostras e frequência de amostragem.....	88
Tabela 2.13 – Taxa de amostragem para obtenção do desvanecimento profundo considerando $v = 5$ m/s	89
Tabela 3.1 – Parâmetros críticos para escolha da utilização da banda estreita e banda larga para a sondagem do canal.....	92
Tabela 3.2 – Técnicas de medição e dados obtidos em função do tipo de sondagem do canal.....	93
Tabela 3.3 – Parâmetro mensurado e influência no sistema.....	94
Tabela 4.1 – Equipamentos utilizados nas medições	105
Tabela 4.2 – Nível do sinal na saída de vídeo Y	112
Tabela 4.3 – Sentenças do protocolo NMEA	114
Tabela 4.4 – Parâmetros do protocolo NMEA utilizados.....	115
Tabela 4.5 – Parâmetros para a amostragem calculados	116
Tabela 5.1 – Escala Beaufort.....	120
Tabela 5.2 – Dados da estação meteorológica do porto de Imbetiba	122
Tabela 5.3 – Valores dos parâmetros do sistema montado em Macaé.....	123
Tabela 6.1 – Estatística do trecho 1	148
Tabela 6.2 – Estatística do trecho 2.....	149

Tabela 6.3 – Estatística do trecho 3	150
Tabela 6.4 – Estatística do trecho 4	151
Tabela 6.5 – Estatística do trecho 13	152
Tabela 6.6 – Estatística do trecho 14	153
Tabela 6.7 – Estatística do trecho 15	154
Tabela 6.8 – Estatística do trecho 16	155
Tabela 6.9 – Estatística do trecho 17	156
Tabela 6.10 – Estatística do trecho 18	157
Tabela 6.11 – Estatística do trecho 19	158
Tabela 6.12 – Estatística do trecho 20	159
Tabela 6.13 – Estatística do trecho 21	160
Tabela 6.14 – Estatística do trecho 22	161
Tabela 6.15 – Estatísticas do sinal medido e simulado	182
Tabela A.3.1 – Programas para captura e armazenamento dos dados.....	202
Tabela A.3.2 – Programas para processamento, entradas e saídas.....	202

LISTA DE SIGLAS

- 3GPP – *3th Generation Partner Program*
- AAS – *Adaptative Antenna System*
- AFD – *Average Fading Duration*
- AMPS – *Advanced Mobile Phone System*
- APS – *Amostras Por Segundo*
- ARQ – *Automatic Request*
- ASN – *Access Service Network*
- AT&T – *American telephone and telegraph*
- BER – *decoded Bit Error Rate*
- BNC – *Bayonet Navy Connector, British Naval Connector, Bayonet Neill Concelman ou Bayonet Nut Connection*
- BS – *Base Station*
- C&T – *Ciência e Tecnologia*
- C450 – *sistema alemão de telefonia celular de 1ª geração na faixa de 450 MHz*
- CDMA – *Code Domain Multiple Access*
- CID – *Connection ID*
- CINR - *Carrier To Interference plus Noise Ratio*
- CPE – *Customer Premise Equipment*
- CSN – *Connectivity Service Network*
- CW – *Carrier Wave*
- DCS – *Digital Cellular System*
- DFTS-OFDM – *Discrete Fourier Transform Spread OFDM*
- DGPS – *Differential Global Positioning system*
- DIUC – *Downlink Interval Usage Code mandatory exit threshold*
- DL – *Down Link*
- DMD – *Duração Média do Desvanecimento*
- eNodeB – *componente do LTE*
- ETACS – *European Total Access Communication System*
- E-UTRAN – *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*
- EV-DO – *Evolution Data Only*
- EV-DV – *Evolution Data and Video*

- FA – *Foreign Agent*
- FCC – *Federal Commission Committee*
- FDD – *Frequency Duplex Division*
- FDMA – *Frequency Division Multiple Access*
- FEC – *Forward Error Correction*
- FUSC – *Full Utilization Of Sub Channels*
- GPS – *Global Positioning System*
- GSM – *Global System Mobile*
- HA – *Home Agent*
- *Hand off* – técnica de transferência da comunicação de uma célula para outra
- HO – *Hand Over*
- HSDPA – *High Speed Data Packet Access*
- HSUPA – *High Speed Up Link Packet Access*
- IEEE – *Institute of Electric and Electronic Engineer*
- IMT – *International Mobile Telecommunications*
- IP – *Internet Protocol*
- IS-54 - *Interin Standard 54* (refere-se à tecnologia baseada no acesso TDMA)
- IS-95 – *Interin Standard 95* (refere-se à tecnologia baseada no acesso CDMA)
- ISI – *Inter Symbol Interference* (interferência intersimbólica)
- ITS – *Irregular Terrain Model*
- JDC – *Japanese Digital Cellular System*
- LCR – *Level Crossing Rate*
- LTE – *Long Term Evolution*
- MAC – *Media Access Control Layer*
- MIMO – *Multiple Input Multiple Output*
- MISO – *Multiple Input Single Output*
- MME – *Mobility Management Entity*
- MS – *Mobile Station*
- NAP – *Network Access Provider*
- NMEA – *National Marine Electronics Association*
- NMT-450 – *Nordic Mobile Telephone* na faixa de 450 MHz
- NMT-900 - *Nordic Mobile Telephone* na faixa de 900 MHz

- NSP – *Network Service Provider*
- NTT – *Nippon Telephony end Telegraph*
- OFDMA – *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*
- P&D – *Pesquisa e Desenvolvimento*
- PAPR – *Peak to Average Power Ratio*
- PCS – *Personal Communication Services*
- PDU – *Protocol Data Unit*
- PHY – *Physical Layer*
- PMP – *Point to Multipoint*
- PS – *Packet Switch*
- PUSC – *Partial Utilization OF Sub Channels*
- QoS – *Quality of Service*
- RAN – *Remote Access Node*
- RF – *Rádio Frequência*
- RFC – *Request For Comment*
- RMS ou rms – *Root Mean Square*
- RRC – *Remote Radio Controller*
- RS – *Repeater Station*
- RS-232c – *Recommended Standard 232 revision c* (interface de comunicação serial assíncrona)
- RSSI – *Received Signal Strength Indicator*
- RTK - *Real-Time Kinematic*
- S1 – *Standardized Interface between eNodeB and the Evolved Packet Core (EPC)*
- SAE – *Service Architecture Evolution*
- SAP – *Service Access Point*
- SDU – *Service Data Unit*
- SFID – *Service Flow ID*
- SIMO – *Single Input Multiple Output*
- SISO – *Single Input Single Output*
- SOFDMA – *Single Orthogonal Frequency Division Multiple Access*
- SON – *Self-Organizing Network*
- SPS - *Standard Positioning Service*

- SS – *Subscriber Station*
- STC – *Space Time Coding*
- TCN – Taxa de Cruzamento de Nível
- TDD – *Time Duplex*
- TDMA – *Time Domain Multiple Access*
- TE – *Terminal Equipment, a computer or network*
- TTI – *Transmission Time Interval*
- TM – *Transversal Magnetic* (refere-se a polarização vertical)
- UCD – *Uplink Channel Descriptor*
- UIUC – *Uplink Interval Usage Code mandatory exit threshold*
- UL – *Up Link*
- USB – *Universal Serial Bus* (barramento serial universal)
- UTC – *Universal Time Coordinated*
- VoIP – *Voice over IP*
- VSWR – *Voltage Standing Wave Ratio* (razão de onda estacionária de tensão)
- WGS84 – *World Geodetic System*
- WiMAX – *Wide Area Microwave Access*

1 Introdução

1.1 Histórico

O desenvolvimento e a aplicação das ondas eletromagnéticas para comunicações tornaram-se realizáveis a partir do estabelecimento das equações de Maxwell. Com estas equações, foi possível o entendimento do comportamento conjunto dos campos elétrico e magnético, as formas de geração e recepção das ondas e a interação destas com o ambiente, à medida que se propagavam.

As primeiras experiências práticas com a propagação das ondas eletromagnéticas foram realizadas por Hertz, no final do século XIX. Marconi e Popov também realizaram experiências com a telefonia e a telegrafia sem fio.

No início do século XX, Fleming inventou a válvula retificadora, chamada de diodo retificador, que, posteriormente, foi aperfeiçoado com a criação do triodo por Lee Forest, o que permitiu o desenvolvimento de transceptores mais estáveis e confiáveis.

Outros avanços importantes para a comunicação por rádio foram o desenvolvimento da modulação em frequência por Edwing H. Armstrong, em 1935, e a invenção do transistor de estado sólido em 1947, pela equipe formada por Shockley, Bardeen e Brattain.

Os sistemas de comunicação, que utilizam ondas eletromagnéticas na faixa de radiofrequência, podem ser fixos ou móveis. O sistema móvel, devido à sua versatilidade natural de permitir comunicação em deslocamento, recebeu importância desde os primórdios do desenvolvimento da comunicação por ondas eletromagnéticas. Em 1921, foi implantado um sistema de comunicações unidirecional para a polícia da cidade de Detroit, na faixa de 2 MHz e utilizando modulação em amplitude. No início da década de 1930, foi instalado um sistema de comunicação bidirecional, decorrente do desenvolvimento do receptor super-heteródino em amplitude modulada, em 1928. Em 1935, foi desenvolvida a técnica de modulação em frequência, o que permitiu melhorar de modo significativo a qualidade da comunicação.

Como resultado dos avanços tecnológicos, surgidos em decorrência dos esforços feitos durante a 2ª Guerra Mundial, foi implantado, em 1946, o primeiro serviço móvel de telefonia pública na faixa de 150 MHz. Em 1947, o conceito de células hexagonais foi introduzido por D.H. Ring, dos Laboratórios Bell, e por volta de 1967, a telefonia móvel já estava disponível, sendo restrita, no entanto, a apenas uma célula, pois o *hand off* ainda não estava desenvolvido.

Foi somente em 1970, que Amos Edward Joel, também engenheiro dos Laboratórios Bell, desenvolveu o sistema de *hand off*, o que permitiu manter uma chamada enquanto o usuário se movia de uma célula para outra.

O desenvolvimento da tecnologia continuou a fornecer respostas para muitos dos desafios apresentados até que os sistemas e equipamentos se tornassem adequados para a utilização em sistemas móveis, tais como a diminuição dos componentes eletrônicos, baixo consumo de energia pelo uso de baterias menores e mais potentes e aumento do número dos usuários, entre outros.

O marco regulatório específico para a telefonia celular, por sua vez, somente ocorreu em 1982, com a designação da faixa de 824 a 894 MHz, pelo FCC, para operação do sistema conhecido como *Advanced Mobile Phone System – AMPS* para a AT&T. Este sistema, inicialmente analógico, foi designado como sendo de 1ª geração. Muitos outros sistemas foram desenvolvidos em diferentes países. Em comum, os sistemas apresentavam potência dos terminais móveis entre 1 e 8 W, técnica de acesso FDMA, duplexação FDD e reutilização de frequência.

Com o advento da modulação digital, surgiram os chamados sistemas de segunda geração (2G), os quais passaram a empregar as técnicas de acesso TDMA e CDMA. Em especial, na Europa foi desenvolvido o sistema móvel global (*Global System Mobile – GSM*), baseado na tecnologia de acesso TDMA, cuja principal preocupação foi o desenvolvimento de um sistema de comunicação móvel comum para toda Europa. Nos Estados Unidos, foram desenvolvidos sistemas baseados nas tecnologias TDMA e CDMA. Estas tecnologias deram origem aos sistemas:

- *Digital AMPS (D-AMPS)*, como evolução do sistema AMPS através da digitalização do canal de voz em TDMA, também chamado de IS-54;
- CDMA IS-95, baseado na tecnologia CDMA;
- GSM, baseado na tecnologia TDMA e introduzido na Europa em 1991;
- DCS 1800, equivalente ao GSM na faixa de 1800 MHz utilizado em vários países da América do Sul, Ásia e Austrália;
- PCS 1900, equivalente do GSM utilizado nos Estados Unidos, na faixa de 1900 MHz.

A terceira geração (3G) surgiu como uma tentativa de se tornar uma evolução tecnológica da geração anterior, bem como permitir a compatibilidade e integração de diferentes sistemas. Neste sentido, a UIT-R criou, em 1999, o IMT-2000, um padrão mundial para redes sem fio. Em 2007, foi acrescentado o padrão baseado na tecnologia WiMAX. Atualmente, os padrões são:

- IMT-DS *Direct-Sequence*: conhecido como W-CDMA ou UTRA-FDD, usado no UMTS;
- IMT-MC *Multi-Carrier*: conhecido como CDMA2000, o sucessor do 2G CDMA (IS-95);
- IMT-TD *Time-Division*: abrange o TD-CDMA (*Time Division - Code Division Multiple Access*) e o TD-SCDMA (*Time Division - Synchronous Code Division Multiple Access*);
- IMT-SC *Single Carrier*: conhecido como EDGE;
- IMT-FT *Frequency Time*: conhecido como DECT;
- IMT-OFDMA TDD WMAN: conhecido como WiMAX.

Na terceira geração foram definidos alguns requisitos básicos, entre os quais podem ser destacados:

- *roaming* global;
- compatibilidade com os sistemas de segunda geração;
- taxa de transmissão variável para permitir largura de banda sob demanda: 2 Mbps para ambientes internos, 384 kbps em áreas urbanas e 144 kbps para áreas rurais e movimentação em alta velocidade;
- suporte de tráfego assimétrico do enlace de descida, geralmente mais elevado, em relação ao enlace de subida.

A Figura 1.1 mostra um quadro evolutivo dos sistemas de telefonia móvel até a terceira geração.

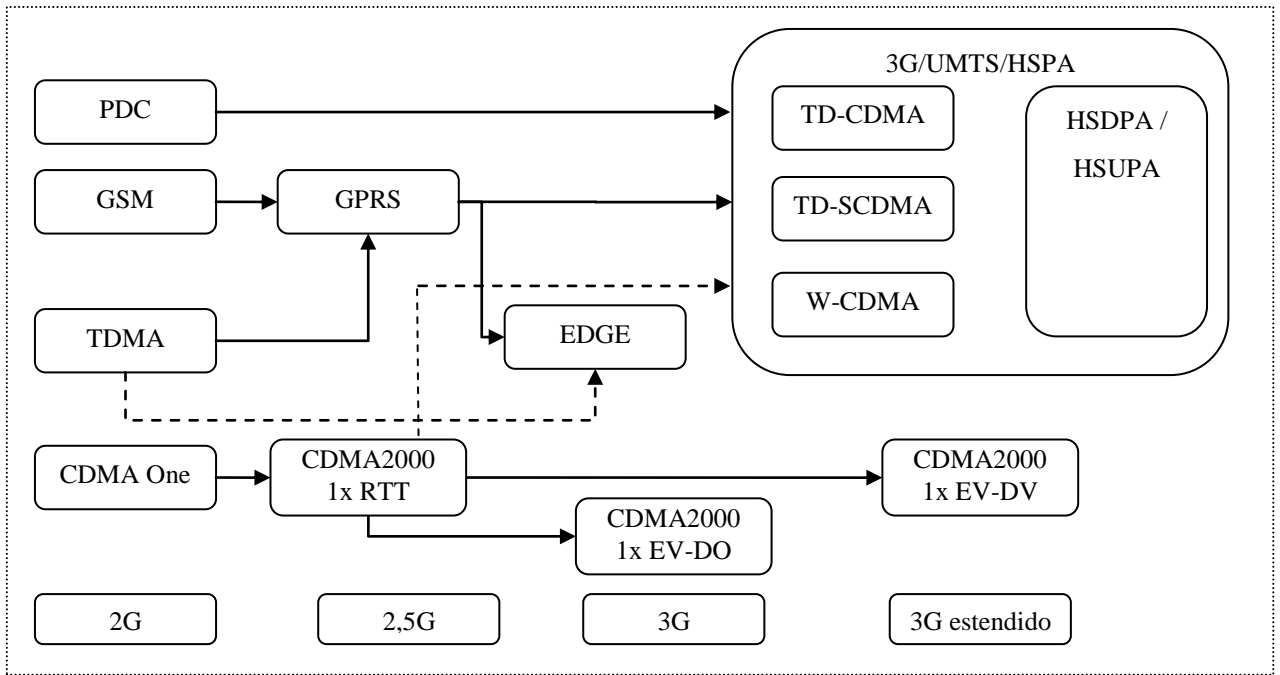


Figura 1.1 – Quadro evolutivo dos sistemas de telefonia móvel

Atualmente, as operadoras e fabricantes de sistemas de comunicações móveis estão desenvolvendo uma série de especificações, com o objetivo de alcançar o que se convencionou chamar LTE – *Long Term Evolution*, patrocinado pelo 3GPP Fórum, e sendo considerado como a quarta geração da telefonia celular. No âmbito da UIT, o padrão para a quarta geração (4G) passou a se chamar IMT - *advanced*, que vem recebendo contribuição de diferentes áreas.

O 3GPP Fórum propõe uma evolução tecnológica em direção ao LTE, conforme mostrado na Figura 1.2.

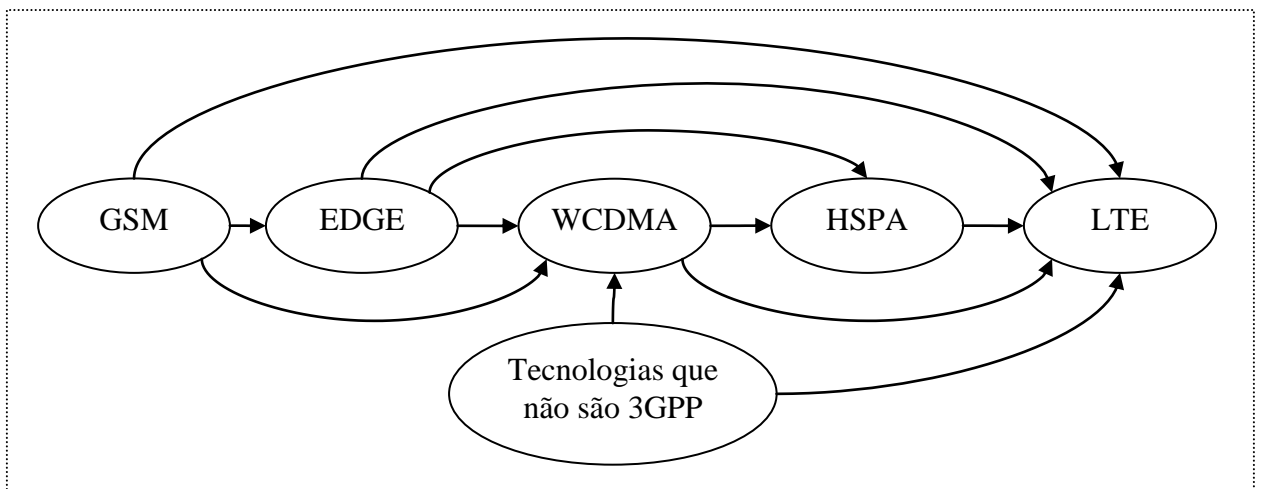


Figura 1.2 – Evolução tecnológica em direção ao LTE

1.2 Comunicação de dados em redes sem fio

A evolução dos sistemas de comunicações celulares provocou um aumento substancial da demanda por comunicação de dados em mobilidade. Inicialmente, a comunicação de dados ficou restrita à utilização do próprio canal de voz, que limitava a taxa a valores muito baixos, se comparados aos oferecidos pelas redes a cabo.

A partir do sistema GSM, foi desenvolvida a rede GPRS, considerada como sua extensão, pois opera em modo paralelo àquela com taxas de transmissão de até 160 kbps. Outras tecnologias desenvolvidas foram: EDGE, 1xRTT, EV-DO e EV-DV.

A Figura 1.3 apresenta uma comparação entre os principais sistemas de comunicação de voz e dados, em relação à cobertura e taxa de transmissão:

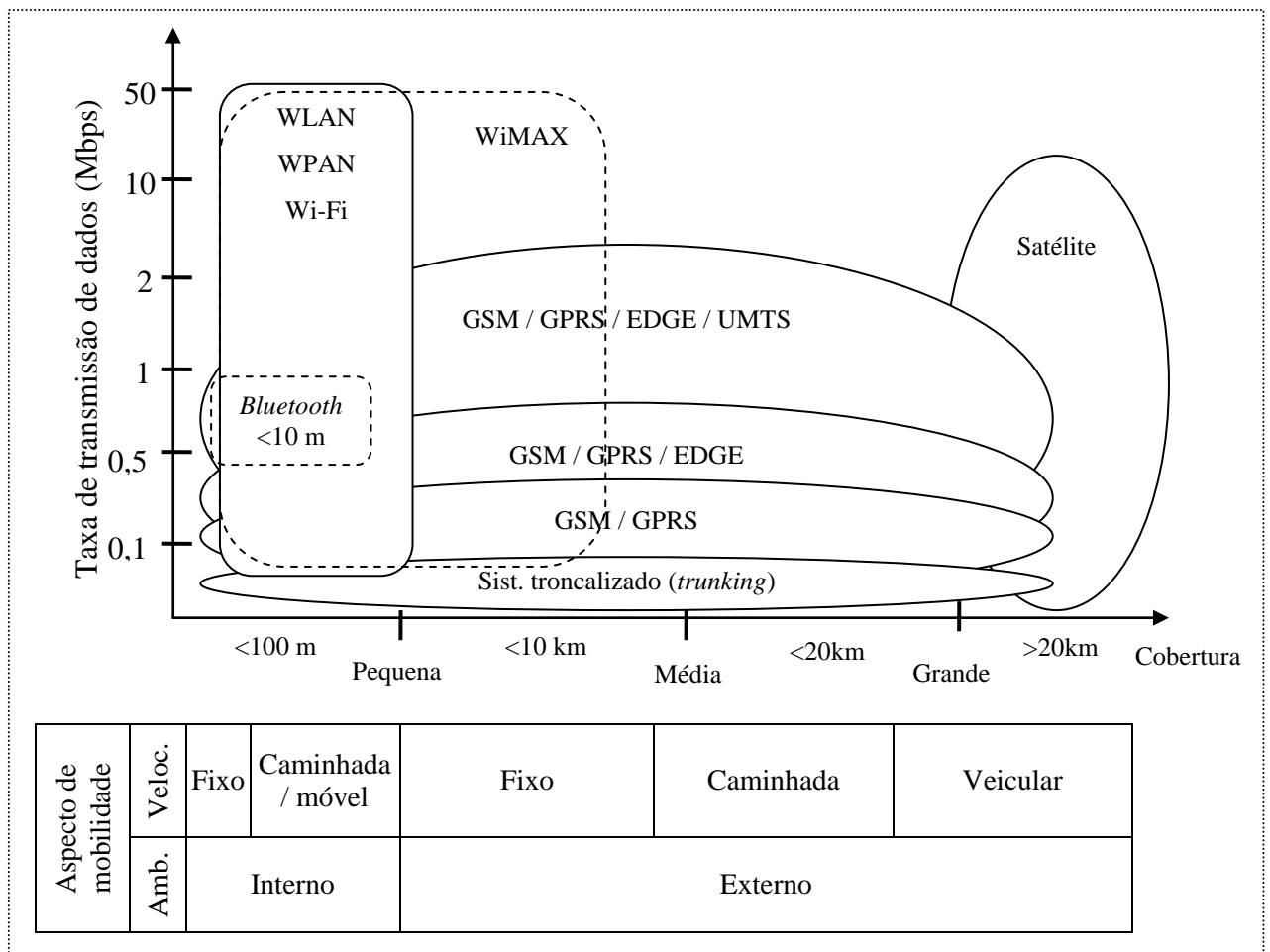


Figura 1.3 – Comparação entre os principais sistemas de comunicação de voz e dados em relação à cobertura e taxa de transmissão

Fonte: Pahlavan [15] com adaptações

Para as redes de computadores, também foram desenvolvidos recursos tecnológicos que permitissem a comunicação sem fio nas chamadas *Wireless Local Area Network* (WLAN). Atualmente, as tecnologias mais empregadas e de maior potencial são WLAN, *Wireless fidelity* (WiFi), *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) e *Wireless Broadband* (WiBro), baseadas, em sua maioria, em padrões da camada física padronizados pelo IEEE. Já a solução completa está baseada na aplicação de diferentes tecnologias, cuja integração está sendo coordenada por organizações internacionais e fóruns, onde estão reunidos fabricantes e empresas interessadas no seu desenvolvimento e aplicações para o mercado.

Seja qual for a linha de desenvolvimento comercial, algumas tecnologias se mostram chave para os futuros sistemas de comunicação móvel, tais como: OFDMA, MIMO e *Beamforming*, uma vez que possuem capacidade de permitir a comunicação com altas taxas em diferentes ambientes. Assim, o conhecimento do comportamento do sinal e a sua interação com o ambiente são de fundamental importância para o desenvolvimento de novas tecnologias.

1.3 Revisão bibliográfica

A seguir, será feita uma breve revisão dos temas abordados por autores consagrados, que são de interesse para esta Dissertação.

Norton [1] e [2], lançou as principais bases para a compreensão da propagação das ondas espaciais e superficiais sobre a Terra plana e esférica. Apresentou equações, gráficos e tabelas que permitiram melhor compreensão e cálculo da perda de propagação e dos fenômenos de propagação considerando a superfície, atmosfera, polarização da onda, distância e altura das antenas. Muitos outros trabalhos se seguiram abordando aspectos de comunicação veicular, como o realizado por Bullington [3], onde efeitos de edifícios e árvores foram considerados em um conjunto de equações e tabelas.

Okumura *et al* [4] desenvolveram uma série de gráficos para a determinação da perda de percurso a partir de uma extensa campanha de medições feitas na cidade de Tóquio, no ano de 1968. Naquela época, havia um interesse crescente em se conhecer o comportamento dos sinais de radiofrequência para comunicações móveis em ambientes urbanos e terrenos irregulares. Fatores de correção de ganho para altura da antena transmissora e para a estação veicular foram obtidos para ambientes urbanos, suburbanos e áreas abertas sobre terreno quase suave. O comportamento do sinal em diferentes tipos de terrenos como montanhas,

inclinados e com trechos de terra e mar foram estudados. O estudo foi elaborado em diferentes faixas de frequência: 200 MHz, 453 MHz, 922 MHz, 1430 MHz e 1920 MHz, abrangendo distâncias entre 1 e 100 km, com altura da antena variando entre 30 a 1000 m.

Hata [5] elaborou uma série de equações a partir dos dados obtidos por Okumura *et al*, permitindo que fosse utilizado processamento por computador, o que veio a permitir maior agilidade nos cálculos de predição da perda de percurso, simulação e comparação com outros ambientes. Destaca-se que sua proposta estava baseada na forma $A + B \cdot \log_{10} R$, muito utilizada, posteriormente, por outros autores.

Erceg *et al* [6] realizaram uma série de medidas em macrocélulas nos Estados Unidos, na frequência de 1,9 GHz, e propuseram um modelo, também com base em $A + B \cdot \log_{10} R$, para distâncias entre 0,1 a 8 km com altura da antena base variando entre 10 e 80 metros. O modelo desenvolvido acrescentou um fator de sombreamento devido ao desvanecimento lento, o cálculo do expoente da perda de percurso baseada em uma série de fatores estatísticos e a determinação de uma distância de referência para o cálculo do valor de A , o qual observou apresentaria um valor próximo à atenuação do espaço livre. O modelo proposto foi desenvolvido para áreas urbanas e, posteriormente, foi utilizado como referência para utilização em sistemas WiMAX, em conjunto com o modelo de canal SUI [27].

Em termos da caracterização de canal, Bello [7] apresenta um artigo clássico onde descreve a caracterização do canal em termos estatísticos, partindo de uma visão determinística e considerando espalhadores descorrelacionados e um canal estacionário no sentido amplo.

Especificamente em termos de ambiente marítimo, que é o foco deste trabalho, tem-se o trabalho apresentado por Ament [8], que buscou obter equações para formular a rugosidade da superfície do mar e seus efeitos no sinal refletido para faixa de micro-ondas.

Posteriormente, Beard [9] analisou dados de uma série de experimentos feitos nas frequências de 5,6 GHz ($\lambda=5,3$ cm), 9,375 GHz ($\lambda=3,2$ cm) e 34,88 GHz ($\lambda=0,86$ cm), no golfo do México, entre duas plataformas de perfuração de petróleo, e comparou os resultados com teorias anteriores, concluindo que as teorias não apresentavam boa concordância com os dados medidos.

Brown *et al* [10] apresentaram uma nova formulação, que permitiria melhor ajustamento com os dados experimentais analisados por Beard [9]. Posteriormente, Miller *et al* [11] realizaram a comprovação matemática da formulação obtida por Brown [10],

chegando a uma versão final a respeito o efeito da rugosidade da superfície do mar no sinal refletido.

Hurtaud [12], em relatório do *Centre d'Electronique de A'Armement* (CELAR), apresenta o resultado de três medidas de campanhas em relação à propagação de ondas milimétricas acima da superfície do mar, realizadas na costa da cidade Lorient, na Inglaterra. Neste relatório, diversos aspectos de propagação foram estudados, concluindo que os fenômenos de reflexão na superfície do mar, atenuação devido à chuva e condições atmosféricas não padrão são os que mais afetam a propagação. Observa-se que, neste estudo, as estações de transmissão e recepção foram mantidas em locais fixos, embora houvesse variação da altura da antena. O comprimento do radioenlace foi de 9,7 km e as frequências utilizadas foram 36 GHz e 94 GHz.

Os livros de referência utilizados, para fins desta Dissertação de Mestrado, foram: Bertoni [13], Parsons [14], Pahlavan [15], Rappaport [16], Yacoub[17], Lee [18] e Sklar [19], que apresentam em maior ou menor grau os conceitos tratados em diversos artigos citados, o desenvolvimento e a demonstração de algumas das equações utilizadas. Além destes livros, deve ser destacada a utilização do relatório COST 231 [20], importante concentrador de teorias e aplicações em diferentes áreas das telecomunicações.

Muitos outros artigos merecem destaque e serão citados ao longo do desenvolvimento da Dissertação por tratarem de um assunto de interesse no momento, seja por proporem uma nova metodologia de cálculo, seja por proporcionarem um aprofundamento no assunto necessário ao estudo.

1.4 Objetivo da Dissertação

O objetivo desta Dissertação de Mestrado é analisar a Resposta em Banda Estreita de um Canal Marítimo na Faixa de 3,5 GHz, para fim de caracterização do canal rádio móvel.

1.5 Roteiro

Para atingir o objetivo estabelecido no item anterior, foram realizados testes iniciais na faixa de 2,4 GHz, no ambiente marítimo da Baía da Guanabara, com o sistema de transmissão instalado na Base de Hidrografia da Marinha do Brasil, localizada na Ponta da Armação em Niterói. Estes testes serviram para análise preliminar do comportamento do canal rádio móvel naquele ambiente marítimo, avaliação da configuração dos equipamentos e dos parâmetros

que seriam utilizados para a realização das medições, e também para ajuste dos programas de computador que foram desenvolvidos para registro, armazenagem, processamento e apresentação dos dados.

Posteriormente, em ambiente marítimo na região costeira da cidade de Macaé, foi realizada uma nova campanha de medições, cujos resultados foram utilizados nesta Dissertação de Mestrado. Assim, este trabalho foi desenvolvido e está organizado da seguinte forma:

- O capítulo 1 apresenta uma breve descrição da evolução das redes de comunicações móveis e de suas vertentes de comunicação de voz e dados, mostrando uma comparação entre as tecnologias que apresentam maior aplicação e potencial de utilização;
- O capítulo 2 apresenta as teorias de propagação no canal rádio móvel, procurando sintetizar os principais aspectos e aprofundar naqueles que serão necessários para atingir os objetivos desta Dissertação;
- O capítulo 3 mostra algumas técnicas de medição para a realização de medidas em campo, em bandas estreita e larga, tendo com base os equipamentos disponíveis no Laboratório de Propagação do Departamento de Engenharia de Telecomunicações da UFF;
- O capítulo 4 apresenta a configuração dos sistemas de transmissão e recepção, utilizados nas medições;
- O capítulo 5 descreve o ambiente, o planejamento das medidas, a montagem dos equipamentos para a realização dos testes e os principais parâmetros de configuração;
- O capítulo 6 apresenta os resultados das medições realizadas, a análise destes resultados e proposta de ajuste do modelo, que melhor representa a propagação no ambiente marítimo estudado;
- O capítulo 7 apresenta as conclusões e as e sugestões para trabalhos futuros;
- O capítulo 8 apresenta a relação bibliográfica consultada e de referência;
- O Anexo 1 apresenta análises qualitativas adicionais, enquanto que os Anexos de 2 a 6 apresentam os fluxogramas, arquivos, programas e estrutura de diretórios para o processamento e análise dos dados.

2 Teoria de propagação no canal rádio móvel

Este capítulo apresenta os aspectos considerados mais importantes para a compreensão da teoria de propagação das ondas eletromagnéticas no canal rádio móvel, relacionados aos objetivos desta Dissertação. Busca-se, também, mostrar formas e alternativas de cálculo dos parâmetros presentes nas equações, a partir dos resultados das medições realizadas em campo, de modo que possam ser posteriormente processados e analisados.

A importância da caracterização do canal rádio móvel se torna evidente, uma vez que a utilização de sistemas que proporcionam a mobilidade está, cada vez mais, presente no dia a dia das pessoas, nos mais variados tipos de ambientes. Do mesmo modo, a previsão do nível do sinal e das características de propagação, em função do ambiente e da mobilidade, é fundamental para o estabelecimento do serviço de radiocomunicação. No entanto, é reconhecido que a modelagem da propagação no canal rádio móvel é uma das partes mais difíceis no projeto de sistemas móveis e é, tipicamente, realizada utilizando-se cálculos estatísticos, baseados em medições feitas especificamente para um determinado sistema, conforme destacado por Rappaport [16].

2.1 Classificação do ambiente de propagação

Um aspecto que merece atenção é a classificação do ambiente de propagação, uma vez que muitos dos modelos de propagação a utilizam para agrupar características semelhantes do ambiente e permitir a extrapolação ou utilização de um determinado modelo. Esta classificação qualitativa, no entanto, pode levar a erros de interpretação e utilização de um determinado modelo de propagação. Segundo Parsons [14]:

Isto leva à dúvida se modelos de predição, baseados em medições feitas em uma cidade são, geralmente, aplicáveis em qualquer lugar. Existe a necessidade óbvia de descrever quantitativamente o ambiente para superar a inevitável ambiguidade incorporada em uma definição qualitativa, a qual pode surgir devido a diferenças culturais ou julgamentos subjetivos.

Ainda de acordo com Parsons [14], quando considerados os efeitos do ambiente, seis fatores são úteis na classificação da ocupação do ambiente de propagação:

- Densidade de edifícios (percentual da área coberta por edifícios);

- Tamanho dos edifícios (área coberta por um edifício);
- Altura do edifício;
- Localização do edifício;
- Densidade de vegetação;
- Ondulações do terreno.

Diversos autores propuseram formas de classificação, tendo por base alguns dos fatores acima, e considerando sua própria experiência [14].

Atualmente, informações precisas podem ser obtidas a partir de sistemas de informações geográficas (*Geographic Information Systems – GIS*), cujos dados digitais permitem acessar as características do ambiente, através de um mapa digitalizado da região considerada. A partir deste mapa, é possível extrair os seguintes parâmetros [14]:

- Localização dos edifícios (em relação a algum ponto de referência);
- Tamanho da construção;
- Área total ocupada pelos edifícios;
- Número de edifícios na área considerada;
- Alturas do terreno;
- Parques e/ou jardins com árvores e vegetação.

Com estas informações, é possível a obtenção de parâmetros adicionais, tais como:

- Distribuição do tamanho dos edifícios;
- Distribuição da altura dos edifícios;
- Distribuição da localização dos edifícios;
- Índice da área construída;
- Índice de vegetação;
- Índice de ondulação do terreno.

A Tabela 2.1 apresenta um exemplo de classificação do ambiente de propagação e sua descrição, de acordo com modelos de propagação mais utilizados.

Tabela 2.1 – Classificação do ambiente de propagação

Classificação do ambiente de propagação	Descrição do ambiente de propagação
Rural	Poucas construções bem espaçadas com elevação suave.
Suburbano	Apresenta aglomerados de construções de tamanho semelhante.
Pequenas cidades	Apresenta aglomerados de construções de tamanho semelhante.
Grandes cidades	Apresenta núcleo central, com construções de diferentes tamanhos e alturas.
Residências	Apresenta mobílias de tamanhos, formas e localizações variadas, em áreas relativamente pequenas.
Escritórios	Apresenta mobílias de tamanhos, formas e localizações relativamente uniformes, com corredores longos interligando escritórios de menor tamanho.
Fábricas	Apresenta áreas amplas com corredores longos.
Indústrias	Apresenta áreas amplas com a presença de máquinas e estruturas metálicas.
Denso	Ambiente com pequenas salas; tipicamente um escritório, onde cada empregado possui uma sala; maior parte em condições sem linha de visada.
Aberto	Ambiente com amplas salas; tipicamente um escritório, onde uma sala é compartilhada por vários empregados; predomínio da condição de linha de visada e linha de visada obstruída.
Largo	Ambientes consistindo de salas muito amplas; tipicamente uma fábrica, <i>shopping center</i> ou salão de aeroporto; predomínio da condição de linha de visada e linha de visada obstruída.
Corredor	Transmissor e receptor ao longo de um mesmo corredor; condição de linha de visada.

Fonte: [6], [14] e [18] com adaptações

A classificação dos ambientes é útil para o agrupamento daqueles com características aproximadas, e aplicação de um modelo de predição de perda de percurso com mais sucesso. No entanto, não é possível utilizar esta classificação em todos os ambientes semelhantes, seja por causa das diferenças intrínsecas destes ambientes, seja por causa das características constitutivas dos materiais que compõem estes ambientes, mesmo quando semelhantes. Também deve ser lembrado que a faixa de frequência e a banda ocupada são fatores que devem ser periodicamente avaliados, principalmente devido ao aumento da faixa de

frequência utilizadas nos modernos sistemas de telecomunicações; a possibilidade de utilização em ambientes ainda pouco conhecidos; a própria modificação do ambiente e a aplicação das novas tecnologias de telecomunicações.

2.2 Medições em campo

A realização de medições em campo é de extrema importância para fornecer dados que permitam que o projeto do sistema seja adequado ao ambiente onde será implantado. A partir delas, simulações podem ser realizadas, novas teorias podem ser propostas e aquelas existentes podem ser avaliadas e, se for o caso, aprimoradas, conforme ilustra a Figura 2.1.

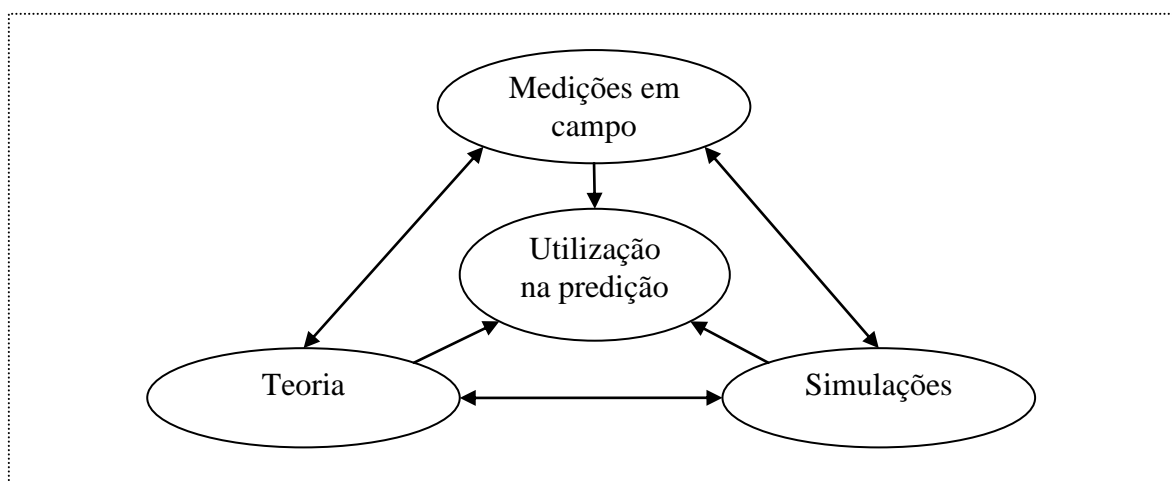


Figura 2.1 – Relação entre medições em campo, teoria e simulações

Diversos autores reconhecem a importância da realização de medições em campo. Segundo Bertoni [13] “É, portanto, uma prática comum na indústria celular realizar testes móveis para obter valores corretos para a interceptação $10\log_{10}A$ e do índice de inclinação n , para o real ambiente de operação”.

De acordo com o relatório COST 231 [20], “uma detalhada análise do canal rádio é de importância básica para o projeto dos futuros sistemas de comunicação, bem como para a otimização e extensão dos sistemas existentes”. Ainda segundo aquele relatório, “devido à complexidade do fenômeno de propagação e devido à natureza estatística dos parâmetros do canal rádio móvel, uma caracterização confiável somente pode ser alcançada baseada em medições apropriadas do canal”.

Parsons [14] reconhece que determinados parâmetros, que fornecem uma adequada descrição do canal, são obtidos a partir de dados experimentais, de modo que possam

esclarecer o mecanismo de propagação que existe no canal rádio: “os engenheiros estão mais interessados em obter parâmetros que possam ser utilizados para prever o desempenho ou limites de desempenho do sistema de comunicação que se pretende operar no canal”.

Segundo Gláucio [21], uma medição quantitativa da variabilidade de medida de sinal é essencial por muitas razões. Para ele, este é o único meio de estimar a porção de uma dada área que possui um adequado nível de sinal ou a probabilidade de interferência de um transmissor distante, por exemplo.

2.3 Propagação de ondas eletromagnéticas

O estudo da propagação de ondas eletromagnéticas tem, por objetivo principal, a obtenção do nível do sinal em determinado local ou posição geográfica [13], [14] e [16].

Diversos pesquisadores realizaram estudos e propuseram modelos de propagação que são mais adequados a determinado terreno, ambiente, condições climáticas e faixa de frequências específica, uma vez que estes fatores podem alterar de modo significativo o comportamento da propagação da onda eletromagnética e os resultados obtidos do modelo.

Neste trabalho, serão analisados com maior ênfase os modelos de propagação sobre a terra plana e em áreas abertas, avaliando-se, também, a aplicabilidade dos modelos mais utilizados para a faixa de 3,5 GHz, de modo a verificar sua aplicabilidade no ambiente marítimo.

2.3.1 Modelo básico de propagação

Uma onda eletromagnética, que se propaga no espaço irá se espalhar em diversas direções de acordo com as características direcionais do elemento irradiador, ou seja, em função do diagrama de irradiação da antena. Quando a frequência é muito elevada, uma descrição simplificada da direção de propagação da onda pode ser feita utilizando a teoria de raios (óptica geométrica), na qual uma frente de onda se desloca em uma direção retilínea, a partir do ponto de irradiação. Se considerarmos um ambiente sem obstáculos, de qualquer natureza, a perda do sinal no percurso entre transmissor e receptor, poderá ser calculada por:

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = G_t G_r \left(\frac{c}{4\pi f d} \right)^2 \quad (2.1)$$

onde:

- P_t : potência de transmissão;
- P_r : potência do sinal recebido;
- G_t : ganho da antena transmissora;
- G_r : ganho da antena receptora;
- λ : comprimento de onda;
- d : distância horizontal entre o ponto de transmissão e recepção;
- c : velocidade da luz ($=3 \times 10^8$ m/s);
- f : frequência do sinal.

Esta expressão, também conhecida como fórmula de Friis, considera a existência de somente um percurso entre a antena de transmissão e a antena de recepção, e possibilita o cálculo da atenuação de espaço livre.

A relação P_t/P_r também pode ser vista como a perda básica de transmissão no espaço livre que, na escala de decibéis, é dada por:

$$L_{el} (dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_t}{P_r} \right) \quad (2.2)$$

Considerando antenas isotrópicas, a perda básica de transmissão no espaço livre pode ser obtida por:

$$L_{el} (dB) = 32,44 + 20 \log_{10} f (MHz) + 20 \log_{10} d (km) \quad (2.3)$$

Se a superfície da Terra for considerada plana, dependendo do diagrama de irradiação da antena, poderá ocorrer reflexão do sinal. Utilizando a teoria de raios, uma reflexão poderá alcançar o ponto de recepção, fazendo com que surja uma interação entre o sinal direto e o refletido, sendo esta interação considerada na consagrada teoria de dois raios, proposta por Norton. Esta interação ou interferência ocorrerá na amplitude e na fase dos sinais. Na antena receptora, estes sinais serão combinados fazendo surgir uma envoltória resultante, que poderá apresentar amplitude maior ou menor em relação ao sinal direto, dependendo do coeficiente de reflexão da superfície da Terra. Para distâncias muito grandes, deverá ser considerada a curvatura da superfície da Terra, e o efeito da onda refletida na superfície será reduzido devido à divergência do sinal [2].

2.3.2 Modelo de dois raios para Terra plana

Em enlaces de rádio onde a antena transmissora está situada a muitos comprimentos de onda acima da superfície da Terra plana, o modelo de dois raios é comumente empregado. Neste modelo, a partir da antena, supõe-se que raios saem em diferentes direções seguindo a onda esférica e perpendicular a esta. O sinal que chega à antena receptora pode ser considerado como resultante da composição de um raio direto com um raio refletido. A Figura 2.2 apresenta o modelo de dois raios [2] e [13].

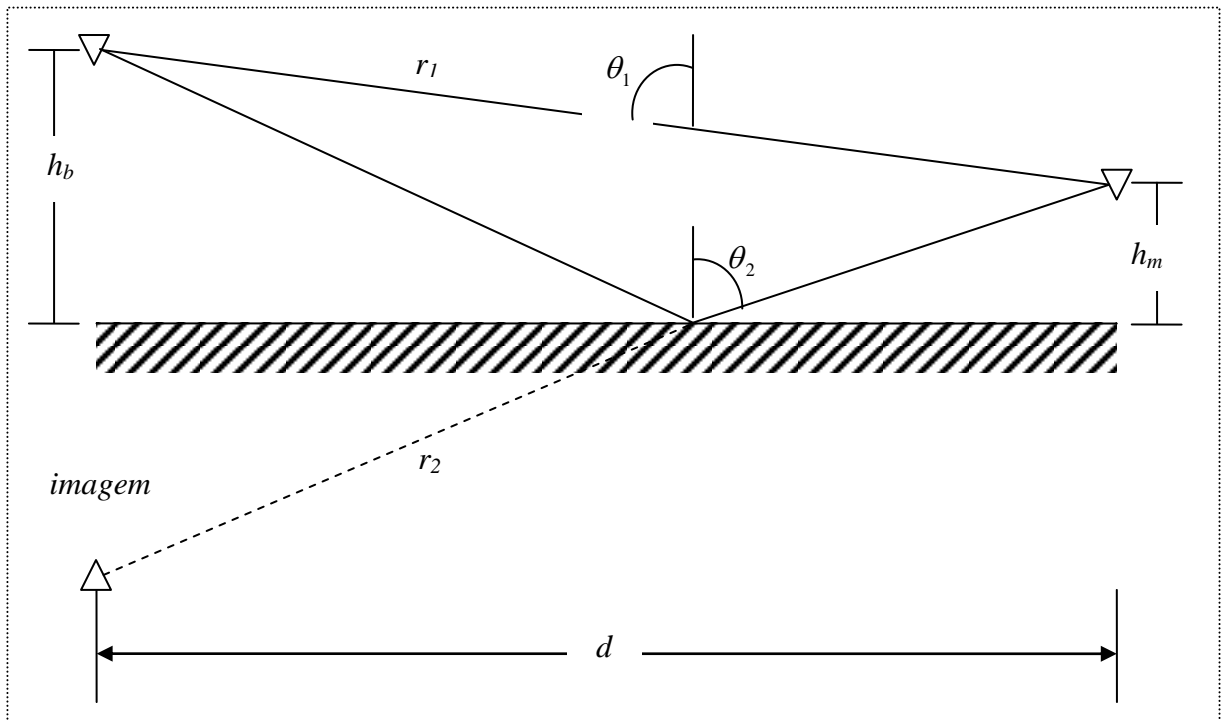


Figura 2.2 – Modelo de dois raios.

Supondo que as antenas são isotrópicas, a perda de percurso a uma distância r_1 da antena transmissora é dada por [13]:

$$PL = \left[\left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \frac{e^{-jkr_1}}{r_1} + \Gamma(\theta_2) \frac{e^{-jkr_1}}{r_2} \right|^2 \right]^{-1} \quad (2.4)$$

e

$$\Gamma(\theta_2) = \frac{\sqrt{\epsilon_r} \cos \theta_1 - \cos \theta_2}{\sqrt{\epsilon_r} \cos \theta_1 + \cos \theta_2} \quad (2.5)$$

$$PL = \frac{P_t}{P_r} \quad (2.6)$$

onde:

- PL : é a perda de percurso;
- $\Gamma(\theta_2)$: coeficiente de reflexão para terra plana na polarização horizontal;
- $k = 2\pi / \lambda$: número de onda;
- ε_r : constante dielétrica relativa do mar ($=81$);
- λ : comprimento de onda;
- r_1 : distância direta entre a antena transmissora e a antena receptora;
- r_2 : distância entre a imagem da antena transmissora e a antena receptora;
- d : distância horizontal entre a antena transmissora e receptora;
- θ_1 : ângulo entre r_1 e a normal no ponto de reflexão na superfície;
- θ_2 : ângulo entre o raio refletido e a normal à superfície no ponto de reflexão;
- h_b : altura da antena transmissora;
- h_m : altura da antena receptora.

Como exemplo, para a frequência utilizada nos testes (3,515 GHz), foi traçado o gráfico da perda de percurso com a distância, considerando polarização vertical (onda TH), coeficiente de reflexão sobre o mar, que tem permissividade relativa aproximadamente igual a 81, e considerando uma distância inicial de referência de 100 m conforme apresenta a Figura 2.3.

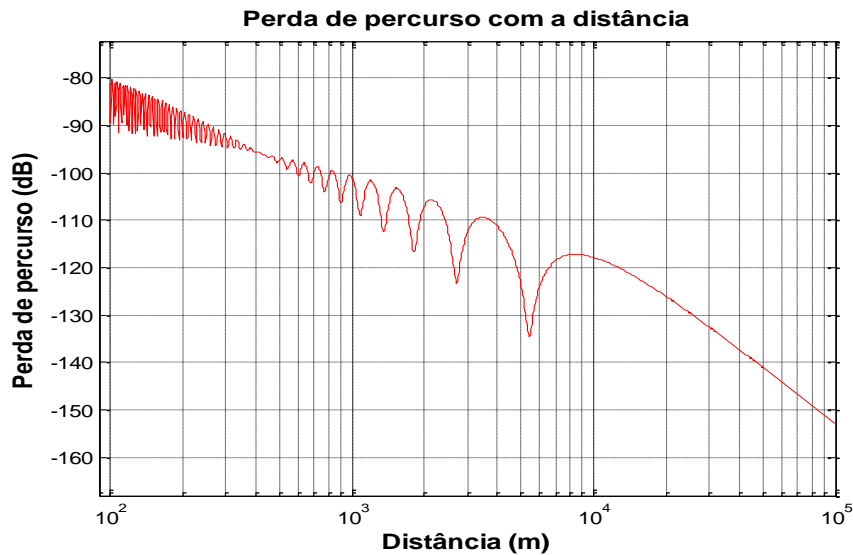


Figura 2.3 – Perda de percurso com a distância para superfície do mar na frequência de 3,515 GHz

Este modelo é adequado para utilização quando existe linha de visada entre transmissor e receptor e, a partir de medições realizadas sobre a terra plana, uma curva de melhor ajuste pode ser calculada para representar a perda de percurso com o logaritmo da distância. A partir deste modelo podem ser estabelecidas duas regiões. O limite de transição de uma região para outra, conhecido como ponto de quebra, é indicado pelo último máximo e é dado por [13], estando dentro da região de interferência:

$$R_b = \left(4 \frac{h_b \cdot h_m}{\lambda} \right) \quad (2.7)$$

onde:

- h_b : altura da antena da estação base ou transmissora;
- h_m : altura da antena da estação móvel.

Como são traçadas duas curvas ou retas, se a escala da distância for logarítmica, este modelo também é chamado de modelo de dupla inclinação. Desta forma, pode ser estabelecida uma reta com uma inclinação antes do ponto de quebra e outra inclinação para após este ponto. A perda de propagação será dada em [22] por:

$$PL(dB) = PL_b + \begin{cases} PL(d_0) + 10n_1 \log d & 1 < d < R_b \\ 10(n_1 - n_2) \log R_b + PL(d_0) + 10n_2 \log d & d > R_b \end{cases} \quad (2.8)$$

onde:

- n_1 : índice de inclinação antes do ponto de quebra;
- n_2 : índice de inclinação após do ponto de quebra;
- d_0 : distância de referência;
- PL_b : perda básica de transmissão, que depende da frequência e altura das antenas;
- $PL(d_0)$: perda de percurso a uma distância de referência.

2.3.3 Modelo da perda de percurso com o logaritmo da distância

Modelos de perda de percurso teóricos e baseados em medidas indicaram que a potência média do sinal decresce logaritmicamente com a distância [14] seja em canais internos ou externos. A perda de percurso pode, então, ser expressa como uma função da distância pelo uso do expoente n ou fator de atenuação para variação em larga escala do sinal:

$$\overline{PL}(d) \propto \left(\frac{d}{d_0} \right)^n \quad (2.9)$$

O fator de atenuação n pode usado para classificar o tipo de ambiente, conforme apresentado na Tabela 2.2 [14].

Tabela 2.2 – Perda de percurso para diferentes ambientes

Ambiente	Expoente da perda de percurso (n)
Espaço livre	2
Áreas urbanas	2,7 a 3,5
Áreas urbanas com sombreamento	3 a 5
Dentro de construções em linha de visada (LOS)	1,6 a 1,8
Dentro de construções com obstrução (NLOS)	4 a 6

Este fator de atenuação n pode ser obtido a partir de medidas em campo no ambiente estudado, conforme concluído por Erceg [6]. Dois procedimentos para obtenção do fator de atenuação podem ser utilizados. O primeiro é apresentado por Parsons, em [14] que diz:

Na prática, o valor do índice n e do desvio padrão são calculados a partir de dados medidos utilizando regressão linear, de tal modo que a diferença entre os dados medidos e estimados da perda de percurso seja minimizada, considerando o erro médio quadrático calculado sobre uma grande quantidade de medidas entre transmissor e receptor. Os valores de $\overline{PL}(d_0)$ são baseados em medições próximas ao transmissor ou na suposição de espaço livre a uma distância d_0 do transmissor.

Assim:

$$\overline{PL}(dB) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right) \quad (2.10)$$

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) - \overline{PL}(dB) \quad (2.11)$$

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) - \overline{PL}(d_0) - 10n \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right) \quad (2.12)$$

$$P_r(d_0) = P_t(dBm) - \overline{PL}(d_0) \quad (2.13)$$

$$P_r(dBm) = P_r(d_0) - 10n \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right) \quad (2.14)$$

onde:

- $\overline{PL}(dB)$: perda do percurso, em dB;
- $\overline{PL}(d_0)$: perda de espaço livre na distância de referência d_0 , em dB;
- $P_r(dBm)$: potência recebida, em dBm;
- $P_r(d_0)$: potência recebida, em dBm, a uma distância de referência d_0 ;
- $P_t(dBm)$: potência de transmissão, em dBm;
- d_i : i -ésima distância da medida, em metros;
- d_0 : distância de referência, em metros.

A equação (2.14) pode, então, ser utilizada para o cálculo do fator de atenuação considerando o valor da potência recebida $P_r(dBm)$ em comparação com o valor da potência estimada:

$$\hat{p}_i = p(d_0) - 10n \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right) \quad (2.15)$$

onde:

- \hat{p}_i : potência recebida estimada no *i-ésimo* ponto, em dBm; e
- $p(d_0)$: potência medida ou calculada (espaço livre) na distância de referência d_0 , em dBm.

A distância de referência (d_0) pode ser tomada como sendo de 100 m. Cabe observar que os testes apresentados em [6] também concluíram que a distância de 100 é adequada para estimar d_0 .

Em seguida, com a equação (2.16), os valores de $p_i(d_0)$ e n são obtidos pelo método do mínimo erro médio quadrático:

$$J(n) = \sum_{i=1}^k (p_i - \hat{p}_i)^2 \quad (2.16)$$

onde:

- p_i : é o *i-ésimo* valor medido;
- \hat{p}_i : é o *i-ésimo* valor estimado a partir da equação (2.15);
- k : é o número total de amostras.

O resultado da aplicação da equação (2.16) é um polinômio do segundo grau em n , do tipo:

$$J(n) = an^2 + bn + c \quad (2.17)$$

Para encontrar o valor que minimiza a função e, conseqüentemente, o erro médio, é calculada a derivada da função:

$$\frac{dJ(n)}{dn} = 2an + b \quad (2.18)$$

que, igualando a zero, fornece o valor de n .

A variância pode ser calculada por:

$$\sigma^2 = \frac{J(n)}{k} \quad (2.19)$$

e o desvio padrão será σ .

Desta forma, uma variável aleatória, de média zero e desvio padrão σ , pode ser adicionada ao cálculo da potência estimada para simular os efeitos do sombreamento aleatório. Com a adição deste termo, o modelo de variação da perda de percurso com o logaritmo da distância passa a ser conhecido como sombreamento log-normal a uma distância d :

$$\overline{PL}(d) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (2.20)$$

Este método apresenta o inconveniente da necessidade de se ter que calcular, simbolicamente, o valor do fator de atenuação que, para grande quantidade de amostras é muito demorado, mesmo utilizando recursos de computação.

Outro procedimento apresentado por [23] e desenvolvido em [24] em, mostra-se bastante superior, em termos computacionais, e de simples implementação, podendo ser obtido diretamente do nível dos sinais medidos em campo. Assim, da equação do cálculo do balanço de potência:

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + G_t + G_r + G_{LNA} - A_{CC} - A \quad (2.21)$$

onde:

- $P_r(dBm)$: Potência do sinal medido, em dBm;
- $P_t(dBm)$: Potência do sinal transmitido, em dBm;
- G_t : Ganho da antena de transmissão, em dBi;
- G_r : Ganho da antena de recepção, em dBi;
- G_{LNA} : Ganho do amplificador de baixo ruído, em dB;
- A_{CC} : Atenuação de cabos e conectores, em dB;
- A : Atenuação do percurso, em dB, que inclui a atenuação de espaço livre.

obtem-se, para a atenuação no percurso:

$$A(dB) = P_t(dBm) + G_t + G_r + G_{LNA} - A_{CC} - P_r(dBm)$$

Conforme apresentado por [14], a equação para análise dos mínimos quadrados mostra que a atenuação ou perda de percurso é dada por:

$$\overline{PL}(dB) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right) \quad (2.22)$$

com $A = \overline{PL}(dB)$.

A partir da análise da perda de percurso no espaço livre e modelos de propagação semi-empíricos pôde ser concluído que a perda de percurso global pode ser descrita por uma equação linear, quando a distância é tomada em escala logarítmica, podendo ser aproximada para [24]:

$$y = a + Kx \quad (2.23)$$

onde:

- $y = \overline{PL}(dB)$: representa a perda média de percurso;
- a : intercepta y e representa a perda de percurso na distância medida d_0 ;
- $K=10n$: representa a inclinação da reta, sendo n o fator de atenuação procurado;
- $x = \log(d_i)$: é o logaritmo da distância onde o sinal foi medido.

O objetivo, então, é encontrar a e K de modo que $y = a + Kx$ seja verdadeiro para todos os dados medidos. Assim, tomando uma radial medida, os valores obtidos serão do tipo:

$$y_1 = a + Kx_1$$

$$y_2 = a + Kx_2$$

...

$$y_k = a + Kx_k$$

onde existem mais equações que variáveis desconhecidas.

No entanto, existe um sistema de equações normais, que podem ser usadas para encontrar a solução dos mínimos quadrados, quando existem medidas em diferentes distâncias.

Como não existe um valor de a e K que se ajuste a todas as equações, a reta de melhor ajuste deve ser encontrada. Assim as equações podem ser escritas na forma:

$$Xc = y \quad (2.24)$$

Na qual:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_k \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

$$c = \begin{bmatrix} a \\ K \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_k \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

O valor de X é uma matriz $m \times n$ de modo que $X^T X$ possa ser invertida e a solução da equação normal $X^T X = X^T y$ é a aproximação da solução, por mínimos quadrados, em $Xc = y$.

Para resolver $X^T X = X^T y$, é calculada a matriz aumentada e, pela eliminação de Gauss-Jordan é encontrada a solução da equação normal. Esta solução apresentará o coeficiente da reta que apresenta o melhor ajuste no sentido dos mínimos quadrados. A solução final da matriz aumentada (MA) será:

$$MA = \begin{bmatrix} 1 & 0 & na \\ 0 & 1 & nK \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

e

$$c = \begin{bmatrix} na \\ nK \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

onde:

- $a = na$;
- $K = nK$.

2.3.4 Modelos empíricos de propagação

Os modelos empíricos são elaborados a partir de medidas em campo. Neste sentido, são de grande reconhecimento científico as contribuições feitas por Okumura [4], decorrente das campanhas de medição feitas na cidade de Tóquio, no ano de 1968. A partir daquelas medidas foi possível obter dados para a predição do nível de sinal, para a cobertura em diferentes condições ambientais de propagação. O trabalho de Okumura resultou em uma série de gráficos e curvas que auxiliam na obtenção do nível de sinal, sendo que, a equação básica, obtida de modo empírico, fornece a perda de propagação.

Em seguida, Hata [5] transformou as curvas produzidas por Okumura, aproximando-as para equações que simplificaram os cálculos e permitiram a utilização de processamento computacional.

Muitos outros autores e pesquisadores contribuíram para o conhecimento e aprimoramento da análise do sinal em diferentes ambientes de propagação, dentre os quais podemos destacar:

- Erceg [6];
- Lee [18];
- Walfish-Ikegami COST 231 [20];
- Ibrahim e Parsons [25];
- Walfish e Bertoni [26].

Também devem ser destacadas, como de grande importância, as recomendações emitidas pelo UIT-T, muitas das quais baseadas em estudos dos autores citados e nos grupos de trabalho formados para estudar determinados aspectos específicos e gerais de radiopropagação.

Os modelos empíricos de propagação são desenvolvidos, de modo geral, para um ambiente específico e podem ser organizados em:

- Modelos de propagação externa;
- Modelos de propagação interna.

A Tabela 2.3 apresenta um resumo comparativo de aplicação dos modelos de cobertura, que serão utilizados para análise nesta Dissertação de Mestrado.

Tabela 2.3 – Tabela comparativa de limites de utilização de modelos de cobertura para ambiente externo

Modelo de propagação	Altura da antena da estação base (m)	Altura da antena da estação móvel (m)	Frequência de transmissão (MHz)	Distância (km)
Espaço livre	qualquer	qualquer	qualquer	qualquer
Dois raios para Terra plana	qualquer	qualquer	qualquer	Distância limite para terra plana
Okumura	10 a 100	1 a 10	150 - 1930	1 - 100
Hata-Okumura	30 a 200	1 a 10	150 - 1500	1 - 20
Hata estendido (COST 231)	30 a 200	1 a 10	1500 - 2000	1 - 20
SUI/Erceg	10 - 80	2 a 10	< 2700 / 3500	0,1 - 8

Fonte:elaborado com base em:[2], [4], [5] e [6]

Na Tabela 2.4 são fornecidos os modelos considerados com observações a respeito da utilização e classificação do ambiente.

Tabela 2.4 – Comparação entre modelos de propagação para ambiente externo

Modelo de propagação	Observação com respeito à utilização
Espaço livre	Utilizado como referência na comparação com outros modelos, pode ser utilizado quando mais de 60% da 1ª ZF está livre e não existem reflexões consideráveis.
Dois raios para Terra plana	Modelo alterado do espaço livre, no qual é considerada a composição do raio direto com o raio refletido na superfície.
Okumura	Modelo empírico desenvolvido a partir de medições realizadas na cidade de Tóquio no Japão.
Hata-Okumura	Modelo obtido a partir de Okumura. Possui uma tendência de ser otimista em áreas rurais e sobre terreno irregular, sendo mais adequado para cobertura de áreas acima de 1 km.
Hata estendido (COST 231)	Macro células com antena base localizada acima do topo dos telhados.
SUI/Erceg	Descreve três tipos de terrenos: A, B e C: <ul style="list-style-type: none">• A: terreno montanhoso com vegetação moderada a densa;• B: montanhoso com vegetação rara ou terreno plano com densidade de árvores elevada ou moderada (perda intermediária adequada para ambientes suburbanos);• C: terreno plano ou rural com vegetação leve (apresenta a menor perda).

Fonte: [2], [4], [5] e [6]

Todos os modelos de predição de nível de sinal possuem limitações, principalmente na necessidade de entrada de dados e na dificuldade de se obtê-los com precisão adequada. A escolha de um determinado modelo também depende da experiência na aplicação do modelo ao ambiente. A forma mais direta de se obter experiência e conhecimento na aplicação de um modelo em um determinado ambiente é através da realização de medições no ambiente e posterior comparação com os modelos para validação ou ajuste. Alguns modelos são mais amplamente aceitos por permitirem adaptação ao ambiente e por serem amplamente testados.

Pode ser verificado que o modelo SUI/Erceg possui uma faixa de frequência que mais se aproxima da utilizada nas medições em campo feitas nesta Dissertação. Este modelo também foi recomendado pelo WiMAX Fórum como modelo de previsão de cobertura para a tecnologia [27], [28]. Por isto, este modelo será utilizado para comparação com os dados medidos no Capítulo 6.

Deve ser observado que a perda de percurso sobre o mar é geralmente calculada através da perda do espaço livre e o modelo de Okumura, por exemplo, considera fatores de correção para propagação sobre o mar combinado com propagação sobre a terra.

2.3.4.1 Modelo Hata-Okumura

O modelo Hata-Okumura foi elaborado a partir do modelo de Okumura, possuindo uma formulação deste para ambientes urbanos, suburbanos e rurais. A tabela abaixo apresenta a formulação do modelo Hata-Okumura.

Tabela 2.5 – Modelo Hata-Okumura

Aplicação	Formulação
Áreas Urbanas	Valor médio da perda de propagação de uma área urbana
	$A_{prop}(dB) = 69,55 + 26,16 \times \log(f_c) - 13,82 \times \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \times \log(h_{te})) \times \log(d)$
Cidades pequenas e médias	Fator de correção para altura efetiva da antena
	$ahre = (1,1 \times \log(f) - 0,7)hre - (1,56 \times \log(f) - 0,8)$
Cidades grandes	Fator de correção para altura efetiva da antena
	$ahre = 8,29 \times (\log(1,54 \times hre))^2 - 1,1$ $f \leq 300$ MHz
	$ahre = 3,2 \times (\log(11,75 \times hre))^2 - 4,97$ $f > 300$ MHz
Áreas suburbanas	$A_{prop}(dB) = A_{prop}(urbana) - 2(\log(f / 28))^2 - 5,4$
Áreas rurais	$A_{prop}(dB) = A_{prop}(urbana) - 4,78(\log(f))^2 + 18,3\log(f) - 40,9$

Fonte: [5]

onde:

- A_{prop} : valor médio da perda devido ao percurso de propagação (dB);
- $a(hre)$: fator de correção que depende do meio ambiente (dB);
- h_{te} : altura da antena transmissora, podendo variar de 30 m a 200 m;
- h_{re} : altura da antena receptora móvel, podendo variar de 1 a 10 m;
- f_c : frequência da portadora (MHz);
- d : distância (km).

2.3.4.2 Modelo Hata estendido

A versão estendida do modelo de Hata foi elaborada para ampliar o alcance do modelo de Hata para faixa até 2 GHz. Este trabalho foi patrocinado pelo Comitê Cooperativo Europeu para Pesquisa Técnica e Científica – COST-231 [20]. Os parâmetros são os mesmos aplicados ao modelo Hata-Okumura.

Tabela 2.6 – Modelo Hata-Okumura estendido

Aplicação	Formulação
Áreas Urbanas	Valor médio da perda de propagação de uma área urbana
	$A_{prop}(dB) = 46,3 + 33,9 \times \log(f_c) - 13,82 \times \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \times \log(h_{te})) \times \log(d) + C_M$
Centros metropolitanos	$C_M = 3dB$
Cidades médias e em áreas suburbanas	$C_M = 0$

Fonte: [5]

2.3.4.3 Modelo SUI/Erceg

O modelo, proposto por Erceg *et al* [6] foi recomendado pelo IEEE [28] no cálculo da perda de percurso para o padrão 802.16 e combinado com o modelo de canais SUI, proposto em [28], para perda de percurso.

Tabela 2.7 – Modelo SUI/Erceg

Aplicação	Formulação
Perda de percurso	$PL = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + s$, para $d > d_0$
Ponto de intercessão em $d_0 = 100m$	$A = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)$
Fator de distribuição estatística log-normal	$s = y\sigma$
Desvio padrão de s	$\sigma = \mu_\sigma + \sigma_\sigma$
Variável aleatória Gaussiana que representa o fator de atenuação. Os parâmetros a , b e c são dados em função das características do ambiente e h é a altura da antena da estação base	$\gamma = \left(a - bh + \frac{c}{h}\right) + x\sigma_\gamma$

Fonte: [6]

onde:

- d : distância da estação móvel até a estação base (m);
- λ : comprimento de onda (m);
- s : fator de distribuição estatística do tipo log-normal;
- x : variável gaussiana de média zero e desvio padrão unitário
- σ_γ : desvio padrão de γ ;
- y : variável gaussiana de média zero e desvio padrão unitário;
- z : variável gaussiana de média zero e desvio padrão unitário;
- μ_σ : média de σ ;
- σ_σ : desvio padrão de σ .

Tabela 2.8 - Parâmetros dos modelos SUI/Erceg

Parâmetros	Tipo do terreno		
	Alta Densidade de árvores (terreno A)	Moderada densidade de Árvores (terreno B)	Baixa densidade de árvores (terreno C)
a	4,6	4,0	3,6
$b [m^{-1}]$	0,0075	0,0065	0,0050
$c [m]$	12,6	17,1	20,0
σ_γ	0,57	0,75	0,59
μ_σ	10,6	9,6	8,2
σ_σ	2,3	3,0	1,6

Fonte: [6]

2.4 Propagação por múltiplos percursos

Os múltiplos percursos ocorrem quando um sinal radioelétrico chega ao receptor por diferentes caminhos. Estes percursos podem ser estáticos, se o receptor e o meio entre transmissor e receptor for estático, ou dinâmico, no caso de haver movimento no ambiente entre transmissor e receptor, ou o próprio transmissor ou receptor estiverem em movimento. Este último caso é mais geral e implica que sempre haverá uma mudança no nível do sinal que chega ao receptor. Esta variação temporal do sinal será provocada pela alteração da fase e das amplitudes dos diversos sinais que chegam ao receptor e, também, devido ao desvio Doppler

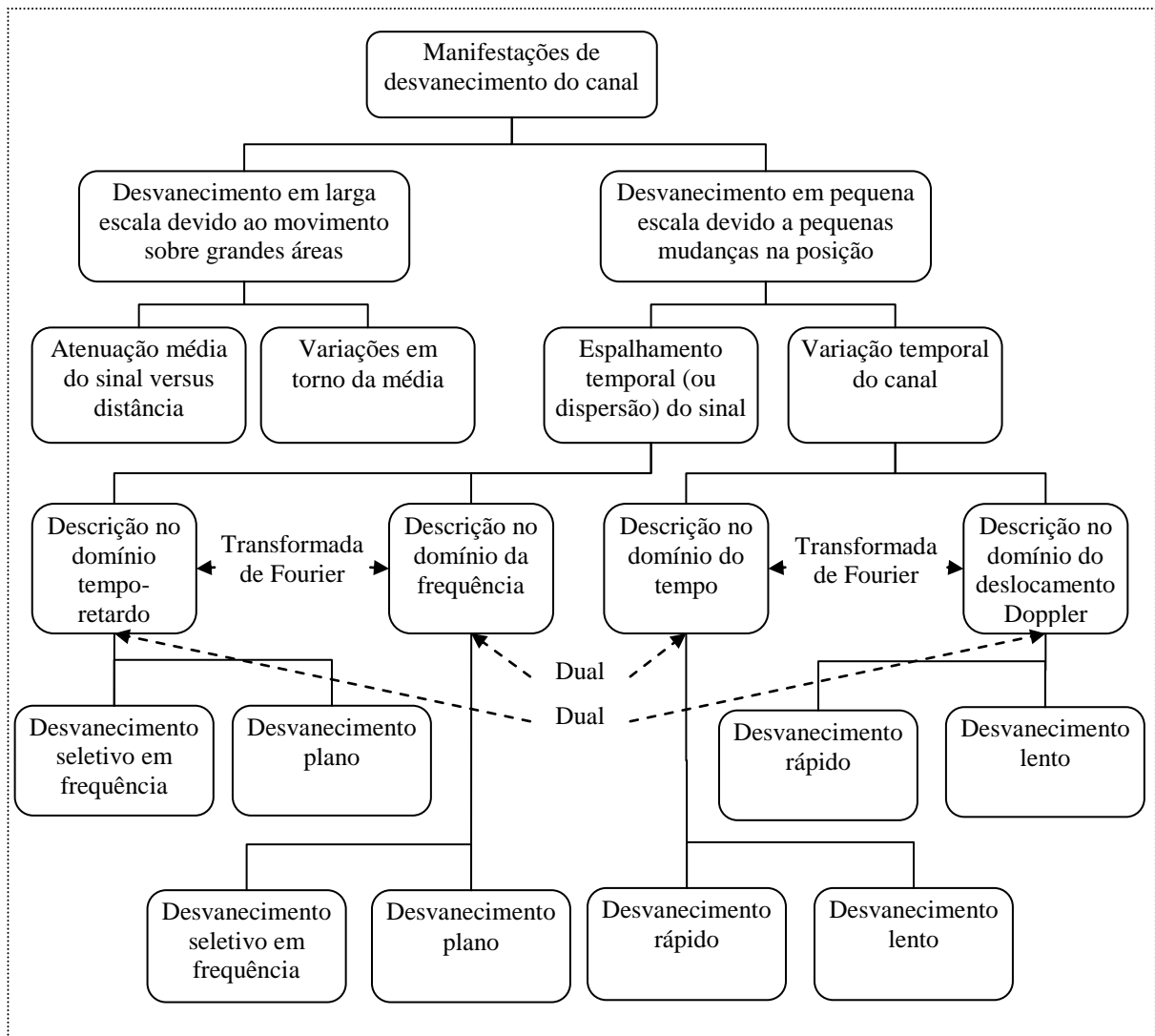
decorrente do movimento. Esta variação temporal e/ou espacial na envoltória do sinal recebido é o que se chama de desvanecimento.

2.4.1 Manifestações de desvanecimento do canal

A Figura 2.4, apresentada por Sklar em [19], mostra um diagrama que resume as manifestações de desvanecimento de um canal. É importante lembrar que estas manifestações de desvanecimento podem ocorrer por:

- Mudança na posição do receptor;
- mudança na posição do transmissor;
- mudança na posição do transmissor e receptor simultaneamente;
- mudança na composição ou estrutura do ambiente;
- mudança na posição do receptor e composição ou estrutura do ambiente;
- mudança na posição do transmissor e composição ou estrutura do ambiente;
- mudança na posição do transmissor, receptor e composição ou estrutura do ambiente;
- nas variações de frequência combinadas com os fatores acima.

Todas estas mudanças de posição irão provocar alterações no percurso do sinal entre transmissor e receptor, dando origem a diversas formas de desvanecimento do canal.



Fonte: [19]

Figura 2.4 – Manifestações de desvanecimento do canal

O desvanecimento seletivo em frequência afeta apenas uma pequena faixa da banda ou conjunto de frequências recebidas. O desvanecimento plano afeta todas as frequências da banda. O desvanecimento rápido decorre de variações rápidas no nível do sinal recebido devido a objetos deslocando-se próximos ao receptor, e o desvanecimento lento decorre de uma variação gradual do nível do sinal recebido. O conhecimento adequado do fenômeno de desvanecimento é de importância vital para o projeto de equipamentos e sistemas móveis de telecomunicações, pois somente assim é possível definir as medidas, que deverão ser implementadas ou desenvolvidas, para que a operação possa ocorrer dentro dos requisitos especificados, permitindo identificar a configuração mais adaptada ao ambiente de utilização, e a mitigação e uso de contramedidas para os fatores que afetam o desempenho do sistema.

Neste sentido, a Tabela 2.9 de Sklar em [19] apresenta o desvanecimento e a principal degradação causada em um sistema de telecomunicações.

Tabela 2.9 – Desvanecimento em pequena escala

	Mecanismo de espalhamento temporal devido ao multipercurso	Categorias de degradação		Mecanismo de variação temporal devido ao movimento	Categorias de degradação	
Domínio do tempo-retardo	Desvanecimento seletivo em frequência	Distorção ISI, mutilação do pulso, taxa de erro de bit irreduzível.	Mecanismos duais	Desvanecimento rápido	Elevado desvio Doppler, falha do PLL, taxa de erro de bit irreduzível.	Domínio do deslocamento Doppler
		Espalhamento de retardo de multipercurso > tempo do símbolo			Taxa de desvanecimento do canal > Taxa de símbolo	
	Desvanecimento plano	Diminuição da relação sinal-ruído		Desvanecimento lento	Baixo Doppler, Diminuição da relação sinal-ruído	
		Espalhamento de retardo de multipercurso < tempo do símbolo			Taxa de desvanecimento do canal < Taxa de símbolo	
Domínio da frequência	Desvanecimento seletivo em frequência	Distorção ISI, mutilação do pulso, taxa de erro de bit irreduzível.	Mecanismos duais	Desvanecimento rápido	Elevado desvio Doppler, falha do PLL, taxa de erro de bit irreduzível.	Domínio do tempo
		Banda de coerência do canal < taxa de símbolos			Taxa de desvanecimento do canal < Taxa de símbolo	
	Desvanecimento plano	Diminuição da relação sinal-ruído		Desvanecimento lento	Baixo Doppler, Diminuição da relação sinal-ruído	
		Banda de coerência do canal < taxa de símbolos			Taxa de desvanecimento do canal > Taxa de símbolo	

Fonte: [19]

Podemos verificar, na Tabela 2.9, que os mecanismos de propagação e a respectiva análise em um determinado domínio levam a comportamentos que podem ser considerados duais, ou seja: a análise dos mecanismos do espalhamento temporal que ocorrem devido ao multipercurso no domínio do retardo temporal é dual dos mecanismos de variação temporal devido ao movimento no domínio do deslocamento Doppler. Da mesma forma, a análise do mecanismo de espalhamento temporal devido ao multipercurso no domínio da frequência, é dual da análise do comportamento do mecanismo de variação temporal devido ao movimento no domínio do tempo.

Para a finalidade desta Dissertação será feito estudo no domínio temporal e em banda estreita, desta forma serão de interesse o estudo dos desvanecimentos rápido e lento.

2.4.2 Variabilidade e desvanecimento do sinal

A tentativa de predição do nível de potência recebida, a partir de uma antena transmissora, tem sido objeto de muitos estudos e medidas de campo. Os estudos e medidas tentam avaliar o nível do sinal recebido (voltagem ou potência) considerando, principalmente, as diferentes possibilidades de localização e mobilidade do receptor, em relação ao transmissor, o percurso seguido pela onda eletromagnética, a faixa e banda de frequências empregadas e a velocidade a unidade móvel.

Segundo Gláucio [21], a predição do nível de sinal recebido envolve a estimação do nível médio do sinal recebido em uma área relativamente pequena e a variabilidade do sinal sobre este nível médio. Dois fatores contribuem para esta variabilidade em relação à média:

a) a variação na média do sinal recebido, conforme um móvel se desloca de uma localização para outra, causada por variações em larga escala no perfil do terreno e pelas mudanças na natureza da topografia local, sendo este processo conhecido como processo de desvanecimento lento, desvanecimento em larga escala ou variabilidade em larga escala;

b) superposto ao processo de desvanecimento em larga escala ocorre o processo de desvanecimento rápido, desvanecimento ou variabilidade em pequena escala, que corresponde a uma rápida e severa variação no nível do sinal recebido causado, principalmente, pela propagação de multipercurso na vizinhança do receptor.

A variabilidade em pequena e larga escala está ilustrada na Figura 2.5.

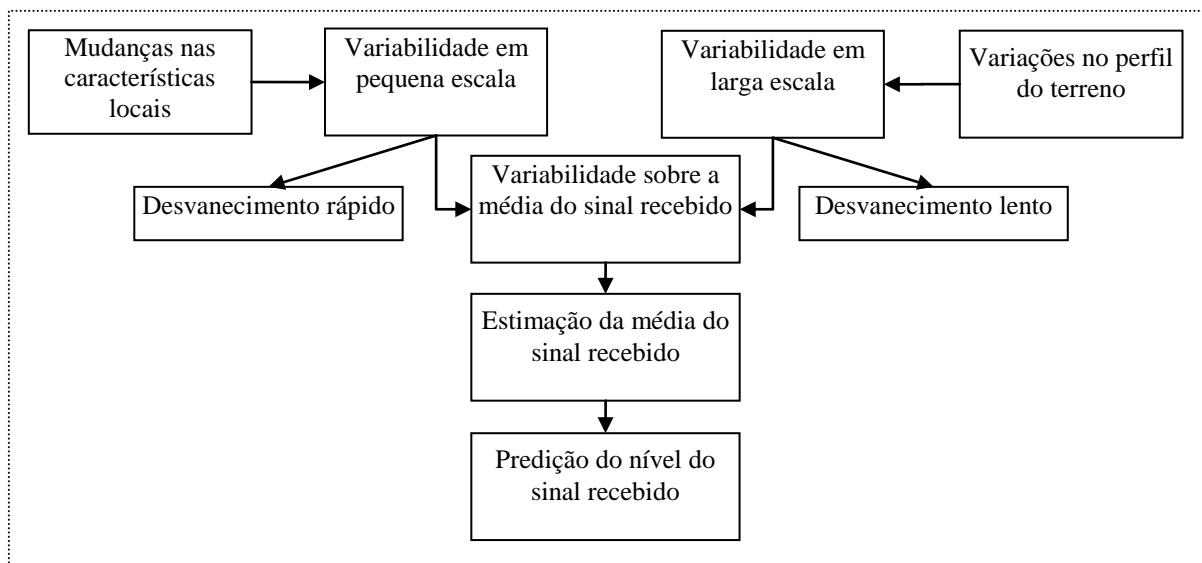


Figura 2.5 – Variabilidade em pequena e larga escala

A variabilidade em larga escala pode ser estudada em relação a dois mecanismos: a variação do valor mediano do sinal, em função da distância entre transmissor e receptor, e o desvanecimento deste valor mediano dentro de uma mesma distância, ocasionado pelo sombreamento. A variação do nível mediano do sinal com a distância é ocasionada pela dependência direta da energia recebida no receptor com a distância a este transmissor, enquanto que o sombreamento ocorre devido às características do terreno, construções e obstáculos feitos pelo homem [6], [13] e [14].

A variabilidade em pequena escala é ocasionada por mudanças rápidas e bruscas na amplitude e fase do sinal, para pequenas variações de distância entre transmissor e receptor, cuja taxa de variação é função da frequência e da velocidade do móvel. Esta variabilidade é causada por dois fatores: a) dispersão do sinal devido ao multipercurso, cujos mecanismos são: o desvanecimento plano e desvanecimento seletivo; e b) a variabilidade temporal do canal causada pelos mecanismos de desvanecimento rápido e desvanecimento lento.

Apesar do conhecimento dos mecanismos físicos, que causam a variabilidade do sinal, não existe uma divisão precisa que separe os dois tipos de variabilidade [14].

De acordo com Bertoni [13] existe um consenso geral de que o desvanecimento lento pode ser precisamente modelado por uma distribuição de amplitude log-normal. No entanto, para o caso do desvanecimento rápido, diferentes modelos empíricos e teóricos têm sido propostos para a descrição de suas características estatísticas.

Em ambientes celulares em áreas urbanas, em frequência mais elevadas e em mobilidade, a predição do nível de sinal se torna mais complexa tendo em vista, principalmente, o movimento do receptor em relação ao transmissor e a mudança do ambiente ao seu redor.

Neste caso, tem sido utilizado, com muita frequência e de modo já consagrado, modelos estatísticos e probabilísticos. Estes modelos foram, e alguns ainda estão sendo, construídos a partir de medidas em campo nos ambientes e, posteriormente, aproximados para um modelo já existente ou utilizados para elaboração de uma nova formulação empírica.

2.4.3 Desvanecimento rápido

Para o estudo dos múltiplos percursos foram propostos modelos teóricos que, posteriormente, foram utilizados para comparar com as medidas feitas em campo. Para o desvanecimento rápido, existem duas formas pelas quais os modelos são desenvolvidos. No

primeiro deles, um modelo simples do ambiente de propagação é descrito e equações para a estatística são desenvolvidas, baseadas nas suposições do modelo físico [13]. Para verificação do modelo, os resultados são, então, comparados com os resultados obtidos através da análise de dados medidos. A segunda aproximação envolve a adaptação empírica, de probabilidades conhecidas, com aquelas obtidas das medições realizadas.

Para explicar a estatística verificada nas medidas efetuadas, diferentes modelos de multipercursos foram sugeridos [14]:

- Ossanna: propôs uma explicação baseada na interferência entre ondas incidentes e refletida no lado plano de edifícios, localizados em posições aleatórias. No entanto, assumia a existência de um caminho direto entre transmissor e receptor, o que não corresponde à maioria dos casos em ambientes urbanos;
- Clarke: Propôs um modelo baseado no espalhamento, que supõe que o campo incidente em uma antena móvel é composto por certa quantidade de ondas planas com fases aleatórias. Estas ondas planas são polarizadas verticalmente com ângulos espaciais de chegada e ângulos de fase, os quais são aleatórios e estatisticamente independentes na horizontal;
- Aulin: Propôs um modelo, generalizado a partir do modelo de Clarke, para o caso de ondas planas que não chegam necessariamente na horizontal.

Os principais aspectos do modelo proposto por Aulin são:

- no receptor o sinal resultante será composto por N ondas planas;
- a n -ésima onda que chega possui uma amplitude C_n , uma fase ϕ_n em relação a uma referência arbitrária e ângulos espaciais de chegada α_n e β_n ;
- os parâmetros C_n , ϕ_n , α_n e β_n são todos aleatórios e estatisticamente independentes;
- o valor médio da amplitude é: $E\{C_n^2\} = E_0/N$, onde E_0 é constante e positivo;
- os ângulos de fase ϕ_n são supostos possuir uma função densidade de probabilidade uniforme no intervalo entre 0 e 2π ;
- as funções densidade de probabilidade de α_n e β_n não são especificadas.

A Figura 2.6 [14] mostra o modelo de referência para análise do desvanecimento rápido:

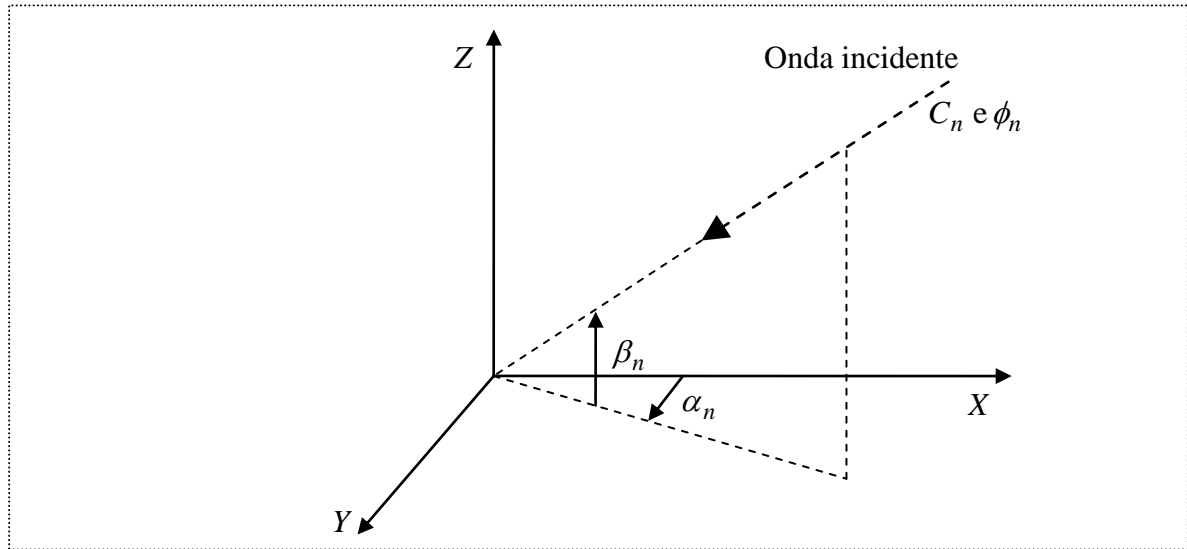


Figura 2.6 – Modelo de referência para análise do desvanecimento rápido

O modelo de referência está baseado na suposição do conhecimento da fase e quadratura dos sinais que chegam à antena e somente conhecendo-se estes sinais poderia ser feita uma análise do espectro de radio frequência do sinal. Esta informação pode ser obtida de análise em banda larga do canal, não sendo o caso da presente Dissertação.

Cabe observar que em decorrência do deslocamento de frequência (efeito Doppler), função da velocidade, o sinal que contém a mensagem transmitida pelo sistema será mais severamente afetado com o aumento da velocidade, sendo menos afetado, praticamente desprezível, para baixas velocidades.

2.4.3.1 Envoltória do sinal recebido

O sinal recebido em um receptor irá apresentar uma distribuição probabilística que irá depender das características do meio e da visibilidade entre transmissor e receptor, sendo esta última, geralmente, classificada em:

- linha de visada ou *line of sight* - LOS;
- sem linha visada ou *no line of sight* – NLOS; e
- quase em linha de visada ou *Near line of sight* -NearLOS.

No receptor, todos os múltiplos percursos serão adicionados formando um sinal com uma envoltória resultante. Esta envoltória irá apresentar uma variação ou variabilidade que irá depender das características do ambiente ao redor do receptor.

O sinal recebido, para uma excitação em banda estreita, exhibe três escalas de variação espacial: desvanecimento rápido, desvanecimento lento e dependência com a distância, bem como variação temporal e despolarização [13].

Os resultados das medições realizadas em campo mostram a envoltória da voltagem (ou potência) de um sinal. Esta envoltória é uma combinação do resultado de diversas escalas da variação espacial, que devem ser separadas para que seja possível realizar uma análise da contribuição e dos efeitos de cada escala.

O desvanecimento rápido é obtido a partir da análise do sinal em uma pequena área ou setor, podendo apresentar diferentes distribuições e densidades de probabilidade. Estas distribuições descrevem as estatísticas de primeira ordem, ou seja, são aquelas nas quais a distância ou o tempo não são um fator considerado, no entanto, fornecem informação a respeito da quantidade de tempo ou quantidade de locais para os quais a envoltória cai abaixo de um nível especificado, não havendo informação de como este tempo é calculado [14]. As principais distribuições que descrevem as estatísticas nas pequenas áreas são mostradas nos próximos itens.

2.4.3.2 Distribuição de Rayleigh

Surge nos setores em que não há visibilidade entre o transmissor e o receptor, sendo definida conforme explicado em seguida.

Para um número grande de $2\sigma^2$, cujo limite não é especificado, se $2\sigma^2$ vetores unitários de mesma frequência e fases arbitrárias são combinados, a densidade de probabilidade é dada por:

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-r^2/2\sigma^2} \tag{2.30}$$

onde:

- $2\sigma^2$: potência média no tempo, considerando um processo ergódico;
- r : variável aleatória que representa o valor normalizado da voltagem.

A função densidade de probabilidade de Rayleigh é definida somente para $r \geq 0$ e as estatísticas são dadas por:

- $\langle r \rangle = \sigma\sqrt{\pi/2}$: média;
- σ : desvio padrão.

2.4.3.3 Distribuição de Rice

A distribuição de Rice se aplica aos setores quando há visada direta ou componente especular refletida que contribui de modo significativo para o sinal recebido. Sua função densidade de probabilidade é dada por:

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{(r^2 + r_0^2)}{2\sigma^2}\right] I_0\left[\frac{rr_0}{\sigma^2}\right] \quad (2.31)$$

onde:

- I_0 : função Bessel de ordem zero e argumento imaginário;
- σ : desvio padrão;
- r_0 : amplitude de um sinal estacionário, direto ou dominante;
- r : variável aleatória que representa o valor normalizado da voltagem.

Do mesmo modo que a função densidade de probabilidade Rayleigh, a função densidade de probabilidade de Rice é definida somente para $r \geq 0$.

Segundo Parsons [14], alguns autores frequentemente descrevem a distribuição de Rice em termos de um parâmetro K definido por:

$$K = \frac{r_0^2}{2\sigma^2} \quad (2.32)$$

Tal parâmetro pode ser interpretado como a potência do sinal direto ou dominante para o sinal do múltiplo percurso. Quando não há raio dominante $r_0 \rightarrow 0$ e $K \rightarrow 0$, neste caso a distribuição de Rice tende a uma distribuição Rayleigh com $\sigma = \sqrt{2/\pi}$ e $\langle r \rangle = 1$ que é o valor médio de voltagem normalizada na pequena área. Por outro lado, quando $K \gg 1$ a

distribuição de Rice tende a uma distribuição Gaussiana, neste caso, $K = 1/2\sigma^2$ e $r_0 \rightarrow \langle r \rangle = 1$, onde σ é o desvio padrão de distribuição Gaussiana.

Para esta distribuição, o valor médio é dado por:

$$\langle r \rangle = \sigma \sqrt{\pi/2} [(1+K)I_0(K/2) + KI_1(K/2)] e^{-K/2} \quad (2.33)$$

onde:

- I_0 : Função Bessel modificada de 1ª espécie e ordem zero;
- I_1 : Função Bessel modificada de 1ª espécie e ordem um.

Desta forma, é possível determinar o valor de σ , fazendo K variar entre $K = 0 \rightarrow \langle r \rangle / 2\sigma^2$ e utilizando o valor de $\langle r \rangle$ dos dados medidos. Uma vez que K satisfaça um determinado σ , ambos ficam determinados.

Outra abordagem, para estimação do valor de K , foi proposta para a Greenstein [29], que emprega o primeiro e o segundo momento da potência recebida versus o tempo. Com este método, é possível separar, diretamente, a potência do sinal recebido em linha de visada e a potência dos multipercursos, da potência total do sinal recebido através de uma simples formulação. Nesta técnica, o sinal recebido $g(t)$ é expresso em termos de uma constante complexa V e uma variação temporal aleatória de média zero causada pelo sinal de multipercurso $v(t)$, logo:

$$g(t) = V + v(t) \quad (2.34)$$

A potência correspondente do sinal é:

$$G = |g(t)|^2 \quad (2.35)$$

e o valor verdadeiro do primeiro momento de G , é dado por:

$$G_a = |V|^2 + 2 \operatorname{Re}(Vv^*(t)) + |v(t)|^2 \quad (2.36)$$

Uma vez que $v(t)$ é um processo aleatório, de média zero, o termo do meio se reduz a zero. Sabendo que:

$$\sigma^2 = \overline{|v(t)|^2} \quad (2.37)$$

então:

$$G_a = |V|^2 + \sigma^2 \quad (2.38)$$

O segundo momento da potência é a raiz do valor médio do quadrado da flutuação de G , em torno de G_a , e o valor verdadeiro desta flutuação é expresso por:

$$G_v = \left[\overline{(G - G_a)^2} \right]^{1/2} \quad (2.39)$$

$$G_v = \left[\overline{|v(t)|^4} - \sigma^4 + \overline{(2 \operatorname{Re}(Vv^*(t)))^2} \right]^{1/2} \quad (2.40)$$

Supondo também que $v(t)$ é um processo Gaussiano complexo de média zero, pode ser concluído que:

$$G_v = \left[\sigma^4 + 2|V|^2 \sigma^2 \right]^{1/2} \quad (2.41)$$

O lado esquerdo das equações (2.38) e (2.41), G_a e G_v , podem ser estimados dos dados medidos e o lado direito são funções das quantidades que se está buscando. Combinando as equações para $|V|^2$ e σ^2 , tem-se:

$$|V|^2 = \left[G_a^2 - G_v^2 \right]^{1/2} \quad (2.42)$$

e

$$\sigma^2 = G_a - \left[G_a^2 - G_v^2 \right]^{1/2} \quad (2.43)$$

O fator K pode então ser obtido por:

$$K = \frac{|V|^2}{\sigma^2} \quad (2.44)$$

2.4.3.4 Distribuição de Nakagami:

A função densidade de probabilidade Nakagami é fornecida por:

$$p(r) = \frac{2m^m r^{2m-1} e^{-(m/\Omega)r^2}}{\Gamma(m)\Omega^m} \quad (2.45)$$

onde:

- $\Omega = \langle r^2 \rangle$: potência média temporal do sinal recebido;
- $m = \frac{\langle r^2 \rangle}{\langle (r^2 - \langle r \rangle^2)^2 \rangle}$: inverso da variância normalizada de r^2 .

O parâmetro m é chamado fator de forma e possui como limite inferior o valor de $1/2$, o qual foi obtido empiricamente, bem como verificado por experimentos.

De acordo com [30], Nakagami pode expressar sua distribuição em termos de integrais de Hankel. Mais tarde, em 1953, mostrou matematicamente que a mesma forma de integral poderia ser obtida supondo que o sinal recebido fosse composto por $n (> 1)$ componentes de onda, cujas componentes de amplitude e fase eram ambas variáveis aleatórias. Também foi mostrado que a distribuição de Nakagami poderia ser aplicada para o caso de superposição de elementos vetoriais aleatórios.

A função de distribuição de Nakagami apresenta características mais gerais que outras funções de distribuição conhecidas. Para $m=1$, a função densidade de probabilidade de Rayleigh é obtida. Para $m=1/2$, descreve um dos lados da distribuição Gaussiana. Também pode ser mostrado que a expressão de Nakagami pode aproximar as expressões de densidade de Rice e log-normal, em certos domínios, para limites apropriados.

2.4.3.5 Distribuição de Weibull

Esta é uma expressão empírica empregada, originalmente, na predição de falhas [31] e é aplicada em medidas de radiopropagação [32]. A distribuição de densidade de probabilidade de Weibull é dada por:

$$p(r) = \frac{\alpha b}{r_0} \left(\frac{br}{r_0} \right)^{\alpha-1} \exp \left[- \left(\frac{br}{r_0} \right)^\alpha \right] \quad (2.46)$$

onde:

- α : é um parâmetro de forma o qual é escolhido de modo a formar o melhor ajuste com os resultados medidos;
- r_0 : é o valor *rms* de r ;

- $b = [(2/\alpha)\Gamma(2/\alpha)]^{1/2}$: fator normalizador.

Para o caso especial no qual $\alpha=1/2$, a função descreve uma função de densidade de probabilidade de Rayleigh e, quando $\alpha=1$, se reduz a uma função densidade de probabilidade exponencial. Uma crítica ao emprego desta distribuição em medidas é que os parâmetros não possuem um significado físico que possa ser relacionado às medidas do sinal ou ao ambiente de estudo.

2.4.4 Dependência com a distância e desvanecimento em larga escala

O sinal obtido através de medidas em campo apresenta uma superposição do desvanecimento lento com o desvanecimento rápido e é, então, necessário realizar a separação destes desvanecimentos. Segundo Bertoni [13], para separar o desvanecimento rápido do desvanecimento lento, a envoltória ou magnitude média da voltagem $V(x)$ do sinal recebido é calculada sobre uma distância da ordem de 10 m, cujo resultado é chamado de média de uma pequena área ou média do setor. O cálculo da média é normalmente feito durante a aquisição dos dados tomando uma média de 1 s da voltagem ou potência recebida, de modo que a quantidade de dados a serem armazenados seja reduzida. Em 1 s, um veículo viajando a 40 km/h cobre, aproximadamente, 11 m, o que corresponde a 33λ em 900 MHz. Deste modo, a média em uma pequena área discreta é obtida. Alternativamente, se um registro completo da voltagem $V(x)$ existe, o desvanecimento rápido pode ser separado do desvanecimento lento usando uma média deslizante sobre uma janela de $2W$, que é da ordem de 10 m. A média deslizante é definida pelo cálculo da média sobre uma janela centrada em x , ou seja:

$$\overline{V(x)} = \frac{1}{2W} \int_{-W}^W V(x+s) ds \quad (2.47)$$

Onde $V(x)$ representa o desvanecimento rápido em combinação com o desvanecimento lento, enquanto que a voltagem normalizada $V(x)/\overline{V(x)}$ fornece o desvanecimento rápido.

Ainda segundo Bertoni, uma vez que o desvanecimento rápido possui uma aparência irregular, suas propriedades estatísticas são usadas para antecipar o desempenho de um sistema. Suponha que $r_i = V(x)/\overline{V(x)}$ seja o valor normalizado da voltagem amostrada no ponto x_i do desvanecimento rápido. Usando 200 ou mais amostras de uma variável aleatória

r_i , uma função distribuição de probabilidade pode ser construída. Para localidades que são pesadamente escondidas por construções ao seu redor, tipicamente, se encontra que a função densidade de probabilidade, denotada por $p(r)$, se aproxima de uma distribuição de Rayleigh conforme definido em 2.4.3.2.

Pode ser observado que quando o valor médio de $V(x)$ sobre uma janela de comprimento $2W$, que representa o comprimento de uma pequena área ou setor, é $\overline{V(x)}$ o valor médio é $\langle r \rangle = V(x)/\overline{V(x)} = 1$.

Para localidades onde existe um caminho com uma contribuição dominante na voltagem recebida, tal quando uma estação base é visível a um assinante, a função tipicamente encontrada é a distribuição de Rice, conforme definido anteriormente, no item 2.4.3.3.

A medição do sinal recebido é, geralmente, feita a cada distância de 100 m da estação base, para células de 20 km de raio. Neste caso, para separar o desvanecimento em larga escala da dependência com a distância, a potência média (P_{dB}) de pequenas áreas é marcada em uma escala em decibel e em outra escala é marcada a distância radial R em uma escala logarítmica. Então, uma linha reta pode ser ajustada aos dados marcados, utilizando o método dos mínimos quadrados [13]. A equação da linha reta, representa a dependência com a distância, pode tomar a seguinte forma, em dB:

$$P_{dB}(R) = 10 \log P_t + 10 \log A - n 10 \log R \quad (2.48)$$

ou em watts:

$$P = \frac{P_t A}{R^n} \quad (2.49)$$

onde:

- P_t : é a potência transmitida;
- n : é o índice de inclinação;
- A : é a intersecção em $R=1$.

Pode ser verificado que a equação (2.48) possui a mesma forma que as equações (2.10) a (2.14) com $R \neq 1$.

Usando o subscrito i para denotar diferentes pequenas áreas, é possível definir uma nova variável aleatória, que representa a potência do sinal medido, como:

$$U_i = 10 \log \langle V^2(x_i) \rangle \quad (2.50)$$

onde:

- x_i : é a localização da i -ésima área pequena;
- σ_{DL} : é o desvio padrão do desvanecimento lento com distribuição Gaussiana.

A distribuição observada para U_i sobre seu valor médio $\langle U \rangle$, de uma pequena área para outra, irá se aproximar à distribuição Gaussiana, segundo Bertoni [13]:

$$p(U_i - \langle U \rangle) = \frac{1}{\sigma_{DL} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(U_i - \langle U \rangle)^2}{2\sigma_{DL}^2} \right] \quad (2.51)$$

Deve ser observado que o valor médio $\langle U \rangle$ é o mesmo valor da potência média conforme dado por (2.48), ou seja, a linha reta representa a dependência do sinal com a distância e a perda de sobreamento corresponde ao desvio $U(R_i) - P_{dB}(R_i)$ da média da pequena área da dependência média com a distância.

2.4.5 Taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento

Segundo Parsons [14] o desvanecimento profundo ocorre somente raramente, entretanto o desvanecimento raso é mais frequente. Neste sentido os engenheiros de sistemas estão interessados em uma descrição da velocidade na qual a taxa de desvanecimento de qualquer profundidade ocorre e a duração média do desvanecimento abaixo de um determinado limiar.

Estas duas estatísticas de segunda ordem permitem a caracterização do aspecto dinâmico da variação temporal do canal em pequenas durações de tempo (em pequenas áreas), o que auxilia no entendimento e na especificação das medidas que podem ser adotadas para minimizar os efeitos do desvanecimento do sinal. Permitem, por exemplo, selecionar a

taxa de transmissão de bit, comprimento das palavras e esquemas de codificação em sistemas digitais e, assim, prever o desempenho do sistema e como este deve ser configurado.

A taxa de cruzamento de nível (TCN) é representada pela passagem na direção positiva, ou negativa, do cruzamento da envoltória do sinal por um nível especificado; a duração média do desvanecimento (DMD) é representada pelas médias entre $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ ou seja, a duração do tempo no qual o nível do sinal fica abaixo do nível de referência especificado, conforme mostrado na Figura 2.7.

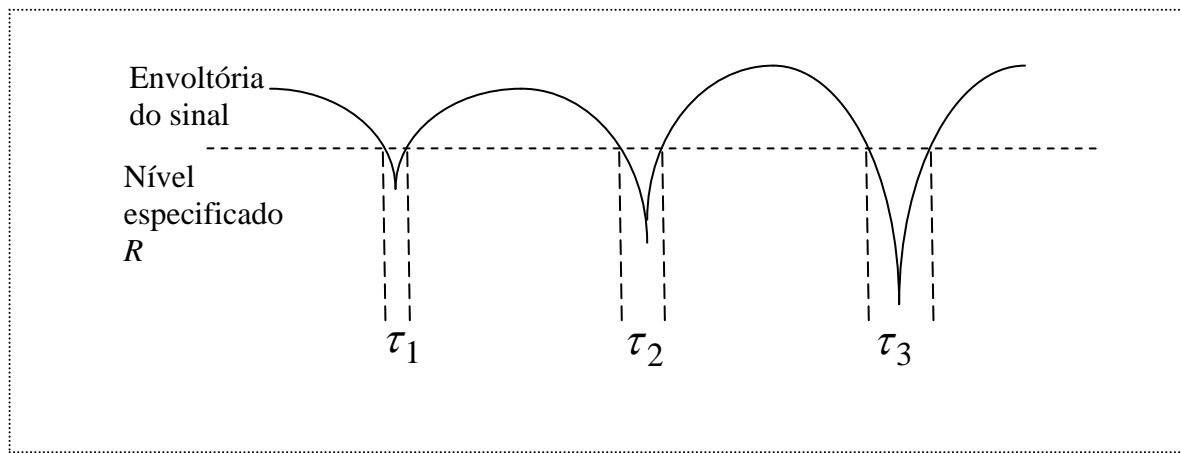


Figura 2.7 – Taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento

Segundo Parsons [14] a TCN, por comprimento de onda, quando o canal é do tipo Rayleigh é expressa por:

$$\frac{N_R}{f_m} = \sqrt{2\pi} \rho e^{-\rho^2} \quad (2.52)$$

e

$$\rho = \frac{R}{\sqrt{2}\sigma} = \frac{R}{R_{RMS}} \quad (2.53)$$

onde:

- R : é o nível do sinal;
- R_{RMS} : é o valor da raiz do quadrado da média do sinal na pequena área;

- $\sqrt{2\sigma}$: é mesmo que R_{RMS} .

Já a duração média do desvanecimento (DMD), por comprimento de onda, é expressa por:

$$L_R = \tau \cdot f_m = \frac{\rho e^{-\rho^2} - 1}{\rho \sqrt{2\pi}} \quad (2.54)$$

Por outro lado, quando o canal é do tipo Rice, a TCN, por comprimento de onda, será dada por:

$$N_{Rice} = \sqrt{\frac{2(1+K)}{\pi}} \rho f_m \cdot \exp[-K - (1+K)\rho^2] I_0[2\rho\sqrt{K(1+K)}] \quad (2.55)$$

A duração média do desvanecimento será

$$T_{Rice} = \frac{1 - Q\left[\sqrt{2K}, \sqrt{2(1+K)\rho^2}\right]}{N_{Rice}} \quad (2.56)$$

Onde $Q(\cdot)$ é a função tabulada Q de Marcum, dada por:

$$Q(a, b) = \frac{1}{a^{m-1}} \int_b^\infty x^m \exp\left(-\frac{x^2 + a^2}{2}\right) I_{m-1}(ax) dx \quad (2.57)$$

Pode ser verificado que, quando o fator K de Rice é igual a zero, a taxa de cruzamento e a duração média do desvanecimento são aquelas calculadas para Rayleigh.

Para o canal com estatística aderente à distribuição Nakagami, a taxa de cruzamento de nível é dada por [33]:

$$L_N = \sqrt{2\pi} f_m \cdot \frac{m^{m-(1/2)}}{\Gamma(m)} \rho^{2m-1} \exp(-m\rho^2) \quad (2.58)$$

onde:

- m : fator de forma da distribuição Nakagami;
- $\Gamma(m)$: é a função Gamma de m .

A duração média do desvanecimento, por comprimento de onda, será:

$$T_N = \frac{\Gamma(m, m\rho^2) \exp(m\rho^2)}{\sqrt{2\pi m^{2m-1}} f_m \rho^{2m-1}} \quad (2.59)$$

A Figura 2.8 apresenta uma comparação das curvas teóricas da taxa de cruzamento de nível, por comprimento de onda, para a distribuição de Rayleigh e Rice para diferentes valores de K (2, 4, 6, 8 e 10). Pela figura, pode ser verificado que a máxima taxa de cruzamento para uma distribuição Rayleigh ocorre ao nível de -3 dB. Desta forma, é possível calcular a taxa de cruzamento máxima para uma unidade móvel se deslocando a uma velocidade v , pois uma vez que se conheça o valor máximo para um dado nível, pode-se multiplicar a velocidade pela equação do cálculo para uma dada distribuição, em escala linear, dividido pelo comprimento de onda da frequência máxima do desvio, ou seja:

$$TCN_{máx} = f_m \cdot (\text{expressão da TCN}) \quad (2.60)$$

lembrando que: $f_m = v/\lambda$.

Também é possível obter-se o número médio de cruzamentos em um período T a uma distância d como:

$$TCN_T = TCN_{máx} \cdot T = f_m \cdot (\text{expressão TCN}) \cdot T \quad (2.61)$$

$$TCN_d = (\text{expressão TCN}) \cdot T \cdot v/\lambda = (\text{expressão TCN}) \cdot d/\lambda \quad (2.62)$$

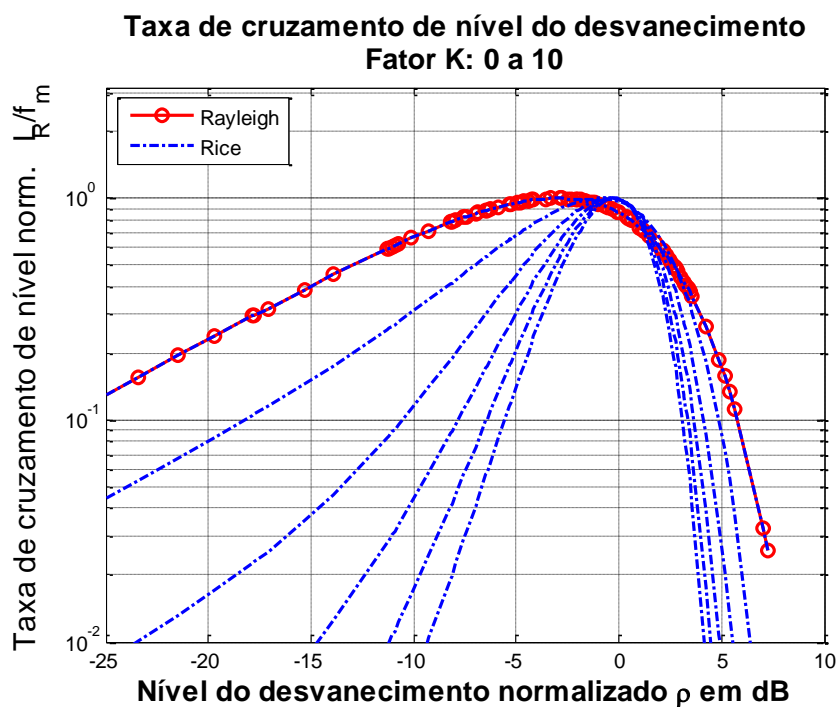


Figura 2.8 – Taxa de cruzamento de nível Rayleigh e Rice

A Figura 2.9 apresenta uma comparação da duração média do desvanecimento para a distribuição de Rayleigh e Rice para diferentes valores de K (2, 4, 6, 8 e 10).

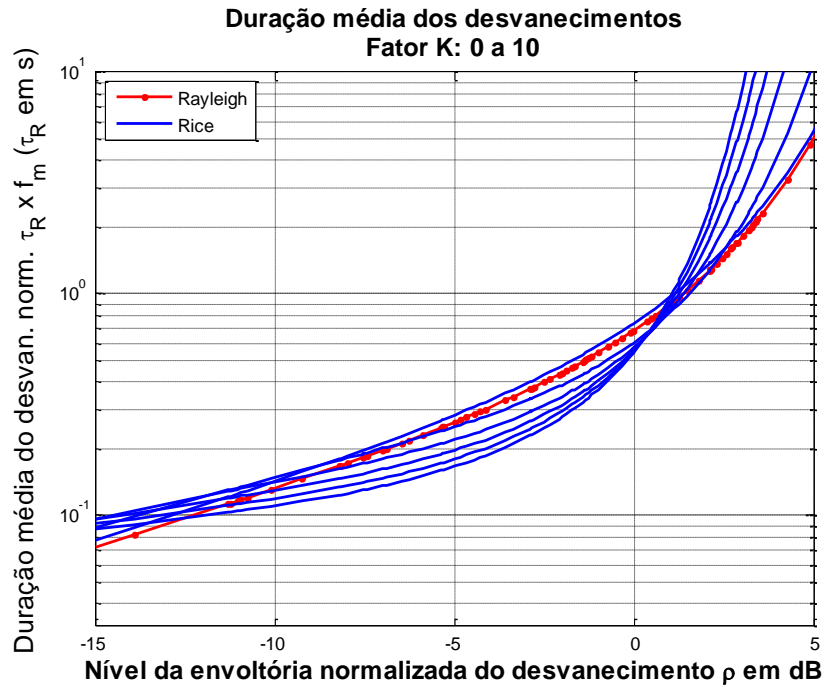


Figura 2.9 – Duração média do desvanecimento Rayleigh e Rice

2.4.6 Taxa de amostragem do sinal recebido

No estudo do canal rádio móvel, o receptor se move a uma velocidade a mais constante possível e as amostras do sinal devem ser feitas a uma determinada taxa de modo que seja possível a caracterização do desvanecimento profundo, caso exista. Suponha a ocorrência de um desvanecimento rápido, decorrente de multipercurso de objetos próximos conforme mostrado na Figura 2.10:

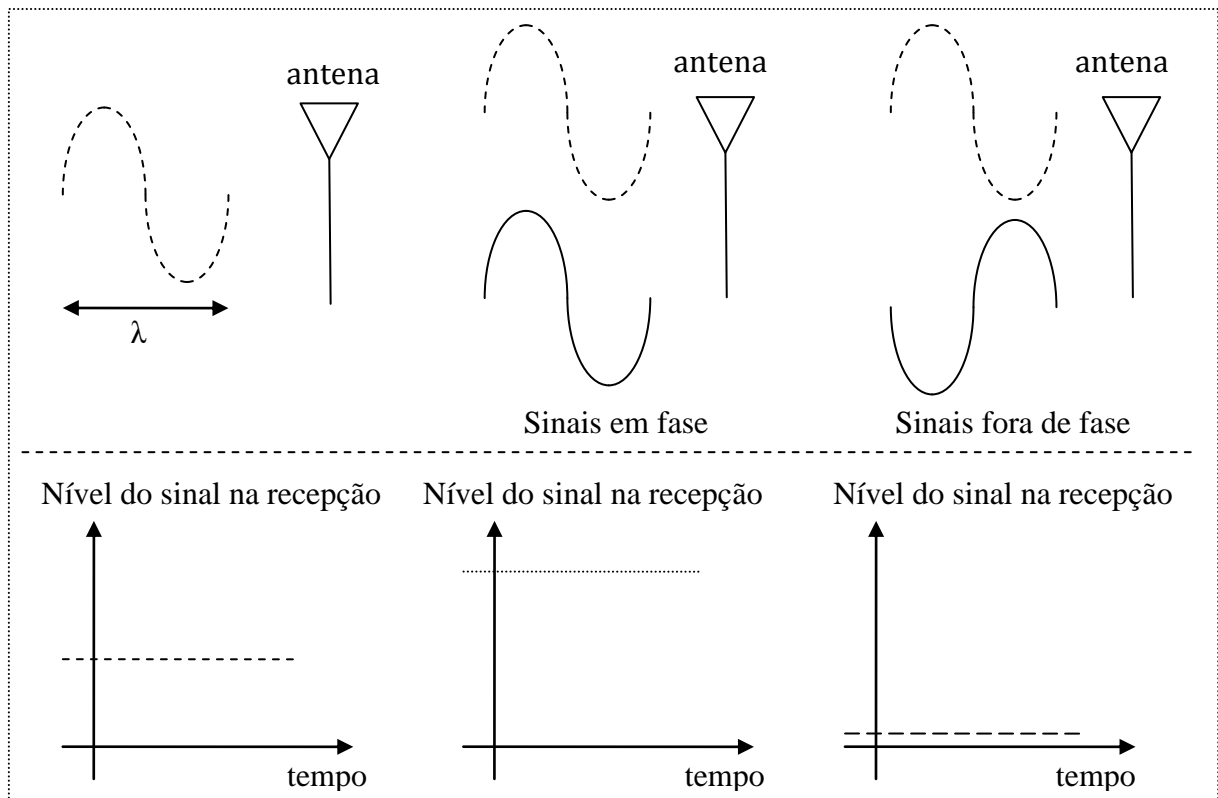


Figura 2.10 – Nível do sinal recebido decorrente de multipercurso

Dependendo dos objetos no ambiente, o movimento da unidade móvel, ou do receptor, poderá causar uma variação no nível do sinal recebido em função da ocorrência de pontos onde ocorrem soma de sinais em fase ou fora de fase. Quando estão em fase, o nível do sinal irá aumentar e quando estão fora de fase, o nível do sinal irá diminuir. A amostragem, portanto, deverá ocorrer a uma taxa que permita a obtenção desta variabilidade do sinal em decorrência de sua mobilidade.

A passagem de um nível de sinal recebido para outro no receptor, decorrente dos múltiplos percursos, depende da velocidade da unidade móvel e do comprimento de onda do sinal transmitido. Inicialmente, suponha que por um sinal de comprimento λ passe outro sinal de mesmo comprimento de onda. No receptor móvel irá ocorrer uma variação do nível do sinal, resultando em uma frequência cujo comprimento de onda será λ_r . Neste caso, pelo teorema de Nyquist, as amostras devem obtidas pelo dobro da máxima frequência da variação do nível da envoltória do sinal presente no receptor, o que, novamente, dependerá da velocidade do receptor e dos elementos ao seu redor.

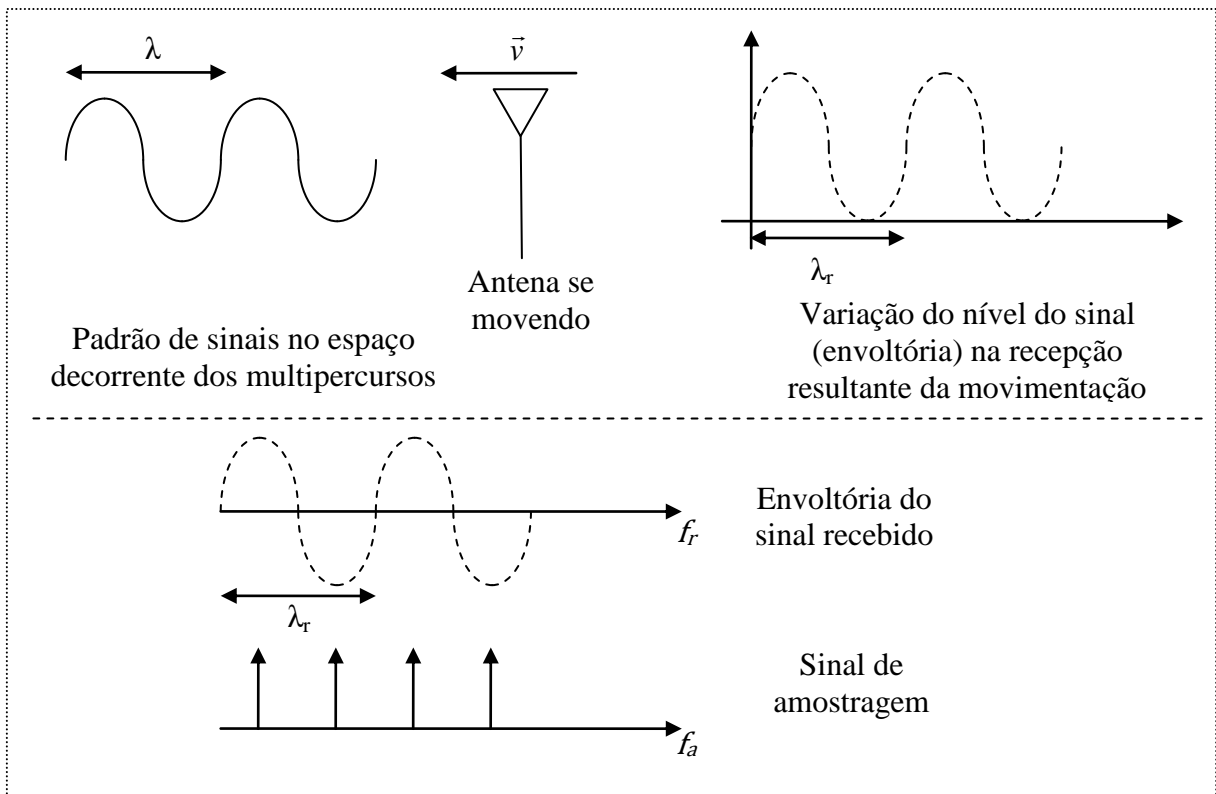


Figura 2.11 – Variação do sinal recebido e taxa de amostragem

Pela Figura 2.11 observa-se que para cada Hertz de variação do nível do sinal deverão existir, pelo menos, quatro amostras. Isto decorre do fato de que cada Hertz do sinal de amostragem corresponde a duas amostras do sinal recebido. Assim, se tivermos uma frequência da envoltória do sinal f_r , resultante da movimentação do receptor, que ocupe uma banda B , a taxa de amostragem do sinal amostrado será $2B$, então, pelo teorema de Nyquist, teremos a seguinte relação:

$$f_a \geq 2B \quad (2.63)$$

onde:

- B : é a banda da envoltória do sinal no receptor;
- f_a : é a frequência de amostragem.

A Figura 2.12 ilustra a banda B , ocupada pela variação da frequência f_r da envoltória do sinal no receptor e a banda mínima da frequência de amostragem f_a , considerando o requisito da taxa de Nyquist em função da banda do sinal amostrado:

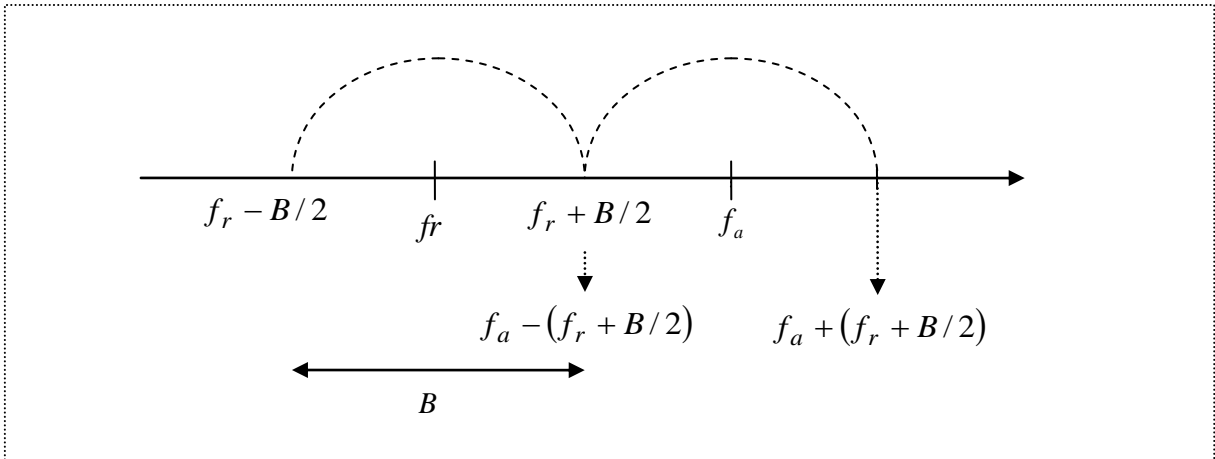


Figura 2.12 – Determinação da taxa de Nyquist

Considerando o movimento da unidade móvel, ocorrerá o efeito Doppler que irá aumentar ou diminuir o comprimento de onda do sinal recebido, diminuindo quando o receptor se aproxima do transmissor e aumentando quando se afasta. O aumento da velocidade da unidade móvel em direção ao receptor irá fazer com que a frequência aumente para, no máximo:

$$f_m = \frac{v}{\lambda} \quad (2.64)$$

onde:

- λ : é o comprimento de onda do sinal transmitido;
- v é a velocidade do receptor ou unidade móvel.

Esta frequência máxima f_m corresponde à banda superior de f_r , dada por $f_r + B/2$, logo:

$$f_r + B/2 = f_r + f_m \Rightarrow B/2 = f_m \quad (2.65)$$

$$B = 2f_m \quad (2.66)$$

A taxa de amostragem ficará:

$$f_a \geq 2B \geq 2(2f_m) \quad (2.67)$$

$$f_a \geq 4f_m \quad (2.68)$$

Relacionando com a velocidade de unidade móvel, teremos:

$$f_a \geq 4 \frac{v}{\lambda} \quad (2.69)$$

Este valor corresponde à mínima taxa necessária para amostragem do sinal recebido, considerando uma unidade móvel com velocidade v e uma frequência de transmissão com comprimento de onda λ .

Como o desvanecimento rápido pode ocorrer devido à reflexão de objetos muito próximos, isto ocasiona a ocorrência de desvanecimentos profundos, cujo tempo de duração poderá ser menor que o período entre amostras. Neste caso, a taxa de amostragem calculada não será suficiente para capturar a ocorrência destes desvanecimentos.

Parsons em [14] apresenta a Tabela 2.10 onde estão relacionadas a profundidade do desvanecimento, comprimento médio do desvanecimento e taxa média de cruzamento para um valor mediano da envoltória do sinal, num ambiente Rayleigh. Indica a frequência que um sinal desvanecido necessita ser amostrado, para que a duração média do desvanecimento abaixo de qualquer nível especificado seja detectado.

Tabela 2.10 – Comprimento médio do desvanecimento e taxa de cruzamento para medidas de desvanecimento Rayleigh em relação ao valor mediano

Profundidade do desvanecimento (dB)	Comprimento médio do desvanecimento (comprimentos de onda)	Taxa média de cruzamento (1/comprimentos de onda)
0	0,479	1,043
-10	0,108	0,615
-20	0,033	0,207
-30	0,010	0,066

Fonte: [14]

Pela análise da tabela, e de modo a garantir a captura de 50% dos desvanecimentos profundos, da ordem de -30 dB , com comprimento de $0,010\lambda$, a envoltória do sinal deveria ser amostrada a uma taxa de:

$$f_a = \frac{v}{0,010\lambda} = \frac{100 \cdot v}{\lambda} \quad (2.70)$$

Logo, a taxa de amostragem a ser utilizada deve estar entre os seguintes limites:

$$4 \frac{v}{\lambda} \leq f_a \leq \frac{100 \cdot v}{\lambda} \quad (2.71)$$

Sendo que:

- $f_a \geq 4 \frac{v}{\lambda}$: satisfaz o teorema de Nyquist e o efeito Doppler;
- $f_a \leq \frac{100 \cdot v}{\lambda}$: permite a captura do desvanecimento profundo.

2.4.7 Separação do desvanecimento lento e rápido

O sinal recebido, medido pelo receptor, pode ser descrito como: $s(t)=m(t)r(t)$ em escala linear e: $S(t)=M(t)+R(t)$ quando expresso em decibéis [17]. $M(t)$ representa o desvanecimento lento enquanto que $R(t)$ representa o desvanecimento rápido.

Para o devido tratamento, em termos de computação, o que se obtém e o que devemos manipular, são amostras do sinal recebido. Yacoub [17] propõe que, como existe uma diferença na frequência do desvanecimento lento para o rápido, o caminho natural seria a separação através de um processo de filtragem digital. Este processo pode ser feito tomando-se $2k+1$ amostras do sinal (com k sendo um número inteiro), onde a média do setor ou área pode ser considerada constante. Pode ser mostrado que a função de um filtro passa baixas digital é dada por:

$$\hat{M}_l = \frac{1}{2k+1} \sum_{j=-k}^k S_{i+j} \quad (2.72)$$

onde:

- \hat{M}_l : l -ésima estimativa média da área. l compreende o conjunto de amostras entre k e $-k$;
- S_i : i -ésima amostra do sinal recebido;
- k : número de amostras dentro da qual será calculada a média.

Pode ser observado que esta expressão equivale à equação (2.47) para um sinal contínuo.

Calculada a estimativa da média do sinal recebido, é possível determinar o sinal do desvanecimento rápido como:

$$\hat{R}_i = S_i - \hat{M}_l \quad (2.73)$$

onde:

- \hat{R}_i : é a estimativa do *i-ésimo* desvanecimento rápido dentro do setor ou área de média estimada \hat{M}_l .

2.4.8 Comprimento da pequena área

Segundo Yacoub [17] o valor de k deve ser determinado para a correta filtragem e separação do desvanecimento lento do desvanecimento rápido. Pode ser verificado que a frequência de corte de um filtro digital é dada por:

$$f_c = \frac{f_a}{2k + 1} \quad (2.74)$$

onde:

- f_a : frequência de amostragem do sinal;
- f_c : frequência de corte do filtro digital.

Como a frequência de amostragem deve ser igual ou maior que duas vezes a máxima frequência do sinal e se considerarmos o máximo desvio Doppler como a máxima frequência do sinal, então:

$$f_c \geq 4 \cdot \gamma \cdot f_m \quad (2.75)$$

onde:

- $\gamma \geq 1$: representa um fator de multiplicação para indicar o aumento na frequência de amostragem.

Ainda segundo Yacoub [17] o intervalo médio pode ser escolhido de modo que:

$$f_c = \alpha \cdot f_m \quad (2.76)$$

onde:

- α : é um fator de redução da frequência de corte do filtro devendo ser, no máximo, um, quando a frequência de corte é igual à frequência máxima do desvio. Deve estar entre: $0 \leq \alpha \leq 1$.

Da análise anterior obtemos:

$$2k + 1 = 2\gamma / \alpha \quad (2.77)$$

As $2k+1$ amostras são obtidas em um intervalo de tempo igual a $(2k+1)/f_a$ amostras. Se a unidade móvel ou o receptor se move a uma velocidade v então a uma distância L percorrida (pequena área), pode-se considerar o sinal razoavelmente constante:

$$L = \frac{2k + 1}{f_a} v \quad (2.78)$$

Logo, obtemos:

$$L = \frac{\lambda}{\alpha} \quad (2.79)$$

Este método encontra como dificuldade a estimação dos parâmetros α e γ .

Outra metodologia para determinação do comprimento foi proposta, anteriormente, por Lee [34]. Esta metodologia segue os seguintes passos:

- estabelecimento de critério para escolha do comprimento da pequena área $2L$;
- estimativa da variância da média local $\hat{m}(x)$;
- determinação da frequência de amostragem.

Neste caso, a estimativa da variância é calculada por:

$$\frac{\sigma_{\hat{m}}^2}{\hat{m}(x)} = \frac{1}{2\left(\frac{2L}{\lambda}\right)} \int_0^{2L/\lambda} \left(1 - \frac{x}{\frac{2L}{\lambda}}\right) J_0^2(2\pi x) dx \quad (2.80)$$

O gráfico da Figura 2.13 representa a equação anterior, calculada para $\frac{\sigma_{\hat{m}}}{\hat{m}(x)}$, que pode ser entendida como o erro na estimativa do sinal na pequena área, em função da quantidade de comprimentos de onda amostrados ou presentes na pequena área:

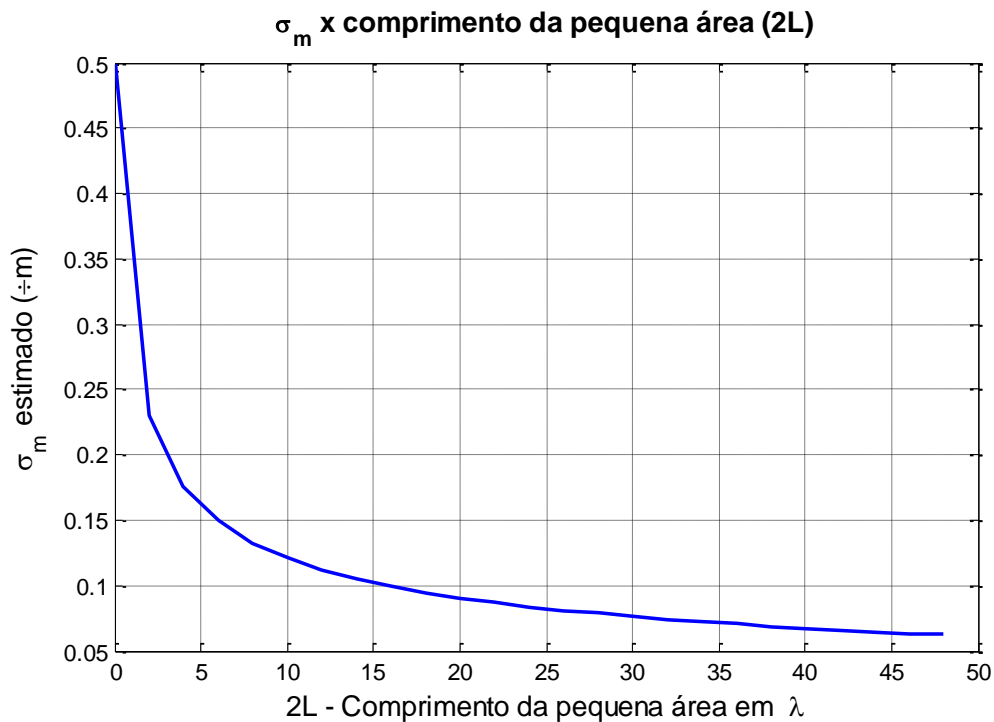


Figura 2.13 – Variância em torno da média x número de comprimentos de onda da pequena área

A variância obtida pode ser calculada para um determinado “espalhamento” em torno da média, em decibéis, como [34]:

$$1\sigma_{\hat{m} \text{ espalhado}} = 20 \log_{10} \left(\frac{m(x) + \sigma_{\hat{m}}}{m(x) - \sigma_{\hat{m}}} \right) \text{ (dB)} \quad (2.81)$$

O gráfico da Figura 2.14 mostra o espalhamento de uma variância em torno da média, $1\sigma_{\hat{m} \text{ espalhado}}$, que pode ser interpretado como o erro tolerado em torno da média real do sinal. Se for requerido um erro menor que 1,8 dB em torno da média, então a quantidade de comprimentos de onda que deverão ser tomados deve ser maior que 15.

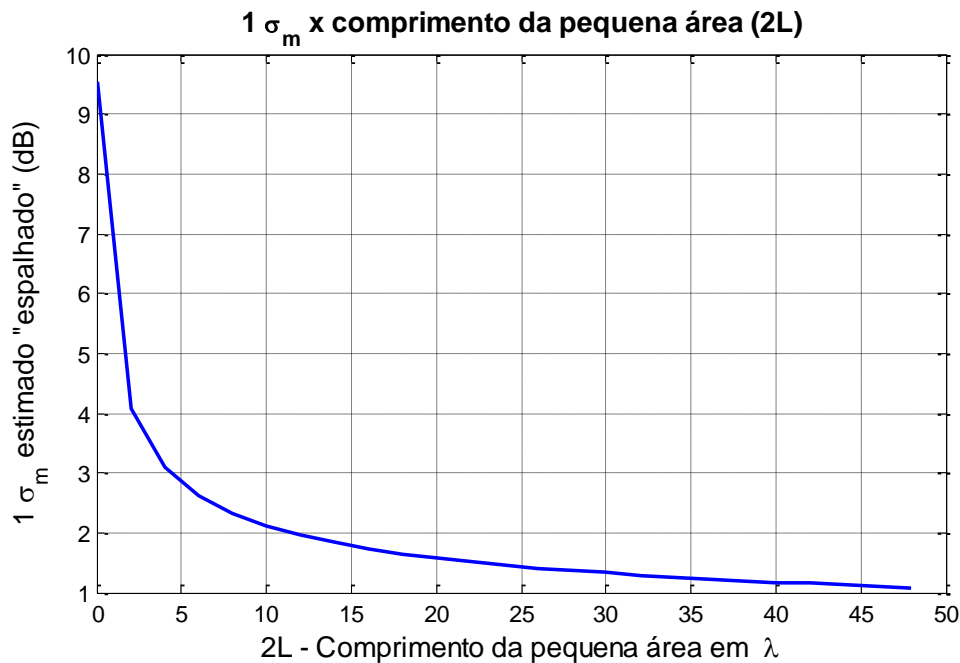


Figura 2.14 – Variância em torno da média em dB x número de comprimentos de onda da pequena área

2.4.8.1 Determinação do valor adequado do comprimento da pequena área $2L$

Pode ser verificado pela análise do gráfico da Figura 2.14 que a partir de cerca de 40λ o valor de $1\sigma_{\hat{m}}$ *espalhado* começa a decrescer muito lentamente. Portanto, novamente segundo Lee, um comprimento entre 20λ e 40λ seria o valor adequado para realização da média do sinal amostrado.

Tendo sido determinado o comprimento adequado para a estimação do sinal médio na pequena área, é necessária a determinação da quantidade de amostras a serem digitalizadas. A próxima seção analisará esta questão.

2.4.9 Estimação do nível médio do sinal na pequena área e quantidade de amostras

Uma vez obtidos os relacionamentos entre a distância a ser percorrida, a velocidade da unidade móvel, a frequência de amostragem e a quantidade de amostras obtidas, faz-se necessário obter uma estimativa do nível médio do sinal amostrado, em função da quantidade de amostras obtidas. Em outras palavras, dada uma quantidade de amostras representativas da pequena área, deveremos calcular a média do sinal nesta pequena área e o grau de confiança daquela média.

De modo geral, o sinal amostrado pode possuir uma distribuição qualquer e desconhecida. No entanto, se são obtidas amostras independentes do sinal real e se este sinal for considerado aleatório, tomando um número suficientemente grande de amostras é possível supor que esta distribuição se aproxima de uma distribuição Gaussiana com média zero e variância unitária, o que decorre da aplicação direta do Teorema do Limite Central [31]. Outra observação importante é a necessidade do estabelecimento de um limite dentro do qual o nível do sinal médio obtido é considerado aceitável e qual o grau de confiança deste valor, em relação às mostras obtidas.

Considerando uma função distribuição de probabilidade Gaussiana, definida na equação (2.82), é possível estimar o nível médio do sinal:

$$P[Z \leq z] = F_Z(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{\left(-\frac{z^2}{2}\right)} dz \quad (2.82)$$

sendo:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2.83)$$

onde:

- z : é uma variável de apoio;
- x : é o nível ou amplitude do sinal medido;
- μ : é a média do nível do sinal medido;
- σ : é o desvio padrão do nível sinal medido.

Da teoria estatística, se uma variável aleatória X (que representa o nível real do sinal), com amostras aleatórias (X_1, \dots, X_N) do sinal, possui média $E[X] = \mu$ e variância $V[X] = \sigma^2$, então a média e a variância de uma amostra aleatória de tamanho N será dada por:

$$\hat{\mu} = E[\bar{X}] = E\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i\right] = \frac{1}{N} E\left[\sum_{i=1}^N X_i\right] = \frac{1}{N} E\sum_{i=1}^N [X_i] = \frac{1}{N} N\mu = \mu \quad (2.84)$$

pois pode ser mostrado que:

$$\sum_{i=1}^N E[X_i] = E[X_1] + \dots + E[X_N] = \mu + \dots + \mu = N\mu \quad (2.85)$$

onde:

- $\hat{\mu}$: estimativa da média amostral;
- \bar{X} : média amostral;
- X_i : i -ésima amostra aleatória independente da variável aleatória X .

Assim, a média das amostras é igual à média real do sinal.

Prosseguindo, supondo que as amostras são independentes, podemos calcular o desvio padrão estimado das amostras:

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}^2 &= E[(\bar{X} - \hat{\mu})^2] = E[(\bar{X} - \mu)^2] = E\left[\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i - \mu\right)^2\right] = \frac{1}{N^2} E\left[\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2\right] = \\ &= \frac{1}{N^2} \left[\sum_{i=1}^N E(X_i - \mu)^2\right] = \frac{1}{N^2} N\sigma^2 = \frac{1}{N} \sigma^2 \end{aligned} \quad (2.86)$$

Neste caso, a variância das amostras é igual à variância do sinal real dividido pela quantidade de amostras consideradas.

Pode-se, então, considerar novamente a função distribuição de probabilidade Gaussiana, agora com as estatísticas estimadas:

$$P[Z \leq \tilde{z}] = F_Z(\tilde{z}) = \frac{1}{\hat{\sigma}\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\tilde{z}} e^{\left(-\frac{\tilde{z}^2}{2}\right)} d\tilde{z} \quad (2.87)$$

Para determinar a distribuição das amostras pode-se, simplesmente, substituir as variáveis das amostras na função distribuição de probabilidade Gaussiana e calcular o intervalo de confiança para os valores estimados. Assim, seja:

$$\tilde{z} = \frac{\tilde{x} - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} = \frac{(\tilde{x} - \mu)}{\sigma} \sqrt{N} \quad (2.88)$$

onde:

- \tilde{z} : é uma variável de apoio das estatísticas estimadas;

- \tilde{x} : é o nível ou amplitude estimada do sinal;
- $\hat{\mu}$: é a média estimada do nível do sinal;
- $\hat{\sigma}$: é o desvio padrão estimado do nível sinal.

O intervalo de confiança pode ser calculado como a probabilidade do valor estimado \tilde{z} estar entre os limites $-a$ e a , assim:

$$P[-a \leq \tilde{z} \leq a] = F_Z(a) - F_Z(-a) = F_Z(a) - [1 - F_Z(a)] = 2F_Z(a) - 1 \quad (2.89)$$

Uma vez que a pode ser qualquer número escolhido, este pode ser escolhido de modo que a probabilidade de \tilde{z} esteja entre os limites: $-a$ e a , e seja igual a $1 - \alpha$, ficando esta definida por:

$$P[-a \leq \tilde{z} \leq a] = 2F_Z(a) - 1 = 1 - \alpha \quad (2.90)$$

ou

$$2F_Z(a) = 2 - \alpha \Rightarrow F_Z(a) = 1 - \frac{\alpha}{2} \quad (2.91)$$

O valor $1 - \alpha$ passa a ser o coeficiente de confiança, podendo estar entre 0 e 1 ou alternativamente $(1 - \alpha)100\%$ estando entre 0% e 100% e α é o valor de entrada nas tabelas de distribuição Normal, ou comandos de programação de computador, de modo a obter a . Ao contrário também é possível, com a entrada do valor a e a obtenção de α .

Agora, pode-se substituir as estatísticas estimadas para a determinação da probabilidade dos valores amostrados \tilde{x} , com média μ e desvio padrão σ , estarem entre limites desejados $(-a, a)$, considerando uma quantidade de amostras N :

$$\begin{aligned} P[-a \leq \tilde{z} \leq a] &= P\left[-a \leq \frac{(\tilde{x} - \mu)}{\sigma} \sqrt{N} \leq a\right] = P\left[\frac{-a\sigma}{\sqrt{N}} \leq (\tilde{x} - \mu) \leq \frac{a\sigma}{\sqrt{N}}\right] = \\ &= P\left[\tilde{x} - \frac{a\sigma}{\sqrt{N}} \leq \mu \leq \tilde{x} + \frac{a\sigma}{\sqrt{N}}\right] \end{aligned} \quad (2.92)$$

A equação (2.92) pode ser interpretada como a probabilidade do nível médio do sinal μ estar entre os intervalos aleatórios: $\tilde{x} - \frac{a\sigma}{\sqrt{N}}$ e $\tilde{x} + \frac{a\sigma}{\sqrt{N}}$, considerando N amostras.

Assim, se se deseja que a amplitude estimada do sinal amostrado \tilde{x} esteja dentro da faixa de, no máximo, ± 1 dB em relação a sua média verdadeira μ , então:

$$\tilde{x} - 1 \leq \mu \leq \tilde{x} + 1 \quad (2.93)$$

Logo:

$$-\frac{a\sigma}{\sqrt{N}} \geq -1dB \text{ e } \frac{a\sigma}{\sqrt{N}} \leq 1dB \quad (2.94)$$

Deste modo:

$$\frac{a\sigma}{\sqrt{N}} \leq 1dB \quad (2.95)$$

O valor de a está relacionado ao intervalo de confiança desejado ou requerido de uma distribuição normal com média μ , enquanto que o desvio padrão σ pode estar relacionado a uma distribuição Rayleigh se considerarmos o desvanecimento rápido.

Lee [34] calcula este desvio como sendo 3,65 enquanto que Parsons [14] obteve 5,57. A Tabela 2.11 faz um comparativo desses valores e o número de amostras necessárias. A diferença na obtenção destes valores não será investigada, porém estes valores serão utilizados para a determinação da quantidade de amostras. Assim, se for considerado um intervalo de confiança de 95%, teremos:

$$N \geq (a\sigma)^2 \quad (2.96)$$

$$F_Z(a) = 0,95 \text{ para } : a = 1,96 \quad (2.97)$$

Tabela 2.11 – Comparativo da quantidade de amostras entre Lee e Parsons

Lee ($\sigma=3,65$)	Parsons ($\sigma=5,57$)
$N \geq 51,18$	$N \geq 119,19$

A Figura 2.15 mostra a estimativa do nível médio do sinal na pequena área, em função da quantidade de amostras.

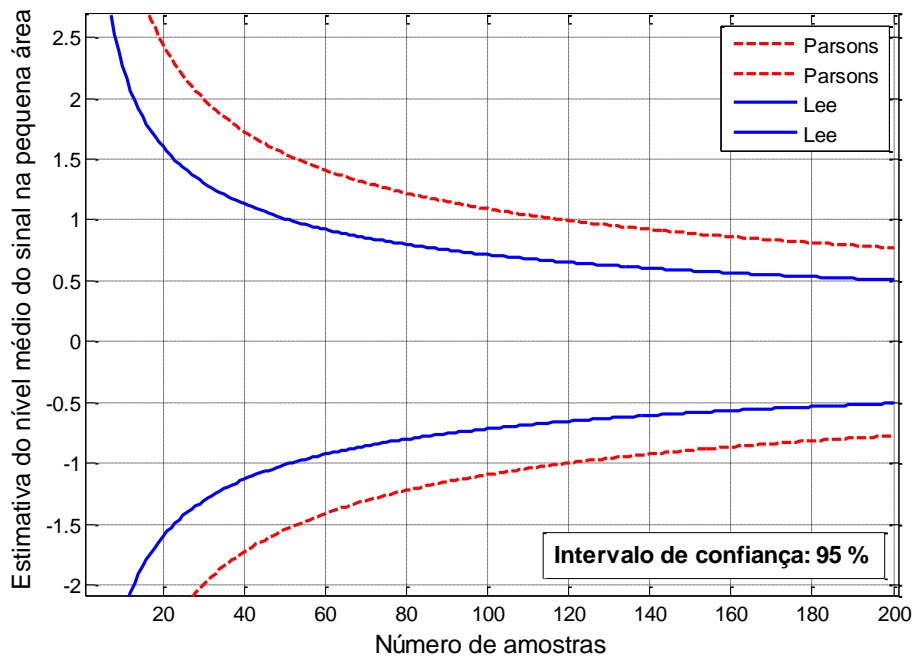


Figura 2.15 – Estimativa do nível médio do sinal na pequena área em função da quantidade de amostras

2.4.9.1 Descorrelação entre amostras

As amostras tomadas, dentro de um intervalo deveriam estar descorrelacionadas. Para que isto ocorra, estas amostras deveriam ser tomadas a uma distância mínima d . Pode ser mostrado conforme [14], [17] e [34], que a descorrelação ocorre quando:

$$J_0^2\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right) = 0 \quad (2.98)$$

E que esta equação é verdadeira quando:

$$\frac{2\pi d}{\lambda} = 2,404 \quad (2.99)$$

o que fornece:

$$d = 0,38 \lambda \quad (2.100)$$

Esta distância mínima é utilizada por Parsons [14], aproximada para $d=0,5\lambda$ por Yacoub [17] e segundo Lee [34] deve ser $d=0,5 \lambda$ (teoria) e $d=0,8 \lambda$, a partir de medidas.

A Tabela 2.12 resume os valores obtidos a partir das análises de Parsons [14], Yacoub [17] e Lee [34] para diferentes parâmetros utilizados para o cálculo da quantidade de amostras e frequência de amostragem:

Tabela 2.12 – Comparação entre parâmetros para definição de número de amostras e frequência de amostragem

Parâmetro	Lee	Parsons	Yacoub
Frequência (MHz)	3515	3515	3515
Comprimento de onda (m)	0,0853	0,0853	0,0853
Velocidade média estimada (m/s)	5,00	5,00	5,00
Sigma	3,65	5,57	-
Intervalo de confiança	95%	95%	-
a: (F(a)=95%)	1,96	1,96	-
Alfa	-	-	0,04
Gama	-	-	2,00
Número de amostras (\geq)	51,18	119,19	200,00
Freq. Amostragem (aps) - 20L	149,91	349,11	468,67
Freq. Amostragem (aps) - 40L	74,96	174,56	
Distância ou comprimento de pequena área (m) - 20L	1,71	1,71	2,13
Distância ou comprimento de pequena área (m) - 40L	3,41	3,41	-
Número de comprimentos de onda (20L: Lee e Parsons)	20,00	20,00	25,00
Número de comprimentos de onda (40L: Lee e Parsons)	40,00	40,00	-

Seja qual for a metodologia de cálculo e abordagem, a taxa de amostragem deverá ser capaz de permitir a captura do desvanecimento rápido profundo. A tabela a seguir apresenta a taxa de amostragem requerida para uma velocidade média de 5 m/s, que foi a velocidade inicial estimada da embarcação utilizada para realização dos testes.

Tabela 2.13 – Taxa de amostragem para obtenção do desvanecimento profundo considerando $v = 5$ m/s

Comprimento médio do desvanecimento em comprimentos de onda	Taxa de amostragem
0,48	22,30
Critério de Nyquist	117,17
Critério de Nyquist e efeito Doppler	234,33
0,11	542,44
0,03	1.775,25
0,01	5.858,33

2.4.9.1.1 Definição dos parâmetros das medidas em campo

Para a realização das medições em campo, os parâmetros abaixo, conflituosos, deverão ser equilibrados:

- Taxa de amostragem para obtenção do desvanecimento profundo;
- Quantidade mínima de amostras;
- Intervalo para a tomada das amostras para que estejam descorrelacionadas e tenham validade estatística.

Se, por um lado, é necessária uma quantidade grande de amostras para determinação de desvanecimento profundo, por outro, uma quantidade de amostras muito grande não garante que amostras sucessivas estejam descorrelacionadas, o que é requerido para a validade das estatísticas e conseqüentemente correta estimação dos parâmetros. A primeira e mais óbvia resolução deste conflito seria a realização de diversas passagens no mesmo local utilizando uma taxa de amostragem e velocidade, de modo que fossem obtidas amostras descorrelacionadas, pois seria muito improvável que em duas ou mais passagens sucessivas fossem obtidas amostras exatamente no mesmo local ou o ambiente ao redor se mantivesse o mesmo. Outra alternativa, seria a realização de amostragem a uma taxa bastante elevada. Com isto, poderia ser possível a obtenção do desvanecimento rápido profundo, caso existisse. O descorrelacionamento entre amostras poderia ser obtido pela supressão de amostras sucessivas

até que a distância de decorrelacionamento fosse alcançada. As amostras suprimidas poderiam, então, ser utilizadas em outra avaliação, repetindo o processo de supressão de amostras. O processo poderia ser realizado de modo a suprimir amostras em sequência ou de modo aleatório, respeitando a quantidade mínima de amostras e a distância mínima de correlação. Em uma primeira abordagem, este processo simularia diversas passagens pelo ambiente minimizando, assim, a necessidade de realização de novos testes no mesmo local, principalmente quando se está estudando um ambiente cuja movimentação é muito difícil e requer recursos dispendiosos, como é o caso da avaliação do canal marítimo desta Dissertação.

O desenho abaixo ilustra o processo com o uso de uma taxa de amostragem elevada:

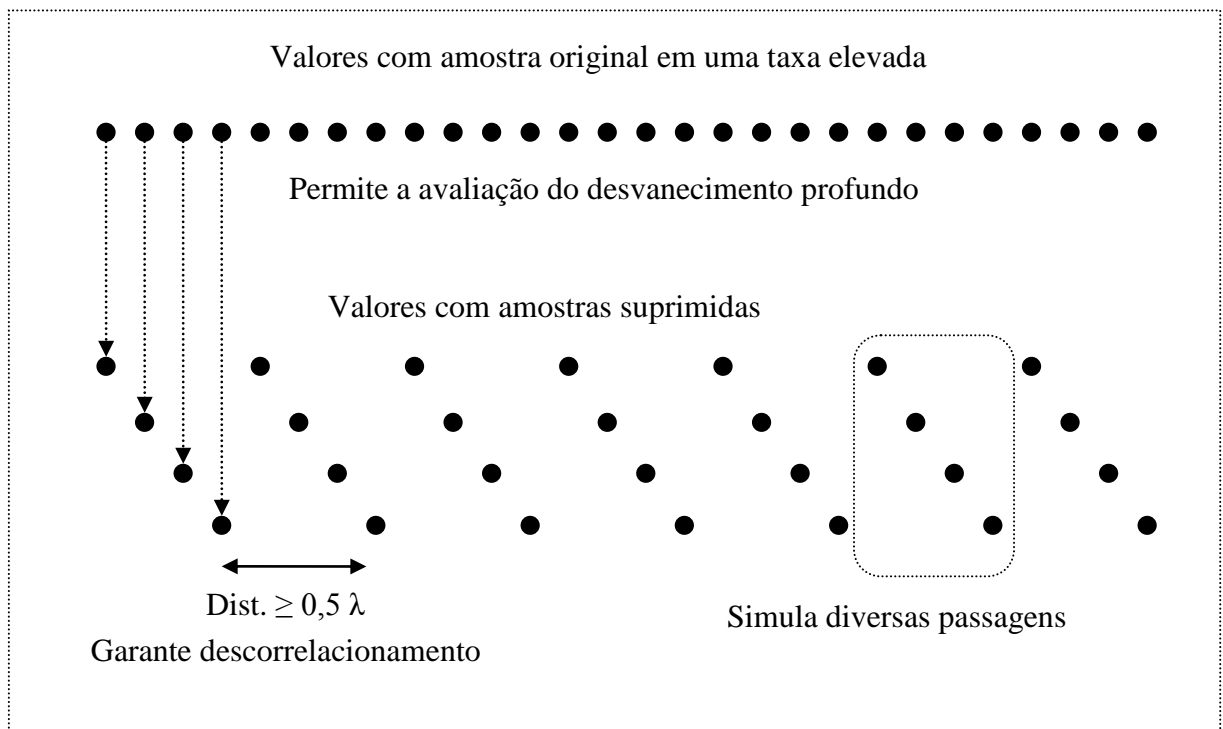


Figura 2.16 – Utilização de taxa elevada e obtenção de amostras decorrelacionadas

Cabe observar que a validade deste processo ainda deve ser investigada e comparada através de uma passagem por um ambiente e, posteriormente, por diversas passagens pelo mesmo ambiente, preferencialmente sem alterações significativas.

2.4.9.2 Considerações sobre a unidade de medição

As medições feitas pelo receptor podem ser feitas utilizando escala linear, em volts, ou logarítmica, em decibéis. Quando feitas em decibéis, devemos fazer a conversão destes valores para volts ou converter os cálculos para a utilização das escalas para decibéis. No presente trabalho serão utilizadas estatísticas em unidades lineares e logarítmicas.

2.5 Simulação do canal rádio móvel

Uma vez realizadas as medições no ambiente, os dados obtidos poderão ser utilizados em simulação, de modo a tornar mais rápida a avaliação dos modelos existentes e dos novos modelos de propagação e caracterização do canal rádio móvel, bem como na utilização para implantação em novos sítios e recomendações para o projeto de equipamentos e sistemas móveis. A Figura 2.17 [35] mostra uma visão geral das técnicas de simulação do canal rádio.

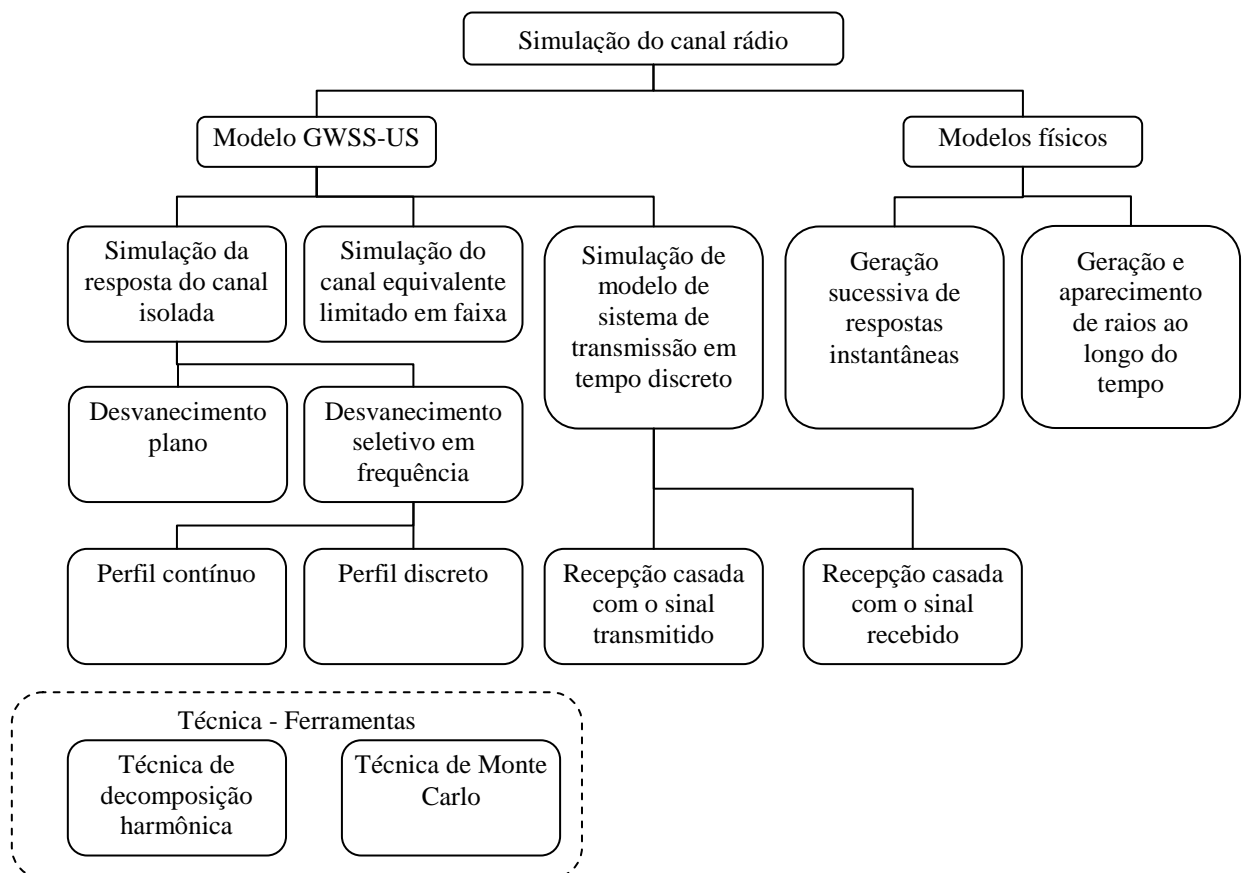


Figura 2.17 – Exemplo de classificação dos métodos para simulação do canal Rádio Móvel

3 Técnicas de sondagem do canal

Neste capítulo, serão apresentadas algumas técnicas de medição em banda estreita e banda larga, bem como observações de caráter prático, para se obter a configuração mais adequada ao objetivo que se deseja alcançar. As configurações apresentadas são aquelas estudadas a partir dos equipamentos do laboratório.

A escolha entre realização de medições em banda larga ou banda estreita depende de diferentes fatores, entre eles a disponibilidade de equipamentos e a finalidade para o uso das medições efetuadas. De modo geral, a realização de medições em banda estreita permite a obtenção da modelagem de perda de percurso, utiliza equipamentos com configuração mais simplificada e é empregada em uma aproximação inicial para avaliação do canal, enquanto que medições em banda larga disponibilizam grande quantidade de dados, mas necessitam de “sondas” mais complexas [20]. A Tabela 3.1, elaborada pelo autor com base em [20], apresenta uma avaliação qualitativa dos parâmetros críticos para escolha da utilização da banda estreita e banda larga para sondagem do canal.

Tabela 3.1 – Parâmetros críticos para escolha da utilização da banda estreita e banda larga para a sondagem do canal

Tipo de sondagem do canal Parâmetro crítico	Banda estreita	Banda larga
Aplicação mais indicada	Sondagem inicial do canal	Sondagens mais complexas para sistemas digitais
Velocidade de montagem da configuração	Média	Média / baixa
Tipo da configuração dos equipamentos	Mesma configuração pode ser utilizada para ambientes internos e externos	Em ambientes externos pode requerer mais equipamentos
Processamento dos dados	Complexidade média	Complexidade média / alta
Dados obtidos	Caracterização do canal em banda estreita	Caracterização do canal em banda estreita e larga
Ambiente de aplicação	Interno e externo	Interno e externo

Pode-se entender como sendo de banda estreita o canal onde a largura de banda é muito maior que a banda do sinal a ser transmitido. Na sondagem em banda estreita, uma portadora, sem modulação, é enviada pelo transmissor e o nível do sinal é medido no ambiente. Em banda larga, o sinal a ser transmitido ocupa toda a banda disponível no canal. Para esta sondagem, podem ser utilizadas diferentes técnicas. Além da banda estreita e banda larga, existe a técnica de banda ultralarga (UWB), que ocorre quando o sinal a ser transmitido apresenta uma banda muito maior que a banda do canal.

A Tabela 3.2 apresenta as técnicas de medição, tipos de sondagem do canal e os dados que podem ser obtidos com cada uma delas.

Tabela 3.2 – Técnicas de medição e dados obtidos em função do tipo de sondagem do canal

Técnica de medição	Transmissão e recepção de uma portadora sem modulação	Transmissão e recepção simultânea de duas portadoras	Transmissão e recepção multiportadoras	Transmissão de um pulso	Transmissão de uma sequência PN	Transmissão “Chirp”
Tipo de Sondagem	Banda estreita	Banda estreita	Banda larga	Banda larga	Banda larga	Banda larga
Dados obtidos						
Nível de potência do sinal, dependência com a distância ou cobertura	X	X	X	X	X	X
Desvanecimento em larga escala	X	X	X	X	X	X
Desvanecimento em pequena escala	X	X	X	X	X	X
Taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento	X	X	X	X	X	X
Desvio Doppler	X	X	X	X	X	X
Largura de banda de coerência do canal		X	X	X	X	X
Espalhamento Doppler e tempo de coerência (duais)			X	X	X	X
Parâmetros de dispersão temporal: perfil de retardo de potência (excesso de retardo e espalhamento de retardo RMS)			X	X	X	X

Uma vez obtidos os dados das medições em campo, é possível calcular os parâmetros adequados e, conseqüentemente, avaliar os parâmetros do sistema que serão influenciados, e realizar simulações das configurações do sistema a ser implantado.

A Tabela 3.3 apresenta os dados mensurados e alguns dos parâmetros do sistema que são influenciados ou que podem ser obtidos.

Tabela 3.3 – Parâmetro mensurado e influência no sistema

Dado mensurado ou calculado	Parâmetro do sistema influenciado
Nível de potência do sinal, dependência com a distância ou cobertura	Cobertura, alcance, tamanho da célula
Desvanecimento em larga escala (desvanecimento lento)	Verificação de áreas de sombra e obstrução, relação sinal-ruído
Desvanecimento em pequena escala (desvanecimento rápido)	Controle automático de ganho, taxa de erro de bit
Taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento	Controle automático de ganho, taxa de transmissão, comprimento das palavras e esquemas de codificação
Largura de banda de coerência do canal	Interferência intersimbólica, taxa de transmissão
Espalhamento Doppler	Relação sinal-ruído, taxa de símbolo
Perfil de retardo de potência (excesso de retardo e Espalhamento de retardo RMS)	Relação sinal-ruído, taxa de símbolo

3.1 Sondagem do canal em banda estreita

Nesta seção, são apresentadas as técnicas de medição para sondagem do canal em banda estreita, a forma como podem ser utilizadas, os dados que podem ser medidos e os cuidados que tem que ser tomados. Estas técnicas foram obtidas, inicialmente, das referências citadas e, posteriormente, montadas e testadas em laboratório com os equipamentos disponíveis.

3.1.1 Transmissão e recepção de uma portadora em trechos curtos

Esta configuração está baseada na utilização de um gerador de sinais, que gera uma portadora sem modulação (CW), e um analisador de espectro. Permite a obtenção da variabilidade em pequenos trechos, utilizando a quantidade de pontos presentes na tela do analisador de espectro, em função da velocidade de varredura utilizada e da distância a ser percorrida. Por exemplo, se a velocidade da unidade móvel é igual a 10 m/s, a frequência de transmissão é 3,5 GHz, a quantidade de pontos da tela do analisador é 550 e um setor de 20λ será analisado, então a velocidade de varredura a ser ajustada deverá ser igual a 170 ms. Neste caso, a quantidade de amostras na pequena área será igual a 550 e deverá ser confrontada com a quantidade mínima necessária para a obtenção de desvanecimento profundo. O ajuste do tempo de varredura e da velocidade da unidade móvel permite determinar a quantidade de amostras. Esta configuração permite obter a medida da variabilidade do sinal em um ou mais trechos curtos, mas tem como desvantagem a perda da medição em alguns trechos durante o armazenamento na memória, no caso de se desejar analisar mais de um trecho. É entretanto bastante simples de ser implementada e pode ser utilizada para realizar medições e obter os seguintes dados do comportamento do canal rádio móvel:

- desvanecimento rápido;
- desvanecimento lento;
- dependência com a distância e fator de atenuação;
- taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento;
- desvio Doppler;
- ângulo de chegada dos múltiplos percursos com a utilização da antena de recepção direcional.

A configuração básica consiste de gerador de sinais, amplificador de potência e antena de transmissão. Na recepção, tem-se a antena receptora, um LNA (*low noise amplifier*), que

não é obrigatório, mas melhora a sensibilidade das medidas, e do analisador de espectro como receptor, conforme ilustra a Figura 3.1.

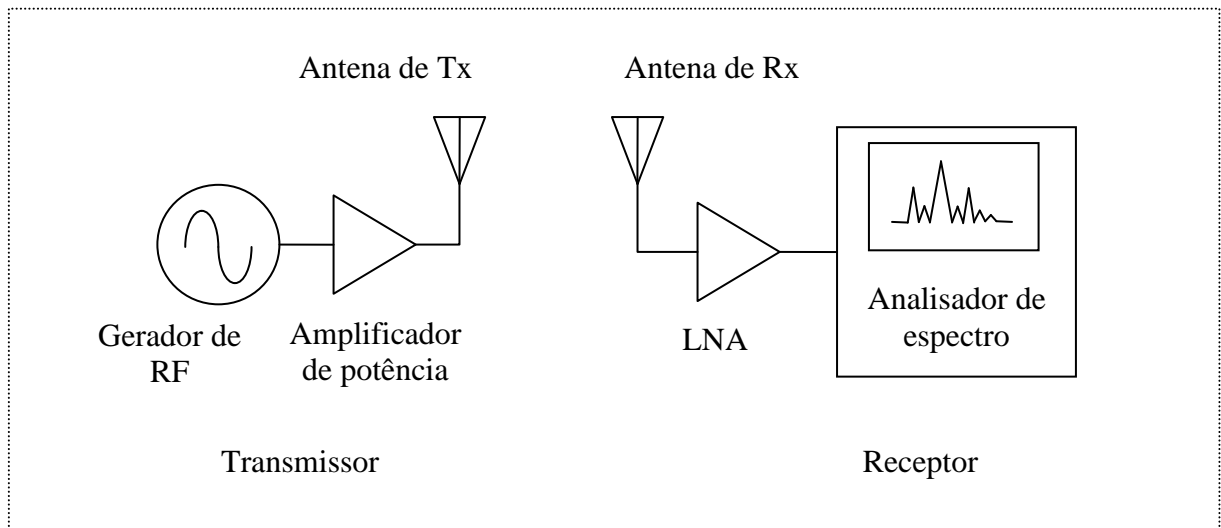


Figura 3.1 – Configuração para sondagem do canal em banda estreita (transmissão e recepção de uma portadora em trechos curtos)

Esta técnica pode ser utilizada em ambientes internos, tais como: salas, salões e corredores; e externos urbanos, mas a velocidade de deslocamento deve ser cuidadosamente calculada.

Deve ser tomado cuidado especial no cálculo do desvanecimento rápido em relação à frequência de varredura e o analisador deve ser colocado em *span zero* ou *time domain*.

Os dados podem ser armazenados diretamente no analisador de espectro ou enviados para um microcomputador, que envia um comando ao analisador requisitando o envio da amostra do sinal.

3.1.2 Transmissão e recepção de duas portadoras em trechos curtos

Caso dois equipamentos idênticos estejam disponíveis, é possível a realização de medida da banda de coerência do canal. A diferença é a necessidade de se controlar ou sincronizar o disparo da varredura dos dois analisadores de espectro, simultaneamente. Isto é conseguido através do envio de um mesmo comando através de um computador ligado, simultaneamente, aos dois equipamentos.

Esta técnica permite obter os seguintes dados:

- desvanecimento rápido;
- desvanecimento lento;
- dependência com a distância;
- taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento;
- desvio Doppler;
- ângulo de chegada dos múltiplos percursos com a utilização de antenas direcionais;
- banda de coerência.

A obtenção de dados para a análise da banda de coerência do canal deve ser feita através de várias medições, no mesmo ambiente, com uma das frequências sendo mantida fixa e a outra frequência, ligeiramente diferente da anterior, para se obter dados para análise da banda de coerência [36].

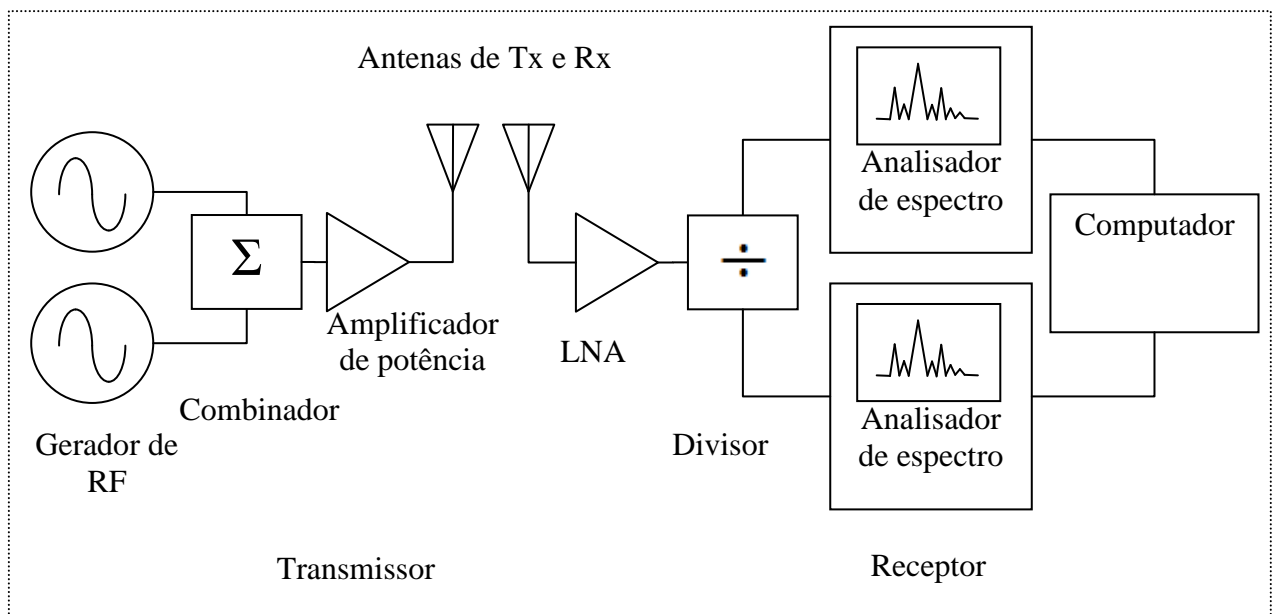


Figura 3.2 – Configuração para sondagem do canal em banda estreita (transmissão e recepção de duas portadora em trechos curtos)

3.1.3 Transmissão e recepção de uma portadora não modulada em trechos longos

Consiste na utilização de um gerador de sinais, sintonizado na frequência que se deseja transmitir, um amplificador de potência e uma antena na faixa adequada. As antenas utilizadas podem ser diretivas ou onidirecionais, dependendo da medida a ser efetuada.

Na recepção, tem-se uma antena, um LNA e um analisador de espectro, que funciona como receptor. A medida do nível do sinal pode ser feita de duas formas: colocando-se o analisador de espectro em *span zero* ou *time domain* e medindo-se o nível de tensão na saída de vídeo Y, ou então enviando um comando de um programa de computador para o analisador de espectro e fazendo a leitura do valor enviado pelo instrumento.

Esta configuração pode ser utilizada para medir ou se obter:

- desvanecimento rápido;
- desvanecimento lento;
- dependência com a distância;
- taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento;
- desvio Doppler;
- ângulo de chegada dos múltiplos percursos, com a utilização de antenas direcionais.

Para a medida do desvanecimento rápido, deve ser observada a taxa de amostragem mínima requerida para esta caracterização. Em alguns casos pode ser necessária a utilização de um módulo ou equipamento conversor analógico para digital. Neste caso, deve ser dada atenção especial para a conversão dos valores medidos pela placa em volts para aqueles correspondentes em decibéis medidos pelo analisador de espectro.

Para a medida do desvanecimento lento, da dependência com a distância e do ângulo de chegada, uma taxa de amostragem mais lenta pode ser utilizada, inclusive através do envio de um comando do computador para o analisador de espectro.

Para fins de medições realizadas em ambientes externos, como neste trabalho, é necessária a marcação de alguma referência de distância para posterior identificação dos trechos percorridos. A marcação pode ser feita através de um sistema de medição de distância acoplado ao veículo ou utilizando um equipamento de posicionamento por satélite, como um GPS.

A Figura 3.3 mostra a configuração básica para a montagem desta técnica de medição. Nota-se que a ligação do analisador de espectro com o microcomputador pode ser feita diretamente, ou através do conversor analógico-digital.

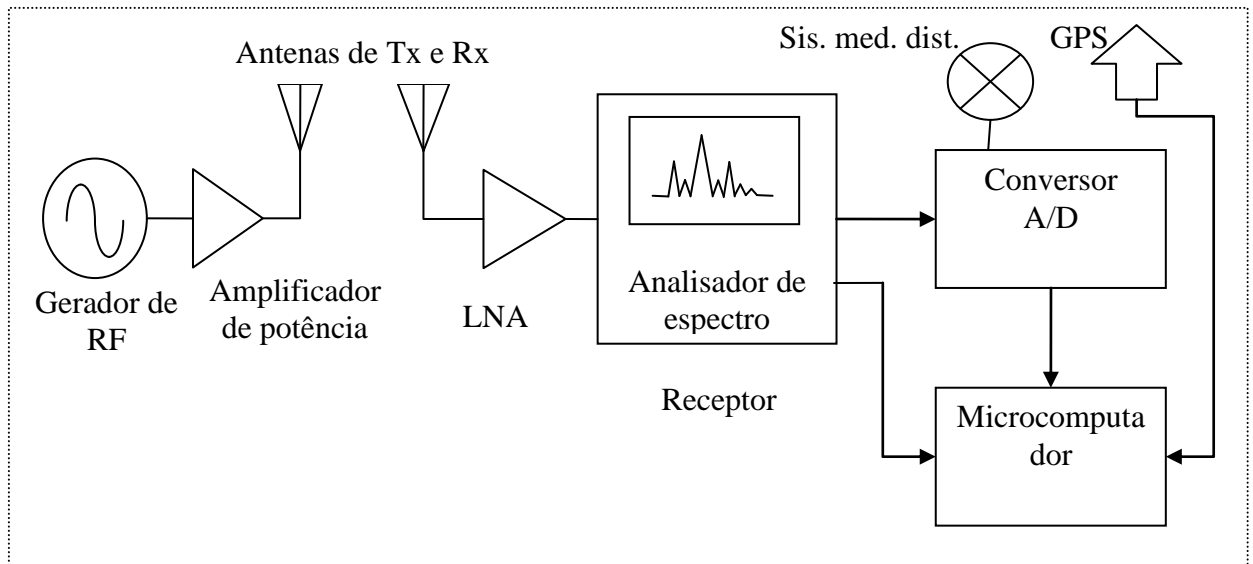


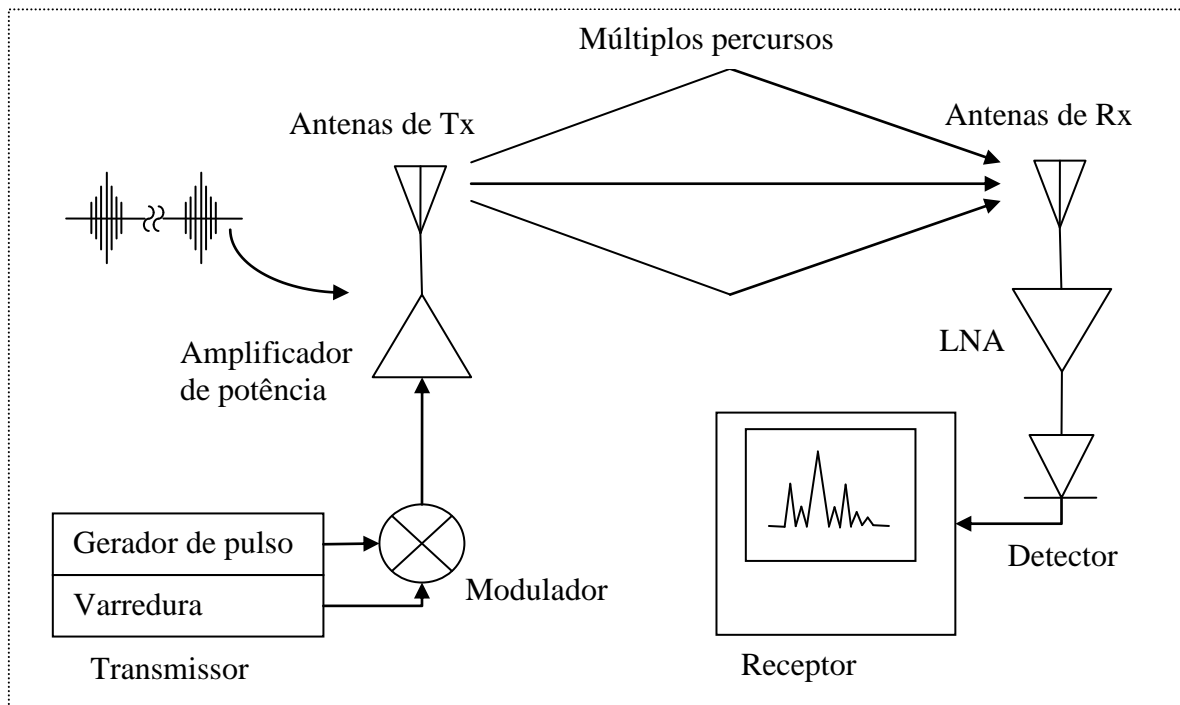
Figura 3.3 – Configuração para sondagem do canal em banda estreita (transmissão e recepção de duas portadora em trechos longos)

3.2 Sondagem do canal em banda larga

Nesta seção, serão apresentadas as principais técnicas de medição, no domínio da frequência, em banda larga, e a forma como podem ser realizadas, considerando os testes realizados com os equipamentos do laboratório.

3.2.1 Transmissão de um pulso de curta duração

Nesta técnica, um pulso de curta duração e elevada intensidade é transmitido, conforme mostra a Figura 3.4. Através da medição de sinais diretos e refletidos no ambiente é possível realizar a caracterização do canal.



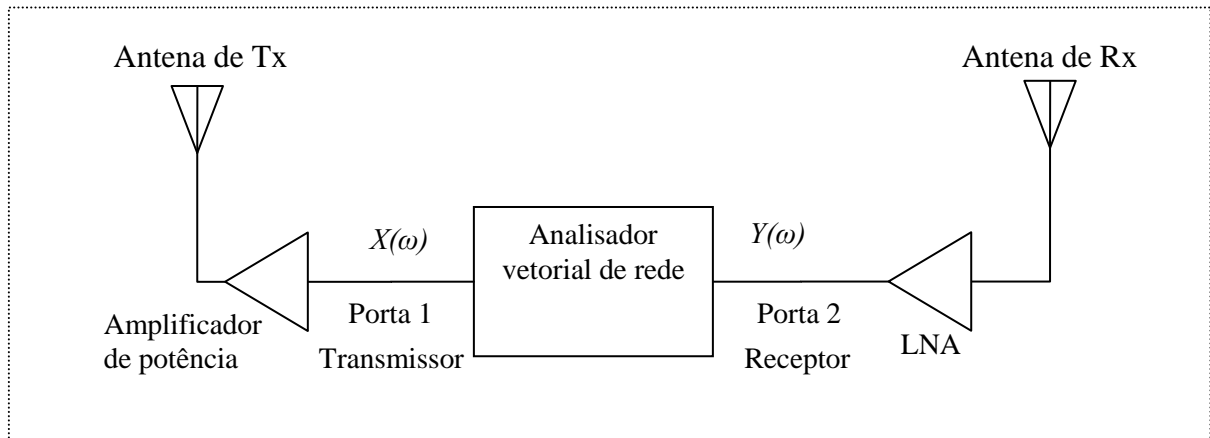
Fonte: Valenzuela [40]

Figura 3.4 – Sondagem do canal em banda larga: transmissão de um pulso de curta duração

A principal desvantagem na utilização desta técnica é a necessidade de elevada potência em curto período. Para a caracterização de ambientes internos, por exemplo, é necessária a geração de pulsos de largura de nano segundos e potência de dezenas de watts.

3.2.2 Transmissão e recepção de portadoras sincronizadas

Esta técnica é obtida com o uso de um analisador vetorial de rede com oscilador de frequência de varredura, conforme ilustra a Figura 3.5.



Fonte: Rappaport [16]

Figura 3.5 – Sondagem do canal em banda larga: transmissão e recepção de portadoras sincronizadas

Esta técnica permite a obtenção da resposta em magnitude e fase do canal. A desvantagem é a necessidade de uma ligação física, por cabo, entre o equipamento (analisador vetorial de rede) e as antenas, o que limita a distância de sondagem. Nesta técnica, deve ser dada atenção especial na calibração inicial e na marcação das posições no ambiente.

3.2.3 Transmissão de diversas portadoras simultaneamente

Esta configuração permite a verificação do comportamento de diversas portadoras simultaneamente. As portadoras ou subportadoras são criadas por um gerador de sinal arbitrário ou vetorial que as envia para um modulador IQ na frequência de transmissão e, em seguida, para um amplificador de potência e daí para a antena, conforme ilustra a Figura 3.6. A recepção pode ser feita por um conjunto formado por antena de recepção, LNA e analisador de espectro que funciona como receptor. Caso o analisador de espectro possua uma saída de FI, esta poderá ser ligada à entrada de um osciloscópio e o sinal recebido, ser armazenado e enviado para a memória do próprio osciloscópio ou para um computador conectado ao mesmo.

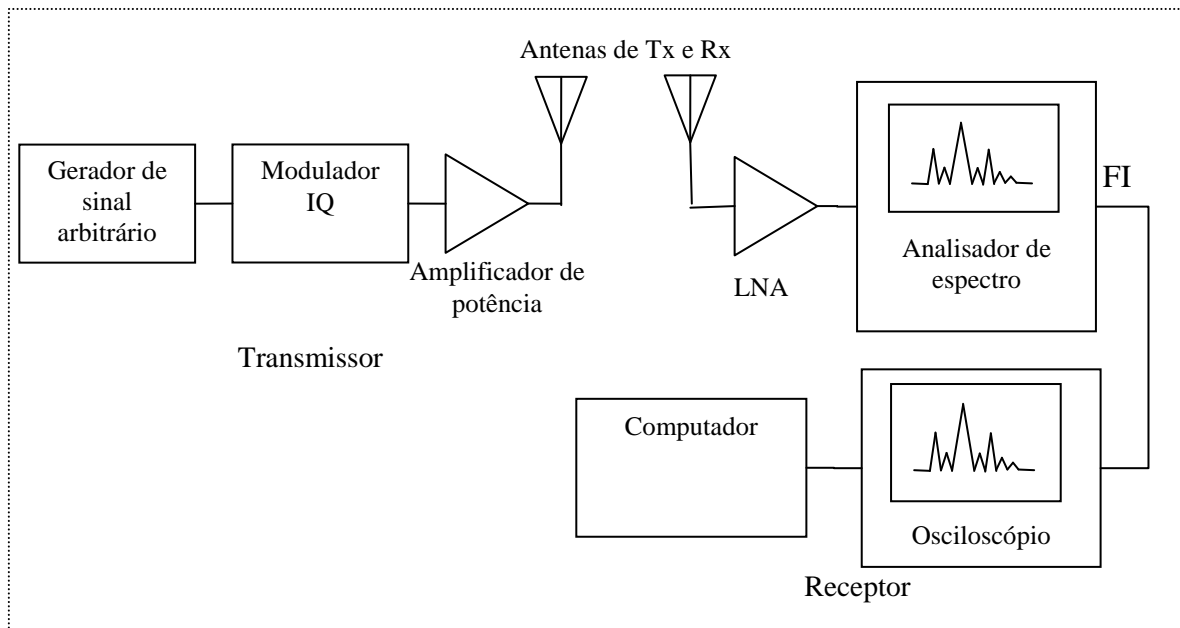


Figura 3.6 – Configuração para medição de várias portadoras (OFDM)

Outra possibilidade é a colocação do analisador de espectro em *span zero* ou *time domain* com uma largura de banda do filtro de resolução de vídeo na ordem de grandeza da faixa do sinal gerado. No analisador de espectro, então, aparecerá o sinal no domínio do tempo que poderá, então, ser armazenado para posterior processamento.

Um cuidado especial deve ser tomado para a taxa de amostragem do sinal, que deverá ser suficiente para a caracterização do desvanecimento rápido em conjunto com a velocidade da unidade móvel.

4 Sistema de medições

Neste capítulo será apresentada a configuração do sistema montado para a realização das medições em campo, assim como os equipamentos que compõem este sistema e as características e parâmetros relevantes para a realização dos testes.

4.1 Condiguração dos sistemas

A Figura 4.1 mostra a configuração do sistema montado para a realização das medições.

Na transmissão da portadora foi utilizado um VNA como gerador de sinais, que enviava o sinal gerado para um amplificador de potência e então para antena de transmissão onidirecional, com polarização vertical.

Na recepção, o sinal foi captado por uma antena também onidirecional com polarização vertical, e enviado para um amplificador de baixo ruído (LNA). Em seguida o sinal foi direcionado para um analisador de espectro responsável pela sintonia da portadora. Este analisador foi configurado em *span* zero e o sinal retirado na saída vídeo Y. Este sinal foi então amostrado por um módulo conversor analógico-digital que enviava o nível de tensão das amostras do sinal para um programa de controle escrito em MatLab no microcomputador portátil (*laptop*) através de uma conexão USB.

O sinal recebido também foi lido pelo analisador de espectro através de um comando enviado por outro programa de controle que retornava o valor instantâneo da medida efetuada diretamente em dBm. O *laptop* também fazia a leitura dos dados de posicionamento enviados pelo GPS para outro programa de controle.

Desta forma, foram gerados três tipos de arquivos de dados:

- um com as amostras da saída de vídeo Y do analisador de espectros e amostrado pelo módulo conversor analógico-digital (em volts);
- um com as medidas realizadas pelo analisador de espectro através de comando enviado pelo microcomputador portátil (em dBm);
- e um terceiro com as mensagens de posicionamento enviadas pelo GPS.

Todos os arquivos possuíam uma marcação de tempo de modo que fosse possível, no processamento posterior, correlacionar e unir os arquivos do nível de sinal medido como os de posicionamento, sincronizado-os no tempo e no espaço.

O GPS também foi configurado para armazenar a rota seguida de modo que estes dados também pudessem ser utilizados posteriormente bem como servir de arquivo de reserva com os dados do posicionamento.

A Figura 4.1 apresenta a configuração dos sistemas de transmissão e recepção acima descritos.

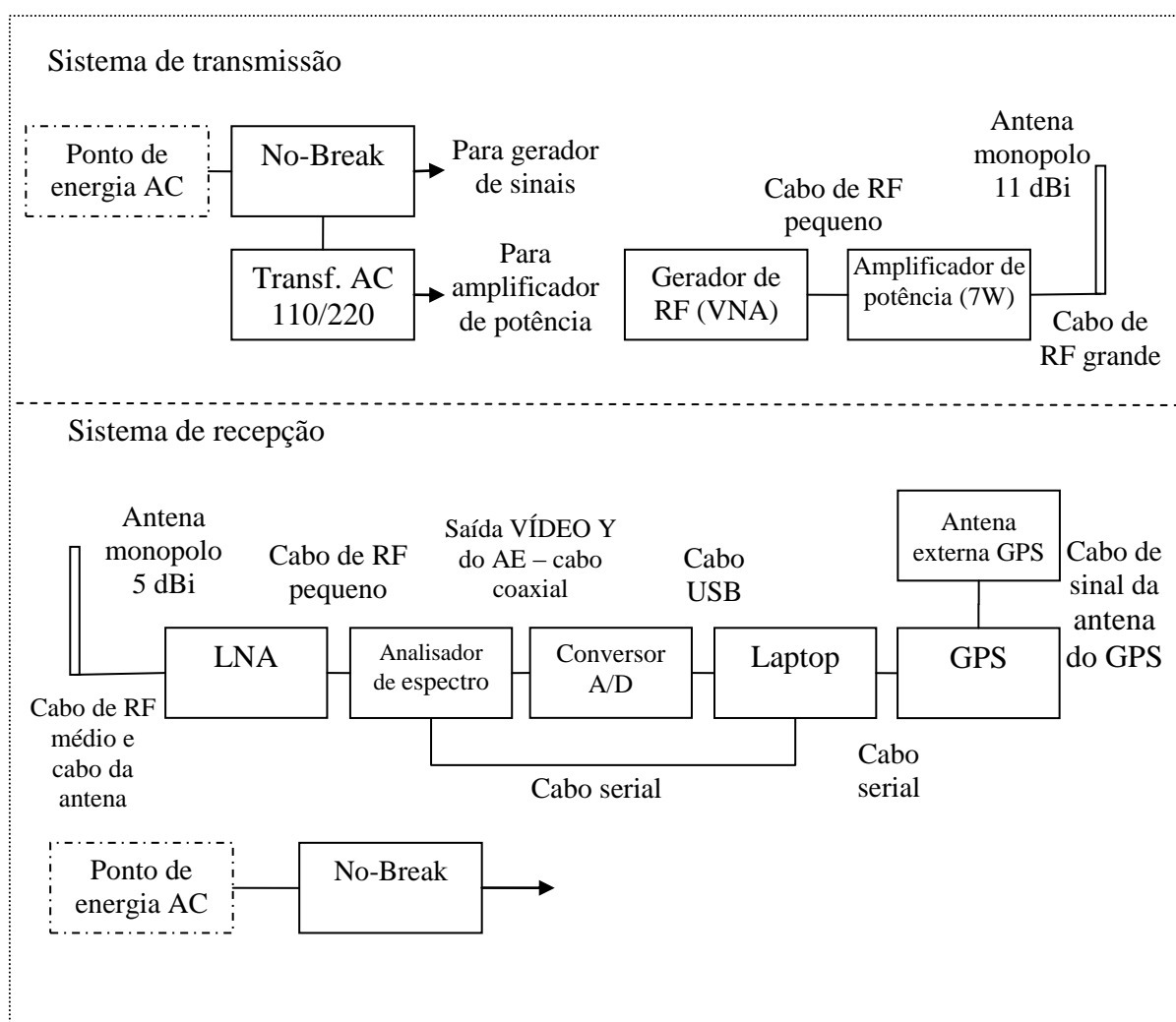


Figura 4.1 – Configuração dos sistemas de transmissão e recepção

A Tabela 4.1 mostra a relação dos equipamentos utilizados nas medições, indicando a quantidade utilizada, marca e modelo.

Tabela 4.1 – Equipamentos utilizados nas medições

Equipamento	Quantidade	Marca	Modelo
Analizador de espectro	1	Anritsu	MS2665c
VNA	1	Anritsu	MS2034a
Amplificador de potência	1	Milmega	AS0204-7B
GPS e antena externa	1	Garmin	GPS 12 GX
Microcomputador portátil (<i>laptop</i>)	1	Dell	Inspiron 1525
Módulo conversor analógico para digital	1	National Instruments	NI USB 6210
Antena de transmissão	1	Hiperlink	HG3511U-PRO
Antena de recepção	1	Hiperlink	HG3505RD-RSP
<i>No-Break</i>	1	SMS /NET Station	uST600BiFX RMS
<i>No-Break</i>	1	Ragtech / Micron II	MR2 700 NETU/BSTF
Suporte de antena	1	-	-
Mastro metálico	1	-	-
Régua de tomadas	1	-	-
Extensão de tomada elétrica	2	-	-
Cabos de RF grande	15 m	-	RGC 213
Cabos de RF médio	5 m	-	RGC 213
Cabos de RF pequeno	50 <i>cm</i>	-	RG 213
Cabos de dados RS 232	2	KT	HL 340
Transformador de tensão	1	-	110/220/110

A Figura 4.2 mostra alguns dos equipamentos utilizados nas medições. Nela podem ser visualizados o analisador de espectro (A), antena receptora (B), receptor de GPS com antena externa (C), *laptop* (D), suporte da antena (E), parte de conexão da antena transmissora (F) e gerador de sinais (VNA) (G).

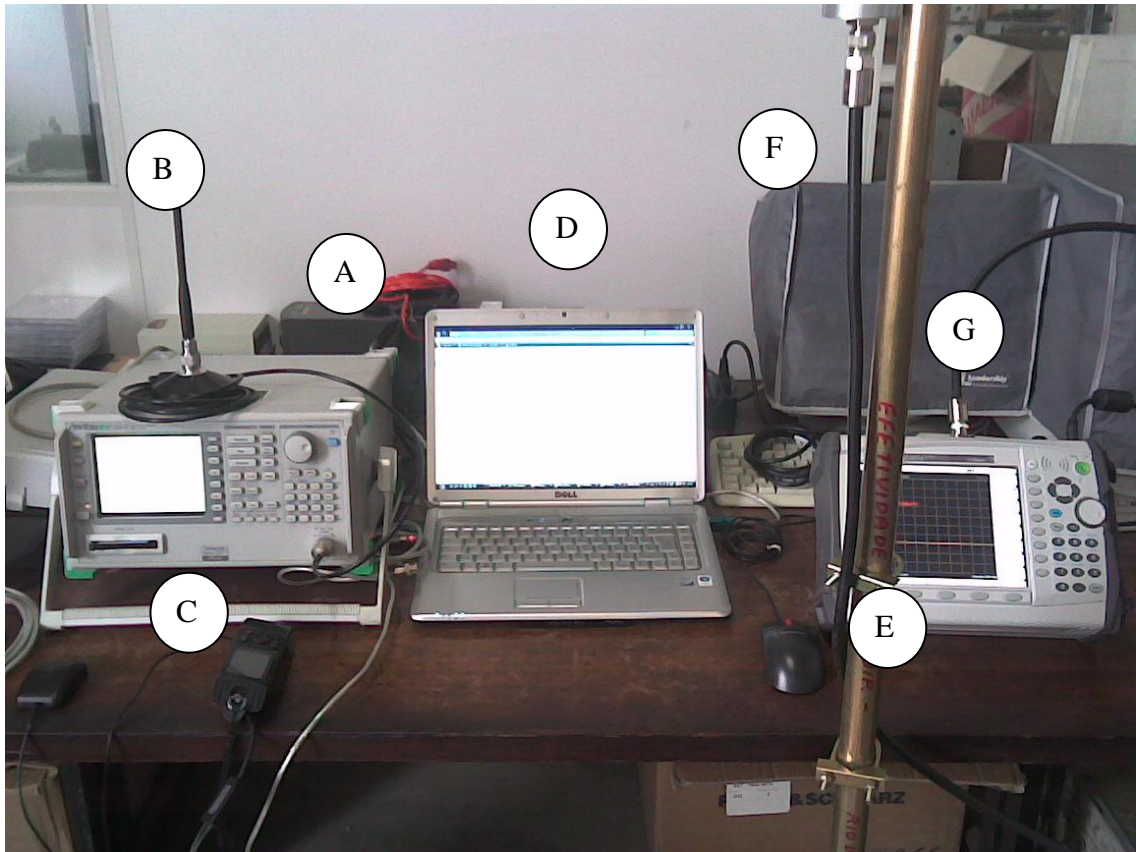


Figura 4.2 – Equipamentos utilizados nas medições

Em laboratório, foram realizadas medições das antenas e cabos. As medições realizadas na antena transmissora determinaram a frequência de transmissão dentro da faixa planejada para os testes, tendo em vista apresentar menor VSWR na faixa de interesse. Posteriormente, em campo, foi realizada uma varredura na faixa de interesse de modo a verificar possíveis transmissões que pudessem afetar as medições.

A Figura 4.4 apresenta os resultados das medidas da taxa de onda estacionária (VSWR) da antena transmissora.

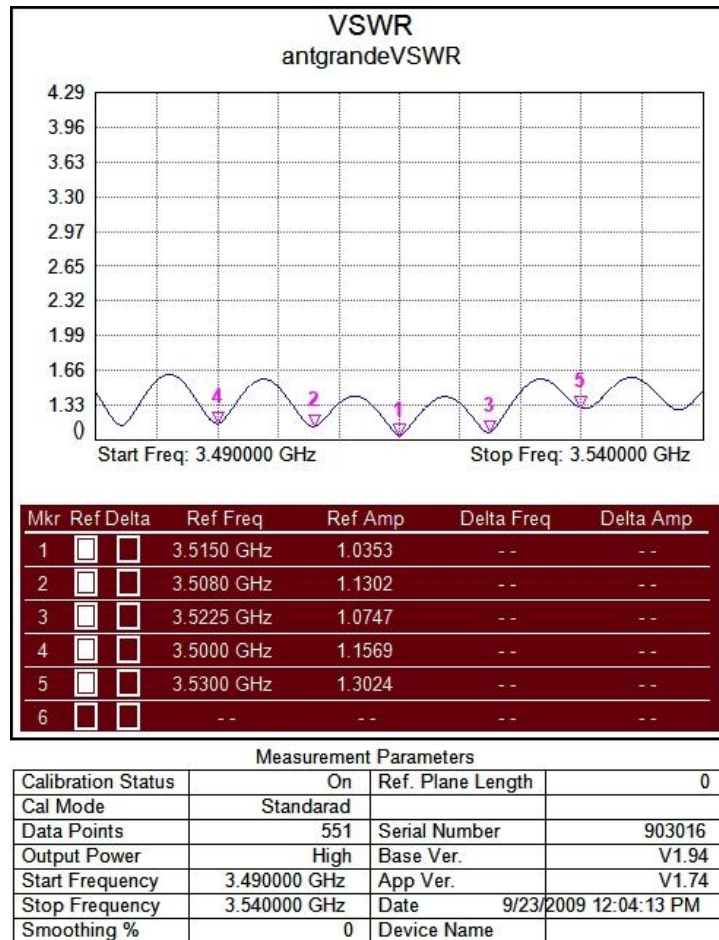


Figura 4.3 – VSWR da antena transmissora

A Figura 4.4 apresenta os diagramas de irradiação vertical e horizontal da antena transmissora, fornecidos pelo fabricante.

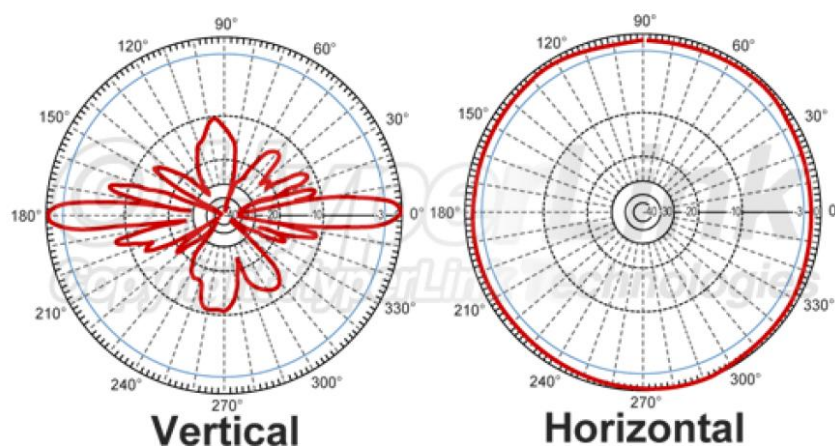


Figura 4.4 – Diagramas de irradiação da antena transmissora

A Figura 4.5 apresenta a medida da taxa de onda estacionária da antena de recepção. Esta medida inclui o cabo de interligação acoplado na base magnética de suporte da antena.

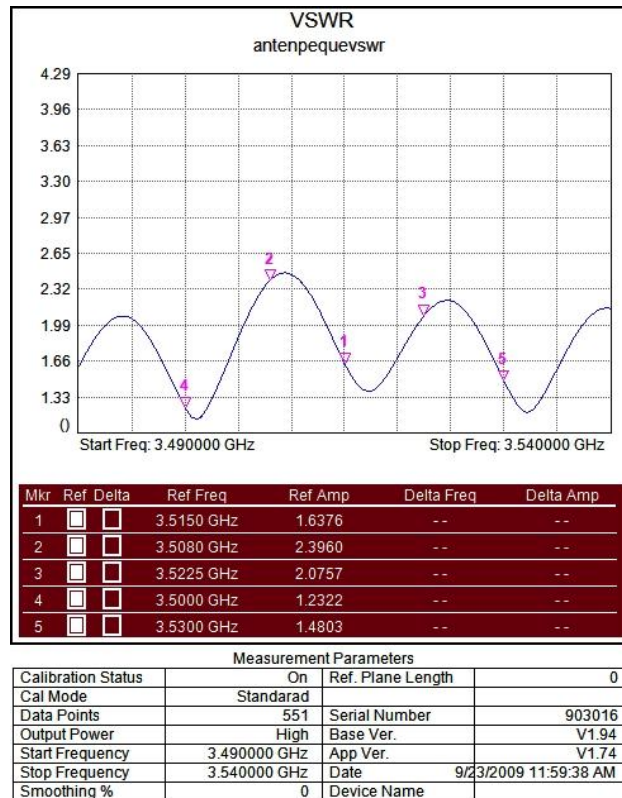


Figura 4.5 – VSWR da antena receptora

A Figura 4.6 apresenta os diagramas de irradiação vertical e horizontal da antena receptora, fornecidos pelo fabricante.

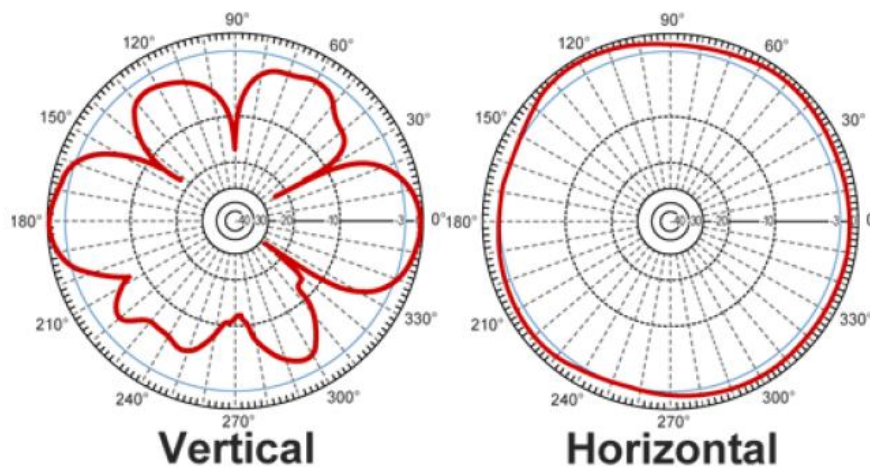


Figura 4.6 – Diagrama de irradiação da antena receptora

O módulo conversor analógico-digital está mostrado na Figura 4.7. Este módulo foi conectado ao computador portátil através de um cabo USB para transferência dos dados lidos. A alimentação do módulo é feita pela própria conexão USB. Um cabo de conexão foi montado para permitir a interligação dos pinos do módulo com a saída de vídeo Y do analisador de espectro.

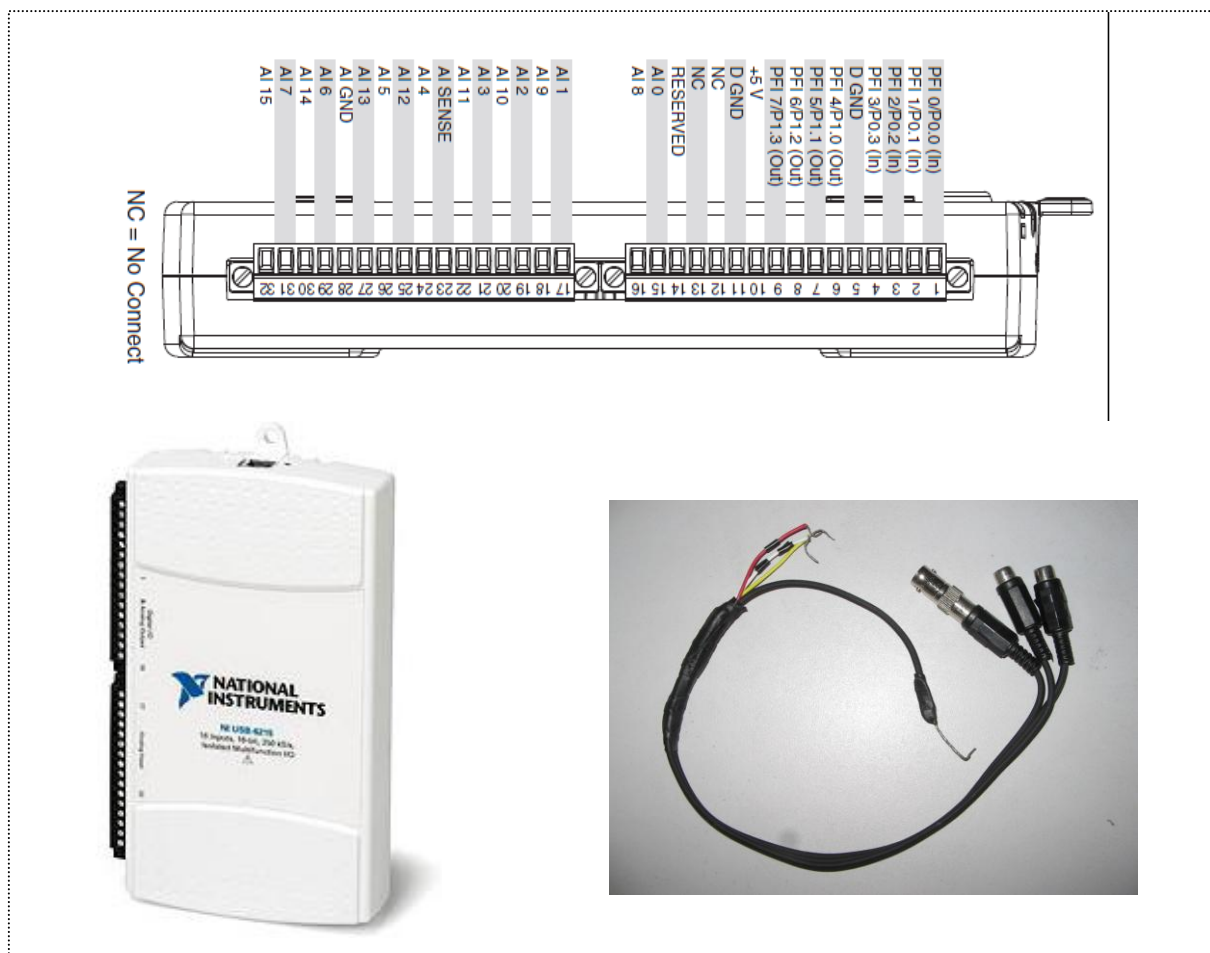


Figura 4.7 – Módulo conversor A/D, designação da pinagem e cabo de interligação

Um amplificador de baixo ruído foi montado com dois módulos de amplificação da Minicircuits, um para a faixa de 3,5 GHz (ZX60-362GLN+) e outro para a faixa de 2,4 GHz (ZX60-272LN). Para faixa de 3,5 GHz, foi adicionado filtro passa baixa (VBFZ-3590+). O módulo foi montado com interligação externa para conectores tipo N, para a faixa de 3,5 GHz e na faixa de 2,4 GHz, foi utilizado conector tipo N para saída e BNC para entrada. O amplificador de baixo ruído foi alimentado por uma fonte de 5 Vcc, sendo incluída chave liga-desliga e LED indicador de operação. O ganho medido na faixa de 3,5 GHz foi de 15 dB. O amplificador de baixo ruído está mostrado na Figura 4.8, junto com a fonte de alimentação e os módulos internos.

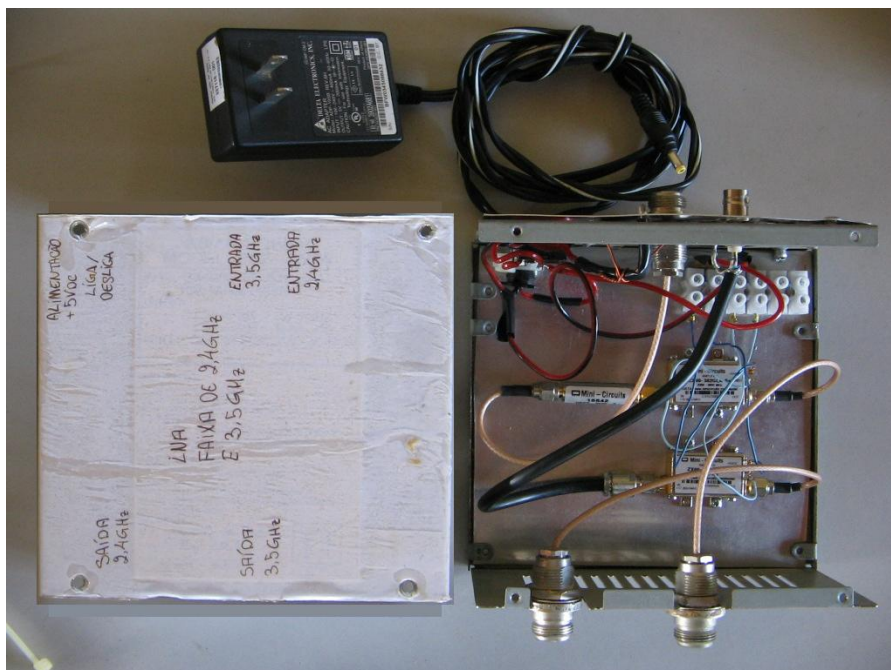


Figura 4.8 – Módulo amplificador de baixo ruído com fonte de alimentação

A Figura 4.9 mostra o receptor GPS utilizado para a marcação do posicionamento. Nelas pode ser visto o receptor, a antena externa e os acessórios, além do cabo serial para transferência das mensagens de posicionamento. Cabe observar que foi utilizado um cabo com interface serial para USB de modo que fosse possível a interligação com o microcomputador portátil.



Figura 4.9 – GPS com cabo de dados, de alimentação e antena externa

4.2 Ajustes e configuração dos equipamentos

4.2.1 Curva de ajuste do analisador de espectro

A saída de vídeo Y do analisador de espectro apresenta uma tensão em volts, que corresponde à envoltória do nível de sinal recebido, medido em dBm. Em testes de laboratório, foi verificado que a relação entre a tensão em volts e o nível real do sinal, em dBm, não é linear embora esta relação seja sugerida no manual do equipamento. Também foi verificado que esta relação possui ligeira variação com a frequência medida e que os limites de tensão fornecida não correspondem aos especificados no manual.

A Figura 4.10 apresenta o painel traseiro do equipamento utilizado. Nele, podem ser identificados: a saída de vídeo Y, que apresenta um valor de tensão proporcional ao nível do sinal medido, e na qual foi interligado o módulo conversor analógico para digital; e a saída da interface serial RS-232c, utilizada para comunicação com o microcomputador portátil. Estas duas interfaces estão mostradas ampliadas na Figura 4.11.

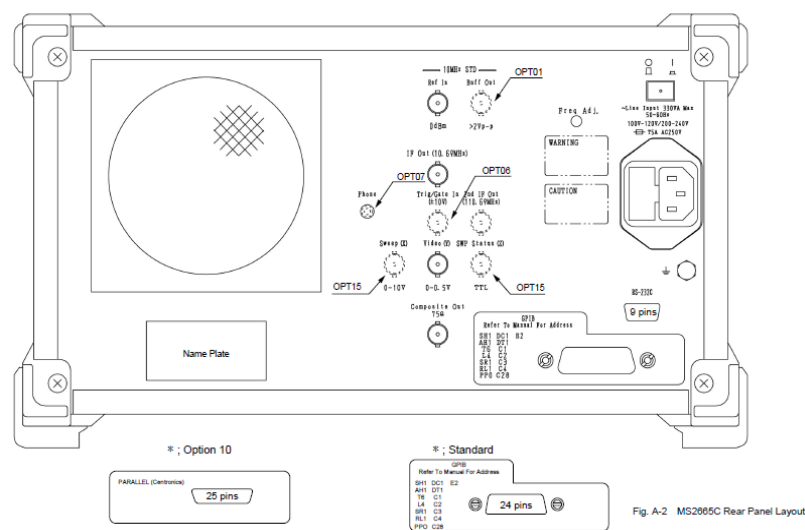


Figura 4.10 – Painel traseiro do analisador de espectro



Figura 4.11 – Detalhe das saídas de vídeo Y e interface RS-232c

Para encontrar os valores corretos e realizar o melhor ajuste entre os valores medidos à saída de vídeo Y, com os valores correspondentes em dBm, foram feitas medições do nível do sinal, utilizando um voltímetro digital e o módulo conversor A/D. A tabela 4.2 apresenta os valores medidos:

Tabela 4.2 – Nível do sinal na saída de vídeo Y

Freq.:	Nível do sinal na saída de vídeo Y (mV)			
3000 MHz				
Nível do sinal de teste (dBm)	Voltímetro	Placa AD		Curva de ajuste
	Sem carga (Vcc)	Conectada	Diferença em relação à medida sem carga	
0,00	952,00	951,00	-1,00	-1,20
-5,00	911,00	910,00	-1,00	-4,65
-10,00	861,00	859,00	-2,00	-9,09
-15,00	801,00	800,00	-1,00	-14,46
-20,00	743,00	742,00	-1,00	-20,00
-25,00	690,00	689,00	-1,00	-25,32
-30,00	642,00	640,00	-2,00	-30,49
-35,00	594,00	593,00	-1,00	-35,70
-40,00	555,00	554,00	-1,00	-40,23
-45,00	518,00	518,00	0,00	-44,62
-50,00	476,00	480,00	4,00	-49,47
-55,00	439,00	444,00	5,00	-54,31
-60,00	399,00	408,00	9,00	-59,42
-65,00	361,00	370,00	9,00	-65,15
-70,00	324,00	333,00	9,00	-71,12
-75,00	292,00	299,00	7,00	-77,02
-80,00	275,00	279,00	4,00	-80,70
-85,00	267,00	270,00	3,00	-82,41

A partir dos dados medidos, foi calculada uma curva de melhor ajuste e desenhado um gráfico, com os respectivos intervalos de confiança. Com a equação da curva calculada, os níveis de tensão das amostras obtidas foram convertidos para dBm, conforme mostra a Figura 4.12.

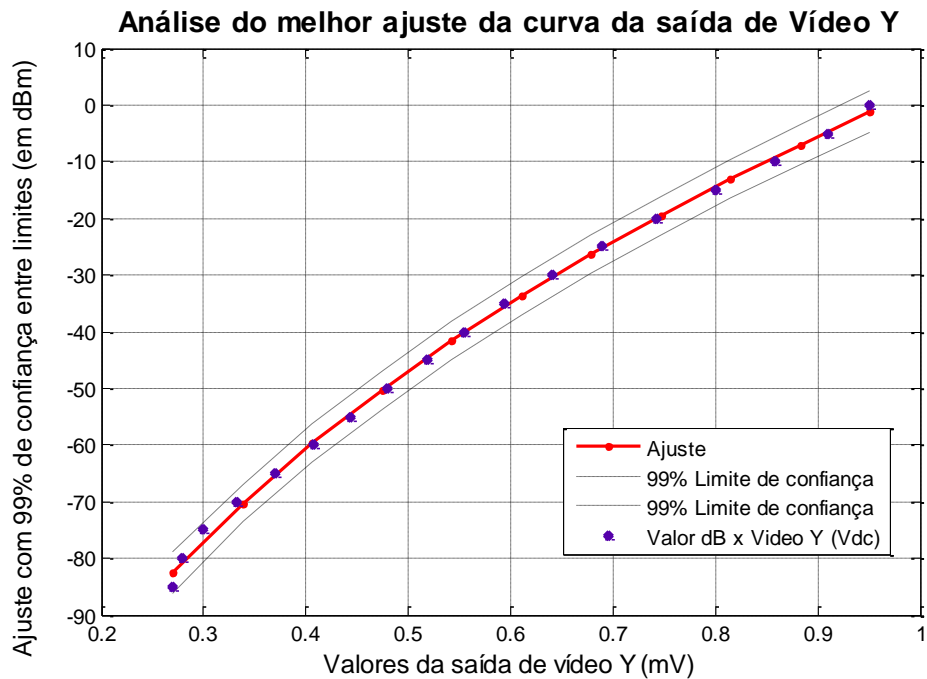


Figura 4.12 – Curva de melhor ajuste do nível do sinal na saída de vídeo Y (mV)

A curva de ajuste foi obtida através de ajuste por uma curva quadrática do tipo:

$$f(x) = ax^b + c \quad (4.1)$$

A partir dos dados da tabela anterior, foram calculados os coeficientes com os respectivos intervalos com 99% de confiança, obtendo-se os seguintes limites:

- $a = 241,7$ (173,1;310,4);
- $b = 0,332$ (0,2126;0,4513);
- $c = -238,9$ (-308,7;-169,1).

A equação final de conversão ficou:

$$ndBm = 241,7 \times (volts)^{0,332} - 238,9 \quad (4.2)$$

onde:

- $ndBm$: é o nível do sinal convertido em dBm;
- $volts$: é o valor da tensão lida pelo módulo A/D, na saída de vídeo Y, e transferida para o programa.

4.2.2 Características do equipamento de posicionamento global

O equipamento de leitura de sinais do sistema de posicionamento global (*Global positioning system – GPS*) foi utilizado de modo a permitir a obtenção da posição e marcação da hora. O equipamento utilizado permite ser configurado para envio de mensagem NMEA (*National Marine Electronics Association*), com dados de posicionamento. Cada mensagem NMAE, composta de caracteres (*strings*), é especificada por este protocolo, conforme está mostrado na Tabela 4.3, para a utilização em receptores GPS.

Tabela 4.3 – Sentenças do protocolo NMEA

Sentença NMEA	Descrição
AAM	<i>Waypoint Arrival Alarm</i>
ALM	<i>Almanac data</i>
APA	<i>Auto Pilot A sentence</i>
APB	<i>Auto Pilot B sentence</i>
BOD	<i>Bearing Origin to Destination</i>
BWC	<i>Bearing using Great Circle route</i>
DTM	<i>Datum being used</i>
GGA	<i>Fix information</i>
GLL	<i>Lat/Lon data</i>
GRS	<i>GPS Range Residuals</i>
GSA	<i>Overall Satellite data</i>
GST	<i>GPS Pseudo range Noise Statistics</i>
GSV	<i>Detailed Satellite data</i>
MSK	<i>Send control for a beacon receiver</i>
MSS	<i>Beacon receiver status information</i>
RMA	<i>Recommended Loran data</i>
RMB	<i>Recommended navigation data for GPS</i>
RMC	<i>Recommended minimum data for GPS</i>
RTE	<i>Route message</i>
TRF	<i>Transit Fix Data</i>
STN	<i>Multiple Data ID</i>
VBW	<i>Dual Ground / Water Sped</i>
VTG	<i>Vector track an Speed over the Ground</i>
WCV	<i>Waypoint closure velocity (Velocity Made Good)</i>
WPL	<i>Waypoint Location information</i>
XTC	<i>Cross track error</i>
XTE	<i>Measured cross track error</i>
ZTG	<i>Zulu (UTC) time and time to go (to destination)</i>
ZDA	<i>Date and Time</i>
HCHDG	<i>Compass output</i>
PSLIB	<i>Remote Control for a DGPS receiver</i>

Nos equipamentos receptores, as mensagens são precedidas por: \$GP, seguida da sentença NMEA.

A seguir, é mostrado um exemplo de mensagem obtida na saída do equipamento GPS utilizado:

\$GPGGA,111457,2223.100,S,04146.142,W,1,06,2.4,12.5,M,-5.8,M,,*6C

A Tabela 4.4 apresenta o significado de cada parâmetro da mensagem do exemplo.

Tabela 4.4 – Parâmetros do protocolo NMEA utilizados

Parâmetro	Significado
GGA	Dados do sistema de posicionamento Global – fixo
111457	Hora UTC tomada às 11h14min57s
2223.100,S	Latitude: 22 graus 23,100; hemisfério sul
04146.142,W	Longitude: 041 graus 46,142; hemisfério Oeste (<i>west</i>)
1 fixo qualidade:	0 = inválido
	1 = GPS fixo (SPS)
	2 = DGPS fixo
	3 = PPS fixo
	4 = Tempo real cinemático
	5 = RTK flutuante
	6 = Estimado (<i>dead reckoning</i>) (2.3 feature)
	7 = Modo de entrada manual
	8 = Modo de simulação
06	Número de satélites em acompanhamento
2.4	Diluição horizontal da posição
12.5,M	Altitude, Metros, Acima do nível do mar
-5.8,M	Altura do eóide (em relação ao nível médio do mar) acima do elipsoide WGS84
(empty field)	tempo em segundos desde a última atualização DGPS
(empty field)	Número de identificação da estação DGPS
*6C	Soma de verificação dos dados, sempre começa com *

4.3 Determinação da frequência de amostragem, janela de filtragem e intervalo de confiança

Para a determinação da frequência de amostragem, foram realizadas análises com valores de comprimento da pequena área variando entre 20λ e 40λ . Com 40λ não houve uma boa separação do desvanecimento rápido. A separação mais adequada ocorreu em torno de 20λ . Também foi levada em consideração a velocidade da embarcação que, embora aproximadamente constante dentro da pequena área, apresentou variações no trecho

analisado, mas não ultrapassando 20 km/h (5,56 m/s). Esta velocidade máxima foi, então, utilizada como critério para obtenção da menor quantidade de amostras requeridas e da janela ou comprimento de pequena área. Assim, para um comprimento de 20λ , temos:

$$L = 20\lambda = 1,70697m$$

O que corresponde a:

$$2k + 1 = f_a \cdot L / v = 800 \cdot 1,70697 / 5,56 = 245,61 \text{ amostras}$$

como:

$$\lambda = 0,08535m$$

então, para a quantidade de amostras calculada, tem-se:

$$245,61 \cdot 0,08535 = 20,96\lambda$$

E o comprimento da pequena área, para a velocidade máxima, será igual a:

$$L = 1,7891m$$

A Tabela 4.5 resume os valores utilizados para a frequência de amostragem e a janela para filtragem de separação entre o desvanecimento lento e rápido.

Tabela 4.5 – Parâmetros para a amostragem calculados

Parâmetro	Valor
Frequência do sinal (MHz)	3.515
Comprimento de onda (m)	0,08535
Frequência de amostragem (Hz)	800
Comprimento da pequena área (m)	1,7891
Número de amostras (mínimo)	245
Velocidade média (m/s) – (km/h)	5,0 – 18

A amostragem foi feita a uma taxa de 4.000 amostras por segundo ajustada, através de comando enviado do programa de controle para o módulo conversor A/D. Este valor elevado

permite ajuste para a frequência de amostragem, calculada por meio da eliminação de amostras, de modo a termos amostras representativas do sinal e, ao mesmo tempo, possibilitando avaliar o descorrelacionamento. A eliminação de amostras pode ser feita suprimindo uma amostra a cada duas, o que diminui a frequência de amostragem em duas vezes; duas a cada três, o que diminui a taxa em três vezes, e assim por diante. No presente trabalho, foi adotada a eliminação de quatro amostras a cada cinco, o que torna a frequência de amostragem igual a 800 amostras por segundo, após comparação dos dados originais medidos, e convertidos para dBm, amostrados a uma taxa de 4.000 amostras por segundo. Os gráficos das Figura 4.13 e Figura 4.14 mostram que não há perda significativa em termos de desvanecimento profundo:

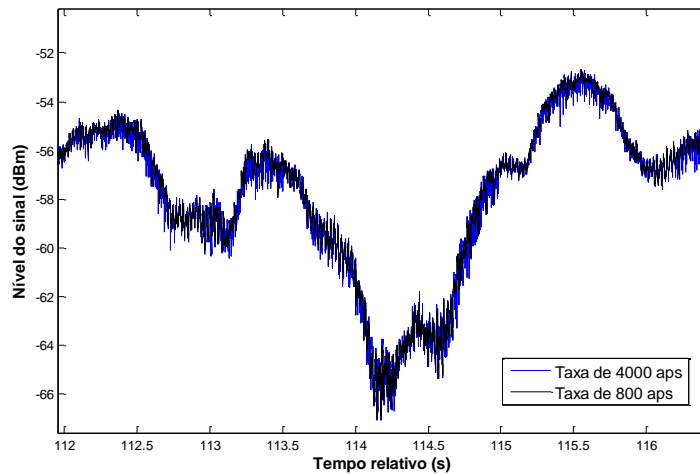


Figura 4.13 – Comparação entre taxas de amostragem para desvanecimento profundo

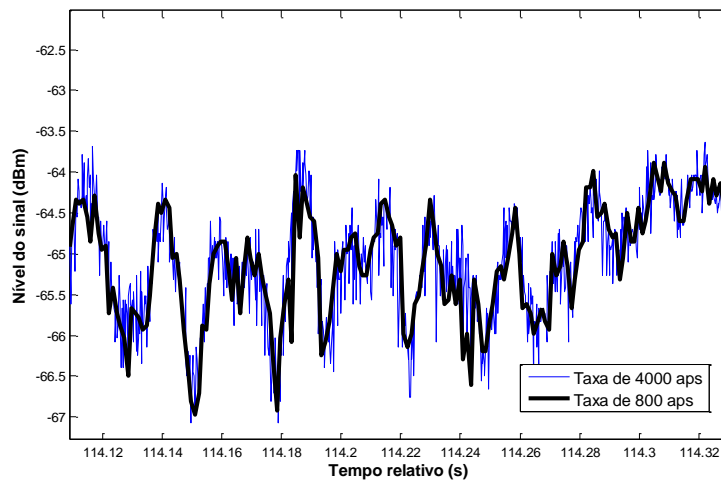


Figura 4.14 – Comparação entre taxas de amostragem para desvanecimento profundo (detalhe do sinal)

A estimativa da média do sinal na pequena área foi calculada utilizando os seguintes parâmetros:

- Número de amostras: 245;
- intervalo de confiança ou precisão: menor que $\pm 0,7$ dB;
- confiabilidade: 95%;
- desvio padrão: 5,57 dB (considerando uma envoltória com distribuição Rayleigh).

O gráfico da Figura 4.15 mostra a posição do número de amostras em função do intervalo de confiança.

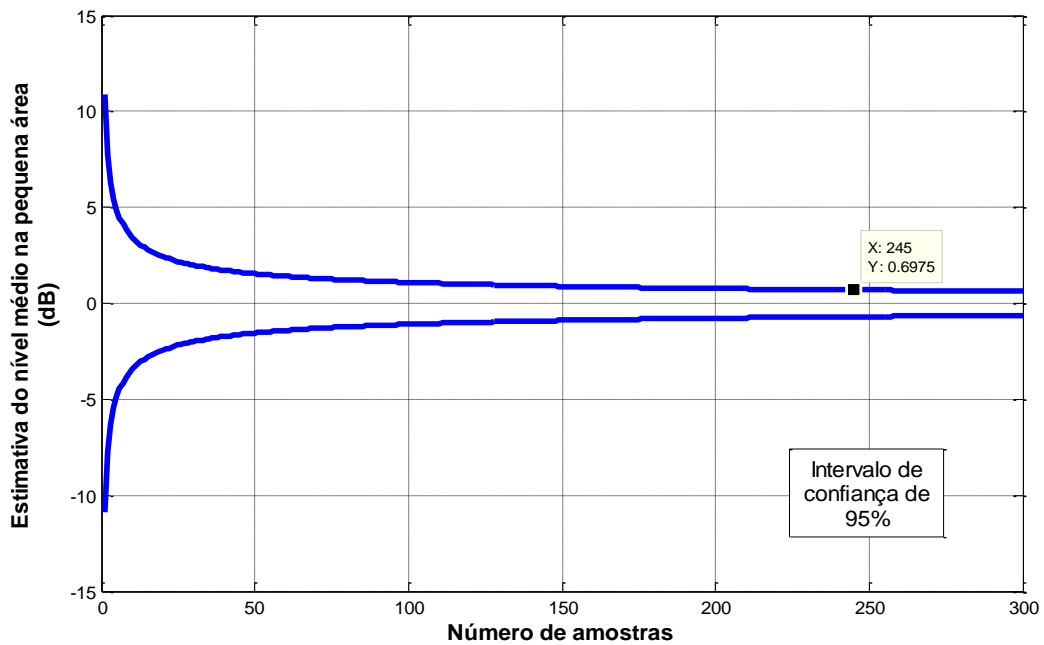


Figura 4.15 – Estimativa do nível do sinal pelo número de amostras

5 Realização das medidas no canal marítimo

5.1 Características do ambiente e relação com a propagação

O ambiente marítimo estudado situa-se próximo ao litoral norte do estado do Rio de Janeiro, no município de Macaé. Esta região marítima destaca-se por ser uma importante base de operações para embarcações que operam na área petrolífera da Bacia de Campos. Diferentemente do que acontece em terra firme, a superfície do mar pode se alterar frequentemente, apresentando ondulações que são de grande interesse para a avaliação das condições de propagação, uma vez que pode alterar a rugosidade da superfície refletora para onda eletromagnética e, conseqüentemente, o nível do sinal recebido.

Outro aspecto importante, na propagação sobre o mar, é a variação na refratividade da atmosfera acima da superfície, devido à variação da temperatura, pressão atmosférica e pressão do vapor de água, podendo causar dutos que aprisionam o sinal [37].

Uma vez que medidas do nível do sinal sejam feitas, é possível compará-las com modelos de predição de propagação existentes, de modo a verificar sua validade e melhor adequá-los ao ambiente estudado. Esta estimativa do nível do sinal recebido pode ser relacionada com as condições do mar e, assim, se estabelecer um parâmetro de correção e predição em função das mesmas.

5.1.1 Condições do mar

A experiência dos navegadores indicou que havia uma relação da velocidade do vento com a altura das ondas. Uma das primeiras escalas utilizadas para estimar a velocidade dos ventos, e seus efeitos, foi criada pelo Almirante Britânico Sir Francis Beaufort, em 1805, para ajudar os navegantes a estimar a velocidade dos ventos e a altura das ondas do mar através de observação visual [38]. A escala Beaufort de força do vento criada é uma medida empírica, baseada em condições observadas do mar. Dada uma condição observada do mar e a escala de vento Beaufort, é possível determinar a velocidade do vento através da seguinte fórmula empírica: $v = 0,836 B^{3/2}$ m/s.

onde:

- v : é a velocidade média do vento a uma altura de 10 m da superfície;
- B : é o número da escala de vento Beaufort, obtido da observação das condições do mar.

A Tabela 5.1 apresenta a escala Beaufort e sua relação com a descrição das condições do mar, velocidade do vento e altura das ondas.

Tabela 5.1 – Escala Beaufort

Escala de vento Beaufort	Descrição do vento	Velocidade média do vento (m/s)	Limites da velocidade do vento (m/s)	Altura provável das ondas (m)	Altura máxima provável das ondas (m)	Descrição das condições do mar
0	Calmo	0	0–0,2	-	-	Espelhado.
1	Aragem	0,8	0,3–1,5	0,1	0,1	Mar encrespado com pequenas rugas, com a aparência de escamas.
2	Brisa leve	2,4	1,6–3,3	0,2	0,3	Ligeiras ondulações de 30 cm (1 pé), com cristas, mas sem arrebentação.
3	Brisa fraca	4,3	3,4–5,4	0,6	1,0	Grandes ondulações de 60 cm com princípio de arrebentação. Alguns “carneiros”.
4	Brisa moderada	6,7	5,5–7,9	1,0	1,5	Pequenas vagas, mais longas de 1,5 m, com frequentes “carneiros”.
5	Brisa forte	9,3	8,0–10,7	2,0	2,5	Vagas moderadas de forma longa e uns 2,4 m. Muitos “carneiros”. Possibilidade de alguns borrifos.
6	Vento fresco	12,3	10,8–13,8	3,0	4,0	Grandes vagas de até 3,6 m. Muitas cristas brancas. Probabilidade de borrifos.
7	Vento forte	15,5	13,9–17,1	4,0	5,5	Mar grosso. Vagas de até 4,8 m de altura. Espuma branca de arrebentação; o vento arranca laivos de espuma.
8	Ventania	18,9	17,2–20,7	5,5	7,5	Vagalhões regulares de 6 a 7,5 m de altura. Faixas com espuma branca e fraca arrebentação.
9	Ventania forte	22,6	20,8–24,4	7,0	10,0	Vagalhões de 7,5 m com faixas de espuma densa. O mar rola. O borrifo começa afetar a visibilidade.
10	Tempesta de	26,4	24,5–28,4	9,0	12,5	Grandes vagalhões de 9 a 12 m. O vento arranca as faixas de espuma; a superfície do mar fica toda branca. A visibilidade é afetada.
11	Tempesta de violenta	30,5	28,5–32,6	11,5	16,0	vagalhões excepcionalmente grandes, de até 13,5 m. a visibilidade é muito afetada. Navios de tamanho médio somem no cavado das ondas.
12	Furacão	-	32,7+	14+	-	Mar todo de espuma. Espuma e respingos saturam o ar. A visibilidade é seriamente afetada.

Fonte: <http://www.metoffice.gov.uk/weather/marine/guide/beaufortscale.html>

Pode-se intuir que, a partir das condições do mar, é possível determinar a rugosidade de sua superfície e, assim, determinar o “grau” de espalhamento do sinal e o nível do sinal que chega ao receptor.

No dia de realização dos testes (12 de dezembro de 2009, de 08:00 h a 12:00h), a escala Beaufort que melhor representou as condições do vento foi a de número 2 (brisa leve e altura média das ondas de 0,3 metros), obtida a partir da observação de ligeiras ondulações com cristas e sem arrebentação, conforme mostra a Figura 5.1.



Figura 5.1 – Condições do mar no local dos testes (12 de dezembro de 2009, de 08:00 h a 12:00h)

A escala Beaufort, obtida das observações do mar, pôde ser aferida a partir de dados obtidos da estação meteorológica, localizada no porto de Imbetiba, Macaé, nas horas de realização dos testes, conforme apresentado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Dados da estação meteorológica do porto de Imbetiba

Data	Hora (UTC)	Vento intensidade (m/s)	Vento direção (graus)	Umidade relativa (%)	Temperatura do ar (°C)	Pressão atmosférica (hPa)
12/12/2009	08:00:00	3,21	71,9	91,19	25,28	1010,39
12/12/2009	09:00:00	4,09	82,4	91,07	25,29	1010,32
12/12/2009	10:00:00	3,36	75,7	87,27	26,35	1010,5
12/12/2009	11:00:00	2,65	91,6	83,57	27,31	1010,21
12/12/2009	12:00:00	3,1	104	76,43	28,81	1009,58

Pode ser observado, na Tabela 5.2, que intensidade média do vento é de 3,3 m/s correspondendo, segundo a Tabela 5.1 ao limite superior da velocidade do vento na escala Beaufort 2, concordando com as condições observadas do mar.

5.2 Planejamento das medições

O planejamento das medições foi realizado de modo fosse possível a obtenção de dados radiais e azimutais em diferentes rotas e situações de relevância no ambiente marítimo, tendo como trechos de interesse:

- regiões de visada direta;
- obstrução por navio de pequeno, médio e grande porte;
- obstrução por plataforma marítima;
- obstrução por ilha, pontas e penínsulas.

A figura 5.2 mostra o modelo utilizado para a realização do experimento. O sistema de transmissão foi instalado no morro do Engenheiro, localizado na Base Carlos Walter Marinho Campos da Petrobras, no bairro de Imbetiba, na cidade de Macaé, estado do Rio de Janeiro. O sistema de recepção foi instalado em uma embarcação a serviço da Petrobras (Propriá I).

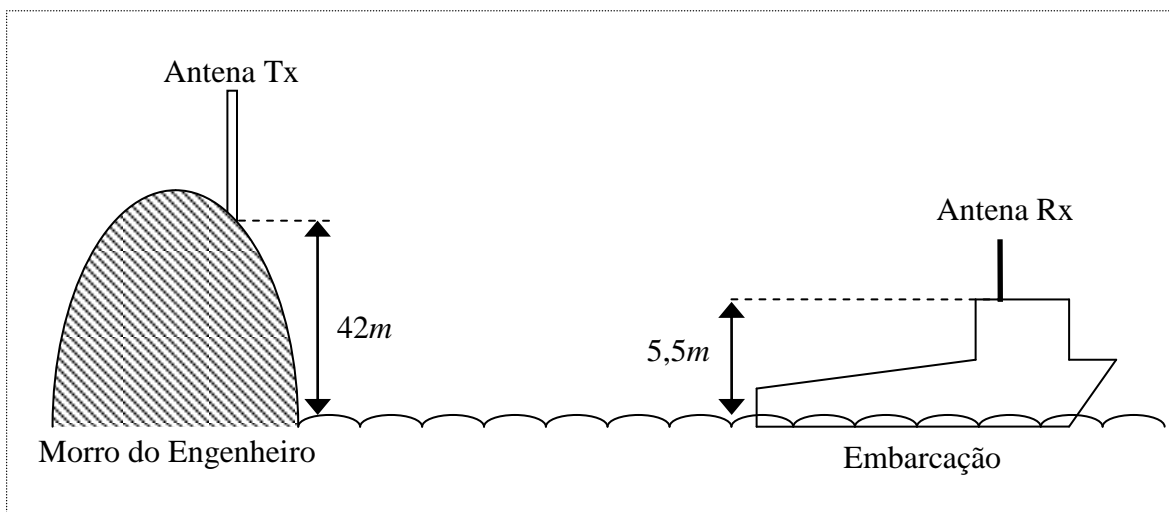


Figura 5.2 – Modelo para realização das medidas

5.3 Sistemas de Transmissão e Recepção e ambiente marítimo

O ambiente marítimo, onde foram realizadas as medições, foi escolhido em função da sua posição estratégica para comunicação com embarcações e disponibilidade de infraestrutura para instalação do transmissor.

Os dados do sistema montado em Macaé estão apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Valores dos parâmetros do sistema montado em Macaé

Parâmetro	Valor
Latitude da antena Tx	22° 23' 17,04" S
Longitude da antena Tx	41° 46' 8,00" O
Potência de transmissão	38,45 dBm / 7 W
Frequência de transmissão	3515 MHz
Ganho da antena de transmissão	11 dBi
Altura da antena de transmissão	42 m
Perda dos cabos de transmissão	4 dB
Ganho da antena de recepção	5 dBi
Perda dos cabos de recepção	3 dB
Ganho do LNA	15 dB
Altura da antena de recepção	5,5 m
Nível de ruído sinal, dado pelo nível mínimo do analisador de espectros	- 85 dBm

A Figura 5.3 mostra o local de instalação do transmissor, onde foram colocados o gerador de sinais, amplificador de potência e antena transmissora. Ao fundo, é possível ter uma visão parcial do ambiente de estudo.



Figura 5.3 – Local do transmissor com gerador, amplificador de potência e antena

A Figura 5.4 mostra detalhe da posição da antena de recepção (monopolo vertical) e da antena do receptor de GPS, instalados na embarcação.



Figura 5.4 – Antenas do sistema recepção (monopolo vertical) e do GPS

A Figura 5.5 mostra a embarcação Propriá I, utilizada para a navegação no ambiente escolhido para realização das medições.



Figura 5.5 – Embarcação Propriá I utilizada para as medições

Na Figura 5.6 é possível identificar os equipamentos instalados no interior da embarcação: amplificador de baixo ruído (*low noise amplifier* – LNA), analisador de espectro, módulo de conversão analógico-digital, microcomputador portátil (*laptop*), *no-break* e conexões.

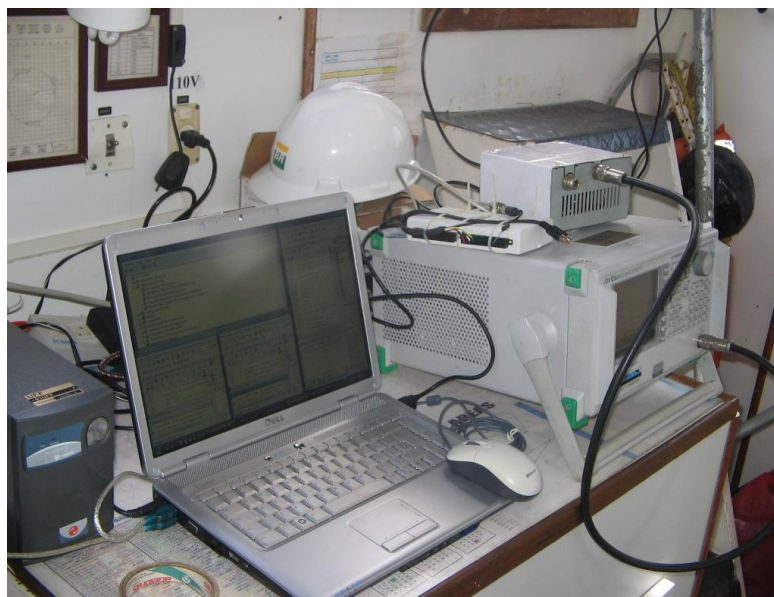


Figura 5.6 – Equipamentos instalados no interior da embarcação

A Figura 5.7 apresenta o ambiente medido no dia de realização dos testes (12 de dezembro de 2009). Nele, podem ser vistas algumas embarcações fundeadas e à esquerda, parte das ilhas do arquipélago de Santana.

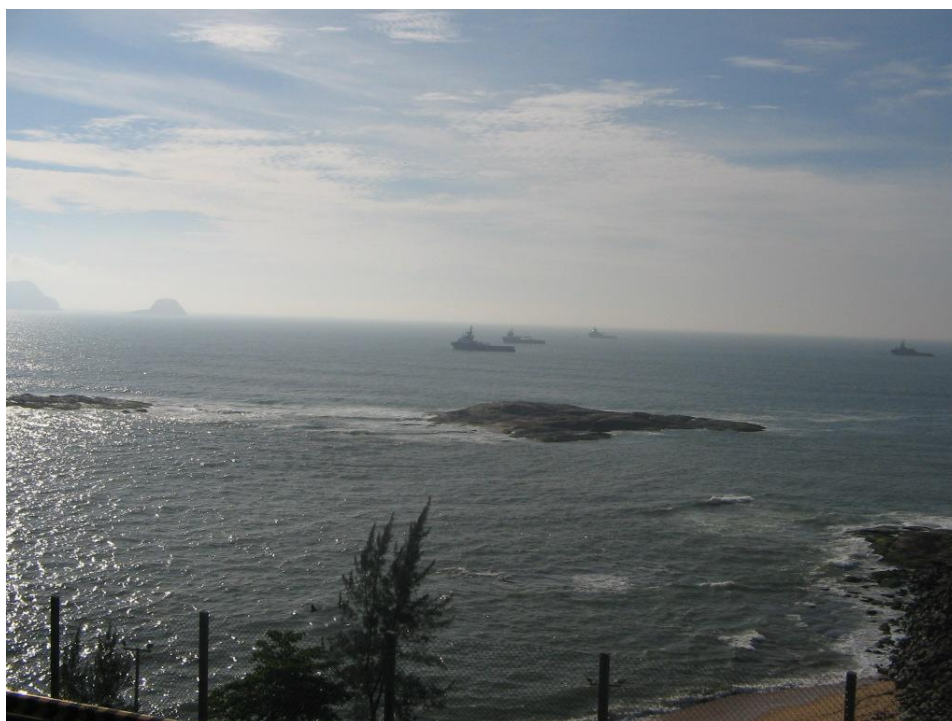


Figura 5.7 – Visão geral do ambiente no dia de realização das medições (12 de dezembro de 2009)

5.4 Planta de situação do local de instalação e testes

As figuras 5.8 e 5.9 mostram o local de instalação da antena transmissora e a sua divisão em regiões de visada, parcialmente obstruída e obstruída, vistas a partir do local de instalação da antena transmissora.



Figura 5.8 – Visão aérea do local de instalação e identificação das regiões de visada obstrução parcial e total

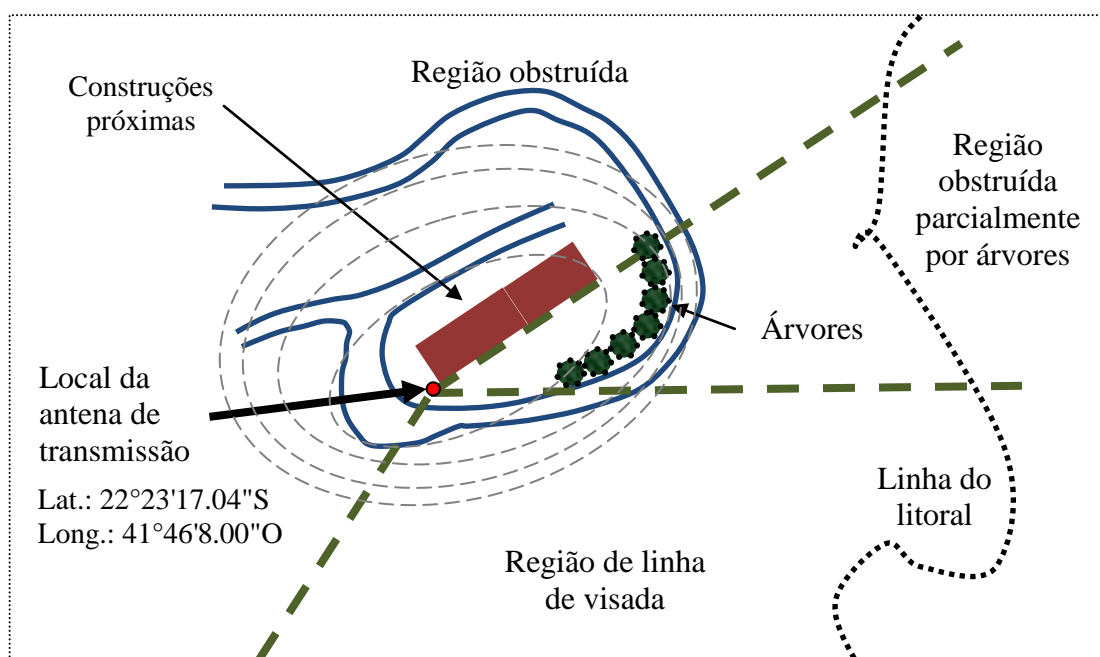


Figura 5.9 – Planta detalhada da situação no local de instalação do sistema de transmissão

5.5 Visão geral dos trechos percorridos

A Figura 5.10 apresenta uma visão aérea com os trechos percorridos após o processamento, bem como as regiões de visada, obstrução parcial e região de obstrução total devido a obstáculos próximos à antena transmissora. Nesta figura, podem também ser verificadas as regiões de obstrução devido à presença das ilhas do arquipélago de Santana: ilhas de Santana, ao centro, do Francês, ao norte, e Ilhote Sul. Os números mostrados nos círculos em branco indicam as radiais.

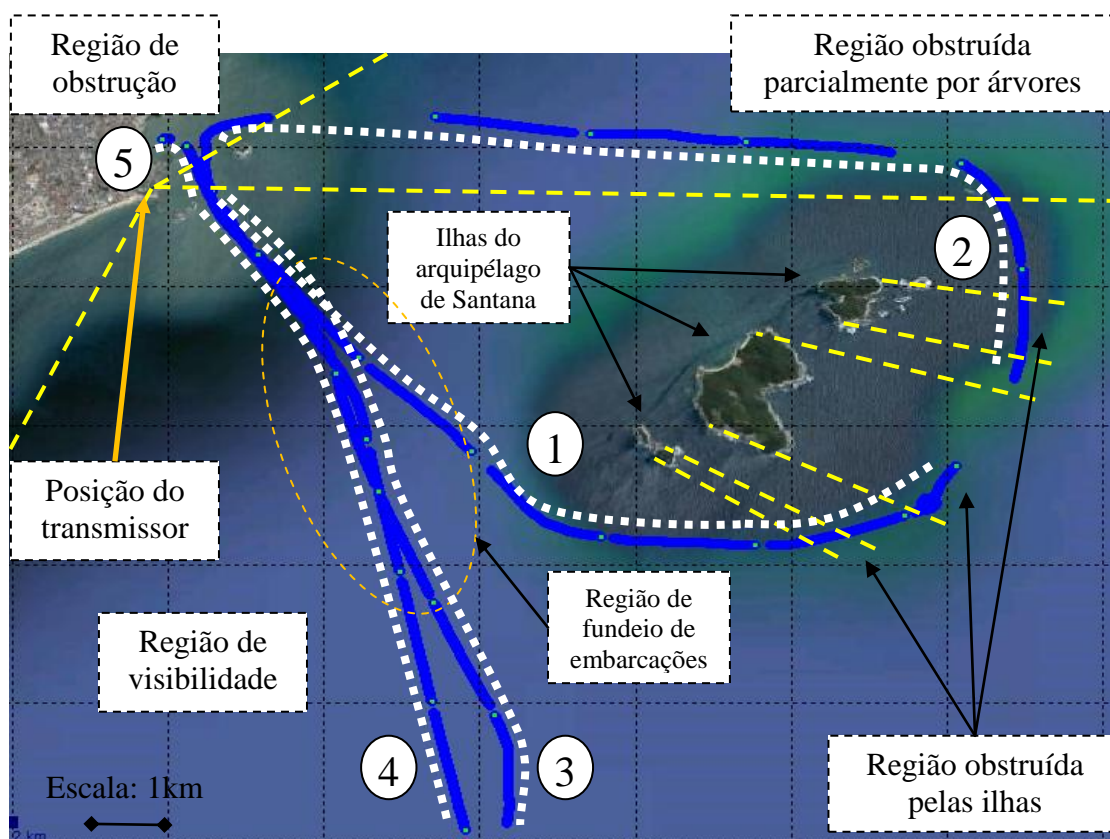


Figura 5.10 – Visão geral dos trechos percorridos e regiões de visada, obstrução parcial e total

Para fins desta Dissertação, apenas a região de visibilidade será analisada qualitativa e quantitativamente, ficando a região de obstrução parcial e total, como recomendações para trabalhos futuros para análise quantitativa. Os trechos que apresentaram obstrução devido às ilhas também não serão analisados quantitativamente.

A Figura 5.11 apresenta a numeração de todos os trechos obtidos. Os trechos analisados foram agrupados em cinco grandes radiais:

- Radial 1: formada pelos trechos 1, 2, 3, 4, 5 e 6;

- Radial 2: formada pelos trechos 7, 8, 9, 10,11 e 12;
- Radial 3: formada pelos trechos 13, 14, 15, 16 e 17;
- Radial 4: formada pelos trechos 18, 19, 20, 21 e 22;
- Radial 5: formada pelos trechos 23 e 24.

Após cuidadosa análise dos trechos, foi definida a seguinte composição das radiais:

- Radial 1: formada pelos trechos 1, 2, 3 e 4. Os trechos 5 e 6 foram retirados por apresentarem obstrução pelas ilhas;
- Radial 2: não será analisada por possuir a maior parte dos trechos na região de obstrução parcial;
- Radial 3: formada pelos trechos 13, 14, 15, 16 e 17;
- Radial 4: formada pelos trechos 18, 19, 20, 21 e 22;
- Radial 5: não será analisada por possuir a maior parte dos trechos na região de obstrução parcial e de obstrução total.

Na Figura 5.11 estão mostrados os trechos numerados identificando também aqueles trechos que farão parte da análise e que compõem a radial 1 (R1), radial 3 (R3) e a radial 4 (R4).

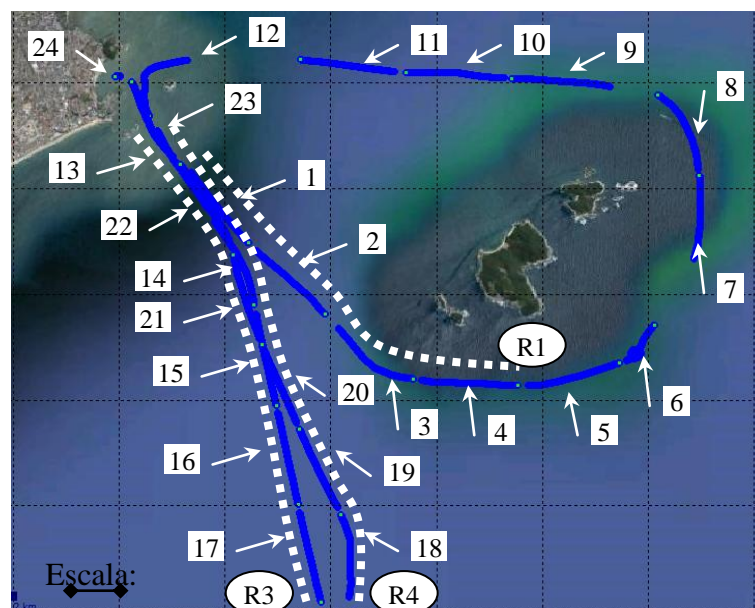


Figura 5.11 – Rota seguida no ambiente de medições

6 Resultados e análise das medições

Neste capítulo serão apresentados os resultados das medições efetuadas e a análise destes resultados.

As medições foram realizadas no dia 12 de dezembro de 2009, no ambiente marítimo descrito no capítulo 5 e o primeiro passo para a análise dos dados obtidos foi a união dos arquivos do nível do sinal com os arquivos de posicionamento. Em seguida, os arquivos unidos foram processados, para que se tivesse uma primeira noção do comportamento do sinal em relação ao ambiente. Prosseguindo o processamento, utilizando os programas elaborados pelo autor, outros arquivos foram produzidos de modo a permitir a obtenção dos dados para análises e conclusões e, assim, atingir os objetivos inicialmente traçados para esta Dissertação.

Ao todo, foram obtidos os seguintes conjuntos de arquivos com duração média de 5 minutos cada:

- 24 arquivos com os dados medidos do analisador de espectro: mar1.mat a mar24.mat;
- 21 arquivos com dados do posicionamento: GPS_hora_posicao_1.mat a GPS_hora_posicao_21.mat;
- 25 arquivos com dados medidos pelo analisador de espectro: dados_analisador1.mat a dados_analisador25.mat.

Para fins de análise, cada arquivo de dados medidos foi chamado de trecho. Conjuntos de trechos foram chamados de radiais e o setor corresponde a uma pequena área, para fins de análise de desvanecimento.

Os programas obtidos, o fluxograma completo do processamento e os programas com os algoritmos de análise estão apresentados a partir do Anexo 2.

A análise dos resultados será realizada nas próximas seções, de acordo com a seguinte sequência:

- Análise qualitativa de todos os trechos, buscando correlacionar o sinal medido com as características do ambiente;
- Análise conjunta dos trechos que formam radiais, de modo a verificar o comportamento do sinal ao longo da radial;

- Separação do desvanecimento rápido para os trechos e nas radiais selecionadas;
- Análise das estatísticas que melhor representam o desvanecimento rápido;
- Cálculo da taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento das estatísticas que mais bem representam o desvanecimento rápido para cada trecho e setor;
- Desvanecimento lento e dependência da distância, sendo calculado o fator de atenuação e obtida a reta de melhor ajuste;
- Análise da estatística do desvanecimento lento;
- Comparação da atenuação e potência recebida com os modelos selecionados;
- Proposta de ajuste de um dos modelos selecionados para o ambiente marítimo em função de suas características.

6.1 Variação espacial do nível do sinal

A Figura 6.1 mostra a variação espacial do nível do sinal, em dBm, em função do deslocamento, na região estudada. Pode ser verificada as regiões de obstrução total pelas ilhas e de obstrução parcial devido a presença das árvores.

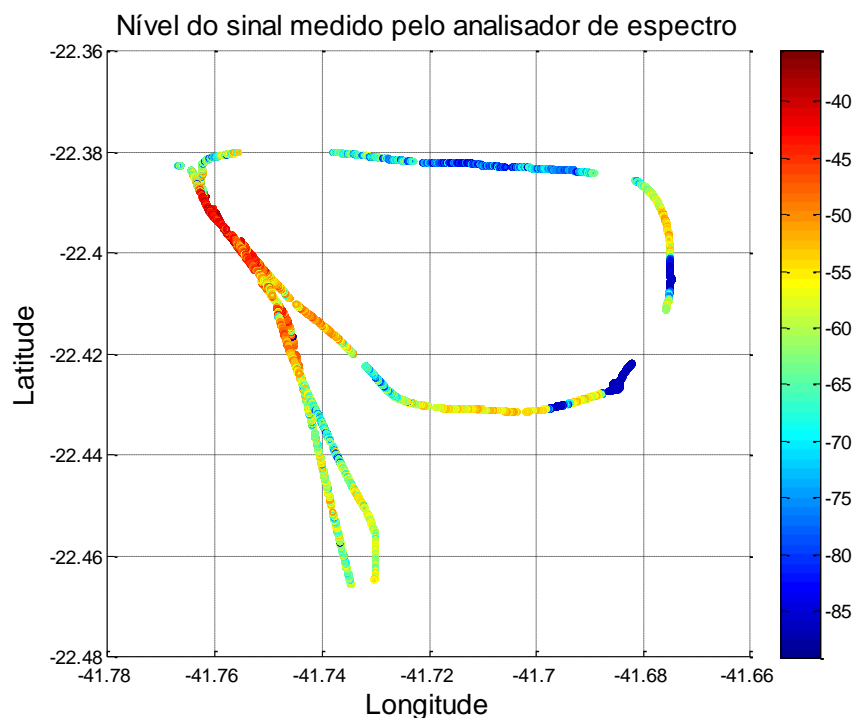


Figura 6.1 – Variação espacial do nível do sinal

6.2 Análise qualitativa dos trechos

Os gráficos a seguir mostram os resultados das medições realizadas no ambiente marítimo em cada um dos trechos de acordo com a numeração apresentada na Figura 5.11. Antes de cada gráfico, é feita uma avaliação qualitativa da variação do nível do sinal observado, em função das características do ambiente. Os gráficos apresentados são aqueles obtidos do processamento, sem informação do posicionamento, apresentando somente a marcação do minuto dentro da hora, no qual foram registrados. Os valores dos segundos foram omitidos para simplificar a análise qualitativa inicial. Somente serão apresentados os gráficos dos trechos que serão analisados, os outros estarão apresentados no Anexo 1.

O registro do sinal do trecho 1, mostrado na Figura 6.2 foi iniciado às 8h27min. Apresenta diminuição do nível do sinal, com a variação do tempo, até o minuto 31 quando, então, apresenta suave elevação do nível médio e posterior queda. Este efeito pode ser atribuído à reflexão na superfície no mar. Apresenta poucos desvanecimentos profundos.

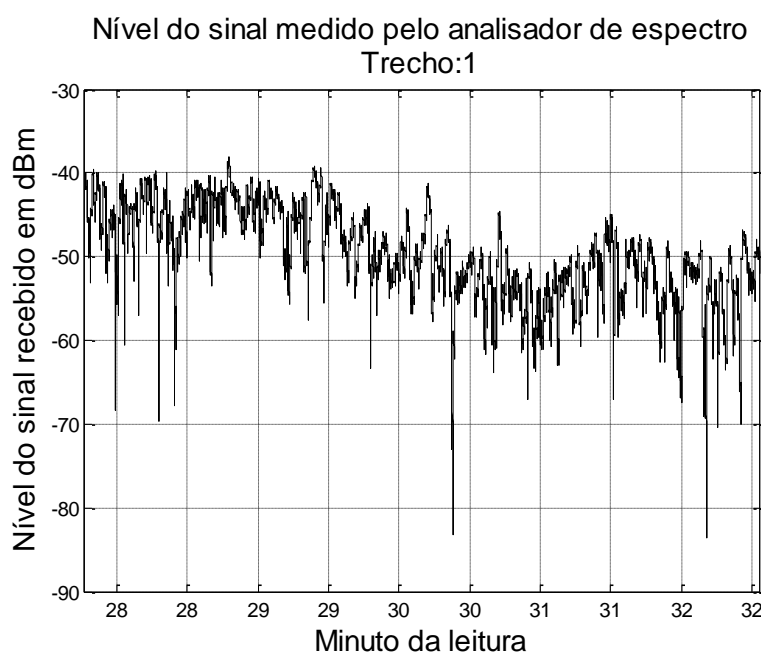


Figura 6.2 – Nível do sinal no trecho 1

O registro do sinal do trecho 2, mostrado na Figura 6.3, foi iniciado às 8h33min. Apresenta uma diminuição do nível do sinal logo no início do minuto 33, decorrente da presença de embarcações que obstruíram parcialmente o sinal, e poucos desvanecimentos profundos. Em seguida, o sinal se eleva para iniciar nova queda suave com o passar do tempo.

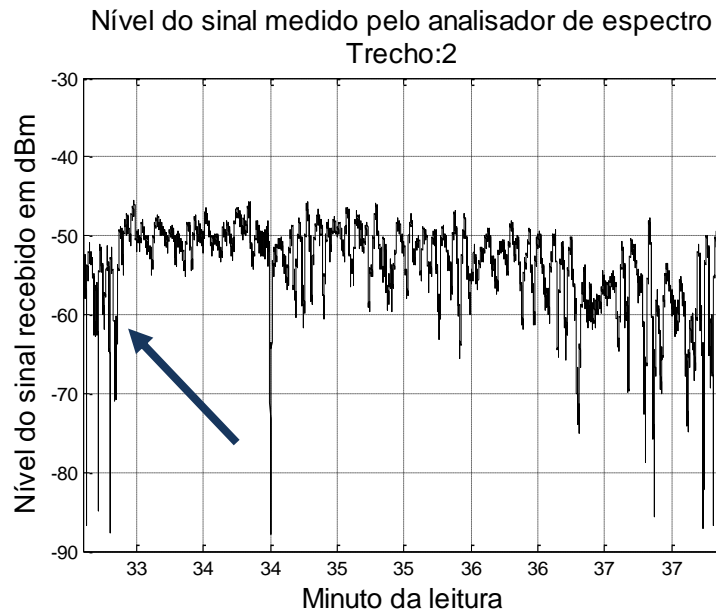


Figura 6.3 – Nível do sinal no trecho 2 e foto com embarcações fundeadas

O registro do sinal do trecho 3, mostrado na Figura 6.4, foi iniciado pouco antes das 8h39min. Apresentou uma diminuição do sinal no início e uma posterior elevação deste nível. Para avaliar se estava ocorrendo algum tipo de interferência, foi solicitado o desligamento do sinal o que foi observado no minuto 42. Constatado que se tratava do sinal transmitido e que não havia interferência, a análise da variação do sinal no trecho permite inferir que o mesmo pode estar subindo por interferência do sinal refletido na superfície do mar, podendo ainda estar sendo interferido por um sinal refletido em uma das ilhas do arquipélago de Santana. Observa-se, também, uma grande quantidade de desvanecimentos profundos.

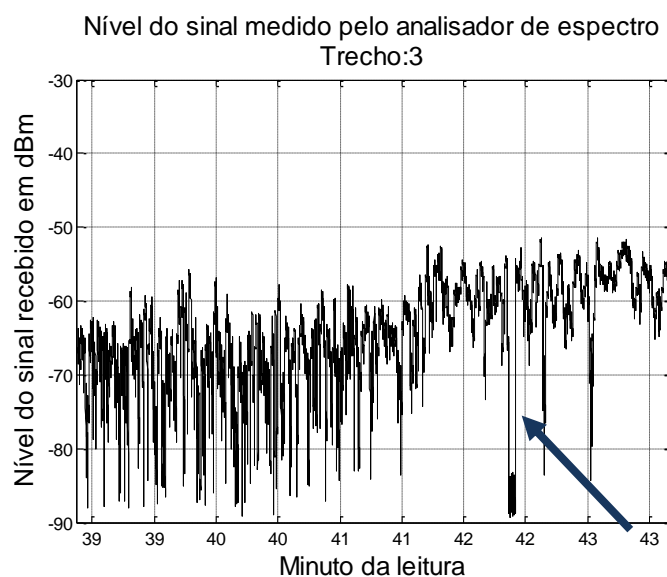


Figura 6.4 – Nível do sinal no trecho 3

O registro do sinal do trecho 7, mostrado na Figura 6.5, foi iniciado às 8h44min. Apresenta uma variação ondulatória bastante acentuada, devendo esta também ser decorrente de reflexão no nível do mar.



Figura 6.5 – Nível do sinal no trecho 4

O registro do sinal do trecho 13, mostrado na Figura 6.6, foi iniciado pouco antes das 9h43min. Apresenta-se em linha de visada com a antena transmissora e a elevada variação observada, entre os minutos 44 e 45, provavelmente foi devido à difração na embarcação situada na linha de visada entre a embarcação e a transmissora.

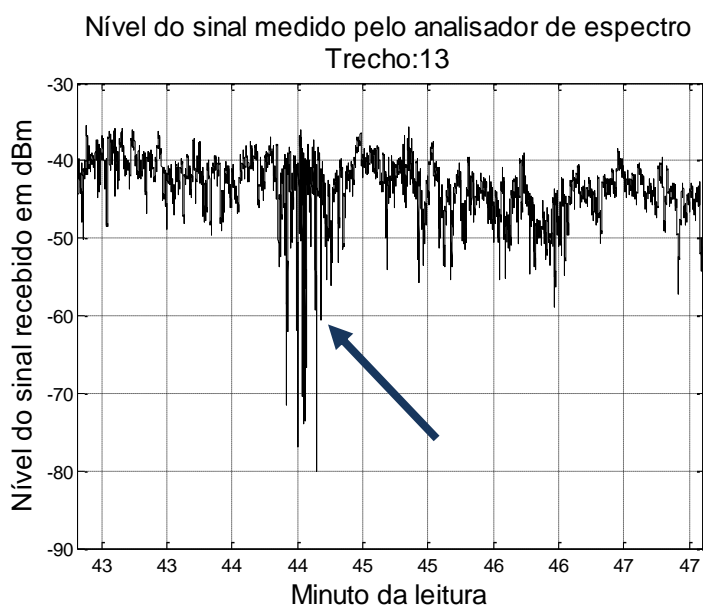


Figura 6.6 – Nível do sinal no trecho 13

O registro do sinal do trecho 14, mostrado na Figura 6.7, foi iniciado às 9h48min. Apresenta variação do sinal cuja queda entre os minutos 49 e 50 foi decorrente de obstrução causada pela presença de embarcação. Na primeira metade do minuto 52 também houve a presença de uma embarcação que obstruiu parcialmente o sinal. Na segunda metade do minuto 52, foi solicitado o desligamento do sinal para verificar a presença de interferência, o que, novamente, não foi verificado, sendo o sinal medido decorrente, exclusivamente, da estação transmissora.

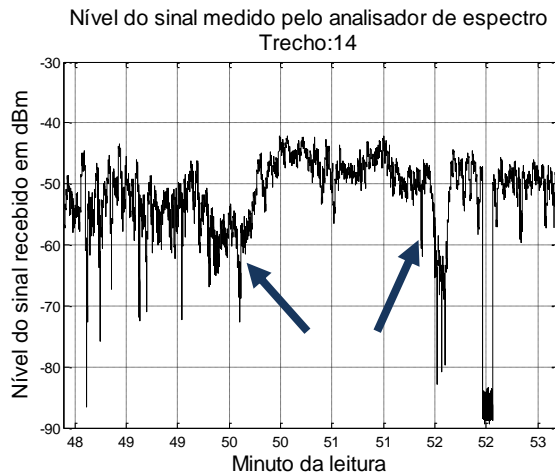


Figura 6.7 – Nível do sinal no trecho 14 e foto da embarcação

O registro do sinal do trecho 15, mostrado na Figura 6.8, foi iniciado às 9h43min. Apresentou diminuição natural do nível do sinal com a presença, em grande quantidade, de desvanecimento bastante profundo.

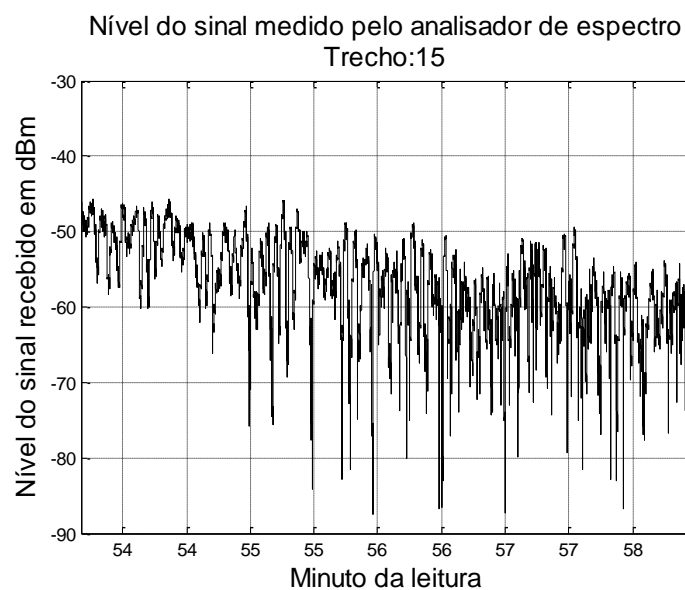


Figura 6.8 – Nível do sinal no trecho 15

O registro do sinal do trecho 16, mostrado na Figura 6.9, foi iniciado pouco antes das 9h59min. Apresenta leve variação e elevação do nível do sinal. Este aumento pode ser novamente explicado pela reflexão na superfície do mar devendo, também, serem avaliadas possíveis reflexões nas ilhas do arquipélago de Santana.

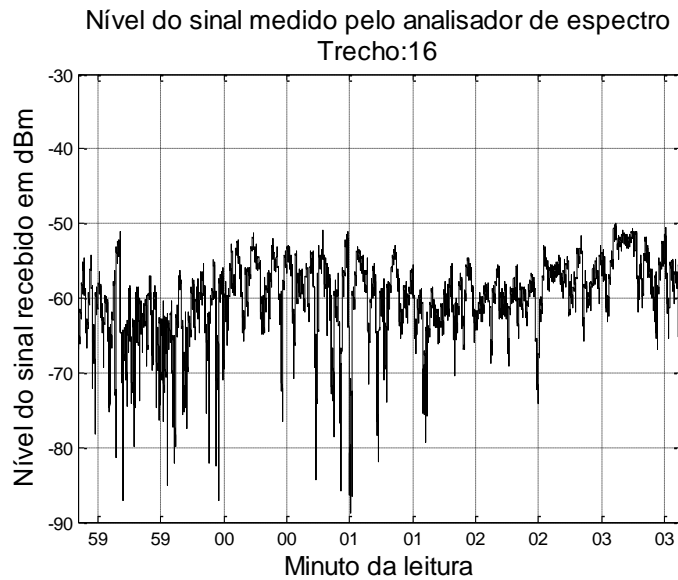


Figura 6.9 – Nível do sinal no trecho 16

O registro do sinal do trecho 17, mostrado na Figura 6.10, foi iniciado às 10h04min. O trecho apresenta queda no nível do sinal com alguma flutuação e presença de desvanecimento raso. A queda acentuada no final do minuto 5 foi devido ao desligamento do sinal do transmissor, para nova verificação de interferência.

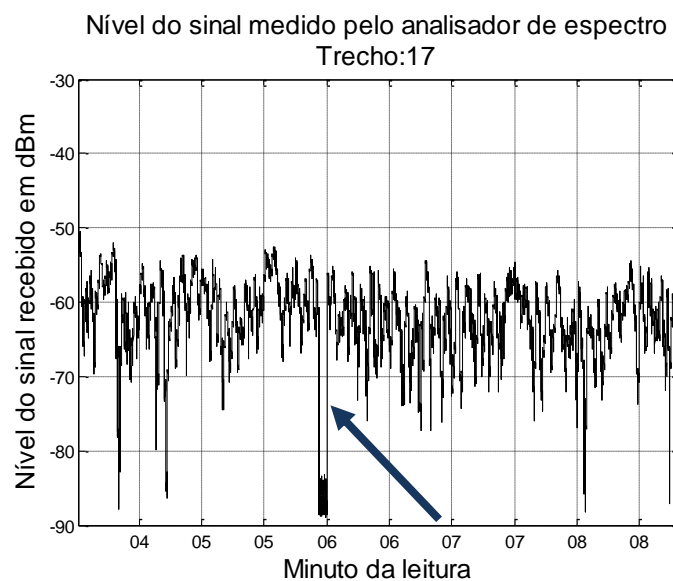


Figura 6.10 – Nível do sinal no trecho 17

O registro do sinal do trecho 18, mostrado na Figura 6.11, foi iniciado pouco antes das 10h11min. Este trecho marcou o início do retorno da embarcação. Apresenta variação no nível médio do sinal, sem uma tendência bem definida

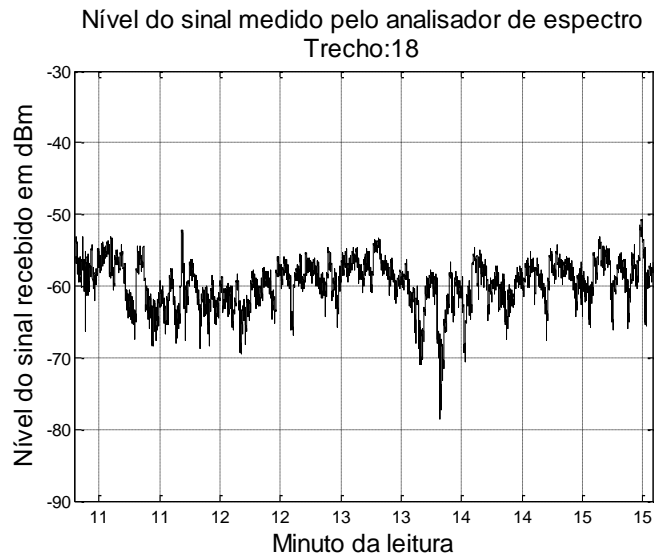


Figura 6.11 – Nível do sinal no trecho 18

O registro do sinal do trecho 19, mostrado na Figura 6.12, foi iniciado às 10h16min. Este trecho apresenta uma diminuição do nível médio do sinal e uma flutuação bastante acentuada. Pode ser parcialmente comparado com o oposto ao ocorrido no trecho 16 que apresentou uma elevação do nível do sinal ao se afastar.

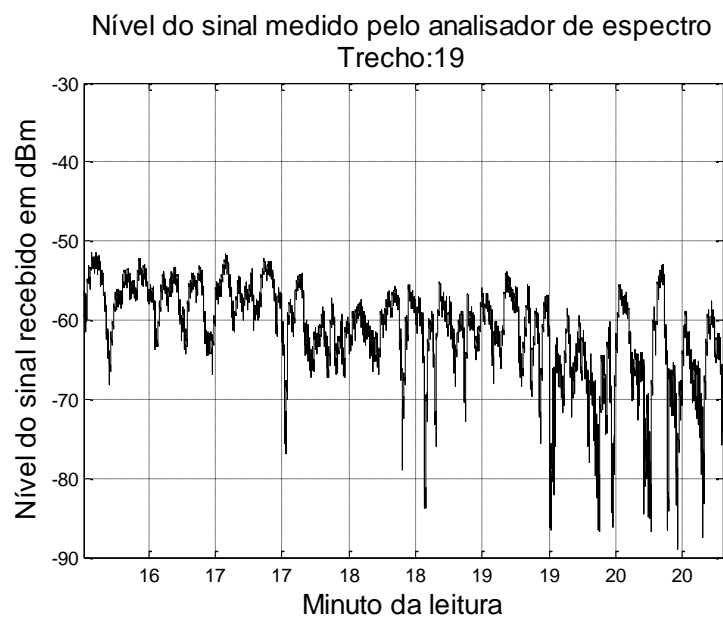


Figura 6.12 – Nível do sinal no trecho 19

O registro do sinal do trecho 20, mostrado na Figura 6.10, foi iniciado às 10h21min. Apresenta uma elevação do nível médio do sinal com flutuação e presença de desvanecimento profundo. Pode ser comparado, parcialmente, ao oposto do ocorrido no trecho 15, quando houve diminuição do nível do sinal, pois se situam, geograficamente, na mesma posição em paralelo.

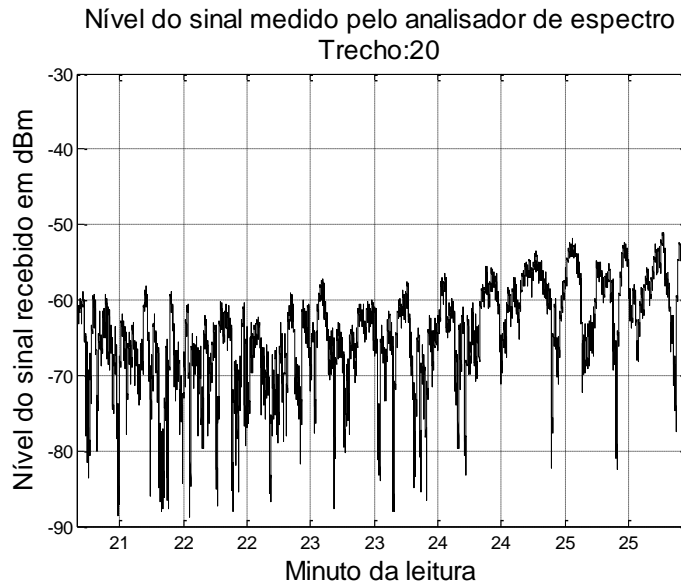


Figura 6.13 – Nível do sinal no trecho 20

O registro do sinal do trecho 21, mostrado na Figura 6.14, foi iniciado às 10h26min. Neste, observa-se a ausência de desvanecimento mais profundo, exceto na segunda metade do minuto 30, decorrente da presença de embarcação, como também ocorrida no trecho 14.



Figura 6.14 – Nível do sinal no trecho 21

O registro do sinal do trecho 22, mostrado na Figura 6.15, foi iniciado pouco antes das 10h32min. Apresenta elevação do nível médio do sinal com alguma flutuação, mostra a presença de desvanecimento profundo esporádico e variação devido à presença de embarcações.

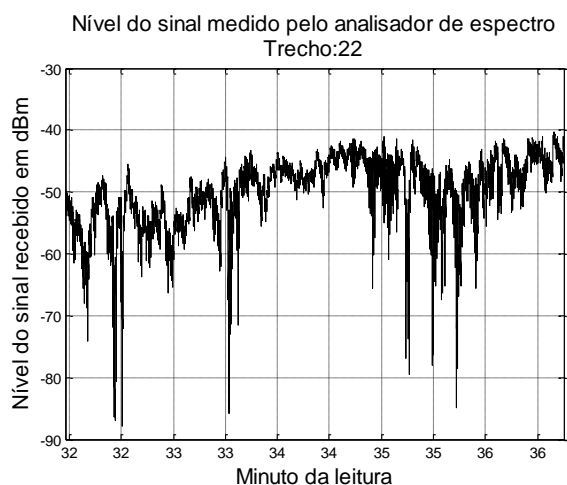


Figura 6.15 – Nível do sinal no trecho 22 e foto de embarcações fundeadas

6.2.1 Escolha do modelo para avaliação da cobertura

As teorias estabelecidas a respeito da propagação na Terra plana e a experiência do autor decorrente dos testes efetuados na Baía de Guanabara, na faixa de 2,4 GHz, sugerem que o modelo de dois raios talvez seja a primeira aproximação para explicar a forma de propagação na superfície marítima. Assim considerando, as cinco radiais, inicialmente identificadas, foram avaliadas qualitativamente e as três radiais, da região selecionada para os estudos, serão avaliadas quantitativamente na seção 6.4 e comparadas com o modelo de dois raios.

Os gráficos seguintes mostram a variação do nível do sinal medido nas radiais compostas pelos trechos indicados, em função da distância.

Na radial 1, mostrada na Figura 6.16, a embarcação está se afastando da antena transmissora na região de linha de visada. Pode ser verificado que ocorre variação no nível do sinal bem como a perda do sinal devido à obstrução pelas ilhas.

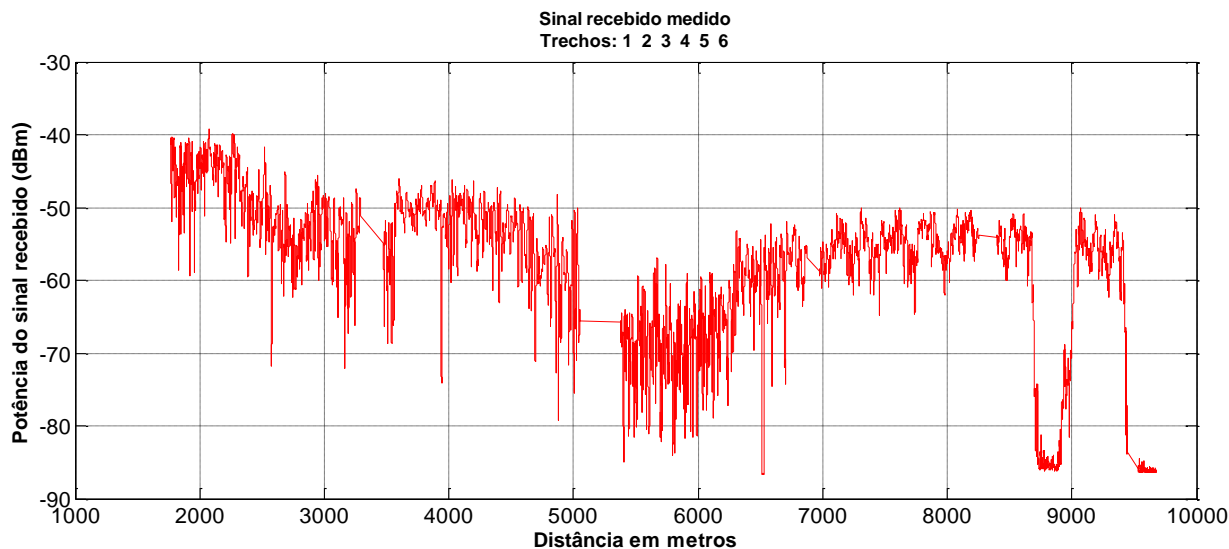


Figura 6.16 – Sinal medido na radial 1

No gráfico da Figura 6.17, da radial 2, deve ser observado que a embarcação está se aproximando da antena transmissora na região classificada como parcialmente obstruída, devido à presença das árvores na linha de visada da antena transmissora.

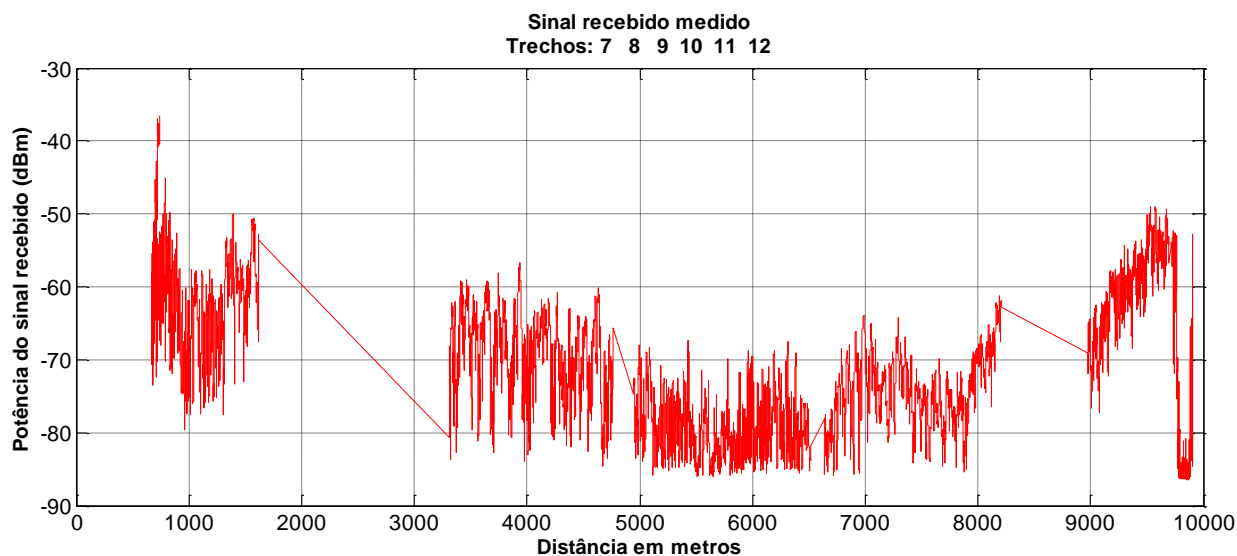


Figura 6.17 – Sinal medido na radial 2

A Figura 6.20 mostra a radial 3, onde a embarcação está novamente se afastando da antena transmissora, desta vez sem transitar pelas ilhas.

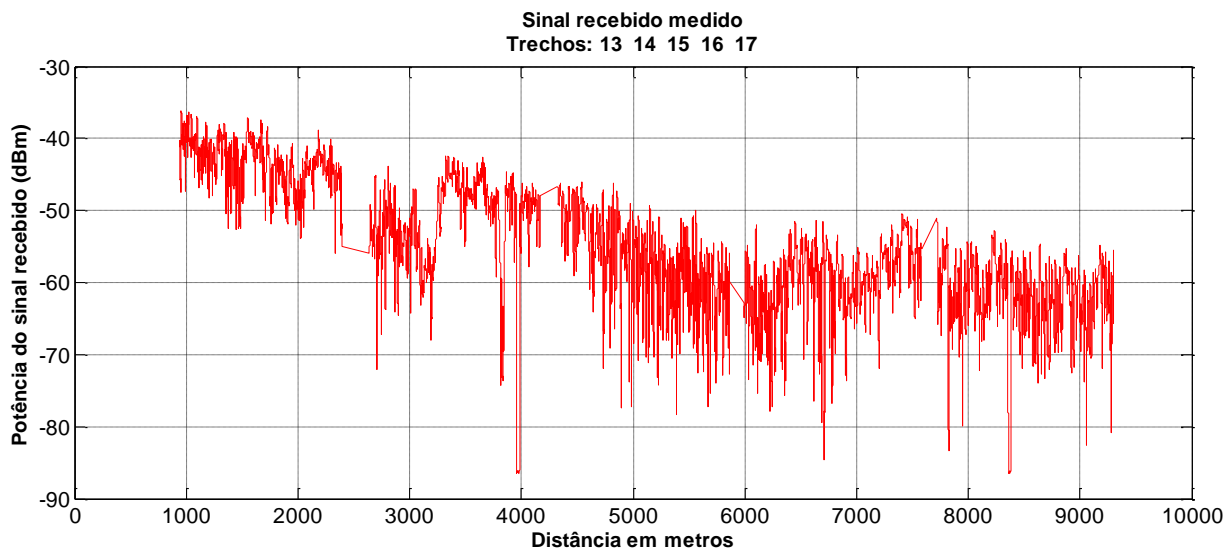


Figura 6.18 – Sinal medido na radial 3

A Figura 6.19 apresenta a radial 4. Nesta, a embarcação está se aproximando da antena transmissora.

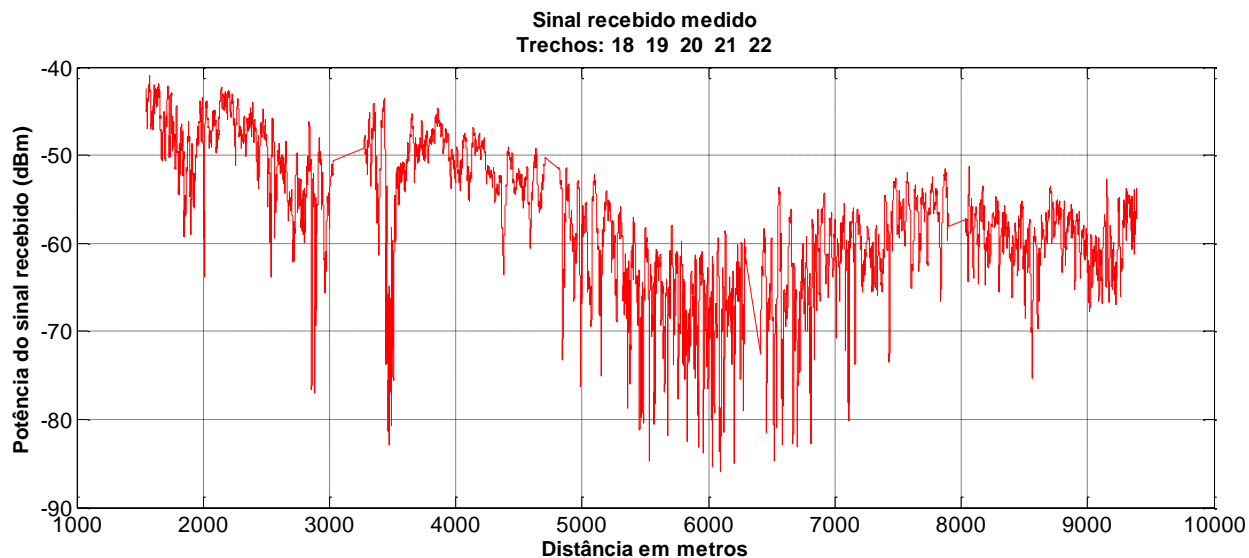


Figura 6.19 – Sinal medido na radial 4

A Figura 6.20 mostra o nível do sinal na radial 5, onde a embarcação passa da região de linha de visada para uma região de obstrução parcial e, em seguida, para a região de obstrução total. Como o gráfico está colocado em distância, verifica-se uma superposição dos

sinais entre as distâncias de 600 e 700 m, decorrente da manobra da embarcação para entrada no porto.

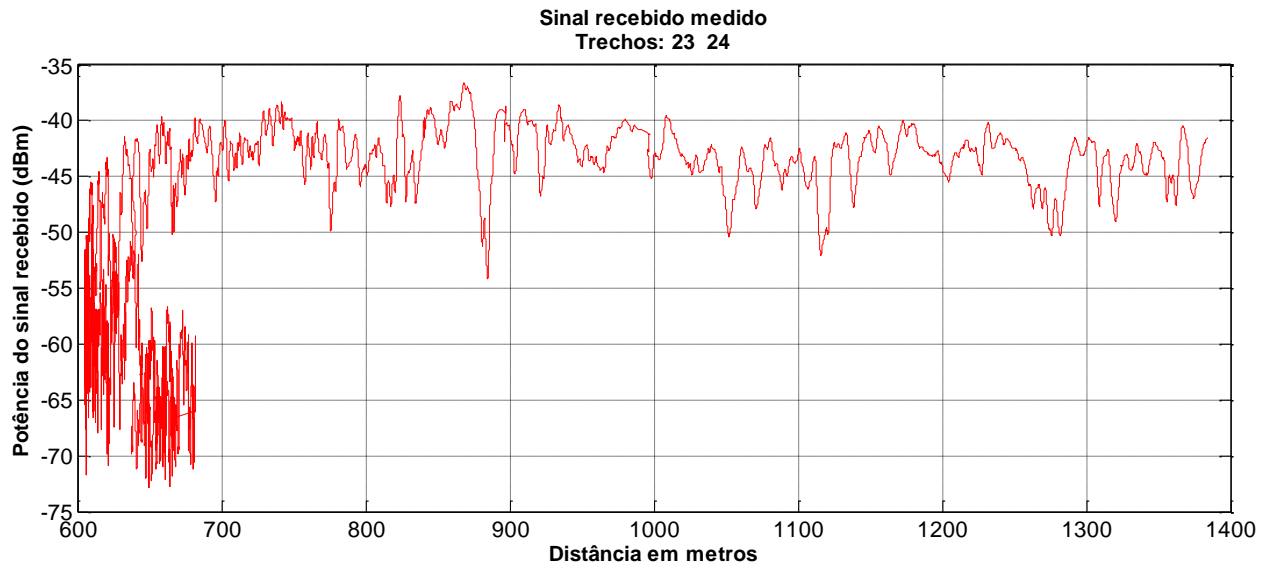


Figura 6.20 – Sinal medido na radial 5

6.3 Caracterização do desvanecimento rápido

Nas seções, a seguir, são apresentados os gráficos do desvanecimento rápido, um resumo das estatísticas calculadas para o trecho, com os gráficos considerados mais relevantes para a caracterização do canal, bem como a taxa de cruzamento de nível e a duração média do desvanecimento, comparando-as com as curvas teóricas.

6.3.1 Análise do desvanecimento rápido

O desvanecimento rápido foi separado do sinal medido, conforme procedimento apresentado no capítulo 2, e com os parâmetros calculados no item 5.6. Cada um dos gráficos apresentados, a seguir, corresponde a um trecho estudado das radiais escolhidas. Nestes gráficos, podem ser visualizadas as ocorrências do desvanecimento e sua profundidade.

Os quatro gráficos, mostrados na Figura 6.21, apresentam o desvanecimento rápido nos trechos da radial 1.

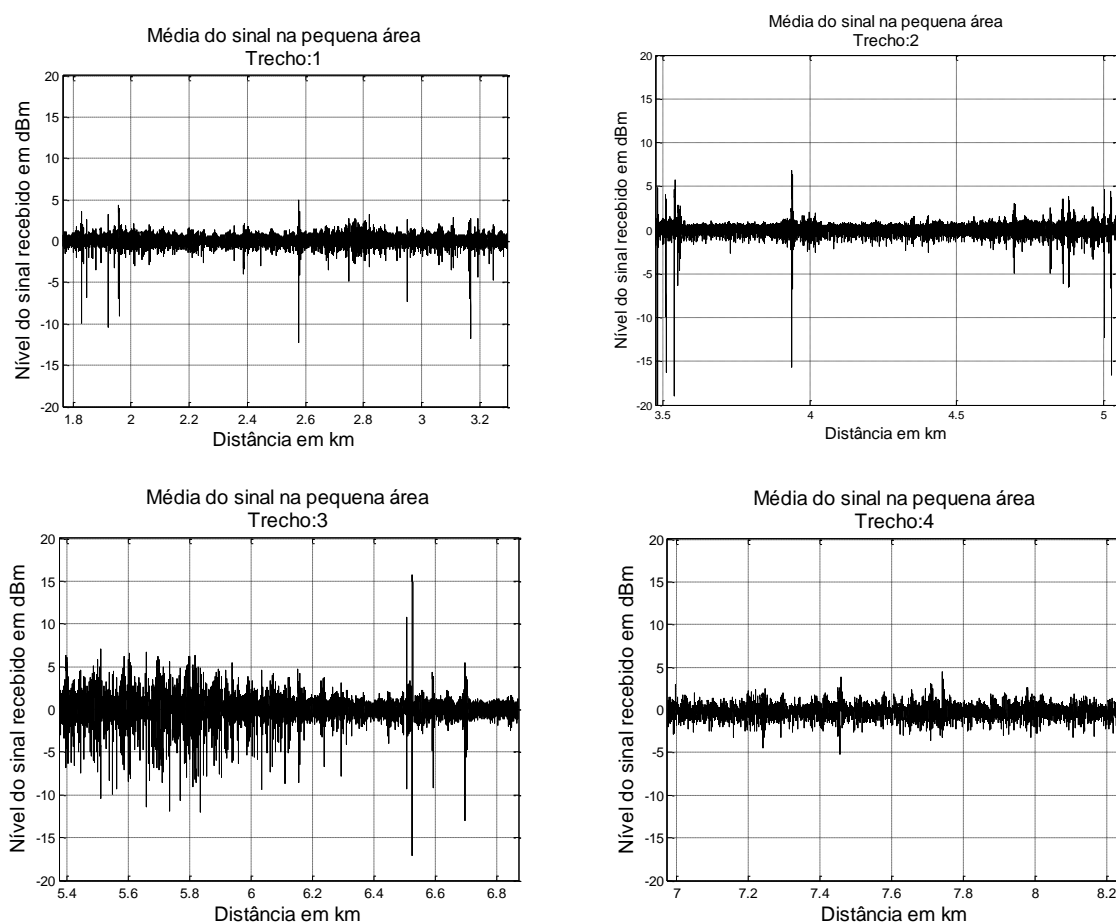


Figura 6.21 – Desvanecimento rápido nos trechos da Radial 1

Os cinco gráficos, mostrados na Figura 6.22, apresentam o desvanecimento rápido nos trechos da radial 2.

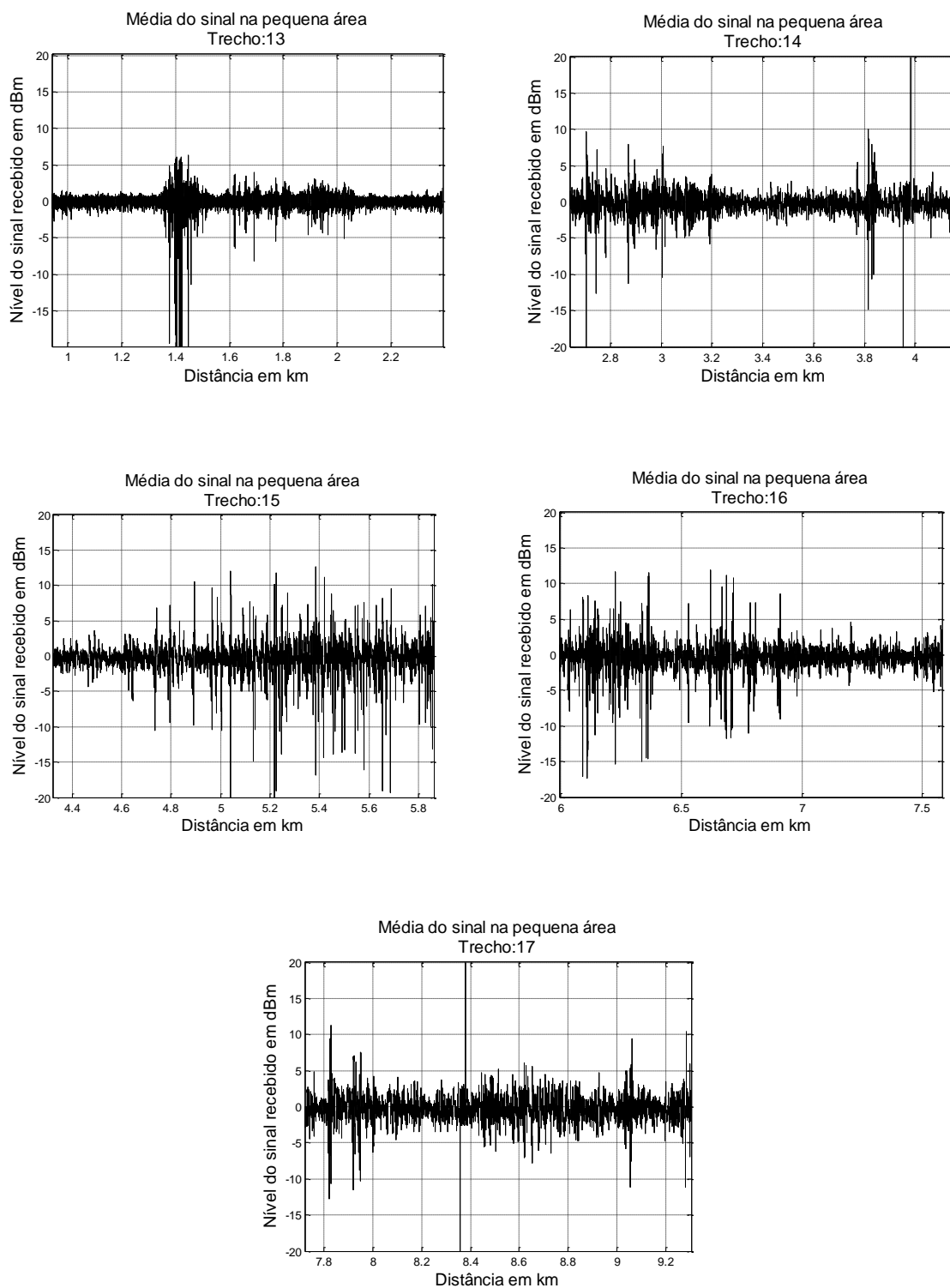


Figura 6.22 – Desvanecimento rápido nos trechos da Radial 2

Os cinco gráficos apresentados, na Figura 6.23, mostram o desvanecimento rápido nos trechos da radial 4.

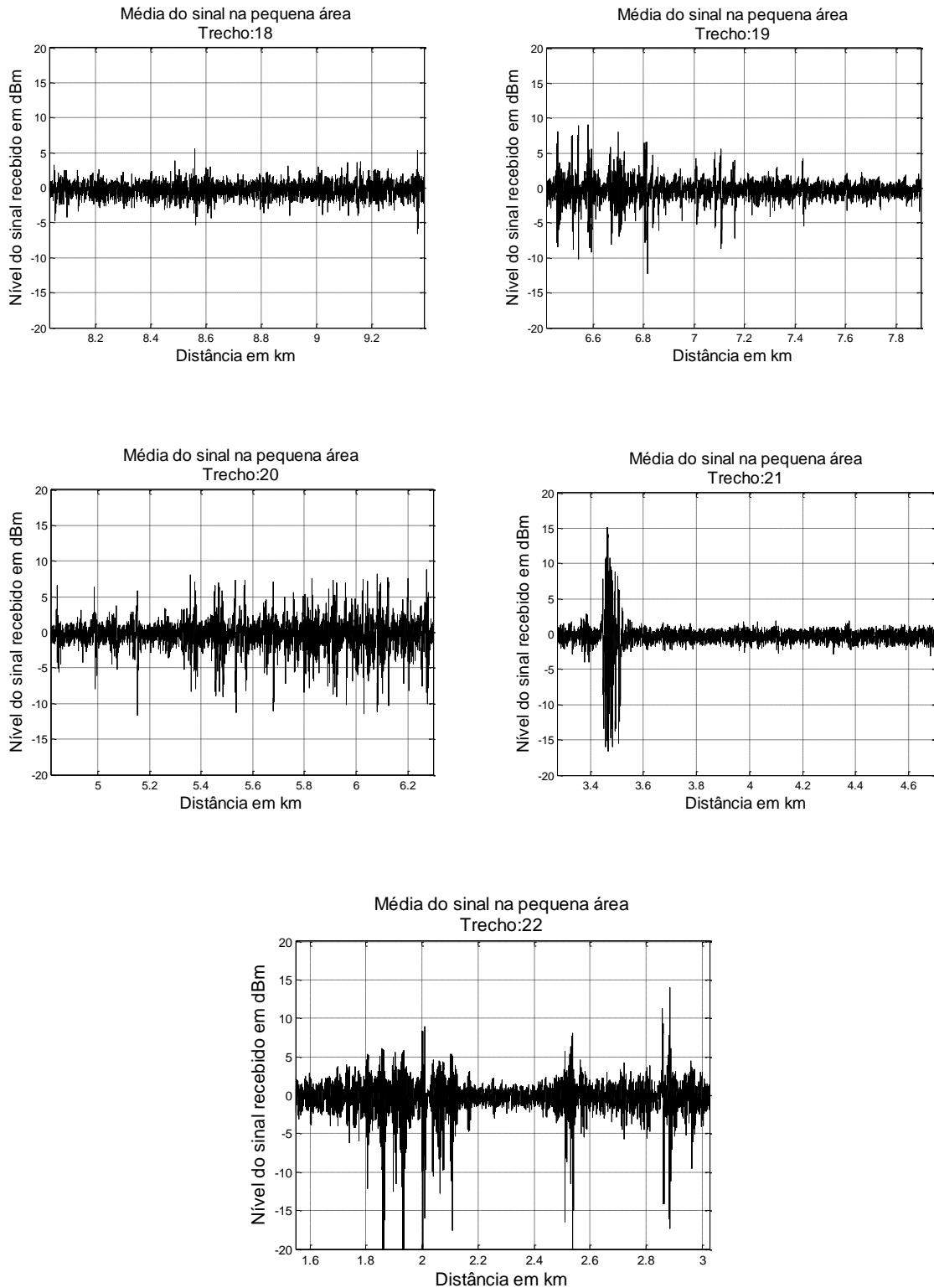


Figura 6.23 – Desvanecimento rápido nos trechos da Radial 4

6.3.2 Estatísticas da variabilidade rápida

Para o cálculo da distribuição que melhor representa a estatística do desvanecimento rápido, foi feita a mudança de escala logarítmica (dBm), obtida da leitura do sinal, para escala linear em volts:

$$\begin{aligned} ndBm &= 10 \log_{10} \left(\frac{P}{1mW} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{V^2/Z}{1mW} \right) = \\ &= 10 \log_{10} (V^2) - 10 \log_{10} (Z) - 10 \log_{10} (10^{-3}) \end{aligned} \quad (6.1)$$

$$V = 10^{\left(\frac{ndBm - 30 + 10 \log_{10} Z}{20} \right)} \quad (6.2)$$

Onde:

- $ndBm$: é valor do nível do sinal em pequena escala;
- V : é o valor do sinal em pequena escala, convertido para tensão;
- Z : é a impedância de entrada do analisador de espectros (= 50 Ω).

Para a realização desta análise, cada trecho selecionado foi dividido em setores, com comprimento aproximado de 20λ . Para cada setor foi, então, calculada a distribuição e comparada com as distribuições teóricas de Gauss, Rayleigh e Rice, de modo a verificar qual apresenta melhor ajuste. Após os cálculos, foi feito o teste qui-quadrado para verificar a distribuição teórica que melhor se ajustava à distribuição do setor. Com os dados calculados, uma tabela foi elaborada, com o resumo dos dados relevantes para cada trecho, de modo que fosse possível, através de sua leitura, concluir sobre a densidade predominante e seus parâmetros principais. Cada tabela apresenta os seguintes dados:

- número do trecho analisado;
- quantidade de vezes que a PDF de Gauss, Rayleigh e Rice passaram no teste qui-quadrado;
- quantidade de vezes que a PDF de Gauss, Rayleigh e Rice passaram no teste qui-quadrado com menor valor, o que representa melhor aderência com a distribuição;
- maior e menor valor de K e do teste qui-quadrado, que passaram no teste para a densidade Rice;

- valor de K da PDF de Rice mínimo, médio e máximo;
- quantidade de PDF e teste qui-quadrado para cada PDF que:
 - passou, exclusivamente, sem que nenhuma outra tenha passado;
 - nenhuma PDF passou;
 - todas as PDF passaram no teste, ao mesmo tempo.

As funções densidades de probabilidade teóricas de Rayleigh e Rice foram calculadas a partir das equações 2.30, 2.31, 2.32 e 2.33. A função densidade de probabilidade de Gauss foi calculada conforme equação (9.1) de [31].

Tabela 6.1 – Estatística do trecho 1

Trecho: 1	Quantidade total setores no trecho: 1084			

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui:	Gauss	Rayleigh	Rice	
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	1064	486	1073	

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor				
	Gauss	Rayleigh	Rice	
Total com menor valor Qui:	461	63	571	

Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste				

Menor valor de K:	0.0 para QUI:	0.2		
Maior valor de K:	50.0 para QUI:	0.0		

Valor de K:	2.0 para menor QUI:	0.0		
Valor de K:	11.0 para maior QUI:	18.2		

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo	
	0.0	5.4	50.0	

Menor e maior valor de Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice	
	Menor Q:	0.0	0.0	0.0
	Maior Q:	17.8	19.6	18.2

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice	
Passou exclusivamente:	1	1	9	
Nenhuma PDF passou:	9	9	9	
Todas passaram ao mesmo tempo:	484	484	484	

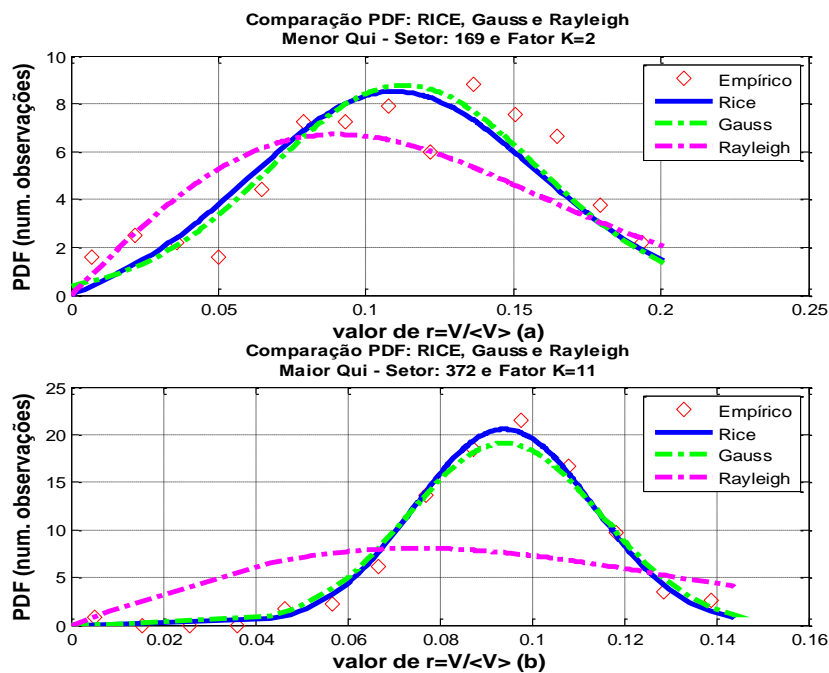


Figura 6.24 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 1

Tabela 6.2 – Estatística do trecho 2

Trecho: 2 | Quantidade total setores no trecho: 918

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui: Gauss	Rayleigh	Rice	
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	855	188	879

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor	Gauss	Rayleigh	Rice
Total com menor valor Qui:	303	34	557

Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste

Menor valor de K:	0.0 para QUI:	5.7
Maior valor de K:	50.0 para QUI:	2.6

Valor de K:	2.0 para menor QUI:	0.0
Valor de K:	7.0 para maior QUI:	20.6

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo
	0.0	9.0	50.0

Menor e maior valor de Qui para cada PDF: Gauss	Rayleigh	Rice	
Menor Q:	0.0	0.0	0.0
Maior Q:	20.3	20.0	20.6

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF: Gauss	Rayleigh	Rice	
Passou exclusivamente:	1	0	26
Nenhuma PDF passou:	36	36	36
Todas passaram ao mesmo tempo:	185	185	185

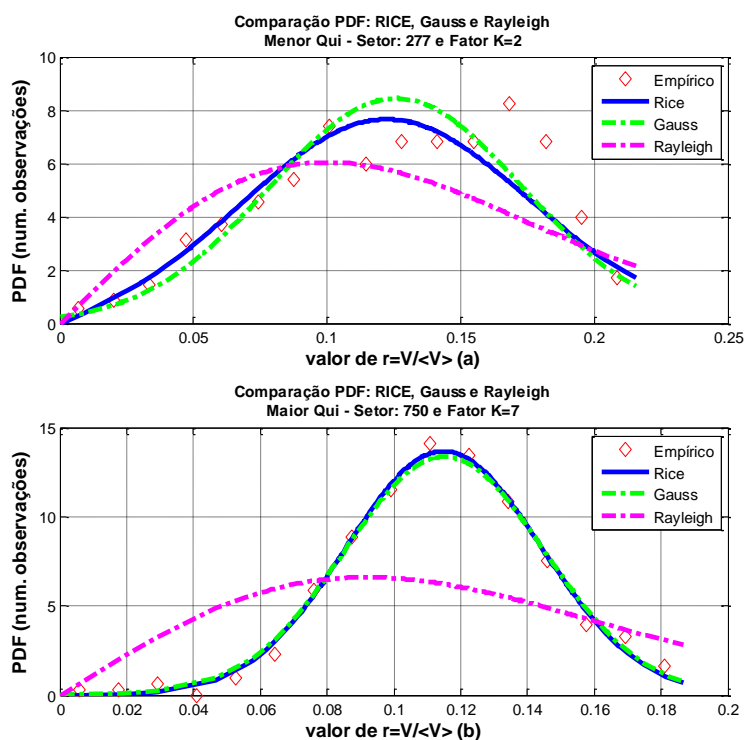


Figura 6.25 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 2

Tabela 6.3 – Estatística do trecho 3

Trecho: 3 Quantidade total setores no trecho: 751			

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui:	Gauss	Rayleigh	Rice
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	746	456	747

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor	Gauss	Rayleigh	Rice
Total com menor valor Qui:	295	67	415

Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste			

Menor valor de K:	0.0 para QUI:	0.1	
Maior valor de K:	50.0 para QUI:	0.1	

Valor de K:	33.0 para menor QUI:	0.0	
Valor de K:	0.0 para maior QUI:	18.3	

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo
	0.0	6.9	50.0

Menor e maior valor de Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice
Menor Q:	0.0	0.0	0.0
Maior Q:	11.9	18.3	18.3

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice
Passou exclusivamente:	1	0	1
Nenhuma PDF passou:	2	2	2
Todas passaram ao mesmo tempo:	453	453	453

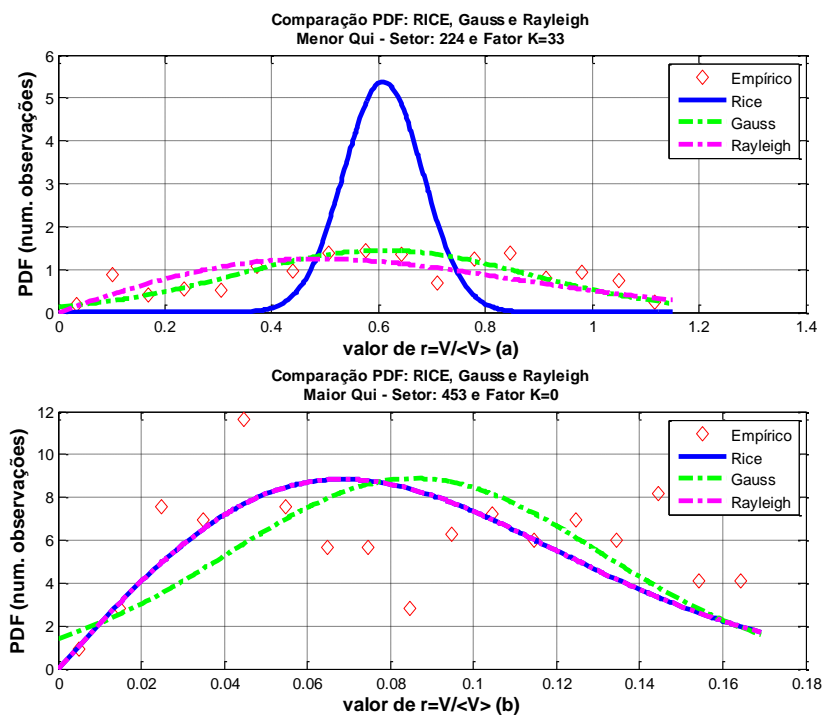


Figura 6.26 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 3

Tabela 6.4 – Estatística do trecho 4

Trecho: 4	Quantidade total setores no trecho: 862			

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui:	Gauss	Rayleigh	Rice	
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	830	120	849	

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor				
	Gauss	Rayleigh	Rice	
Total com menor valor Qui:	319	10	524	

Maior e menor valor de K e Qui que passou no teste				

Menor valor de K:	0.0 para Qui:	2.4		
Maior valor de K:	50.0 para Qui:	1.9		

Valor de K:	7.0 para menor Qui:	0.1		
Valor de K:	16.0 para maior Qui:	16.5		

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo	
	0.0	9.7	50.0	

Menor e maior valor de Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice	
	Menor Q:	0.1	0.3	0.1
	Maior Q:	15.9	20.7	16.5

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice	
Passou exclusivamente:	2	0	21	
Nenhuma PDF passou:	11	11	11	
Todas passaram ao mesmo tempo:	120	120	120	

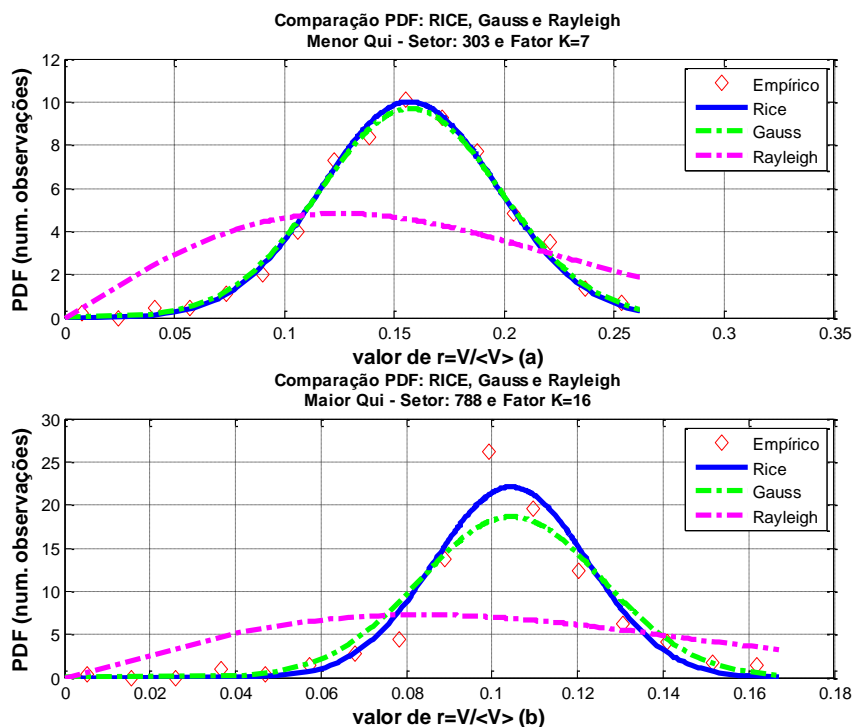


Figura 6.27 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 4

Tabela 6.5 – Estatística do trecho 13

Trecho: 13 Quantidade total setores no trecho: 918			

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui:	Gauss	Rayleigh	Rice
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	863	346	877

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor			
	Gauss	Rayleigh	Rice
Total com menor valor Qui:	338	62	493

Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste			

Menor valor de K:	0.0 para QUI:	0.9	
Maior valor de K:	50.0 para QUI:	2.1	

Valor de K:	1.0 para menor QUI:	0.0	
Valor de K:	3.0 para maior QUI:	18.6	

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo
	0.0	6.8	50.0

Menor e maior valor de Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice			
	Menor Q:	0.0	0.0
	Maior Q:	17.9	19.2

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice			
Passou exclusivamente:	2	2	11
Nenhuma PDF passou:	37	37	37
Todas passaram ao mesmo tempo:	339	339	339

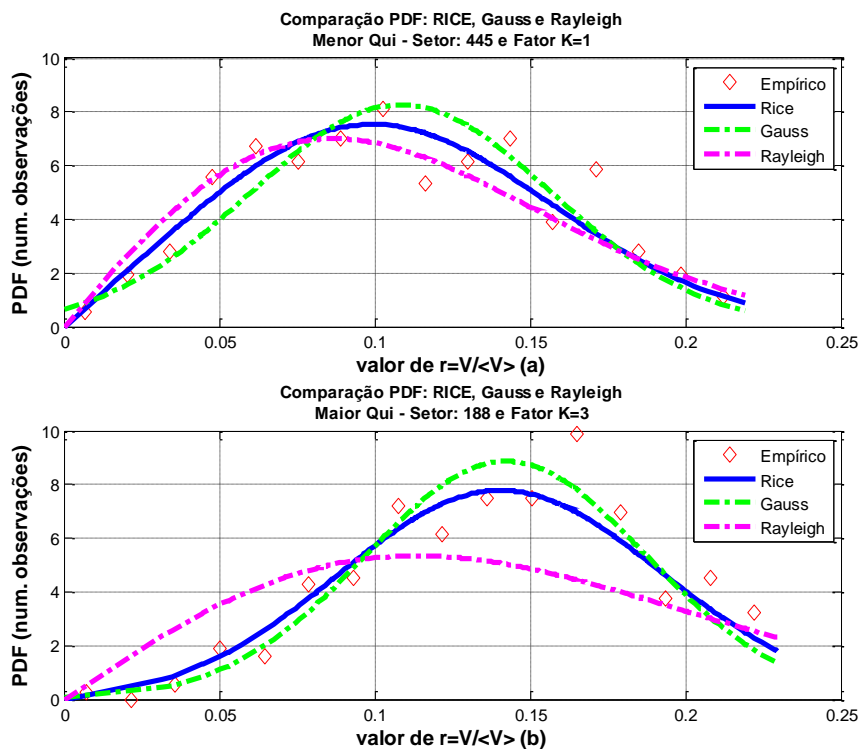


Figura 6.28 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 13

Tabela 6.6 – Estatística do trecho 14

Trecho: 14 Quantidade total setores no trecho: 929			

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui:	Gauss	Rayleigh	Rice
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	792	307	844

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor	Gauss	Rayleigh	Rice
Total com menor valor Qui:	329	55	472

Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste			

Menor valor de K:	0.0 para QUI:	0.7	
Maior valor de K:	50.0 para QUI:	5.5	

Valor de K:	0.0 para menor QUI:	0.0	
Valor de K:	3.0 para maior QUI:	18.7	

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo
	0.0	8.3	50.0

Menor e maior valor de Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice
Menor Q:	0.0	0.0	0.0
Maior Q:	19.2	19.2	18.7

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice
Passou exclusivamente:	0	0	47
Nenhuma PDF passou:	84	84	84
Todas passaram ao mesmo tempo:	300	300	300

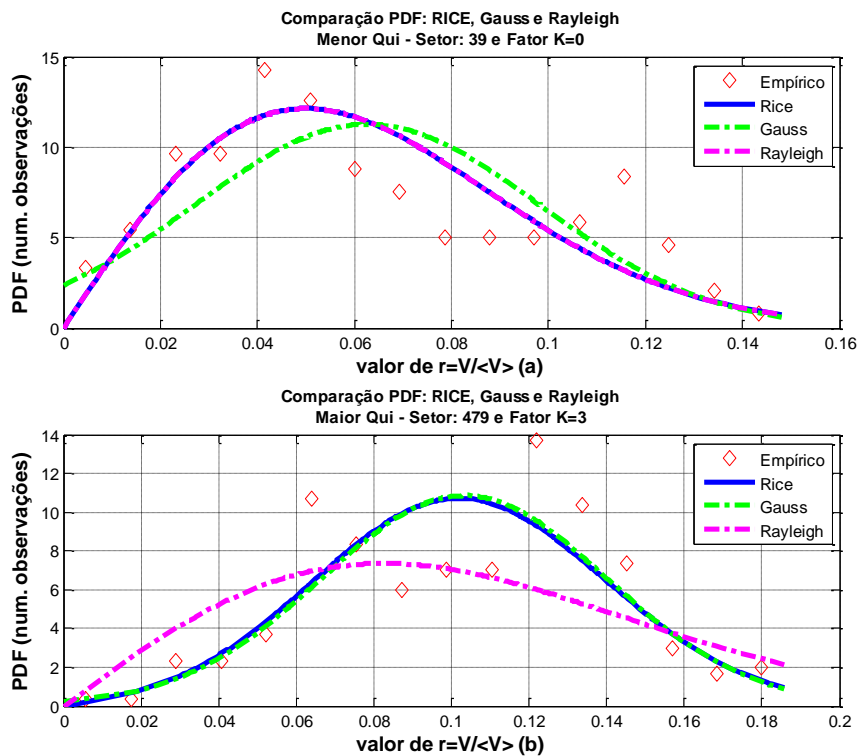


Figura 6.29 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 14

Tabela 6.7 – Estatística do trecho 15

Trecho: 15 Quantidade total setores no trecho: 951			

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui:	Gauss	Rayleigh	Rice
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	862	309	891

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor			
	Gauss	Rayleigh	Rice
Total com menor valor Qui:	275	80	561

Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste			

Menor valor de K:	0.0 para QUI:	21.6	
Maior valor de K:	50.0 para QUI:	1.9	

Valor de K:	1.0 para menor QUI:	0.0	
Valor de K:	0.0 para maior QUI:	20.9	

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo
	0.0	8.7	50.0

Menor e maior valor de Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice			
	Menor Q:	0.0	0.0
	Maior Q:	16.4	20.9

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice			
Passou exclusivamente:	4	1	23
Nenhuma PDF passou:	53	53	53
Todas passaram ao mesmo tempo:	294	294	294

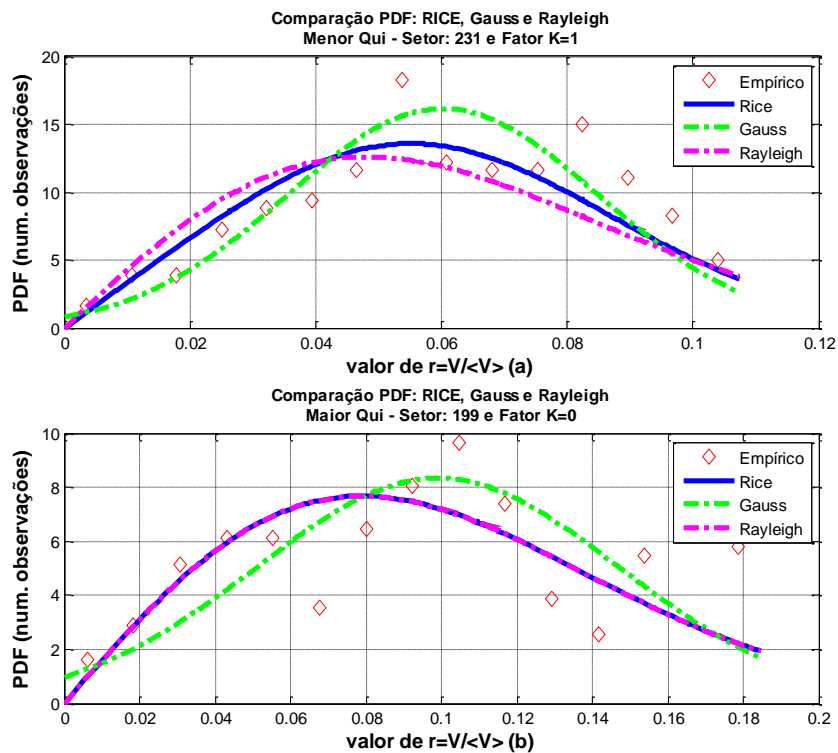


Figura 6.30 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 15

Tabela 6.8 – Estatística do trecho 16

Trecho: 16 Quantidade total setores no trecho: 1007			

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui:	Gauss	Rayleigh	Rice
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	920	454	945

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor	Gauss	Rayleigh	Rice
Total com menor valor Qui:	285	132	575

Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste			

Menor valor de K:	0.0 para QUI:	0.1	
Maior valor de K:	50.0 para QUI:	5.2	

Valor de K:	0.0 para menor QUI:	0.0	
Valor de K:	0.0 para maior QUI:	18.1	

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo
	0.0	7.2	50.0

Menor e maior valor de Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice
Menor Q:	0.0	0.0	0.0
Maior Q:	17.4	20.8	18.1

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice
Passou exclusivamente:	5	3	20
Nenhuma PDF passou:	50	50	50
Todas passaram ao mesmo tempo:	433	433	433

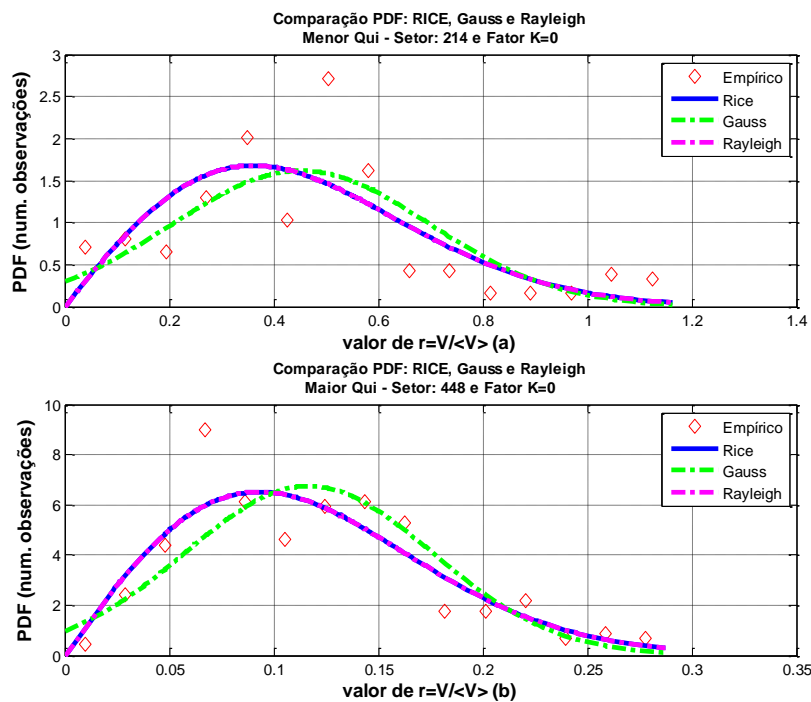


Figura 6.31 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 16

Tabela 6.9 – Estatística do trecho 17

Trecho: 17 Quantidade total setores no trecho: 986			

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui:	Gauss	Rayleigh	Rice
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	940	528	944

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor			
	Gauss	Rayleigh	Rice
Total com menor valor Qui:	309	179	522

Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste			

Menor valor de K:	0.0 para QUI:	0.3	
Maior valor de K:	50.0 para QUI:	0.0	

Valor de K:	3.0 para menor QUI:	0.0	
Valor de K:	3.0 para maior QUI:	17.4	

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo
	0.0	6.0	50.0

Menor e maior valor de Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice			
	Menor Q:	0.0	0.0
	Maior Q:	15.8	19.4

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice			
Passou exclusivamente:	6	3	10
Nenhuma PDF passou:	25	25	25
Todas passaram ao mesmo tempo:	509	509	509

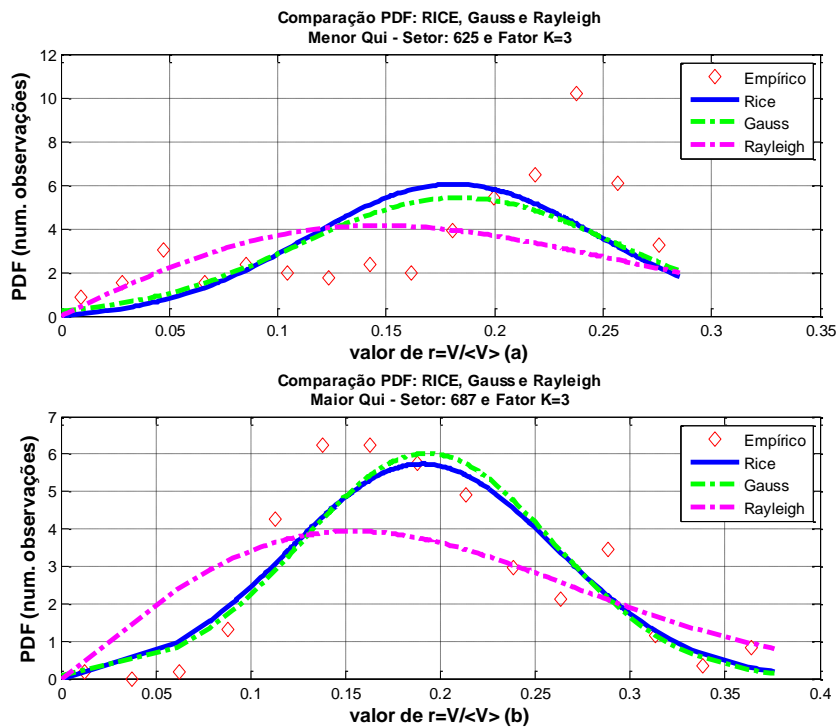


Figura 6.32 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 17

Tabela 6.10 – Estatística do trecho 18

Trecho: 18 Quantidade total setores no trecho: 891				

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui:	Gauss	Rayleigh	Rice	
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	834	315	840	

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor				
	Gauss	Rayleigh	Rice	
Total com menor valor Qui:	269	114	490	

Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste				

Menor valor de K:	0.0 para QUI:	9.2		
Maior valor de K:	50.0 para QUI:	8.7		

Valor de K:	2.0 para menor QUI:	0.0		
Valor de K:	30.0 para maior QUI:	18.4		

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo	
	0.0	6.7	50.0	

Menor e maior valor de Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice				
	Menor Q:	0.0	0.0	0.0
	Maior Q:	19.5	20.4	18.4

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice				
Passou exclusivamente:	5	5	7	
Nenhuma PDF passou:	34	34	34	
Todas passaram ao mesmo tempo:	292	292	292	

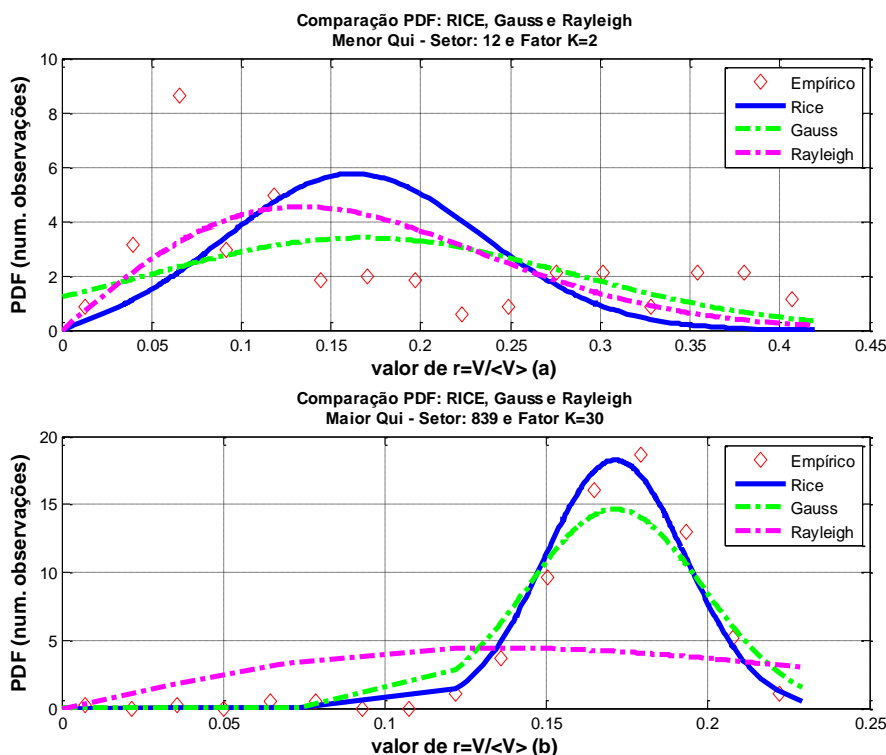


Figura 6.33 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 18

Tabela 6.11 – Estatística do trecho 19

Trecho: 19 Quantidade total setores no trecho: 911			

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui:	Gauss	Rayleigh	Rice
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	877	374	891

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor	Gauss	Rayleigh	Rice
Total com menor valor Qui:	320	89	505

Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste			

Menor valor de K:	0.0 para QUI:	4.2	
Maior valor de K:	50.0 para QUI:	0.0	

Valor de K:	5.0 para menor QUI:	0.0	
Valor de K:	6.0 para maior QUI:	20.1	

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo
	0.0	7.3	50.0

Menor e maior valor de Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice
Menor Q:	0.0	0.0	0.0
Maior Q:	18.6	18.6	20.1

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice
Passou exclusivamente:	1	2	11
Nenhuma PDF passou:	17	17	17
Todas passaram ao mesmo tempo:	368	368	368

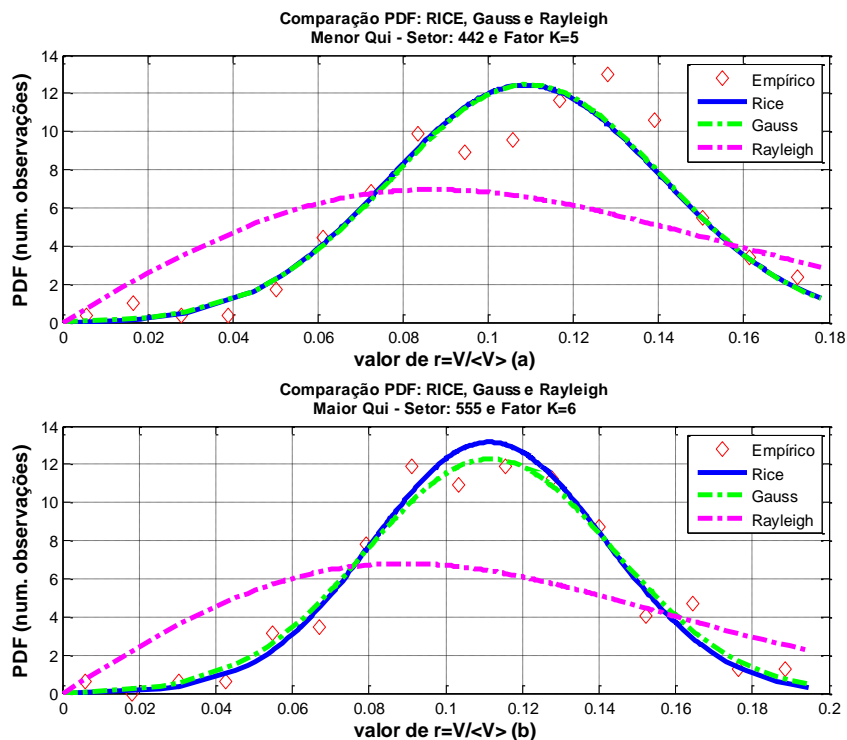


Figura 6.34 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 19

Tabela 6.12 – Estatística do trecho 20

Trecho: 20 Quantidade total setores no trecho: 918			

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui:	Gauss	Rayleigh	Rice
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	891	529	892

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor	Gauss	Rayleigh	Rice
Total com menor valor Qui:	321	131	489

Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste			

Menor valor de K:	0.0 para QUI:	0.0	
Maior valor de K:	50.0 para QUI:	0.0	

Valor de K:	15.0 para menor QUI:	0.0	
Valor de K:	16.0 para maior QUI:	17.4	

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo
	0.0	6.8	50.0

Menor e maior valor de Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice
Menor Q:	0.0	0.0	0.0
Maior Q:	17.9	21.5	17.4

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice
Passou exclusivamente:	2	3	2
Nenhuma PDF passou:	20	20	20
Todas passaram ao mesmo tempo:	523	523	523

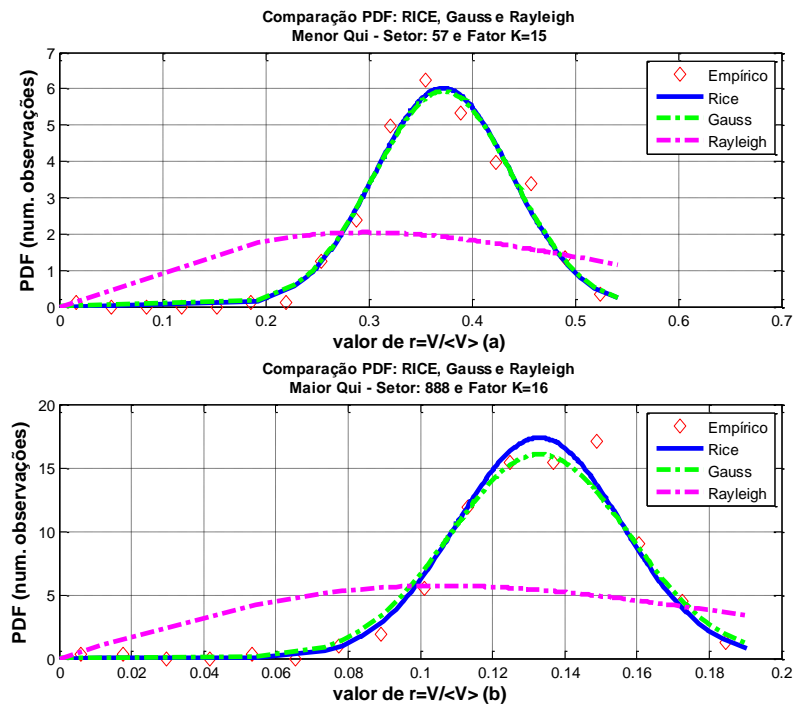


Figura 6.35 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 20

Tabela 6.13 – Estatística do trecho 21

Trecho: 21 Quantidade total setores no trecho: 932				

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui:	Gauss	Rayleigh	Rice	
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	643	150	694	

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor				
	Gauss	Rayleigh	Rice	
Total com menor valor Qui:	210	49	463	

Maior e menor valor de K e Qui que passou no teste				

Menor valor de K:	0.0 para Qui:	27.6		
Maior valor de K:	50.0 para Qui:	11.6		

Valor de K:	7.0 para menor Qui:	0.0		
Valor de K:	8.0 para maior Qui:	21.2		

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo	
	0.0	8.0	50.0	

Menor e maior valor de Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice				
	Menor Q:	0.0	0.0	0.0
	Maior Q:	20.5	21.2	21.2

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice				
Passou exclusivamente:	9	6	50	
Nenhuma PDF passou:	221	221	221	
Todas passaram ao mesmo tempo:	130	130	130	

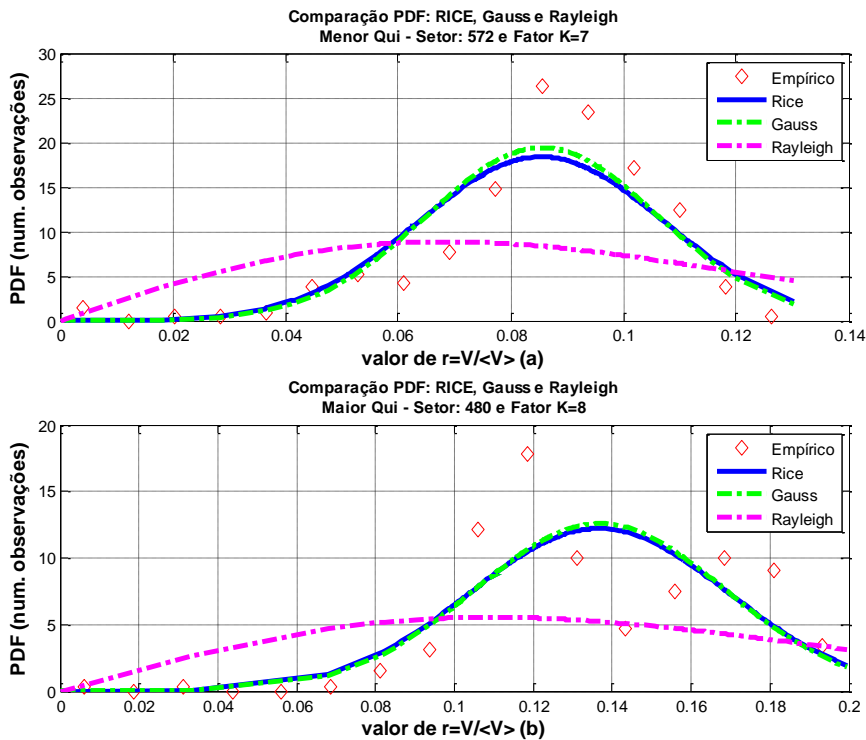


Figura 6.36 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 21

Tabela 6.14 – Estatística do trecho 22

Trecho: 22 Quantidade total setores no trecho: 940			

Quant. de vezes que a PDF passou no teste Qui:	Gauss	Rayleigh	Rice
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	935	725	934

Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor	Gauss	Rayleigh	Rice
Total com menor valor Qui:	317	115	547

Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste			

Menor valor de K:	0.0 para QUI:	0.0	
Maior valor de K:	50.0 para QUI:	0.0	

Valor de K:	6.0 para menor QUI:	0.0	
Valor de K:	5.0 para maior QUI:	18.1	

Valor de K da PDF de Rice:	mínimo	médio	máximo
	0.0	5.0	50.0

Menor e maior valor de Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice
Menor Q:	0.0	0.0	0.0
Maior Q:	13.8	18.1	18.1

Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF:	Gauss	Rayleigh	Rice
Passou exclusivamente:	2	0	1
Nenhuma PDF passou:	3	3	3
Todas passaram ao mesmo tempo:	723	723	723

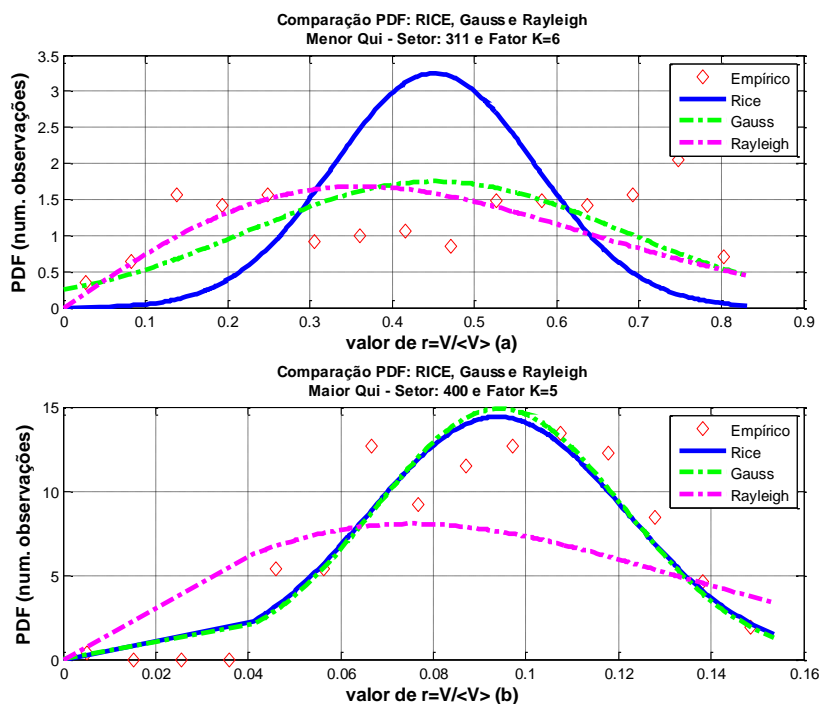


Figura 6.37 – PDF com menor e maior teste qui-quadrado para Rice no trecho 22

A análise dos dados estatísticos e da função densidade de probabilidade mostra que a função densidade de probabilidade Rice é a que melhor descreve a variabilidade rápida do sinal na pequena área. Também pode ser observado que nos trechos 3 e 22 a função densidade de probabilidade Rice não apresentou um bom ajuste em termos gráficos, embora numericamente tenha apresentado o melhor ajuste. O trecho 3 apresentou elevada quantidade de desvanecimentos profundos enquanto que o trecho 22 apresentou menor quantidade. Em ambos os casos, o desvanecimento profundo observado, pode ser atribuído à obstrução devido a embarcações fundeadas.

6.3.3 Taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento

Os gráficos, apresentados da Figura 6.38 à Figura 6.51, mostram a taxa de cruzamento de nível e a duração média do desvanecimento de pequenas áreas (setores), selecionadas dos trechos percorridos. Estas estatísticas foram calculadas a partir dos dados medidos em campo e, em seguida, comparadas com as respectivas taxas de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento teóricos. Os gráficos apresentados representam aqueles que obtiveram o melhor valor no teste de aderência, na avaliação da estatística de distribuição do desvanecimento rápido. Os cálculos dos valores teóricos foram feitos conforme apresentado nas equações 2.52, 2.53, 2.54, 2.55 e 2.56.

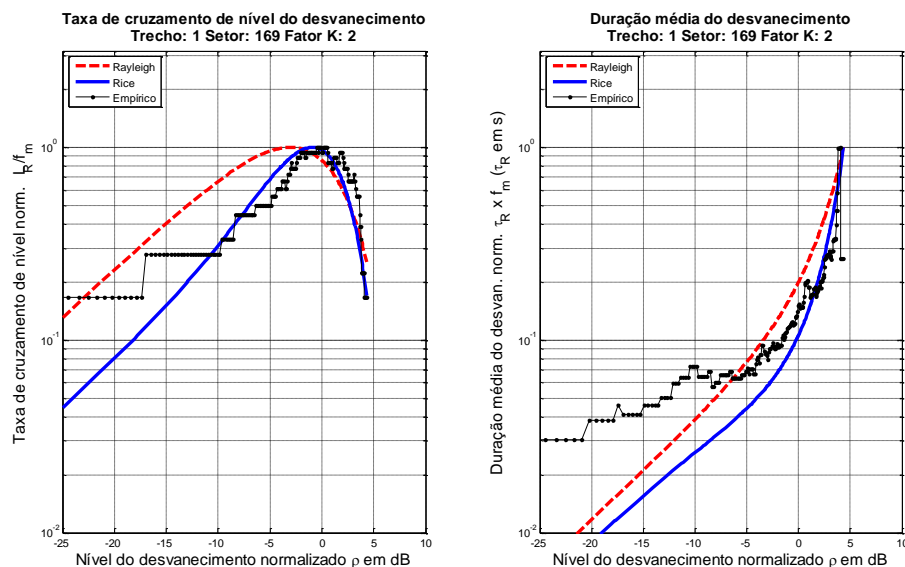


Figura 6.38 – TCN e DMD - trecho 1

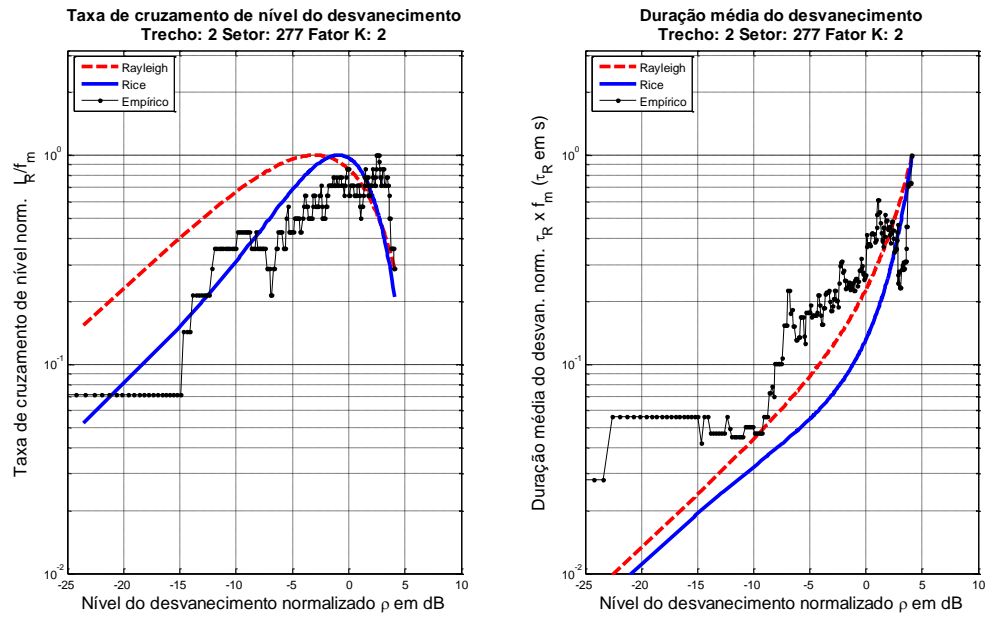


Figura 6.39 – TCN e DMD - trecho 2

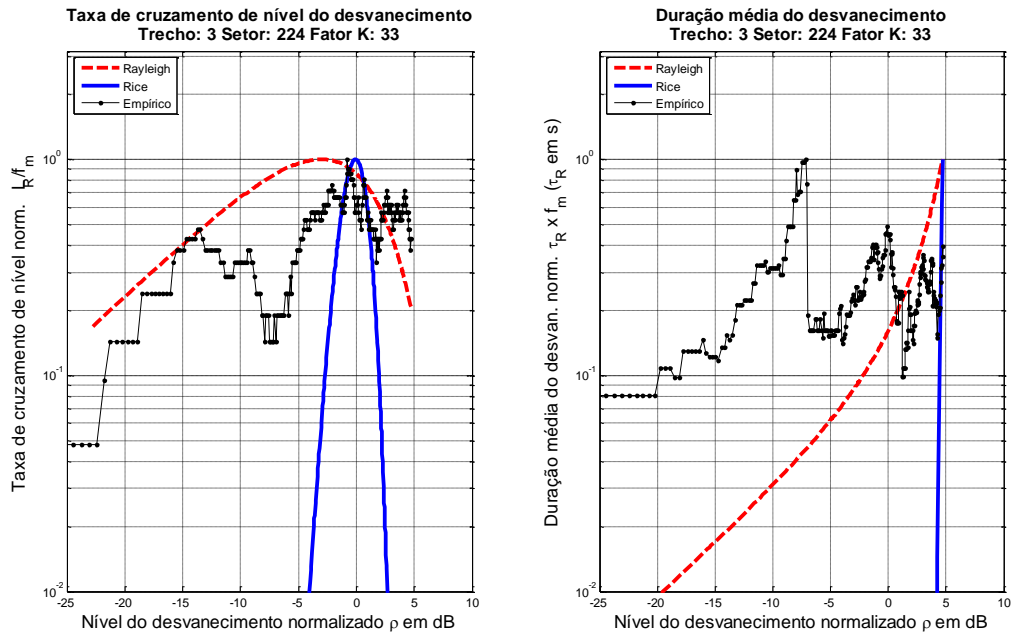


Figura 6.40 – TCN e DMD - trecho 3

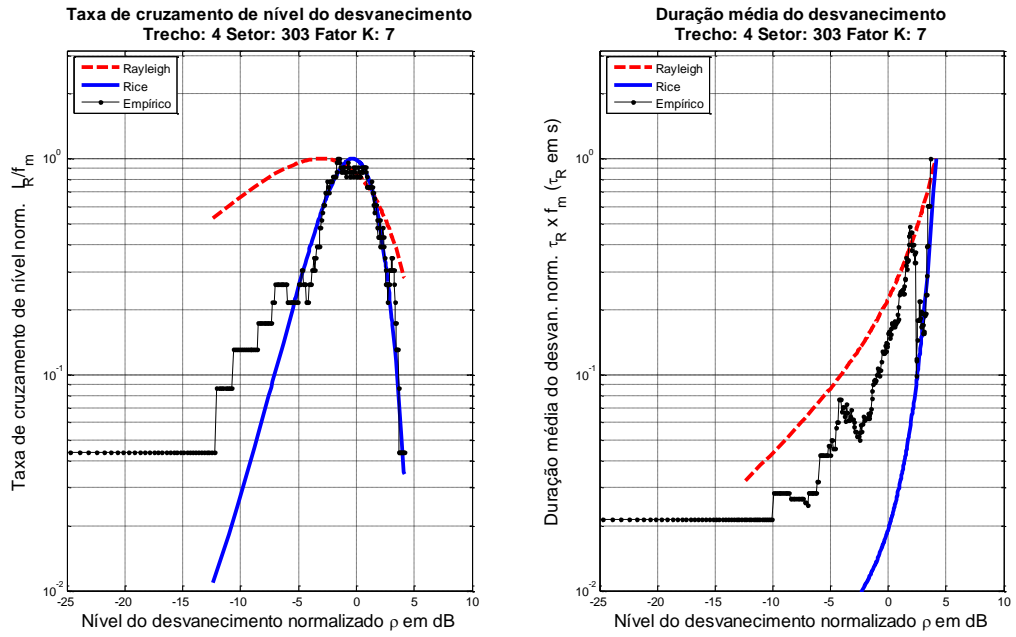


Figura 6.41 – TCN e DMD - trecho 4

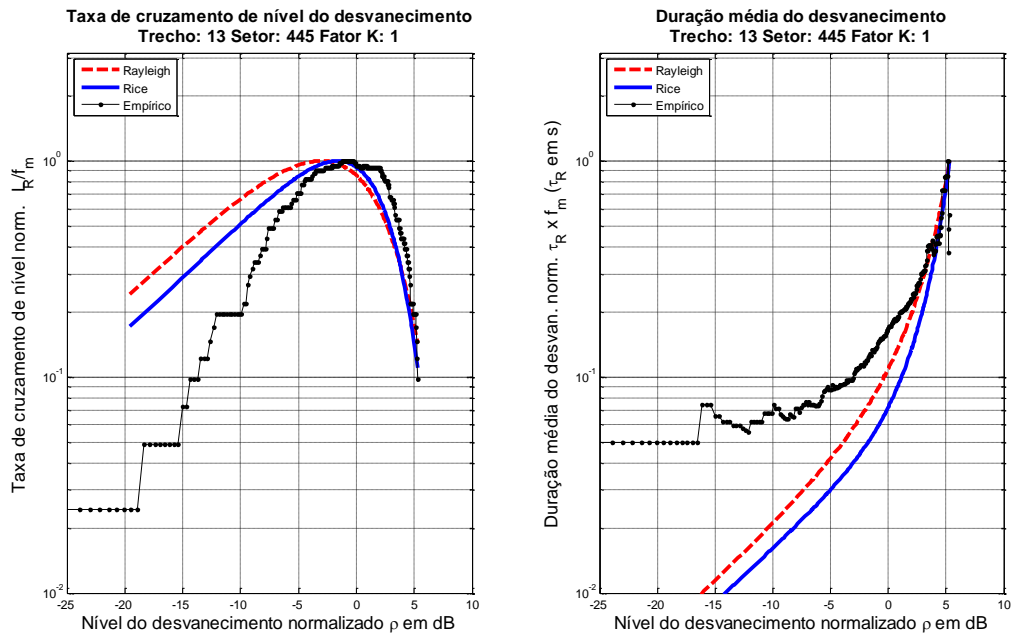


Figura 6.42 – TCN e DMD - trecho 13

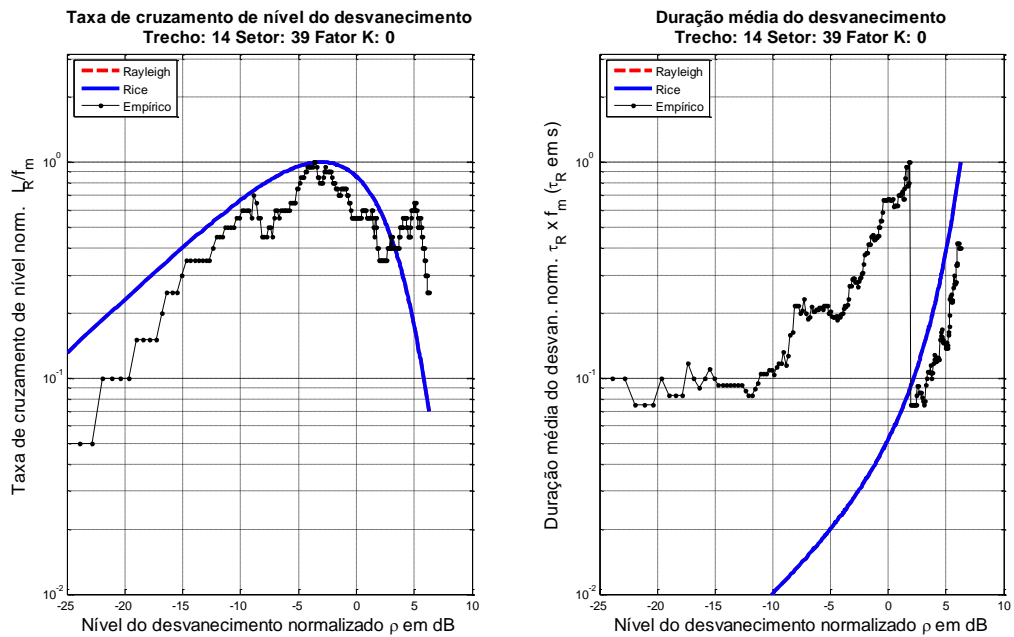


Figura 6.43 – TCN e DMD - trecho 14

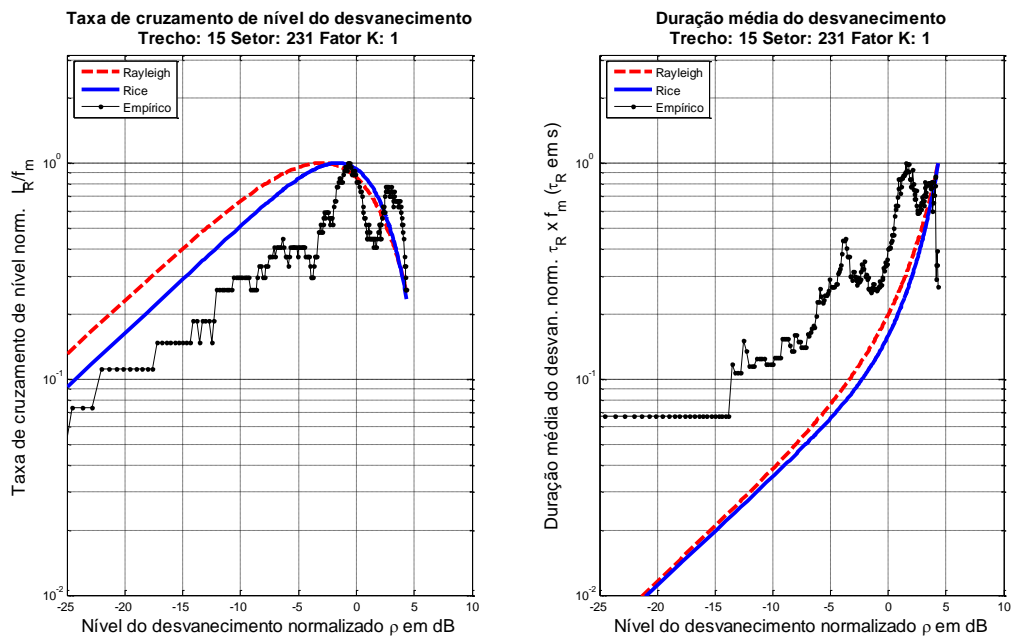


Figura 6.44 – TCN e DMD - trecho 15

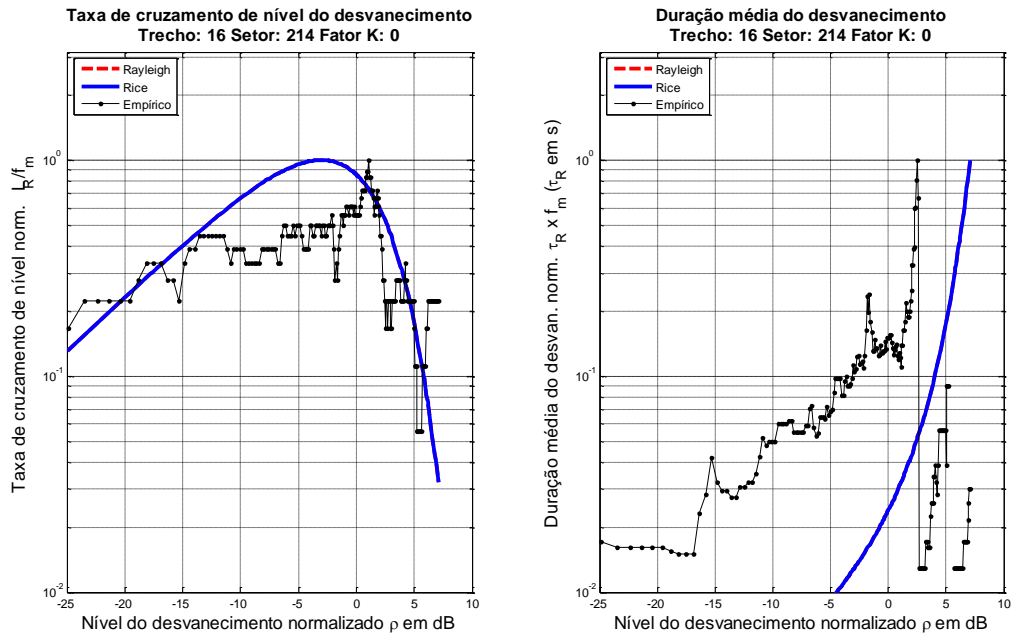


Figura 6.45 – TCN e DMD - trecho 16

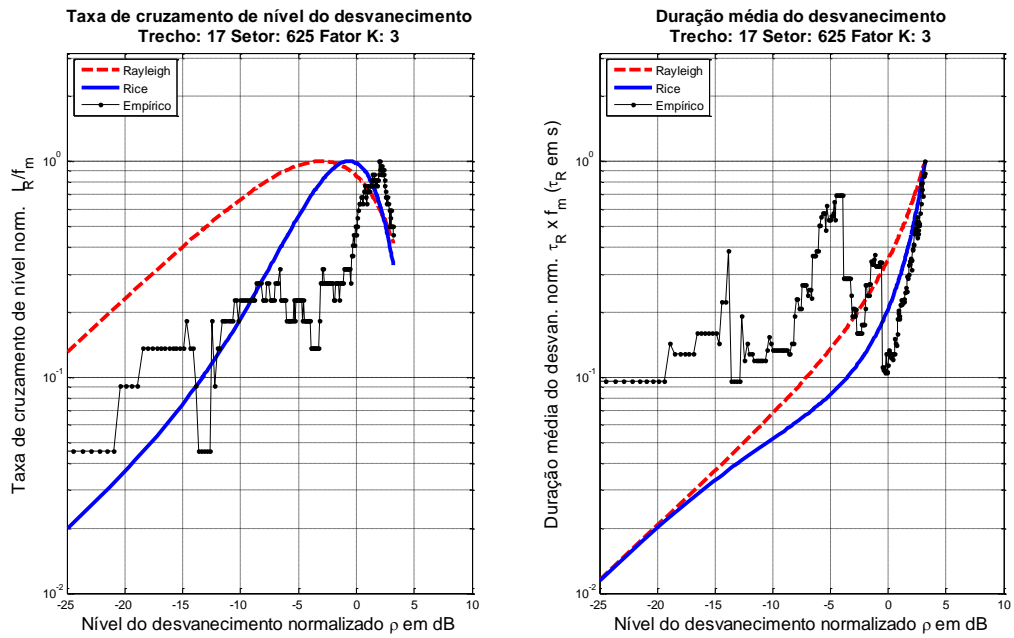


Figura 6.46 – TCN e DMD - trecho 17

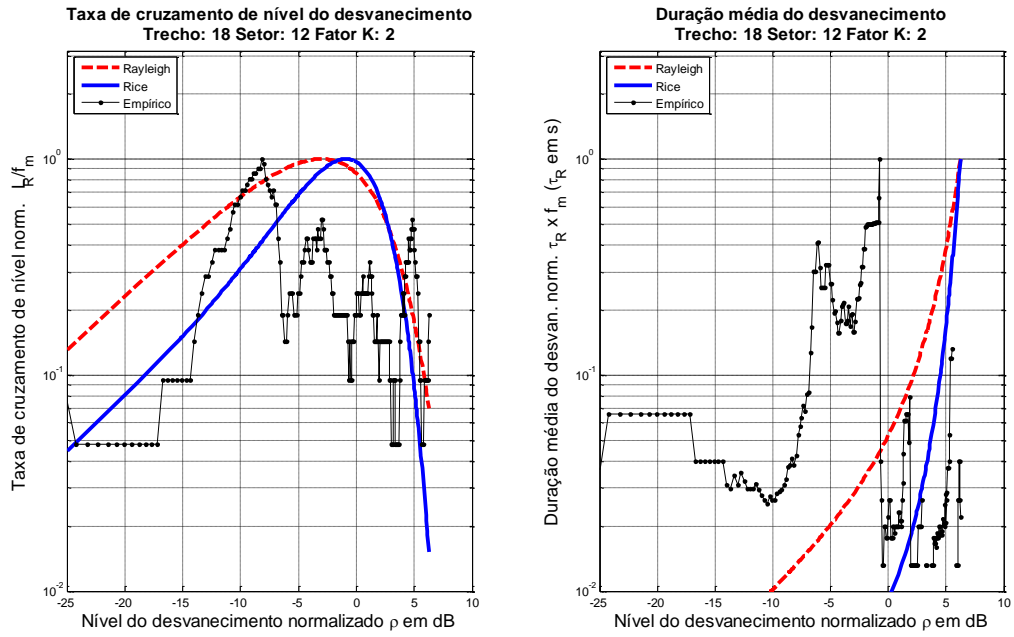


Figura 6.47 – TCN e DMD - trecho 18

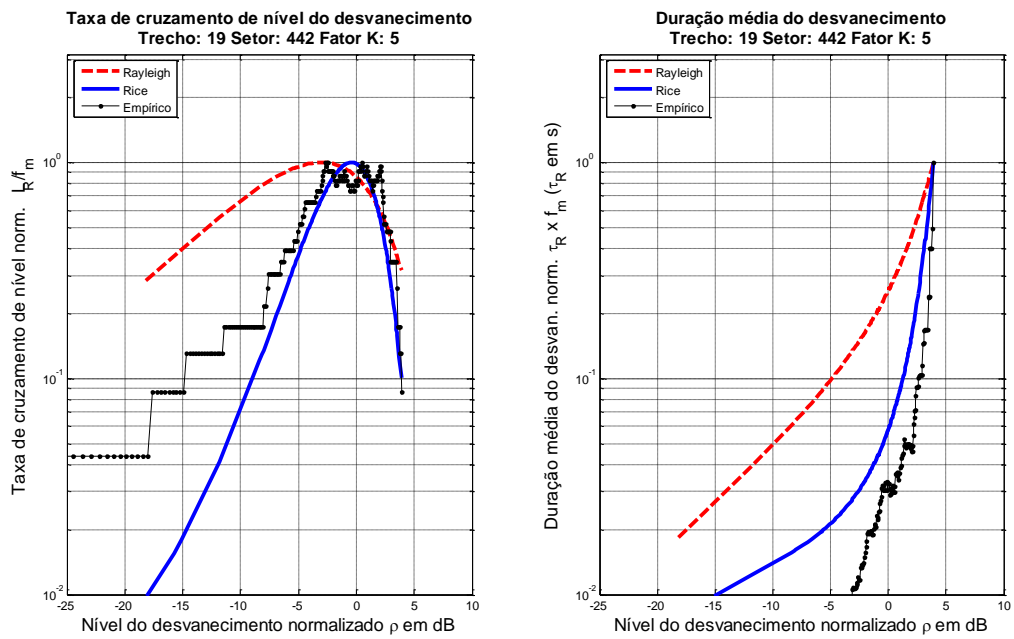


Figura 6.48 – TCN e DMD - trecho 19

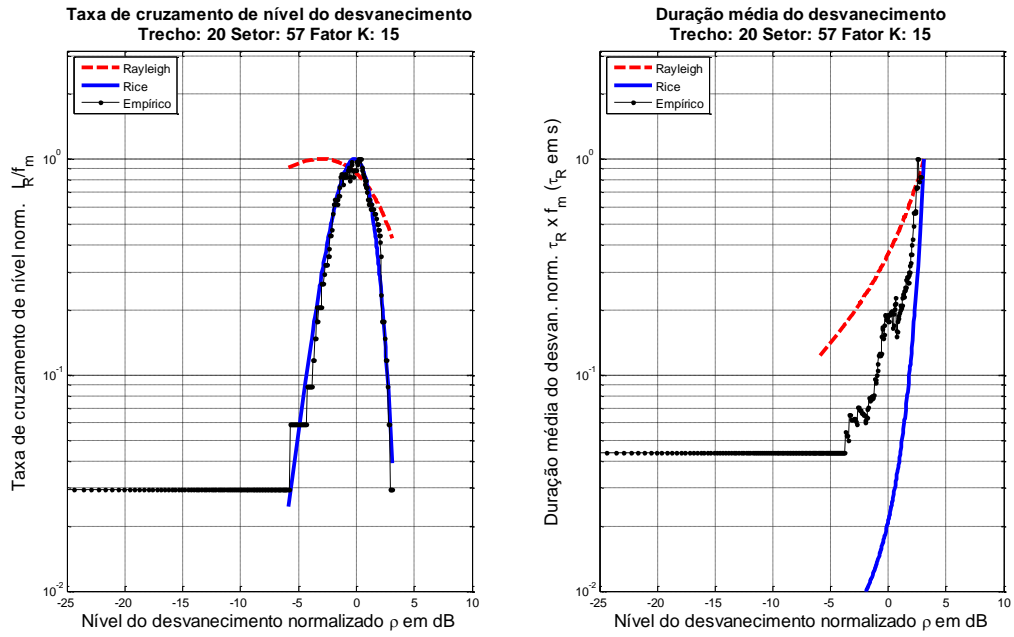


Figura 6.49 – TCN e DMD - trecho 20

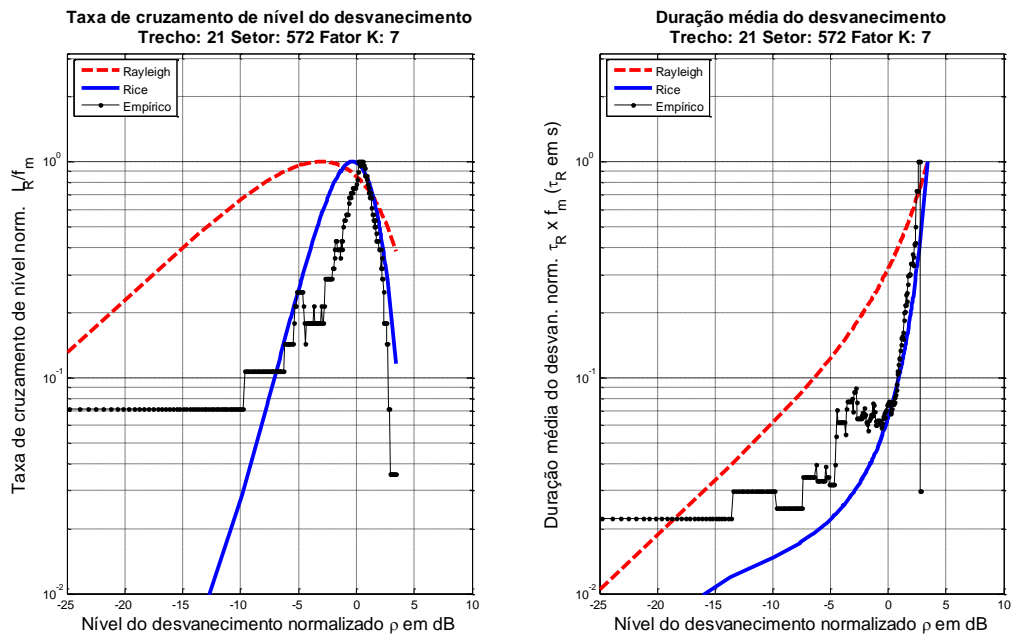


Figura 6.50 – TCN e DMD - trecho 21

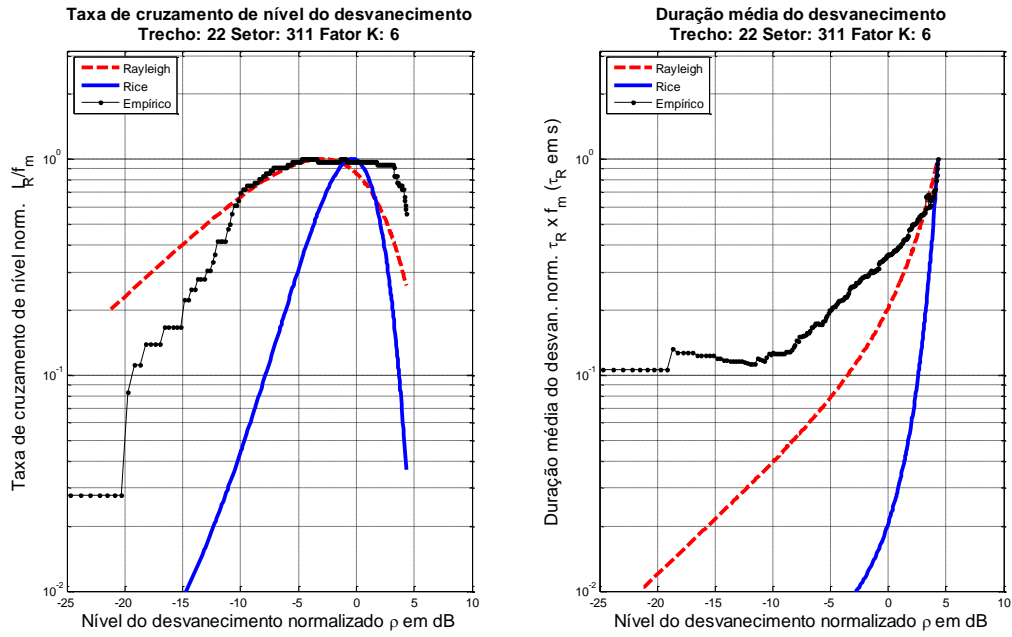


Figura 6.51 – TCN e DMD - trecho 22

A análise dos resultados, calculados a partir dos dados medidos, mostra que, embora haja alguma concordância com os valores teóricos, nem todos apresentam uma adequada aderência. Isto leva a sugerir que outras distribuições devam ser analisadas.

Cabe observar que uma avaliação de outros setores mostrou que os gráficos apresentados são bastante representativos dos setores não mostrados.

6.4 Dependência da distância, modelo de cobertura e desvanecimento lento

Nesta seção, será analisada a dependência da distância, através da curva de melhor ajuste e do fator de atenuação, o modelo de cobertura e o desvanecimento lento do sinal, já separado do desvanecimento rápido.

O cálculo do fator de atenuação foi feito com base no procedimento apresentado por [23] e [24] e detalhado no capítulo 2.

As Figuras 6.54, 6.55 e 6.56, mostram a variação lenta do sinal recebido e a curva de melhor ajuste, a partir da qual o fator de atenuação foi calculado. Deve ser observado que o sinal medido se encontra na zona de interferência, pois conforme a Equação 2.7, a distância máxima dos testes não excedeu ao limite dado pela distância de quebra, ou seja:

$$R_b = 4 \frac{42 \cdot 5,5}{0,08534} \cong 10.830m$$

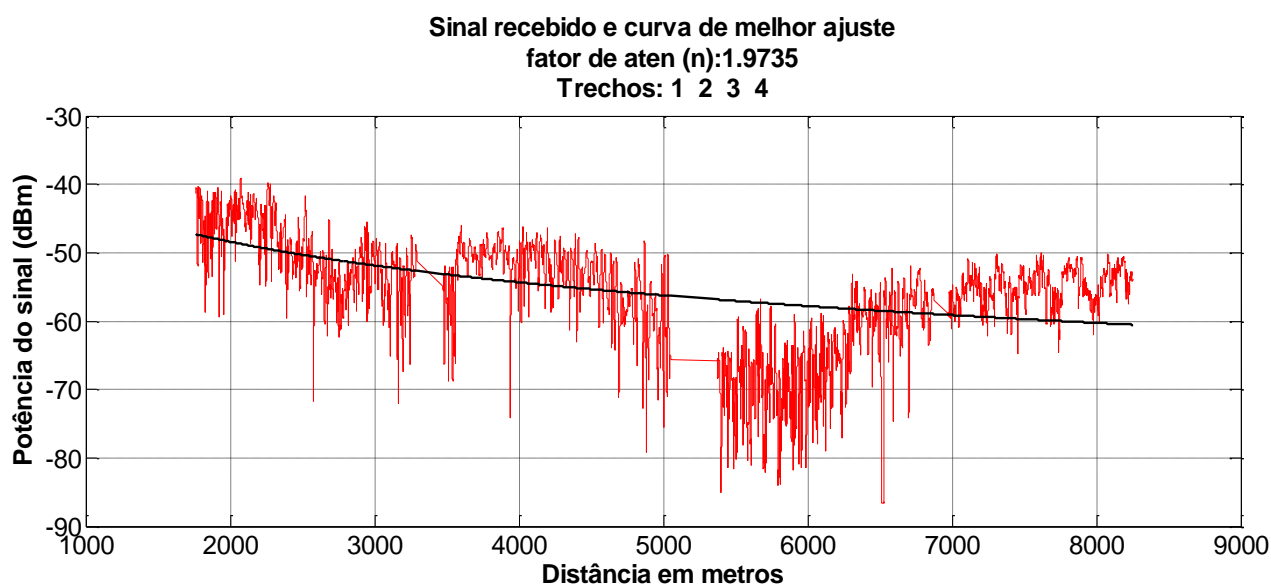


Figura 6.52 – Desvanecimento lento, curva de melhor ajuste e fator de atenuação para os trechos da radial 1

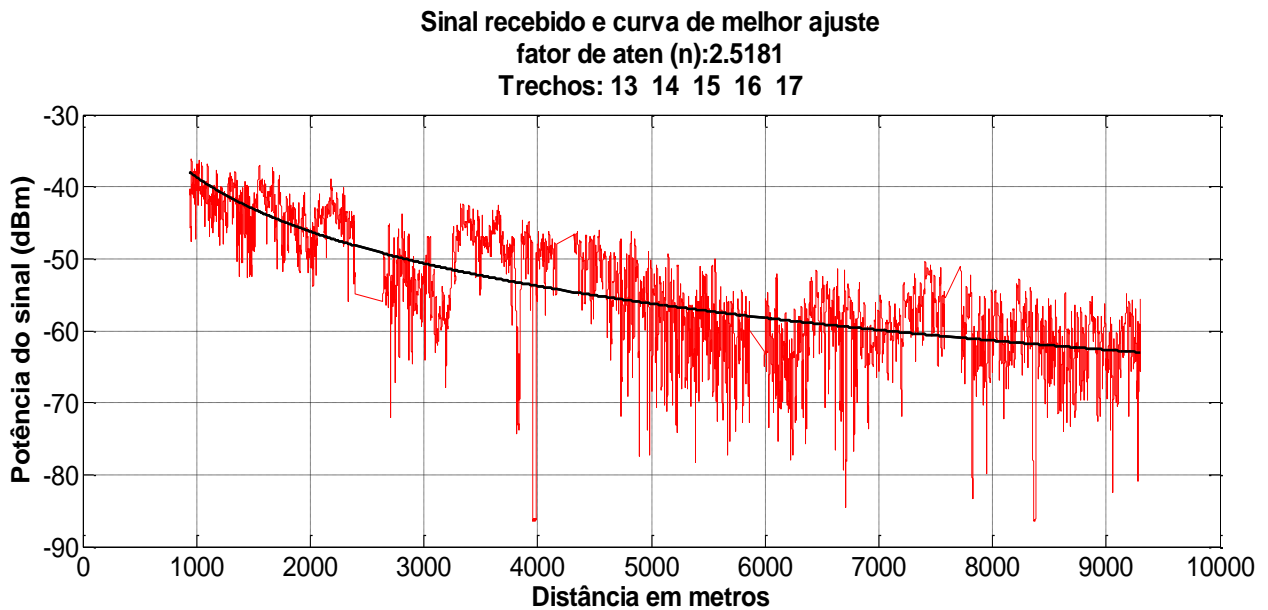


Figura 6.53 – Desvanecimento lento, curva de melhor ajuste e fator de atenuação para os trechos da radial 3

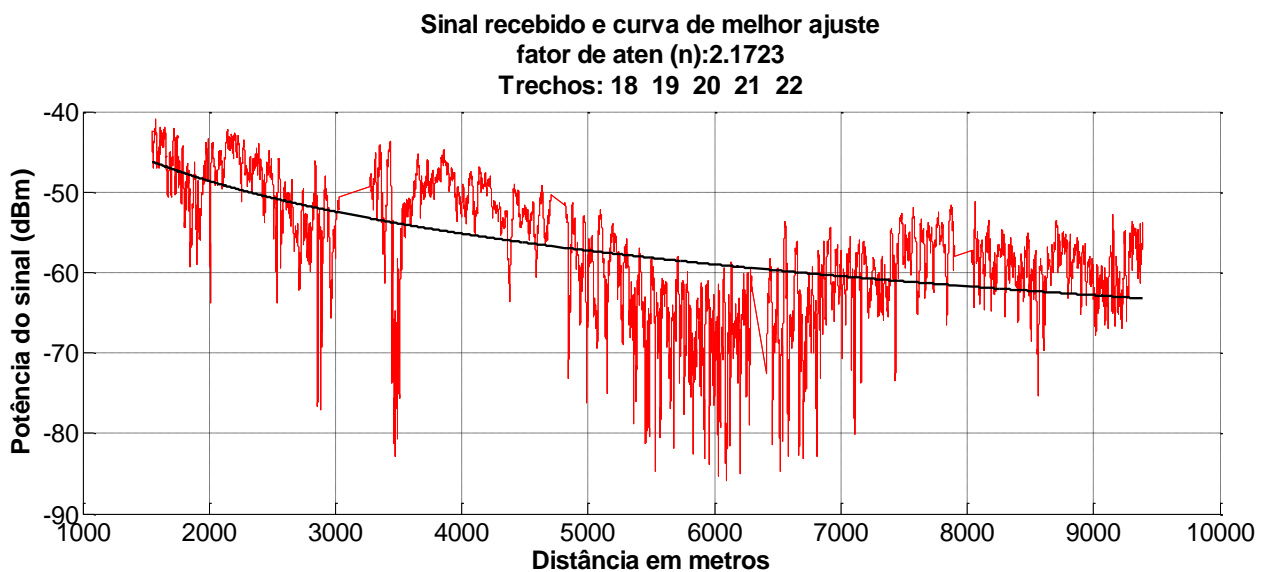


Figura 6.54 – Desvanecimento lento, curva de melhor ajuste e fator de atenuação para os trechos da radial 4

A análise do fator de atenuação mostra que a curva de melhor ajuste apresenta um fator de atenuação próximo ao do espaço livre:

- Radial 1: fator de atenuação = 1,97;
- Radial 3: fator de atenuação = 2,52;
- Radial 4: fator de atenuação = 2,17.

A avaliação da cobertura foi feita através do nível do sinal medido, comparado com o nível do sinal que seria obtido, se um dos modelos de perda de percurso selecionados fosse utilizado.

Pode ser verificado que o modelo SUI/Erceg apresenta previsão do nível do sinal bastante pessimista em relação ao sinal medido, o mesmo acontecendo para o modelo Hata-Okumura e Hata COST231.

O gráfico da Figura 6.55 apresenta uma comparação do sinal medido com o resultado do modelo SUI/Erceg. Embora não haja recomendação da utilização deste modelo para o ambiente marítimo, uma análise comparativa permite avaliar o grau de aderência ou discrepância do modelo aplicado ao ambiente de estudo, devendo ser observado que este modelo é indicado pelo WiMAX fórum para ambientes urbanos onde se tem, em geral, propagação sem visibilidade, NLOS.

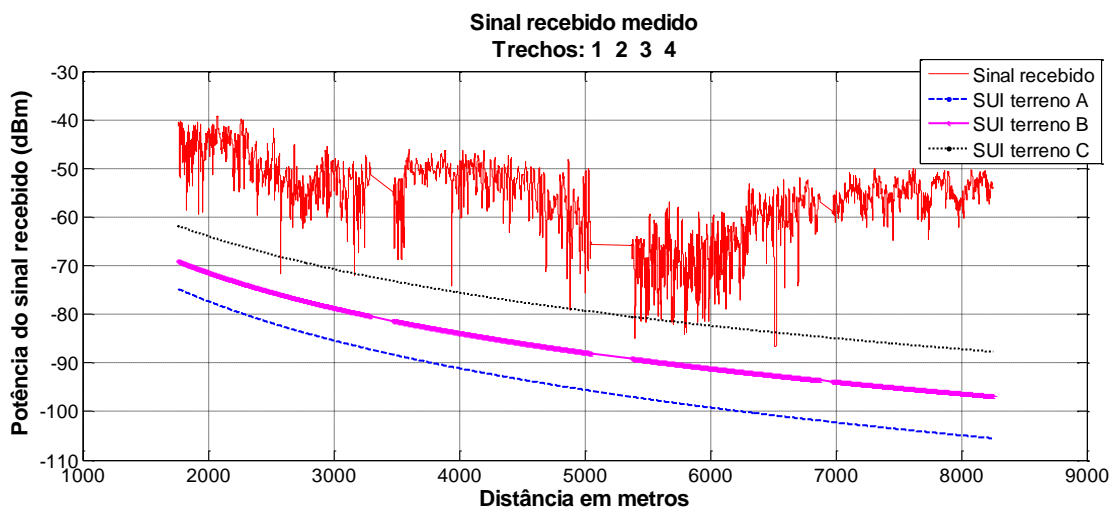


Figura 6.55 – Comparação do modelo SUI com o sinal recebido

Após análise, foi constatado que o modelo de dois raios para a Terra plana apresenta a melhor aderência com o sinal medido. Os gráficos na Figura 6.56 e Figura 6.57 apresentam o resultado da comparação do sinal na radial com este modelo. A curva teórica foi calculada com base na Equação 2.4

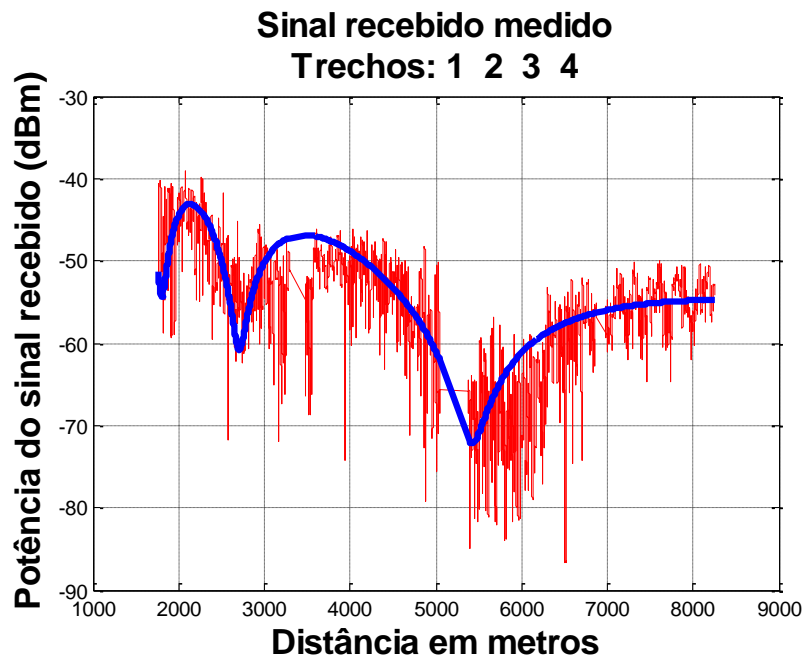


Figura 6.56 – Modelo de melhor ajuste na radial 1 (trechos: 1, 2, 3 e 4)

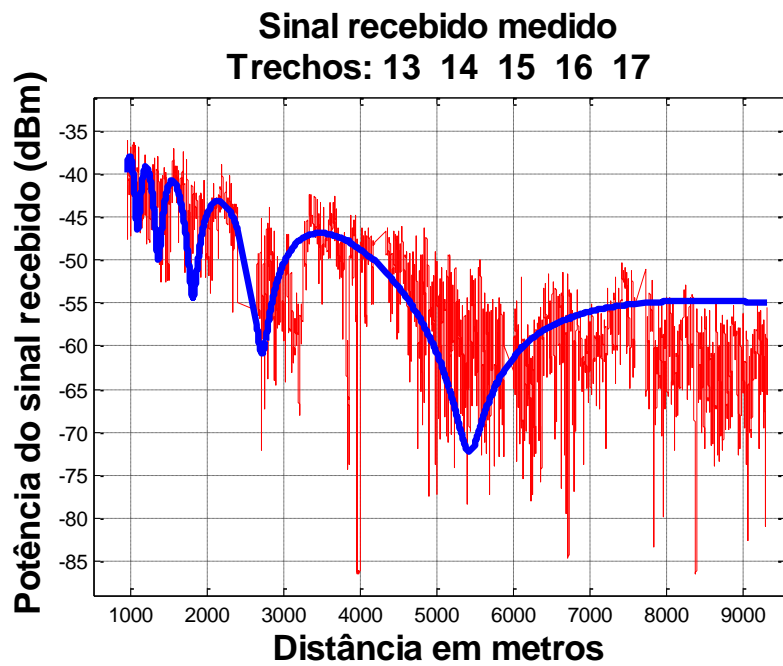


Figura 6.57 – Modelo de melhor ajuste na radial 3 (trechos: 13, 14, 15, 16 e 17)

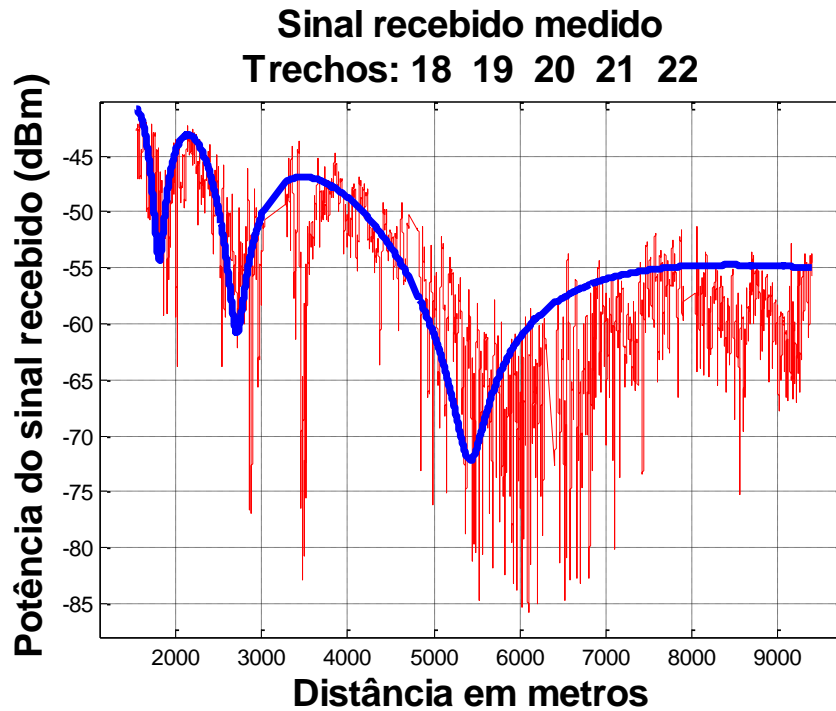


Figura 6.58 – Modelo de melhor ajuste na radial 4 (trechos: 18,19, 20, 21 e 22)

O modelo de dois raios para Terra plana mostra-se como melhor alternativa para o cálculo da variação lenta do sinal, dentro da zona de interferência, considerando uma forte superfície refletora, uma vez que é capaz de prever as variações de elevação e quedas lentas e profundas que ocorrem com o sinal, entretanto, os desvanecimentos que ocorrem ainda não podem ser previstos por este modelo, o que suscita a busca por explicações alternativas.

O modelo de dois raios foi desenvolvido considerando uma situação de reflexão na Terra plana e lisa e altura das antenas fixas. Para modificar o modelo, pode-se alterar a Terra plana com superfície lisa, adicionando-se a rugosidade do terreno e, em relação à altura da antena, pode ser adicionado um fator de variação desta altura, no presente caso, altura da antena receptora devido ao movimento de subida e descida da embarcação nas ondas.

A rugosidade (σ) do terreno (em metros) pode ser calculada pelo critério de Rayleigh, expresso em [14], considerando em modelo geométrico, como:

$$C = \frac{4\pi \cdot \sigma \cdot \sin(\psi)}{\lambda} \quad (6.3)$$

onde:

- ψ : ângulo de incidência na superfície refletora;

- σ : rugosidade da superfície em metros;
- λ : comprimento de onda.

Com ψ muito pequeno, a equação pode ser simplificada fazendo $\text{sen}(\psi)=\psi$, resultando em:

$$C = \frac{4\pi \cdot \sigma \cdot \psi}{\lambda} \quad (6.4)$$

O critério estabelece que para, $C \leq 0,1$, existe uma reflexão especular e a superfície pode ser considerada lisa. Para $C > 10$, existe uma reflexão altamente difusa e a onda refletida é muito pequena, podendo ser desprezada [14] e [17].

Considerando-se a distância mínima e máxima percorrida nos testes pode-se calcular o ângulo de incidência. O gráfico da **Figura 6.59** apresenta o ângulo de incidência em função da distância para a radial 1.

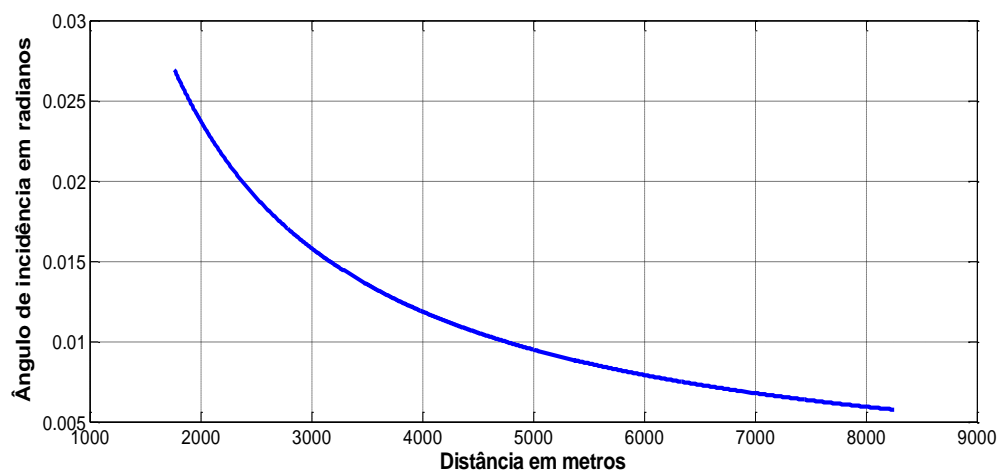


Figura 6.59 – Ângulo de incidência em função da distância

Em seguida, pode-se calcular o parâmetro C , também em função da distância, conforme mostrado na Figura 6.62.

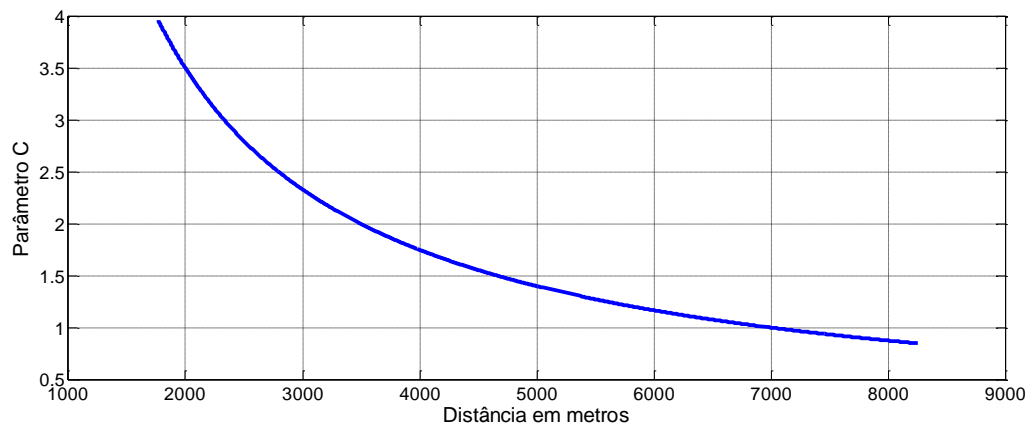


Figura 6.60 – Parâmetro C (critério de Rayleigh) em função da distância

Pode-se, então, concluir que a superfície tende a uma superfície lisa à medida que ocorre um afastamento do receptor e o raio refletido não pode ser desprezado, o que concorda com os resultados das medições.

Considerando, agora, a variação da altura da antena receptora, pode ser facilmente verificado que está diretamente ligada à variação da ondulação da superfície do mar. Nos modelos de propagação, tradicionalmente utilizados, muitos autores propuseram fatores de correção para a altura da antena receptora, que se mantém fixa. No entanto, esta correção apenas ajusta o modelo para uma altura da antena diferente da qual havia sido proposto. No ambiente marítimo, esta variação pode ser dinâmica e, como tal, deveria ser inserida como fator de previsão em um modelo para este ambiente. Neste sentido, uma questão que surge é: qual o grau de variação da altura da antena e como medir ou estimar estes valores?

As condições do mar representam um importante fator de avaliação, para que seja possível efetuar uma melhor previsibilidade do nível do sinal recebido ou da atenuação de percurso. Podem ser destacados três elementos que devem ser considerados no cálculo para melhorar esta previsibilidade:

- Obstrução da 1ª zona de Fresnel;
- Rugosidade da superfície;
- Altura das antenas.

Os dados para avaliar a rugosidade da superfície e da altura da antena receptora podem ser obtidos das condições do mar. Estas condições podem ser medidas através de

equipamentos que fornecem dados, tais como: altura e direção das ondas, temperatura do mar, intensidade e direção dos ventos, etc. No entanto, nem sempre equipamentos para obtenção destes dados estão disponíveis. Neste caso, as escalas de avaliação das condições do mar, como a escala Beaufort, podem ser utilizadas para estimar os dados necessários, sendo que a principal informação que pode ser obtida a partir da escala Beaufort é a altura das ondas.

Em [10] e [39] são derivadas expressões para cálculo da rugosidade da superfície do mar. Faremos uso das expressões obtidas não para determinar a rugosidade da superfície, mas com o intuito de aplicar aqueles conceitos à variação da altura da antena de recepção, uma vez que foi verificado que a superfície não se apresenta rugosa para a frequência utilizada e condições observadas naquele momento, mas que a variação lenta do nível do sinal recebido poderia ser explicada, pelo menos em parte, pela variação da altura da antena, decorrente dos efeitos da ondulação do mar na embarcação e, conseqüentemente, na altura da antena receptora.

Pode-se considerar que a superfície do mar se apresenta como um conjunto de tiras ondulatórias que formam as ondas e que seguem uma função harmônica do tipo senoidal, mas com altura e comprimentos aleatórios [10], [39]. Esta função harmônica irá se refletir também de modo harmônico, na embarcação, cuja variação no sentido vertical pode, da mesma forma que as ondas do mar, ser descrita por:

$$y = H \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi}{\Lambda} x\right) \quad (6.5)$$

onde:

- y : é a altura instantânea da embarcação e uma variável aleatória;
- H : é uma variável aleatória da altura da embarcação com distribuição normal;
- x : é a distância horizontal percorrida;
- Λ : é o comprimento da onda de oscilação da embarcação com distribuição uniforme.

Como pode ser verificado, pela Equação 6.5, foi suposto que a ondulação da embarcação no mar é do tipo senoidal, ou seja, a altura instantânea irá variar de modo aleatório seguindo uma função seno, cuja amplitude será uma variável aleatória, com

distribuição normal, e cujo comprimento de oscilação pode ser modelado por uma variável aleatória com distribuição uniforme.

Assim, a densidade de variação da altura da embarcação no mar terá distribuição normal dada por:

$$K(H) = \frac{\exp\left(-H^2 / 2\sigma_H^2\right)}{\sigma_H \sqrt{2\pi}} \quad (6.6)$$

onde:

- σ_H : é o desvio padrão da altura de oscilação da embarcação.

E a densidade do comprimento de oscilação da embarcação possui distribuição uniforme dada por:

$$F(\theta) = \begin{cases} 1/\pi & |\theta| < \pi/2 \\ 0 & |\theta| \geq \pi/2 \end{cases} \quad (6.7)$$

com:

$$\theta = \frac{2\pi}{\Lambda} x \quad (6.8)$$

Com estas considerações, pode ser verificado que a altura da antena da embarcação, com ondulação, irá variar em torno da altura da antena sem ondulação. Assim, obtém-se a altura da antena da embarcação como:

$$h(y) = H \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi}{\Lambda} x\right) + h_2 \quad (6.9)$$

Desta forma, quando não houver ondulação da embarcação ($H=0$), a altura da antena será simplesmente h_2 .

Esta altura, assim calculada, é normalizada para o valor médio que será a altura da antena de recepção, tornando-se um valor unitário caso não exista onda e um valor aleatório caso haja ondulação:

$$h_norm(y) = h(y) / \langle h(y) \rangle \quad (6.10)$$

Para o valor da altura, em decibéis, será usada a aproximação da perda de percurso quando a distância entre a antena do transmissor e do receptor for maior que a distância limite para a distância de quebra R_b [13]. Assim, sabendo que a distância de quebra é dada por:

$$R_b = \frac{4h_1h_2}{\lambda} \quad (6.11)$$

onde:

- h_1 : Altura da antena do transmissor;
- h_2 : altura da antena do receptor.

e a perda de percurso é dada por:

$$PL = \left[\frac{(h_1h_2)^2}{R^4} \right]^{-1} \quad (6.12)$$

onde:

- R : é a distância que separa a antena transmissora da receptora.

a perda de percurso em decibéis será:

$$PL(dB) = -20\log_{10}(h_1) - 20\log_{10}(h_2) + 40\log_{10}(R) \quad (6.13)$$

Pode ser verificado que o valor da perda devido a altura da antena pode ser calculado, em decibéis, como: $20\log_{10}(h_2)$.

Uma constatação e vantagem do uso desta formulação, em decibéis, é que se obtêm zero, caso não haja ondulação, e um valor diferente de zero, caso haja ondulação. Logo, retornado ao desenvolvimento, obtém-se:

$$h_dB(y) = 20 \cdot \log(h_norm(y)) \quad (6.14)$$

O valor, assim obtido, será somado ao valor calculado da perda de percurso pelo modelo de dois raios, dado pela Equação 2.4 como:

$$PL = \left[\left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \frac{e^{-jkr_1}}{r_1} + \Gamma(\theta_2) \frac{e^{-jkr_1}}{r_2} \right|^2 \right]^{-1}$$

e pode ser colocada em função das condições do mar, dada pela escala Beaufort. Desta forma, seria possível prever e simular a perda de percurso com maior precisão em função das condições observadas do mar como:

$$PL_{h_2}^B = -[PL(dB) + h_{-} dB(y)] \quad (6.15)$$

onde:

- B : é a escala de vento Beaufort;
- h_2 : altura da antena receptora em relação ao nível médio do mar.

A altura máxima provável das ondas do mar, decorrente da escala Beaufort, fornecerá o valor que será multiplicado por 7 para se obter σ_H . O valor numérico 7 foi obtido, empiricamente, de modo a se adequar o valor da altura máxima provável das ondas aos dados medidos e relacioná-los à altura de oscilação da embarcação. Já o valor de Λ foi obtido a partir do comprimento médio espacial da variação lenta do sinal medido, fixado em 24 metros. Este valor está relacionado com o comprimento de onda de oscilação da embarcação e com as dimensões da embarcação. Em relação ao valor de Λ , cabem duas observações. A primeira, relacionada ao balanço da embarcação: é razoável supor que quando não há ondulação no mar a embarcação apresentará pouca ou nenhuma oscilação. E a segunda, relacionada às características dimensionais, forma e de peso da embarcação: embarcações menores e mais leves estarão mais sujeitas as ondulações do mar enquanto que embarcações maiores e mais pesadas estarão menos sujeitas a estas condições. Foi verificado que nas condições dos testes o valor de Λ é proporcional ao comprimento da embarcação. Esta verificação merece maior aprofundamento no estudo da influência das ondas do mar na movimentação de uma embarcação, de modo a se avaliar as aproximações aqui feitas.

Em resumo, as ondulações do mar provocam a movimentação da embarcação cujo balanço oscilatório irá depender de suas dimensões, peso e forma. E mais: a variação da altura da antena receptora estará diretamente ligada à oscilação da embarcação.

Com estas considerações, a potência no receptor será, então, obtida por:

$$P_r = PL_{h_2}^B + P_t + G_{LNA} + G_{Tx} + G_{Rx} - Acc \quad (6.16)$$

Para avaliação dos resultados, foi simulada a potência do sinal recebido em comparação com os valores medidos supondo uma condição observada equivalente à escala Beaufort 2, que melhor representa as condições observadas no mar, no dia dos testes. Os valores de H foram obtidos através da geração de números aleatórios com distribuição Normal, com desvio padrão σ_H .

A Figura 6.61 mostra o sinal medido na radial 1 (trechos 1, 2, 3 e 4):

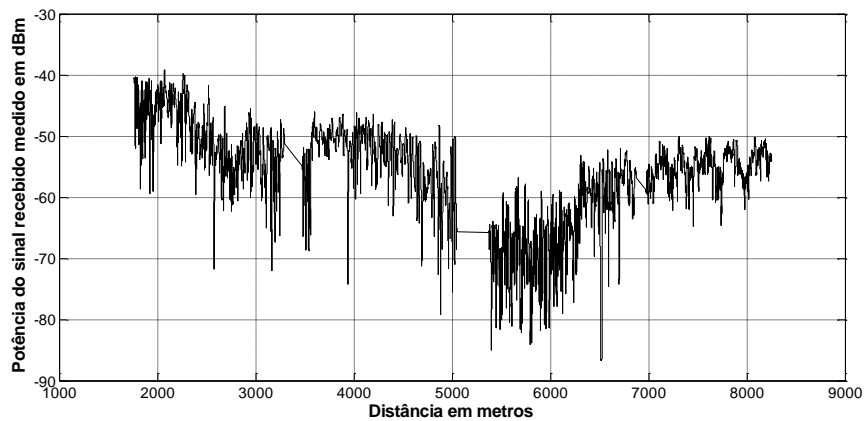


Figura 6.61 – Sinal medido na radial 1

A Figura 6.62 apresenta o sinal simulado para a mesma radial 1.

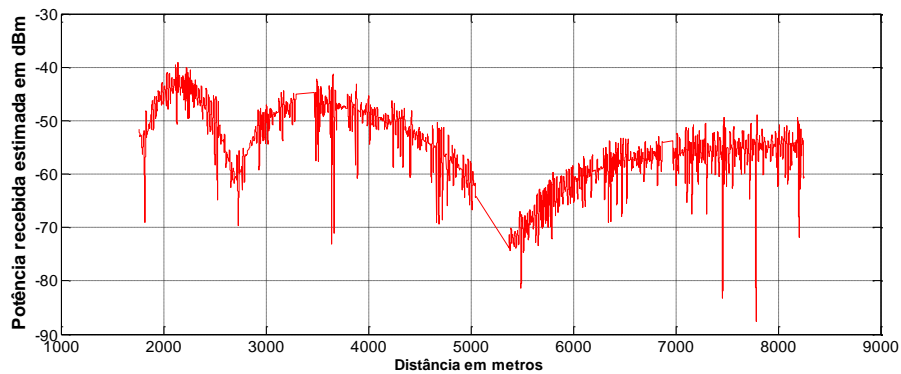


Figura 6.62 – Sinal simulado para radial 1

A Figura 6.63 mostra detalhes dos sinais medidos e simulados.

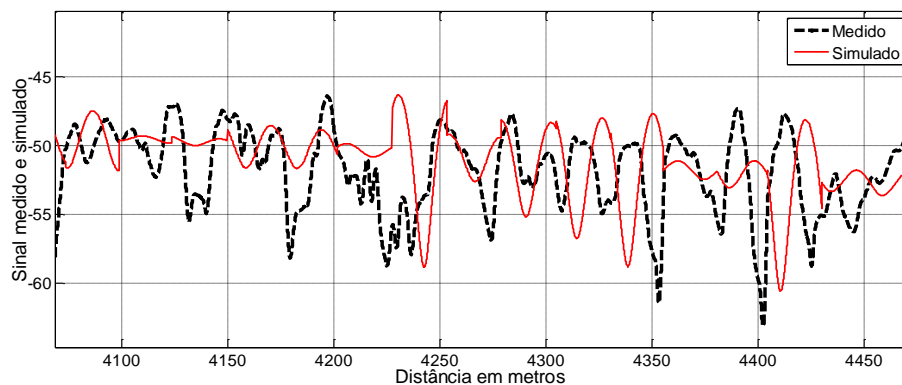


Figura 6.63 – Comparação de segmento do sinal medido com o simulado

Em seguida, na Figura 6.64, pode-se comparar o sinal medido superposto ao valor simulado e avaliar algumas estatísticas.

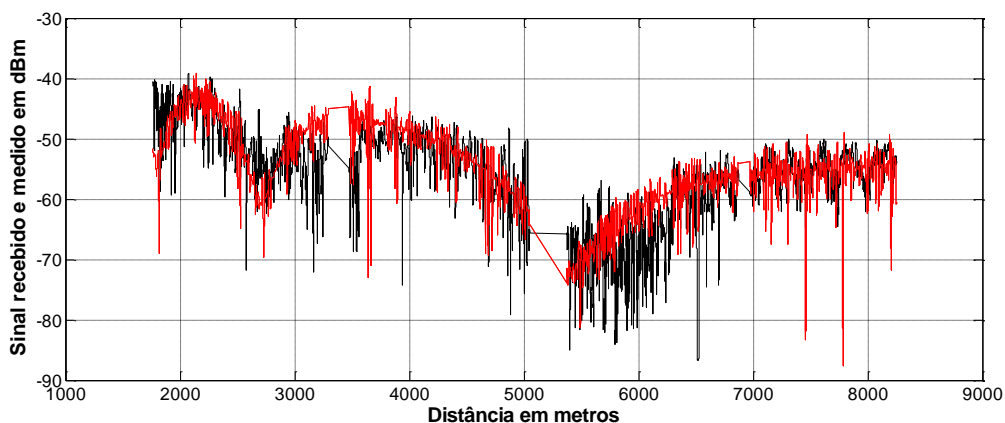


Figura 6.64 – Sinal medido superposto ao simulado

Pode ser verificado que a proposição apresenta potencial de simular o nível do sinal recebido em função da variação da altura da antena, decorrente das condições observadas do mar, fornecidas pela escala Beaufort.

A Tabela 6.15 mostra uma comparação das estatísticas simples para comparação entre os sinais.

Tabela 6.15 – Estatísticas do sinal medido e simulado

	Média	Desvio padrão
Sinal medido (dBm)	-54,9	6,7
Sinal simulado (dBm)	-55,6	7,6

Uma distribuição acumulada, comparativa de ambos os sinais mostra que há uma proximidade bastante aceitável.

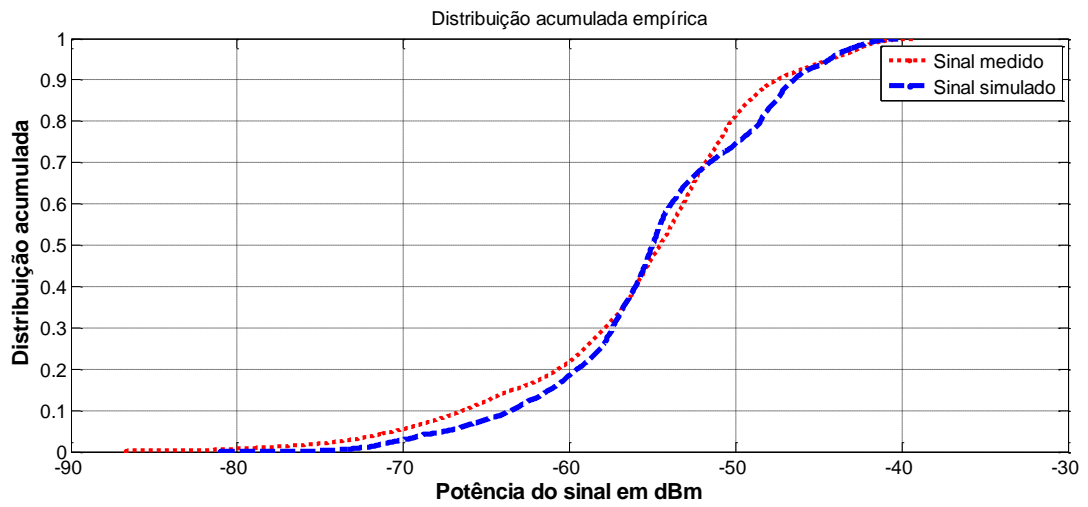


Figura 6.65 – Distribuição acumulada comparativa

Por fim, cabe ressaltar que a proposta de ajuste aqui apresentada não é exaustiva, pois outros efeitos ainda devem ser considerados, de modo a melhorar a previsão da variabilidade lenta do sinal.

7 Conclusão

Esta Dissertação de Mestrado teve como objetivo analisar a resposta em banda estreita de um canal marítimo, na faixa de 3,5 GHz através da realização de medições na região litorânea da cidade de Macaé, e posterior processamento dos dados obtidos. Adicionalmente, foi estudado um fator de correção relacionado às condições marítimas, avaliadas segundo a escala Beaufort, de modo que o modelo consagrado de dois raios pudesse melhor representar a variabilidade lenta do sinal e, conseqüentemente, melhorar a simulação dos modelos de previsão de cobertura neste ambiente.

O ambiente marítimo apresenta inúmeros desafios, pois embora pareça aparentemente uniforme, possui características típicas, entre as quais pode ser destacada a variação da altura das marés e ondas, que influenciam na intensidade do sinal refletido no mar, devido à variação da rugosidade, e a variação da altura e orientação da antena receptora, decorrente da flutuação da embarcação na superfície do mar.

Os testes efetuados no ambiente marítimo apresentam, também, desafios logísticos do ponto de vista de recursos para a realização de medições, uma vez que requer embarcações com estrutura adequada e equipe devidamente treinada para sua operação.

7.1 Análise conclusiva dos resultados obtidos

A análise qualitativa dos dados mostrou a obstrução total ou parcial do sinal recebido, devido a estruturas naturais (ilhas) e artificiais (embarcações) em alguns trechos medidos.

Analisando o conjunto de todos os trechos medidos, observou-se, inicialmente, que o tradicional modelo de dois raios provavelmente seria o mais indicado para explicar o comportamento do canal marítimo na região de interferência. Assim sendo, os trechos foram agrupados em radiais e, então, algumas delas foram escolhidas para fins de análise detalhada, pois representam casos típicos de propagação sobre o mar.

7.1.1 Variabilidade rápida

Com a separação do desvanecimento rápido do desvanecimento lento, e da dependência com a distância, a variabilidade rápida foi analisada. A análise dos dados obtidos e processados permitiu algumas conclusões a respeito do ambiente estudado. A primeira é que

o ambiente se apresenta claramente como um canal Rice, ou seja, há um sinal dominante na maioria dos trechos estudados, o qual é interferido por um sinal refletido na superfície do mar.

Foi observado que o sinal deixa de existir quando é totalmente obstruído por obstáculos naturais de grandes dimensões, como as ilhas, o que já era esperado. Quando é obstruído por embarcações, o nível do sinal recebido apresenta grande diminuição, o que pode ser atribuído aos efeitos de reflexão nas suas estruturas metálicas, sendo a difração a principal responsável pelo sinal recebido.

Observou-se, também, que o sinal direto não mais ocorreu quando a embarcação se deslocou em uma região onde havia algum obstáculo próximo à estação transmissora, na linha de visada (situação NLOS). Com a antena em posição não muito elevada em relação à presença de obstáculos próximos, podem ser observados efeitos de desvanecimentos rápidos bastante profundos, que se assemelhariam aos observados em áreas urbanas, entretanto, como esta situação não foi objeto de análise neste trabalho, é necessário um aprofundamento dos estudos nesta situação específica.

7.1.2 Taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento

O cálculo da taxa de cruzamento de nível obtida apresentou, na maioria das vezes, uma boa aderência com as curvas teóricas, enquanto que a duração média do desvanecimento apresentou menor aderência, o que impulsiona a busca por outras distribuições que possam melhor representar os resultados, conforme está detalhado no item 6.3.3.

Cabe observar que, a partir dos cálculos obtidos, é possível a determinação de importantes parâmetros para implementação de sistemas digitais, tais como esquemas de codificação e taxa de transmissão.

7.1.3 Dependência com a distância

Com a separação do desvanecimento lento da dependência da distância, foi possível calcular o fator de atenuação que se situou próximo ao valor do espaço livre, ($n \sim 2$) o que indica que para a frequência de 3,515 GHz, utilizada nos testes, o mar estava se comportando basicamente como uma superfície pouco rugosa, não espalhando o raio incidente. Embora na região de visada direta seja possível a utilização da atenuação do espaço livre, como atenuação média, as flutuações de sinal observadas não podem ser explicadas por este modelo.

7.1.4 Variabilidade lenta

Foi concluído que a variabilidade lenta seguia o modelo de dois raios para Terra plana na zona de interferência. No entanto, este modelo não permite explicar as variações no nível do desvanecimento lento observadas.

7.1.5 Comparação de potência recebida com o modelo mais adequado

O sinal medido foi comparado com o modelo SUI/Erceg, uma vez que este se propõe a ser aplicado para sistemas WiMAX na faixa de 3,5 GHz, no que pese não ter sido desenvolvido para atender a este tipo de ambiente. A comparação mostrou que este modelo está longe de poder ser utilizado no ambiente marítimo em visada direta, por extrapolação, por exemplo.

Uma comparação do sinal recebido com o modelo de dois raios mostrou uma melhor aderência seja na representação das grandes flutuações típicas da zona de interferência, seja na perda com a distância. Concluiu-se, então, que o modelo de dois raios para Terra plana representaria a melhor opção para descrever o comportamento do sinal em polarização vertical sobre o mar e que este seria o mais adequado para a previsão do nível do sinal recebido no ambiente e nas condições apresentadas. No entanto, acentuadas variações observadas na envoltória do sinal, devido à mobilidade do sistema, não poderiam ser explicadas por este modelo, necessitando de um fator de ajuste, descrito no item 7.1.6 e que é uma contribuição adicional importante, deste trabalho, para a ciência.

7.1.6 Proposta de ajuste do modelo de dois raios

A variabilidade lenta do sinal medido em diversos trechos típicos, dentro da zona de interferência, apresentou acentuada oscilação, o que suscitou a busca de uma resposta adicional para este fenômeno. Tal variação pôde ser explicada como sendo resultado da variação da altura da antena receptora, decorrente das condições do mar. Assim, um fator de ajuste para o modelo de dois raios foi proposto, neste trabalho, de modo que as condições do mar, seu efeito na embarcação e, conseqüentemente, na variação da altura da antena fossem considerados. Uma simulação da variação da altura da embarcação mostrou que este pode ser o caminho para se levar em consideração o efeito das condições do mar na composição do sinal recebido.

Considerando a variação da altura da antena receptora, pode ser verificado que está diretamente ligada à variação da ondulação da superfície do mar. No ambiente marítimo, a

variação da altura da antena é dinâmica e, como tal, deveria ser inserida como fator de previsão em um modelo para este ambiente.

As escalas de avaliação das condições do mar, como a escala Beaufort, podem ser utilizadas para estimar os dados necessários, sendo que a principal informação obtida é a altura das ondas.

Foram utilizadas as expressões obtidas por Brown R.M., Miller A.R. e Vegh E., [10], [39] para determinar a variação da altura da antena de recepção instalada na embarcação, uma vez que foi verificado que a variação lenta do nível do sinal recebido poderia ser explicada, pelo menos em parte, pela variação da altura da antena como consequência da altura da embarcação, decorrente dos efeitos da ondulação do mar.

Verificou-se que o fator de ganho ou atenuação, devido à altura da antena, pode ser calculado, em decibéis, através do fator $20\log_{10}(h_2)$ sendo h_2 a altura da antena receptora. O valor, assim obtido, pode ser somado ao valor calculado da perda de percurso pelo modelo de dois raios, dado pela equação 2.4, e pode ser colocado em função das condições do mar, dada pela escala Beaufort. Desta forma, foi possível prever e simular a perda de percurso com maior precisão em função das condições observadas do mar, conforme mostrado na equação 6.15.

Os valores de σ_H (desvio padrão da altura de oscilação da embarcação) e Λ (comprimento da onda de oscilação da embarcação), para a determinação da variação de h_2 , foram estimados de modo empírico e verificados que estão relacionados às características da embarcação, cuja oscilação depende das condições do mar.

Por fim, pode ser verificado que o ajuste do modelo de dois raios, proposto nesta Dissertação, possibilita simular o nível do sinal recebido, em função da variação da altura da antena de recepção, decorrente das condições observadas do mar, fornecidas pela escala Beaufort. Ressaltando-se que a proposta não pode ser considerada conclusiva, pois outros efeitos ainda devem ser considerados de modo a melhorar a previsão da variabilidade lenta do sinal.

7.2 Sugestões para trabalhos futuros

Pode ser destacado que além de atingir o objetivo principal estabelecido para este trabalho, o autor:

- Preparou diversas configurações para medição de canal em banda estreita e banda larga, com possibilidade de geração de sinal multiportadoras;
- Utilizou a placa de som de um microcomputador portátil (*laptop*) para o registro do desvanecimento rápido;
- Estruturou a comunicação entre equipamentos e instrumentos para geração e medição de sinais e captura de dados.

Assim sendo, fica como sugestão para trabalhos futuros:

- Realização de medições e caracterização do canal marítimo em banda larga;
- Realização de novas medições em banda estreita nas regiões de interferência e de difração, em diferentes condições de mar, em função da força dos ventos, conforme indica a escala Beaufort;
- Avaliação do efeito na propagação da refração atmosférica próxima ao nível do mar;
- Avaliação de outras funções densidade de probabilidade que apresentem melhor ajuste para o desvanecimento lento, no caso de propagação sobre o mar;
- Análise dos dados das regiões de obstrução parcial e total do sinal, comparando-os com outros modelos de previsão de cobertura e estatísticas de canal;
- Análise do desvio Doppler a partir dos dados medidos, para avaliação do deslocamento de frequência;
- Cálculo dos parâmetros de um sistema digital em função da taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento;
- Realizar medições com o transmissor móvel e o receptor estático;
- Avaliar os efeitos do diagrama de radiação das antenas na variação do nível do sinal recebido como decorrência da oscilação da embarcação.

8 Referências Bibliográficas

- [1] NORTON, K.A. *Physical reality of space and surface waves in the radiation field of radio antennas*. Proc. I.R.E., vol. 25, setembro, 1937, pp 1192-1202.
- [2] NORTON, K.A. *The calculation of Ground-Wave Field Intensity Over a Finitely Conducting Spherical Earth* Proc. I.R.E.vol. 29, dezembro, 1941, pp. 623-639.
- [3] BULLINGTON, K. *Radio propagation for vehicular communications - Vehicular Technology*,IEEE Transactions on, vol.26, novembro, 1977, pp 295-313.
- [4] OKUMURA, Y, et al. *Field strength and its variability in UHF and VHF land-mobile radio service*. Rev. Elec. Commun. Lab. Vol. 16. 1968.
- [5] HATA, M., *Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services* IEEE Trans. Veh. Technol. Aug de 1980, Vol. 29, 3, agosto, 1980, pp. 317-325.
- [6] ERCEG, V.; GREENSTEIN, L.J., et al. *An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments* IEEE Journal on Selected Areas of Communications. Vol. 17, , julho, 1999, pp. 1205–1211.
- [7] BELLO, P. *Characterization of Randomly Time-Variant Linear Channels* Communications Systems, IEEE Transactions on, Volume: 11 , Issue: 4 pp: 360 – 393 dezembro, 1963.
- [8] AMENT, W.S. *Toward a Theory of Reflection by a Rough Surface*, Proc. IRE 41(1), 142, 1953.
- [9] BEARD, C.I. *Coherent and Incoherent Scattering of Microwaves from the Ocean*, IRETrans. Antennas and Propag. AP-9(5), 470, 1961.
- [10] BROWN, R.M.; MILLER A.R. *Geometric-Optics Theory For Coherent Scattering of Microwaves From The Ocean Surface* . NRL Report 7705, 1974.
- [11] MILLER, A.R. ; BROWN, R. M.; VEGH, E. *A New Derivation for the Rough Surface Reflection and for the Distribution of Sea Wave Elevations* NAVAL RESEARCH LAB WASHINGTON DC. Disponível em: <<http://handle.dtic.mil/100.2/ADA134774>>. Acessado em 02 de abril de 2010.
- [12] HURTAUD, Y.G.M. *Millimetre wave propagation over the sea*, 1990. Disponível em:<<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA229363&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf>>. Acessado em 2 de abril de 2010.
- [13] BERTONI, H.L. *Radio Propagation for Modern Wireless Systems* New Jersey: Prentice Hall PTR, 2000.
- [14] PARSONS, J.D. *The mobile Radio Propagation Channel – 2nd edition*. West Sussex: John Wiley & Sons LTD, 2000.
- [15] PAHLAVAN, K.; LEVESQUE, A. H. *Wireless information networks – 2nd edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- [16] RAPPAPORT, T.S. *Wireless Communications – Principles & Practice* Prentice Hall, 2000.
- [17] YACOUB, M.D. *Foundations of Mobile Radio Engineering* Boca Raton: CRC Press, 1993.
- [18] LEE, W.C.Y, *Mobile Communications Engineering* New York: Mc Graw Hill, 1982.

- [19] SKLAR, B. *Digital Communications: Fundamentals and Applications* 2a ed. New Jersey Prentice Hall PTL, 2000.
- [20] COST 231 TD. *Urban Transmission Loss Models for Mobile Radio in the 900 and 1800 MHz bands*. s.l. : The Hague, 1991.
- [21] GLÁUCIO, L. S.; VÁSQUES, E.J.A. *Local and Global Signal Variability Statistics in a Mobile Urban environment* *Wireless Personal Communication* 15. 2000, pp. 61-78.
- [22] SARKAR, TAPAN K. et al. *A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication*. *IEEE Antennas and Propagation Magazine.*, Vol. 45, 3. Junho, 2003.
- [23] AFRIC, W.; ZOVKO-CIHLAR, B.; GRGIC, S. *Methodology of Path Loss Calculation using Measurement Results*, IEEE 2007.
- [24] DAHAD, M.A.A.; KAMEL, H.M. *Methodology for calculating Path Loss Upper and Lower Bounds for WiMAX*, IEEE.
- [25] IBRAHIM, M; PARSONS J. *Signal strength prediction in built-up areas. Part I: median signal strength* *IEE Proc.*, 130, F, -5,. 1983, pp. 377-384.
- [26] BERTONI, H.L.; WALFISCH, J. *A theoretical model of UHF propagation in urban environments* *IEEE Trans. Antennas Propagat.* december de 1988, Vol. 36, 12, pp. 1788-1796.
- [27] IEEE 802.16.3c-01, *Channel Models for Fixed Wireless Applications*, disponível http://www.ieee802.org/16/tg3/contrib/802163c-01_29r1.pdf acessado em 28 de abril de 2009.
- [28] IEEE 802.16.3c-00/49r2 *Modified Stanford University Interim (SUI) Channel Models*, disponível em http://www.ieee802.org/16/tg3/contrib/802163c-01_29r1.pdf acessado em 28 de abril de 2009.
- [29] GREENSTEIN, D. G.; MICHELSON L. J.; ERCEG V., *Moment-method estimation of the Ricean K-factor*, *IEEE Commun. Lett.*, vol. 3, junho, 1999, pp. 175– 176.
- [30] WHITTEKER, J.H. *Measurements of path loss at 910 MHz for proposed microcell urban mobile systems*, *Vehicular Technology*, IEEE Transactions on. Vol 37 No. 1 fevereiro, 1988.
- [31] MEYER, P.L. *Probabilidade aplicada a estatística* Rio de Janeiro: LTC, 1976.
- [32] GLÁUCIO, L.S.; VÁSQUES, J.A.V.; GOMES, R. A.; SAMPAIO, C.B.; BORGHI, D.A. *Comparison Between Propagation Measurements and Coverage Prediction Models for Small Urban Cells* IEEE. 1996, pp. 1182-1186.
- [33] ABDI, A.; WILLS, K.; BARGER, H.A; ALOUINI, M.S.; KAVEH, M. *Comparison of the Level Crossing Rate and Average Fade Duration of Rayleigh, Rice, and Nakagami Fading Models with Mobile Channel Data* IEEE VTC 2000.
- [34] LEE, W.C.Y, *Estimate of a local average power of a mobile radio signal*, *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. VT-34, No. 1, 1985, pp. 22-27
- [35] GUIMARÃES, A.G.; PINTO, E.L. *Técnicas de simulação de canais rádio móveis* *Revista Inatel*, V. 4 n.1 maio, Santa Rita do Sapucaí, Brasil, 2001.
- [36] RIBEIRO, A.M.; CASTELLI, C. S.; BARRIENTOS, E. M.; CONFORTI, E. *Coherence Bandwidth in a 1.8-GHz Urban Mobile Radio Channel*, 2007 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference Digest, , Salvador, Brazil, outubro, 2007, pp. 599-602

- [37] WANG, B.; WU, Z.-S., ZHAO, Z.-W.; WANG, H.-G. *Retrieving evaporation duct heights from radar sea clutter using particle swarm optimization (PSO) algorithm* *Progress In Electromagnetics Research M*, Vol. 9, 79-91, 2009, disponível em ceta.mit.edu/PIERM/pierm09/08.09090403.pdf acessado em 10 dezembro de 2010.
- [38] Escala de ventos Beaufort. Disponível em: <http://www.metoffice.gov.uk/weather/marine/guide/beaufortscale.html> acessado em 13 de abril de 2010.
- [39] BROWN, R.M.; MILLER, A.R.; VEGH, E., *A new derivation for the Rough Surface Reflection Coefficient and for Distribution of Sea Wave Elevations*, NRL Report 8744, 1983.
- [40] SALEH, A.; VALENZUELA, R. *A Statistical Model for Indoor Multipath Propagation*, *Selected Areas in Communications*, IEEE Journal on, Vol. 5, No. 2. 1987, pp. 128-137.
- [41] SKLAR, B. *Rayleigh fading channels in mobile digital communication systems* IEEE Communications Magazine, Volume 35, Issue 7, julho de 1997, pp. 90-100.
- [42] BOX, G.E.P. *Statistics for experimenters*. New Jersey: John Wiley & Sons, 1978.
- [43] PAPOULIS, A. *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*, McGraw-Hill, 2001.
- [44] ERCEG, V. et al. *Channel Models for Fixed Wireless Applications* IEEE 802.16.3c-01/29.
- [45] ERCEG, V.; HARI K.V.S., et al., *Channel models for fixed wireless applications* tech. rep., IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group. January de 2001.
- [46] DEYGOUT, J. *Multiple knife-edge diffraction of microwaves* IEEE Trans. Antennas Propagat. Vols. AP-14, 1966, pp. 480-489.
- [47] SUZUKI, H. *A Statistical Model for Urban Radio Propagation*. IEEE Transaction on Communications 1977, Vols. COM-25, 7, pp. 673-680.
- [48] UIT-R P.1546 - Recomendação. *Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz* s.l.: International Telecommunication Union, 2001.
- [49] LEE, W.C.Y.; YEH, Y.S. *On the estimations of the second-order statistic of log normal fading in mobile radio environment* IEEE Transaction on Communications., Vols. COM-22, 1974, pp. 809-973.
- [50] LEE, W.C.Y.; YEH, Y.S. *Estimate of the local Average Power of a Mobile Radio Signal* IEEE Transaction on Vehicular Technology. 1985, Vols. VT-34, pp. 22-27.
- [51] YACOUB, M. D. et al., *On the Nakagami-m autocorrelation and Power Spectrum Functions: Field Trials and Validation* IEEE. 2006.
- [52] BERTONI, H.L.; FELSEN, L. B.; HESSEL, A., *Local properties of radiation in lossy media* IEEE Trans. Antennas Propagat. AP-19, 1971, Vols. AP-19, pp. 226-237.
- [53] FUNADA, R.; HARADA, H.; OTANI, M. *Measurement of 3GHz-band Radio Propagation in Macro Cellular Environments*. The 17th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'06). 2006.
- [54] MELIN, L.; RÖNNLUND, M.; RICKARD, A. *Radio Wave Propagation A Comparison Between 900 and 1800 MHz*. IEEE. 1993, pp. 1-3.

- [55] SUZUKI, H. *A statistical Model for Urban Radio Propagation*. IEEE Transaction on Communication., Vols. COM-25, 7. julho, 1977.
- [56] MALIATOSOS, K.N.; et al. *Measurements and Wideband Channel Characterization for Over-the-sea Propagation*. IEEE. 2006, pp. 237-244.
- [57] ETEMAD; KAMRAN *Overview of Mobile WiMAX Techology and Evolution* - Intel Corporation - IEEE Communications Magazine, oct 2008.
- [58] COX, D. C., *Multipath delay spread and path loss correlation for 910-MHz urban mobile radio propagation*, IEEE Trans. Veh.Technol., vol. VT-26, 1977, pp. 340-344
- [59] SIRKOVA, I. A. *Clear-Air Propagation Prediction System: Evaporation Duct Application*, Bulgarian Journal of Physics, 1998, pp 181-187.
- [60] HITNEY, H.V.; RICHER, J.H.; PAPPERT, R.A.; ANDERSON K.D.; BAUMGARTNER. G.B.Jr. *Received Signal Fading Distribution*, IEEE Transaction on Vehicular Technology. Proc. IEEE 73 (1985) 265; (2) Vol. 37. No. 1, 1988, pp 57-60.
- [61] BELLAVICH, R. et ali *WiMAX and IEEE 802.16e Broad Banda Wireless Standards*, Deceo Tech, 2008.
- [62] TEO, K.H; TAO, Z; ZHANG, J. *The mobile Broadband WiMAX standard* - IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE, setembro, 2007.
- [63] KAMRAN, E. *Overview of Mobile WiMAX Techology and Evolution* - Intel Corporation - IEEE Communications Magazine, outubro, 2008.
- [64] FIGUEIREDO, L. F. *Fundamentos da Tecnologia WiMAX – CPQD*.
- [65] IEEE 802.16-2001, *Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*.
- [66] IEEE 802.16.2-2001, *IEEE Recommended Practice for Local and Metropolitan Area Networks — Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access Systems*, setembro, 2001.
- [67] DEVASIRVATHAM, D.M.J. *Time Delay Spread and Signal Level Measurements of 850 MHz Radio Waves in Building hvironments* IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. ap-34, no. 11, novembro, 1986.
- [68] SCOTT, Y.S.; RAPPAPORT, T.S.; JAIN, S.; LORD, M.L.R. *Singh-Path Loss, Scattering, and Multipath Delay Statistics in Four European Cities for Digital Cellular and Microcellular Radiotelephone* IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol. 40, NO. 4, novembro, 1991.
- [69] KOZONO, S.; TAGUCHI, A. *Mobile Propagation Loss and Delay Spread Characteristics with a Low Base Station Antenna on an Urban Road* IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 42, no. 1, fevereiro, 1993.
- [70] SOUSA E.S; JOVANOVIK, V.M.; DAIGNEAULT, C. *Delay Spread Measurements for the Digital Cellular Channel in Toronto* IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 43, no. 4, novembro, 1994.
- [71] DEVASIRVATHAM, D.M.J. *Time Delay Spread Measurements Of Wideband Radio Signals Within A Building* - Electronics Letters Vol. 20 No. 23, novembro, 1984
- [72] DEVASIRVATHAM, D.M.J. *Radio propagation in the digital portable communications environment*. IEEE Communications Magazine Vol. 25, No. 6, junho. 1987.

- [73] HASHEMI, H.; THOLL, D., *Statistical Modeling and Simulation of the RMS Delay Spread of Indoor Radio Propagation Channels* - IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 43, no. 1, fevereiro, 1994.
- [74] GLÁUCIO S. L.; GLÁUCIO R. L.; VIEIRA, R. D. *Propagation Measurement of a 3.5 GHz Signal: Path Loss and Variability Studies*, Proceedings SBMO/IEEE MTT-S IMOC 2001.
- [75] DION, D.; GARDENAL, L. *On the effects of the Sea Roughness On the Predictions of Pathlosses Above Sea*, IEEE 2000 International, Radar Conference.
- [76] MALIATSOS, K.; LOULIS, P.; CHRONOPOULOS, M.; CONSTANTINOU, P.; DALLAS, P.; IKONOMOU, M.; *Experimental Small scale fading results for Mobile channels over the sea* Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006 IEEE 17th International Symposium on Digital Object Identifier.
- [77] KERANS, A.; KULESSA, A.S.; LENSSON E.; FRENCH, G.; WOODS; G.S. *Implications of the evaporation duct for microwave radio path design over tropical oceans in North Australia* disponível em www.ips.gov.au/IPSHosted/NCRS/wars/wars2002/.../comm.../kerans1.pdf acessado em 10 de dezembro de 2010.
- [78] BENHMAMMOUCH, O.; KHENCHAF, A.; CAOUREN, N.; *Electromagnetic Waves Propagation Above Rough Sea Surface Applications to Evaporation Ducts*, IEEE International, Geoscience and Remote Sensing Symposium -.IGARSS, 2008.
- [79] MALIATSOS, K.; LOULIS, P.; CHRONOPOULOS, M.; CONSTANTINOU, P.; DALLAS, P.; IKONOMOU, M., *Measurements and Wideband Channel Characterization for Over-the-sea Propagation*, wimob, pp.237-244, 2006 IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 2006.
- [80] RIMAC-DRLJE, S.; MILANOVIC, J.; STRESNJAK, S.; *Comparison of Propagation Models Accuracy for WiMAX on 3.5 GHz* Wireless Communications and Networking Conference - WCNC, 2009.
- [81] MILANOVIC, J.; RIMAC-DRLJE, S.; BEJUK, K.; *Comparison of Propagation Models Accuracy for WiMAX on 3.5 GHz*, 14th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems – ICECS, 2007
- [82] KAVAS; AKTÄUL. *Comparative Analysis of WLAN, WiMAX and UMTS Technologies* PIERS Proceedings, August 27-30, Prague, Czech Republic, agosto, 2007
- [83] IMPERATORE, P., SALVADORI, E., CHEAMTAC I., *Path loss Measurements at 3.5 GHz: A Trial test WiMAX Based in Rural Environment*, IEEE.

ANEXOS

Anexo 1 Resultado da análise qualitativa dos trechos

Este anexo apresenta o resultado da análise qualitativa dos trechos que não foram utilizados para a realização da análise quantitativa.

O registro do sinal do trecho 5, mostrado na Figura A.1.1, foi iniciado às 8h44min. Apresenta uma queda acentuada do nível do sinal decorrente da obstrução causada pelo Ilhote Sul (minutos 50 e 52). O sinal volta a se elevar quando a embarcação passa entre as o Ilhote Sul e a ilha de Santana, voltando a cair no final do trecho quando é novamente obstruído, agora pela ilha de Santana.

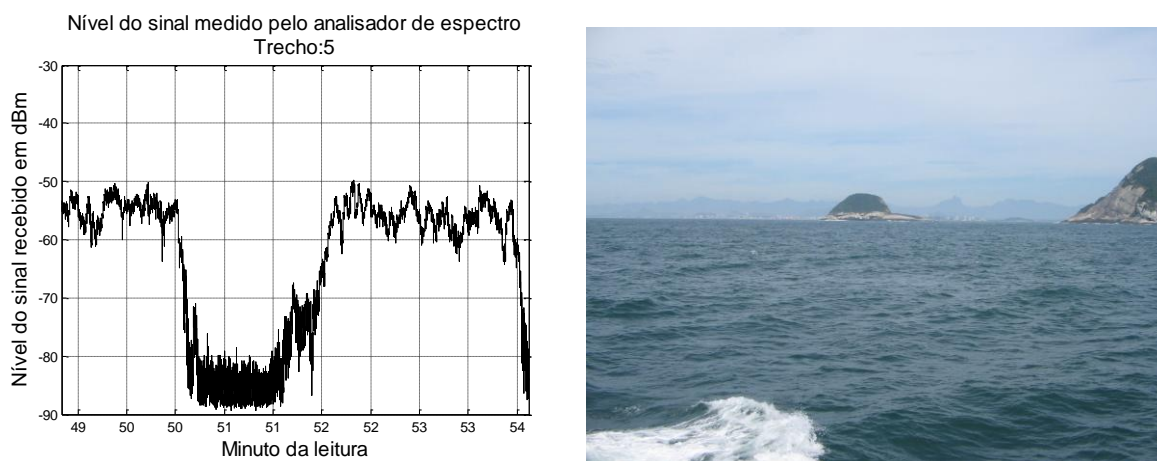


Figura A.1.1 – Nível do sinal no trecho 5 e foto com Ilhote Sul

O registro do sinal do trecho 6, mostrado na Figura A.1.2, foi iniciado às 8h54min. Este trecho está completamente obstruído pela ilha de Santana. Neste trecho, foi solicitado ao comandante da embarcação que prosseguisse no contorno do arquipélago. Mas como a embarcação já havia iniciado processo de retorno foi necessário dar uma volta completa para retomar o rumo. A distância observada entre o trecho 6 e 7 sem registro de sinal ocorreu devido à necessidade de sincronizar os programas e armazenar os dados.

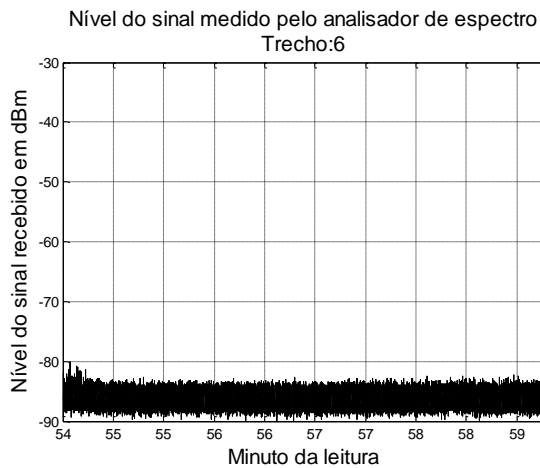


Figura A.1.2 – Nível do sinal no trecho 6 e foto da ilha de Santana

O registro do sinal do trecho 7, mostrado na Figura A.1.3, foi iniciado às 9h03min. Neste trecho, pode ser observada nova queda do nível do sinal decorrente da obstrução da ilha do Francês.

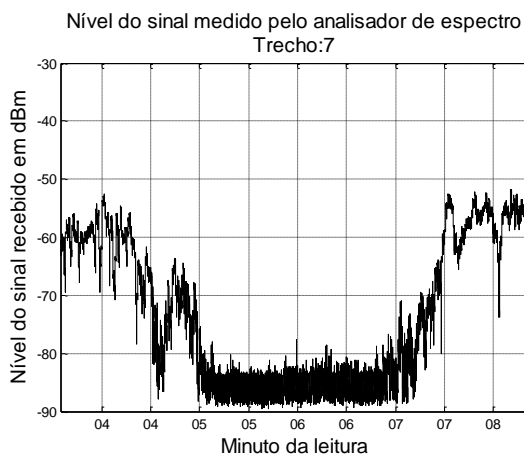


Figura A.1.3 – Nível do sinal no trecho 7 e foto da ilha do Francês

O registro do sinal do trecho 8, mostrado na Figura A.1.4, foi iniciado às 9h08min. Neste trecho, pode ser verificada queda no nível do sinal devido à obstrução decorrente agora de obstáculos, prédio e árvores, próximo à antena transmissora.

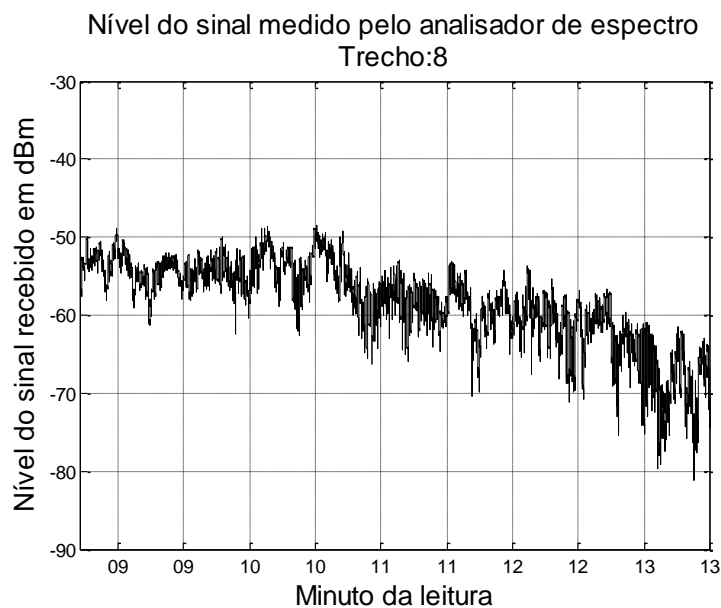


Figura A.1.4 – Nível do sinal no trecho 8

O registro do sinal do trecho 9, mostrado na Figura A.1.5, foi iniciado pouco antes das 9h16min. Apresenta sinal recebido decorrente da obstrução da linha de visada por obstáculos próximos a antena transmissora. A elevação do nível do sinal provavelmente é decorrente de alguma reflexão na superfície do mar podendo ainda estar presente alguma reflexão em uma das ilhas do arquipélago.

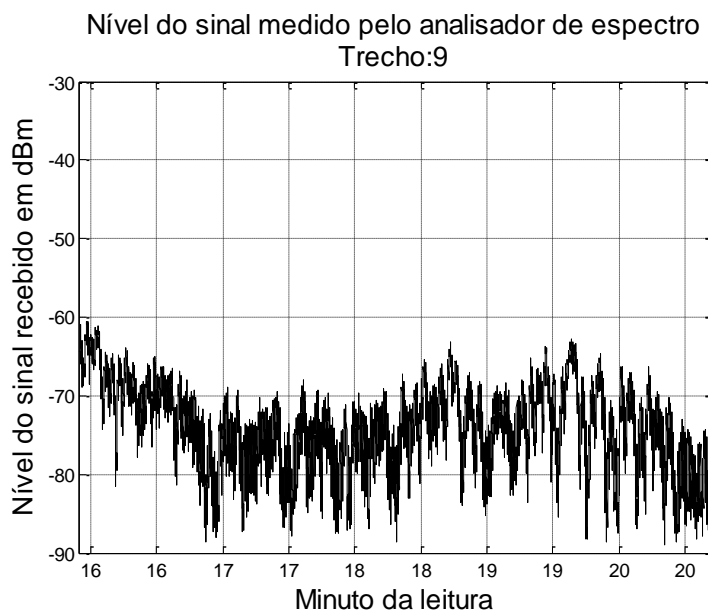


Figura A.1.5 – Nível do sinal no trecho 9

O registro do sinal do trecho 10, mostrado na Figura A.1.6, foi iniciado às 9h21min. Apresenta grande variação do nível do sinal em consequência da obstrução próximo a antena transmissora.

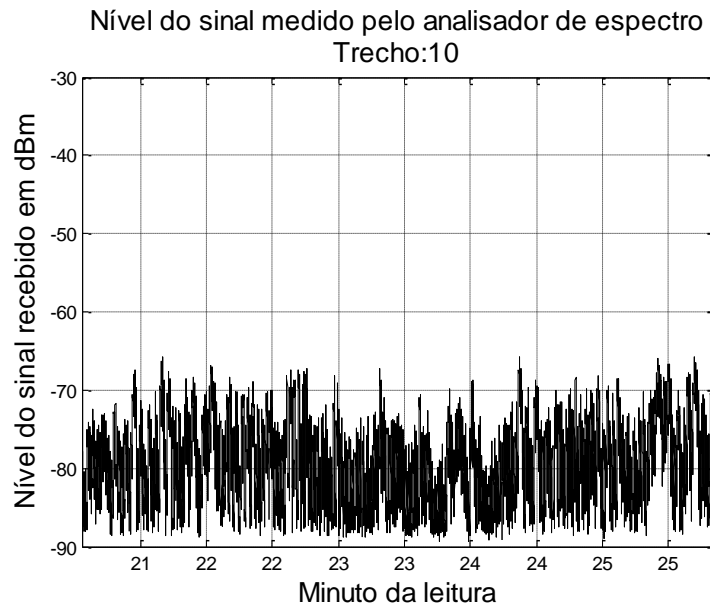


Figura A.1.6 – Nível do sinal no trecho 10

O registro do sinal do trecho 11, mostrado na Figura A.1.7, foi iniciado às 9h26min. Apresenta acentuada variação do nível do sinal. Neste caso a variação pode ser decorrente da obstrução próximo à antena transmissora e de reflexão em ilhote próximo mais próximo ao local de transmissão.

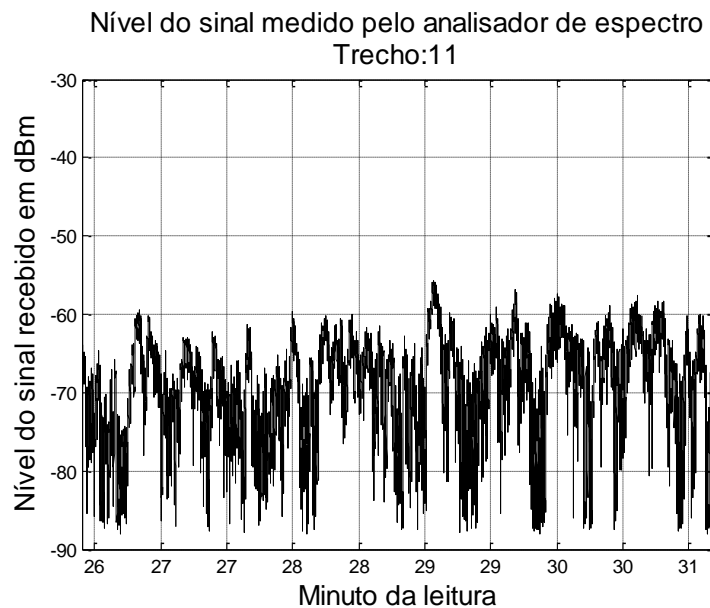


Figura A.1.7 – Nível do sinal no trecho 11

O registro do sinal do trecho 12, mostrado na Figura A.1.8, foi iniciado às 9h37min. Apresenta variação do sinal decorrente de obstrução próximo a antena transmissora. O trecho foi obtido em uma posição na qual a embarcação efetuou uma curva próxima à estação transmissora e iniciar novo afastamento. Pode ser observado que o sinal inicia uma forte elevação de nível no final do registro quando entra novamente na região de visada da antena transmissora.

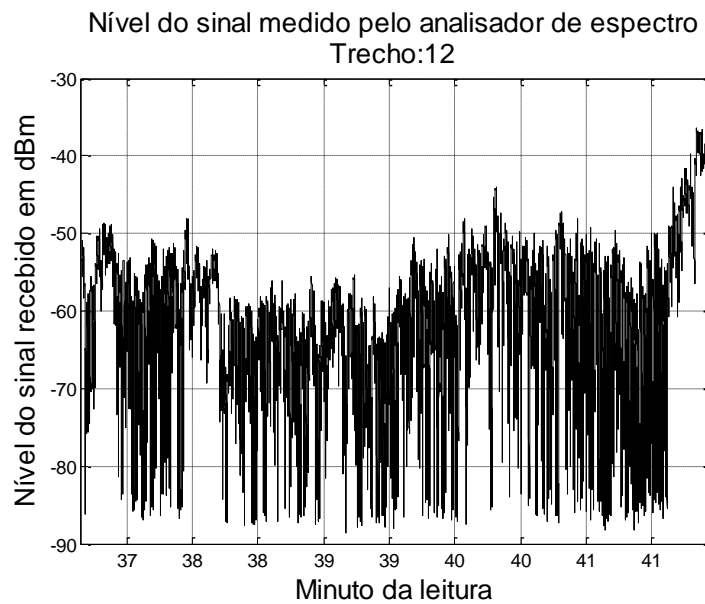


Figura A.1.8 – Nível do sinal no trecho 12

O registro do sinal do trecho 23, mostrado na Figura A.1.9, foi iniciado às 10h37min. Apresenta inicialmente pequena elevação do sinal decorrente da aproximação com a estação transmissora a posteriormente queda no nível do sinal em decorrência dos obstáculos próximos a antena transmissora e o aparecimento de profundos desvanecimentos devido à entrada na região de obstrução parcial do sinal.

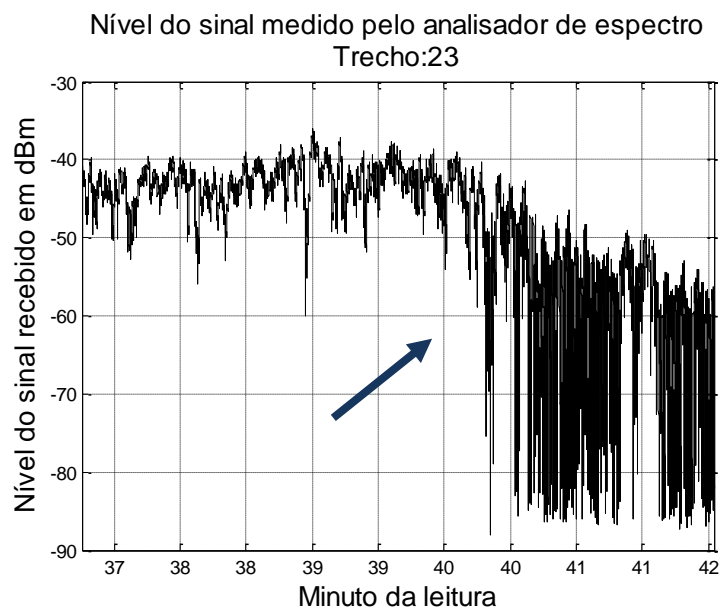


Figura A.1.9 – Nível do sinal no trecho 23

O registro do sinal do trecho 24, mostrado na Figura A.1.10, foi iniciado às 10h43min. Apresenta intensa quantidade de desvanecimento profundo devido a obstrução causada pela existência de obstáculos próximos a estação transmissora que impedem uma visada direta.

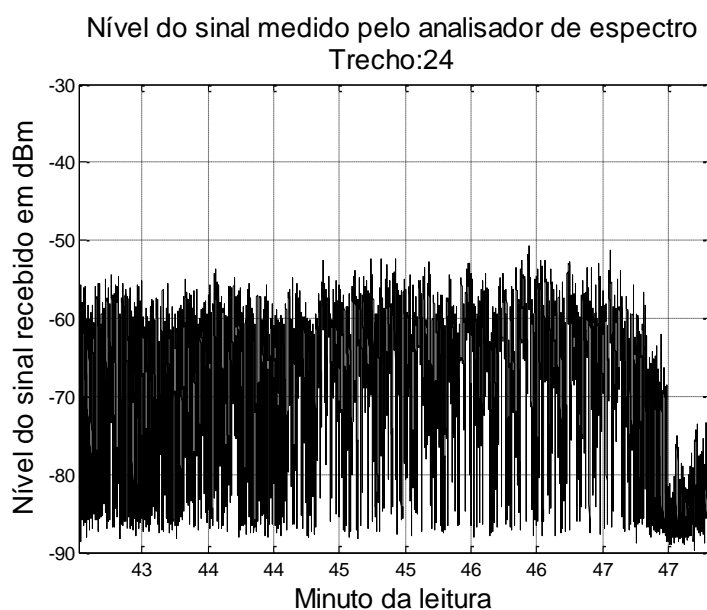


Figura A.1.10 – Nível do sinal no trecho 24

Como consequência da análise qualitativa inicial, pode ser comprovada a existência de três grandes regiões distintas cujos fenômenos de propagação podem ser diferenciados e, portanto, devem ser tratados de modo distinto.

Anexo 2 Fluxograma do processamento dos dados

O processamento dos dados foi feito seguindo o fluxograma detalhado neste anexo.

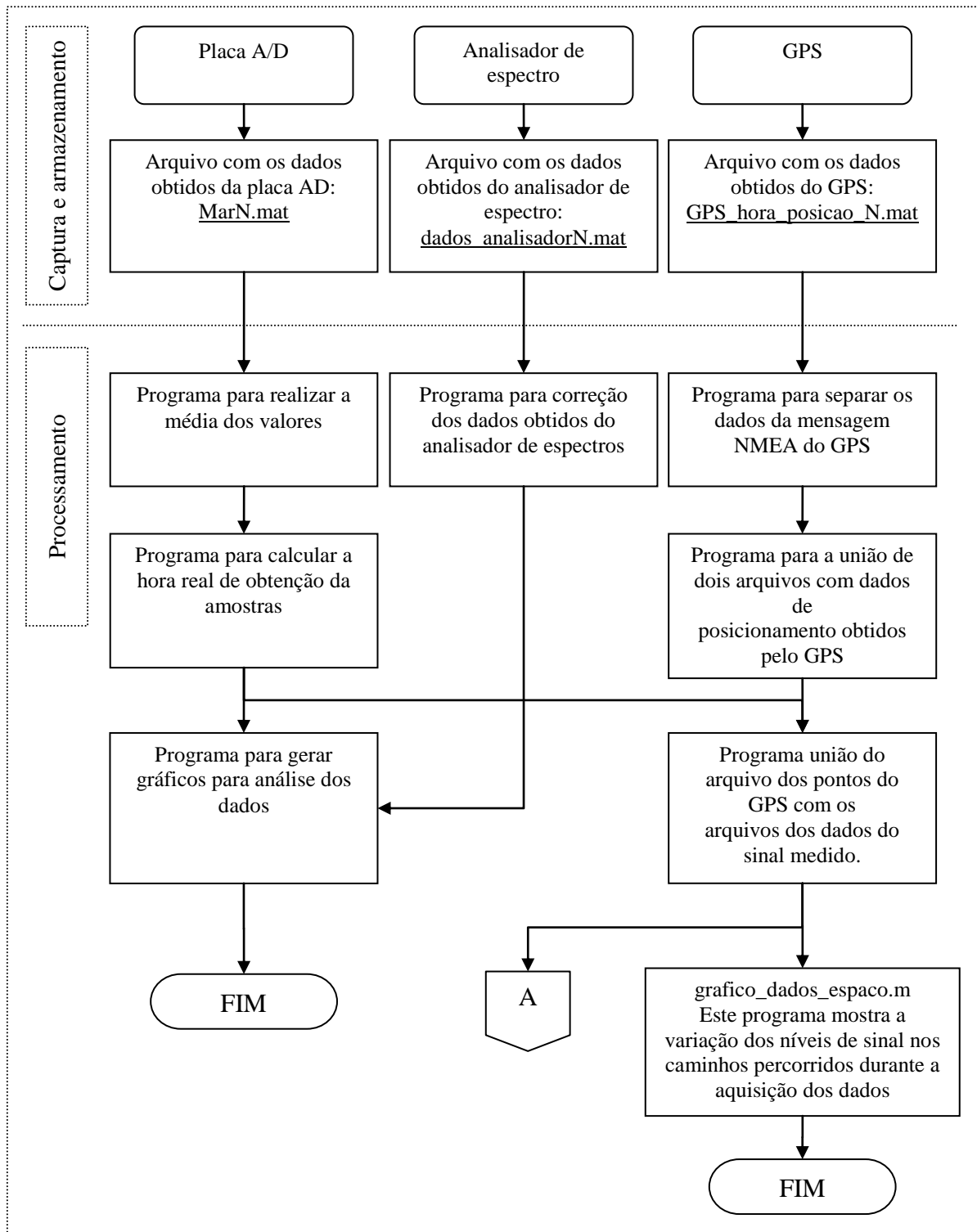


Figura A.2.1 – Fluxograma do processamento dos dados

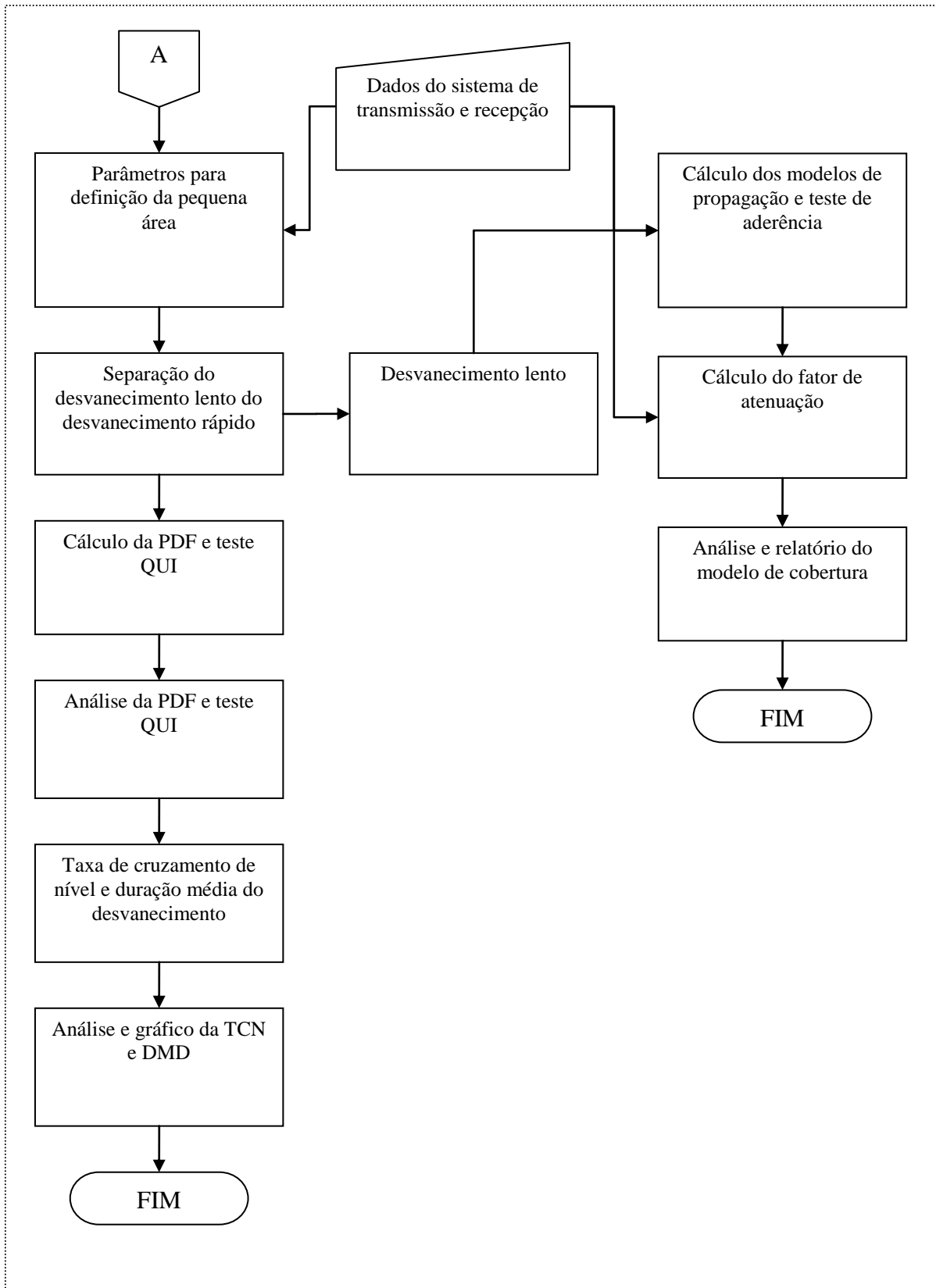


Figura A.2.2 – Fluxograma do processamento dos dados (continuação)

Anexo 3 Arquivos utilizados para captura, armazenamento e processamento

A Tabela A.3.1 mostra os programas construídos para o captura e armazenamento dos dados enquanto que a Tabela A.3.2 apresenta os programas elaborados para processamento e análise dos dados, as entradas necessárias para o processamento e as saídas geradas para análise e estudo. Nesta tabela, a letra “n” representa o número sequencial do arquivo gerado.

Tabela A.3.1 – Programas para captura e armazenamento dos dados

Entrada	Programas para processamento	Saída	Finalidade
Porta RS-232c do analisador de espectro	a_leitura_nivel_freq_MS2665_c_rev_d	dados_analisador N.mat	Leitura do nível do sinal (dBm) após o envio de um comando enviado ao microcomputador para o equipamento.
Porta RS-232c do GPS	a_registra_dados_GPS_rev_g	GPS_hora_posicao_N.mat	Leitura da mensagem de posição do GPS.
Porta USB do módulo AD	a_registra_dados_VIDEO_Y_rev_g	MarN.mat	Leitura do nível do sinal (volts) da placa A/D. A placa A/D mede a tensão da saída de vídeo Y do analisador de espectro.

Tabela A.3.2 – Programas para processamento, entradas e saídas

Entrada	Programas para processamento	Saída	Finalidade
dados_analisadorN.mat	a_corrige_dados_AE_rev_a.m	dados_analisador_cor N.mat	Corrige erros de leitura decorrente de problemas de sincronismo.
MarN.mat	b_media_valores_rev_c.m	media_mar_n.mat ou amostra_mar_n.mat	Realiza a média nos valores lidos.
media_mar_N.mat ou amostra_mar_n.mat	c_hora_real_amost_ad_rev_c.m	media_mar_hora_N.mat amostra_mar_hora_n.mat	Insere a hora em cada amostra lida para posterior sincronismo.
dados_analisadorN.mat dados_analisador_corN.mat marn.mat media_mar_n media_mar_hora_n amostra_mar_n(n=1-24) amostra_mar_hora_n(n=1-	d_graficos_dados_rev_a.m	Gráficos diversos	Gera diversos gráficos para análise.

Entrada	Programas para processamento	Saída	Finalidade
24) media_peq_area_n(n=1-24) desvan_rapido_n(n=1-24)			
GPS_hora_posicao_N.mat	e_separa_dados_gps_rev_a.m	GPS_hora_pos_sep_dados_N.mat GPS_hora_pos_total	Separa os dados de latitude e longitude da mensagem do GPS.
GPS_hora_pos_total GPS_hora_rota_mar.mat	f_uniao_arq_gps_rev_a.m	uniao_arq_GPS.mat	Une arquivos do GPS e registrados pelo programa.
uniao_arq_GPS.mat media_mar_hora_N.mat amostra_mar_hora_n.mat	g_uniao_arq_gps_sinal_rev_c.m	arq_sinal_posicao_hora_N.mat arq_sinal_posicao_hora_total.mat amost_sinal_posicao_hora.mat amost_sinal_posicao_hora_total.mat	Une os arquivos do GPS com os arquivos do sinal já com a hora. Neste arquivo é feito o sincronismo, utilizando a hora, entre as amostras.
Dados dos sistemas de transmissão e recepção.	h_dados_sist_tx_rx_rev_b.m	dados_tx.mat dados_rx.mat	Entrada e correção dos dados do sistema
arq_sinal_posicao_hora.mat	i_media_pequena_area_rev_e.m	media_peq_area_n.mat desvan_rapido_n.mat	Cálculo do valor médio da pequena área
desvan_rapido_n.mat	j_calculo_desvan_rapido_rev_b.m	desv_rap_a_b.mat	Cálculo do desvanecimento rápido.
desv_rap_a_b.mat	k_calculo_pdf_teste_qui_rev_b.m	pdf_teste_qui_a_b.mat dados_pdf_teste_qui_trecho_a.mat	Cálculo da PDF da pequena área e teste qui-quadrado para as PDF calculadas.
dados_pdf_teste_qui_trecho_1.mat	l_analise_pdf_rev_c	pdf_teste_qui_a_b.mat dados_pdf_teste_qui_trecho_a.mat	Gera relatório para análise da PDF.
dados_pdf_teste_qui_trecho_1.mat	m_taxa_de_cruzamento_de_nivel_rev_d.m	Gráficos da taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento para análise.	Cálculo da taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento e geração de gráficos.
(não há)	n_taxa_de_cruzamento_de_nivel_graficos_rev_b	Gráficos TCN e DMD.	Gera gráficos teóricos da TCN e DMD para estudo.
media_peq_area.mat dados_tx.mat dados_rx.mat	o_ajuste_dois_raios_rev_d.m	Gráficos de modelos (Hata, COST 231 SU e dois raios) para análise.	Calcula perda de percurso e gera gráficos para análise em diferentes modelos de cobertura.
Os dados utilizados neste programa são gerados a partir dos dados gerados no programa: o_ajuste_dois_raios_rev_d.m	p_altura_ant_rx_rugos_mar_rev_a.m	Gráficos para análise dos efeitos das ondas na variação da altura da antena.	Análise dos efeitos da variabilidade lenta como decorrência da oscilação da embarcação, simulação e proposta de ajuste do modelo de dois raios.
arq_sinal_posicao_hora_N.mat	r_grafico_modelo_dois_raios_rev_b.m	Gráfico com a posição espacial dos dados medidos.	Gera gráfico com a posição espacial dos dados medidos.

Anexo 4 Programas utilizados para o captura e armazenamento dos dados

Neste apêndice e no próximo são apresentados os programas desenvolvidos para a captura dos dados dos equipamentos, apresentação, processamento e análise destes dados.

```
% Nome do programa: a_leitura_nivel_freq_MS2665c_rev_d
% -----
% Programa de leitura e registro de dados de leitura do analisador de
% espectro MS2665c da ANRITSU
% Obs.: Dar "preset" no instrumento antes de iniciar
% ++++++
% Inicialização
clear all;
close all;
pack;
clc;
pause(1);
% Definição das variáveis
% -----
leit_lev=[];
leit_AE_lev=[];
leit_AE_lev1=[];
hora_leit=[];
leit_AE_freq=[];
leit_freq=[];
leitura=[];
continua = 1;
te=[];
num_amost='3400'; % Quantidade de amostras
int_amost='0.1'; % Intervalo médio entre amostras => NÃO MAIS USADO
freq_medida='CF 351500000'; % Falta testar com o Analisador de Espectro
inicia_reg='n';
novo_registro='';
continua_registro=true;
conta_arq_reg=1;
conta_arq_reg_str='';
caminho='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Programas MatLab\Testes gerais\';
% -----
% Cria arquivo para gravação dos dados
fid=0;
while fid < 1
    filename=input('Entre com o nome do arquivo [dados_analisador]: ', 's');
    if isempty(filename)
        filename = 'dados_analisador'; % Nome do arquivo
    end
    conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg);
    nome_arq=strcat(caminho,filename,conta_arq_reg_str);
    [fid,message] = fopen(filename, 'a');
    if fid == -1
        disp(message);
    end
end
% -----
% Configura parâmetros de leitura dos dados do analisador de espectro
com_ser_AE = 's'; % ==> Indica leitura dos dados do AE
% ==> As linhas abaixo devem ser testadas
% -----
freq_medida=input('Entre com a frequencia de medição [351500000]', 's');
if isempty(freq_medida)
    freq_medida = '351500000';
end
```

```

end
freq_medida=['CF ' freq_medida];
% -----
num_amost=input('Entre com a quantidade de amostras? [3400~5min]','s');
if isempty(num_amost)
    num_amost = '3400';
end
num_amost=str2num(num_amost);
% -----
% Inicialização e configuração da porta serial de comunicação
if com_ser_AE=='s'
    % -----
    porta_AE=input('Entre com a porta serial(com36):','s');
    if isempty(porta_AE)
        porta_AE = 'com36';
    end
    % -----
    comserial_AE = serial(porta_AE, 'BaudRate', 9600, 'DataBits', 8, 'Timeout', 0.01);
    fopen(comserial_AE);
    % Configura para leitura 'manual' ou 'continuous'
    comserial_AE.ReadAsyncMode = 'continuous'; % leitura assíncrona
else
    % não faz nada
end
% -----
% Inicialização e configuração do analisador de Espectro
% fprintf(comserial_AE, '*RST'); % Reset total
fprintf(comserial_AE, freq_medida); % ==> TESTAR
fprintf(comserial_AE, 'SP 0'); % Span zero
fprintf(comserial_AE, 'RB 300KHZ'); % Banda de resolução
fprintf(comserial_AE, 'VB 3KHZ'); % Banda de vídeo
% -----
% Inicia loop para fazer diversos registros
while continua_registro==true
    % -----
    % Comando de início da gravação
    while inicia_reg~='s'
        inicia_reg=input('Inicia registro dos dados [n]','s');
        if isempty(inicia_reg)
            inicia_reg = 'n';
        else
            inicia_reg = 's';
        end
    end
    % -----
    % Loop de leitura de dados
    if com_ser_AE=='s'
        for continua=1:num_amost
            % -----
            try
                % Não faz nada, aguarda finalizar escrita
                while strcmp(comserial_AE.TransferStatus, 'write')
                    end
                fprintf(comserial_AE, 'MKL?', 'async'); % Envia comando para leitura
            catch ME
                while strcmp(comserial_AE.TransferStatus, 'write')
                    end
                fprintf(comserial_AE, 'MKL?', 'async'); % Envia comando para leitura
            end
            leit_AE_lev = fscanf(comserial_AE); %; % sem ";" mostra valores
            leit_AE_lev1=str2num(leit_AE_lev);
            % -----
            if isempty(leit_AE_lev1)
                if (continua-1)==0
                    leit_AE_lev1=1; % Se não houver leitura colocar "1"
                else
                    leit_AE_lev1=leit_lev(continua-1);
                end
            end
        end
    end
end

```

```

else
    %leit_AE_lev1=str2num(leit_AE_lev);
end
% -----
leit_lev=[leit_lev;leit_AE_lev1];
hora_leit=[hora_leit;datenum(datestr(clock,'HH:MM:SS.FFF'))];
linha_dados=[hora_leit leit_lev]; % Concatena dados lidos
% Mostra valores à medida que faz os registros
% -----
plot(linha_dados(:,1),linha_dados(:,2),'r'); % mostra dados
drawnow; % Atualiza dados
end
else
    % não faz nada
end
% -----
% Desenho do gráfico dos valores lidos
plot(linha_dados(:,1),linha_dados(:,2),'r')
conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg);
nome_arq=strcat(caminho,filename,conta_arq_reg_str);
% -----
% Salva variáveis dos dados lidos no arquivo
save (nome_arq,'linha_dados','hora_leit','leit_lev');
% -----
% Reinicializa variáveis
nome_arq=[];
leit_lev=[];
hora_leit=[];
% -----
% Verifica se haverá novo registro
novo_registro=input('Realizar novo registro [ENTER para sim]: ','s');
if isempty(novo_registro)
    continua_registro=true;
    % -----
    % Configura duração de um registro completo e número de repetições
    %
    alt_dur_rep=''; % Inicializa variável com vazio
    alt_dur_rep=input('Alterar duração e repetição [ENTER para NÃO]: ','s');
    if isempty(alt_dur_rep)
        % não faz nada
    else
        %
        num_amost=input('Entre com o número de amostras [3400]');
        % É o número de vezes que o registro será efetuado
        if isempty(num_amost)
            num_amost = 3400;
        end
    end
end
else
    continua_registro=false;
end
% Incrementa sufixo do nome do arquivo
conta_arq_reg=conta_arq_reg+1;
end
% Fecha e apaga objetos da porta serial
% -----
if com_ser_AE=='s'
    stopasync(comserial_AE);
    fclose(comserial_AE);
    delete(comserial_AE);
    clear comserial_AE;
else
    % não faz nada
end
end
% *** FIM DO PROGRAMA ***
% ++++++

```

```

% Nome do programa: a_registra_dados_VIDEO_Y_rev_g
% -----
% Programa de leitura da saída de VIDEO Y de um analisador de espectro
% através da placa conversora A/D do microfone do notebook e/ou de uma
% placa A/D (USB-6210)
% Terminal 17 (canal 1), term 19 c#2, term 21 c#3, terminal 28 (GND)
% *****
% Inicialização
clear all;
close all;
pack;
clc;
% *****
% Definição das variáveis
% -----
% Valores para leitura dos dados
% -----
% Placa de áudio
% -----
fs=8000;      % Frequencia de amostragem em Hz /n vezes amostras por segundo
janela=0.5; % Janela de tempo para mostrar dados ao vivo
% Placa de conversão A/D
% -----
% Mesmos valores anteriores
% Valores de duração e repetição dos registros
% -----
num_seg=1;    % Número de segundos de sinal gravado
repeticoes=1; % Realiza a leitura uma vez + repeticoes
te=[];
dados_AE=[];  % Variável de armazenamento dos dados lidos no AE
data=[];
tempo=[];
linha_dados=[];
linha_dados_1=[];
hora_leit=[];
com_ser='';
com_ser_AE='';
leitura_GPS={};
indice_2=0;
mensagem_GPS='continua';
s_NMEA='$GPGGA';          % "string" de leitura do GPS
caminho='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Programas MatLab\Testes gerais\';
arquivo=[];
filename='';
nome_arq='';
nome_arq_gps='';
leitura_gps='';
inicia_reg='n';
novo_registro='';
continua_registro=true;
conta_arq_reg=1;
conta_arq_reg_str='';
% *****
% Configura taxa de amostragem, duração e número de repetições do registro
% -----
fs=input('Entre com a taxa de amostragem [4000 Hz]');
if isempty(fs)
    fs = 4000;
    amost_seg=fs;
end
num_seg=input('Entre com a duração contínua do registro [30 s]');
if isempty(num_seg)
    num_seg = 30;
end
repeticoes=input('Entre com o número de repetições [10]');
% É o número de vezes que o registro será efetuado e onde serão pegos
% os dados de posição

```

```

if isempty(repeticoes)
    repeticoes = 10;
end
% -----
% Configura a interface de áudio
% -----
com_audio_ad=input('Comunicação com a placa de áudio? [n]','s');
if isempty(com_audio_ad)
    com_audio_ad = 'n';
end
if com_audio_ad=='s'
    fs=8000; % Taxa mínima da placa de áudio;
    %
    ail=analoginput('winsound');
    addchannel(ail,1);
    % addchannel(ail,2);
    set(ail, 'SampleRate', fs,...
        'SamplesPerTrigger', num_seg*fs);           % O 2o.fs altera
                                                    % a taxa amostragem
    set(ail, 'TriggerType', 'manual');             % Disparo controlado 'manual'
    % set(ail, 'TriggerType', 'Immediate');        % Disparo controlado 'contínuo'
    set(ail, 'TriggerRepeat', repeticoes);
else
    % não faz nada
end
% -----
% Configura porta USB de comunicação com a placa A/D USB-6210
% Ter 17 c#1, term 19 c#2, term 21 c#3, term 28 GND
% -----
com_usb_ad=input('Comunicação com a placa conversora A/D? [n]','s');
if isempty(com_usb_ad)
    com_usb_ad = 'n';
end
if com_usb_ad=='s'
    % -----
    ai = analoginput('nidaq','Dev1');
    % Adiciona os canais da placa a serem lidos
    % -----
    addchannel(ai,1);
    % addchannel(ai,2);
    % addchannel(ai,3);
    % addchannel(ai, [1 2 3]); => alternativa para adicionar canais
    % Definição dos parâmetros de leitura
    % -----
    set(ai, 'SampleRate', fs,...
        'SamplesPerTrigger', num_seg*fs);
        % 'SamplesPerTrigger', num_seg*fs)

    set(ai, 'InputType','SingleEnded');
    set(ai, 'TriggerType', 'manual');             % Trigger manual
    set(ai, 'TriggerRepeat', repeticoes);        % Trigger ocorre n vezes a
                                                    % cada condição encontrada
    % set(ai, 'TriggerCondition', 'rising');      % Trigger na borda de subida
    % set(ai, 'TriggerConditionValue', 2);        % Trigger quando atinge 1 volt
    % set(ai, 'TriggerChannel', ai.channel(2));
    % -----
else
    % não faz nada
end
% -----
% Cria arquivo para gravação dos dados
% -----
fid=0;
while fid < 1
    filename=input('Entre com o nome do arquivo [trechon_vy]: ', 's');
    if isempty(filename)
        filename = 'trecho_vy_';                % Nome do arquivo
    end
end

```



```

conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg);
nome_arq=strcat(caminho,filename,conta_arq_reg_str);
[fid,message] = fopen(filename, 'a');
if fid == -1
    disp(message);
end
end
% Arquivo para gravação da posição associada aos dados lidos
nome_arq_gps=[nome_arq '_gps'];
% -----
% Inicia loop para fazer diversos registros
while continua_registro==true
    % -----
    % Realiza a aquisição de dados da interface de áudio e GPS
    % -----
    % Comando de início da gravação
    while inicia_reg~='s'
        inicia_reg=input('Inicia registro dos dados [n]','s');
        if isempty(inicia_reg)
            inicia_reg = 'n';
        else
            inicia_reg = 's';
        end
    end
    % -----
    % Inicia interface de áudio e/ou placa A/D
    % -----
    % Inicializa placa A/D
    if com_usb_ad=='s'
        start(ai);
    end
    % Inicializa interface de áudio
    if com_audio_ad=='s'
        start(ail);
    end
    % -----
    for i=1:repeticoes
        % -----
        % Leitura do conversor A/D pelo tempo de duração do registro
        % -----
        % Inicializa interface USB
        if com_usb_ad=='s'
            % Tenta ler a interface USB
            % -----
            try
                trigger(ai); % Disparo da leitura manual
                [data1,time1] = getdata(ai); % Leitura dos dados
                dados_AE=[dados_AE;data1]; % Concatena dados lidos na horizontal
                % -1 pois a placa inverte
                tempo=[tempo;time1]; % Concatena tempo lidos na
                % horizontal
            catch ME1
                % -----
                plot(tempo,dados_AE,'r'); % mostra dados
                drawnow; % Atualiza dados
                % -----
                try % Tenta novamente
                    trigger(ai); % Disparo da leitura manual
                    [data1,time1] = getdata(ai); % Leitura dos dados
                    dados_AE=[dados_AE;data1]; % Concatena dados lidos na horizontal
                    %
                    tempo=[tempo;time1]; % Concatena tempo lidos na
                    % horizontal
                catch ME2
                    % Salva posições GPS
                end
            end
        end
    end
end

```

```

        save
(nome_arq_gps, 'hora_leit', 'leitura_gps', 'dados_lidos_gps');
    end
    end
    % Mostra valores a medida que faz os registros
    % -----
    set(ai, 'TimerPeriod', janela);
    set(ai, 'TimerFcn', @daqtimerplot);
    set(ai, {'StartFcn', 'StopFcn', 'TriggerFcn'}, {'', '', ''});
    % -----
end
% -----
% Inicializa interface de áudio
if com_audio_ad=='s'
    trigger(ai1); % Disparo da leitura manual
    [data1,time1] = getdata(ai1); % Leitura dos dados
    dados_AE=[dados_AE;-1*data1]; % Concatena dados lidos na horizontal
    % -1 pois a placa inverte
    tempo=[tempo;time1]; % Concatena tempo lidos na
    % horizontal

    cl=clock;
    % Mostra valores a medida que faz os registros
    % -----
    set(ai1, 'TimerPeriod', janela);
    set(ai1, 'TimerFcn', @daqtimerplot);
    set(ai1, {'StartFcn', 'StopFcn', 'TriggerFcn'}, {'', '', ''});
    % plot(tempo, dados_AE); % mostra dados
    % type daqtimerplot;
    % -----
end
end
% Concatena lado a lado tempo e dados do AE
% -----
linha_dados=[tempo dados_AE];
% -----
% *** Desenha gráfico ***
% -----
% plot(tempo,dados_AE, 'Color', 'red');
if com_usb_ad=='s'
    plot(linha_dados(:,1),linha_dados(:,2),'Color', 'red')
    %
    hold on
    grid on
    % plot(time2,data2, 'Color', 'blue');
    zoom on;
    title('Disparo controlado');
    xlabel('Tempo relativo em segundos');
    ylabel('Dados em volts');
    % ylim([-0.5 0.5]);
    hold off
end
if com_audio_ad=='s'
    plot(linha_dados(:,1),linha_dados(:,2),'Color', 'red')
    %
    hold on
    grid on
    % plot(time2,data2, 'Color', 'blue');
    zoom on;
    title('Disparo controlado');
    xlabel('Tempo relativo em segundos');
    ylabel('Dados em volts');
    % ylim([-0.5 0.5]);
    hold off
end
% -----
% *** Grava arquivo ***
% -----
conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg);

```

```

nome_arq=strcat(caminho,filename,conta_arq_reg_str); % Nome do arquivo
nome_arq_gps=[nome_arq '_gps']; % Nome do arq. GPS
% Salva variáveis dos dados lidos no arquivo
save (nome_arq, 'linha_dados','cl');
% -----
% Reinicializa variáveis
leitura_gps=[];
linha_dados=[];
dados_AE=[];
tempo=[];
hora_leit=[];
% -----
% Interrompe interface de áudio e/ou placa AD
% -----
% Interrompe placa AD
if com_usb_ad=='s'
    stop(ai);
end
% Interrompe interface de áudio
if com_audio_ad=='s'
    stop(ail);
end
% -----
% Verifica se haverá novo registro
% -----
novo_registro=input('Realizar novo registro [ENTER para sim]: ', 's');
if isempty(novo_registro)
    continua_registro=true;
% -----
% Configura duração de um registro completo e número de repetições
alt_dur_rep=''; % Inicializa variável com vazio
alt_dur_rep=input('Alterar duração e repetição [ENTER para não]','s');
if isempty(alt_dur_rep)
    % não faz nada
else
    num_seg=input('Entre com a duração do registro [60 s]');
    if isempty(num_seg)
        num_seg = 60;
    end
    repeticoes=input('Entre com o número de repetições [5]');
    % É o número de vezes que o registro será efetuado e onde serão pegos
    % os dados de posição
    if isempty(repeticoes)
        repeticoes = 5;
    end
    % Definição dos parâmetros de leitura
    % -----
    set(ai, 'SampleRate', fs,...
        'SamplesPerTrigger', num_seg*fs)
    set(ai, 'InputType','SingleEnded');
    set(ai, 'TriggerType', 'manual'); % Trigger manual
    set(ai, 'TriggerRepeat', repeticoes); % Trigger ocorre n vezes a
    % cada condição é
    % encontrata
end
else
    continua_registro=false;
end
% Incrementa sufixo do nome do arquivo
% -----
conta_arq_reg=conta_arq_reg+1;
end
% -----
% *** Fecha interfaces e objetos
% -----
% Fecha arquivo e apaga objeto do arquivo
fclose(fid); % fecha arquivo
clear fid;

```

```

% Elimina objetos das interface de áudio e/ou placa AD
% -----
% Inicializa placa A/D
if com_usb_ad=='s'
    delete(ai);
end
%
% Inicializa interface de áudio
if com_audio_ad=='s'
    delete(ai1);
end
% -----
%
if com_ser=='s'
    stopasync(comserial);
    fclose(comserial);
    delete(comserial);
    clear comserial;
else
    % não faz nada
end
if com_ser_AE=='s'
    stopasync(comserial_AE);
    fclose(comserial_AE);
    delete(comserial_AE);
    clear comserial_AE;
else
    % não faz nada
end
% -----
% *** Final do programa ***
% *****

% Nome do programa:  a_registra_dados_GPS_rev_g
% -----
% *****
% Programa de leitura de dados do GPS através da porta USB/SERIAL
% Para cada registro é acrescentado a hora local
% *****
% Inicialização
% -----
clear all;
close all;
pack;
clc;
%
% *****
% Definição das variáveis
% -----
% Valores de duração e repetição dos registros
% -----
num_seg=1;      % Número de segundos de sinal gravado
repeticoes=1;  % Realiza a leitura uma vez + repeticoes

% te=[];

% dados_AE=[];    % Variável de armazenamento dos dados lidos no AE
data=[];
tempo=[];
linha_dados=[];
linha_dados_1=[];
hora_leit=[];
%
com_ser='';
com_ser_AE='';

% leitura_GPS={};

```

```

leitura_GPS=[];

indice_2=0;
mensagem_GPS='continua';
s_NMEA='$GPGGA'; % "string" de leitura do GPS
%
% Caminho para gravação do arquivo
caminho='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Programas MatLab\Testes gerais\';
arquivo=[];
filename='';
nome_arq='';
nome_arq_gps='';
leitura_gps='';
inicia_reg='n';
novo_registro='';
continua_registro=true;
conta_arq_reg=1;
conta_arq_reg_str='';
%
% *****
% Configura duração de um registro completo e número de repetições
% -----
repeticoes=input('Entre com o número de repetições [260]');
% É o número de vezes que o registro será efetuado e onde serão pegos
% os dados de posição
if isempty(repeticoes)
    repeticoes = 260;
end
%
% *****
% Configura das portas seriais e USB
% -----
% Configura porta serial de comunicação com o GPS
% -----
com_ser='s'; % ==>> Indica comunicação serial com GPS
if com_ser=='s'
    % -----
    porta=input('Entre com a porta serial(COM38):', 's');
    if isempty(porta)
        porta = 'com38';
    end
    %
    comserial = serial(porta, 'BaudRate', 9600, 'DataBits', 8);
    fopen(comserial);
    comserial.ReadAsyncMode = 'continuous'; % Lê continuamente a porta
    % -----
else
    % não faz nada
end
% -----
% Cria arquivo para gravação dos dados
% -----
fid=0;
while fid < 1
    filename=input('Entre com o nome do arquivo [GPS_hora_posicao]: ', 's');
    %
    if isempty(filename)
        filename = 'GPS_hora_posicao_'; % Nome do arquivo
    end
    conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg);
    nome_arq=strcat(caminho,filename,conta_arq_reg_str);
    %
    [fid,message] = fopen(filename, 'a');
    if fid == -1
        disp(message);
    end
end
end

```

```

% Arquivo para gravação da posição associada aos dados lidos
% -----
% nome_arq_gps=[nome_arq '_gps'];
nome_arq_gps=nome_arq;
% -----
% Inicia loop para fazer diversos registros
while continua_registro==true
% -----
% Realiza a aquisição de dados da interface de áudio e GPS
% -----
% Comando de início da gravação
while inicia_reg~='s'
    inicia_reg=input('Inicia registro dos dados [n]','s');
    if isempty(inicia_reg)
        inicia_reg = 'n';
    else
        inicia_reg = 's';
    end
end
% -----
% Registro da posição do GPS
if com_ser=='s'
    while strcmp(mensagem_GPS, s_NMEA, 6)==false
        mensagem_GPS = fscanf(comserial);
    end
else
% não faz nada
end
% -----
% 1a. leitura do GPS
% -----
leitura_gps=strvcat(leitura_gps,mensagem_GPS);
% leitura_gps=[leitura_gps;mensagem_GPS];
mensagem_GPS='sem leitura GPS';
% 1a. hora de leitura do GPS
% -----
hora_leit=[hora_leit;datestr(clock,'HH:MM:SS.FFF')];
for i=1:(repeticoes)
% -----
% Registro da posição do GPS
% -----
if com_ser=='s'
    while strcmp(mensagem_GPS, s_NMEA, 6)==false
        mensagem_GPS = fscanf(comserial);
    end
    mensagem_GPS % Mostra mensagem lida na linha de comando
else
% não faz nada
end
% ++++++
% Acumula posição GPS lida
% -----
leitura_gps=strvcat(leitura_gps,mensagem_GPS);
% Acumula hora da leitura GPS
% -----
hora_leit=[hora_leit;datestr(clock,'HH:MM:SS.FFF')];
% -----
dados_lidos_gps=[hora_leit leitura_gps]; % <<<===### Teste
mensagem_GPS='sem leitura GPS';
% ++++++
end
% -----
% *** Grava arquivo ***
% -----
conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg);
nome_arq=strcat(caminho,filename,conta_arq_reg_str); % Nome do arquivo
nome_arq_gps=nome_arq;
% Salva posições GPS

```

```

save (nome_arq_gps, 'hora_leit', 'leitura_gps', 'dados_lidos_gps');
% -----
% Reinicializa variáveis
leitura_gps=[];
linha_dados=[];
dados_AE=[];
tempo=[];
hora_leit=[];
% -----
% Verifica se haverá novo registro
% -----
novo_registro=input('Realizar novo registro [ENTER para SIM]: ', 's');
if isempty(novo_registro)
    continua_registro=true;
    % -----
    % Configura duração de um registro completo e número de repetições
    alt_dur_rep=''; % Inicializa variável com vazio
    alt_dur_rep=input('Alterar duração e repetição [ENTER para NÃO]: ', 's');
    if isempty(alt_dur_rep)
        % não faz nada
    else
        repeticoes=input('Entre com o número de repetições [260]');
        % É o número de vezes que o registro será efetuado e onde serão pegos
        % os dados de posição
        if isempty(repeticoes)
            repeticoes = 260;
        end
    end
end
else
    continua_registro=false;
end
% Incrementa sufixo do nome do arquivo
% -----
conta_arq_reg=conta_arq_reg+1;
end
% -----
% *** Fecha interfaces e objetos
% -----
% Fecha arquivo e apaga objeto do arquivo
fclose(fid); % fecha arquivo
clear fid;
if com_ser=='s'
    stopasync(comserial);
    fclose(comserial);
    delete(comserial);
    clear comserial;
else
    % não faz nada
end
% -----
% *** Final do programa ***
% *****

```

Anexo 5 Programas utilizados para processamento dos dados

```
% Nome do programa: a_corrige_dados_AE_rev_a
% -----
% Este programa corrige as amostras dos dados obtidos do analisador de
% espectro devido a erros de leitura decorrente de sincronismo do controle
% de fluxo da porta serial e tempo de resposta do processamento interno do
% equipamentos. Procedimento:
% - O número correspondente ao arquivo deve ser colocado na linha 36;
% - colocar um "break point" na linha 61;
% - corrigir as amostras manualmente alterando a variável no "workspace";
% - continuar o programa;
%
% *****
% 1-Arquivo de entrada:      dados_analisador.mat
% Variável(eis) de entrada: 'hora_leit','leit_lev','linha_dados(hora,nivel(dB))
% -----
% Arquivo de saída:         dados_analisador_cor.mat
% Variável(eis) de saída: 'hora_leit','leit_lev_cor','linha_dados(hora,nivel(dB))
% *****
%
clear all;          % Apaga todas as variáveis do Espaço de Trabalho
% insert(vd,'corrige_dados_AE','65')
% Variáveis de leitura do arquivo
arquivo=[];
caminho='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\';
filename_lido='dados_analisador';
filename_gravado='dados_analisador_cor';
nome_arq='';
nome_arq_gravado='';
novo_registro='';
continua_registro=true;
corrigido=false;
conta_arq_reg=7; % Arquivo inicial
conta_arq_reg_str='';
leit_lev_cor=[];
fid=0;
% Entrada e leitura do arquivo com as variáveis medidas em campo
% -----
while continua_registro==true
    conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg); % passa para STRING
    nome_arq=strcat(caminho,filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat');
    % *****
    % Carrega arquivo de dados a serem corrigidos
    % -----
    load (nome_arq, 'hora_leit','leit_lev','linha_dados');
    % *****
    % Correção manual dos dados lidos
    % -----
    workspace; % Mostra o espaço de variáveis onde serão feitas as correções
    % *****
    % Salva os valores calculados
    % -----
    nome_arq_gravado=strcat(caminho,filename_gravado,conta_arq_reg_str);
    % -----
    % Corrige os dados da variável linha_dados (níveis na segunda coluna)
    for indice=1:length(leit_lev)
        if leit_lev(indice)==linha_dados(indice,2)
            % Não faz nada
        else
            linha_dados(indice,2)=leit_lev(indice);
        end
    end
end
% -----
save (nome_arq_gravado,'hora_leit','leit_lev','linha_dados')
```



```

% *****
% Verifica se haverá nova leitura e gravação
% -----
novo_registro=input('Realizar nova registro [s]: ', 's');
if isempty(novo_registro)
    continua_registro=true;
else
    continua_registro=false;
end
conta_arq_reg=conta_arq_reg+1;
end
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: b_media_valores_rev_c
% -----
% Programa de cálculo da média ou a supressão de amostras dos valores lidos
% pela placa do AD.
% Para este programa, as variáveis do(s) arquivo(s) trecho são carregadas
% para área de trabalho.
% *****
% Arquivo de entrada:      marn.mat
% Variável(eis) de entrada: 'linha_dados'
% -----
% Arquivo de saída:      media_mar_n.mat
% Variável(eis) de saída:  'media_db','media_lin_placa','tempo'
% -----
% Arquivo de saída:      amostra_mar_n.mat
% Variável(eis) de saída:  'valor_db','media_db','media_lin_placa','tempo'
% *****
clear all;          % Apaga todas as variáveis do Espaço de Trabalho
media_lin_placa=[]; % Média linear dos valores lidos pela placa
media_lin=[];
tempo=[];
indice_media=1;
indice=0;
indice_1=0;
indice_2=0;
salta_val=[];
salta_tempo=[];
media=[];
val_atual=[];
% Inicialização de variáveis
% -----
nome_arq='';
nome_arq_gravado='';
novo_registro='';
continua_registro=true;
conta_arq_reg=1;
conta_arq_reg_str='';
% Variáveis de leitura do arquivo
arquivo=[];
caminho='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\';
% Seleciona arquivo de entrada
% -----
arquivo_entrada='mar';
% Mostra opções de geração de arquivos de saída
% -----
disp ({'Arquivo de entrada:  marn.mat (n=1-24)';...
      '-----';...
      'Arquivos de saída:';...
      '1- Arquivo com médias:      media_mar_n (n=1-24)';...
      '2- Arquivo com amostras:   amostra_mar_n.mat (n=1-24)'});

% Escolha do arquivo de saída
num_arq=input('Entre com o arquivo a ser gerado [1]','s');

```

```

if isempty(num_arq)
    num_arq='1';
end
% Seleciona arquivo de saída e valores da média e redução da taxa
% -----
switch num_arq
    % -----
    case {'1'}
        %
        arquivo_saida='media_mar_'; % Media de valores
        %
        % Quantidade de valores utilizados para fazer a média
        media_movel=input('Entre com a média dos valores [10]','s');
        if isempty(media_movel)
            media_movel='10';
            media_movel=str2num(media_movel);
        else
            media_movel=str2num(media_movel);
        end
    % -----
    case {'2'}
        % Suprime amostras para compatibilizar taxa com cálculo
        % Neste caso 800 amostras por segundo
        arquivo_saida='amostra_mar_';
        %
        % Quantidade de valores utilizados para fazer a média
        sup_mostras=input('Entre com valores redução da taxa [5-
>4000/5=800aps]','s');
        if isempty(sup_mostras)
            sup_mostras='5';
            sup_mostras=str2num(sup_mostras);
        else
            sup_mostras=str2num(sup_mostras);
        end
end
% Escolha do(s) arquivo(s) a ser(em) processados(s)
% -----
num_arq_ini=input('Entre com o número do primeiro arquivo [1]','s');
if isempty(num_arq_ini)
    num_arq_ini='1';
end
num_arq_ini=str2num(num_arq_ini);
num_arq_fim=input('Entre com o número do último arquivo [24]','s');
if isempty(num_arq_fim)
    num_arq_fim='24';
end
num_arq_fim=str2num(num_arq_fim);
% -----
% Algoritmos de cálculo da média e de retirada de amostras
% -----
for conta_arq_reg=num_arq_ini:num_arq_fim % anterior: for 1:24
    %
    % *****
    % Carrega arquivo de dados gravados
    % -----
    conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg); % passa para STRING
    nome_arq=strcat(caminho,arquivo_entrada,conta_arq_reg_str,'.mat');
    load (nome_arq, 'linha_dados')
    %
    switch num_arq
        case {'1'}
            % *****
            % Algoritmo de realização da média nos dados lidos
            % -----
            for indice_1=1:media_movel:length(linha_dados)% 100000
                % linha_dados_dif=linha_dados(indice,2)+linha_dados(indice,2);
                for indice_2=0:1:media_movel
                    indice=indice_1+indice_2;

```

```

        % Limita a leitura da variável ao seu tamanho
        if indice_1+indice_2>=length(linha_dados)
            indice=length(linha_dados);
        end
        val_atual=linha_dados(indice,2);
        val_tempo=linha_dados(indice,1);
        % media=[linha_dados(indice,2) linha_dados(indice+1,2)
linha_dados(indice+2,2)];
        media=[media val_atual];
    end
    media_lin_placa(indice_media)=mean(media); % Cálculo da média
    tempo(indice_media)=val_tempo;
    indice_media=indice_media+1;
    media=[];
end
case {'2'}
% *****
% Algoritmo de supressão de dados para diminuir a taxa
% -----
ind_taxa=(1:sup_mostras:length(linha_dados));
%
tempo=linha_dados(ind_taxa,1);
media_lin_placa=linha_dados(ind_taxa,2);
end
% Calcula o valor em dB para escala da saída de VIDEO Y
% -----
valor_db=241.7*media_lin_placa.^0.332-238.9;
media_db=valor_db;
%
% *****
% Salva os valores calculados
% -----
nome_arq_gravado=strcat(caminho,arquivo_saida,conta_arq_reg_str);
save (nome_arq_gravado,'valor_db','media_db','media_lin_placa','tempo')
%
% *****
% Verifica se haverá nova leitura e gravação
% -----
%     novo_registro=input('Realizar nova registro [s]: ', 's');
%     if isempty(novo_registro)
%         continua_registro=true;
%     else
%         continua_registro=false;
%     end
% Reinicializa variáveis
% -----
% clear linha_dados
% clear valor_db media_db media_lin media_lin_placa media_var_db tempo;
indice=0;
indice_1=0;
indice_2=0;
indice_media=1;
% close nome_arq;
%
fid=0;
novo_registro='';
%
end
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: c_hora_real_amost_ad_rev_c
% -----
% Este programa calcula a hora real da leitura dos dados da placa AD ou
% placa de som do LapTop ...
% e cria novo arquivo com a hora da leitura
% *****

```

```

% Arquivo de entrada:      media_mar_n.mat
% Variável(eis) de entrada:'media_db','media_lin_placa','tempo'
% -----
% Arquivo de entrada:      amostra_mar_n.mat
% Variável(eis) de entrada:'valor_db','media_db','media_lin_placa','tempo'
% -----
% Arquivo de saída:       media_mar_hora_n.mat
% Variável(eis) de saída:  'media_db','media_lin_placa',...
%                          'tempo','hora_leit_placa_ad'
% -----
% Arquivo de saída:       amostra_mar_hora_n.mat
% Variável(eis) de saída:  'valor_db','media_lin_placa',...
%                          'tempo','hora_leit_placa_ad'
% *****
clear all
hora_gravacao_placa={'09:32:33.639', '09:37:53.120', '09:43:40.168',
'09:48:48.817',...
    '09:54:07.156', '09:59:17.090', '10:08:22.072', '10:13:30.350', '10:20:42.249',
...
    '10:25:50.693', '10:31:11.338', '10:41:56.558', '10:47:36.453', '10:53:11.123',
...
    '10:58:27.622', '11:03:37.718', '11:08:48.653', '11:15:35.355', '11:20:48.017',
...
    '11:25:57.561', '11:31:06.435', '11:36:45.044', '11:42:02.620',
'11:47:48.877'};
% Intervalo entre amostras
% -----
delta_t_h='0:0:0.00125'; % Que é freq. de amostragem dividido por 10 (média):
                        % 8000/10: 1/800 = 0.00125 => fs =800 Hz (placa de som)
% som)
                        % 4000/10: 1/400 = 0.00250 => fs =400 Hz (Placa AD)
                        % 4000/5:  1/800 = 0.00125 => fs =800 Hz (supressão
                        % de amostras)
% -----
delta_t_h_m='0:0:0';    % Hora da meia-noite
delta_t=datenum(delta_t_h)-datenum(delta_t_h_m); % Diferença da hora
hora_leit_placa_ad=[];
% Variáveis de leitura do arquivo
% -----
arquivo=[];
caminho='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\';
nome_arq='';
nome_arq_gravado='';
novo_registro='';
continua_registro=true;
conta_arq_reg=1;
conta_arq_reg_str='';
% Definição dos arquivos a serem lidos
% -----
disp ('1-Arquivo de entrada:  media_mar_n.mat (n=1-24)';...
    ''';...
    '2-Arquivo de entrada:  amostra_mar_n.mat (n=1-24)';...
    '');
num_arq=input('Entre com o tipo de gráfico a ser gerado [2]','s');
if isempty(num_arq)
    num_arq='2';
end
% Seleciona arquivo para geração dos gráficos
switch num_arq
    case {'1'}
        filename_lido='media_mar_';
        filename_gravado='media_mar_hora_';
    case {'2'}
        filename_lido='amostra_mar_';
        filename_gravado='amostra_mar_hora_';
end
% -----

```

```

% % filename_hora_grav='mar';
% filename_lido='media_mar_';
% filename_gravado='media_mar_hora_';

% Escolha do(s) arquivo(s) a ser(em) processados(s)
% -----
num_arq_ini=input('Entre com o número do primeiro arquivo [1]','s');
if isempty(num_arq_ini)
    num_arq_ini='1';
end
num_arq_ini=str2num(num_arq_ini);
num_arq_fim=input('Entre com o número do último arquivo [24]','s');
if isempty(num_arq_fim)
    num_arq_fim='24';
end
num_arq_fim=str2num(num_arq_fim);
% Entrada e leitura do arquivo com as variáveis medidas em campo
% -----
for conta_arq_reg=num_arq_ini:num_arq_fim % conta_arq_reg=1:24
% *****
% Carrega arquivo de dados gravados
% -----
conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg); % passa para STRING
nome_arq=strcat(caminho,filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat');
load (nome_arq,'valor_db','media_db','media_lin_placa','tempo');
% -----
% Entrada da hora de gravação do arquivo
% -----
hora_leit_dado_placa=hora_gravacao_placa(conta_arq_reg);
hora_leit_dado_placa_1=hora_gravacao_placa(conta_arq_reg);
% *****
% Loop para cálculo da hora
% -----
hora_leit_dado_placa_21=datenum(hora_leit_dado_placa_1);
    for conta_placa=1:length(tempo)
        %
        hora_leit_dado_placa_21=hora_leit_dado_placa_21-delta_t;
        % hora_leit_dado_placa_21=datenum(hora_leit_dado_placa_21);
        hora_leit_placa_ad=[hora_leit_placa_ad hora_leit_dado_placa_21];
        %
    end
% -----
% Troca a matriz de baixo para cima
hora_leit_placa_ad=fliplr(hora_leit_placa_ad);
%
% *****
% Salva os valores calculados
% -----
nome_arq_gravado=strcat(caminho,filename_gravado,conta_arq_reg_str);
save (nome_arq_gravado,'valor_db','media_db','media_lin_placa',...
    'tempo','hora_leit_placa_ad');
% *****
% Verifica se haverá nova leitura e gravação
% -----
% Reinicializa variáveis
media_db=[];
media_lin_placa=[];
tempo=[];
hora_leit_placa_ad=[];
% hora_gravacao_placa='';
%
end
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: d_graficos_dados_rev_a
% -----

```

```

% Este programa abre os arquivos gerados e apresenta gráficos para análise
% dos dados
% *****
% 1-Arquivo de entrada:      dados_analisador_n.mat
% Variável(eis) de entrada: 'hora_leit','leit_lev','linha_dados(hora,nivel(dB))

% 11-Arquivo de entrada:    dados_analisador_corn.mat
% Variável(eis) de entrada: 'hora_leit','leit_lev','linha_dados(hora,nivel(dB))
%
% 2-Arquivo de entrada:     marn.mat
% Variável(eis) de entrada: 'linha_dados'(momento, nivel(Vdc))
%
% 3-Arquivo de entrada:     media_mar_n
% Variável(eis) de entrada: 'media_db','media_lin_placa','tempo'
%
% 4-Arquivo de entrada:     media_mar_hora_n
% Variável(eis) de entrada: 'media_db','media_lin_placa',...
%                          'tempo','hora_leit_placa_ad'
% 5-Arquivo de entrada:     amostra_mar_n(n=1-24)
%
% 6-Arquivo de entrada:     amostra_mar_hora_n(n=1-24)
%
% 7-Arquivo de entrada:     media_peq_area_n(n=1-24)
%
% 8-Arquivo de entrada:     desvan_rapido_n(n=1-24)
% -----
% Arquivo de saída:
% Variável(eis) de saída:
% *****
clear all
% Definição dos arquivos a serem lidos
% -----
arquivo=[];
caminho='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\';
caminho7='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\Desvan_lento\';
caminho8='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\Desvan_rapido\';
caminho9='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\Dados_sistema\';
disp({'1-Arquivo de entrada: dados_analisador_n.mat (n=2-25)';...
      '11- dados_analisador_corn.mat (n=2-25)';...
      '2-Arquivo de entrada: marn.mat (n=1-24)';...
      '3-Arquivo de entrada: media_mar_n (n=1-24)';...
      '4-Arquivo de entrada: media_mar_hora_n (n=1-24)';...
      '5-Arquivo de entrada: amostra_mar_n(n=1-24)';...
      '6-Arquivo de entrada: amostra_mar_hora_n(n=1-24)';...
      '7-Arquivo de entrada: media_peq_area_n(n=1-24)';...
      '8-Arquivo de entrada: desvan_rapido_n(n=1-24)'});
num_arq=input('Entre com o tipo de gráfico a ser gerado [11]','s');
if isempty(num_arq)
    num_arq='11';
end
num_arq_ini=input('Entre com o número do primeiro arquivo [1]','s');
if isempty(num_arq_ini)
    num_arq_ini='1';
end
num_arq_fim=input('Entre com o número do último arquivo [25]','s');
if isempty(num_arq_fim)
    num_arq_fim='25';
end
% Seleciona arquivo para geração dos gráficos
switch num_arq
    case {'1'}
        filename_lido='dados_analisador';
    case {'11'}
        filename_lido='dados_analisador_cor';

```

```

case {'2'}
    filename_lido='mar';
case {'3'}
    filename_lido='media_mar_';
case {'4'}
    filename_lido='media_mar_hora_';
case {'5'}
    filename_lido='amostra_mar_';
case {'6'}
    filename_lido='amostra_mar_hora_';
case {'7'}
    filename_lido='media_peq_area_';
case {'8'}
    filename_lido='desvan_rapido_';
end
%% -----
% Carrega arquivo com dados da estação transmissora
% -----
arquivo_entrada2=strcat('dados_tx','.mat');
nome_arq=strcat(caminho9,arquivo_entrada2);
load(nome_arq,...
    'lat_tx',...
    'long_tx',...
    'altura_antena_tx',...
    'potencia_tx',...
    'frequencia_tx',...
    'ganho_antena_tx',...
    'perdas_cabos_tx');
%% -----
% Variáveis de leitura do arquivo
% -----
nome_arq='';
nome_arq_gravado='';
novo_registro='';
continua_registro=true;
conta_arq_reg=1;
conta_arq_reg_str='';
fid=0;
% Entrada e leitura do arquivo com as variáveis medidas em campo
% -----
conta_arq_reg=str2num(num_arq_ini);          % valor inicial do registro
%% -----
% Leitura dos arquivos a serem apresentados
while continua_registro==true
    conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg); % passa para STRING
    % Carrega arquivo de dados gravados
    % -----
    switch num_arq
        case {'1'}
            nome_arq=strcat(caminho,filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat');
            load (nome_arq, 'hora_leit','leit_lev');
        case {'11'}
            nome_arq=strcat(caminho,filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat');
            load (nome_arq, 'hora_leit','leit_lev');
        case {'2'}
            nome_arq=strcat(caminho,filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat');
            load (nome_arq, 'linha_dados') %(linha_dados(momento, nivel(Vdc)));
        case {'3'}
            nome_arq=strcat(caminho,filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat');
            load (nome_arq, 'media_db','media_lin_placa','tempo');
        case {'4'}
            nome_arq=strcat(caminho,filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat');
            load (nome_arq, 'media_db','media_lin_placa','tempo','hora_leit_placa_ad');
        case {'5'}
            nome_arq=strcat(caminho,filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat');
            load (nome_arq, 'valor_db','media_db','media_lin_placa','tempo');
        case {'6'}
            nome_arq=strcat(caminho,filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat');

```

```

        load (nome_arq,
'valor_db','media_db','media_lin_placa','tempo','hora_leit_placa_ad');
        case {'7'}
            nome_arq=strcat(caminho7,filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat');
            load
(nome_arq,'hora_peq_area','lat_peq_area','long_peq_area','media_peq_area',...
            'dist_peq_area','comp_peq_area','ind_dist_fim');
            case {'8'}
                nome_arq=strcat(caminho8,filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat');
                load
(nome_arq,'hora_desv_rap','lat_desv_rap','long_desv_rap','nivel_desv_rap',...
                'dist_desv_rap','comp_peq_area','ind_dist_fim');
                % Cálculo da distância real
end
% -----
%% Cálculo da distância real onde existem dados de distância
switch num_arq
    case {'7'}
        % Une posição da estação de Tx com trecho
        lat_peq_area_tx=[-lat_tx;lat_peq_area];
        long_peq_area_tx=[-long_tx;long_peq_area];
        % Une potência de Tx com potência medida no trecho
        nivel_sinal_tx=[potencia_tx;media_peq_area];
        % Calcula distância a partir da estação de Tx
        % Elaborar rotina que identifica quando a estação móvel está se
        % aproximando ou se afastando
        distancia_pontos=deg2km(distance(lat_peq_area_tx(1),long_peq_area_tx(1),...
            lat_peq_area_tx,long_peq_area_tx));
        distancia_pontos=(distancia_pontos(2:length(distancia_pontos)));
    case {'8'}
        % Une posição da estação de Tx com trecho
        lat_peq_area_tx=[-lat_tx;lat_desv_rap];
        long_peq_area_tx=[-long_tx;long_desv_rap];
        % Calcula distância do trecho tendo como referência Tx
        distancia_pontos=deg2km(distance(lat_peq_area_tx(1),long_peq_area_tx(1),...
            lat_peq_area_tx,long_peq_area_tx));
        distancia_pontos=(distancia_pontos(2:length(distancia_pontos)));
end
%% *****
% Geração dos gráficos
% -----
% Abre janela para desenhar gráfico
% figure
% -----
switch num_arq
    case {'1'}
        plot (hora_leit,leit_lev,'r');
        xlabel('Hora da leitura')
        ylabel('Nível do sinal recebido em dBm')
        title({'\fontsize{12} Nível do sinal medido pelo analisador de
espectro';...
            strcat(filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat')});
        datetick ('x','MM')
        grid on;
    case {'11'}
        plot (hora_leit,leit_lev,'b');
        xlabel('Hora da leitura')
        ylabel('Nível do sinal recebido em dBm')
        title({'\fontsize{12} Nível do sinal medido pelo analisador de
espectro';...
            strcat(filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat')});
        datetick ('x','MM')
        grid on;
    case {'2'}
        plot (linha_dados(:,1),linha_dados(:,2),'k');
        xlabel('Momento relativo da leitura')
        ylabel('Nível do sinal medido em Vdc')
        title({'\fontsize{12} Nível do sinal medido pelo placa AD';...

```



```

        strcat(filename_lido,conta_arq_reg_str, '.mat'));
        grid on;
    case {'3','5'}
        plot (tempo,media_db,'m') %'media_db','media_lin_placa','tempo'
        xlabel('Hora da leitura')
        ylabel('Nível do sinal recebido em dBm')
        title({'\fontsize{12} Nível do sinal medido pelo analisador de
espectro';...
        strcat(filename_lido,conta_arq_reg_str, '.mat'));
        datetick ('x','MM')
        grid on;
    case {'4','6'}
        plot (hora_leit_placa_ad,media_db,'k')
        xlabel('Minuto da leitura')
        ylabel('Nível do sinal recebido em dBm')
        title({'\fontsize{12} Nível do sinal medido pelo analisador de
espectro';...
        strcat('Trecho: ',conta_arq_reg_str)},'Interpreter','none',
'FontSize',14);
        % datetick ('x','HH:MM:SS.FFF')
        datetick ('x','MM')
        grid on;
    case {'7'}
        plot (distancia_pontos,media_peq_area,'k')
        xlabel('Distância em km')
        ylabel('Nível do sinal recebido em dBm')
        title({'\fontsize{12} Média do sinal na pequena área';...
        strcat('Trecho: ',conta_arq_reg_str)},'Interpreter','none',
'FontSize',14);
        grid on;
    case {'8'}
        plot (distancia_pontos,nivel_desv_rap,'k')
        xlabel('Distância am km')
        ylabel('Nível do sinal recebido em dBm')
        title({'\fontsize{12} Média do sinal na pequena área';...
        strcat(filename_lido,conta_arq_reg_str, '.mat'));
        % datetick ('x','MM')
        grid on;
end
% *****
% Verifica se haverá nova leitura e gravação
% -----
if conta_arq_reg==str2num(num_arq_fim);
    continua_registro=false;
else
    novo_registro=input('Realizar nova registro [s]: ', 's');
    if isempty(novo_registro)
        continua_registro=true;
        % Abre nova janela para outro gráfico
        figure
    else
        continua_registro=false;
    end
end
distancia_pontos=[];
% Incrementa sufixo do nome do arquivo
conta_arq_reg=conta_arq_reg+1;
end
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: e_separa_dados_gps_rev_a
% -----
% Este programa separa as variáveis de interesse dos dados recebidos do GPS
% para a realização de cálculos posteriores
%
% *****

```

```

% 1-Arquivo de entrada:      GPS_hora_posicao_n.mat
% Variável(eis) de entrada: 'dados_lidos_gps','hora_leit','leitura_gps'
% -----
% Arquivo de saída:         GPS_hora_pos_sep_n.mat
% Variável(eis) de saída:   (ver ao final deste programa)
% -----
% Arquivo de saída:         GPS_hora_pos_total.mat
% Variável(eis) de saída:   (ver ao final deste programa)
% *****
% Exemplo de mensagem GPS (protocolo NMEA, mensagem GGA) e posições dos
% caracteres:
% 123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456
0000000001111111112222222222333333333344444444445555555555666666666677777777
% 09:17:46.428$GPGGA,111457,2223.100,S,04146.142,W,1,06,2.4,12.5,M,-5.8,M,,*6C
% Variáveis de leitura do arquivo
% -----
clear all;
arquivo=[];
caminho='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\';
filename_lido='GPS_hora_posicao_';
filename_gravado='GPS_hora_pos_sep_dados_';
filename_gravado_total='GPS_hora_pos_total';
nome_arq='';
nome_arq_gravado='';
novo_registro='';
continua_registro=true;
conta_arq_reg=1;          % Número inicial do arquivo
conta_arq_reg_str='';
max_gps_arq=21;          % Número final do arquivo GPS
% -----
hora_local=[];
hora_loc_vet=[];
hora_gps=[];
hora_gps_vet=[];
lat_hor=[];
lat_min=[];
lat_seg=[];
long_hor=[];
long_min=[];
long_seg=[];
hora_local_tot=[];
hora_loc_vet_tot=[];
hora_gps_tot=[];
hora_gps_vet_tot=[];
lat_hor_tot=[];
lat_min_tot=[];
lat_seg_tot=[];
latitude_gps_tot=[];
long_hor_tot=[];
long_min_tot=[];
long_seg_tot=[];
longitude_gps_tot=[];
while continua_registro==true
    conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg); % passa para STRING
    nome_arq=strcat(caminho,filename_lido,conta_arq_reg_str,'.mat');
    % *****
    % Carrega arquivo de dados a serem corrigidos
    % -----
    load (nome_arq, 'dados_lidos_gps','hora_leit','leitura_gps');
    for indice=1:length(dados_lidos_gps)
        % Passa dados de CHAR para CELL
        % -----
        dados_lidos_gps_cell=cellstr(dados_lidos_gps);
        linha_dados=dados_lidos_gps_cell{indice};
        try % Tentativa de pegar os dados da linha. Se houver erro pula
            % com problema
            if and(findstr(linha_dados,'W')==48,... % Avalia se NMEA está cor-

```

```

        findstr(linha_dados,'S')==36)    % reta
    % Hora local
    h_local=linha_dados(1:12);
    hora_local=[h_ora_local;h_local];    % <<==
    h_loc_vet=datenum(linha_dados(1:12),'HH:MM:SS.FFF');
    hora_loc_vet=[hora_loc_vet;h_loc_vet]; % <<==
h_gps=[linha_dados(20:21),':',linha_dados(22:23),':',linha_dados(24:25)];
    hora_gps=[hora_gps;h_gps];          % <<==
    h_gps_vet=datenum(h_gps,'HH:MM:SS');
    hora_gps_vet=[hora_gps_vet;h_gps_vet]; % <<==
    % Cálculo da latitude
    lt_hor=str2num(linha_dados(27:28));
    lat_hor=[lat_hor;lt_hor];          % <<==
    l_min=str2num(linha_dados(29:34));
    lt_min=fix(l_min);
    lat_min=[lat_min;lt_min];          % <<==
    lt_seg=(l_min-lt_min)*60;
    lat_seg=[lat_seg;lt_seg];          % <<==
    % Latitude em graus
    latitude_gps=-1*(lat_hor+(lat_seg./60+lat_min)./60);
    % Cálculo da longitude
    lng_hor=str2num(linha_dados(38:40));
    long_hor=[long_hor;lng_hor];       % <<==
    lg_min=str2num(linha_dados(41:46));
    lng_min=fix(lg_min);
    long_min=[long_min;lng_min];       % <<==
    lng_seg=(lg_min-lng_min)*60;
    long_seg=[long_seg;lng_seg];       % <<==
    % Longitude em graus
    longitude_gps=-1*(long_hor+(long_seg./60+long_min)./60);
else
    % Pula a linha, pois apresenta erros
end
%
catch ME1
    % Não faz nada apenas muda para próxima linha
end
end
% -----
nome_arq_gravado=strcat(caminho,filename_gravado,conta_arq_reg_str);
save (nome_arq_gravado,'dados_lidos_gps','hora_leit','leitura_gps',...
    'hora_local',...
    'hora_loc_vet',...
    'hora_gps',...
    'hora_gps_vet',...
    'lat_hor',...
    'lat_min',...
    'lat_seg',...
    'latitude_gps',...
    'long_hor',...
    'long_min',...
    'long_seg',...
    'longitude_gps')
% *****
% Acumula variáveis totais
% -----
hora_local_tot=[hora_local_tot;hora_local]; % <<==
hora_loc_vet_tot=[hora_loc_vet_tot;hora_loc_vet]; % <<==
hora_gps_tot=[hora_gps_tot;hora_gps];
hora_gps_vet_tot=[hora_gps_vet_tot;hora_gps_vet];
lat_hor_tot=[lat_hor_tot;lat_hor];
lat_min_tot=[lat_min_tot;lat_min];
lat_seg_tot=[lat_seg_tot;lat_seg];
latitude_gps_tot=[latitude_gps_tot;latitude_gps];
long_hor_tot=[long_hor_tot;long_hor];
long_min_tot=[long_min_tot;long_min];
long_seg_tot=[long_seg_tot;long_seg];
longitude_gps_tot=[longitude_gps_tot;longitude_gps];

```

```

% *****
% Verifica se haverá nova leitura e gravação
% -----
novo_registro=input('Realizar nova registro [s]: ', 's');
if isempty(novo_registro)
    continua_registro=true;
    % Reinicia variáveis
    % -----
    hora_local=[];
    hora_loc_vet=[];
    hora_gps=[];
    hora_gps_vet=[];
    lat_hor=[];
    lat_min=[];
    lat_seg=[];
    long_hor=[];
    long_min=[];
    long_seg=[];
else
    continua_registro=false;
end
conta_arq_reg=conta_arq_reg+1;
if conta_arq_reg>max_gps_arq;
    continua_registro=false;
else
    % Continua processamento do próximo arquivo GPS
end
end
% Diferença entre hora local e hora GPS
dif_hora=hora_gps_vet_tot-hora_loc_vet_tot;
% Salva arquivo com todos os pontos
% -----
nome_arq_gravado=strcat(caminho,filename_gravado_total);
save (nome_arq_gravado,...
    'hora_local_tot',...
    'hora_loc_vet_tot',...
    'hora_gps_tot',...
    'hora_gps_vet_tot',...
    'dif_hora',...
    'lat_hor_tot',...
    'lat_min_tot',...
    'lat_seg_tot',...
    'latitude_gps_tot',...
    'long_hor_tot',...
    'long_min_tot',...
    'long_seg_tot',...
    'longitude_gps_tot')

% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: f_uniao_arq_gps_rev_a
% -----
% Este programa realiza a união de dois arquivos com dados de
% posicionamento obtidos pelo GPS:
% 1o.) dados registrados aproximadamente a cada segundo através do arquivo
% gerado pela captura da mensagem GPS;
% 2o.) dados registrados pelo próprio GPS no mesmo.
% Dois métodos de união podem ser utilizados:
% a) baseado no comando sortrows;
% b) baseado em algoritmo de iterações sucessivas;
% *****
% Arquivo de entrada:      GPS_hora_pos_total.mat
% Variável(eis) de entrada:  'hora_local_tot',...
%                             'hora_loc_vet_tot',...
%                             'hora_gps_tot',...
%                             'hora_gps_vet_tot',...

```

```

%                                     'dif_hora',...
%                                     'lat_hor_tot',...
%                                     'lat_min_tot',...
%                                     'lat_seg_tot',...
%                                     'latitude_gps_tot',...
%                                     'long_hor_tot',...
%                                     'long_min_tot',...
%                                     'long_seg_tot',...
%                                     'longitude_gps_tot')
% -----
% Arquivo de entrada:                GPS_hora_rota_mar.mat
% Variável(eis) de entrada:         'GPS_rota_mar'(lat, long, nada, hora_gps)
% -----
% Arquivo de saída:                 uniao_arq_GPS.mat
% Variável(eis) de saída:
%                                     'hora_final_gps_vet_tot',...
%                                     'hora_final_loc_vet_tot',...
%                                     'hora_final_loc_vet_tot_dir',...
%                                     'latitude_gps_tot_un',...
%                                     'longitude_gps_tot_un');
% *****
clear all;
arquivo=[];
caminho='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\';
arquivo_entrada1='GPS_hora_pos_total';
arquivo_entrada2='GPS_hora_rota_mar';
arquivo_saida='uniao_arq_GPS';
% Inicialização de variáveis
hora_final_gps_vet_tot=[];
hora_final_loc_vet_tot=[];
latitude_gps_tot_un=[];
longitude_gps_tot_un=[];
controle=0; % Controle do incrementos dos indexadores dos dados
continua_registro=true;
% Carrega arquivo dos dados gravados pelo programa de captura
nome_arq1=strcat(caminho,arquivo_entrada1,'.mat');
load (nome_arq1,...
      'hora_local_tot',...
      'hora_loc_vet_tot',...
      'hora_gps_tot',...
      'hora_gps_vet_tot',...
      'dif_hora',...
      'lat_hor_tot',...
      'lat_min_tot',...
      'lat_seg_tot',...
      'latitude_gps_tot',...
      'long_hor_tot',...
      'long_min_tot',...
      'long_seg_tot',...
      'longitude_gps_tot');
% Carrega arquivo dos dados gravados pelo GPS
nome_arq2=strcat(caminho,arquivo_entrada2,'.mat');
load (nome_arq2,'GPS_rota_mar');
lat_gps=GPS_rota_mar(:,1);
long_gps=GPS_rota_mar(:,2);
hora_gps=GPS_rota_mar(:,4);
hora_gps_loc=[];
% Media da diferença de hora entre hora GPS e hora local
media_dif_hora=mean(dif_hora);
% Processamento da hora GPS
% -----
% Passa hora GPS para vetorial
hora_gps_vet_tot=datevec(hora_gps_vet_tot);
hora_gps_vet=datevec(hora_gps);
% Elimina dia, mês e ano da variável: hora_gps_vet_tot_vet, para permitir
% comparação
hora_gps_vet_tot_vet(:,1:3)=0;

```

```

% Retorna variáveis anteriores para manter código mais organizado
hora_gps_vet_tot=hora_gps_vet_tot_vet;
hora_gps=hora_gps_vet;

% Zera variáveis não mais usadas
% hora_gps_vet_tot_vet=0;
% hora_gps_vet=0;
% Retorna variáveis da hora para número
hora_gps_vet_tot=datenum(hora_gps_vet_tot);
hora_gps=datenum(hora_gps);
% -----
% Processamento da hora local
% -----
% Passa hora local para vetorial
hora_loc_vet_tot_vet=datevec(hora_loc_vet_tot);
% Elimina dia, mês e ano da variável: hora_gps_vet_tot_vet, para permitir
% comparação
hora_loc_vet_tot_vet(:,1:3)=0;
% Retorna variáveis anteriores para manter código mais organizado
% hora_loc_vet_tot=hora_loc_vet_tot_vet;
% Retorna variáveis da hora para número e para variáveis anteriores para manter
% código mais organizado
hora_loc_vet_tot=datenum(hora_loc_vet_tot_vet); % Hora local
hora_gps_loc=hora_gps-media_dif_hora; % Hora local a partir do GPS
% -----
% Quantidade de pontos
comp_arq_gravado=length(hora_gps_vet_tot);
comp_arq_gps=length(hora_gps);
% Inicialização dos indexadores
ind_gravado=1;
ind_gps=1;
% Correção de defasagem observada entre a hora do GPS e a hora registrada
% no arquivo.
h_gps_def=[0 0 0 0 0 15];
hora_gps=hora_gps-datenum(h_gps_def);
% Escolha do método de união
disp ({ '1 - Comando "sortrows";...
        '2 - Algoritmo de iterações sucessivas'});
num_arq=input('Escolha do Método [1]','s');
if isempty(num_arq)
    num_arq='1';
end
switch num_arq
    case {'1'}
        hora_gps_total=[hora_gps;hora_gps_vet_tot];
        lat_gps_total=[lat_gps;latitude_gps_tot];
        long_gps_total=[long_gps;longitude_gps_tot];
        dados1=[hora_gps_total lat_gps_total long_gps_total];
        dados2=sortrows(dados1,1);
        hora_final_gps_vet_tot=dados2(:,1);
        hora_final_loc_vet_tot=dados2(:,1)-media_dif_hora;
        latitude_gps_tot_un=dados2(:,2);
        longitude_gps_tot_un=dados2(:,3);
    case {'2'}
        % Coloca a variável de menor valor na variável do arquivo de saída
        while continua_registro==true
            % *****
            if hora_gps_vet_tot(ind_gravado)==hora_gps(ind_gps)
                controle=1;
                % -----
                % Se verdadeiro grava dados do arquivo
                hora_final_gps_vet_tot=[hora_final_gps_vet_tot;...
                    hora_gps_vet_tot(ind_gravado)];
                hora_final_loc_vet_tot=[hora_final_loc_vet_tot;...
                    hora_loc_vet_tot(ind_gravado)];
                latitude_gps_tot_un=[latitude_gps_tot_un;...
                    latitude_gps_tot(ind_gravado)];
                longitude_gps_tot_un=[longitude_gps_tot_un;...

```

```

        longitude_gps_tot(ind_gravado)];
    % A decisão do contador pode ser aqui ou abaixo
    % -----
else
    % *****
    if hora_gps_vet_tot(ind_gravado) < hora_gps(ind_gps);
        controle=2;
        % -----
        % Se verdadeiro grava dados do arquivo
        hora_final_gps_vet_tot=[hora_final_gps_vet_tot;...
            hora_gps_vet_tot(ind_gravado)];
        %
        hora_final_loc_vet_tot=[hora_final_loc_vet_tot;...
            hora_loc_vet_tot(ind_gravado)];
        latitude_gps_tot_un=[latitude_gps_tot_un;...
            latitude_gps_tot(ind_gravado)];
        longitude_gps_tot_un=[longitude_gps_tot_un;...
            longitude_gps_tot(ind_gravado)];
        % A decisão do contador pode ser aqui ou abaixo
        % -----
    else
        % *****
        if hora_gps_vet_tot(ind_gravado) > hora_gps(ind_gps)
            controle=3;
            % -----
            % Se verdadeiro grava dados do GPS
            hora_final_gps_vet_tot=[hora_final_gps_vet_tot;...
                hora_gps(ind_gps)];
            %
            hora_final_loc_vet_tot=[hora_final_loc_vet_tot;...
                (hora_gps(ind_gps)-media_dif_hora)];
            latitude_gps_tot_un=[latitude_gps_tot_un;...
                lat_gps(ind_gps)];
            longitude_gps_tot_un=[longitude_gps_tot_un;...
                long_gps(ind_gps)];
            % A decisão do contador pode ser aqui ou abaixo
            % -----
        end
    % *****
    end
end
% Decisão do contador
% -----
if controle==1; % gravado = GPS
    if ind_gravado==comp_arq_gravado
        if ind_gps==comp_arq_gps
            continua_registro=false;
        else
            ind_gps=ind_gps+1;
        end
    else
        if ind_gps==comp_arq_gps
            ind_gravado=ind_gravado+1;
        else
            ind_gravado=ind_gravado+1;
            ind_gps=ind_gps+1;
        end
    end
end
% -----
if controle==2; % gravado < GPS
    if ind_gravado==comp_arq_gravado
        if ind_gps==comp_arq_gps
            continua_registro=false;
        else
            ind_gps=ind_gps+1;
        end
    else

```

```

        if ind_gps==comp_arq_gps
            ind_gravado=ind_gravado+1;
        else
            ind_gravado=ind_gravado+1;
            % ind_gps=ind_gps+1;
        end
    end
end
end
% -----
if controle==3; % gravado > GPS
    prim_pos=1;
    if ind_gravado==comp_arq_gravado
        if ind_gps==comp_arq_gps
            continua_registro=false;
        else
            ind_gps=ind_gps+1;
        end
    else
        if ind_gps==comp_arq_gps
            % ind_gps=ind_gps+1;
            ind_gravado=ind_gravado+1;
        else
            % ind_gravado=ind_gravado+1;
            ind_gps=ind_gps+1;
        end
    end
end
end
% -----
controle=0;
end
end
% Calculo da diferenca da hora diretamente do vetor:
hora_final_loc_vet_tot_dir=hora_final_gps_vet_tot-media_dif_hora;
%
% Salva arquivo com variáveis calculadas
nome_arq_gravado=strcat(caminho,arquivo_saida);
save (nome_arq_gravado,...
    'hora_final_gps_vet_tot',...
    'hora_final_loc_vet_tot',...
    'hora_final_loc_vet_tot_dir',...
    'latitude_gps_tot_un',...
    'longitude_gps_tot_un');
% Desenha percurso:
plot(longitude_gps_tot_un,latitude_gps_tot_un,'+r')
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: g_uniao_arq_gps_sinal_rev_c
% -----
% Este programa realiza a união do arquivo dos pontos do GPS com os
% arquivos dos dados do sinal medido. Utiliza a hora local como parâmetros
% de sincronismo temporal e calcula as posições no espaço para cada amostra
% feita adquirida
% *****
% Arquivo de entrada:        uniao_arq_GPS.mat
% Variável(eis) de entrada:
%
%                           'hora_final_gps_vet_tot',...
%                           'hora_final_loc_vet_tot',...
%                           'hora_final_loc_vet_tot_dir',...
%                           'latitude_gps_tot_un',...
%                           'longitude_gps_tot_un');
% -----
% Arquivo de entrada:        media_mar_hora_n.mat
% Variável(eis) de entrada:  'media_db', 'media_lin_placa',...
%                           'tempo', 'hora_leit_placa_ad'
% -----
% Arquivo de entrada:        amostra_mar_hora_n.mat

```



```

% Variável(eis) de entrada: 'valor_db','media_db','media_lin_placa',...
%                               'tempo','hora_leit_placa_ad'
% -----
% Arquivo de saída:          amost_sinal_posicao_hora_
% Variável(eis) de saída:
%                               'hora_loc_tot',...
%                               'latitude_tot',...
%                               'longitude_tot',...
%                               'nivel_sinal_dB');
% -----
% Arquivo de saída2:        amost_sinal_posicao_hora_total
% Variável(eis) de saída:
%                               'hora_loc_consl_tot',...
%                               'latitude_consol_tot',...
%                               'longitude_consol_tot',...
%                               'nivel_sinal_dB_consol');
% *****
clear all
% Definição dos arquivos a serem lidos
% -----
arquivo=[];
caminho='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\';
arquivo_entrada1='uniao_arq_GPS';
% arquivo_entrada2='media_mar_hora_';
% arquivo_entrada3='amostra_mar_hora_';
arquivo_saida='amost_sinal_posicao_hora_';
arquivo_saida2='amost_sinal_posicao_hora_total';

% Inicialização de variáveis
% -----
hora_gps_tot=[];
hora_loc_tot=[];
hora_loc_tot_dir=[];
tempo=[];
hora_leit_placa_ad=[];
latitude_tot=[];
longitude_tot=[];
nivel_sinal_dB=[]; % <= media_db
media_lin_placa=[];
controle=0; % Controle do incrementos dos indexadores dos dados
% variáveis do arquivo consolidado
hora_loc_consl_tot=[];
latitude_consol_tot=[];
longitude_consol_tot=[];
nivel_sinal_dB_consol=[];
arq_consolidado=false; % Controle de escrita de arquivo consolidado;
% *****
% Leitura do arquivo de dados de posição e hora
% -----
nome_arq_gravado=strcat(caminho,arquivo_entrada1);
load (nome_arq_gravado,...
      'hora_final_gps_vet_tot',...
      'hora_final_loc_vet_tot',...
      'hora_final_loc_vet_tot_dir',...
      'latitude_gps_tot_un',...
      'longitude_gps_tot_un');
% *****
% Escolha do arquivo de dados do sinal
% -----
disp ({ '1-Arquivo de entrada: media_mar_hora_n (n=1-24)';...
        '2-Arquivo de entrada: amostra_mar_hora_n (n=1-24)';...
        ''}); % <=<=
num_arq=input('Entre com o arquivo a ser lido [2]','s');
if isempty(num_arq)
    num_arq='2';
end
num_arq_ini=input('Entre com o número do primeiro arquivo [1]','s');

```

```

if isempty(num_arq_ini)
    num_arq_ini='1';
end
num_arq_fim=input('Entre com o número do último arquivo [25]','s');
if isempty(num_arq_fim)
    num_arq_fim='25';
end
% Verifica se haverá arquivo consolidado
% -----
arq_consolidado=input('Escrever arquivo consolidado [não]','s');
if isempty(arq_consolidado)
    arq_consolidado=false;
else
    arq_consolidado=true;
end
% -----
% Seleciona arquivo
switch num_arq
    case {'1'}
        arquivo_entrada='media_mar_hora_';
        arquivo_saida='arq_sinal_posicao_hora_';
        arquivo_saida2='arq_sinal_posicao_hora_total';
        %
    case {'2'}
        arquivo_entrada='amostra_mar_hora_';
        arquivo_saida='arq_amost_sinal_posicao_hora_';
        arquivo_saida2='arq_amost_sinal_posicao_hora_total';
end
% Variáveis de leitura do arquivo
% -----
nome_arq='';
nome_arq_gravado='';
novo_registro='';
continua_leitura_arq=true; % Leitura dos arquivos
continua_registro=true; % Leitura dos registros de um arquivo
conta_arq_reg=1;
conta_arq_reg_str='';
% Entrada e leitura do arquivo com as variáveis medidas em campo
% -----
conta_arq_reg=str2num(num_arq_ini); % valor inicial do registro
while continua_leitura_arq==true
    conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg); % passa para STRING
    nome_arq=strcat(caminho,arquivo_entrada,conta_arq_reg_str,'.mat');
    % *****
% Leitura do arquivo de dados dos sinais gravados
% -----
    switch num_arq
        case {'1'}
            load (nome_arq, 'media_db','media_lin_placa','tempo',...
                'hora_leit_placa_ad');
        case {'2'}
            load (nome_arq, 'valor_db','media_db','media_lin_placa',...
                'tempo','hora_leit_placa_ad');
    end
% Processamento da hora local do sinal medido
% -----
% Passa hora local para vetorial
hora_leit_placa_ad=hora_leit_placa_ad'; % Passa de linha para coluna
hora_leit_placa_ad_vet=datevec(hora_leit_placa_ad);
% Elimina dia, mês e ano da variável: hora_leit_placa_ad_vet, para permitir
% comparação
hora_leit_placa_ad_vet(:,1:3)=0;
% Retorna variáveis anteriores para manter código mais organizado
hora_leit_placa_ad=hora_leit_placa_ad_vet;
% Retorna variáveis da hora para número
hora_leit_placa_ad=datenum(hora_leit_placa_ad); % Hora local
% -----
% Quantidade de pontos a serem comparados

```

```

comp_arq_gps=length(hora_final_loc_vet_tot);
comp_arq_sinal=length(hora_leit_placa_ad);
% Primeira posição para encaixe do nível do sinal
prim_pos=0;
ult_pos=0;
% *****
% Lógica de unição dos dados do GPS com os dados do sinal medido
% -----
media_db_tot=media_db; % Transposição, passa de linha para coluna
% coloca zeros nas posições sem dados
s_lat=zeros(length(hora_leit_placa_ad),1);
s_long=zeros(length(hora_leit_placa_ad),1);
gps_sinal=zeros(length(hora_final_loc_vet_tot),1);
% Concatena dados
hora_loc_tot=[hora_leit_placa_ad;hora_final_loc_vet_tot];
latitude_tot=[s_lat;latitude_gps_tot_un];
longitude_tot=[s_long;longitude_gps_tot_un];
nivel_sinal_dB=[media_db_tot;gps_sinal];
dados1=[hora_loc_tot latitude_tot longitude_tot nivel_sinal_dB];
%Ordena dados baseado na coluna com a hora
dados2=sortrows(dados1,1);
% Lógica de cálculo das posições de cada ponto do sinal medido/amostrado
% -----
indice=1;
while indice ~= length(dados2)
    while (dados2(indice,2)~=0 && indice~=length(dados2))
        indice=indice+1;
    end
    x1= dados2(indice-1,1);
    ylat1=dados2(indice-1,2);
    ylong1=dados2(indice-1,3);
    prim_pos=indice-1;
    while (dados2(indice,2)==0&& indice~=length(dados2))
        indice=indice+1;
    end
    x2= dados2(indice,1);
    ylat2=dados2(indice,2);
    ylong2=dados2(indice,3);
    ult_pos=indice;
    a_lat=(ylat2-ylat1)/(x2-x1);
    b_lat=ylat1-((ylat2-ylat1)/(x2-x1))*x1;
    a_long=(ylong2-ylong1)/(x2-x1);
    b_long=ylong1-((ylong2-ylong1)/(x2-x1))*x1;
    % Coloca os dados linhas nas posições da matriz de dados
    for indice=prim_pos+1:ult_pos-1
        %
        if ylat2==0 && ylong2==0
            ylat_sinal=0;
            dados2(indice,2)=ylat_sinal;
            ylong_sinal=0;
            dados2(indice,3)=ylong_sinal;
        else
            % Calcula latitude e longitude
            ylat_sinal=a_lat*dados2(indice,1)+b_lat;
            dados2(indice,2)=ylat_sinal;
            ylong_sinal=a_long*dados2(indice,1)+b_long;
            dados2(indice,3)=ylong_sinal;
        end
    end
    indice=ult_pos;
end
% -----
% Suprime níveis de sinais com valor igual a zero
% -----
% Suprime posições com nível de sinal igual a zero
ind = find(dados2(:,4));
hora_loc_tot=dados2(ind,1);
latitude_tot=dados2(ind,2);

```

```

longitude_tot=dados2(ind,3);
nivel_sinal_dB=dados2(ind,4);
% Suprime posições com latitude igual a zero
ind = find(latitude_tot);

hora_loc_tot=hora_loc_tot(ind);
latitude_tot=latitude_tot(ind);
longitude_tot=longitude_tot(ind);
nivel_sinal_dB=nivel_sinal_dB(ind);
% Salva arquivo com variáveis calculadas
nome_arq_gravado=strcat(caminho,arquivo_saida,conta_arq_reg_str,'.mat');
save (nome_arq_gravado,...
    'hora_loc_tot',...
    'latitude_tot',...
    'longitude_tot',...
    'nivel_sinal_dB');
% Armazena dados para arquivo consolidado
% -----
hora_loc_consl_tot=[hora_loc_consl_tot;hora_loc_tot];
latitude_consol_tot=[latitude_consol_tot;latitude_tot];
longitude_consol_tot=[longitude_consol_tot;longitude_tot];
nivel_sinal_dB_consol=[nivel_sinal_dB_consol;nivel_sinal_dB];
% *****
% Verifica se haverá nova leitura e gravação
% -----
if conta_arq_reg==str2num(num_arq_fim);
    continua_leitura_arq=false;
else
    novo_registro=input('Realizar nova registro [s]: ', 's');
    if isempty(novo_registro)
        continua_leitura_arq=true;
        % Abre nova janela para outro gráfico
        figure
    else
        continua_leitura_arq=false;
    end
end
% Incrementa sufixo do nome do arquivo
conta_arq_reg=conta_arq_reg+1;
end
% Grava arquivo consolidado
if arq_consolidado
    nome_arq_gravado=strcat(caminho,arquivo_saida2,'.mat');
    save (nome_arq_gravado,...
        'hora_loc_consl_tot',...
        'latitude_consol_tot',...
        'longitude_consol_tot',...
        'nivel_sinal_dB_consol');
end
%
plot(dados2(:,3),dados2(:,2),'r');
plot(longitude_tot,latitude_tot,'o');
figure;
plot (longitude_consol_tot,latitude_consol_tot,'+m');
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: h_dados_sist_tx_rx_rev_b
% -----
% Este programa faz a leitura ou carrega os dados do arquivo com dados para
% cálculo de propagação
% São gerados ou carregados dados de Tx e Rx
% *****
% Arquivo de entrada 1:          'dados_tx.mat';
% Variável(eis) de entrada:    'lat_tx'
%                               'long_tx'
%                               'altura_antena_tx

```

```

%                               'potência_tx'
%                               'frequencia_tx'
%                               'ganho_antena_tx'
%                               'perdas_cabos_tx'
% *****
% Arquivo de entrada 2:         'dados_rx.mat';
% Variável(eis) de entrada:    'sensibilidade_rx'
%                               'altura_antena_rx'
%                               'ganho_antena_rx'
%                               'perdas_cabos_rx'
%                               'ganho_lna'
% *****
clear all;
clc;
% -----
% Definição dos arquivos a serem lidos
% -----
arquivo=[];
caminho='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\Dados_sistema\';

arquivo_entrada1='dados_tx.mat';
arquivo_entrada2='dados_rx.mat';
% -----
% Inicialização de variáveis
% -----
corrigr_ent=true;
% Dados de Tx
lat_tx=0;
long_tx=0;
altura_antena_tx=0;
potencia_tx=0;
frequencia_tx=0;
ganho_antena_tx=0;
perdas_cabos_tx=0;
% Dados de Rx
sensibilidade_rx=0;
altura_antena_rx=0;
ganho_antena_rx=0;
perdas_cabos_rx=0;
ganho_lna=0;
%% Decisão de leitura ou registro dos dados
% -----
while corrigr_ent
%
leit_dados=input(['\n\1- Leitura dos dados [1]'\n...
'\n\2- Correção de dados'\n...
'\n\3- Registro de dados'\n...
'\n\4- Encerrar\n'],'s');
if isempty(leit_dados)
leit_dados='1'; % Foram gerados 24 arquivos
end
%
switch leit_dados
case {'1'}
%% Leitura dos dados
nome_arq_gravado=strcat(caminho,arquivo_entrada1);
load (nome_arq_gravado,...
'lat_tx',...
'long_tx',...
'altura_antena_tx',...
'potencia_tx',...
'frequencia_tx',...
'ganho_antena_tx',...
'perdas_cabos_tx');
nome_arq_gravado=strcat(caminho,arquivo_entrada2);
load (nome_arq_gravado,...
'sensibilidade_rx',...

```

```

    'altura_antena_rx',...
    'ganho_antena_rx',...
    'perdas_cabos_rx',...
    'ganho_lna');
% Mostra dados
disp({'lat_tx';'long_tx';'altura_antena_tx';...
     'potencia_tx';'frequencia_tx';'ganho_antena_tx';...
     'perdas_cabos_tx'});
disp({num2str(lat_tx); num2str(long_tx); num2str(altura_antena_tx);...
     num2str(potencia_tx);...
     num2str(frequencia_tx);num2str(ganho_antena_tx);...
     num2str(perdas_cabos_tx)});
disp({'sensibilidade_rx';'altura_antena_rx';'ganho_antena_rx';...
     'perdas_cabos_rx';'ganho_lna'});
disp({num2str(sensibilidade_rx); num2str(altura_antena_rx);...
     num2str(ganho_antena_rx); num2str(perdas_cabos_rx);...
     num2str(ganho_lna)});
case {'2'}
%% Correção de dados Tx
% -----
temporario=input(['Latitude Tx atual ' num2str(lat_tx) ' :']);
if ~isempty(temporario); lat_tx=temporario;
end
temporario=input(['Longitude Tx atual ' num2str(long_tx) ' :']);
if ~isempty(temporario); long_tx=temporario;
end
temporario=input(['Altura atual da antena Tx em m '
num2str(altura_antena_tx) ' :']);
if ~isempty(temporario); altura_antena_tx=temporario;
end
temporario=input(['Potência atual de Tx em dBm ' num2str(potencia_tx) '
:']);
if ~isempty(temporario); potencia_tx=temporario;
end
temporario=input(['Frequencia atual de Tx em Hz '
num2str(frequencia_tx) ' :']);
if ~isempty(temporario); frequencia_tx=temporario;
end
temporario=input(['Ganho atual da antena de Tx em dB '
num2str(ganho_antena_tx) ' :']);
if ~isempty(temporario); ganho_antena_tx=temporario;
end
temporario=input(['Perdas atual de cabos de Tx em dB '
num2str(perdas_cabos_tx) ' :']);
if ~isempty(temporario); perdas_cabos_tx=temporario;
end
%% Correção de dados Rx
% -----
temporario=input(['Sensibilidade atual Rx em dB '
num2str(sensibilidade_rx) ' :']);
if ~isempty(temporario); sensibilidade_rx=temporario;
end
temporario=input(['Altura atual da antena Rx em m '
num2str(altura_antena_rx) ' :']);
if ~isempty(temporario); altura_antena_rx=temporario;
end
temporario=input(['Ganho atual antena Rx em dB '
num2str(ganho_antena_rx) ' :']);
if ~isempty(temporario); ganho_antena_rx=temporario;
end
temporario=input(['Perdas atual cabos Rx em dB '
num2str(perdas_cabos_rx) ' :']);
if ~isempty(temporario); perdas_cabos_rx=temporario;
end
temporario=input(['Ganho atual LNA Rx em dB ' num2str(ganho_lna) '
:']);
if ~isempty(temporario); ganho_lna=temporario;
end

```

```

%% Salva arquivo de Tx
% -----
nome_arq_gravado=strcat(caminho,arquivo_entrada1);
save (nome_arq_gravado,...
'lat_tx',...
'long_tx',...
'altura_antena_tx',...
'potencia_tx',...
'frequencia_tx',...
'ganho_antena_tx',...
'perdas_cabos_tx');
%% Salva arquivo de Rx
% -----
nome_arq_gravado=strcat(caminho,arquivo_entrada2);
save (nome_arq_gravado,...
'sensibilidade_rx',...
'altura_antena_rx',...
'ganho_antena_rx',...
'perdas_cabos_rx',...
'ganho_lna');
case {'3'}
% Entrada de dados de Tx
lat_tx=input('Latitude de Tx');
long_tx=input('Longitude de Tx');
altura_antena_tx=input('Altura antena de Tx em m');
potencia_tx=input('Potência de Tx em dBm');
frequencia_tx=input('Frequencia de Tx em Hz');
ganho_antena_tx=input('Ganho da antena de Tx em dB');
perdas_cabos_tx=input('Perdas cabos Tx em dB');
% Entrada de dados de Rx
sensibilidade_rx=input('Sensibilidade Rx em dB');
altura_antena_rx=input('Altura antena Rx em m');
ganho_antena_rx=input('Ganho antena Rx em dB');
perdas_cabos_rx=input('Perdas cabos Rx em dB');
ganho_lna=input('Ganho LNA em dB');
case{'4'}
    corrigr_ent=false;
end
end
end
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: i_media_pequena_area_rev_e
% -----
% Este programa calcula, a partir do segmento do sinal medido e processado:
% a média de pequena área, o desvanecimento rápido na pequena área/setor e
% o desvanecimento lento ao longo das pequenas áreas/setores.
% *****
% Arquivo de entrada 1:      'arq_sinal_posicao_hora_.mat';
% Variável(eis) de entrada:
%
%                          'hora_loc_tot',...
%                          'latitude_tot',...
%                          'longitude_tot',...
%                          'nivel_sinal_dB');
% *****
% Arquivo de entrada 2:      '.mat';
% Variável(eis) de entrada:  ''
% *****
% Arquivo de saída1: media_peq_area_n.mat
% Arquivo de saída2: desvan_rapido_n.mat
% *****
clear all
% Definição dos arquivos a serem lidos
% -----
arquivo=[];

```

```

caminho='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\';
caminho1='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\Desvan_rapido\';
caminho2='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\Desvan_lento\';
arquivo_entrada='arq_amost_sinal_posicao_hora_';
arquivo_saida1='desvan_rapido_';
arquivo_saida2='media_peq_area_';
% Verificação dos arquivos que serão lidos para os cálculos
% -----
num_arq_ini=input('Entre com o número do primeiro arquivo [1]','s');
if isempty(num_arq_ini)
    num_arq_ini='1';
end
num_arq_fim=input('Entre com o número do último arquivo [24]','s');
if isempty(num_arq_fim)
    num_arq_fim='24'; % Foram gerados 24 arquivos
end
% Variáveis de leitura do arquivo
% -----
nome_arq='';
nome_arq_gravado='';
novo_registro='';
continua_registro=true;
conta_arq_reg=1;
conta_arq_reg_str='';
mesmo_graf=false; % Mantém dados no mesmo gráfico ou faz outro
% Variáveis de cálculo
% -----
media_peq_area=[];
hora_peq_area=[];
dist_peq_area=[];
desv_rap=[];
lat_peq_area=[];
long_peq_area=[];
taxa_amost='';
%% Tamanho da janela
% -----
freq_sinal= 351500000;      % em Hertz
lambda=3e8/freq_sinal;    % em metros
taxa_amost=input('Entre com a taxa de amostragem [800]','s');
if isempty(taxa_amost)
    taxa_amost='800'; % Taxa de amostragem de 800 aps
end
freq_amostragem=str2num(taxa_amost);
% Parâmetros segundo Yacoub
% -----
alfa=0.04;
gama=2;
n_amostras=4*gama/alfa;
% Entrada e leitura do arquivo com as variáveis medidas em campo
% -----
conta_arq_reg=str2num(num_arq_ini);      % valor inicial do arquivo
while continua_registro==true
    % *****
    % Leitura do arquivo de dados
    % -----
    conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg); % passa para STRING
    nome_arq_gravado=strcat(caminho,arquivo_entrada,conta_arq_reg_str,'.mat');
    load (nome_arq_gravado,...
        'hora_loc_tot',...
        'latitude_tot',...
        'longitude_tot',...
        'nivel_sinal_dB');
    % Distância entre pontos
    % -----

```



```

distancia_pontos=deg2km(distance(latitude_tot(1),longitude_tot(1),latitude_tot,long
itude_tot));
% -----
%% Cálculo da velocidade no trecho
hora_s=(second((hora_loc_tot(length(hora_loc_tot))-hora_loc_tot(1)))/3600;
hora_m=(minute((hora_loc_tot(length(hora_loc_tot))-hora_loc_tot(1)))/60;
hora_h=(hour((hora_loc_tot(length(hora_loc_tot))-hora_loc_tot(1))));
delta_t=hora_h+hora_m+hora_s;
delta_s=distancia_pontos(length(distancia_pontos))-distancia_pontos(1);
delta_v=delta_s/delta_t;      % em km/h
velocidade=delta_v/3.6;      % em m/s
vinte_lambda=20*lambda;
n_amostras=freq_amostragem*vinte_lambda/velocidade;
n_lambda=n_amostras*lambda;
comp_peq_area=n_lambda*lambda;      % comprimento da peq. área em m
comp_peq_area=comp_peq_area/1000;  % passa para km
%% *****
% Rotina para realização dos cálculos
% -----
% Filtra sinal diretamente na variável
janela_filtro=fix(n_amostras);
mpa= filter(ones(1,janela_filtro)/janela_filtro,1,nivel_sinal_dB);
media_peq_area=mpa(janela_filtro:length(nivel_sinal_dB));
% Hora na pequena área
hora_peq_area=hora_loc_tot(janela_filtro:length(nivel_sinal_dB));
% Distância na pequena área
dist_peq_area=distancia_pontos(janela_filtro:length(nivel_sinal_dB));

% Latitude e longitude na pequena área
lat_peq_area=latitude_tot(janela_filtro:length(nivel_sinal_dB));
long_peq_area=longitude_tot(janela_filtro:length(nivel_sinal_dB));
% Desvanecimento rápido
% -----
nivel_desv_rap=nivel_sinal_dB(janela_filtro:length(nivel_sinal_dB))...
-media_peq_area;
hora_desv_rap=hora_loc_tot(janela_filtro:length(nivel_sinal_dB));
lat_desv_rap=latitude_tot(janela_filtro:length(nivel_sinal_dB));
long_desv_rap=longitude_tot(janela_filtro:length(nivel_sinal_dB));
dist_desv_rap=distancia_pontos(janela_filtro:length(nivel_sinal_dB));
% Gráfico do nível do sinal do trecho em tempo
plot (hora_loc_tot,nivel_sinal_dB,'r')
hold on
plot (hora_peq_area,media_peq_area,'k')
figure
% Gráfico do nível do sinal em distância
plot (distancia_pontos,nivel_sinal_dB,'r')
hold on
plot (dist_peq_area,media_peq_area,'k')
figure
% Gráfico do desvanecimento rápido do sinal em distância
plot (distancia_pontos,nivel_sinal_dB,'r')
hold on
plot (dist_peq_area,nivel_desv_rap,'k')
%% *****
% Salva dados calculados
% -----
conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg);
% Pequena área
nome_arq_gravado=strcat(caminho2,arquivo_saida2,conta_arq_reg_str,'.mat');
save (nome_arq_gravado,...
' hora_peq_area',...
' lat_peq_area',...
' long_peq_area',...
' media_peq_area',...
' dist_peq_area',...
' comp_peq_area',...
' ind_dist_fim');
% Desvanecimento rápido

```

```

nome_arq_gravado=strcat(caminho1,arquivo_saidal,conta_arq_reg_str,'.mat');
save (nome_arq_gravado,...
      'hora_desv_rap',...
      'lat_desv_rap',...
      'long_desv_rap',...
      'nivel_desv_rap',...
      'dist_desv_rap',...
      'comp_peq_area',...
      'ind_dist_fim');
% *****
% Verifica se haverá nova leitura e gravação
% -----
if conta_arq_reg==str2num(num_arq_fim);
    continua_registro=false;
else
    continua_registro=true;
% Reinicializa variáveis
% -----
    media_peq_area=[];
    hora_peq_area=[];
    dist_peq_area=[];
    desv_rap=[];
end
% Incrementa sufixo do nome do arquivo
conta_arq_reg=conta_arq_reg+1;
end
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: j_calculo_desvan_rapido_rev_b
% -----
% Programa para separação em pequenas áreas a partir do desvanescimento
% rápido de cada trecho
% -----
% Arquivo de entrada:      desvan_rapido_n.mat
% Variável(eis) de entrada:
%
%      'hora_desv_rap',...
%      'lat_desv_rap',...
%      'long_desv_rap',...
%      'nivel_desv_rap',...
%      'dist_desv_rap',...
%      'comp_peq_area',...
%      'ind_dist_fim');
% -----
% Arquivo de saída:      desv_rap_
% Variável(eis) de saída: 'ff_a_b_c', 'ff_t_a_b_c'
% *****
% Cada trecho equivalente a 1 segundo significa a leitura de 800 pontos,
% considerando a taxa de amostragem de 8000 Hz e a realização de uma média
% de 10 pontos feita pelo arquivo media_valores.m
clear all;          % Apaga todas as variáveis do Espaço de Trabalho
n_pontos_ini=1;     % Ponto inicial
n_pontos_fin=800;   % Ponto final inicial
n_pontos_delta=800; % Distância entre pontos
% caminho='';      % Caminho de gravação do arquivo
sectionname='';    % Nome da seção a ser gravada
filename='desv_rap_'; % Nome do arquivo do desvanescimento rápido gravado
nome_arq='';
filename_dados=''; % Nome do arquivo de leitura
nome_arq_dados=''; % Nome do arquivo de leitura
conta_secao_str=''; %
conta_arq_reg=1;
conta_arq_reg_str=''; %
conta_arq_reg_trecho=''; %
conta_arq_reg_str_trecho=''; %
media_lin_placa=[]; %

```

```

media_lin=[]; %
tempo=[]; %
% -----
% Variáveis de leitura do arquivo
% -----
caminho_leitura='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\Desvan_rapido\';
caminho_gravacao='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\Desvan_rapido\Setores\';
filename_lido='desvan_rapido_';
filename_gravado='desv_rap_';
novo_registro='';
continua_registro=true;
fid=0;
% Entrada e leitura do arquivo com as variáveis medidas em campo
% -----
while continua_registro==true
    %
    while fid < 1
        conta_arq_reg_trecho=input(...
            'Entre com o número n do arquivo - desvan_rapido_n: ','s');
        %
        conta_arq_reg_str_trecho=num2str(conta_arq_reg_trecho); % passa para
STRING
nome_arq=strcat(caminho_leitura,filename_lido,conta_arq_reg_str_trecho,'.mat');
        [fid,message] = fopen(filename_lido, 'a');
        if fid == -1
            disp(message);
        end
    end
    fid=0;
% *****
% Carrega arquivo de dados gravados
% -----
load (nome_arq,...
    'hora_desv_rap',...
    'lat_desv_rap',...
    'long_desv_rap',...
    'nivel_desv_rap',...
    'dist_desv_rap',...
    'comp_peq_area',...
    'ind_dist_fim');
    %
    ind_dist_ini=1;
    tam_pontos_peq_area=ind_dist_fim;
% *****
% Laço de geração dos arquivos dos trechos
% -----
num_secoes=fix(length(nivel_desv_rap)/ind_dist_fim); % Número de seções
for conta_secao=1:num_secoes % "n" secoes
    conta_secao_str=strcat(num2str(conta_secao));
    variavel=...
    strcat('ff_',conta_arq_reg_str_trecho,'_',conta_secao_str);
    eval([variavel '=nivel_desv_rap(ind_dist_ini:ind_dist_fim);']);
    variavel_t=...
    strcat('ff_t_',conta_arq_reg_str_trecho,'_',conta_secao_str);
    eval([variavel_t '=hora_desv_rap(ind_dist_ini:ind_dist_fim);']);
% *****
% Salva os valores calculados
% -----
    nome_arq=strcat(caminho_gravacao,filename_gravado,...
    conta_arq_reg_str_trecho,'_',conta_secao_str,conta_arq_reg_str);
    save (nome_arq, variavel, variavel_t);
% -----
    ind_dist_ini=ind_dist_ini+tam_pontos_peq_area;
    ind_dist_fim=ind_dist_fim+tam_pontos_peq_area;
end
% *****

```

```

% Verifica se haverá nova leitura e gravação
% -----
    novo_registro=input('Realizar nova registro [s]: ', 's');
    if isempty(novo_registro)
        continua_registro=true;
    else
        continua_registro=false;
    end
    % Incrementa sufixo do nome do arquivo
    conta_arq_reg=conta_arq_reg+1;
    % Reinicializa variáveis
    media_db=[];
    media_lin=[];
    media_lin_placa=[];
    tempo=[];
end
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: k_calculo_pdf_teste_qui_rev_b
% -----
% Este programa realiza as seguintes tarefas:
% - cálculo da função densidade de probabilidade de: Gauss, Rayleigh e
% Rice;
% - para a distribuição de Rice, calcula diversos SIGMA e K;
% - realiza o teste QUI-QUADRADO para verificar a PDF de melhor aderência;
% - salva os dados obtidos para posterior análise;
% - desenha o gráfico final.
% *****
% Arquivo de entrada:          desv_rap_a_b.mat
% Variável(eis) de entrada: 'ff_a_b', 'ff_t_a_b'
% -----
% Arquivo de saída:          pdf_teste_qui_a_b.mat
% Variável(eis) de saída:
% Arquivo de saída2:          dados_pdf_teste_qui_trecho_a.mat
% Variável(eis) de saída:
% *****
clear all;          % Apaga todas as variáveis do Espaço de Trabalho
clf;               % Apaga gráficos
sectionname='';    % Nome da seção a ser gravada
filename='desv_rap_'; % Nome do arquivo do desvanescimento rápido gravado
nome_arq='';
filename_dados=''; % Nome do arquivo de leitura
nome_arq_dados=''; % Nome do arquivo de leitura
tipo_analise='';   % Analisa tudo ou por pequena área
resp_tipo_analise='';
% -----
% Variáveis de leitura do arquivo
% -----
caminho_leitura='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\Desvan_rapido\Setores\';
caminho_escrita='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\PDF_desv_rapido\';
arquivo_entrada='';
arquivo_saida='';
novo_registro='';
continua_registro=true;
conta_secao_str=''; %
conta_secao_num=1;
conta_arq_reg=1; %
conta_arq_reg_str=''; %
conta_arq_reg_trecho=''; %
conta_arq_reg_str_trecho=''; %
conta_arq_reg_trecho_num=0;
% Variáveis do programa
% -----

```

```

ndBm_trecho=[];
V_trecho=[];
r_trecho=[];
n_trecho=[];
xout_trecho=[];
n_pdf_trecho=[];
p1_trecho=[];
p2_trecho=[];
p3_rice_trecho=[];
p1_qui_trecho=[];
p2_qui_trecho=[];
p3_rice_qui_trecho=[];
h_gauss_trecho=[];
p_gauss_trecho=[];
st_gauss_trecho=[];
st_gauss_df_trecho=[];
qui_teste_gauss_trecho=[];
x_qui_teste_gauss_trecho=[];
h_ray_trecho=[];
p_ray_trecho=[];
st_ray_trecho=[];
st_ray_df_trecho=[];
qui_teste_ray_trecho=[];
x_qui_teste_ray_trecho=[];
k_max=0;
kmin=0;
k_inc=0;
sigma_rice_trecho=[];
k_rice_trecho=[];
r_zero_trecho=[];
h_rice_trecho=[];
p_rice_trecho=[];
st_rice_trecho=[];
st_rice_df_trecho=[];
qui_teste_rice_trecho=[];
x_qui_teste_rice_trecho=[];
% -----
% Entrada e leitura do arquivo com as variáveis medidas em campo
% -----
% Análise por pequena área ou total
% -----
tipo_analise=input(...
'Fazer análise completa do trecho? [s] ','s');
if isempty(tipo_analise)
    resp_tipo_analise='s';
else
    resp_tipo_analise='n';
end
% Número do trecho que será analisado
% -----
conta_arq_reg_trecho=input(...
'Entre com o número "a" do arquivo - desv_rap_a_b: ','s');
if isempty(conta_arq_reg_trecho)
    a='1';
else
    a=conta_arq_reg_trecho;
end
% Máx número de iterações para k de Rice, valor inicial(min)e incremento
% -----
k_max=input(...
'Entre com o fator K de Rice máximo [100] ');
if isempty(k_max)
    k_max=100;
else
    % Não faz nada;
end
k_min=0;    % Valor mínimo de k
k_inc=1;    % Incremento de k

```

```

fid=0;
while continua_registro==true || fid~-=-1
    conta_secao_str=num2str(conta_secao_num); % passa para "string"
    if fid ~= -1
        % -----
        if resp_tipo_analise=='s'
            conta_secao_str_ent='';
        else
            conta_secao_str_ent=input(...
                'Entre com o número "b" do setor - desv_rap_a_b: ','s');
        end
        % -----
        if isempty(conta_secao_str_ent)
            b=conta_secao_str;
        else
            b=conta_secao_str_ent;
        end
        % -----
        arquivo_entrada=strcat('desv_rap_',a,'_',b,'.mat');
        nome_arq=strcat(caminho_leitura,arquivo_entrada);
        % Verifica se arquivo pode ser aberto
        [fid,message] = fopen(nome_arq);
        if fid == -1
            disp(message);
            break;
        else
            % Fecha arquivo, pois não necessita ficar aberto
            fclose(fid);
        end
    end
    % -----
    % Variáveis a serem lidas
    % -----
    var_ff=strcat('ff_',a,'_',b);
    var_ff_t=strcat('ff_t_',a,'_',b);
    %% *****
    % Carrega arquivo de dados gravados
    % -----
    load (nome_arq,...
        var_ff,...
        var_ff_t);
    %% *****
    % *** Cálculo das estatísticas da amostra ***
    % -----
    ndBm=eval([var_ff]); % Nível dBm
    R=50; % Impedância em Ohm
    Pot_W=0.001.*(10.^(ndBm)./10)); % Potência em W
    V=sqrt(Pot_W.*R); % Tensão em volts

    r=V./mean(V); % Valor da variável r normalizado para média

    r_medio=mean(r); % Valor médio da variável r
    r=sort(r); % Ordena números para melhorar gráfico
    r=r-min(r); % Coloca o valor inicial em zero
    num_div=fix(sqrt(length(r)));
    % Dados do histograma
    [n,xout] = hist(r,num_div);
    delta_x=xout(2)-xout(1);
    area_hist=delta_x.*n;
    soma_area_hist=sum(area_hist);
    area_pdf=area_hist/soma_area_hist;
    n_pdf=area_pdf/delta_x;
    % Desenha histograma
    clf;
    plot(xout,n_pdf,'or')
    hold on;
    grid on;
    %% -----

```

```

% Distribuição de de Gauss (Gaussiana)
% -----
nu=mean(r);
sigma=std(r);
p1=(1/(sqrt(2*pi)*sigma)).*exp((-1.*(r-nu).^2)./(2*sigma^2));
% Desenha gráfico de Gauss
plot(r,p1,'--g.');
```

```

%% -----
% Distribuição de Raileigh
% -----
sigma_ray=mean(r)*sqrt(2/pi);
p2=(r./(sigma_ray^2)).*(exp(-(r.^2)./(2*(sigma_ray^2))));
% Desenha gráfico de Raileigh
plot(r,p2,'--r.');
```

```

%% -----
% Distribuição de Rice
% -----
p3=[];
p3_rice=[];
% fat_reduc=0.1;
for k_rice=k_min:k_inc:k_max; % fix(fat_reduc*(1/(2*sigma^2)))
    sigma_rice=mean(r)./(((sqrt(pi/2)*exp(-
k_rice/2)).*((1+k_rice).*(besseli(0,k_rice/2))+...
(k_rice*besseli(1,k_rice/2)))));
    r_zero=sqrt(k_rice*2*(sigma_rice^2));
    p3=(r./(sigma_rice^2)).*(exp(-(r.^2+r_zero^2)/(2*sigma_rice^2))).*...
    besseli(0,(r_zero.*r)/(sigma_rice^2));
    p3_rice=[p3_rice p3];%
    % Desenha gráfico de Raileigh
    plot(r,p3,'--b.');
```

```

end
% Coloca legenda
h = legend('Histograma','Gauss','Rayleigh','Rice',2);
set(h,'Interpreter','none');
```

```

%% *****
% Realização do teste Qui-quadrado
% *****
if resp_tipo_analise=='s';
    %
    realiza_teste_qui='';
else
    realiza_teste_qui=input('Realizar teste Qui_quadrado [s]: ', 's');
```

```

end
if isempty(realiza_teste_qui)
    % Número de pontos para uso no teste <<<===
    % -----
    bins=0:(length(xout)-1);
    % -----
    % PDF Gaussiana *****
    p1_qui=(1/(sqrt(2*pi)*sigma)).*exp((-1.*(xout-nu).^2)./(2*sigma^2));
    %
    % Teste Qui-quadrado PDF Gaussiana
    [h_gauss,p_gauss,st_gauss] = chi2gof(bins,'ctrs',bins,...
        'frequency',n_pdf, ...
        'expected',p1_qui,'nparams',0);
    st_gauss_df=st_gauss.df;
    qui_teste_gauss=st_gauss.chi2stat; % O menor valor indica o
melhor ajuste
    x_qui_teste_gauss = chi2inv(p_gauss,st_gauss.df); % O MAIOR valor indica o
melhor ajuste
    % PDF Rayleigh *****
    p2_qui=(xout./(sigma_ray^2)).*(exp(-(xout.^2)/(2*sigma_ray^2))));
    % Teste Qui-quadrado PDF Rayleigh
    [h_ray,p_ray,st_ray] = chi2gof(bins,'ctrs',bins,...
        'frequency',n_pdf, ...
        'expected',p2_qui,'nparams',0);
    st_ray_df=st_ray.df;
```

```

    qui_teste_ray=st_ray.chi2stat; % O menor valor indica o melhor
ajuste
    x_qui_teste_ray = chi2inv(p_ray,st_ray.df); % O MAIOR valor indica o melhor
ajuste
    % PDF Rice *****
    % -----
    p3_qui=[];
    p3_rice_qui=[];
    sigma_rice_tot=[];
    k_rice_tot=[];
    r_zero_tot=[];
    %
    h_rice_tot=[];
    p_rice_tot=[];
    st_rice_tot=[];
    st_rice_df_tot=[];
    qui_teste_rice_tot=[];
    x_qui_teste_rice_tot=[];
    %
    % fat_reduc=0.001;
    for k_rice=k_min:k_inc:k_max %fat_reduc*(1/(2*sigma^2)); <<<== IMPORTANTE
%       sigma_rice=1/((sqrt(pi/2)*exp(-k_rice/2)).*(besseli(0,k_rice/2)+...
%       k_rice*besseli(1,k_rice/2)));
        sigma_rice=mean(r)./((sqrt(pi/2)*exp(-
k_rice/2)).*((1+k_rice).*(besseli(0,k_rice/2))+...
(k_rice*besseli(1,k_rice/2))));
        r_zero=sqrt(k_rice*2*(sigma_rice^2));
        p3_qui=(xout./((sigma_rice^2)).*(exp(-((xout.^2+r_zero^2)/...
(2*sigma_rice^2))).*(besseli(0,(r_zero.*xout)/(sigma_rice^2)));
        p3_rice_qui=[p3_rice_qui;p3_qui];%
        % Teste Qui-quadrado PDF Rice
        [h_rice,p_rice,st_rice] = chi2gof(bins,'ctrs',bins,...
            'frequency',n_pdf, ...
            'expected',p3_qui,'nparams',0);
        qui_teste_rice=st_rice.chi2stat; % O menor valor indica o
melhor ajuste
        x_qui_teste_rice = chi2inv(p_rice,st_rice.df); % O MAIOR valor indica o
melhor ajuste
        % Acumula valores
        sigma_rice_tot=[sigma_rice_tot;sigma_rice];
        k_rice_tot=[k_rice_tot;k_rice];
        r_zero_tot=[r_zero_tot;r_zero];
        %
        h_rice_tot=[h_rice_tot;h_rice];
        p_rice_tot=[p_rice_tot;p_rice];
        st_rice_tot=[st_rice_tot;st_rice];
        st_rice_df_tot=[st_rice_df_tot;st_rice.df];
        qui_teste_rice_tot=[qui_teste_rice_tot;qui_teste_rice];
        x_qui_teste_rice_tot=[x_qui_teste_rice_tot;x_qui_teste_rice];
    end
    % -----
    % *** Valores finais da análise de Rice ***
    % -----
    % Valor máximo da estatística QUI-QUADRADO
    % -----
    [Cmax,Imax] = max(x_qui_teste_rice_tot); % O MAIOR valor indica o melhor
ajuste
    % -----
    % Alternativamente poderia ser: [Cmin,Imin] = min(qui_teste_rice);
    p3_rice_fim=p3_rice(:,Imax);
    p3_rice_qui_fim=p3_rice_qui(Imax,:);
    sigma_rice_fim=sigma_rice_tot(Imax);
    k_rice_fim=k_rice_tot(Imax);
    r_zero_fim=r_zero_tot(Imax);
    h_rice_fim=h_rice_tot(Imax);
    p_rice_fim=p_rice_tot(Imax);
    st_rice_fim=st_rice_tot(Imax);
    st_rice_df_fim=st_rice_df_tot(Imax);

```



```

qui_teste_rice_fim=qui_teste_rice_tot(Imax);
x_qui_teste_rice_fim=x_qui_teste_rice_tot(Imax);
% -----
% Salva dados para registro e avaliação
% -----
arquivo_saida=strcat('pdf_qui_peq_area_',a,'_',b,'.mat');
nome_arq=strcat(caminho_escrita,arquivo_saida);
save(nome_arq,...
'ndBm','V','r','n',...
'xout','n_pdf',...
'p1','p2','p3_rice_fim',...
'p1_qui','p2_qui','p3_rice_qui_fim',...
'h_gauss','p_gauss','st_gauss','st_gauss_df','qui_teste_gauss',...
'x_qui_teste_gauss',...
'h_ray','p_ray','st_ray','st_ray_df','qui_teste_ray',...
'x_qui_teste_ray',...
'sigma_rice_fim','k_rice_fim',...
'h_rice_fim','p_rice_fim','st_rice_fim','st_rice_df_fim',...
'qui_teste_rice_fim','x_qui_teste_rice_fim');
% -----
else
% Não faz nada
end
% -----
% Desenho dos valores finais da PDF calculada da pequena área
% -----
clf
plot(xout,n_pdf,'or')
hold on
plot(r,p1,'--g. ');
plot(r,p3_rice(:,Imax),'--m. ');
plot(r,p2,'--b. ');
% -----
% Acumula valores das pequenas áreas do trecho
% -----
ndBm_trecho=[ndBm_trecho ndBm]; % Observar a retirada do pt e vg (;)
V_trecho=[V_trecho V]; % Observar a retirada do pt e vg (;)
r_trecho=[r_trecho r]; % Observar a retirada do pt e vg (;)
n_trecho=[n_trecho;n];
xout_trecho=[xout_trecho;xout];
n_pdf_trecho=[n_pdf_trecho;n_pdf];
p1_trecho=[p1_trecho p1]; % Observar a retirada do pt e vg (;)
p2_trecho=[p2_trecho p2]; % Observar a retirada do pt e vg (;)
p3_rice_trecho=[p3_rice_trecho p3_rice_fim]; % Observar a retirada do pt e vg
(;)
p1_qui_trecho=[p1_qui_trecho;p1_qui];
p2_qui_trecho=[p2_qui_trecho;p2_qui];
p3_rice_qui_trecho=[p3_rice_qui_trecho;p3_rice_qui_fim];
h_gauss_trecho=[h_gauss_trecho; h_gauss];
p_gauss_trecho=[p_gauss_trecho; p_gauss];
st_gauss_trecho=[st_gauss_trecho; st_gauss];
st_gauss_df_trecho=[st_gauss_df_trecho; st_gauss_df];
qui_teste_gauss_trecho=[qui_teste_gauss_trecho; qui_teste_gauss];
x_qui_teste_gauss_trecho=[x_qui_teste_gauss_trecho; x_qui_teste_gauss];
h_ray_trecho=[h_ray_trecho; h_ray];
p_ray_trecho=[p_ray_trecho; p_ray];
st_ray_trecho=[st_ray_trecho; st_ray];
st_ray_df_trecho=[st_ray_df_trecho; st_ray_df];
qui_teste_ray_trecho=[qui_teste_ray_trecho; qui_teste_ray];
x_qui_teste_ray_trecho=[x_qui_teste_ray_trecho; x_qui_teste_ray];
sigma_rice_trecho=[sigma_rice_trecho; sigma_rice_fim];
k_rice_trecho=[k_rice_trecho;k_rice_fim];
r_zero_trecho=[r_zero_trecho;r_zero_fim];
h_rice_trecho=[h_rice_trecho;h_rice_fim];
p_rice_trecho=[p_rice_trecho;p_rice_fim];
st_rice_trecho=[st_rice_trecho;st_rice_fim];
st_rice_df_trecho=[st_rice_df_trecho;st_rice_df_fim];
qui_teste_rice_trecho=[qui_teste_rice_trecho;qui_teste_rice_fim];

```

```

x_qui_teste_rice_trecho=[x_qui_teste_rice_trecho;x_qui_teste_rice_fim];
% *****
% Verifica se haverá nova leitura e gravação
% -----
if resp_tipo_analise=='s';
    novo_registro='';
else
    novo_registro=input('Realizar nova registro [s]: ', 's');
end
if isempty(novo_registro)
    continua_registro=true;
    clf;
else
    continua_registro=false;
    fid=-1;
end
% Incrementa sufixo do nome do arquivo
conta_secao_num=str2num(conta_secao_str); % passa para número
conta_secao_num=conta_secao_num+1; % Incrementa
seção/setor/peq_area
% Reinicializa variáveis
media_db=[];
media_lin=[];
media_lin_placa=[];
tempo=[];
end
% Salva arquivo com valores finais de todas as pequenas áreas
% -----
arquivo_saida2=strcat('dados_pdf_teste_qui_trecho_',a,'.mat');
nome_arq=strcat(caminho_escrita,arquivo_saida2);
save(nome_arq,...
'ndBm_trecho',...
'V_trecho',...
'r_trecho',...
'n_trecho',...
'xout_trecho',...
'n_pdf_trecho',...
'p1_trecho',...
'p2_trecho',...
'p3_rice_trecho',...
'p1_qui_trecho',...
'p2_qui_trecho',...
'p3_ricē_qui_trecho',...
'h_gauss_trecho',...
'p_gauss_trecho',...
'st_gauss_trecho',...
'st_gauss_df_trecho',...
'qui_teste_gauss_trecho',...
'x_qui_teste_gauss_trecho',...
'h_ray_trecho',...
'p_ray_trecho',...
'st_ray_trecho',...
'st_ray_df_trecho',...
'qui_teste_ray_trecho',...
'x_qui_teste_ray_trecho',...
'sigma_rice_trecho',...
'k_rice_trecho',...
'h_rice_trecho',...
'p_rice_trecho',...
'st_ricē_trecho',...
'st_rice_df_trecho',...
'qui_teste_rice_trecho',...
'x_qui_teste_rice_trecho');
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: l_analise_pdf_rev_c

```

```

% -----
% Este programa faz um resumo dos dados colhidos nos trecho para análise
% *****
% Arquivo de entrada:      dados_pdf_teste_qui_trecho_1.mat
% Variável(eis) de entrada:
%
% -----
% Arquivo de saída1:      pdf_teste_qui_a_b.mat
% Variável(eis) de saída: (diversos ver "load"
% Arquivo de saída2:      dados_pdf_teste_qui_trecho_a.mat
% Variável(eis) de saída:
% *****
clear all;          % Apaga todas as variáveis do Espaço de Trabalho
clc;                % Apaga área de comando
% -----
% Variáveis de leitura do arquivo
% -----
% caminho_entrada='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\Desvan_rapido\';
caminho_entrada='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\PDF_desv_rapido\';
arquivo_entrada='dados_pdf_teste_qui_trecho_'; % Nome do arquivo de leitura
nome_arq_dados=''; % Nome do arquivo de leitura
% Número do trecho que será analisado
% -----
conta_arq_reg_trecho=input(...
'Entre com o número "a" do arquivo - dados_pdf_teste_qui_trecho_a: ','s');
if isempty(conta_arq_reg_trecho)
    a='1';
else
    a=conta_arq_reg_trecho;
end
fid=0;
% -----
% Carrega arquivo com dados de todas as pequenas áreas para sumarização
% -----
arquivo_entrada=strcat('dados_pdf_teste_qui_trecho_',a,'.mat');
nome_arq=strcat(caminho_entrada,arquivo_entrada);
load(nome_arq,...
'ndBm_trecho',...
'V_trecho',...
'r_trecho',...
'n_trecho',...
'xout_trecho',...
'n_pdf_trecho',...
'p1_trecho',...
'p2_trecho',...
'p3_rice_trecho',...
'p1_qui_trecho',...
'p2_qui_trecho',...
'p3_rice_qui_trecho',...
'h_gauss_trecho',...
'p_gauss_trecho',...
'st_gauss_trecho',...
'st_gauss_df_trecho',...
'qui_teste_gauss_trecho',...
'x_qui_teste_gauss_trecho',...
'h_ray_trecho',...
'p_ray_trecho',...
'st_ray_trecho',...
'st_ray_df_trecho',...
'qui_teste_ray_trecho',...
'x_qui_teste_ray_trecho',...
'sigma_rice_trecho',...
'k_rice_trecho',...
'h_rice_trecho',...
'p_rice_trecho',...
'st_rice_trecho',...

```

```

'st_rice_df_trecho',...
'qui_teste_rice_trecho',...
'x_qui_teste_rice_trecho');
%% *****
% Processamento dos dados
% -----
compara_qui=[qui_teste_gauss_trecho qui_teste_ray_trecho qui_teste_rice_trecho];
compara_h=[h_gauss_trecho h_ray_trecho h_rice_trecho];
%
% Encontra menor e maior valor do teste Qui que passou no teste
% -----
% Posição e valor do menor e maior teste QUI com que Gauss passou
ind_passou_qui_gauss=find(h_gauss_trecho==0); % todos Gauss que passaram
[min_val_passou_qui_gauss
ind_min_gauss]=min(qui_teste_gauss_trecho(ind_passou_qui_gauss));
[max_val_passou_qui_gauss
ind_max_gauss]=max(qui_teste_gauss_trecho(ind_passou_qui_gauss));
% Posição e valor do menor e maior teste QUI com que Rayleigh passou
ind_passou_qui_ray=find(h_ray_trecho==0); % todos Ray que passaram
[min_val_passou_qui_ray ind_min_ray]=min(qui_teste_ray_trecho(ind_passou_qui_ray));
[max_val_passou_qui_ray ind_max_ray]=max(qui_teste_ray_trecho(ind_passou_qui_ray));
% Posição e valor do menor e maior teste QUI com que Rice passou
ind_passou_qui_rice=find(h_rice_trecho==0); % todos Rice que passaram
[min_val_passou_qui_rice
ind_min_rice]=min(qui_teste_rice_trecho(ind_passou_qui_rice));
[max_val_passou_qui_rice
ind_max_rice]=max(qui_teste_rice_trecho(ind_passou_qui_rice));
% Quantidade de vezes que uma PDF passou no teste e apresentou menor valor
% de Qui
[row_menor_qui_gauss,col_menor_qui_gauss] = find(compara_qui(:,1)<=compara_qui(:,2)
&...
compara_qui(:,1)<=compara_qui(:,3)&...
compara_h(:,1)==0);
[row_menor_qui_ray,col_menor_qui_ray] = find(compara_qui(:,2)<=compara_qui(:,1)
&...
compara_qui(:,2)<=compara_qui(:,3)&...
compara_h(:,2)==0);
[row_menor_qui_rice,col_menor_qui_rice] = find(compara_qui(:,3)<=compara_qui(:,2)
&...
compara_qui(:,3)<=compara_qui(:,1) &...
compara_h(:,3)==0);

% Total de setores no trecho
disp('-----')
% disp(['Trecho: ',num2str(a)]);
% disp(['Quantidade total setores: ', num2str(length(qui_teste_rice_trecho))])
fprintf('Trecho: %1.0f \t | Quantidade total setores no trecho: %1.0f\n',...
str2num(a),length(qui_teste_rice_trecho));
% disp('-----')
')
% disp('
')
% Quantidade de vezes que uma PDF passou no teste
% disp('-----')
% disp(['Quantidade de vezes que uma PDF passou no teste Qui: ',...
% num2str(length(row_menor_qui_gauss) +...
% length(row_menor_qui_ray)+...
% length(row_menor_qui_rice))]);
% % disp('-----')
-')
% % disp('
')
% Quantidade total de vezes que uma PDF passou no teste
% disp('Quantidade total de vezes que a PDF passou no teste Qui para cada PDF')
disp('-----')
disp('Quant. de vezes que a PDF passou no teste QUI: Gauss Rayleigh Rice')
% disp('-----')
disp(['Total PDF que passou no teste Qui (95%): ',...
num2str(length(ind_passou_qui_gauss)), ' ',...

```

```

        num2str(length(ind_passou_qui_ray)), ' ', ...
        num2str(length(ind_passou_qui_rice))]
disp('-----')
% disp('
')
disp('Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor')
% disp('-----')
disp('
                Gauss                Rayleigh                Rice')
% disp('-----')
disp(['Total com menor valor Qui:                ', ...
      num2str(length(row_menor_qui_gauss)), ' ', ...
      num2str(length(row_menor_qui_ray)), ' ', ...
      num2str(length(row_menor_qui_rice))]
% disp('-----')
')
% disp('
')
% Valor de k de Rice para menor e maior QUI que passou no teste
k_rice_min_qui=k_rice_trecho(ind_min_rice);
k_rice_max_qui=k_rice_trecho(ind_max_rice);
% Valor de QUI que passou no teste para menor valor de K de Rice
ind_passou_k_rice=find(h_rice_trecho==0); % todos Rice que passaram
[min_k_rice ind_min_k_rice] = min(k_rice_trecho(ind_passou_k_rice)); %
[max_k_rice ind_max_k_rice] = max(k_rice_trecho(ind_passou_k_rice)); %
qui_rice_min_k=qui_teste_rice_trecho(ind_min_k_rice);
qui_rice_max_k=qui_teste_rice_trecho(ind_max_k_rice);
% Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste
disp('-----')
disp('Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste')
disp('-----')
% disp(['Menor K                ', num2str(min_k_rice)]);
% disp(['Valor de QUI                ', num2str(qui_rice_min_k)]);
fprintf('Menor valor de K: %6.1f para QUI: %6.1f\n', min_k_rice, qui_rice_min_k);
% fprintf('Valor de QUI %6.1f\n ', qui_rice_min_k);
% disp('-----')
% disp(['Maior K                ', num2str(max_k_rice)]);
% disp(['Valor de QUI                ', num2str(qui_rice_max_k)]);
fprintf('Maior valor de K: %6.1f para QUI: %6.1f\n', max_k_rice, qui_rice_max_k);
% fprintf('Valor de QUI %6.1f\n ', qui_rice_max_k);
disp('-----')
% disp(['Valor de K                ', num2str(k_rice_min_qui)]);
% disp(['Menor QUI                ', num2str(min_val_passou_qui_rice)]);
fprintf('Valor de K: %6.1f para menor QUI: %6.1f\n', k_rice_min_qui,
min_val_passou_qui_rice);
% disp('-----')
% disp(['Valor de k                ', num2str(k_rice_max_qui)]);
% disp(['Maior QUI                ', num2str(max_val_passou_qui_rice)]);
fprintf('Valor de K: %6.1f para maior QUI: %6.1f\n', k_rice_max_qui,
max_val_passou_qui_rice);
% disp('-----')
')
% disp('
')
% Valores de K da PDF de RICE
% disp('Valor de K da PDF de Rice')
disp('-----')
fprintf('Valor de K da PDF de Rice: mínimo        médio        máximo\n')
% disp('-----')
% disp([num2str(min(k_rice_trecho)), ' ', ...
%       num2str(mean(k_rice_trecho)), ' ', ...
%       num2str(max(k_rice_trecho))]
fprintf('
                %6.1f        %6.1f        %6.1f\n', ...
min(k_rice_trecho), mean(k_rice_trecho), max(k_rice_trecho));
% disp('
')
%%
% Menor e maior valor de Qui para cada PDF
% disp('Menor e maior valor de Qui para cada PDF')

```

```

disp('-----')
fprintf('Menor e maior valor de Qui para cada PDF:\tGauss\t Rayleigh\t Rice\n')
% disp('-----')
% disp(['Menor Q: ',...
% num2str(min_val_passou_qui_gauss,'%3.2e'),' ',...
% num2str(min_val_passou_qui_ray,'%3.2e'),' ',...
% num2str(min_val_passou_qui_rice,'%3.2e')])
fprintf('\t\t\t\t\t Menor Q: %6.1f\t %6.1f\t %6.1f\t\n',...
min_val_passou_qui_gauss,min_val_passou_qui_ray,min_val_passou_qui_rice);
% disp(['Maior Q: ',...
% num2str(max_val_passou_qui_gauss,'%2.2e'),' ',...
% num2str(max_val_passou_qui_ray,'%2.2e'),' ',...
% num2str(max_val_passou_qui_rice,'%2.2e') ])
fprintf('\t\t\t\t\t Maior Q: %6.1f\t %6.1f\t %6.1f\t\n',...
max_val_passou_qui_gauss,max_val_passou_qui_ray,max_val_passou_qui_rice);
% disp('-----')
% disp(' ')
% Encontra posições onde nenhum teste passou
[row_nenhum,col_nenhum] = find(compara_h(:,1)==1 & compara_h(:,2)==1 &
compara_h(:,3)==1);
% Encontra posições onde todos passaram
[row_todos,col_todos] = find(compara_h(:,1)==0 & compara_h(:,2)==0 &
compara_h(:,3)==0);
% Encontra posições onde somente Gauss passou
[row_so_gauss,col_so_gauss] = find(compara_h(:,1)==0 & compara_h(:,2)==1 &
compara_h(:,3)==1);
% Encontra posições onde somente Rayleigh passou
[row_so_ray,col_so_ray] = find(compara_h(:,1)==1 & compara_h(:,2)==0 &
compara_h(:,3)==1);
% Encontra posições onde somente Rice passou
[row_so_rice,col_so_rice] = find(compara_h(:,1)==1 & compara_h(:,2)==1 &
compara_h(:,3)==0);
% Quantidade que somente um passou
% disp('Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF')
disp('-----')
disp('Quantidade de PDF e teste Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice')
% disp('-----')
disp(['Passou exclusivamente: ',...
num2str(length(col_so_gauss)), ' ',...
num2str(length(col_so_ray)), ' ',...
num2str(length(col_so_rice))]);
% disp('-----')
% disp(' ')
% Quantidade que nenhum passou
% disp(' Quantidade de vezes nenhuma PDF passou no teste Qui')
% disp('-----')
% disp(' Gauss Rayleigh Rice')
% disp('-----')
disp(['Nenhuma PDF passou: ',...
num2str(length(col_nenhum)), ' ',...
num2str(length(col_nenhum)), ' ',...
num2str(length(col_nenhum))]);
% disp('-----')
% disp(' ')
% Quantidade que todos passaram
% disp(' Quantidade de vezes todas PDF passaram no teste Qui')
% disp('-----')
% disp(' Gauss Rayleigh Rice')
% disp('-----')
disp(['Todas passaram ao mesmo tempo: ',...
num2str(length(col_todos)), ' ',...
num2str(length(col_todos)), ' ',...
num2str(length(col_todos))]);
disp('-----')
% -----
%% Desenha gráfico das PDF onde todos passaram no teste
plot(xout_trecho(row_todos,:),n_pdf_trecho(row_todos,),'dr','MarkerSize',8)
% -----

```

```

% Desenha PDF onde nenhum passou no teste
plot(xout_trecho(row_nenhum,:),n_pdf_trecho(row_nenhum:),'dr','MarkerSize',8)
% -----
% Desenha PDF onde somente RICE passou no teste
% subplot(2,2,1:2)
plot(xout_trecho(row_so_rice,:),n_pdf_trecho(row_so_rice:),'dr','MarkerSize',8)
% -----
% Desenha PDF onde RICE passou com menor Qui
subplot(2,2,1:2)
plot(xout_trecho(ind_min_rice,:),n_pdf_trecho(ind_min_rice:),'dr','MarkerSize',8)
hold on
grid on
plot(r_trecho(:,ind_min_rice),p3_rice_trecho(:,ind_min_rice),'-b','LineWidth',3)
plot(r_trecho(:,ind_min_rice),p1_trecho(:,ind_min_rice),'-.g','LineWidth',3)
plot(r_trecho(:,ind_min_rice),p2_trecho(:,ind_min_rice),'-.m','LineWidth',3)

xlabel('valor de  $r=\sqrt{\langle V \rangle}$  (a)', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('PDF (num. observações)', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
titulo=({'Comparação PDF: RICE, Gauss e Rayleigh';...
        ['Menor Qui - Setor: ' num2str(ind_min_rice) ...
         ' e Fator K=' num2str(k_rice_trecho(ind_min_rice))]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico', 'Rice', 'Gauss', 'Rayleigh');
% figure
% -----
% Desenha PDF onde RICE passou com maior Qui
subplot(2,2,3:4)
plot(xout_trecho(ind_max_rice,:),n_pdf_trecho(ind_max_rice:),'dr','MarkerSize',8)
hold on
grid on
plot(r_trecho(:,ind_max_rice),p3_rice_trecho(:,ind_max_rice),'-b','LineWidth',3)
plot(r_trecho(:,ind_max_rice),p1_trecho(:,ind_max_rice),'-.g','LineWidth',3)
plot(r_trecho(:,ind_max_rice),p2_trecho(:,ind_max_rice),'-.m','LineWidth',3)
xlabel('valor de  $r=\sqrt{\langle V \rangle}$  (b)', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('PDF (num. observações)', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
titulo=({'Comparação PDF: RICE, Gauss e Rayleigh';...
        ['Maior Qui - Setor: ' num2str(ind_max_rice) ...
         ' e Fator K=' num2str(k_rice_trecho(ind_max_rice))]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico', 'Rice', 'Gauss', 'Rayleigh');
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: m_taxa_de_cruzamento_de_nivel_rev_d
% -----
% Este programa calcula a taxa de cruzamento de nível e a duração média do
% desvanecimento em cada setor de um trecho
% *****
% Arquivo de entrada:      dados_pdf_teste_qui_trecho_1.mat
% Variável(eis) de entrada:
% -----
% Arquivo de saída1:      .mat
% Variável(eis) de saída:
% Arquivo de saída2:      .mat
% Variável(eis) de saída:
% *****
clear all;          % Apaga todas as variáveis do Espaço de Trabalho
clc;                % Apaga área de comando
clf;                % Apaga gráficos

% -----
% Variáveis de leitura do arquivo
% -----
% caminho_entrada='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de
caminho_entrada='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\PDF_desv_rapido_2\';
arquivo_entrada='dados_pdf_teste_qui_trecho_1'; % Nome do arquivo de leitura

```

```

nome_arq_dados='';          % Nome do arquivo de leitura
% Número do trecho que será analisado
% -----
conta_arq_reg_trecho=input(...
'Entre com o número "a" (trecho) do arquivo - dados_pdf_teste_qui_trecho_a: ','s');
if isempty(conta_arq_reg_trecho)
    a='1';
else
    a=conta_arq_reg_trecho;
end
fid=0;
% -----
% Carrega arquivo com dados de todas as pequenas áreas para sumarização
% -----
arquivo_entrada=strcat('dados_pdf_teste_qui_trecho_',a, '.mat');
nome_arq=strcat(caminho_entrada,arquivo_entrada);
load(nome_arq,...
'V_trecho',...
'r_trecho',...
'k_rice_trecho');
% -----
% Cálculo da taxa de cruzamento de nível e comparação com teórica
% -----
% Variáveis iniciais
sinal=0;
sig=0;
lcf=0;
Ro=0;
sinal=0;
lcf_norm=0;
NR_Ray=0;
NR_Rice_fm=0;
% Inicialização de variáveis
fa=800; % Frequencia de amostragem

conta_reg_setor=1;
continua_registro=true;
%% Lógica de leitura e cálculo
% -----
while continua_registro==true
    num_setor=input(...
        ['Entre com o setor a ser avaliado [se vazio(enter) próximo] atual: '...
        num2str(conta_reg_setor)]);
    if isempty(num_setor)
        setor=conta_reg_setor;
    else
        setor=num_setor;
        conta_reg_setor=num_setor;
    end
    % Sinal a ser avaliado
    % -----
    k_rice=k_rice_trecho(setor);
    sinal_V=V_trecho(:,setor);          % Único trecho
sinal_V=[V_trecho(:,1+trecho);V_trecho(:,2+trecho);V_trecho(:,3+trecho);...
% V_trecho(:,4+trecho)];          % Vários trechos
    sinal_V=sinal_V-min(sinal_V);          % Coloca o valor inicial em zero
    sinal_V_norm=sinal_V./mean(sinal_V);  % Normaliza para média
    sinal=sinal_V_norm;
    sig=sinal;
    sinal=sort(sinal);          % Reordena para melhorar o gráfico
    %% Cálculo de Ro
    % -----
    sinal_RMS=norm(sinal)/sqrt(length(sinal)); % Valor RMS do sinal
    Ro=sinal./sinal_RMS;          % Cálculo de Ro
    Ro_db=20*log10(Ro);          % Ro em dB
    % -----
    %% Taxa de cruz. de nível e duração médio do desvanecimento para Ray
    % -----

```



```

NR_Ray=sqrt(2*pi).*Ro.*exp(-(Ro.^2));% sqrt(2*pi).*
NR_Ray=NR_Ray./max(NR_Ray); % Normaliza para o vloop máximo
AFD_Ray_fm=((exp(Ro.^2))-1)/(Ro.*sqrt(2*pi));
AFD_Ray_fm=AFD_Ray_fm./max(AFD_Ray_fm);% Normaliza para o valor máximo
%% Taxa de cruz. de nível e duração do desvanecimento para RICE
% -----
NR_Rice_fm=(sqrt(2*pi*(1+k_rice))).*Ro.*...
(exp((-k_rice-((1+k_rice)).*(Ro.^2)))).*...
(besseli(0,2.*Ro.*(sqrt(k_rice.*(1+k_rice)))));
NR_Rice_fm=NR_Rice_fm./max(NR_Rice_fm); % Normaliza para o valor máximo
AFD_rice_fm=(1-marcumq(sqrt(2.*k_rice),...
sqrt(2.*(1+k_rice).*Ro.^2)))./NR_Rice_fm;
AFD_rice_fm=AFD_rice_fm./max(AFD_rice_fm);% Normaliza para o valor máximo
%% Dados do sinal medido: empírico
% -----
sig_RMS=norm(sinal)/sqrt(length(sinal)); % Valor RMS do sinal
Ro_thr=sig./sig_RMS;
thr=linspace(min(Ro_thr),max(Ro_thr),length(Ro_thr)); % Determina níveis
thr_norm_db=20*log10(thr); % Passa para dB
% Calcula a taxa de cruzamento e duração média do desvanecimento para cada
limite
% -----
for i = 1:length( thr ),
% Taxa de cruzamento de nível
% -----
tmp = ( sig > thr(i) );
tmp = diff( tmp );
lcf( i ) = sum( tmp==1 );
% Duração do desvanecimento
% -----
% Lógica para eliminar valor inicial e final cuja duração não pode
% ser calculada
[rb,cb,valb] = find(tmp==-1);
valb=-valb; % passa de lógico para numérico
[ra,ca,vala] = find(tmp==1);
vala=+vala; % passa de lógico para numérico
row_total=[ra;rb];
val_total=[vala;valb];
row_val_total=[row_total val_total];
row_val_total=sortrows(row_val_total); % Ordena pelo valor
desvan_total=[];
for ind_afd=1:length(row_val_total)
if ind_afd+1>length(row_val_total)
break
else
if row_val_total(ind_afd,2)==-1&& row_val_total(ind_afd+1,2)
desvan=...
(row_val_total(ind_afd+1,1)...
-row_val_total(ind_afd,1))*(1/fa);
desvan_total=[desvan_total desvan];
end
end
end
afd(i)=mean(desvan_total); % calcula valor médio do desvanecimento
end
lcf=(lcf./max(lcf))'; % Normaliza para o valor máximo e transpõe
afd=(afd./max(afd))'; % Normaliza para o valor máximo e transpõe
%% Realiza teste de aderência teste QUI
% -----
bins=linspace(min(NR_Rice_fm), (max(NR_Rice_fm)),length(NR_Rice_fm))';
[h,p,st] = chi2gof(bins,'ctrs',bins,...
'emin',0,...
'frequency',lcf, ...
'expected',NR_Rice_fm,'nparams',0)
%% Desenha gráficos
% -----
clf;
subplot(2,2,[1 3]);

```

```

semilogy(Ro_db,NR_Ray,'--r','LineWidth',3)
axis([-25 10 10^-2 10^0.5]); % Limita os eixos
hold on
grid on
semilogy(Ro_db,NR_Rice_fm,'-b','LineWidth',3)
semilogy(thr_norm_db,lcf,'.-k');
xlabel('Nível do desvanecimento normalizado \rho em dB','FontSize', 14)
ylabel('Taxa de cruzamento de nível norm. L_R/f_m','FontSize', 14)
title({'Taxa de cruzamento de nível do desvanecimento',...
      ['Trecho: ' num2str(a) ' Setor: ' num2str(conta_reg_setor)...
      ' Fator K: ' num2str(k_rice)]},...
      'FontSize', 14,'FontWeight', 'bold');
legend('Rayleigh','Rice','Empírico',2)
subplot(2,2,[2 4]);
semilogy(Ro_db,AFD_Ray_fm,'--r','LineWidth',3)
axis([-25 10 10^-2 10^0.5]); % Limita os eixos
hold on
grid on
semilogy(Ro_db,AFD_rice_fm,'-b','LineWidth',3)
semilogy(thr_norm_db,afd,'.-k');
xlabel('Nível do desvanecimento normalizado \rho em dB','FontSize', 14)
ylabel('Duração média do desvan. norm. \tau_R x f_m (\tau_R em s)','FontSize',
14)
title({'Duração média do desvanecimento',...
      ['Trecho: ' num2str(a) ' Setor: ' num2str(conta_reg_setor)...
      ' Fator K: ' num2str(k_rice)]},...
      'FontSize', 14,'FontWeight', 'bold');
legend('Rayleigh','Rice','Empírico',2)
% *****
% Verifica se haverá nova leitura e gravação
% -----
novo_registro=input('Realizar nova registro [s]: ', 's');
if isempty(novo_registro)
    continua_registro=true;
    clf;
    clf;
else
    continua_registro=false;
end
conta_reg_setor=conta_reg_setor+1; % Incrementa seção/setor/peq_area
% Reinicializa variáveis
% -----
end
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: n_taxa_de_cruzamento_de_nivel_graficos_rev_b
% -----
% Cálculo da taxa de cruzamento de nível, e duração média do desvanecimento
% desenha os gráficos e compara com teórica
% -----
clear all
sinal=0;
sig=0;
Ro=0;
sinal=0;
NR=0;
NR_r_fm=0;
NR_Rice_fm=[];
NR_Rice_fm_total=[];
NR_r_fm=0;
k_rice=0;
AFD_rice_fm=0;
AFD_rice_fm_total=[];
%% Sinal a ser avaliado
% -----
% sinal_V=rand(100,1); % Gera número aleatório normal

```

```

sinal_V = random('rayl',sqrt(2/pi),1,100); % Teste com Ray
sinal_V=sinal_V-min(sinal_V); % Coloca o valor inicial em zero
sinal_V_norm=sinal_V./mean(sinal_V); % Normaliza para média
sinal=sinal_V_norm;
% sinal=sinal_V;
sinal=sort(sinal);
%% Cálculo de RO
% -----
sinal_RMS=norm(sinal)/sqrt(length(sinal)); % Valor RMS do sinal
Ro=sinal./sinal_RMS; % Cálculo de Ro
Ro_db=20*log10(Ro); % Cálculo de Ro em dB
% -----
%% Taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento para Ray
% -----
NR=sqrt(2*pi).*Ro.*exp(-(Ro.^2));% sqrt(2*pi).*
NR=NR./max(NR); % Normaliza para o vloop máximo
AFD_Ray_fm=((exp(Ro.^2))-1)./(Ro.*sqrt(2*pi));
%% Taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento para RICE
% -----
for k_rice=0:2:10
% -----
NR_Rice_fm=(sqrt(2*pi.*(1+k_rice))).*Ro.*...
(exp((-k_rice-(1+k_rice)).*(Ro.^2))).*...
(besseli(0,2.*Ro.*(sqrt(k_rice.*(1+k_rice))))));
%
NR_Rice_fm=NR_Rice_fm./max(NR_Rice_fm); % Normaliza para o valor máximo
%
NR_Rice_fm_total=[NR_Rice_fm_total;NR_Rice_fm];
% -----
AFD_rice_fm=(1-marcumq(sqrt(2.*k_rice),...
sqrt(2.*(1+k_rice).*Ro.^2)))./NR_Rice_fm;

AFD_rice_fm_total=[AFD_rice_fm_total;AFD_rice_fm];
% -----
end
%% Taxa de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento para Nakagami
m=mean(sinal.^2)/(mean(sinal.^2-(mean(sinal)).^2)^2);
NR_nak_fm=(sqrt(2*pi)*(m^-(1/2))/gamma(m)).*(Ro.^(2*m-1)).*exp(-m*(Ro.^2));
NR_nak_fm=NR_nak_fm./max(NR_nak_fm); % Normaliza para o vloop máximo
AFD_nak=((gammainc(m,m.*(Ro.^2))).*(exp(m.*(Ro.^2))))...
./((sqrt(2*pi*m^(2*m-1)))*(Ro.^(2*m-1)));
%% Gráfico da taxa de cruzamento de nível
% -----
clf;
% subplot(2,2,1:2);
semilogy(Ro_db,NR,'-or',...
Ro_db,NR_Rice_fm_total,'-b','LineWidth',2); %,...
% Ro_db,NR_nak_fm,'-m','LineWidth',2);
axis([-25 10 10^-2 10^0.5]); % Limita os eixos
hold on
grid on
% semilogy(Ro_db,NR_Rice_fm_total,'-b','LineWidth',2)
% semilogy(Ro_db,NR_nak_fm,'-m','LineWidth',2)
xlabel('Nível do desvanecimento normalizado \rho em dB','FontSize',
14,'FontWeight','bold')
ylabel('Taxa de cruzamento de nível norm. L_R/f_m','FontSize',14)
title({'Taxa de cruzamento de nível do desvanecimento',...
'Fator K: 0 a 10'},'FontSize',14,'FontWeight','bold');
legend('Rayleigh','Rice'); %','','','','','Nakagami',2)
%% Gráfico da taxa da duração média de nível
% -----
figure
% semilogy(Ro_db,AFD_rice_fm_total,'-b','LineWidth',2,Ro_db,AFD_Ray_fm,'-
.r','LineWidth',2)
% subplot(2,2,3:4);
semilogy(Ro_db,AFD_Ray_fm,'-r',...
Ro_db,AFD_rice_fm_total,'b','LineWidth',2); %,...
% Ro_db,AFD_nak_fm,'m')

```

```

axis([-15 5 10^-1.5 10^1]); % Limita os eixos
grid on
% hold on
% semilogy(Ro_db,AFD_Ray_fm,'-.r','LineWidth',2)
xlabel('Nível da envoltória normalizada do desvanecimento \rho em dB','FontSize',
14,'FontWeight','bold')
ylabel('Duração média do desvan. norm. \tau_R x f_m (\tau_R em s)','FontSize',
14)
title({'Duração média dos desvanecimentos',...
'Fator K: 0 a 10'},'FontSize',14,'FontWeight','bold');
legend('Rayleigh','Rice'); % , 'Nakagami',2)
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: o_ajuste_dois_raios_rev_d
% -----
% Este programa executa as seguintes tarefas:
% - Lê arquivos dos trechos selecionados
% - permite o ajuste de alguns parâmetros
% - calcula o fator de atenuação
% - calcula a PDF do trecho e compara com a log-normal
% - desenha o modelo de dois raios
% *****
% Arquivo de entrada:      media_peq_area_n.mat
% Variável(eis) de entrada:
% -----
% Arquivo de saída:      ..mat
% Variável(eis) de saída: (diversos ver "load")
% Arquivo de saída2:      ..mat
% Variável(eis) de saída:
% *****
clear all;          % Apaga todas as variáveis do Espaço de Trabalho
% clf;              % Apaga gráficos
% -----
%% Variáveis de leitura do arquivo
% -----
caminho_entrada='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\Desvan_lento\';
caminho_entrada2='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\Dados_sistema\';
% Arquivos de leitura
% -----
arquivo_entrada='media_peq_area_'; % Nome do arquivo de leitura
arquivo_entrada2='dados_tx'; % Nome do arquivo de leitura
arquivo_entrada3='dados_rx'; % Nome do arquivo de leitura
% Inicialização das variáveis do programa
nome_arq_dados=''; % Nome do arquivo de leitura
continua_registro=true;
ajuste_par='1';
lat_peq_area_tx=[];
long_peq_area_tx=[];
nivel_sinal_tx=[];
nivel_sinal_rx=[];
distancia_pontos=[];
% Distancia dos segmentos (um ou mais trechos) sem posição de Tx
dist_mts_seg=[];
dist_km_seg=[];
dist_mts_seg_log=[];
dist_km_seg_log=[];
% Distancia total sem distancia de referência
% Inclui segmentos (um ou mais trechos) com posição de Tx (=0 m)
dist_mts_tot=0;
dist_km_tot=0;
dist_mts_tot_log=0;
dist_km_tot_log=0;
dist_inic=0;
dist_pt=[]; % Distância entre pontos

```

```

d_0_mts=[];      %Distância de referência em metros
d_0_km=[];      % Distância de referência em km
% Distância dos segmentos mais distância de referência
dist_mts_seg_ref=[];
dist_km_seg_ref=[];
dist_mts_seg_ref_log=[];
dist_km_seg_ref_log=[];
% Distância dos segmentos mais distância de referência mais posição Tx
dist_mts_seg_ref_tot=[];
dist_km_seg_ref_tot=[];
dist_mts_seg_ref_tot_log=[];
dist_km_seg_ref_tot_log=[];
% Distância ampliada (um ou mais trechos) com posição de Tx, referência e
% além desta até um limite estabelecido
% -----
%% Carrega arquivo com dados da estação transmissora
% -----
arquivo_entrada=strcat('dados_tx','.mat');
nome_arq=strcat(caminho_entrada2,arquivo_entrada);
load(nome_arq,...
      'lat_tx',...
      'long_tx',...
      'altura_antena_tx',...
      'potencia_tx',...
      'frequencia_tx',...
      'ganho_antena_tx',...
      'perdas_cabos_tx');
% -----
%% Carrega arquivo com dados da estação receptora
% -----
arquivo_entrada=strcat('dados_rx','.mat');
nome_arq=strcat(caminho_entrada2,arquivo_entrada);
load(nome_arq,...
      'sensibilidade_rx',...
      'altura_antena_rx',...
      'ganho_antena_rx',...
      'perdas_cabos_rx',...
      'ganho_lna');
% -----
%% Verificação dos arquivos que serão lidos para os cálculos
% -----
n_arq_ent=1;
num_arq_ent=[];
%
while ~isempty(n_arq_ent)
    n_arq_ent=input('Entre com o número arquivo 1-24[ENTER encerra]');
    num_arq_ent=[num_arq_ent;n_arq_ent];
end
% ==>> Falta rotina para tratar quando ENTER for dado sem número
% -----
% Ajusta parâmetros -----
ajuste_par=input('Ajustar parâmetros [1]=> não','s');
if isempty(ajuste_par)
    ajuste_par='1'; % Não ajusta parâmetros
else
    ajuste_par='2'; % Ajusta parâmetros
end
% n=num_arq_ini;
conta_arq_reg=1;
%% Une posição da estação de Tx com trecho
lat_peq_area_tx=[-lat_tx;lat_peq_area_tx];
long_peq_area_tx=[-long_tx;long_peq_area_tx];
% Une potência de Tx com potência medida no trecho
nivel_sinal_rx=potencia_tx;
% % Calcula distância a partir da estação de Tx
% distancia_pontos=[0]; % Distância inicial
%% Rotina de leitura de vários arquivos e cálculo -----
while continua_registro==true

```

```

% -----
% Arquivo com as médias das áreas
% -----
arquivo_entrada=strcat('media_peq_area_',num2str(num_arq_ent(conta_arq_reg)),'.mat'
);
nome_arq=strcat(caminho_entrada,arquivo_entrada);
load(nome_arq,...
    'hora_peq_area',...
    'lat_peq_area',...
    'long_peq_area',...
    'media_peq_area',...
    'dist_peq_area',...
    'comp_peq_area',...
    'ind_dist_fim');

%
%% Processamento e acumulação dos dados -----
% Une posição da estação de Tx com trecho
lat_peq_area_tx=[lat_peq_area_tx;lat_peq_area];
long_peq_area_tx=[long_peq_area_tx;long_peq_area];
% Une potência de Tx com potência medida no trecho
% nivel_sinal_tx=[nivel_sinal_tx;media_peq_area];
nivel_sinal_rx=[nivel_sinal_rx;media_peq_area];
% Calcula distância a partir da estação de Tx
dist_pt=deg2km(distance(-lat_tx,-long_tx,...
    lat_peq_area,long_peq_area));
dist_km_tot=[dist_km_tot;dist_pt]; % Distância total
% *****
% Verifica se haverá nova leitura de arquivo
% -----
continua_registro=input('Realizar novo leitura de arquivo ENTER para sim [s]:
', 's');
if isempty(continua_registro)
    continua_registro=true;
    calcula_modelo=true;
else
    continua_registro=false;
end
% *****
% Verifica se haverá nova leitura e gravação
% -----
if conta_arq_reg==length(num_arq_ent); %num_arq_fim;
    continua_registro=false;
else
    % novo_registro=input('Realizar nova registro [s]: ', 's'); %<=<=
    % if isempty(novo_registro) %<=<=
        continua_registro=true;
    %
end
% -----
% Incrementa sufixo do nome do arquivo
conta_arq_reg=conta_arq_reg+1;
%
% -----
end

%% Cálculo das diversas distâncias -----
% Calcula distância a partir da distância de referência
d_0_km=0.100; % Distância de referência em km
d_0_mts=d_0_km*1000; % Distância de referência em m
% Distância do segmento
dist_km_seg=dist_km_tot(2:length(dist_km_tot));
dist_mts_seg=dist_km_seg*1000;
% Distância do segmento em logarítmico
dist_km_seg_log=log10(dist_km_seg);
dist_mts_seg_log=log10(dist_mts_seg);
% Distância sem a potência do ponto de referência
dist_x=(distancia_pontos(2:length(distancia_pontos)));
log_dist_x=log10(dist_x); % Passa para log10
%% Entrada de valores para ajustar

```

```

% -----
Pt=potencia_tx;
h1=altura_antena_tx;
h2=altura_antena_rx;
Fc=frequencia_tx/1000000; % Passa frequencia para MHz
Gt=ganho_antena_tx;
Gr=ganho_antena_rx;
Pt=potencia_tx;
Glna=ganho_lna;
Acc=perdas_cabos_tx+perdas_cabos_rx;
%% *****
% Cálculo do fator de atenuação pela potência recebida
% -----
% Calcula fator de atenuação (ver Dissertação para detalhes) através do
% melhor ajuste por mínimos quadrados e eliminação por Gauss-Jordan
%
% Prx=Prx_d_0-10*n*log10(distância/d_0)
% y=a-k*x => esta forma que será utilizada para cálculo
% x=log10(distância/d_0)
% k=10*n
% a=Prx_d_0
%
% Xc=y
% X'Xc=X'y
% X=[1 x], c=[a;k], y=[Prx]
%
% Potencia do sinal de recepção no segmento
Prx=nivel_sinal_rx(2:length(nivel_sinal_rx));
% -----
% "monta" matriz X a partir do log da distância em km
X=[ones(size(dist_km_seg_log)) -dist_km_seg_log];
X_t=X'; % Calcula matriz transposta
X_t_X=X_t*X; % Multiplica matriz transposta por matriz
X_y=X_t*Prx; % Multiplica transposta pelo sinal recebido medido
% "monta" matriz aumentada a partir de X_t_X e X_y
AS=[X_t_X(1,1) X_t_X(1,2) X_y(1); X_t_X(2,1) X_t_X(2,2) X_y(2)];
% Calcula os valores usando redução de Gauss-Jordan
resul=rref(AS);
Prx_d_0_est=resul(1,3); % Potência recebida a uma distância d_0 estimada
fator_n_prx=resul(2,3)/10; % Fator de atenuação
Prx_est=Prx_d_0_est-10*fator_n_prx.*dist_km_seg_log; % Potência estimada recebida
%
%% *****
% Cálculo do fator de atenuação pela atenuação do sinal
% -----
% Potencia do sinal de recepção sem a potência do ponto de referência
Prx=nivel_sinal_rx(2:length(nivel_sinal_rx));
% % Distância sem a potência do ponto de referência
% dist_x=(distancia_pontos(2:length(distancia_pontos)));
% log_dist_x=log10(dist_x); % Passa para log10
% nivel_y=nivel_sinal_rx_d_0(2:length(nivel_sinal_rx_d_0));
% Aten_total=Pt+Gt+Gr+Glna-Prx-Acc;
Aten_total=Pt+Gt+Gr+Glna-Prx-Acc; % <<<=== Acc
% "monta" matriz X a partir do log da distância em km
X=[ones(size(dist_km_seg_log)) dist_km_seg_log];
X_t=X'; % Calcula matriz transposta
X_t_X=X_t*X; % Multiplica matriz transposta por matriz
X_y=X_t*Aten_total; % Multiplica transposta pela atenuação do sinal
% "monta" matriz aumentada a partir de X_t_X e X_y
AS=[X_t_X(1,1) X_t_X(1,2) X_y(1); X_t_X(2,1) X_t_X(2,2) X_y(2)];
% Calcula os valores usando redução de Gauss-Jordan
resul=rref(AS);
Aten_d_0_est=resul(1,3); % Atenuação estimada a uma distância d_0
fator_n_aten=resul(2,3)/10; % Fator de atenuação
Aten_est=Aten_d_0_est+10*fator_n_aten.*dist_km_seg_log; % Atenuação estimada
%% Cálculo da perda de sombreamento e desvanecimento lento
perda_sombreamento=Aten_total-Aten_est;
Desv_lento=Prx-Prx_est;

```

```

%% Cálculo e conversão da área do histograma para 1 de modo que seja uma pdf
discreta
% -----
% num_div=fix(sqrt(length(perda_sombreamento)));
num_div=fix(sqrt(length(Desv_lento)));
% Dados do histograma
[n_hist,xout] = hist(Desv_lento,num_div);
delta_x=xout(2)-xout(1);
area_hist=delta_x.*n_hist;
soma_area_hist=sum(area_hist);
area_pdf=area_hist/soma_area_hist;
n_pdf=area_pdf/delta_x;
%% Cálculo da PDF de Gauss
media=mean(Desv_lento);
desvio_padrao=sqrt(sum(((Desv_lento).^2)/length(Aten_total)));
% ou desvio_padrao=sqrt(sum(((Prx-Prx_est).^2)/length(Prx))); <<==
% Obs.: É o mesmo valor de sdt(perda_sombreamento)
p_gauss=(1/(desvio_padrao*sqrt(2*pi)))*...
    .*exp(-((Desv_lento-media).^2)/...
    ./ (2*desvio_padrao^2));
% plot(perda_sombreamento,p_gauss,'-c. ');
plot(Desv_lento,p_gauss,'-c. ');
%% Teste QUI quadrado
% -----
bins=0:(length(xout)-1); % Número de pontos para uso no teste <<<====
% -----
% PDF Gaussiana *****
p_gauss=(1/(desvio_padrao*sqrt(2*pi)))*...
    .*exp(-((xout-media).^2)/...
    ./ (2*desvio_padrao^2));
% Teste Qui-quadrado PDF Gaussiana
[h_gauss,prob_gauss,st_gauss] = chi2gof(bins,'ctrs',bins,...
    'frequency',n_pdf, ...
    'expected',p_gauss,'nparams',0);
st_gauss_df=st_gauss.df;
qui_teste_gauss=st_gauss.chi2stat;
x_qui_teste_gauss = chi2inv(p_gauss,st_gauss.df);
%% Rotina para cálculo e ajuste fino para o modelo de dois raios
apaga_des='n';
continua='s';
% -----
while strcmp(continua, 's'); % Se 's' analisa diversas vezes
    %% Parâmetros iniciais -----
    Pt=potencia_tx;
    Fc=frequencia_tx/1000000; % Passa frequencia para MHz
    h1=altura_antena_tx;
    h2=altura_antena_rx;
    Gtx=ganho_antena_tx;
    Grx=ganho_antena_rx;
    Glna=ganho_lna;
    Acc=perdas_cabos_tx+perdas_cabos_rx;
    lambda=(3*10^8)/frequencia_tx; % metros
    k=2*pi/lambda; % Número de onda
    per=81; % Permissividade do mar
    %% Cálculo da zona de interferência
    % Último máximo ou região de "break" -----
    p_zi_ult_max=-10:-1:-40;
    d_zi_ult_max=ones(size(p_zi_ult_max));
    d_zi_ult_max=(4*h1*h2/lambda).*d_zi_ult_max;
    % Último máximo ou região de "break" -----
    p_zi_ult_min=p_zi_ult_max;
    d_zi_ult_min=ones(size(p_zi_ult_min));
    d_zi_ult_min=(2*h1*h2/lambda).*d_zi_ult_min;
    %% ----- Cálculo da distância ampliada -----
    R1=1:10:dist_mts_seg(1);
    R1=R1';
    R2=dist_mts_seg(2:length(dist_mts_seg));
    % Índice do segmento: (inferior:superior)

```



```

R3=max(R2):10:d_zi_ult_max;
R3=R3';
R=[R1;R2;R3];          % Distância ampliada total em m
R_km_total=R/1000;    % Distância ampliada total em km
% R=logspace(log10(Dmin),log10(Dmax),N); % antenna seperation
r1=sqrt((h1-h2)^2+R.^2); % Caminho direto
r2=sqrt((h1+h2)^2+R.^2); % Caminho refletido na superfície
%% ----- Cálculo dos parâmetros -----
switch ajuste_par
    case {'2'}
        % Entrada de valores para ajustar -----
        entrada_dados=['Potência de transmissão val atual: '
num2str(potencia_tx) ' :'];
        Pt=input(entrada_dados);
        if isempty(Pt)
            Pt=potencia_tx;
        end
        entrada_dados=['Altura antena Tx. Val Atual: '
num2str(altura_antena_tx) ' :'];
        h1=input(entrada_dados);
        if isempty(h1)
            h1=altura_antena_tx;
        end
        entrada_dados=['Altura antena Rx. Val Atual: '
num2str(altura_antena_rx) ' :'];
        h2=input(entrada_dados);
        if isempty(h2)
            h2=altura_antena_rx;
        end
        Gtx=ganho_antena_tx;
        Grx=ganho_antena_rx;
        Glna=ganho_lna;
        Acc=perdas_cabos_tx+perdas_cabos_rx;
        s=sprintf('\n\nSelecione o coeficiente de
reflexão:\n\t1.TM\n\t2.TE\n\t3.Gamma=-1\n');
        RefCoef=input(s); % RefCoef should be 1, 2 or 3
        TM=1;
        TE=2;
        MinusOne=3;
        continua='s';
        %----- Cálculo do coeficiente de reflexão -----
        CosTheta=(h1+h2)./r2;
        if RefCoef==TM,
            temp=sqrt(per-(1-(CosTheta.^2)))/per;
            Gamma=(CosTheta-temp)./(CosTheta+temp);
            Tstr='TM';
        elseif RefCoef==TE,
            temp=sqrt(er-(1-(CosTheta.^2)))/er;
            Gamma=(CosTheta-temp)./(CosTheta+temp);
            Tstr='TE';
        elseif RefCoef==MinusOne,
            Gamma=-1;
            Tstr='-1';
        else
            disp('Invalid selection for reflection coefficient');
            return;
        end
        % -----
    case {'1'}
        %
        CosTheta=(h1+h2)./r2;
        TM=1;
        temp=sqrt(per-(1-(CosTheta.^2)))/per;
        Gamma=(CosTheta-temp)./(CosTheta+temp);
        continua='n';
end
%% Cálculo Modelo de dois raios para superíce marítima pol. vertical
% -----

```

```

% Cálculo da potência recebida -----
r1=sqrt((h1-h2)^2+R.^2); % Caminho direto
r2=sqrt((h1+h2)^2+R.^2); % Caminho refletido na superfície
CosTheta=(h1+h2)./r2;
temp=sqrt(per-(1-(CosTheta.^2)))/per;
Gamma=(CosTheta-temp)./(CosTheta+temp);
% Cálculo da potência recebida -----
PG=((lambda/(4*pi))^2)*abs(exp(-1i.*k.*r1)./r1...
+Gamma.*exp(-1i.*k.*r2)./r2).^2;
Pr=10*log10(PG)+Pt+Glna+Gtx+Grx-Acc;
% Cálculo da atenuação -----
aten_dois_raios=-10*log10(PG);
%% Desenha gráfico -----
switch ajuste_par
    case {'2'}
        figure;
        plot(R,Prt,'-b');
        hold on
        figure;
        plot(R,aten_dois_raios,'-r')
        hold on
        plot(dist_x*1000,Aten_total,'-r','LineWidth',1);
end
%% -----
switch ajuste_par
    case {'2'}
        % Apaga desenha gráfico -----
        apaga_des=input('Apagar desenho? (n) ','s');
        if isempty(apaga_des)
            % Não faz nada
        else
            clf; % Apaga desenho atual
            clf;
        end
        continua=input('Continua análise [s] - "n" para sair => ','s');
        % -----
        if isempty(continua)
            continua='s';
        else
            if continua=='n'
                break
            end
        end
    end
end
%% -----
end
%% Modelos de cobertura selecionados
% -----
Fc=frequencia_tx/1000000; % Frequencia em MHz
d=R_km_total; % Distância em km % dist_x
% *****
%% 1-Propagação em espaço livre
Aprop_Lo=(32.4+20*log10(Fc)+20.*log10(d));
%% 4-Hata estendido (COST 231)
% -----
[a_hatacost_1, a_hatacost_2]=modelo_HATA_COST231(h1, h2, Fc, d);
% *****
%% 5-Okumura-Hata Modificado: Modelo ITU-R (anteriormente CCIR)
% -----
[a_haokumod_1, a_haokumod_2,a_haokumod_3,...
a_haokumod_4 ]=modelo_OKUMURA_HATA(h1, h2, Fc, d);
% *****
%% 7-Ercege
% -----
[a_ergec_1, a_ergec_2, a_ergec_3]= modelo_ERCEG(h1,h2,Fc,d);
% *****
%% 8-SUI (Stanford University Interim)
% -----

```

```

[a_sui_1,a_sui_2,a_sui_3]=modelo_SUI(h1,h2,Fc,d);
% *****
%% Cálculo do balanço de potência
% Balanço sem atenuação
balanco=Pt+Gtx+Grx+Glna-Acc; % <<<=== Acc
% A potência recebida sera:
% Pr=balanco-atenuação_do_modelo
%% Escolha dos gráficos a serem plotados
desenho='1';
% Distância da variável intermediária para desenhar
dist_seg=dist_mts_seg;
dist_tot=R;
while desenho~='0'
    clc;
    s=sprintf (['\n\tEscolha gráfico para análise: \n\t',...
        '1- Sinal recebido\n\t',...
        '1a- Melhor ajuste sinal\n\t',...
        '2- Atenuação total\n\t',...
        '2a- Melhor ajuste atenuação\n\t',...
        '3- Gráfico do sombreado\n\t',...
        '4- Gráficos das PFD empírica e teórica\n\t',...
        '5- Ponto de transmissão\n\t',...
        '6- Desenha Sinal recebido medido\n\t',...
        '7- Desenha desvanecimento lento\n\t',...
        '11;11a- Modelo dois raios\n\t',...
        '12;12a- Modelo Hata estendido (COST 231)\n\t',...
        '13;13a- Modelo Okumura-Hata\n\t',...
        '14;14a- Modelo Erceg\n\t',...
        '15;15a- Modelo SUI\n\t',...
        '\n\ta- Apaga gráfico',...
        '\n\tb- Desenha em conjunto',...
        '\n\tf- Atenuação do espaço livre',...
        '\n\tl- Escala logarítmica',...
        '\n\tn- Escala linear',...
        '\n\to- Ajusta escala\n\t']);
    desenho=input(s,'s');
    if isempty(desenho)
        desenho='1';
    end
switch desenho;
case {'z'};
    desenho='0';
case {'1'}; % Desenha gráfico sinal recebido medido
    % -----
    plot(dist_seg,Prx,'-r','LineWidth',1);
    titulo=strcat({'Sinal recebido medido'; ...
        ['Trecos: ' num2str(num_arq_ent')]});
    title(titulo,'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold');
case {'1a'}; % Sinal recebido estimado do cálculo
    % -----
    plot(dist_seg,Prx_est,'-k', 'LineWidth',2)
    ylabel('Potência do sinal (dBm)','FontSize', 16,'FontWeight', 'bold');
    titulo=strcat({'Sinal recebido e curva de melhor ajuste'; ...
        ['fator de aten (n):' num2str(fator_n_prx)];...
        ['Trecos: ' num2str(num_arq_ent')]});
    title(titulo,'FontSize', 16,'FontWeight', 'bold');
case {'2'}; % Desenha gráfico da atenuação do sinal
    % -----
    plot(dist_seg,Aten_total,'-r','LineWidth',1);
    xlabel('Distância (km)','FontSize', 16,'FontWeight', 'bold');
    ylabel('Atenuação do sinal (dB)','FontSize', 16,'FontWeight', 'bold');
    titulo=strcat({'Atenuação do sinal e curva de melhor ajuste';...
        ['fator de aten (n):' num2str(fator_n_aten)];...
        ['Trecos: ' num2str(num_arq_ent')]});
    title(titulo,'FontSize', 16,'FontWeight', 'bold');
case {'2a'};
    plot(dist_seg,Aten_est,'.b','LineWidth',1)
    ylabel('Atenuação do sinal (dB)');

```

```

titulo=strcat({'Atenuação do sinal e curva de melhor ajuste';...
    ['fator de aten (n):' num2str(fator_n_aten)];...
    ['Trechos: ' num2str(num_arq_ent')]});
title(titulo,'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold');
%
case {'3'}; % Desenha gráfico sombreamento
% -----
% figure
plot(dist_seg,perda_sombreamento,'-b','LineWidth',2);
% axis([0 10000 90 160]);
%
ylabel('Atenuação do sinal (dB)');
% xlabel('Distância (km)');
%
titulo=strcat({'Perda de sombreamento'; ...
    ['Trechos: ' num2str(num_arq_ent')]});
title(titulo);
%
case {'4'} % Desenha gráficos das PFD empírica e teórica
% -----
% figure
plot(xout,n_pdf,'+r') % Histograma
hold on;
grid on;
plot(xout,p_gauss,'.b'); % Teórico

xlabel('Potência do sinal (dBm)','FontSize', 16,'FontWeight', 'bold');
ylabel('PDF Gauss','FontSize', 16,'FontWeight', 'bold');
titulo=strcat({'PDF da perda de sombreamento teórica e empírica'; ...
    ['Desvio padrão: ',num2str(desvio_padrao),...
    'Probabilidade Q1aUI:' num2str(prob_gauss)];...
    ['Trechos: ' num2str(num_arq_ent')]});
title(titulo,'FontSize', 16,'FontWeight', 'bold');
case {'5'} % Desenha ponto de transmissão
% -----
plot(0, potencia_tx,'ok',...
    'LineWidth',2,...
    'MarkerEdgeColor','r',...
    'MarkerFaceColor',[.49 1 .63],...
    'MarkerSize',5); % Ponto de Tx
hold on;
grid on;
plot(d_zi_ult_max,p_zi_ult_max,'.k') % Último máximo da ZI: fronteira ZI
e ZD
plot(d_zi_ult_min,p_zi_ult_min,'.m') % último mínimo da ZI:
case {'6'} % Desenha Sinal recebido medido
% -----
plot(dist_seg,...
    nivel_sinal_rx(2:(1+length(dist_mts_seg))),'-r'); % Pontos do sinal
grid on;
xlabel('Distância em metros','FontSize', 16,'FontWeight', 'bold');
ylabel('Potência do sinal recebido (dBm)','FontSize', 16,'FontWeight',
'bold');
titulo=strcat({'Sinal recebido medido';...
    ['Trechos: ' num2str(num_arq_ent')]});
title(titulo,'FontSize', 16,'FontWeight', 'bold');
% -----
case {'7'}
plot(dist_seg,Aten_est,'.b','LineWidth',1)
% axis([0 10000 90 160]);
ylabel('Atenuação do sinal (dB)');
% xlabel('Distância (m)');
titulo=strcat({'Atenuação do sinal e curva de melhor ajuste';...
    ['fator de aten (n):' num2str(fator_n_aten)];...
    ['Trechos: ' num2str(num_arq_ent')]});
title(titulo,'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold');
case {'11'}
plot(dist_tot,aten_dois_raios,'-g')

```

```

    % axis([0 10000 90 160]);
    case{'11a'}
    plot(dist_seg,aten_dois_raios((length(R1)):(length(R1)+length(dist_mts_seg))-1));
    case{'11b'}
        Prec=balanco-
    aten_dois_raios((length(R1)):(length(R1)+length(dist_mts_seg))-1);
    plot(dist_seg,Prec,'b','LineWidth',3);
    case {'12'} % Hata estendido (COST 231)
    plot(dist_tot,a_hatacost_1,'y');
    hold on;
    grid on;
    plot(dist_tot,a_hatacost_2,'c');
    plot(dist_tot,a_hatacost_3,'m');
    plot(dist_tot,a_hatacost_4,'k');
    case{'12a'} % Hata estendido (COST 231)
    plot(dist_seg,a_hatacost_1((length(R1)):(length(R1)+...
        length(dist_mts_seg))-1),'y');

    hold on;
    grid on;
    plot(dist_seg,a_hatacost_2((length(R1)):(length(R1)+...
        length(dist_mts_seg))-1),'c');

    case {'13'} % Modelo Okumura-Hata
    plot(dist_tot,a_haokumod_1,'c');
    hold on;
    grid on;
    plot(dist_tot,a_haokumod_2,'m');
    plot(dist_tot,a_haokumod_3,'k');
    plot(dist_tot,a_haokumod_4,'k');
    %
    case{'13a'} % Modelo Okumura-Hata
    plot(dist_seg,a_haokumod_1((length(R1)):(length(R1)+...
        length(dist_mts_seg))-1),'y');

    % axis([0 10000 90 160]);
    hold on;
    grid on;
    plot(dist_seg,a_haokumod_2((length(R1)):(length(R1)+...
        length(dist_mts_seg))-1),'c');
    plot(dist_seg,a_haokumod_3((length(R1)):(length(R1)+...
        length(dist_mts_seg))-1),'m');
    plot(dist_seg,a_haokumod_4((length(R1)):(length(R1)+...
        length(dist_mts_seg))-1),'k');

    %
    case{'13b'} % Modelo Okumura-Hata
    Prec_1=balanco-a_haokumod_1((length(R1)):(length(R1)+length(dist_mts_seg))-
1);
    Prec_2=balanco-a_haokumod_2((length(R1)):(length(R1)+length(dist_mts_seg))-
1);
    Prec_3=balanco-a_haokumod_3((length(R1)):(length(R1)+length(dist_mts_seg))-
1);
    Prec_4=balanco-a_haokumod_4((length(R1)):(length(R1)+length(dist_mts_seg))-
1);

    plot(dist_seg,Prec_1,'c');
    hold on;
    grid on;
    plot(dist_seg,Prec_2,'m');
    plot(dist_seg,Prec_3,'k');
    plot(dist_seg,Prec_4,'y');
    case {'14'} % Modelo Erceg
    plot(dist_tot,a_ergec_1,'c');
    hold on;
    grid on;
    plot(dist_tot,a_ergec_2,'m');
    plot(dist_tot,a_ergec_3,'k');
    case {'14a'} % Modelo Erceg
    plot(dist_seg,a_ergec_1((length(R1)):(length(R1)+...
        length(dist_mts_seg))-1),'c');

    hold on;
    grid on;

```

```

        plot(dist_seg,a_ergec_2((length(R1)):(length(R1)+...
                                length(dist_mts_seg))-1),'m');
        plot(dist_seg,a_ergec_3((length(R1)):(length(R1)+...
                                length(dist_mts_seg))-1),'k');
    case {'15'} % Modelo SUI
        plot(dist_tot,a_sui_1,'c');
        plot(dist_tot,a_sui_2,'m');
        plot(dist_tot,a_sui_3,'k');
    case {'15a'} % Modelo SUI
        plot(dist_seg,a_sui_1((length(R1)):(length(R1)+...
                                length(dist_mts_seg))-1),'c');

        hold on;
        grid on;
        plot(dist_seg,a_sui_2((length(R1)):(length(R1)+...
                                length(dist_mts_seg))-1),'m');
        plot(dist_seg,a_sui_3((length(R1)):(length(R1)+...
                                length(dist_mts_seg))-1),'k');

    case {'15b'} % Modelo SUI
        Prec_1=balanco-a_sui_1((length(R1)):(length(R1)+length(dist_mts_seg))-1);
        Prec_2=balanco-a_sui_2((length(R1)):(length(R1)+length(dist_mts_seg))-1);
        Prec_3=balanco-a_sui_3((length(R1)):(length(R1)+length(dist_mts_seg))-1);
        plot(dist_seg,Prec_1,'c');
        hold on;
        grid on;
        plot(dist_seg,Prec_2,'m');
        plot(dist_seg,Prec_3,'k');
    case {'a'}
        clf;
    case {'b'}
        hold on;
        grid on;
    case {'f'} % Atenuação espaço livre
        plot(dist_tot,Aprop_Lo,'-g');
    case {'f1'} % Sinal recebido considerando atenuação do espaço livre
        Pr_Lo=-Aprop_Lo+Pt+Glna+Gtx+Grx-Acc;
        plot(dist_tot,Pr_Lo,'.g');
    case {'l'}
        dist_seg=dist_mts_seg_log;
        dist_tot=log10(R);
        xlabel('Logaritmo da distância em metros');
    case{'n'}
        dist_seg=dist_mts_seg;
        dist_tot=R;
        xlabel('Distância em metros','FontSize', 12,'FontWeight', 'bold');
    case{'o'}
        axis([min(dist_seg) max(dist_seg) 90 180]);
end
end

% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: p_altura_ant_rx_rugos_mar_rev_a
% -----
% Este programa calcula o modelo de dois raios considerando a variação da
% antena e busca avaliar o ajuste de parâmetros
% Executar primeiro o programa: ajuste_dois_raios_rec_c.m
% *****
%% Parâmetros do sistema
% d=100:1:30000;
h1=42; % Altura antena Tx
h2=5.5; % Altura antena Rx

r1=sqrt(dist_seg.^2+(h1-h2).^2); % Caminho direto
r2=sqrt(dist_seg.^2+(h1+h2).^2); % Caminho refletido na superfície
X=acos(dist_seg./r2);
f=3515000000;

```

```

lambda=(3*10^8)/f;
k=2*pi/lambda;
Gamma=-1;
per=81;
sigma_h=0.3; % input(' Entre sigma_h'); % Teste de sigma_h
%% Cálculo Modelo de dois raios para superfície marítima pol. vertical
CosTheta=(h1+h2)./r2;
temp=sqrt(per-(1-(CosTheta.^2)))/per;
Gamma=(CosTheta-temp)./(CosTheta+temp);
% Cálculo da potência recebida -----
PG=((lambda/(4*pi))^2)*abs(exp(-1i.*k.*r1)./r1...
+Gamma.*exp(-1i.*k.*r2)./r2).^2;
Pr_E0_dB=10*log10(PG)+Pt+Glna+Gtx+Grx-Acc;
% Cálculo da atenuação -----
aten_dois_raios=-10*log10(PG);
%% Cálculo da potência para superfície rugosa
g=sigma_h.*sin(X)./lambda;
E_Eg=exp(-2.*(2*pi.*g).^2).*besseli(0,2.*(2*pi.*g).^2);
Pr_Eg=((lambda./(4*pi.*dist_seg)).^2).*(abs(E_Eg)).^2;
Pr_Eg_dB=10*log10(Pr_Eg)+Pt+Glna+Gtx+Grx-Acc;
%% Influência da variação da altura da antena receptora
% Parâmetros da distribuição uniforme
a=23;
b=25;
% dist_seg_invert=flipud(dist_seg); radial 4 somente
dist_seg_invert=(dist_seg);
comprimento=24; % Comprimento da embarcação
desvio=0.3; % Altura média das ondas em m
desvio=desvio*7; % Ajuste do desvio padrão devido aos testes
medio=0; % Valor médio
freq=1/comprimento;
ind_acum=0;
ind_per=0;
ind_d_ini=1;
ind_d_fim=1;
fx_acum=0;
fx=[];
num_comp=fix((max(dist_seg_invert)-min(dist_seg_invert))./comprimento);
resto=(max(dist_seg_invert)-min(dist_seg_invert))-num_comp.*comprimento;
% Determina quantidade de índices para comprimento
% -----
while (dist_seg_invert(ind_d_fim)-dist_seg_invert(ind_d_ini))<=comprimento
    ind_d_fim=ind_d_fim+1;
end
com_ind=ind_d_fim; % Quantidade de índices do comprimento
com_ind_total=fix(length(dist_seg_invert)/com_ind);
resto_ind=length(dist_seg_invert)-com_ind_total*com_ind;
% -----
for ind=1:com_ind_total
    % Gerador de números aleatórios Uniforme
    comprimento = a + (b-a).*rand(1,1);
    % Gerador de números aleatórios Normal
    c=medio+ desvio.*randn(1,1);
    % Cálculo da função densidade de altura da onda
    fx_acum=c.*sin((2*pi/comprimento).*...
        dist_seg_invert(ind_d_ini:ind_d_fim))+h2;

    ind_d_ini=ind_d_fim;
    ind_d_fim=ind_d_fim+com_ind;
    %
    fx=[fx;fx_acum];
end
ind_d_ini=length(fx);
ind_d_fim=length(dist_seg_invert)-1;
comprimento = a + (b-a).*rand(1,1);
c=medio+ desvio.*randn(1,1);
% Último segmento
fx_acum=c.*sin((2*pi/comprimento).*...

```

```

        dist_seg_invert(ind_d_ini:ind_d_fim))+h2;
fx=[fx;fx_acum];
% -----
% Normalização para o valor médio
fxnorm=abs(fx./mean(fx));
% Cálculo em dB
fx_db=20.*log10(fxnorm);          % Passa para dB
% Cálculo da potência recebida
Pr_E0_dB_fx=Pr_E0_dB+fx_db;      % Calcula a potência com a variação de h2
%% Desenho dos gráficos
nivel_s=nivel_sinal_rx(2:(1+length(dist_mts_seg)));
plot(dist_seg,nivel_s,'-k');      % Sinal medido
hold on
grid on
plot(dist_seg,Pr_E0_dB_fx,'r');   % com variação da altura da antena
plot(dist_seg,Pr_E0_dB,'-c');    % Sem variação da altura da antena
xlabel('Distância em metros','FontSize',16,'FontWeight','bold');
ylabel('Potência do sinal (dBm)','FontSize',16,'FontWeight','bold');
% xlabel('Distância (m)');
titulo=strcat({'Sinal recebido medido';...
              ['Trechos: ' num2str(num_arq_ent')]});
title(titulo,'FontSize',16,'FontWeight','bold');
legend('Sinal medido','Modelo de dois raios corrigido','Modelo de dois raios',4)
%% Comparação das Estatísticas
% -----
mean(Pr_E0_dB_fx)
std(Pr_E0_dB_fx)
mean(nivel_s)
std(nivel_s)
figure;
cdf_esp=cdfplot(nivel_s);
hold on;
cdf_freq=cdfplot(Pr_E0_dB_fx);
% -----
[f_n,x_n,flo_n,fup_n] = ecdf(nivel_s);
plot(x_n,f_n);
hold on
[f_p,x_p,flo_p,fup_p] = ecdf(Pr_E0_dB_fx);
plot(x_p,f_p);
%% Cálculo e conversão da área do histograma para 1 de modo que seja uma pdf
discreta
% -----
% Sinal medido
num_div=fix(sqrt(length(nivel_s)));
% Dados do histograma
[n_hist,xout] = hist(nivel_s,num_div);
delta_x=xout(2)-xout(1);
area_hist=delta_x.*n_hist;
soma_area_hist=sum(area_hist);
area_pdf=area_hist/soma_area_hist;
n_pdf=area_pdf/delta_x;
% Sinal simulado
num_div=fix(sqrt(length(Pr_E0_dB_fx)));
% Dados do histograma
[n_hist_sim,xout_sim] = hist(Pr_E0_dB_fx,num_div);
delta_x_sim=xout_sim(2)-xout_sim(1);
area_hist_sim=delta_x_sim.*n_hist_sim;
soma_area_hist_sim=sum(area_hist_sim);
area_pdf_sim=area_hist_sim/soma_area_hist_sim;
n_pdf_sim=area_pdf_sim/delta_x_sim;
% Desenha gráfico
plot(xout,n_pdf,'+r')           % Histograma
hold on;
grid on;
plot(xout_sim,n_pdf_sim,'.b');  % Teórico
legend('Sinal medido','Modelo de dois raios corrigido',4)
%% Cálculo da PDF de Gauss
media=mean(nivel_s);

```



```

desvio_padrao=sqrt(sum(((nivel_s).^2)/length(nivel_s)));
% ou desvio_padrao=sqrt(sum(((Prx-Prx_est).^2)/length(Prx))); <<==
% Obs.: É o mesmo valor de sdt(perda_sombreamento)
p_gauss=(1/(desvio_padrao*sqrt(2*pi)))*...
    .*exp(-((nivel_s-media).^2)...
    ./ (2*desvio_padrao^2));
%% Desenha gráficos das PFD empírica e teórica
% -----
plot(xout,n_pdf,'+r') % Histograma
hold on;
grid on;
plot(xout,p_gauss,'.b'); % Teórico
xlabel('Potência do sinal (dBm)','FontSize', 16,'FontWeight', 'bold');
ylabel('PDF Gauss','FontSize', 16,'FontWeight', 'bold');
titulo=strcat({'PDF da perda de sombreamento teórica e empírica'; ...
    ['Desvio padrão: ',num2str(desvio_padrao),...
    'Probabilidade Q1aUI:' num2str(prob_gauss)];...
    ['Trecos: ' num2str(num_arq_ent')]});
title(titulo,'FontSize', 16,'FontWeight', 'bold');
%% Teste QUI quadrado
% -----
% dBm para Potência
esperado=10.^(nivel_s./10).*(10.^(-3));
frequencia=10.^(Pr_E0_dB_fx./10).*(10.^(-3));
% Potência para volts
esp_volts=sqrt(esperado*50);
freq_volts=sqrt(frequencia*50);
% Normalização
esperado_norm=n_pdf./mean(n_pdf);
frequencia_norm=n_pdf_sim./mean(n_pdf_sim);
% -----
ind_nz = find(n_pdf); % Encontra os valores sem zero, pois o teste qui
% não pode conter zeros no valor ESPERADO
% esp=-nivel_s; %ou n_pdf(ind_nz);
% freq=-Pr_E0_dB_fx; %ou n_pdf_sim(ind_nz);
esp=n_pdf(ind_nz); %ou n_pdf(ind_nz);
freq=n_pdf_sim(ind_nz); %ou n_pdf_sim(ind_nz);
bins=0:(length(freq)-1); % Número de pontos para uso no teste <<<====
% bins=0:(length(a)-1); % Número de pontos para uso no teste <<<====
% esperado=a;
% frequencia =b;

% Teste Qui-quadrado PDF Gaussiana
[hipotese,probabilidade,estatistica] = chi2gof(bins, 'ctrs', bins,...
    'emin',0,... % Agrupamento de valores com valor < 1
    'frequency', freq, ...
    'expected', esp, 'nparams', 1)
estat_graus_lib=estatistica.df
qui_teste_gauss=estatistica.chi2stat % o menor valor indica o melhor ajuste
x_qui_teste_gauss = chi2inv(probabilidade,estat_graus_lib) % o MAIOR valor indica o
melhor ajuste
% fprintf ('hipotese %f\n',hipotese,'probabilidade %f\n', probabilidade);
%% Cálculo da rugosidade
% -----
plot(dist_seg,X)
% C=0.1;
% sigma_rugosidade=0.38;
sigma_rugosidade=1; % Escala beaufort 3, 1 metro da altura da onda
C=4*pi.*X*sigma_rugosidade./lambda;
plot(dist_seg,C);
% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: q_grafico_dados_espaco_rev_a
% -----
% Este programa mostra a variação dos níveis de sinal nos caminhos percorridos
% durante a aquisição dos dados

```

```

% *****
% Arquivo de entrada:      'arq_sinal_posicao_hora_';
% Variável(eis) de entrada:
%                          'hora_loc_tot',...
%                          'latitude_tot',...
%                          'longitude_tot',...
%                          'nivel_sinal_dB');
% Arquivo de entrada:
%
%
% *****
clear all

% Definição dos arquivos a serem lidos
% -----
arquivo=[];
caminho='C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda
Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae\';
% arquivo_entrada='arq_sinal_posicao_hora_';
arquivo_entrada='arq_amost_sinal_posicao_hora_';
% Verificação dos arquivos que serão lidos para os cálculos
% -----
num_arq_ini=input('Entre com o número do primeiro arquivo [1]','s');
if isempty(num_arq_ini)
    num_arq_ini='1';
end
num_arq_fim=input('Entre com o número do último arquivo [24]','s');
if isempty(num_arq_fim)
    num_arq_fim='24'; % Foram gerados 24 arquivos
end
% Variáveis de leitura do arquivo
% -----
nome_arq='';
nome_arq_gravado='';
novo_registro='';
continua_registro=true;
conta_arq_reg=1;
conta_arq_reg_str='';
mesmo_graf=false; % Mantém dados no mesmo gráfico ou faz outro
% Entrada e leitura do arquivo com as variáveis medidas em campo
% -----
% for conta_arq_reg=str2num(num_arq_ini):str2num(num_arq_fim)
conta_arq_reg=str2num(num_arq_ini); % valor inicial do registro
while continua_registro==true
% *****
%% Leitura do arquivo de dados gravados
% -----
conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg); % passa para STRING
nome_arq_gravado=strcat(caminho,arquivo_entrada,conta_arq_reg_str,'.mat');
load (nome_arq_gravado,...
    'hora_loc_tot',...
    'latitude_tot',...
    'longitude_tot',...
    'nivel_sinal_dB');
% *****
%% Geração dos gráficos
% -----
% Abre janela para desenhar gráfico
% figure
% -----
    indice=1:100:length(nivel_sinal_dB);
    mpq=nivel_sinal_dB(indice);
    lat_mpq=latitude_tot(indice);
    long_mpq=longitude_tot(indice);
    scatter (long_mpq,lat_mpq,5,mpq);
    colorbar;
    xlabel('Longitude');
    ylabel('Latitude');

```

```

title({'\fontsize{12} Nível do sinal medido pelo analisador de espectro';...
strcat(arquivo_entrada,conta_arq_reg_str, '.mat')));
grid on;
% Verifica se haverá novo gráfico ou se manterá o mesmo
novo_graf=input('Novo gráfico ou mantém no mesmo [1-Novo; 2-Mesmo]','s');
if (isempty(novo_graf)|| novo_graf=='1')
    figure; % Abre nova janela para outro gráfico
else
    hold on; % Mantém mesmo gráfico
end
end
% *****
%% Verifica se haverá nova leitura e gravação
% -----
if conta_arq_reg==str2num(num_arq_fim);
    continua_registro=false;
else
    novo_registro=input('Realizar nova registro [s]: ', 's');
    if isempty(novo_registro)
        continua_registro=true;
    else
        continua_registro=false;
    end
end
end
% Incrementa sufixo do nome do arquivo
conta_arq_reg=conta_arq_reg+1;
end
%% Desenha gráfico total
indice=1:100:length(nivel_sinal_dB_consol);
mpq=nivel_sinal_dB_consol(indice);
lat_mpq=latitude_consol_tot(indice);
long_mpq=longitude_consol_tot(indice);
scatter (long_mpq,lat_mpq,5,mpq);
colorbar;
xlabel('Longitude');
ylabel('Latitude');
title({'\fontsize{12} Nível do sinal medido pelo analisador de espectro';...
});
grid on;

% *****
% Fim
% *****

% Nome do programa: r_grafico_modelo_dois_raios_rev_b
% -----
% Gráfico da Perda de percurso para Terra plana (adaptado de Bertoni)
%
% Parâmetros de entrada:
%
%         f: frequencia
%         h1: altura da antena de transmissão
%         h2: altura da antena de recepção
%         er: constante dielétrica da superfície
% Dmin, Dmax: separação horizontal mínima e máxima
%         RefCoef: coeficiente de reflexão da superfície
%
%
%         1. TM  2. TE  3. Gamma=-1
% -----
f=3515e6;           % Frequencia
h1=42;             % Altura antena Tx
h2=5.5;           % Altura antena Rx
er=81.0;          % Permissividade
C=3*10^8;         % Velocidade da onda
Dmin=100;         % Distância mínima
Dmax=100000;     % Distância máxima
% -----
% Seleção do mode de reflexão

```

```

s=sprintf('\n\n Selecciona coeficiente de reflexão:\n\t1.TM\n\t2.TE\n\t3.Gamma=-
1\n');
RefCoef=input(s); % RefCoef deve ser 1, 2 or 3
TM=1;
TE=2;
MinusOne=3;
% -----
% Calcula coeficiente de reflexão
R=logspace(log10(Dmin),log10(Dmax),N); % Distância entre antenas
r1=sqrt((h1-h2)^2+R.^2); % Percurso direto
r2=sqrt((h1+h2)^2+R.^2); % Percurso refletido na superfície
Pt=1; % Potência total irradiada
lambda=C/f; % comprimento de onda
k=2*pi/lambda; % número de onda
CosTheta=(h1+h2)./r2;
if RefCoef==TM,
    temp=sqrt(er-(1-(CosTheta.^2)))/er;
    Gamma=(CosTheta-temp)./(CosTheta+temp);
    Tstr='TM';
elseif RefCoef==TE,
    temp=sqrt(er-(1-(CosTheta.^2)))/er;
    Gamma=(CosTheta-temp)./(CosTheta+temp);
    Tstr='TE';
elseif RefCoef==MinusOne,
    Gamma=-1;
    Tstr='-1';
else
    disp('Invalid selection for reflection coefficient');
    return;
end
% -----
% Cálculo da perda de percurso e ganho de percurso
PG=((lambda/(4*pi))^2)*abs(exp(-j.*k.*r1)./r1+Gamma.*exp(-j.*k.*r2)./r2).^2;
PL=1./PG;
% -----
% Desenha resultados
%
figure(1)
semilogx(R,10*log10(PG), 'r');
grid on
xlabel('Distância (m)', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold');
ylabel('Perda de percurso (dB)', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold');
title('Perda de percurso com a distância',...
'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
axis([1 100000 min(10*log10(PG))*1.1 max(10*log10(PG))*0.9]);
% *****
% Fim
% *****

% Função para cálculo da atenuação de percurso pelo modelo ERCEG
function [a_ergec_1, a_ergec_2, a_ergec_3]=modelo_ERCEG(hb, hm, fc, d)
%
%*** Variáveis para o programa: ***
% -----
% Apropr=[]; % - valor médio da perda devido ao caminho de propagação (dB);
% Apropr_1=[];
% Apropr_2=[];
% Apropr_3=[];
% Apropr_4=[];
%
Fc=fc; % - frequência de transmissão (MHz);
hte=hb; % - altura da antena de transmissão da estação transmissora (m);
hre=hm; % - altura da antena de recepção da estação receptora (m);
%
% dl=[];
%
% Para uma determinada distância de referência d0, a perda de propagação

```

```

% média é dada por:
%  $PL=A+10*\lambda*\log_{10}(d/d_0)+s$  % para  $d>d_0$ 
% Onde,
% d %- distância da estação móvel até a estação base (m)
% A %- ponto de intercessão (dB), dado por:
%
%  $d=\text{distancia\_pontos}(2:\text{length}(\text{distancia\_pontos}))$ ; % Distância total
d0=0.100; %- distância do ponto de intercessão até a estação base = 100 m
lambda=0; %- comprimento de onda (m)
%s=0; %- fator de distribuição estatística do tipo log-normal que é
% utilizado para calcular o desvanecimento devido a árvores e outros
% obstáculos. Variável gaussiana randômica de média zero definida por
% uma variável gaussiana de média zero e seu desvio padrão. O valor
% típico do desvio padrão de s é entre 8,2 e 10,6 dB, dependendo do
% tipo de densidade da vegetação presente no terreno.
%
lambda=3*10^8/(Fc*10^6);
%
% A - ponto de intercessão (dB), dado por:
A=20*log10(4*pi*d0/lambda);
%
% A Tabela 4.1 apresenta os parâmetros do modelo, na região dos Estados
% Unidos da América, para três categorias de terreno.
% Tabela 4.1 - Parâmetros dos modelos Erceg e SUI para três categorias de
% terreno:
% -----
%PARAMETROS TIPO DO TERRENO
% A-ALTA B-MODERADA C-BAIXA
% DENSIDADE DENSIDADE DENSIDADE
% DE ÁRVORES DE ÁRVORES DE ÁRVORES
% a 4,6 4,0 3,6
% b [m-1] 0,0075 0,0065 0,0050
% c [m] 12,6 17,1 20,0
% mi_sigma 0,57 0,75 0,59
% sigma_gama 10,6 9,6 8,2
% gama 2,3 3,0 1,6
% -----
%
y=0; %- variável gaussiana de média zero;
z=0; %- variável gaussiana de média zero;
mi_sigma=0; %- média de ?;
sigma_gama=0; %- desvio padrão de ?;
gama=0; % variável gaussiana randômica adimensional que caracteriza o
decaimento
sigma_sigma=0; % na macro célula dentro da morfologia, dada por:
% -----
% A - Alta densidade de árvores
% -----
Aa=4.6;
Ab=0.0075;
Ac=12.6;
Ami_sigma=0.57;
Asigma_gama=10.6;
Agama=2.3;
% -----
% B - Moderada densidade de árvores
% -----
Ma=4;
Mb=0.0065;
Mc=17.1;
Mmi_sigma=0.75;
Msigma_gama=9.6;
Mgama=3.0;
% -----
% C - Baixa densidade de árvores
% -----
Ba=3.6;
Bb=0.0050;

```

```

Bc=20;
Bmi_sigma=0.59;
Bsigma_gama=8.2;
Bgama=1.6;
% -----
% O efeito de sombreamento é representado por s, que segue uma distribuição
% log-normal. O valor típico do desvio padrão de s é entre 8,2 e 10,6 dB,
% dependendo do tipo de densidade da vegetação presente no terreno.
%
Agama=(Aa-Ab*hte+Ac/hte);
Mgama=(Ma-Mb*hte+Mc/hte);
Bgama=(Ba-Bb*hte+Bc/hte);
%
Asigma=Ami_sigma+Asigma_gama;
Msigma=Mmi_sigma+Msigma_gama;
Bsigma=Bmi_sigma+Bsigma_gama;
%
As=Asigma_gama;
Ms=Msigma_gama;
Bs=Bsigma_gama;
%
A=20*log10(4*pi*d0/lambda);
% -----
% => Perda de propagação
% -----
a_ergec_1=(A+10.*Agama.*log10(d./d0)+As);
a_ergec_2=(A+10.*Mgama.*log10(d./d0)+Ms);
a_ergec_3=(A+10.*Bgama.*log10(d./d0)+Bs);
end

```

Anexo 6 Estrutura de diretórios

Para o processamento dos dados foi utilizado o caminho (*path*) e a estrutura de diretórios (pastas) e abaixo mostrados:

- caminho no microcomputador portátil: C:\Users\Pedro\1-Projetos\Mestrado\Pesquisa de campo\Banda Estreita\Medidas em Campo\Petrobras_3_5\Maritimo_Macae;
- Estrutura de diretórios (pastas) sequencial ao caminho mostrado:

