# UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE ESCOLA DE ENGENHARIA MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

Fábio José Barroso da Fonseca

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FAIXA ESTREITA DO CANAL RÁDIO MÓVEL EM 3,5 GHz

### Fábio José Barroso da Fonseca

# ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FAIXA ESTREITA DO CANAL RÁDIO MÓVEL EM 3,5 GHz

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Leni Joaquim de Matos

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

F686 Fonseca, Fábio José Barroso da

Análise do comportamento faixa estreita do canal rádio móvel em 3,5 GHz / Fábio José Barroso da Fonseca. – Niterói, RJ: [s.n.], 2011.

160f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações) - Universidade Federal Fluminense, 2011.

Orientadores: Leni Joaquim de Matos.

 Sistema de comunicação móvel. 2. Canal radiomóvel. 3. Propagação de sinais (Engenharia de telecomunicações). I. Título.

CDD 621.38456

### FÁBIO JOSÉ BARROSO DA FONSECA

# ANÁLISE DA FAIXA ESTREITA DO COMPORTAMENTO DO CANAL RÁDIO-MÓVEL EM 3,5 GHz

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, Como requisito parcial para obtenção do título de Mestre. Área de Concentração: Sistemas de Telecomunicações.

Aprovada em 10 de agosto de 2011.

#### BANCA EXAMINADORA

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Leni Joaquim de Matos – Orientadora Universidade Federal Fluminense

> Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Vale Universidade Federal Fluminense

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

Prof<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marta Pudwell Chaves de Almeida

Wings Telecom Ltda, Brasil

Prof. Dr. Carlos Vinicio Rodríguez Ron Wings Telecom Ltda, Brasil

Esta dissertação é dedicada, primeiramente e sempre, a Deus por tudo; aos meus pais, Sebastião e Olivia, pelo amor, apoio e incentivo constantes.

### Agradecimentos

À Prof<sup>a</sup> Dra. Leni Joaquim de Matos, pela sua dedicação na orientação e por ser em todos os momentos uma pessoa agradável e compreensível.

A todos os que integram ou já integraram nosso grupo de pesquisa e aos demais colegas da UFF, pelos longos anos de convívio. Especialmente, aos amigos Raphael Almeida, Rodrigo Vieitas, Eduardo Leão, Pedro Eugênio, Pedro Vieira, Fabiano Vargas, Elias Mainetti, Wilyam Meza, Paula Dias e Vinícius Guimarães pelas colaborações e dicas dadas na parte de processamento dos dados.

À Universidade Federal Fluminense, pelos auxílios concedidos.

À PUC-RIO e ao INMETRO, pela disponibilização de equipamentos e dispositivos para a realização das medições.

Ao Prof. Dr. Julio Dal Bello e aos colegas José Roberto Siqueira e Carlos Rodríguez, pela parceria na realização das mesmas.

A todos os professores e funcionários do Departamento e da PGSS em Engenharia de Telecomunicações, pelos ensinamentos e pela colaboração, respectivamente.

Às amigas Margareth Timoteo e Elza Feliciano, pela revisão de formatação deste texto.

À querida Isabele Ramos, pela motivação e incentivos muito importantes na fase de ajustes para elaboração da versão final desta.

Mais uma vez, e sempre, a Deus por tudo e, também, aos meus pais e familiares.

#### Resumo

A crescente demanda por sistemas de comunicação móvel traz, em paralelo, um congestionamento nas faixas de frequência em operação dos sistemas consagrados, conduzindo ao uso de frequências cada vez mais altas nos novos sistemas. Destaca-se aí, a importância do estudo do comportamento do canal rádio móvel nas faixas de frequências designadas para uso com o padrão WiMax, de grande perspectiva no mercado, principalmente em ambientes urbanos. Visando estudar o comportamento do canal rádio móvel numa dessas faixas, este trabalho apresenta a análise empírica do comportamento faixa estreita do sinal rádio móvel na região de Icaraí, tipicamente urbana. Partindo de medições de sinal realizadas em ruas do bairro, na faixa de 3,5 GHz, faz-se um estudo das estatísticas de melhor ajuste para a variabilidade lenta e rápida do sinal, passando pela perda no percurso, e determinam-se parâmetros importantes como a taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento, com uma adequação satisfatória dos resultados empíricos e teóricos.

**Palavras-chave:** Propagação em 3,5 GHz. Canal rádio móvel. Parâmetros de canal. Desvanecimento de sinal.

#### **Abstract**

The growing demand for mobile communication systems gets together occupation on the frequency bands in operation of the established systems, causing the use of frequencies more and more high in the newer systems. It is important the study of the radio mobile channel behavior in the frequency bands assigned for the WiMax pattern that has great perspective in the market, especially in urban environments. Aiming to study the behavior of the radio mobile channel in one of these bands, this paper presents the narrow band empirical analysis of the radio signal in the region of Icaraí that has characteristics typically urban. Starting from signal measurements carried out on neighborhood streets, in the band of 3,5 GHz, it is studied the statistics of the better results fit for the slow and fast variability of the signal, the path loss, and important parameters as the level crossing rate and the average fade duration are determined and they present the empirical and theoretical results well similar.

**Keywords:** Propagation in 3,5 GHz. Radiomobile channel. Channel parameters. Signal fading.

# Sumário

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	12
1.1 MOTIVAÇÃO 1.2 OBJETIVOS	14
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	
CAPÍTULO 2 SISTEMAS WIMAX	15
2.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS 2.2 PRINCIPAIS APLICAÇÕES OPERACIONAIS	
2.3 TÉCNICA OFDM	
CAPÍTULO 3 COMPORTAMENTO FAIXA ESTREITA DO CANAL RÁDIO MÓ	VEL.31
3.2 EFEITOS DE PROPAGAÇÃO	33
3.3 DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS	35
3.3.1 Distribuição Rayleigh	
3.3.2 Distribuição Rice	
3.3.3 Distribuição M-Nakagami	
3.3.4 Distribuição Lognormal	41
CAPÍTULO 4 AMBIENTE E SISTEMA DE MEDIÇÃO	
4.1 SETUP DE TRANSMISSÃO	
4.1.1 Descrição dos equipamentos de transmissão	
4.1.2 Parâmetros configurados na transmissão	
4.2 SETUP DE RECEPÇÃO	
4.2.1 Descrição dos equipamentos de recepção	
4.2.2 Parâmetros configurados na recepção	63
CAPÍTULO 5 PROCESSAMENTO DOS DADOS E RESULTADOS	65
5.1 VARIABILIDADE LENTA	
5.2 VARIABILIDADE RÁPIDA	
5.2.1 Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento	97
CAPÍTULO 6 CONCLUSÃO	104
REFERÊNCIAS	107
APÊNDICES	112
A.1 PROGRAMAS DESENVOLVIDOS EM MATLAB	
A.2 GRÁFICOS DO DESVANECIMENTO RÁPIDO	
A 3 TABELAS DO DESVANECIMENTO RÁPIDO	165

# Lista de Figuras

Figura 1: Padrões de acesso wireless	15
Figura 2: Modulação Adaptativa empregada na tecnologia WiMax	19
Figura 3: Uso de células e reuso de frequências	23
Figura 4: Topologia da Rede WiMax	24
Figura 5 : Modelo de uma topologia em malha (mesh)	25
Figura 6: TDD: Diferença de tempo entre os canais	26
Figura 7: FDD: Separação entre as frequências dos canais	27
Figura 8: Esquema apresentando as principais aplicações com WiMax	29
Figura 9: Modulação OFDM na freqüência.	30
Figuras 10a e 10b: Ambiente e percurso de medição	48
Figura 11: Setup de transmissão e recepção em ambiente de laboratório	49
Figuras 12a e 12b: Setup de transmissão	50
Figura 13: Localização da antena transmissora.	51
Figura 14: Gerador de sinais MG3700A Anritsu.	52
Figura 15: Amplificador Milmega AS0204-7B 2-4GHz 7W	53
Figura 16: Antena transmissora Hyperlink HG3515P-120.	54
Figura 17: Diagramas de irradiação da antena Hyperlink HG3515P-120	55
Figuras 18a e 18b: Setup de recepção	57
Figura 19: Analisador de espectro MS2781B Signature Anritsu	58
Figura 20: Amplificador de baixo ruído (LNA).	59
Figura 21: Antena de recepção onidirecional Rubber Duck da Hyperlink	60
Figura 22: Diagrama de irradiação da antena receptora Rubber Duck da Hyperlink	60
Figura 23: Inversor de tensão	62
Figura 24: Equipamento de localização via satélite GPSmap 60CS	63
Figura 25: Mapa de Icaraí com as rotas e indicação de nível de potência recebida	66
Figuras 26a e 26b: Rua Presidente Backer	67
Figuras 27a e 27b: Praia de Icaraí	68
Figuras 28a e 28b: Rua Mariz e Barros	69
Figuras 29a e 29b: Rua Moreira César	70
Figuras 30a e 30b: Av. Ary Parreiras	72
Figuras 31a e 31b: Av. Roberto Silveira	73

Figuras 32a e 32b: Ajuste para perda no percurso e desvanecimento lento - Rota 1	75
Figuras 33a e 33b: Ajuste para perda no percursso e desvanecimento lento - Rota 2	76
Figuras 34a e 34b: Ajuste para perda no percursso e desvanecimento lento - Rota 3	77
Figura 35: Ajuste para perda no percursso e desvanecimento lento - Rota 4	78
Figura 36: Ajuste para perda no percursso e desvanecimento lento - Rota 5	79
Figura 37: Ajuste para perda no percursso e desvanecimento lento - Rota 6	80
Figura 38: Setores que apresentaram melhor e pior ajuste pelo teste qui na rota 1	84
Figura 39: Setores que apresentaram melhor e pior ajuste pelo teste qui na rota 2	86
Figura 40: Setores que apresentaram melhor e pior ajuste pelo teste qui na rota 3	88
Figura 41: Setores que apresentaram melhor e pior ajuste pelo teste qui na rota 4	90
Figura 42: Setores que apresentaram melhor e pior ajuste pelo teste qui na rota 5	92
Figura 43: Setores que apresentaram melhor e pior ajuste pelo teste qui na rota 6	94
Figura 44: Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento para o setor	16
da rota 1	98
Figura 45: Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento para o setor	11
da rota 2	99
Figura 46: Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento para o setor 3	39
da rota 31	.00
Figura 47: Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento para o setor o	59
da rota 41	01
Figura 48: Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento para o setor s	59
da rota 51	02
Figura 49: Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento para o setor	
106 da rota 61	.03
Figura 50: Ajuste estatístico para o desvanecimento rápido, LCR e AFD - Rota 11	39
Figura 51: Ajuste estatístico para o desvanecimento rápido, LCR e AFD - Rota 21	44
Figura 52: Ajuste estatístico para o desvanecimento rápido, LCR e AFD - Rota 31	49
Figura 53: Ajuste estatístico para o desvanecimento rápido, LCR e AFD - Rota 41	54
Figura 54: Ajuste estatístico para o desvanecimento rápido, LCR e AFD - Rota 51	59
Figura 55: Ajuste estatístico para o desvanecimento rápido, LCR e AFD - Rota 61	64

## Lista de Tabelas

Tabela 1:Evolução das especificações do IEEE para redes Wireless MAN de 2001 a 200517
Tabela 2: Variação de Fase para o QPSK
Tabela 3: Faixas de frequência utilizadas na tecnologia WiMax
Tabela 4: Resumo dos resultados das rotas analisados
Tabela 5: Resumo dos resultados comparando cada distribuição Rota 1
Tabela 6: Resumo dos resultados comparando cada distribuição Rota 2
Tabela 7: Resumo dos resultados comparando cada distribuição Rota 3
Tabela 8: Resumo dos resultados comparando cada distribuição Rota 490
Tabela 9: Resumo dos resultados comparando cada distribuição Rota 5
Tabela 10: Resumo dos resultados comparando cada distribuição Rota 6
Tabela 11: Valores do teste qui-quadrado para cada distribuição em cada setor de Rota 195
Tabela 12: Valores do teste qui-quadrado para cada distribuição em cada setor de Rota 2166
Tabela 13: Valores do teste qui-quadrado para cada distribuição em cada setor de Rota 3169
Tabela 14: Valores do teste qui-quadrado para cada distribuição em cada setor de Rota 4171
Tabela 15: Valores do teste qui-quadrado para cada distribuição em cada setor de Rota 5173
Tabela 16: Valores do teste qui-quadrado para cada distribuição em cada setor de Rota 6176

# **CAPÍTULO 1**

### INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia empregada nos sistemas de comunicações, nas últimas décadas, possibilitou o fornecimento de serviços de comunicação com grandes volumes e altas taxas de transmissão. Neste cenário atual, é notório que os sistemas baseados em tecnologias de redes sem fio (*wireless*) apresentam grande potencialidade devido, principalmente, à facilidade e à rapidez de implantação destes tipos de redes e ao baixo custo, em comparação com as redes baseadas em cabos, acarretando em vantagens consideráveis para o desenvolvimento de redes de comunicações metropolitanas (WMANs – *Wireless Metropolitan Area Networks*).

As tecnologias *wireless* envolvidas tornar-se-ão de grande utilização nos próximos anos e uma das vertentes mais promissoras para a padronização e desenvolvimento de WMANs, é o padrão 802.16, do IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), também conhecido pelo acrônimo WiMax (*World Interoperability for Microwave Access*). Suas aplicações incluem, entre outras, a interconexão de redes locais sem fio metropolitanas (WLANs – *Wireless Loal Area Networks*) com a *Internet* e a implementação de redes de acesso, conhecidas como "última milha".

Alem disto, a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) realizou uma consulta pública entre agosto e outubro de 2009, que propôs mudanças na utilização da faixa de frequência de 2,5 GHz, com a gradativa liberação das faixas entre 2500 a 2570 MHz e 2620 a 2690 MHz para sua atribuição ao Serviço Móvel Pessoal (SMP). Já entre novembro de 2008 e janeiro de 2009 a Anatel realizou uma consulta pública visando mudanças na destinação da faixa de frequência de 3,5 GHz, culminando com a publicação da Resolução 537/2010 em

fevereiro de 2010, que determinou a atribuição da faixa de frequência de 3400 MHz a 3600 MHz adicionalmente, em caráter primário, à prestação do Serviço Móvel e do Serviço Móvel Pessoal (SMP). Além dessas, a faixa de 5 GHz está liberada para uso não licenciado.

#### 1.1 MOTIVAÇÃO

Já existem diversas aplicações utilizando o padrão WiMax em vários países do mundo. Além disso, é previsto que a implementação de redes deste tipo passe por uma fase de crescimento acelerado, em curto prazo. Esta expectativa de crescimento é confirmada pelos volumosos investimentos que vêm sendo realizados por mais de 100 empresas que atuam na área de comunicações, quer como fabricantes de equipamentos, quer como provedores de serviços.

O estudo do comportamento do canal rádio-móvel é essencial para um melhor dimensionamento de sistemas de comunicações sem fio, contribuindo para a escolha da técnica de modulação e codificação mais apropriada e para a decisão de projeto sobre a necessidade de utilizar equalização ou diversidade, entre outras. É ainda necessário, entretanto, um aprofundamento da análise deste comportamento em faixa estreita e sua influência, considerando os diverssos ambientes e faixas de frequências de interesse, para o correto planejamento de sistemas que trabalham no padrão WiMax. Para tal, são necessários exaustivos testes de campo para medições de sinal recebido, nos mais diversos ambientes. Com isso, será possível determinar os parâmetros e estatísticas de desvanecimento para melhor compreender o comportamento do canal rádio-móvel.

Por ser esta uma tecnologia promissora, já em uso e em fase de testes, com grande possibilidade de ser definida como padrão em licitações para o Serviço Móvel Pessoal no Brasil, e por este ser um trabalho que envolve medições em campo, na faixa de 3,5 GHz, os parâmetros e estatísticas determinadas a partir do processamento dos dados relativos a essas medidas, serão de grande valia para as operadoras. Isto porque elas saberão como tais parâmetros interferem no desempenho dos sistemas WiMax, podendo reavaliar seus projetos e otimizar suas aplicações, principalmente porque as mesmas não dispõem, atualmente, de medidas nos diversos ambientes em que pretendem implantar seus sistemas.

#### 1.2 OBJETIVOS

A proposta deste trabalho é estudar o comportamento faixa estreita do canal rádiomóvel na faixa de 3,5 GHz, alocada para a tecnologia WiMax. Desta forma, esta pesquisa visa determinar as distribuições estatísticas do desvanecimento lento e rápido, que caracterizam o sinal medido, através da análise da variabilidade temporal do sinal detectado por um receptor no ambiente sob estudo para a frequência estabelecida. Busca-se também determinar parâmetros como taxa de cruzamento de nível e duração média de *fading*. Para a realização deste trabalho, foi necessário o emprego de um sistema de transmissão/ recepção, na faixa de frequência de 3,5 GHz, que foi liberada pela ANATEL, para a realização das medições em campo.

Uma vez que cada ambiente influi diferentemente nesse sinal recebido, é necessária uma campanha significativa de medições em campo, a fim de possibilitar o levantamento das distribuições estatísticas para as funções densidade de probabilidade do desvanecimento lento e rápido, contribuindo de forma significativa para o conhecimento dos parâmetros do canal na implantação de sistemas WiMax, que servirão de consulta para futuros projetistas de sistemas WiMax que queiram garantir maior confiabilidade nos serviços oferecidos.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada como se segue. O Capítulo 2 apresenta as principais características dos sistemas WiMax. O capítulo 3 aborda o comportamento faixa estreita do canal rádio móvel. O Capítulo 4 apresenta o ambiente e o sistema de transmissão/ recepção, desenvolvido para a realização das medições deste trabalho. O Capítulo 5 descreve o processamento dos dados e a análise dos resultados encontrados. O Capítulo 6 descreve as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros. O Apêndice A exibe códigos de programas que foram desenvolvidos para o tratamento dos dados desta dissertação. O Apêndice B apresenta os resultados gáficos mais significativos para cada rota. Já O Apêndice C apresenta as tabelas de cada rota com os valores do teste utilizado para verificar as distribuições estatísticas de melhor ajuste para a variabilidade rápida do sinal em cada setor.

# **CAPÍTULO 2**

#### **SISTEMAS WIMAX**

WiMax é a sigla comercial para o padrão IEEE 802.16, definido para realizar o acesso com banda larga sem fio (BWA - Broadband Wireless Access). Este padrão 802.16 é também conhecido como a interface aérea do IEEE para rede metropolitana sem fios (Wireless MAN). Esta tecnologia está sendo especificada pelo grupo do IEEE que trata de acessos com banda larga para última milha em áreas metropolitanas.

A Figura 1 apresenta o posicionamento de cada um dos padrões de acesso wireless, mostrando o padrão IEEE do lado esquerdo e do lado direito, o padrão ETSI equivalente.

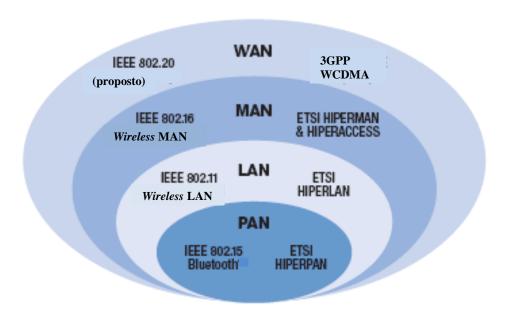


Figura 1: Padrões de acesso wireless **Fonte: Intel** 

O WiMax Fórum é uma organização sem fins lucrativos, formada por empresas fabricantes de equipamentos e de componentes, que tem por objetivo promover a utilização em larga escala de redes ponto multiponto, operando em frequências entre 2 GHz e 11 GHz, alavancando a padronização IEEE 802.16 e garantindo a compatibilidade e interoperabilidade dos equipamentos que adotarem este padrão.

Este Fórum pretende motivar um mercado de BWA mais competitivo e com interface aérea aberta e bem definida, através de um conjunto mínimo de especificações de desempenho entre os produtos dos diversos fabricantes, certificando os produtos que atendem a estas especificações.

As principais vantagens desta padronização da interface são:

- Para os operadores de rede, esta interoperabilidade entre equipamentos ocasiona a oportunidade de escolha entre vários fornecedores para o desenvolvimento de sua rede;
- Para os fabricantes de equipamentos significa menos tipos diferentes de produtos a desenvolver e a produzir.
- Para os fabricantes de componentes, significa uma escala de produção muito maior.
- Para o usuário final, significa acessos mais velozes e mais baratos.

Inicialmente, este Fórum esteve muito envolvido com *chips* e equipamentos. Atualmente tem apoiado mais as operadoras e outros *players* para ajudar na influência sobre as Agências Reguladoras em todo o mundo, além de auxiliar provedores de serviços a implantar o WiMax com aplicações de Multimídia.

#### 2.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

O padrão 802.16 original, que foi ratificado em dezembro de 2001, estava especificado em faixas de frequências situadas entre 10 GHz e 66 GHz considerando sempre aplicações fixas com linha de visada (LOS - *Line of Sight*).

A versão 802.16a, concluída em janeiro de 2003, especifica aplicações fixas em faixas de frequência entre 2 GHz e 11 GHz, atendendo também, condições sem linha de visada (NLOS - *Non Line of Sight*) e considera os aspectos de interoperabilidade.

A versão 802.16d, ratificada em junho de 2004, é uma evolução da 802.16a, que consome menos energia e define um esquema de sub-canalização que permite aos fabricantes

de *chips* utilizarem amplificadores de potência menores e mais baratos. Ela também dá suporte a diferentes técnicas de antenas incluindo as antenas MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*), e inclui a criptografia DES (*Data Encryption Standard*).

A versão 802.16e, abrange aplicações móveis em faixas de frequência entre 2 GHz e 6 GHz, também operando em condições sem linha de visada (NLOS). A **Tabela 1** apresenta os principais padrões do IEEE para redes *Wireless* MAN (WIMAX FORUM).

Tabela 1:Evolução das especificações do IEEE para redes Wireless MAN de 2001 a 2005

	802.16	802.16d	802.16e
Concluído	Dezembro de 2001	Junho de 2004	Dezembro de 2005
Espectro	10 - 66 GHz	2 - 11 GHz	2 - 6 GHz
Condições de Visada	LOS	NLOS	NLOS
Taxa de Transmissão	32 - 34 Mbps em canalização de 28 MHz	Até 100 Mbps em canalização de 20 MHz	Até 15 Mbps canalização de 5 MHz
Modulação	QPSK, 16 QAM e 64 QAM	OFDM 256 sub- portadoras BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM	Mesma do 802.16d, com número de sub- portadoras variável entre 128 e 2048, conforme a qualidade do sinal
Largura de Banda dos Canais	20, 25 e 28 MHz	Entre 1,75 e 20 MHz	Entre 1,75 e 20 MHz
Mobilidade	Fixo	Fixo (nomádico)	Móvel (Até 120 km/h)
Alcance Típico*		Até 15 km	Até 10 km

<sup>\*</sup>Alcance teórico: em aplicações em condições reais normalmente não é atingido.

#### WiMax Fixo e Móvel

Com relação à mobilidade, o WiMax pode ser classificado em nomádico (fixo) ou móvel. A principal diferença entre os dois é que o móvel pode manter a conexão, mesmo em

velocidades de até 150 Km/h, sendo padronizado como 802.16e, enquanto o nomádico é o 802.16d e, mesmo sendo fixo, permite mobilidade em baixas velocidades.

O padrão 802.16d não é compatível com o 802.16e. A razão principal desta incompatibilidade é que o 802.16e usa S-OFDMA (*Scalable*-OFDMA) tanto no *downlink* como *uplink*. No S-OFDMA, o número de subportadoras OFDM aumenta, de 128 subportadoras até 2048 subportadoras, baseando-se na qualidade do sinal de RF para um usuário, em particular nas solicitações do usuário e na largura de canal de rádio usada, assim o S-OFDMA permite a múltiplos usuários transmitir dados ao mesmo tempo, com resultados mais eficientes. Não existe, entretanto, uma opção de 256 subportadoras, inviabilizando asssim a compatibilidade, já que o 802.16d é rigorosamente estabelecido em 256 subportadoras. Não está claro se a exclusão de uma opção de 256 subportadoras foi feita por razões políticas ou técnicas, mas o fato é que a falta desta opção impedirá que o 802.16e seja compatível com o 802.16d. Além disso, a camada de acesso ao meio do 802.16e introduz novas informações que são essenciais para suportar a mobilidade, como *handoffs* de célula por exemplo. Mesmo se existisse uma opção de 256 subportadoras com o 802.16e, as diferenças entre as duas camadas MAC impediriam que as versões fixa e móvel trabalhassem juntas.

#### Modulação

É utilizada a técnica OFDM, que apresenta uma série de vantagens, e já está incorporada, atualmente, em vários serviços de nova geração, além de ser fundamental para TV digital.

O WiMax apresenta três modos de operação distintos, que são: *single carrier*, OFDM 256 e OFDM 2K. O modo mais comumente utilizado é o OFDM 256.

#### **Throughput**

Com um esquema de modulação robusto, o WiMax entrega elevadas taxas de *throughput*. A velocidade de transmissão dos dados varia de acordo com as condições de propagação, com padrões de desempenho equivalentes aos meios tradicionais tais como DSL, *cable modem* ou E1/T1, podendo fornecer enlace de dados em múltiplos ou frações de E1.

A taxa de transmissão, ofertada a cada usuário WiMax, tem uma dependência direta da distância em relação ao transmissor e das condições de visibilidade, conforme será explicado no item seguinte.

#### Modulação Adaptativa

Uma modulação dinâmica adaptativa permite que uma estação rádio base negocie o throughput e o alcance do sinal para fazer a compensação entre as diferentes taxas de transmissão e a qualidade do enlace, ajustando o método de modulação para obter a melhor eficiência na transmissão de dados. Quanto mais distante ou mais obstruído estiver o usuário, será utilizada uma codificação menos robusta, como o QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), que não tem a característica de transportar muitos bits/Hz, sendo empregada em pontos mais distantes das estações base, como pode ser visto na Figura 2. Usuários próximos ou com visada direta poderão utilizar codificação 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation), atingindo eficiência espectral de até 2,2 bits/Hz (IEEE 802.16, 2004). Por exemplo, se a estação rádio base não pode estabelecer um enlace robusto com um assinante localizado a uma grande distância, utilizando o esquema de modulação de maior ordem, o 64 QAM, a modulação é reduzida para 16 QAM ou QPSK, o que reduz o throughput, porém aumenta o alcance do sinal.



Figura 2: Modulação Adaptativa empregada na tecnologia WiMax Fonte: WIMAX FORUM.

Resumindo: na tecnologia WiMax, além da multiplexação OFDM, é utilizada a modulação adaptativa. Nesse caso, a seleção da modulação a ser adotada na camada física (QAM-16, QAM-64, PSK) é feita dinamicamente, de acordo com a relação sinal-ruído do enlace, que é percebida no receptor. Essa técnica é acertada entre as estações base e o cliente e

confere maior flexibilidade e robustez ao sistema. Com isso, a estação base (BS – *Base Station*) pode reduzir a ordem de modulação para um usuário distante. Assim, ela reduz o *throughput*, mas aumenta o alcance do sinal.

Todo esse ajuste adaptativo é feito através da definição do perfil de transmissão, em função do estado do enlace entre a BS e a estação do cliente (SS - Serving Station). O processo é chamado de ranging. Primeiramente, a BS envia um broadcast com os perfis de uplink e downlink que ela considera mais adequado ao local, em função das características do relevo, tipos de equipamentos, condições atmosféricas, entre outros; no caso de freqüências acima de 8 GHz situações de chuva também devem ser consideradas. Durante o acesso inicial de uma SS, são enviados à BS informações de medida de potência e alcance do sinal, através de uma requisição de ranging. Após isso, a BS continua a monitorar o uplink recebido da SS. A BS informa à SS que ela deve seguir um determinado padrão de uplink. A seguir, a SS solicita um perfil de downlink enviando a sua sugestão à BS. A piora nas condições do enlace pode fazer com que a SS envie uma nova requisição, sugerindo um perfil mais robusto. Após ter sido normalizada a transmissão, a SS requisita um perfil mais eficiente. O monitoramento do downlink cabe à SS, porém o controle das mudanças de perfil é de responsabilidade da BS.

#### QPSK, BPSK, QAM-16 e QAM-64

Todas modulações empregadas contém informação digital e portadora analógica. Nesses esquemas, vários *bits* por símbolo podem ser transmitidos, aumentando ou diminuindo a taxa de *bits* para uma mesma banda.

A modulação do tipo PSK é a mais encontrada nos sistemas de rádio digital. Ela consiste na alteração discreta da fase de uma portadora senoidal, de acordo com o sinal modulante digital. São classificadas de acordo com o número de níveis do sinal modulante, dando origem ao BPSK (2 níveis) e ao QPSK (4 níveis). A Tabela 2 apresenta um exemplo da forma de representação da variação de fase e sua correspondência com o nível da informação que se quer transmitir.

Tabela 2: Variação de Fase para o QPSK

Símbolo	Ângulo de Fase
00	0°
01	90°
10	180°
11	270°

Para o sinal BPSK é usada a defasagem de 180°.

QAM é modulação de amplitude em quadratura. Ela combina a modulação ASK com a PSK, assim amplitude e fase variam de acordo com a informação que deve ser transmitida. Para o WiMax, são utilizados o QAM-16 (4 bits por símbolo) e o QAM-64 (6 bits por símbolo). As modulações PSK são um tipo de modulação QAM, onde a amplitude do sinal é constante.

#### Faixas de Frequência

As faixas de frequência podem ser divididas em licenciadas e não licenciadas. Faixas não licenciadas não precisam ser adquiridas, já que não sofrem regulamentação por parte das agências reguladoras. As faixas licenciadas são exclusivas de cada operadora e devem ser adquiridas através de licitação do órgão regulador. Todas as bandas utilizadas suportam modulação adaptativa BPSK, QPSK, 16QAM e 64QAM. O WiMax foi concebido para operar até 66 GHz, mas é utilizado até 11 GHz, na prática. (WiMAX Forum). Na Tabela 3 são apresentadas as principais características das faixas de frequência utilizadas no WiMax.

Tabela 3: Faixas de frequência utilizadas na tecnologia WiMax

Faixa de	Características
Frequência	
	Frequência licenciada. Por ser baixa é a de melhor alcance, exigindo uma menor
2,5 GHz	quantidade de estações rádio-base para cobrir uma determinada área.
	Frequência licenciada. Esta é a frequência disponível para o WiMax no Brasil,
3,5 GHz	utilizada pelas operadoras e prestadoras de serviço de telecomunicações.
	Frequência não-licenciada. Esta é a frequência livre disponível para o WiMax no
	Brasil, podendo ser utilizada por quaisquer prestadoras de serviço. Por ser não-
5,8 GHz	licenciada existe a possibilidade de interferências e congestionamento em áreas de
	grande densidade.
	Frequência licenciada. Não se tem informação de equipamentos de WiMax para
10,5 GHz	cobertura nesta frequência.

Resumidamente, poderíamos destacar como principais fatores a serem considerados na escolha da faixa de frequência:

- Quanto menor a frequência, maior a cobertura
- Faixas não licenciadas não precisam ser adquiridas, porém cada operadora deve conviver com possíveis adequações de rede por congestionamento de frequência
- Faixas licenciadas são exclusivas para cada operadora, porém devem ser adquiridas em licitações do órgão regulador (no Brasil, a ANATEL) e representam um custo a ser incluído no projeto.

#### Escalabilidade

Para acomodar o planejamento da célula com facilidade, quando estão disponíveis faixas licenciadas ou não licenciadas, tanto o 802.16a e como o 802.16d dão suporte a diversas larguras de banda de canal. Todas as faixas utilizadas suportam larguras de canal de 1,75; 3,5; 7,0; 10,0 ou 14,0 MHz. Por exemplo, se um operador tem disponível 20 MHz de espectro, ele pode dividi-lo em dois setores de 10 MHz ou quatro setores de 5 MHz cada.

O operador pode aumentar a quantidade de usuários mantendo um bom alcance do sinal e um bom *throughput*.

#### Uso de células e reuso de frequências (escolha de frequências)

O WiMax móvel suporta reuso de frequências para maximizar a eficiência espectral, porém, tal projeto de reuso deve evitar a interferência co-canal, o que traz diminuição da qualidade de conexão dos assinantes.

Com uma única frequência não é possível cobrir uma cidade. Devem ser consideradas pelo menos 2, 4 ou 6 pares, criando células com reuso de frequências, de forma a manter frequências iguais distantes uma das outras, evitando a interferência co-canal.

A Figura 3 exemplifica o reuso de frequência nas células.

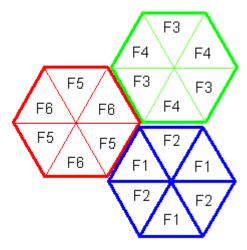


Figura 3: Uso de células e reuso de frequências

Devemos considerar o reuso de frequências uma necessidade, sendo o fator de 3 muito utilizado, pois representa a melhor relação entre eficiência e máxima taxa disponível entre setores.

#### Eficiência Espectral

O WiMax apresenta a eficiência espectral necessária para dar suporte a diferentes ambientes com centenas de usuários por canal, e com tráfego de sinais contínuos e em rajadas, mantendo um bom *throughput*, possibilitando ao operador o reuso do mesmo espectro em dois ou mais setores, através do isolamento entre as antenas da estação rádio base.

O padrão também dá suporte a vários mecanismos de Antena Inteligente (*Smart Antenna*), que são um dos mais importantes métodos de melhoria na eficiência espectral nas redes sem fio, podendo ser um grande diferenciador de desempenho.

#### Topologia

A topologia de uma rede WiMax é caracterizada por uma ligação ponto-multiponto e formada, basicamente, por 2 elementos: Estações Base (BS) e Estações do Cliente (SS). As estações base são conectadas à rede pública e servem às estações clientes. As estações clientes podem servir às sub-redes públicas ou privadas, domésticas ou corporativas. O usuário precisa de uma pequena antena receptora, da qual resulta na conexão que vai até o seu computador ou *notebook*, via placa de rede. Também pode estar localizada ao lado do PC, conectada ao *modem* externo, semelhante ao serviço fornecido pelos principais provedores de banda larga. Também é possível se criar a situação na qual uma antena no alto de um edifício distribui o sinal através do *backbone* do edifício, já cabeado.

Uma transmissão, utilizando a tecnologia WiMax, é bem parecida com a que é usada nos sistemas de telefonia celular, onde uma estação base central replica o sinal para várias outras estações base espalhadas e, estas, multiplicam o sinal para chegar aos receptores.

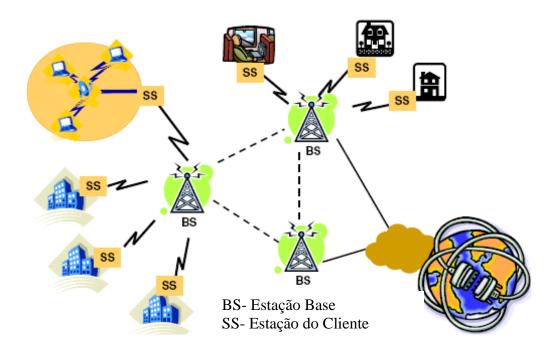


Figura 4: Topologia da Rede WiMax Fonte: Desenvolvida a partir de modelo do WIMAX FORUM.

Como alternativa a esta solução ponto-multiponto, mostrada na Figura 4, o padrão especifica a tecnologia *mesh*, na qual uma SS pode se conectar a uma ou mais SS's intermediárias até atingir a BS. Nesse caso, trata-se de uma rede *multi-hop*, que representa uma estratégia interessante para expandir a área de cobertura total da rede, sem a necessidade

de um aumento proporcional do número de BS's, o que representa uma economia significativa nos custos de implantação, já que as SS's geralmente têm custos menores que os das BS's.

O WiMax utiliza a topologia Ponto-Multiponto e, opcionalmente, em Malha (*Mesh*). O modo *mesh* é uma topologia alternativa para a implantação de comunicações em um ambiente NLOS no padrão 802.16a. Ele permite o desenvolvimento de WMAN's, com baixo custo, em bandas licenciadas e não licenciadas.

Esta alternativa *mesh*, mostrada na Figura 5, embora seja muito complexa como topologia e no controle de mensagens, é uma excelente alternativa para o dimensionamento de redes que podem ter varição de escala com o tempo, possibilitando que novas estações de clientes sejam incorporadas, simplificando o redimensinamento necessário para o crescimento da rede, permitindo que uma região que tenha locais com diferentes níveis de urbanização, ou sofra variações na densidade populacional, tenha uma rede de comunicações de baixo custo e robusta.

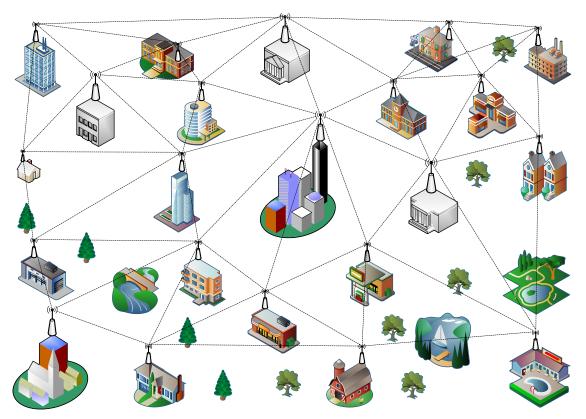


Figura 5: Modelo de uma topologia em malha (mesh)

Uma variedade de opções se tornou disponível para conectar a rede wireless à rede fixa do provedor que, por sua vez, conecta-se à Internet. Estas opções incluem redes de acesso, tais como as redes de fibra óptica, as linhas T-1/E-1, e o wireless, as soluções de PMP (ponto-multiponto) WiMax.

#### Cobertura

A utilização de determinados mecanismos descritos anteriormente, como a modulação adaptativa, a topologia *mesh*, ou a antena inteligente, permite a expansão de cobertura, além de aumentar a tolerância às reflexões de sinais, que podem causar desvanecimento por multipercurso.

#### Interoperabilidade

Suporta as "duplexações" TDD (*Time Division Duplexing*) e FDD (*Frequency Divison Duplexing*) para possibilitar a interoperabilidade com sistemas celulares e outros sistemas *wireless*. O FDD é o método legado (*legacy*) de "duplexação" que tem sido largamente utilizado na telefonia celular.

O WiMax pode transportar IPv4, IPv6, *Ethernet*, ATM ou outros, suportando múltiplos serviços, como voz e vídeo, simultaneamente.

#### Duplexação TDD e FDD

Suporta as duplexação por divisão de tempo (TDD), é usado o domínio do tempo para prover tanto o *uplink* quanto o *downlink*. Com o TDD, múltiplos usuários utilizam o mesmo canal diferindo, apenas, no momento, como mostra a Figura 6. O acesso de cada usuário é dividido em *timeslots*. Cada canal duplex tem um *timeslot* direto e um reverso, para realizar a comunicação bidirecional. Quanto menor a diferença de tempo entre o canal direto e o reverso do usuário, melhor é a qualidade do sistema. cUtilizando o TDD, reduz-se o custo do equipamento do assinante, já que o mesmo não precisa usar o dispositivo duplexador.



Figura 6: TDD: Diferença de tempo entre os canais

Na duplexação por divisão de frequência, utilizam-se duas bandas distintas de frequência para cada usuário, uma para *downlink* e outra para *uplink*, são utilizadas, como

mostra a Figura 7. A banda direta provê tráfego no sentido da estação base para a estação cliente, já a banda reversa provê no sentido da estação cliente para a estação base. Com essa duplexação, é preciso instalar um dispositivo duplexador tanto na estação do cliente como na estação base, de modo a permitir transmissão e recepção de rádio bidirecional simultânea. A separação entre cada canal é constante para qualquer sistema, independente do canal que esteja sendo usado.

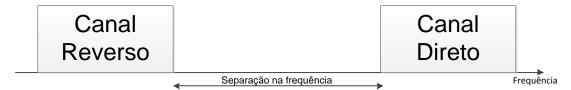


Figura 7: FDD: Separação entre as frequências dos canais

Concluindo, a tecnologia TDD é mais usada já que provê menor custo para a estação cliente e não necessita de banda de guarda como é o caso da FDD. Com isso há uma grande economia de banda. Além disso, a TDD é recomendada para o tráfego assimétrico e para o tráfego interativo, como é o caso da *internet*, já que um canal não fica ocioso enquanto o outro é usado como no caso da FDD.

No WiMax nomádico, foi padronizado o uso tanto do FDD como do TDD. Já no WiMax móvel só é utilizado o TDD.

#### Qualidade de Serviço

O sistema apresenta qualidade de serviço que permite a transmissão de VoIP e vídeo, que requerem redes de baixa latência, dando suporte a QoS que permite uma operação NLOS sem severa distorção do sinal por causa dos prédios, condições metereológicas e veículos.

A sua camada MAC provê níveis de serviço "Premium" para clientes corporativos, assim como um alto volume de serviços em um padrão de desempenho equivalente aos hoje oferecidos por meios como DSL, *Cable modem* ou E1/T1, tudo dentro da mesma estação rádio base.

Conexões rápidas, assimetria no *downlink* e *uplink*, e um mecanismo flexível de alocação de recursos, fazem com que o WiMax possa oferecer requisitos de QoS para vários serviços de transmissão de dados e aplicações. Os padrões de QoS são definidos na camada MAC e são providos por fluxos de serviço.

Um fluxo de serviço é um serviço de transporte da camada MAC, responsável pela transmissão unidirecional dos pacotes provenientes da estação do assinante (*uplink*) ou da

estação base (*downlink*). Um fluxo de serviço é caracterizado por um conjunto de parâmetros de QoS tais como latência, retardo e garantias de vazão. Com o propósito de padronizar a operação entre a SS e a BS, esses parâmetros incluem detalhes de como a SS solicita *minislots* para *uplink* e o comportamento esperado do escalonador de *uplink* da BS. Os fluxos de serviço são parcialmente identificados por Identificador do Fluxo de Serviço (SFID) e Identificador da Conexão (CID).

#### Segurança

Inclui características de privacidade e criptografia, permitindo transmissões seguras e com procedimentos de autenticação. Realiza a criptografia de dados utilizando DES (*data encryption standard*) em CBC (*cipher block chaining*) definida para dar suporte a AES (*Advanced Encryption Standard*).

O WiMax móvel suporta eficientes métodos de autenticação, gerenciamento flexível da chave de protocolo, encriptação de tráfego, gerenciamento e proteção de mensagens e protocolos de segurança para *handoff*.

#### 2.2 PRINCIPAIS APLICAÇÕES OPERACIONAIS

O WiMax facilita o desenvolvimento de uma série de aplicações de banda larga wireless, sendo as principais:

- Transmissão de voz, vídeo e de dados (com garantia de banda);
- Oferta de servi
  ço de VoIP;
- Acesso (*Internet e Wireless Local Loop*);
- *Bakhaul* (celular e *hotspot* de Wi-Fi);
- Aplicações Corporativas privadas (interligação entre as múltiplas localidades de uma Corporação, dentro de uma área metropolitana);
- Telefonia rural;
- Comunicação móvel;
- Projetos de inclusão digital;
- Segurança pública e vigilância.

O WiMax pode ser utilizado em redes privadas para fazer pontes entre as múltiplas localidades de uma corporação dentro de uma área metropolitana, evitando ou minimizando a

necessidade de circuitos de Operadoras de Telefonia ou de redes de fibras proprietárias, que geralmente são mais dispendiosas. Ele também pode possibilitar circuito redundante ao circuito principal. Um esquema, resumindo as suas principais aplicações é mostrado na Figura 8.

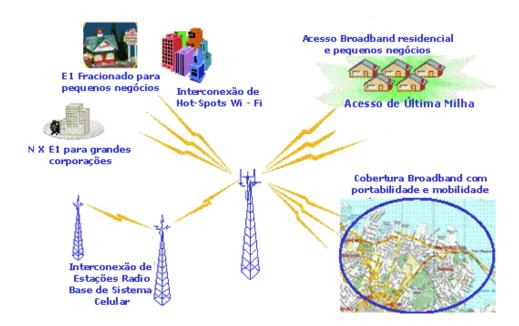


Figura 8: Esquema apresentando as principais aplicações com WiMax Fonte: WiMax Forum.

#### 2.3 TÉCNICA OFDM

Esta técnica de *spread spectrum* tem se mostrado eficaz para combater os efeitos nocivos do canal de comunicação sem fio, como a interferência multiusuário e o desvanecimento seletivo em frequência devido à propagação multipercursos e à mobilidade dos usuários. Este último efeito tem, como consequência, a interferência intersimbólica dos dados recebidos que, portanto, é combatida de maneira eficiente pela OFDM (Multiplexação por Divisão de Frequência Ortogonal).

#### Principais características:

- Sobreposição espectral de subportadoras, sem uso de banda de guarda;
- Transmissão paralela de dados em diversas subportadoras com modulação QAM ou PSK;
- Cada subportadora transporta parte da informação total através de uma sequência de símbolos modulados;

- Redução na taxa de transmissão por subportadora, com diminuição da sensibilidade à seletividade em frequência;
- O espectro QAM é uma função sinc(fT), com cruzamentos de zeros em pontos múltiplos de 1/T e no espectro OFDM cada subportadora é selecionada nos pontos de amplitude zero do espectro das demais;
- Separação das subportadoras sobrepostas através de um filtro casado (correlator);
- Recuperação da informação conduzida por cada subportadora;
- Exigência de subportadoras centradas nas frequências dos subcanais e sincronização do relógio;
- Sistema um pouco mais complexo e com maior custo para se utilizar um número elevado de portadoras, porém com economia de banda significativa (aproximadamente 50% em relação à FDM), por não utilizar banda de guarda.

No processo de modulação por OFDM, diversas portadoras em frequências diferentes são utilizadas para modular o sinal digital, sendo que cada portadora transporta, apenas, alguns *bits* do sinal original, após passar pelos processos de intercalação, embaralhamento e incluir códigos de correção de erro. Estas portadoras são ortogonais entre si, para evitar que haja interferência entre elas. Isto significa que o espaçamento entre as portadoras é igual ao inverso da duração de um símbolo. Desta forma, partes de uma mesma informação são transmitidos por portadoras distantes entre si tanto no tempo como na frequência. (ANDREWS, et al., 2007). A Figura 9 mostra como as portadoras são separadas na frequência.

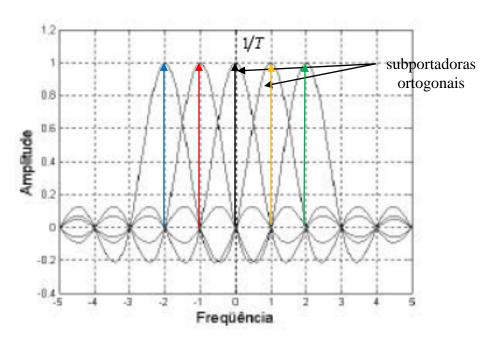


Figura 9: Modulação OFDM na freqüência.

# CAPÍTULO 3

### COMPORTAMENTO FAIXA ESTREITA DO CANAL RÁDIO MÓVEL

Para um bom dimensionamento dos sistemas móveis, é necessário fazer uma previsão dos níveis de sinal recebido, que implica em estimar o nível médio do sinal a certa distância do transmissor, e a variabilidade em torno da média. Para isto, é necessário desenvolver modelos que sejam confiáveis e eficazes para prever as características do canal e os efeitos da propagação sobre o sinal recebido. Embora, normalmente, estes modelos físicos sejam simplificados, a fim de serem aplicados a problemas mais gerais, eles aproximam bem a forma real de propagação dos sinais.

Em geral, os modelos para canais de comunicação rádio móvel podem ser divididos em (HAYKIN, et al., 2008):

1. Modelos determinísticos: que se baseiam no modelo físico exato do meio de propagação. O uso da teoria eletromagnética confere, a estes modelos, grande vantagem em termos de confiabilidade dos valores, podendo ser aplicados, sem maiores restrições, aos mais variados tipos de ambientes. Exigem, porém, uma descrição geométrica detalhada do ambiente e o conhecimento de todas as propriedades eletromagnéticas, além dos demais fatores físicos que influenciam a propagação no meio. Devido a isto apresentam maior complexidade e exigência de tempo e capacidade de processamento computacional, de acordo com a precisão desejada.

2. Modelos estatísticos: que apresentam uma forma de abordagem empírica, já que são desenvolvidos a partir de dados derivados de campanhas de medições de sinal, para uma enorme variedade de ambientes. Normalmente apresentam relativa facilidade, além de rapidez de processamento computacional para os modelos dados por expressões, porém, não apresentam resultados tão exatos quanto os modelos determinísticos, tendo maior precisão para uma classe específica de parâmetros e meios com características semelhantes às regiões onde foram realizadas as medições para obtenção do modelo.

Os efeitos da propagação e outras perdas do sinal geralmente são agrupados e classificados como propriedades do canal. Grande parte destes fenômenos está associada à existência de diversos percursos, entre o transmissor e o receptor, e podem ser explicados a partir da análise do perfil de relevo do terreno, do grau de urbanização da região, além da existência de outros obstáculos no ambiente. Considera, também, fenômenos atmosféricos e frequência de operação, entre outras características do sistema, e a mobilidade relativa entre transmissor e receptor.

A caracterização do canal deve considerar os mecanismos de propagação, que determinam a atenuação de propagação, possibilitando o cálculo do valor médio do sinal a certa distância do transmissor; além dos efeitos de propagação, que estão relacionados às variações aleatórias do nível de sinal em relação à média. A seguir, serão apresentados estes conceitos, além de outras propriedades fundamentais de sistemas móveis, permitindo uma análise matemática do comportamento de canais rádio móveis.

### 3.1 MODOS BÁSICOS DE PROPAGAÇÃO

Ao considerar um modelo para sistemas móveis, deve-se analisar a atuação dos principais mecanismos de propagação, que são listados a seguir (HAYKIN, et al., 2008):

- 1. Visibilidade: o percurso de propagação entre o transmissor e o receptor está desimpedido, livre de obstáculos; ou com obstrução, total ou parcial, do feixe de sinal por obstáculos tais como morros, construções e vegetação, conduzindo à atenuação do sinal. Considera-se que o enlace rádio está com linha de visada direta (LOS) quando o raio direto não é bloqueado, no caso contrário é dito que está sem linha de visada direta (NLOS).
- 2. **Reflexão:** ocorre quando a onda eletromagnética atinge a fronteira de obstáculos com dimensões bem maiores que seu comprimento de onda. Esse fenômeno

ocorre, por exemplo, na superfície da terra, em elevações naturais do terreno, em construções e em veículos. Em obstáculos com fronteiras razoavelmente planas, como oceanos, lagoas e planícies, as ondas podem ser refletidas com oposição de fase em relação ao sinal direto, causando grande queda no nível do sinal recebido. Normalmente denomina-se a reflexão especular, que ocorre em superfícies planas, de reflexão apenas; enquanto a reflexão difusa, que ocorre em superfícies irregulares e outros obstáculos de dimensões relativamente pequenas, é denominada espalhamento.

3. **Difração:** ocorre quando a onda eletromagnética contorna obstáculos tais como construções ou elevações naturais do terreno, ao passar ao redor de seus topos ou cantos, ou então quando ela passa através de objetos contendo aberturas com dimensões relativamente pequenas considerando seu comprimento de onda, tais como fendas, folhas de árvores e outras vegetações. Isto se deve ao princípio de Huygens, através do qual a propagação ocorre como se cada ponto da frente de onda gerasse uma nova onda. Nesse caso, ao se deparar com um obstáculo, as fontes pontuais da frente de onda nas bordas, quinas ou orifícios deste obstáculo continuam irradiando, fazendo com que a região de sombra atrás do obstáculo também seja iluminada com o desvio parcial do feixe.

Normalmente, o sinal recebido é uma combinação de vários destes modos de propagação, ou seja, o sinal transmitido pode ser recebido através de muitos percursos. Quando esses sinais chegam ao receptor, com diferentes intensidade e fases também diversas, podem apresentar interferência construtiva ou destrutiva entre si. Este fenômeno é chamado de multipercurso ou multicaminho. Caso haja um movimento relativo entre o transmissor e o receptor, os canais de propagação apresentarão variação temporal gerando desvanecimento do sinal, ou seja, flutuações do sinal em torno do seu valor médio. Uma vantagem dos modelos estatísticos é o fato deles conseguirem descrever de modo sucinto as situações complicadas associadas aos efeitos de propagação. Estes efeitos de propagação são descritos na seção seguinte.

### 3.2 EFEITOS DE PROPAGAÇÃO

Os sistemas de comunicações móveis são mais utilizados, geralmente, em regiões que apresentam concentração de pessoas e edificações. Além disto, normalmente a antena do equipamento móvel está mais baixa que as construções, por exemplo, do seu entorno. Deste

modo, a maior parte do sinal chega ao receptor por espalhamento das ondas eletromagnéticas nas superfícies ou por difração nas bordas e topos dos obstáculos de maiores dimensões. Estes percursos de propagação múltiplos apresentam efeitos de propagação que podem ser classificados da seguinte forma (HAYKIN, et al., 2008):

- 1. Desvanecimento lento (ou em grande escala): refere-se a variações que ocorrem na média local do sinal devido ao sombreamento ocasionado por elevações naturais do terreno, construções, ou outros obstáculos de grandes dimensões no percurso entre o transmissor e o receptor. Como a maior parte da reflexão e difração ocorre em obstáculos que estão distantes do terminal móvel, o movimento desta, relativamente a estes obstáculos distantes, é pequeno, consequentemente seus efeitos na variabilidade do sinal são sentidos muito lentamente.
- 2. Desvanecimento rápido (ou em pequena escala): refere-se a variações da amplitude do sinal sobre o nível médio num curto espaço de tempo, equivalente ao deslocamento do terminal móvel por uma distância relativa a meio comprimento de onda. Essas variações em pequena escala são causadas pelo recebimento do sinal através de múltiplos percursos, que chegam ao terminal móvel com alterações diversas de intensidade e fase devido ao sinal transmitido sofrer reflexão, difração e espalhamento em construções, veículos e outros espalhadores, presentes no percurso transmissor-receptor. Esse fenômeno, também denominado de desvanecimento de multipercurso, pode causar um efeito fortemente destrutivo sobre o sinal total recebido, com o movimento do terminal, e a consequente mudança na configuração espacial de multipercursos recebidos.
- 3. Atenuação com a distância (ou perda de percurso): refere-se à redução da intensidade do sinal em função do aumento da distância entre o transmissor e o receptor. Em distâncias maiores, é mais provável que o sinal recebido em cada percurso sofra um maior número de reflexões ou difrações múltiplas, ou uma combinação de ambas, gerando uma maior atenuação. Esta perda determina a média local do sinal recebido, que pode ser obtida através de modelos de predição de cobertura teóricos ou empíricos. Em grandes áreas, esta perda é expressa, de forma geral, por:

$$\overline{P_r}(d) = \overline{P_r}(d_0) - 10n \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$
(3.1)

onde n representa o expoente de queda com a distância.  $\overline{P_r}(d)$  é a potência média, em dB, recebida a uma distância d, qualquer, da antena transmissora e  $\overline{P_r}(d_0)$  é a potência média, também em dB, recebida a uma distância de referência  $d_0$ , distância essa igual ou superior à distância de Fraunhoffer, ou seja, fora da região de campo próximo da antena transmissora. As barras nesta equação indicam a média considerando todos os valores possíveis de perda no percurso para um valor específico de d, distância de separação entre a antena receptora e a transmissora. Observa-se, portanto, que a potência recebida em cada ponto varia linearmente com a distância em escala logarítmica, com uma inclinação igual a  $10 n \, dB$  por década. O valor de n depende das características específicas de cada ambiente de propagação. No espaço livre, por exemplo, n é igual a 2, caso existam obstruções severas n terá um valor maior, como será visto no capítulo 5, para as rotas sondadas em Icaraí. (RAPPAPORT, 2000).

Um ambiente de propagação pode ser analisado através de uma combinação destes efeitos, levando ao que se chama de análise faixa-estreita do canal. Considerando que os desvanecimentos podem ser caracterizados como variações aleatórias do nível de sinal, em relação à média, causadas pelo movimento relativo do terminal móvel, deve-se buscar caracterizar os canais rádio móveis estatisticamente. Esta modelagem estatística pode ser feita através de distribuições que descrevam o comportamento do sinal recebido, permitindo o cálculo do desempenho do sistema para realizar seu correto dimensionamento. No item 3.3 serão apresentadas as distribuições estatísticas que são utilizadas com maior frequência para representar a variabilidade do sinal.

#### 3.3 DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS

#### 3.3.1 Distribuição Rayleigh

Como visto anteriormente, o sinal recebido por uma estação móvel, geralmente, é uma soma de sinais, que passam por meios de propagação diferentes no percurso entre o transmissor e receptor, e não simplesmente um sinal recebido por visada direta. Desta forma, chegam ao receptor sinais com atenuações e fases diferentes que se combinam formando o

sinal resultante recebido. Considerando que as fases dos multipercursos apresentem uma distribuição uniforme entre 0 e  $2\pi$  e que as amplitudes e as fases sejam estatisticamente independentes uma das outras, os sinais poderão se combinar de forma construtiva ou destrutiva, ou seja, em um determinado momento, as componentes podem estar em fase, produzindo uma resultante pela adição de suas intensidades, e em outro instante podem estar em oposição de fase, produzindo uma resultante pela subtração de suas intensidades. A distribuição Rayleigh normalmente descreve este comportamento para o caso em que existe um número suficientemente grande de componentes de multipercursos com diferentes fases e estas apresentam potências próximas, ou seja, não há nenhuma componente dominante. Neste caso, a envoltória do sinal recebido, em V/m, obedece a uma distribuição Rayleigh, com função densidade de probabilidade obtida conforme procedimento a seguir (YACOUB, 1993): Considerando um sinal portador s, de freqüência  $\omega_0$ , e com uma amplitude  $\alpha$ , escrita na forma exponencial:

$$s = a \exp(j\omega_0 t) \tag{3.2}$$

sejam  $a_i$  e  $\theta_i$  a amplitude e a fase da i-ésima onda espalhada, respectivamente. O sinal resultante  $S_r$  no móvel é a soma de n ondas espalhadas:

$$S_r = \sum_{i=1}^n a_i \exp[j(\omega_0 t + \theta_i)]$$
(3.3)

Equivalentemente,

$$S_r = r \exp[j(\omega_0 t + \theta)] \tag{3.4}$$

onde:

$$r\exp(j\theta) = \sum_{i=1}^{n} a_i \exp(j\theta_i)$$
(3.5)

onde r representa a envoltória do sinal recebido na forma polar:

$$r\exp(j\theta) = \sum_{i=1}^{n} a_i \cos \theta_i + j \sum_{i=1}^{n} a_i \sin \theta_i \stackrel{\triangle}{=} x + jy$$
(3.6)

então:

$$x = \sum_{i=1}^{n} a_i \cos \theta_i \quad \text{e}, \quad y = \sum_{i=1}^{n} a_i \sin \theta_i$$
 (3.7)

Onde:

$$r^2 = x^2 + y^2 (3.8)$$

$$x = r\cos\theta\tag{3.9}$$

$$y = r\sin\theta \tag{3.10}$$

Considerando que:

- (1) *n* é usualmente muito grande;
- (2) as amplitudes individuais  $a_i$  são aleatórias e
- (3) a fase  $\theta_i$  apresenta uma distribuição uniforme, pode ser assumido, usando o teorema de Limite Central, que x e y são ambas variáveis gaussianas, com média igual a zero e variâncias  $\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma^2$ . Portanto, suas distribuições são:

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)$$
(3.11)

onde z = x ou z = y, como requerido.

Sejam x e y, além de variáveis aleatórias gaussianas de mesmo desvio padrão, também independentes. Então, a distribuição de probabilidade conjunta, p(x, y), é:

$$p(x, y) = p(x)p(y) = \frac{1}{2\pi\sigma_r^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$
 (3.12)

A distribuição  $p(r,\theta)$  pode ser escrita como função de p(x,y) a seguir:

$$p(r,\theta) = |J|p(x,y) \tag{3.13}$$

Onde:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} \frac{\partial x}{\partial r} \frac{\partial x}{\partial \theta} \\ \frac{\partial y}{\partial r} \frac{\partial y}{\partial \theta} \end{vmatrix}$$
(3.14)

é o Jacobiano da transformação das variáveis x, y em r,  $\theta$ . Usando as equações (3.9) e (3.10), obtém-se J = r. Então, substituindo (3.3 k) e J = r em (3.12), obtém-se:

$$p(r,\theta) = \frac{r}{2\pi\sigma_r^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)$$
 (3.15)

A função densidade de probabilidade (fdp) da envoltória, p(r), é obtida pela  $p(r,\theta)$ , na faixa de variação de  $\theta$ :

$$p(r) = \int_{0}^{2\pi} p(r,\theta)d\theta$$
 (3.16)

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & r \ge 0\\ 0 & outros \end{cases}$$
(3.17)

Sendo r é a envoltória do sinal e  $\sigma^2$  é a variância das componentes em fase e em quadratura, que compõem o sinal r;  $\sigma^2$  também pode ser interpretado como a média temporal da potência do sinal antes da detecção da envoltória; já  $\sigma$  pode ser entendido como o valor rms da tensão do sinal gaussiano complexo recebido, antes da detecção da envoltória, (RAPPAPORT, 2000); p(r) é uma FDP conhecida por Rayleigh, sendo composta por duas gaussianas em quadratura, por isso conhecida como gaussiana complexa.

A probabilidade da envoltória do sinal recebido não exceder um determinado valor R é dada pela função de distribuição cumulativa, de acordo com a seguinte expressão:

$$P(R) = P(r \le R) = \int_{0}^{R} p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^{2}}{2\sigma^{2}}\right)$$
(3.18)

O valor médio  $r_{mean}$ , a variância  $\sigma_r^2$ , e o valor mediano  $r_{median}$  da distribuição de Rayleigh são calculados, respectivamente, por (PARSONS, 2000; YACOUB, 1993):

$$r_{\text{mean}} = 1,2533 \,\sigma \tag{3.19}$$

$$\sigma_r^2 = 0.4292 \ \sigma^2 \tag{3.20}$$

$$r_{\text{median}} = 1{,}177 \sigma \tag{3.21}$$

O valor eficaz da envoltória do sinal,  $r_{rms}$ , é dado pela raiz quadrada da média quadrática do sinal, ou  $\sqrt{2}\sigma$ , sendo  $\sigma$  o desvio padrão do sinal gaussiano complexo recebido antes da detecção da envoltória.

Já que em um ambiente de propagação Rayleigh o sinal recebido é composto por ondas oriundas de vários modos de propagação, mas com amplitudes equivalentes, não existe uma onda com energia muito superior às outras ondas chegando à recepção. Isto é o que ocorre, por exemplo, em uma situação na qual não exista linha de visada (LOS) direta entre transmissão e recepção. Assim, o desvanecimento Rayleigh normalmente se ajusta aos experimentos de sistemas móveis onde não existe um raio direto entre transmissor e receptor, sendo mais simples de se trabalhar já que é função apenas de um parâmetro:  $\sigma_r^2$ .

### 3.3.2 Distribuição Rice

Em um ambiente de propagação com múltiplos percursos em que a componente em visada direta apresente intensidade muito superior às componentes de multipercurso, ou seja, quando o percurso direto é dominante, a distribuição de Rayleigh não mais descreve adequadamente a variação, em pequena escala, da envoltória do sinal recebido, neste caso a distribuição de Rice é mais adequada, sendo a função densidade de probabilidade dada por (PARSONS, 2000):

$$p(r) = \frac{r}{\sigma_r^2} \exp\left(-\frac{r^2 + a^2}{2\sigma_r^2}\right) I_0\left(\frac{ar}{\sigma_r^2}\right)$$
(3.22)

sendo r a envoltória do sinal,  $a^2/2$  a potência da onda recebida na componente dominante,  $\sigma_r^2$  a variância das componentes do sinal r e  $I_0$  é a função de Bessel modificada, de ordem zero dada por:

$$I_0(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp(x\cos\theta) d\theta$$
 (3.23)

Tal fdp é obtida de forma semelhante àquela de Rayleigh, (YACOUB, 1993), apenas com a componente x, em fase, acrescentada de uma constante "a" relativa à amplitude do raio principal (direto). Pode-se observar da equação da FDP Rice que se o parâmetro "a" se anular, a distribuição Rice se torna uma distribuição Rayleigh. Foi definido para a distribuição Rice o fator K, que relaciona a potência da componente dominante com a potência das componentes de multipercurso, sendo calculado por:

$$K = \frac{a^2}{2\sigma_r^2} \tag{3.24}$$

Analisando-se o fator K, a distribuição de Rice tende para Rayleigh quando K apresenta pequenos valores, o que é esperado, pois nesse caso a contribuição da componente mais forte não é significativa, havendo apenas multipercursos sem componente dominante, sendo mais adequada a distribuição de Rayleigh. (RAPPAPORT, 2000). Já quando o fator K assume valores muito elevados a distribuição de Rice tende para uma distribuição Gaussiana, pois neste caso há um forte predomínio da componente direta (ou de alguma outra componente muito superior às outras), de modo que a influência do multipercurso é considerada desprezível. Assim, o sinal não apresenta desvanecimento rápido significativo.

### 3.3.3 Distribuição M-Nakagami

A distribuição m-Nakagami, assim como a Rice, pode ser usada para caracterizar a variabilidade do sinal em áreas suficientemente pequenas, de forma que a média e a variabilidade da envoltória do sinal sejam constantes. Sua modelagem, contudo, é mais ampla, e pode representar desvanecimentos mais severos, como os observados por Nakagami em uma série de medidas feitas em *High Frequency* (HF) (NAKAGAMI, 1960). A função densidade de probabilidade desta distribuição, para uma envoltória r, é dada por:

$$p(r) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m r^{2m-1} e^{-mr^2/\Omega}$$
(3.25)

em que,  $\Omega$  é definido como:

$$\Omega = E(r^2) \tag{3.26}$$

 $\Gamma(.)$  é a função Gamma, definida como:

$$\Gamma(m) = \int_{0}^{\infty} x^{m-1} e^{-x} dx \tag{3.27}$$

e o parâmetro m é definido como a razão dos momentos, chamado fator de desvanecimento (fading), expresso por:

$$m = \frac{\Omega^2}{E[(r^2 - \Omega)^2]}$$
 ,  $m \ge \frac{1}{2}$  (3.28)

ou seja, o inverso da variância normalizada de  $r^2$ . Em contraste com a distribuição de Rayleigh, à qual possui um único parâmetro que pode ser usado para ajustar a estatística ao desvanecimento do canal, a distribuição de Nakagami-m possui dois parâmetros: m e  $\Omega$ . Como consequência, essa distribuição permite maior flexibilidade e precisão na modelagem do canal, mas que nem sempre compensa ser usada, já que quanto mais parâmetros são empregados, mais trabalho e tempo são necessários. (YACOUB, et al., 1999).

É possível relacionar a distribuição de m-Nakagami com outras distribuições conhecidas, como, por exemplo, a distribuição Rice. Dessa forma, os parâmetros k e  $\sigma$  de Rice podem ser associados com os parâmetros m e  $\Omega$  de Nakagami através da seguinte fórmula, válida apenas para m>1:

$$m = \frac{(1+k)^2}{2K+1} \tag{3.29}$$

$$\sigma^2 = \frac{\Omega(1 - \sqrt{1 - m^{-1}})}{2} \tag{3.30}$$

É importante ressaltar que as densidades de Rice e m-Nakagami, que possuem estes parâmetros correspondentes não coincidem, mas se aproximam. A única exceção ocorre quando m = 1 ou k = 0, onde ambas as distribuição m-Nakagami convergem para a distribuição Rayleigh. Para valores muito grandes de m a função se aproxima de uma distribuição gaussiana.

### 3.3.4 Distribuição Lognormal

O modelo na equação 3.1 não considera o fato de que o ambiente nas proximidades pode ser muito diferente em dois locais distintos, mas que têm a mesma separação entre a antena receptora e a transmissora, T-R. Isso leva a sinais medidos que são muito diferentes do

valor médio previsto pela equação 3.1. As medições têm mostrado que, para qualquer valor da distância T-R, a potência recebida  $P_r(d)$ , em dB, para um dado valor de d, em larga escala é aleatória e distribuída log-normalmente (normal em dB) em torno do valor médio dependente da distância. (RAPPAPORT, 2000), ou seja:

$$P_r(d)[dBm] = \bar{P}_r(d)[dBm] + X_{\sigma} \tag{3.31}$$

Assim, pela pela equação 3.1, tem-se:

$$P_r(d)[dBm] = \overline{P}_r(d_0)[dBm] - 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\sigma}$$
 (3.32)

Assim, considerarndo PL(d) como sendo a perda total a uma determinada distância d, tem-se:

$$P_r(d)[dBm] = P_t[dBm] - PL(d)[dB]$$
(3.33)

então:

$$PL(d)[dB] = \overline{PL}(d) + X_{\sigma} \tag{3.34}$$

e

$$PL(d)[dB] = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\sigma}$$
 (3.35)

Uma onda de rádio quando atinge a estação móvel, terá sofrido refrações e reflexões de diferentes obstruções como construções, túneis, árvores, montanhas. Cada obstrução é responsável por uma parcela da atenuação do sinal. Como a diferença em decibéis entre o sinal recebido ( $E_m$ ) e o sinal no espaço livre ( $E_0$ ),  $20log(Em/E_0)$ , tem uma distribuição lognormal, o sinal recebido r, quando medido em decibéis, tem uma função densidade normal. (YACOUB, 1993). Assim  $X_{\sigma}$  é uma variável aleatória com distribuição gaussiana de média zero ( em dB) com desvio padrão  $\sigma$  (também em dB).

A distribuição lognormal descreve os efeitos aleatórios do sombreamento, que ocorre em um grande número de locais medidos que possuem a mesma separação T-R, mas com diferentes níveis de ruído no caminho de propagação. Esse fenômeno é conhecido como sombreamento lognormal. Esta distribuição é dada pela equação (HINES, et al., 2006):

$$p(g) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{dB}}} \exp\left[-\frac{(g - m_{dB})^2}{2\sigma_{dB}^2}\right]$$
 (3.36)

onde  $m_{dB}$  e  $\sigma_{dB}^2$  são, respectivamente, a média e a variância de g (que representa a média movente do sinal em dB).

A função de distribuição de probabilidade ou distribuição cumulativa, que indica a probabilidade do nível do sinal recebido ser menor que um determinado valor, é dada por:

$$P(G_0) = prob(g \le G_0) = \int_{-\infty}^{G_0} p(g)dg$$
(3.37)

Utilizando a transformação  $v = 10^{\frac{g}{10}}$ , chega-se que a equação da distribuição, para valores de sinal dados em escala convencional, terá a seguinte forma (YACOUB, 1993):

$$p(\nu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\log}\nu} \exp\left[-\frac{\left(\ln(\nu) - m_{\log}\right)^2}{2\sigma_{\log}^2}\right]$$
(3.38)

011

$$p(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\log}v} \exp\left[-\frac{\ln^2\left(\frac{v}{m_v}\right)}{2\sigma_{\log}^2}\right]$$
(3.39)

onde  $m_{\log}$  é a média logarítmica e  $\sigma_{\log}$  é o desvio padrão logarítmico, dados por:

$$m_{\log} = \int_0^\infty \ln(\nu) p(\nu) d\nu \tag{3.40}$$

$$\sigma_{\log} = \sqrt{\int_0^\infty \ln^2(\nu)p(\nu)d\nu - \left[\int_0^\infty \ln(\nu)p(\nu)d\nu\right]^2}$$
(3.41)

Nota-se que o domínio da log-normal é de 0 a  $\infty$ , ao contrário da gaussiana, que é de  $-\infty$  a  $\infty$ . Quanto à média e ao desvio padrão, em dB, relacionam-se com a média e o desvio padrão logarítmico através de:

$$m_{dB} = m_{\log} \frac{10}{\ln(10)} \tag{3.42}$$

$$\sigma_{dB} = \sigma_{\log} \frac{10}{\ln(10)} \tag{3.43}$$

# 3.4 TAXA DE CRUZAMENTO DE NÍVEL E DURAÇÃO MÉDIA DE DESVANECIMENTO

Em sistemas de comunicações móveis existe, normalmente, interesse em descrever a velocidade na qual a taxa de desvanecimento de qualquer profundidade ocorre e a duração média do desvanecimento abaixo de um determinado limiar. Raramente ocorre desvanecimento profundo, sendo o desvanecimento raso o mais frequente. (PARSONS, 2000).

A importância de se calcular a taxa de cruzamento de nível e a duração média dos desvanecimentos de um sinal está relacionada com a maneira pela qual esses parâmetros estatísticos podem influenciar no desempenho do sistema. No caso dos sistemas de comunicações móveis, eles serão importantes para definir parâmetros em projetos de códigos de controle de erro, para escolher a taxa de transmissão de bits e os métodos de codificação em sistemas digitais.

A taxa de cruzamento de nível (*level crossing rate* - LCR) é definida como o número médio de vezes em que o sinal, normalizado em relação ao seu valor eficaz (rms), cruza um determinado nível de referência (em um único sentido), durante um certo período de tempo. Para uma distribuição Rayleigh a expressão para esse parâmetro, em número médio de cruzamentos por segundo, é dada por (PARSONS, 2000):

$$N_{R} = \int_{0}^{\infty} \dot{r} p(R, \dot{r}) d\dot{r} = \sqrt{2\pi} f_{m} \rho e^{-\rho^{2}}$$
 (3.44)

$$\rho = \frac{R}{R_{\rm rms}} = \frac{R}{\sqrt{2}\sigma} \tag{3.45}$$

Sendo:

 $f_m = \frac{v}{\lambda}$ : máximo desvio Doppler de frequência.

v: velocidade do móvel.

valor do nível R especificado, normalizado em relação à amplitude rms da envoltória do sinal.

A duração média de desvanecimentos (*average fade duration* - AFD) é definida como o período médio de tempo em que o sinal recebido está abaixo de um nível R. Para um sinal em desvanecimento Rayleigh, esse parâmetro é dado por:

$$\bar{\tau} = \frac{1}{N_R} P_r [r \le R] \tag{3.46}$$

onde a probabilidade do sinal recebido r ser menor que o patamar R é dada pela expressão:

$$P_r[r \le R] = \int_0^R p(r)dr = 1 - exp(-\rho^2)$$
 (3.47)

A duração média dos desvanecimentos em função de  $\rho$  e  $f_m$  pode ser expressa como:

$$\bar{\tau} = \frac{e^{\rho^2} - 1}{\rho f_m \sqrt{2\pi}} \tag{3.48}$$

Se o ambiente apresenta distribuição Rice, a taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimentos também podem ser calculadas a partir da definição, utilizando a equação da PDF Rice apresentada no item 3.3. Desta forma, a LCR, em número médio de cruzamentos por segundo, é determina da pela equação (ABDI, et al., 2000):

$$L_R = \sqrt{2\pi(K+1)}.f_m.\rho.\exp[-K - (K+1)\rho^2].I_0.\left[2\rho\sqrt{k(K+1)}\right]$$
 (3.49)

onde:

$$\rho = \frac{R}{r_{rms}} = \frac{R}{\sqrt{\Omega_p}} \tag{3.50}$$

Sendo  $\Omega_p$  a média quadrática do sinal com desvanecimento Rice, então:

$$r_{rms} = \sqrt{\Omega_p} \tag{3.51}$$

O tempo médio em que o nível do sinal permanece abaixo de um dado nível R é dado pelo parâmetro AFD, através equação 3.52:

$$T_R = \frac{P(r < R)}{L_R} \tag{3.52}$$

$$T_{R} = \frac{1 - Q\left[\sqrt{2K}, \sqrt{2(K+1)\rho^{2}}\right]}{\sqrt{2\pi(K+1)}.f_{m}.\rho.exp[-K - (K+1)\rho^{2}].I_{0}.\left[2\rho\sqrt{K(K+1)}\right]}$$
(3.53)

# CAPÍTULO 4

### AMBIENTE E SISTEMA DE MEDIÇÃO

Para a realização das medições em campo, foi montado um sistema de transmissão/ recepção, na faixa de 3,5 GHz, que foi liberada pela ANATEL, para este fim. Para se atingir os objetivos, foi necessária a montagem de um *setup* utilizando dois blocos de equipamentos de RF (um para transmissão e outro para recepção/aquisição do sinal).

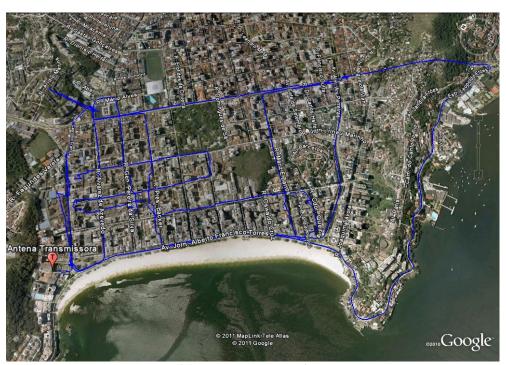
Tendo como ambiente de medição o bairro de Icaraí, na cidade de Niterói, cuja visão a partir do ponto de fixação da antena é apresentada na Figuras 10a e 10b: Ambiente e percurso de mediçã, primeiramente foi feito uma varredura no espectro na região de interesse, utilizando apenas o bloco de recepção, para detectar a possibilidde de existência de sinais interferêntes na faixa de frequência de interesse desta pesquisa, sendo constatado que não havia sinais com potência que pudessem gerar interferência significativa na frequência escolhida para ser utilisada na transmissão.

Posteriormente o bloco de transmissão foi colocado em operação para realizar um drive-test com a finalidade de determinar sua área de cobertura, a partir dos dados coletados em campo e interpretados. Então as medidas de potência do sinal recebido e respectiva posição do ponto de medição foram tomadas ao longo percursos pré-estabelecidos, conforme mostrado na Figura 10b. A partir destes percurssos foram selecionadas rotas onde as medições possibilitaram a aquisição de dados suficientesde para a análise pretendida, de forma a se expressar, graficamente, a variação do sinal com o tempo e o deslocamento, de onde será possível analisar a variabilidade temporal do sinal e determinar os parâmetros faixa estreita do canal sondado. Estas rotas e a fase de processamento dos dados serão apresentados no próximo capítulo.

O sistema de medição montado é mostrado na Figura 11, ainda em ambiente de laboratório. A descrição dos equipamentos de transmissão e de recepção utilizados é apresentada nos itens seguintes.



(a) Visão do bairro de Icaraí a partir do ponto da antena transmissora.



(b) Percurso de medição

Figuras 10a e 10b: Ambiente e percurso de medição

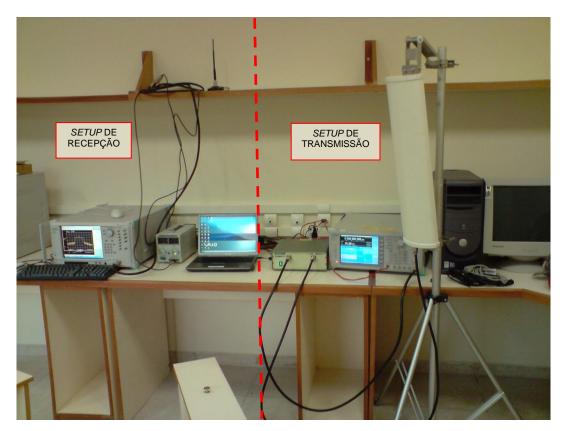
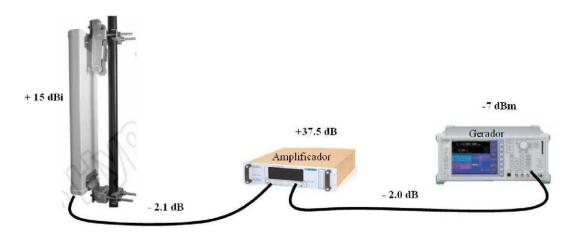


Figura 11: Setup de transmissão e recepção em ambiente de laboratório.

Fonte: (SIQUEIRA, J., 2009)

### 4.1 SETUP DE TRANSMISSÃO

O *setup* de transmissão foi composto por um gerador de sinais *Anritsu* MG3700A, um amplificador de potência *Milmega* AS0204-7B 2-4 GHz 7W, uma antena setorial *Hyperlink* HG3515P-120, e de dois cabos coaxiais (LMR-400 de 5m) interligando o gerador ao amplificador e o amplificador à antena. Foi utilizado um transformador de tensão 110/220 V para alimentação do amplificador de potência, com tensão de entrada de 220 V. Para acomodação dos equipamentos de transmissão, foi utilizada uma sala, no 9º andar do prédio da Reitoria da Universidade Federal Fluminense, situada no bairro de Icaraí, em Niterói, conforme mostra a Figura 12.



(a) Diagrama de ligação do Setup de transmissão

Fonte: Ron, 2009



(b)  $\mathit{Setup}$  de transmissão instalado no  $9^{\mathrm{o}}$  andar do prédio da reitoria da UFF

Figuras 12a e 12b: Setup de transmissão

A antena de transmissão foi fixada na escada de acesso ao terraço. As coordenadas geográficas e a altura do ponto de instalação da antena, obtidas por um GPS, com margem de erro de 5 m, aproximadamente, são os seguintes:

- Latitude: S22° 54' 11,2"= - 22,90311° S

- Longitude: W43° 07' 0,05"= - 43,11668° W

- Altura: 37m

A localização da antena transmissora está mostrada na Figura 13.



Figura 13: Localização da antena transmissora.

### 4.1.1 Descrição dos equipamentos de transmissão

### Gerador de Sinais

O gerador de sinais MG3700A (*Anritsu*), que está mostrado na Figura 14, é um gerador de sinais vetorial, cujo recurso a ser usado é a geração de sinais em banda básica em alta

velocidade, permitindo a modulação e transmissão em banda larga. Algumas de suas características são:

- faixa de frequências de transmissão de 250 kHz a 6 GHz;
- transmissão modulada em banda larga até 150 MHz;
- alta capacidade de buffer (até 512000 amostras/canal);
- armazenamento interno de 40 GB;
- transmissão simultânea de dois sinais;



Figura 14: Gerador de sinais MG3700A Anritsu.

No caso específico das medições para análise faixa estreita deste trabalho, foi utilizada uma portadora CW (*Continuous Wave*), sem modulação, na frequência de 3,41 GHz.

### Amplificador de Potência

O Amplificador de potência Milmega AS0204-7B 2-4 GHz 7W foi o utilizado no *setup* de transmissão, conforme mostra a Figura 15, e teve como principal função aplicar um

ganho na potência da portadora oriunda do gerador de sinais entregá-la à antena, para ser irradiada no ambiente de propagação.



Figura 15: Amplificador Milmega AS0204-7B 2-4GHz 7W.

No caso específico das medidas realizadas em Niterói, foi aplicada, à sua entrada, uma potência de -7 dBm em uma onda contínua na frequência de 3,41 GHz. Para esta potência, foi medido, em laboratório, um ganho de 42 dB na região linear de amplificação.

### **Cabos Coaxiais**

Para a realização das medições, foi necessário o uso de cabos coaxiais para ligação do gerador de sinais ao amplificador e do amplificador à antena de transmissão. Os cabos utilizados foram o LMR400 da *Datalink*. Sua perda, na faixa de 3,5 GHz, é cerca de 0,25 dB/m, com impedância nominal de acoplamento de 50 ohms. A atenuação total medida nos cabos, somando-se a perda de acoplamento e a atenuação nos cabos, foi de 2 dB.

### Antena Transmissora

Com o objetivo de transmitir a portadora no ambiente de propagação a ser examinado, foi utilizada uma antena setorial *Hyperlink* HG3515P-120, conforme mostra a Figura 16, que possui bom desempenho para aplicações no padrão de WiMax fixo e móvel.



Figura 16: Antena transmissora Hyperlink HG3515P-120.

Esta antena de alto ganho utiliza polarização vertical com abertura do feixe neste plano de 8° e uma abertura de feixe horizontal de 120°. Foi projetada, principalmente, para serviços *wireless* na banda 3,5 GHz (3,4 GHz - 3,7 GHz). A antena possui impedância de 50 ohms, VSWR < 1,5 e relação frente/costa igual a 21 dB, sendo de 50 W a máxima potência de entrada permitida.

Os diagramas de irradiação vertical e horizontal da antena estão apresentados na Figura 17.

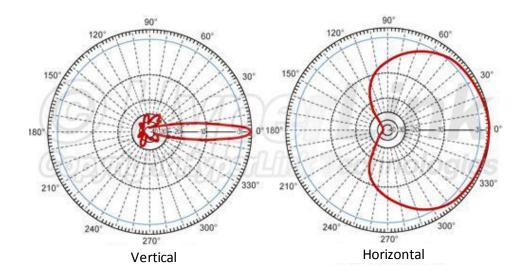


Figura 17: Diagramas de irradiação da antena Hyperlink HG3515P-120. Fonte: lcom/Hyperlink

### 4.1.2 Parâmetros configurados na transmissão

Os parâmetros configurados no *setup* de transmissão são os seguintes:

- frequência da portadora: 3,41 GHz

- modulação: onda contínua (CW) sem modulação

- potência de saída do gerador: -7 dBm

- ganho do amplificador: 42 dB

- ganho da antena TX: 15 dBi

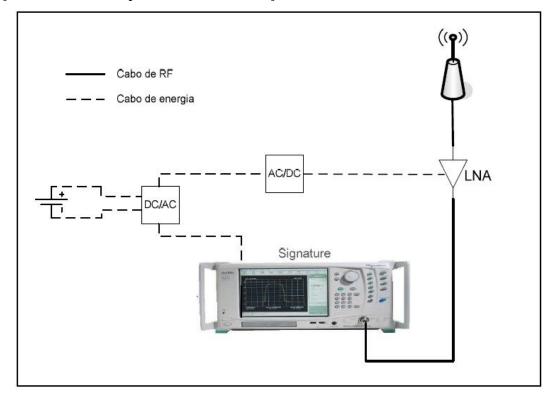
- perda de acoplamento + atenuação dos cabos: 4 Db

### 4.2 SETUP DE RECEPÇÃO

O *setup* de recepção foi montado em laboratório, inicialmente, utilizando um analisador de sinais Anritsu MS2781B *Signature*, um amplificador de baixo ruído (LNA *Minicircuits*) alimentado por uma fonte de tensão DC de 15 V e uma antena receptora omnidirecional *Rubber Duck* com conector RP-SMA (Hyperlink) e base magnética.

Com a necessidade de aquisição das medidas em movimento, foi necessária a preparação de um laboratório móvel, que foi montado em um automóvel Fiat Uno, sendo necessária a adaptação do alternador de corrente para 55 A e a inserção de um inversor de tensão DC/AC 800 W para que os equipamentos pudessem ser alimentados com 110 V,

conforme mostra a Figura 18. Dessa forma, para aquisição dos sinais e geo-referenciação dos pontos medidos, foi necessário adicionar um GPS (*Garmin* 60 CS) integrado ao relógio do analisador de espectro, para cruzamento dos dados medidos com a localização em cada ponto de medição. Este artifício permitiu identificar a distância e o nível do sinal recebido, com relação ao transmissor, para análise da atenuação do sinal com a distância.



(a) Diagrama de ligação do Setup de recepção

Fonte: GONÇALVES, 2009



(b) Setup de recepção instalado no automóvel

Figuras 18a e 18b: Setup de recepção

### 4.2.1 Descrição dos equipamentos de recepção

### Analisador de Sinal

O Analisador de sinal MS2781B *Signature* (Anritsu) permite capturar sinais na faixa de 100 Hz até 8 GHz, com uma resolução de largura de banda de 0,1 Hz até 8 MHz. Este equipamento, apresentado na Figura 19, possui funções integradas para captação de sinais WCDMA, HSDPA, WiMax fixo e móvel, além de uma variedade de sinais modulados em fase (PSK, QPSK), em quadratura (QAM) e em frequência (FSK), além de outros.



Figura 19: Analisador de espectro MS2781B Signature Anritsu

Para a captura do sinal recebido, foi necessário o ajuste de parâmetros do *Signature* de forma a habilitar a integração do MATLAB, para que através de um código pré-programado fosse possível capturar e armazenar o sinal recebido. As características do *Signature* mais importantes são:

- valores de prefixos cíclicos (CP): 1/4, 1/8, 1/16, 1/32;
- detecção de CP: OFDMA automático;
- transformada de Fourier: OFDMA 128, 512, 1024, 2048, OFDM 256;
- largura de banda: 1.25, 1.5, 1.75, 2.5, 3, 3.5, 5, 6, 7, 8.75, 10, 12, 14, 15, 17.5, 20 MHz;
  - medidas de RF em WiMax;
  - modulação: BPSK (pilotos), QPSK, 16QAM, 64QAM.

### Amplificador de Baixo Ruído (LNA)

Seguindo a antena receptora, foi utilizado um amplificador de baixo ruído, com ganho de amplificação de 30 dB na faixa de 3,5 GHz, com a função de aumentar a margem dinâmica do receptor, ilustrado na Figura 20.



Figura 20: Amplificador de baixo ruído (LNA).

Ao se utilizar o LNA é possível se obter um ganho de 30 dB e uma figura de ruído de 1 dB, sendo ele alimentado por uma fonte de tensão de 15 V.

### Antena Receptora

Na recepção do sinal foi utilizada uma antena omnidirecional *Rubber Duck*, como mostra a Figura 21, que possui bom desempenho para aplicações no padrão de WiMax fixo e móvel. Esta antena, que possui conectores RP-SMA (*Hyperlink*), foi projetada, para a banda de freqüência de 3,5 GHz (3,4 GHz - 3,6 GHz), combinando um ganho e 5 dBi com uma abertura de feixe horizontal de 360°.

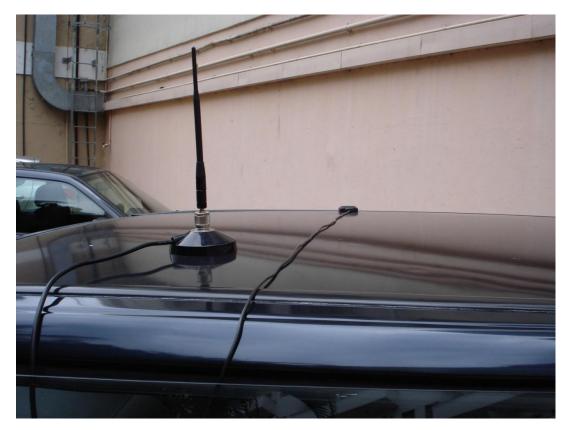


Figura 21: Antena de recepção onidirecional Rubber Duck da Hyperlink

A antena possui impedância de 50 ohms, VSWR < 2,0 e relação frente/costa < 21 dB, sendo a máxima potência de entrada igual a 1 Watts.

Os diagramas vertical e horizontal de irradiação da antena *Rubber Duck* estão apresentados na Figura 22.

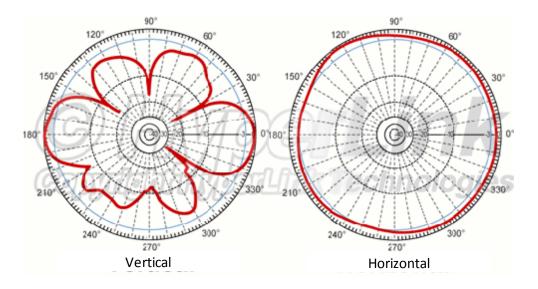


Figura 22: Diagrama de irradiação da antena receptora Rubber Duck da Hyperlink.

### Inversor de Tensão DC/AC

Para alimentar os equipamentos utilizados para a recepção no automóvel Fiat Uno, com 110 V AC, foi necessário o uso de um inversor de tensão 12 V (DC)/110 V (AC) – 800 W *Power Inverter*, mostrado na Figura 23. Este inversor foi ligado à bateria do carro, com tensão de entrada de 12 V DC, fornecendo a tensão de saída de 110 V AC. Suas principais características são:

- tensão de entrada (DC): 12 V (10-16 V)
- tensão de saída (AC): 110 V +/- 5%
- frequência de saída: 60 Hz +/- 1%
- forma de onda de saída: onda senoidal modificada
- potência nominal de saída: 800 W
- potência de pico de saída: 1600 W
- eficiência: > 85%
- corrente em vazio: <- 0.5 A
- entrada 100% de carga DC: 76 A
- entrada 100% de carga AC: 7,2 A
- alarme de bateria baixa: 10-11 V
- desligamento por sub-tensão de bateria: 9,5-10,5 V
- desligamento por alta tensão de bateria: > 16 V
- proteção contra sobrecarga: 820-960 W
- proteção contra curto-circuito: 1600 W
- proteção contra superaquecimento: 65° C
- dimensão: 280 mm X 156 mm X 56 mm

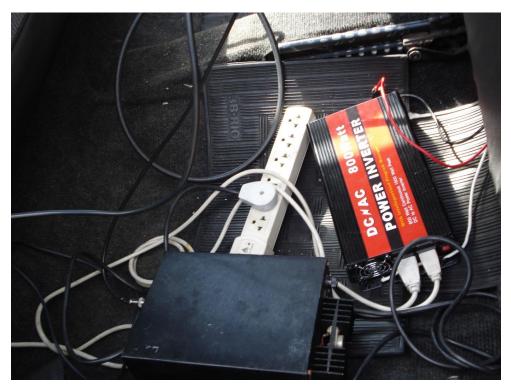


Figura 23: Inversor de tensão

### **GPS**

Para geo-referenciar os pontos de medições, foi utilizado um equipamento de localização via satélite, GPSmap 60CS, integrado a uma antena externa com conector MCX. Este elemento é um navegador, que possui uma base de dados cartográfica e um cartão de memória para armazenamento de mapas e pontos medidos. Além disto, o GPS possui função contínua de armazenamento, com taxa de atualização de 1 segundo, e alta sensibilidade de recepção. Nas medidas realizadas no bairro de Icaraí, na cidade de Niterói, em áreas com boa visibilidade aos satélites GPS, o erro médio de posicionamento variou em torno de 7 m, e em áreas entre prédios e sob árvores, o erro médio variou em torno de 12 m. Este equipamento pode ser visualizado na Figura 24.

A integração dos níveis de potência medidos com a localização dos pontos de medição foi possível devido ao sincronismo do relógio do GPS com o relógio do analisador de sinal. Desta forma, foi possível verificar a atenuação do sinal de acordo com a variação da posição do receptor, gerando um arquivo com dados de latitude e longitude, em graus.



Figura 24: Equipamento de localização via satélite GPSmap 60CS.

### 4.2.2 Parâmetros configurados na recepção

Para a realização das medidas, foi necessária a elaboração de um sub-programa em MATLAB para aquisição dos sinais. Para o correto funcionamento do *setup* de recepção, alguns parâmetros necessitaram ser configurados no analisador de sinal para permitir ao MATLAB a captura e o processamento do sinal. Dentre eles, estão:

- frequência central: 3,41 GHz;
- spam (varredura do espectro): 100 kHz com visualização de 10 kHz;
- nível de referência (visualização do eixo horizontal): -20 dBm;
- IQ (recepção em fase e quadratura da potência) = on;
- Connect to MATLAB (interação com o MATLAB) = on;

- Handshake (troca de informações) = on;
- RBW (resolução da largura de banda) = 1 kHz;
- tempo de captura (por segundo): 20 ms;
- amostragem = 428000 amostras/segundo.

## CAPÍTULO 5

### PROCESSAMENTO DOS DADOS E RESULTADOS

De posse dos dados obtidos das medições nas rotas selecionadas das ruas de Icaraí, partiu-se para a estatística de pequena e grande escala, onde foram buscadas funções densidade de probabilidade (F.D.P.) que melhor se ajustaram aos dados. Os parâmetros faixa-estreita do canal rádio móvel sondado também foram determinados, de acordo com as estatísticas encontradas, além da perda no percurso (*path loss*).

### 5.1 VARIABILIDADE LENTA

Para a determinação da estatística de variabilidade lenta do sinal ao longo das ruas percorridas em Icaraí, dividiu-se o ambiente em rotas transversais e radiais, visto que ao longo das mesmas havia variação da distância em relação ao transmissor. Tal divisão é mostrada na Figura 25, onde aparecem os números associados às rotas, especificadas como:

Rota 1: Rua Presidente Backer

Rota 2: Praia de Icaraí

Rota 3: Rua Mariz e Barros

Rota 4: Rua Moreira César

Rota 5: Av. Ary Parreiras

Rota 6: Av. Roberto Silveira

Podemos destacar que estas rotas apresentam as seguintes características principais: Prédios com altura média de 35 metros, porém com a presença de construções com altura menor ao se afastar da orla; ruas com menor largura e menos trânsito nas rotas 1, 3 e 4, já as demais rotas são avenidas com maior largura e apresentam mais trânsito; todas as rotas apresentam também densidade moderada de árvores e são formam quarteirões bem definidos.

Em sequência, cada rota foi dividida em setores de 1 s. O Analisador Signature, em cada segundo, adquiriu 8560 amostras, continuamente, durante um tempo máximo de 20 ms, necessitando 980 ms, aproximadamente, para gravação dessas amostras na sua memória.

Considera-se que em trechos até  $40~\lambda$ , o desvanecimento lento é praticamente constante (LEE, 1993). Assim, na determinação da estatística da variabilidade lenta, devem-se tomar setores com comprimentos até esse valor para se tirar uma média das amostras medidas por setor. Uma vez que em 1s de aquisição de amostras, somente tínhamos valores para os primeiros  $20~\mathrm{ms}$ , verificamos que este intervalo equivaleria a  $3~\lambda$ , para a velocidade do móvel adotada. Em consequência, a média por setor foi calculada para os  $20~\mathrm{ms}$  de aquisição.

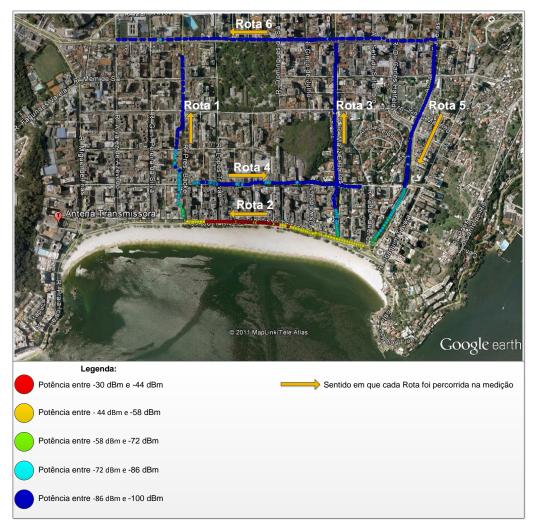
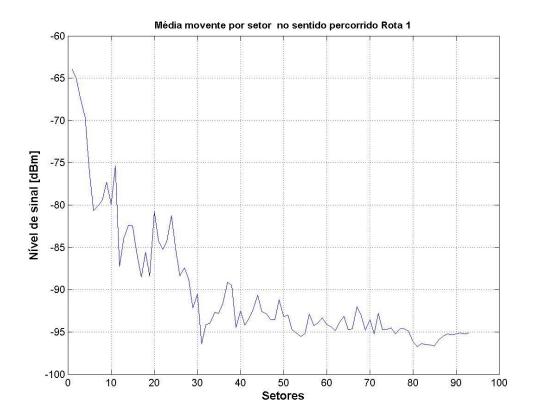


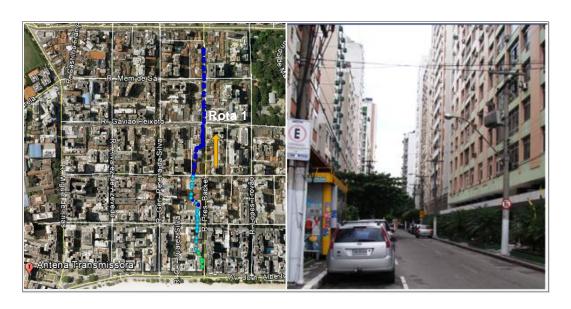
Figura 25: Mapa de Icaraí com as rotas e indicação de nível de potência recebida

Nas figuras 26(a) a 31(a) são mostradas, para as diversas rotas, a variação lenta obtida para o sinal recebido, que apresentam, ainda, o efeito de perda no percurso embutido nas mesmas. As figuras 26(b) a 31(b) mostram as fotos das rotas sondadas, possibilitando observar as principais características de cada uma delas destacadas anteriormente, juntamente

com suas respectivas localizações no mapa e o sentido em que foram percorridas nas medições.

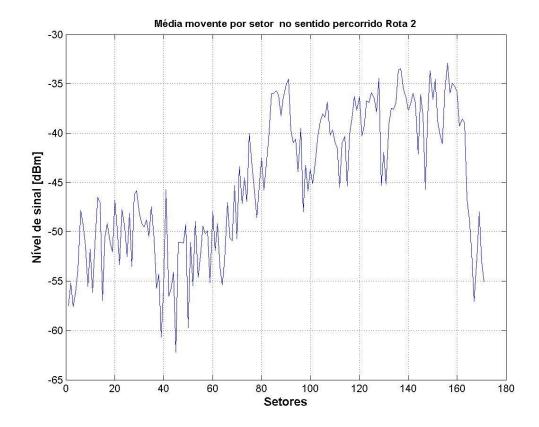


(a) Média movente para o sinal recebido na Rua Presidente Backer( Rota 1)



(b) Visão da Rua Presidente Backer( Rota 1)

Figuras 26a e 26b: Rua Presidente Backer

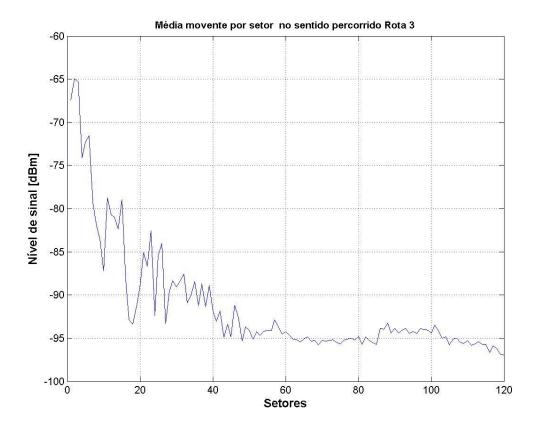


(a) Média movente para o sinal recebido na Praia de Icaraí (Rota 2)



(b) Visão da Praia de Icaraí (Rota 2)

Figuras 27a e 27b: Praia de Icaraí

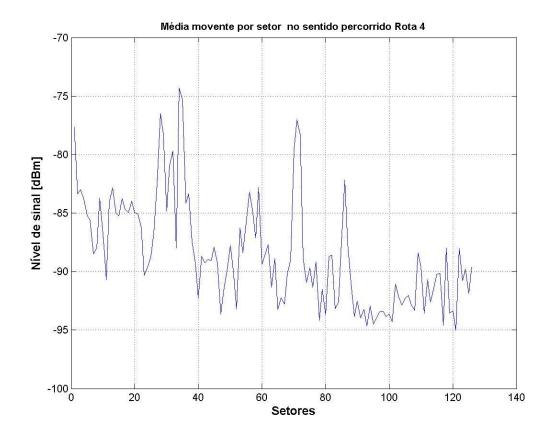


(a) Média movente para o sinal recebido na Rua Mariz e Barros (Rota 3)



(b)Visão da Rua Mariz e Barros (Rota 3)

Figuras 28a e 28b: Rua Mariz e Barros

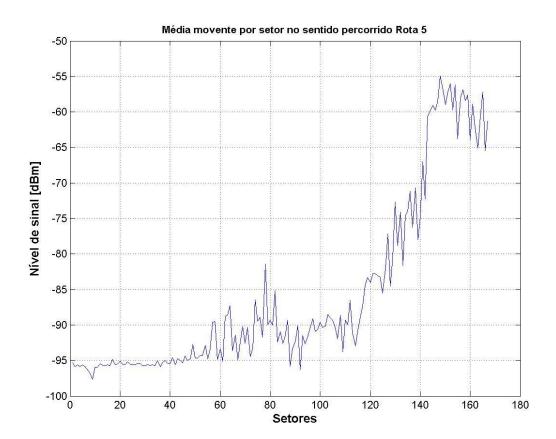


(a) Média movente para o sinal recebido na Rua Moreira César (Rota 4)

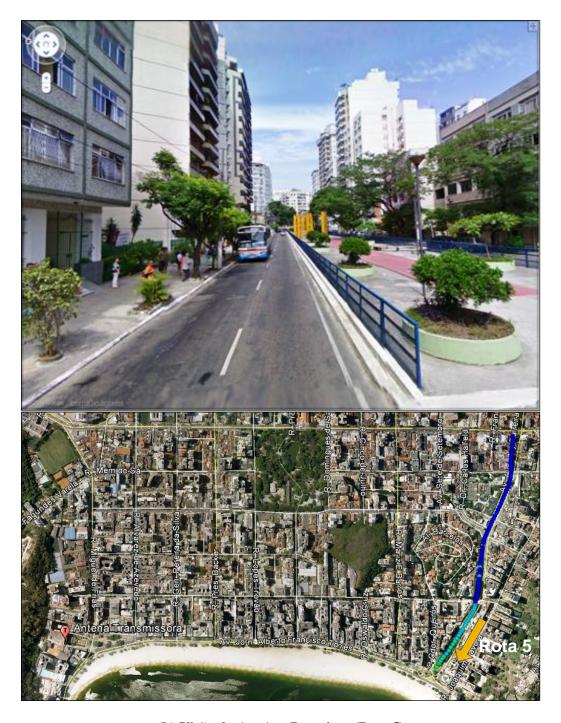


(b)Visão da Rua Moreira César (Rota 4)

Figuras 29a e 29b: Rua Moreira César

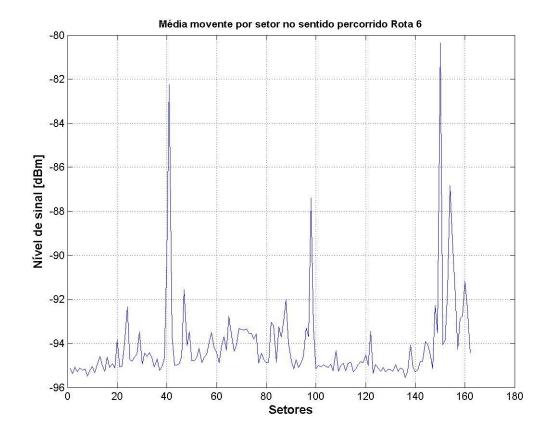


(a) Média movente para o sinal recebido na Av. Ary Parreiras (Rota 5)

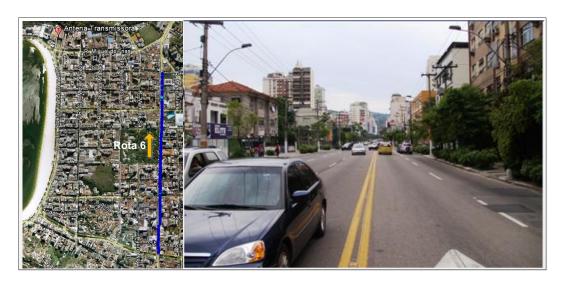


(b) Visão da Av. Ary Parreiras (Rota 5)

Figuras 30a e 30b: Av. Ary Parreiras



(a) Média movente para o sinal recebido na Av. Roberto Silveira (Rota 6)



(b) Visão da Av. Roberto Silveira (Rota 6)

Figuras 31a e 31b: Av. Roberto Silveira

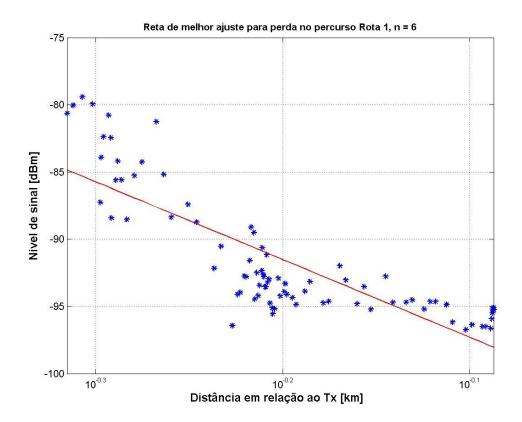
Como a perda no percurso é linear com a distância, estando esta em escala logarítmica, pode-se traçar uma reta de ajuste para cada rota pelo método dos mínimos quadrados, representando a *path loss* (perda no percurso). Assim, sendo *d* a distância do receptor ao

transmissor, a perda no percurso pode ser subtraída dos sinais nessas seis rotas, a fim de se obter apenas a variação lenta do sinal, de forma a se determinar a estatística do *fading* lento.

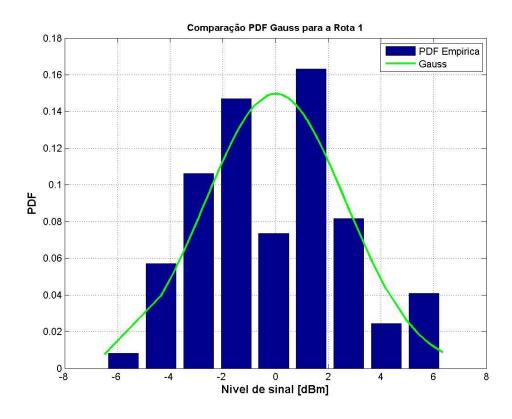
Percebe-se que as ruas transversais, rotas de número ímpar, possuem grande variação no nível médio de sinal, já que apresentam nível alto de sinal para as menores distâncias, normalmente perto da esquina com a praia, onde se tem visada direta ou raios que chegam com apenas uma reflexão, mas à medida que se avança para os quarteirões seguintes, percebese uma queda bem mais acentuada do sinal com a distância, normalmente relacionada à presença de maior número de obstruções, tanto pelas construções como, em alguns casos, pelo próprio relevo. Isto pode ser constatado observando-se a localização das rotas nos mapas das figuras 25 a 31, onde se nota um grande número de obstáculos no percurso chegando, às vezes, a ter elevações naturais que obstruem o sinal. Estas descontinuidades na perda no percurso geram dificuldades para se traçar a reta de melhor ajuste com apenas uma inclinação para todos os pontos de cada rota, o que também acaba gerando distorções na separação deste efeito da variação lenta do sinal. Visando observar o comportamento mais usual, em cada rota sondada, e reduzir estas imprecisões para se determinar a reta de melhor ajuste, que descreve a perda no percurso, tais pontos que apresentam nível mais elevado e representam exceções, foram excluídos no processamento dos dados. Desta forma, foi possível representar este comportamento traçando os gráficos apresentados nas figuras 32 (a) a 37 (a).

Já as ruas radiais, rotas de número par, apresentam um comportamento mais uniforme, com uma queda menos acentuada do sinal no percurso e uma variação lenta do sinal bem mais definida, porém possuem alguns pontos com sinal apresentando elevação brusca que, normalmente, são onde estas ruas cruzam com as transversais. Como também são exceções, tais pontos foram excluídos para traçar de forma adequada a reta de melhor ajuste, mostrada nos gráficos, para cada rota.

A partir da variação lenta do sinal, a estatística do desvanecimento lento foi determinada, utilizando a programação adequada, para o sinal medido nas diversas rotas e o resultado do ajuste é mostrado nas figuras 32 (b) a 37 (b), que mostram um bom ajuste à F.D.P gaussiana.

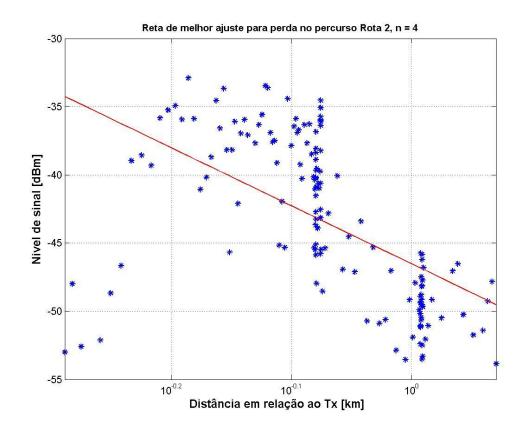


# (a) Reta de melhor ajuste para Rua Presidente Backer (Rota 1)

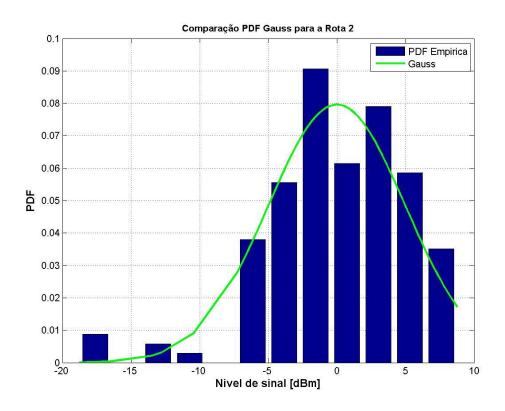


(b) Desvanecimento lento Rua Presidente Backer (Rota 1)

Figuras 32a e 32b: Ajuste para perda no percurso e desvanecimento lento - Rota 1

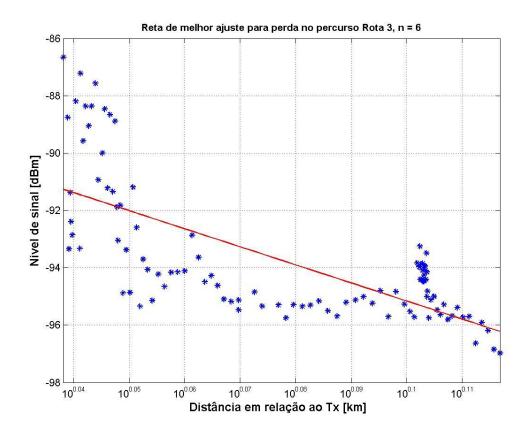


# (a) Reta de melhor ajuste para Praia de Icaraí (Rota 2)

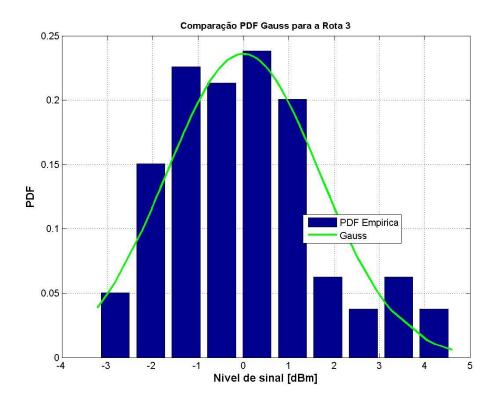


(b) Desvanecimento lento Praia de Icaraí (Rota 2)

Figuras 33a e 33b: Ajuste para perda no percursso e desvanecimento lento – Rota 2

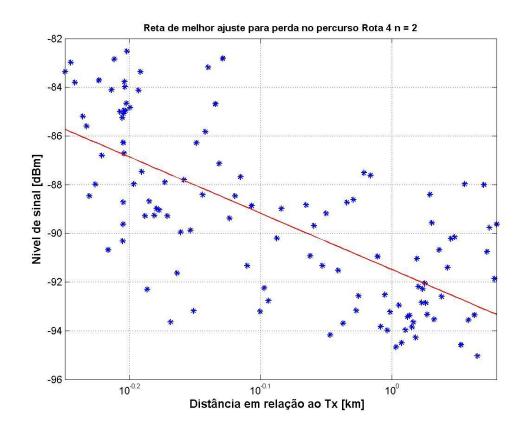


#### (a) Reta de melhor ajuste para Rua Mariz e Barros (Rota 3)

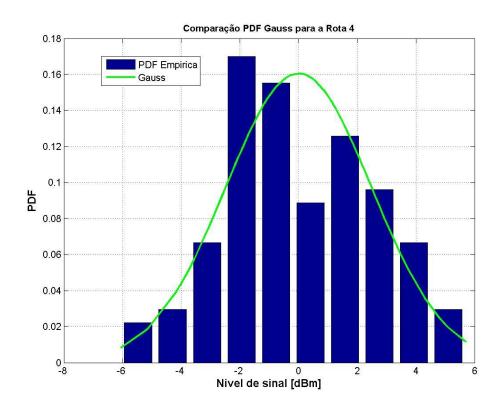


(b) Desvanecimento lento Rua Mariz e Barros (Rota 3)

Figuras 34a e 34b: Ajuste para perda no percursso e desvanecimento lento – Rota 3

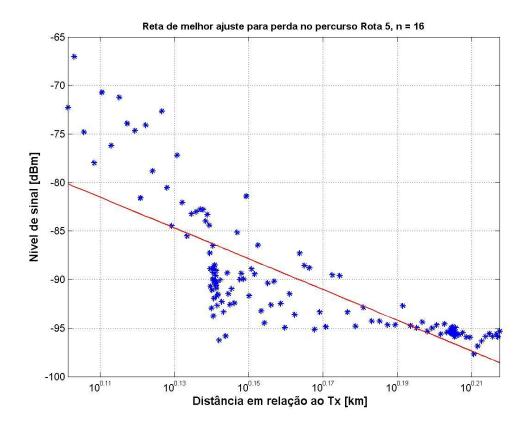


# (a) Reta de melhor ajuste para Rua Moreira César (Rota 4)

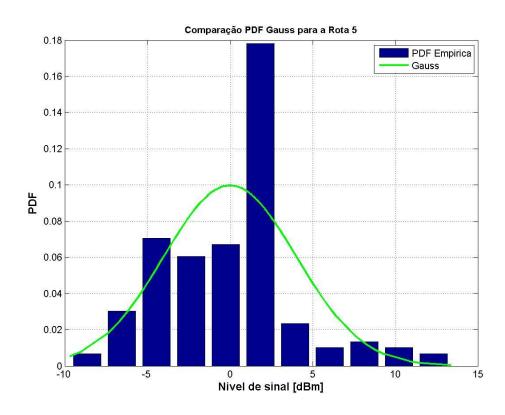


(b) Desvanecimento lento Rua Moreira César (Rota 4)

Figura 35: Ajuste para perda no percursso e desvanecimento lento – Rota 4

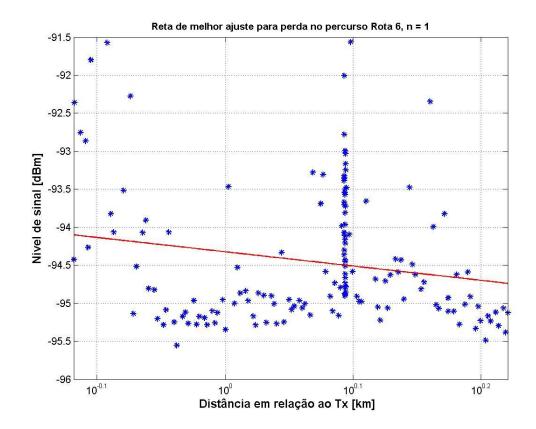


#### (a) Reta de melhor ajuste para Av. Ary Parreiras (Rota 5)

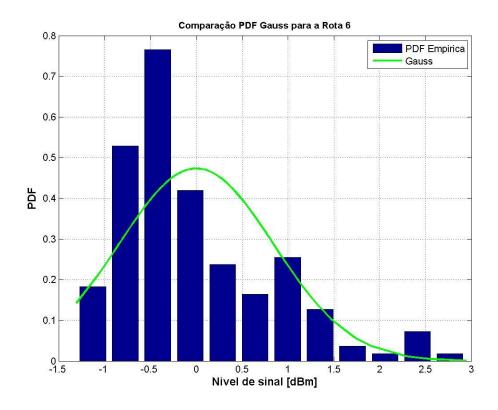


(b) Desvanecimento lento Av. Ary Parreiras (Rota 5)

Figura 36: Ajuste para perda no percursso e desvanecimento lento – Rota 5



#### (a) Reta de melhor ajuste para Av. Roberto Silveira (Rota 6)



(b) Desvanecimento lento Av. Roberto Silveira (Rota 6)

Figura 37: Ajuste para perda no percursso e desvanecimento lento – Rota 6

O teste do qui-quadrado foi realizado para verificar o grau de aderência entre os valores medidos do sinal de variabilidade lenta e a distribuição lognormal, ou seja, considerando a equação da função densidade de probabilidade gaussiana, mas sendo que os valores de variável aleatória são dados em escala logarítmica (dBm). A tabela 4 apresenta os valores encontrados neste teste para cada rota.

Tabela 4: Resumo dos resultados das rotas analisados

	Número da			Valor Teste	Passou no	Fator de
Rua/Av	Rota	Pot. Min.	Pot. Max.	Qui Gauss	Teste	Atenuação
Presidente						
Backer	1	-96,73	-63,94	0,11	SIM	5,78
Praia de						
Icaraí	2	-62,20	-32,90	0,49	SIM	4,25
Mariz e						
Barros	3	-96,98	-64,92	0,18	SIM	6,31
Moreira						
César	4	-95,04	-74,32	0,08	SIM	2,31
Ary						
Parreiras	5	-97,67	-54,96	0,20	SIM	15,85
Roberto	_	_	_		_	_
Silveira	6	-95,55	-80,36	0,27	SIM	0,19

#### 5.2 VARIABILIDADE RÁPIDA

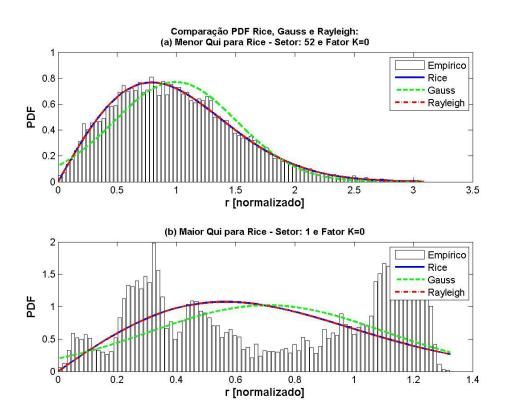
Em cada setor das rotas, tirando o efeito da média do sinal no setor, resta o sinal de variabilidade rápida. Para este, as funções densidade de probabilidade testadas foram a gaussiana, Rayleigh e Rice. Os resultados para o setor que apresentou, pelo teste do quiquadrado, melhor e pior ajuste, considerando cada uma destas funções densidade de probabilidade, para cada rota, são mostrados nas figuras 38 a 43, ficando o restante para o apêndice B.

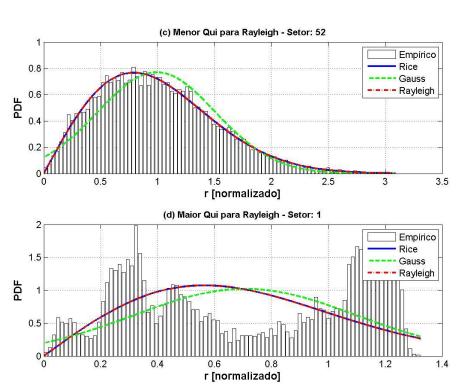
Para verificar o grau de aderência das funções densidade de probabilidade teóricas calculadas aos valores medidos do sinal de variabilidade rápida, foi realizado o teste do quiquadrado, verificando-se a hipótese de passar ou não no teste, ou seja, se o valor encontrado era menor que o valor crítico da distribuição qui-quadrado tabelada, considerando o grau de liberdade, para uma ocorrência que seja excedida só em 5% dos casos. A partir dos resultados obtidos, foi elaborada uma tabela para cada rota, identificadas como tabelas 5 a Tabela 10, com o resumo das informações relevantes, a fim de facilitar a identificação da PDF

predominante e seus parâmetros principais. A tabela de cada rota, considerando todos os seus setores, apresenta os seguintes dados:

- número da rota analisada e quantidade total de setores que ela possui;
- 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 comparado as demais, indicando a distribuição com melhor aderência;
- maior e menor valor de K e do teste qui-quadrado, considerando os que passaram no teste, para a distribuição de Rice;
- valor de K da PDF de Rice mínimo, médio e máximo;
- menor e maior valor do teste qui-quadrado, considerando os que passaram no mesmo, para cada PDF;
- análise da qualidade do ajuste pelo teste qui-quadrado para cada PDF, considerando a quantidade de vezes que:
  - cada uma passou exclusivamente, ou seja, sem que nenhuma outra tenha passado;
  - o nenhuma PDF passou;
  - o todas as PDF passaram no teste ao mesmo tempo.

Para as ruas transversais, observa-se que nas regiões com menor distância em relação ao transmissor, normalmente no início das rotas, a PDF que mais se aproxima dos dados medidos é a de Rice, em geral, com valores não muito grandes de K, ou a gaussiana. No restante, ou seja, em distâncias maiores, ou setores onde o sinal passa por muitos obstáculos, a distribuição que fica mais próxima é a de Rayleigh.





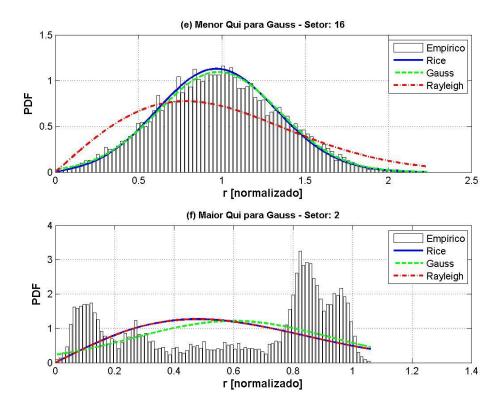
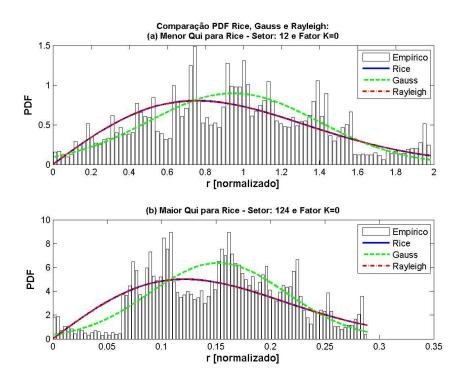
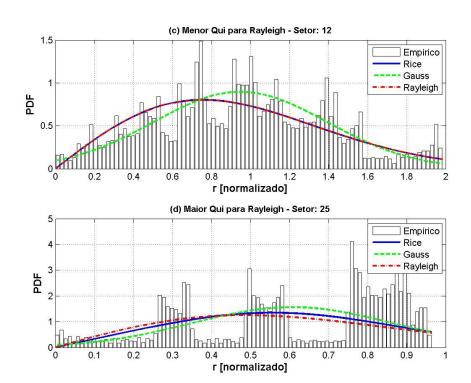


Figura 38: Setores que apresentaram melhor e pior ajuste pelo teste qui na rota 1

Tabela 5: Resumo dos resultados comparando cada distribuição Rota 1

Trecho: 1   Quantidade total setores no trec	ho: 93		
Quant. de vezes que a PDF passou no teste QUI: Total PDF que passou no teste Qui (95%):	-		
Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Q	ui com me Gauss Rav		
	16		
Maior e menor valor de K e QUI que passou no te			
Menor valor de K: 0.00 para QUI: 57.00 Maior valor de K: 6.00 para QUI: 0.77			
Valor de K: 0.00 para menor QUI: 0.26 Valor de K: 0.00 para maior QUI: 57.00			
Valor de K da PDF de Rice: mínimo médio máximo 0.00 0.54 6.00			
Menor e maior valor de Qui para cada PDF: Gauss Menor QUI: 0.47 Maior QUI: 97.00	0.26	0.2	
Qualidade de ajuste pelo teste Qui para cada PD Passou exclusivamente: Nenhuma PDF passou: Todas passaram ao mesmo tempo:	3 12	Rayleig 0 12 73	0 12





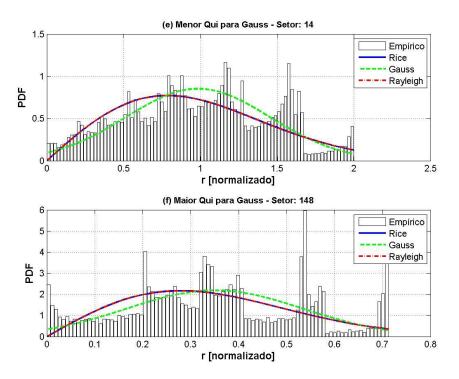
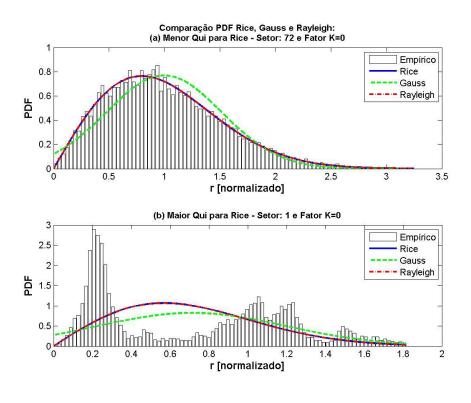
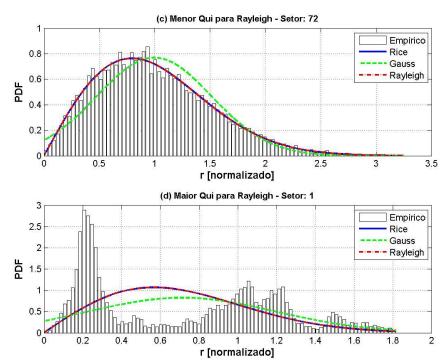


Figura 39: Setores que apresentaram melhor e pior ajuste pelo teste qui na rota 2.

Tabela 6: Resumo dos resultados comparando cada distribuição Rota 2

Trecho: 2   Quantidade total setores no trecho: 171					
Quant. de vezes que a PDF passou no teste QUI: Gauss Rayleigh Rice					
Total PDF que passou no teste Qui (95%):	74	58	58		
Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Q	ui com me Gauss Ray				
Total com menor valor Qui:	-	4 9			
Maior e menor valor de K e QUI que passou no te	ste				
Menor valor de K: 0.00 para QUI: 43.09					
Maior valor de K: 3.00 para QUI: 21.11					
Valor de K: 0.00 para menor QUI: 10.34					
Valor de K: 0.00 para maior QUI: 110.54					
Valor de K da PDF de Rice: mínimo médio máximo 0.00 0.46 5.00					
Menor e maior valor de Qui para cada PDF: Gauss			À		
	10.34 112.21				
Qualidade de ajuste pelo teste Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice Passou exclusivamente: 16 0 0					
Nenhuma PDF passou: 97 97 97					
Todas passaram ao mesmo tempo:	58	58	58		





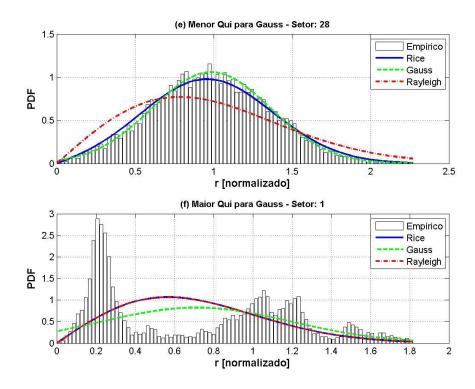
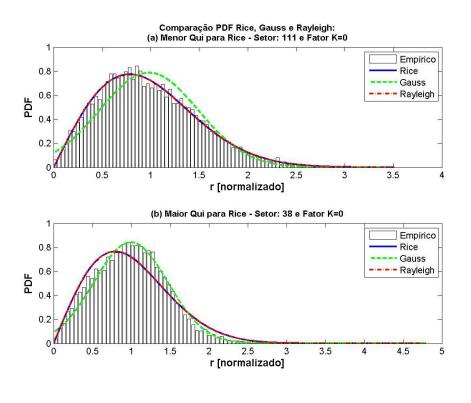
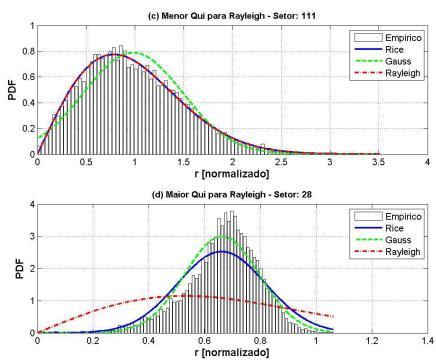


Figura 40: Setores que apresentaram melhor e pior ajuste pelo teste qui na rota 3

Tabela 7: Resumo dos resultados comparando cada distribuição Rota 3

Trecho: 3   Quantidade total setores no trech	o: 120			
Quant. de vezes que a PDF passou no teste QUI: G Total PDF que passou no teste Qui (95%):				
Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qu G	i com menor valor auss Rayleigh Rice			
Total com menor valor Qui:	6 72 105			
Maior e menor valor de K e QUI que passou no tes	te			
Menor valor de K: 0.00 para QUI: 59.74 Maior valor de K: 6.00 para QUI: 1.00				
Valor de K: 0.00 para menor QUI: 0.24 Valor de K: 0.00 para maior QUI: 59.74				
Valor de K da PDF de Rice: mínimo médio máximo 0.00 0.51 6.00				
Menor e maior valor de Qui para cada PDF: Gauss	2 3			
-	0.24 0.24 59.74 59.74			
Qualidade de ajuste pelo teste Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice				
Passou exclusivamente: Nenhuma PDF passou:	0 0 0 3 3			
Todas passaram ao mesmo tempo:	116 116 116			





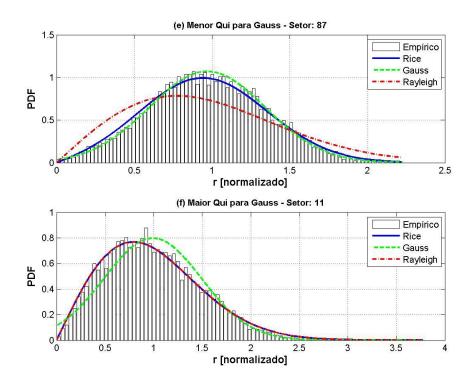
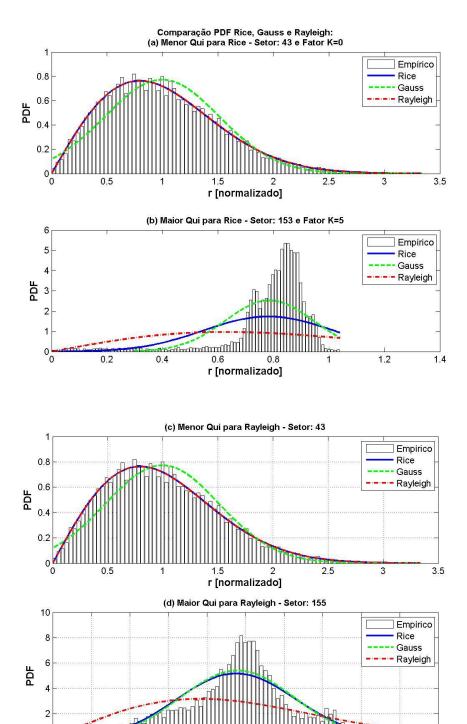


Figura 41: Setores que apresentaram melhor e pior ajuste pelo teste qui na rota 4

Tabela 8: Resumo dos resultados comparando cada distribuição Rota 4

Trecho: 4   Quantidade total setores no trecho	: 126				
Quant. de vezes que a PDF passou no teste QUI: Ga Total PDF que passou no teste Qui (95%):	-	_			
Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor  Gauss Rayleigh Rice					
~	21	57 9	6		
Maior e menor valor de K e QUI que passou no test	e 				
Menor valor de K: 0.00 para QUI: 1.08					
Maior valor de K: 8.00 para QUI: 1.41					
Valor de K: 0.00 para menor QUI: 0.25					
Valor de K: 0.00 para maior QUI: 78.48					
Valor de K da PDF de Rice: mínimo médio máximo 0.00 1.19 8.00					
Menor e maior valor de Qui para cada PDF: Gauss R	ayleigh	Rice			
Menor QUI: 0.43	0.25	0.25			
Maior QUI: 71.87	96.34	78.48			
Qualidade de ajuste pelo teste Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice Passou exclusivamente: 0 0 0 Nenhuma PDF passou: 6 6 6					
Todas passaram ao mesmo tempo: 110 110 110					



0.2 0.25 0. r [normalizado] 0.45

0.5

0.35

0.4

0 -

0.05

0.1

0.15

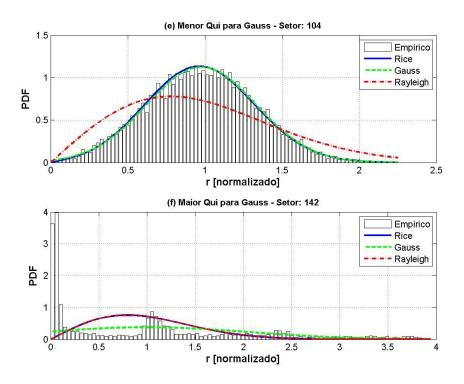
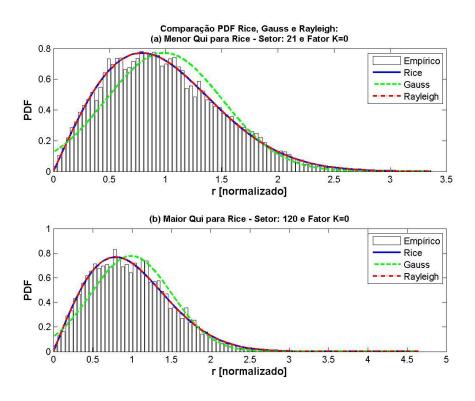
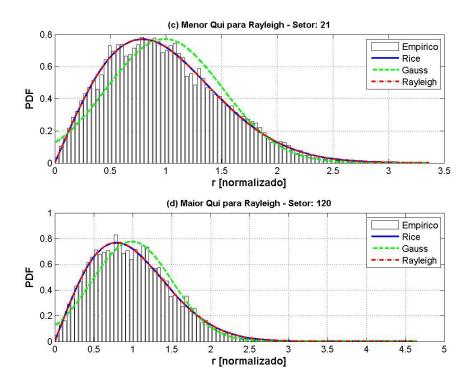


Figura 42: Setores que apresentaram melhor e pior ajuste pelo teste qui na rota 5

Tabela 9: Resumo dos resultados comparando cada distribuição Rota 5

Trecho: 5   Quantidade total setores no trecho: 167				
Quant. de vezes que a PDF passou no teste QUI: Total PDF que passou no teste Qui (95%):	_	_		
Total com menor valor Qui:	Gauss Ray	leigh Rice 49 113		
Maior e menor valor de K e QUI que passou no t				
Menor valor de K: 0.00 para QUI: 0.58 Maior valor de K: 6.00 para QUI: 8.72				
Valor de K: 0.00 para menor QUI: 0.22 Valor de K: 5.00 para maior QUI: 104.34				
Valor de K da PDF de Rice: mínimo médio máximo 0.00 1.05 6.00	)			
~	s Rayleigh 0.22 5 96.91	0.22		
Qualidade de ajuste pelo teste Qui para cada P Passou exclusivamente: Nenhuma PDF passou: Todas passaram ao mesmo tempo:	4 20	Rayleigh Rice 0 4 20 20 130 130		





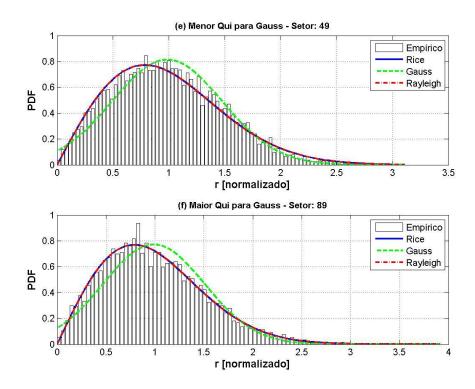


Figura 43: Setores que apresentaram melhor e pior ajuste pelo teste qui na rota 6

Tabela 10: Resumo dos resultados comparando cada distribuição Rota 6

Trecho: 6   Quantidade total setores no trecho: 162				
Quant. de vezes que a PDF passou no teste QUI: Ga Total PDF que passou no teste Qui (95%):	_	_		
Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui	. com me .uss Ray			
	_	58 7		
Maior e menor valor de K e QUI que passou no test	e			
Menor valor de K: 0.00 para QUI: 0.38 Maior valor de K: 0.00 para QUI: 0.38				
Valor de K: 0.00 para menor QUI: 0.24 Valor de K: 0.00 para maior QUI: 20.16				
Valor de K da PDF de Rice: mínimo médio máximo 0.00 0.00 0.00				
Menor e maior valor de Qui para cada PDF: Gauss R Menor QUI: 1.66 Maior QUI: 68.84	0.24	0.2		
Qualidade de ajuste pelo teste Qui para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice Passou exclusivamente:  0 0 0  Nenhuma PDF passou:  74 74 74  Todas passaram ao mesmo tempo:  70 70 70				

Como exemplo dos valores calculados pelo teste qui-quadrado, é apresentada na tabela 11, para cada distribuição em cada setor de uma rota, no caso de ter passado no mesmo, informando, também, o melhor valor, obtido por este teste, do K para Rice, além da identificação de quando não passa no mesmo, ficando os demais para o apêndice.

Tabela 11: Valores do teste qui-quadrado para cada distribuição em cada setor de Rota 1

Valores do teste Qui em cada setor
Para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice

Tara cada I DI . Gauss Rayleigh Rice					
Setor	QUI Gauss	QUI Ray	QUI Rice	k(rice)	
1	53.13	57.00	57.00	0	
2	97.00	NaN	NaN	0	
3	30.29	33.29	28.35	1	
4	31.13	26.43	26.43	0	
5	34.55	45.51	45.51	0	
6	43.65	NaN	NaN	0	
7	NaN	NaN	NaN	0	
8	NaN	NaN	NaN	0	
9	58.99	NaN	NaN	0	
10	7.74	10.00	9.07	1	
11	27.60	22.20	22.20	0	
12	1.51	1.14	0.63	1	
13	2.14	0.90	0.90	0	
14	4.07	2.67	2.33	1	
15	1.06	13.60	1.09	4	
16	0.47	6.80	0.77	3	
17	1.76	0.42	0.42	0	
18	1.27	4.75	1.52	2	
19	1.43	0.69	0.63	1	
20	0.98	18.67	1.15	3	
21	0.65	29.32	0.85	6	
22	0.72	12.51	1.07	3	
23	0.63	13.20	0.76	3	
24	1.05	23.09	1.05	5	
25	0.70	11.31	0.84	3	
26	2.93	2.11	2.11	0	
27	0.60	8.40	0.45	3	
28	0.52	6.14	0.71	2	
29	2.09	0.34	0.34	0	
30	1.44	1.05	1.05	0	
31	21.24	1.47	1.47	0	

32	2.59	0.76	0.76	0
33	2.98	0.79	0.79	0
34	1.41	0.47	0.47	0
35	2.49	1.17	1.17	0
36	0.95	1.52	0.46	1
37	0.73	5.60	0.68	2
38	0.73	4.18	0.40	2
39	2.03	0.42	0.42	0
40	1.89	0.57	0.57	0
41	2.51	0.33	0.33	0
42	1.94	0.46	0.46	0
43	1.23	0.57	0.54	1
44	0.79	2.29	0.73	1
45	15.80	0.53	0.53	0
46	2.81	0.45	0.45	0
47	2.11	0.30	0.30	0
48	3.09	0.84	0.84	0
49	0.96	1.16	0.52	1
50	2.00	0.39	0.39	0
51	2.04	0.43	0.43	0
52	2.09	0.26	0.26	0
53	12.32	0.52	0.52	0
54	4.76	0.52	0.52	0
55	5.04	0.34	0.34	0
56	1.60	0.64	0.64	0
57	8.06	0.36	0.36	0
58	3.78	0.32	0.32	0
59	1.99	0.36	0.36	0
60	3.09	0.33	0.33	0
61	1.90	0.37	0.37	0
62	2.58	0.48	0.48	0
63	3.25	0.29	0.29	0
64	1.97	0.42	0.42	0
65	2.35	0.28	0.28	0
66	2.28	0.32	0.32	0
67	NaN	0.66	0.66	0
68	6.84	0.35	0.35	0
69	1.82	0.32	0.32	0
70	NaN	NaN	NaN	0
71	NaN	18.98	18.98	0
72	NaN	NaN	NaN	0
73	4.97	0.27	0.27	0
74	NaN	1.18	1.18	0
75	NaN	NaN	NaN	0
76	2.96	0.53	0.53	0
77	6.21	0.56	0.56	0

78	2.41	0.27	0.27	0
79	NaN	19.65	19.65	0
80	NaN	NaN	NaN	0
81	NaN	NaN	NaN	0
82	33.39	1.40	1.40	0
83	NaN	NaN	NaN	0
84	NaN	NaN	NaN	0
85	NaN	NaN	NaN	0
86	NaN	NaN	NaN	0
87	NaN	NaN	NaN	0
88	23.62	0.76	0.76	0
89	2.52	0.29	0.29	0
90	2.11	0.31	0.31	0
91	NaN	0.71	0.71	0
92	3.09	0.37	0.37	0
93	15.91	0.59	0.59	0

Obs.: NaN - Indica que a PDF não passou no teste Qui-quadrado para o setor

#### 5.2.1 Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento

A partir do processamento dos dados medidos em campo a taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento, que são importantes parâmetros para carcterização faixa estreita do canal, foram calculados e, em seguida, comparados com a as respectivas taxas de cruzamento de nível e duração média do desvanecimento teóricas, conhecidas para as distribuições Rice e Rayleigh, conforme já descrito no capítulo 3.

Os resultados para um setor de cada rota são mostrados nas figuras 44 a 49, ficando o restante para o apêndice C. Nestas figuras, são apresentadas as seguintes informações: (a) Comparação das estatísticas de desvanecimento rápido do sinal considerando cada PDF; (b) Taxa de Cruzamento de Nível Normalizada; (c) Duração Média de Desvanecimento Normalizada. Desta forma, é possível verificar, graficamente, em cada setor, a aderência para a distribuição que mais se ajusta, comparando os resultados obtidos para as curvas estatísticas com os encontrados para a variação destes parâmetros do canal.

Vale ressaltar que estes setores foram selecionados de forma a apresentar gráficos que representem o comportamento destes parâmetros que é mais frequente em cada rota, ou seja, para dar uma noção geral da variação destes parâmetros de acordo com os níveis de desvanecimento rápido do sinal recebido na maioria dos setores de cada rota, desta forma são bastante representativos.

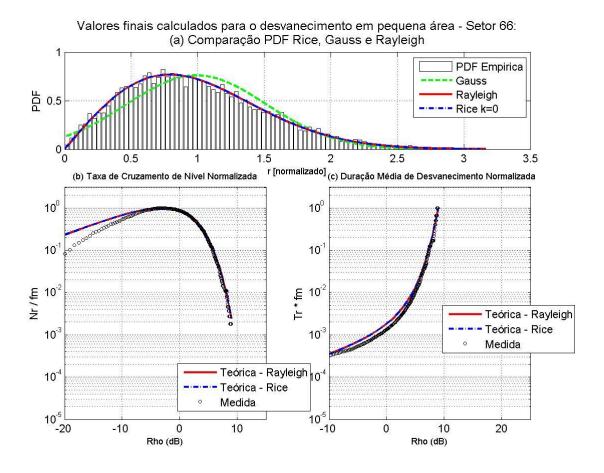


Figura 44: Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento para o setor 16 da rota 1

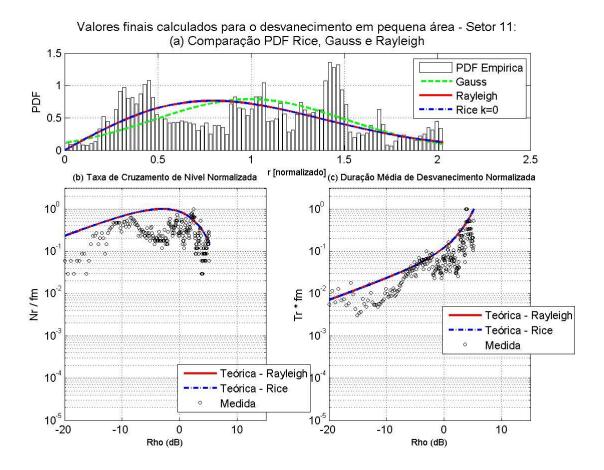


Figura 45: Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento para o setor 11 da rota 2

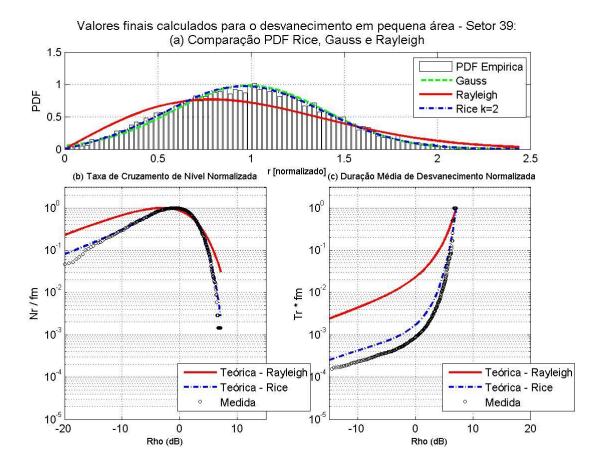


Figura 46: Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento para o setor 39 da rota 3

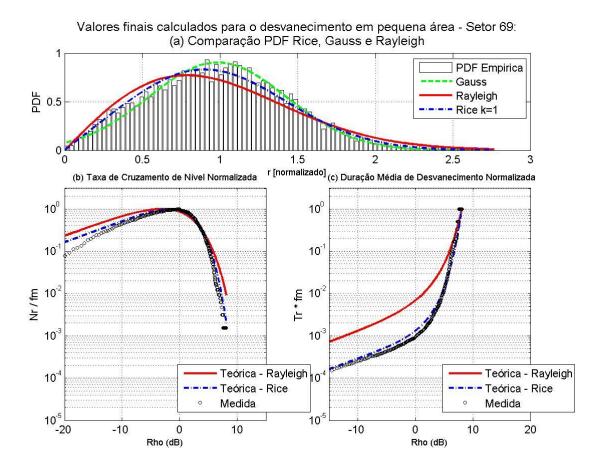


Figura 47: Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento para o setor 69 da rota 4

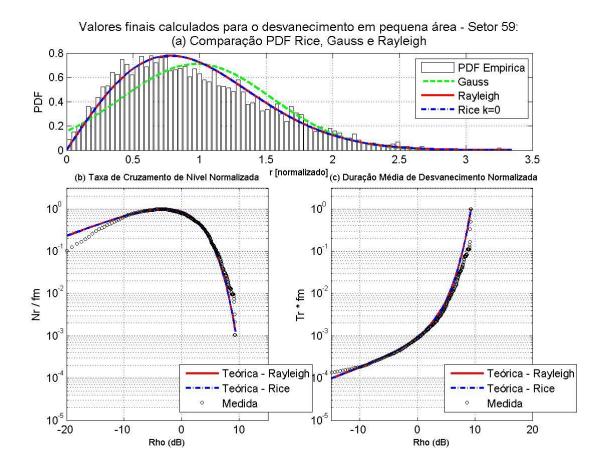


Figura 48: Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento para o setor 59 da rota 5

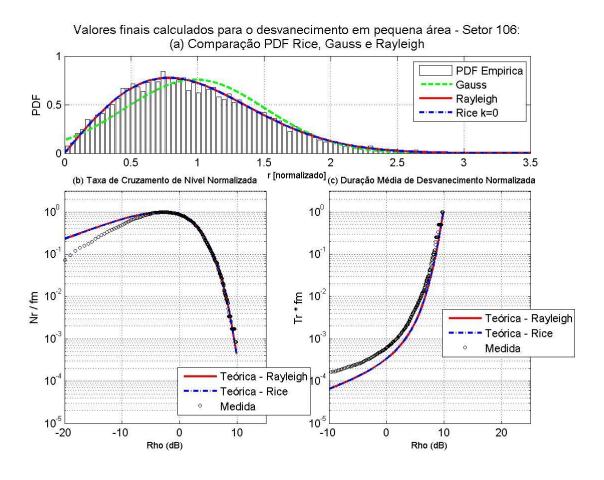


Figura 49: Taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento para o setor 106 da rota 6

Pode-se observar que em setores com uma componente dominante do sinal, como ocorre em boa parte dos setores da rota 4 e nos setores com distâncias menores em relação ao transmissor nas rotas transversais (rotas 1, 3 e 5), ocorre a predominância de desvanecimentos não muito profundos e o sinal está mais concentrado em torno do seu valor eficaz; já em setores sem uma componente dominante do sinal, ou seja em que todos os multipercursos chegam com níveis em escalas semelhantes, como ocorre na rota 6 e nos setores com distâncias maiores em relação ao transmissor, ou com mais obstáculos no percurso, nas rotas transversais, ocorrem desvanecimentos mais profundos e os sinais estão mais espalhados em torno do seu valor eficaz. Estas características influenciam em menores valores do parâmetro K da distribuição Rice nos casos em que ocorrem desvanecimentos mais profundos, ou seja de maior duração média.

# **CONCLUSÃO**

Com a finalidade de caracterizar o comportamento faixa estreita do canal rádio móvel, no bairro de Icaraí, medições de sinal e posição do móvel foram realizadas em três ruas radiais e três ruas transversais a uma antena transmissora, instalada ano alto do prédio da reitoria da UFF, na Rua Miguel de Frias, com visada para toda orla de Icaraí. A frequência escolhida foi a de 3,41 GHz, uma das faixas reservadas para a operação licenciada dos sistemas WiMax, com perspectivas no Brasil de ser licitada pela Anatel para utilização no Serviço Móvel Pessoal para a próxima geração. Deve-se destacar a importância do estudo do comportamento do canal rádio móvel nesta faixa de frequência, principalmente em ambientes urbanos, pois com a crescente demanda por sistemas de comunicação pessoal móvel, com transmissão de dados e voz, surgiram vários padrões que operam com frequências mais altas que os já consagrados, tendo estes grandes possibilidades de serem largamente utilizados em ambientes com estas características.

Conforme foi abordado no capítulo 3, a variabilidade de um sinal propagado em um canal rádio-móvel pode ser caracterizada por distribuições estatísticas específicas. Foi mostrado que a distribuição log-normal é adequada para caracterizar sinais medidos ao longo de diversos setores que sofrem desvanecimento lento, ou seja, caracterizando o efeito do sombreamento. Já o desvanecimento rápido pode ser melhor modelado pelas distribuições de Rayleigh, Gauss, Rice e m-Nakagami.

Partindo do processamento dos dados obtidos das medições na região de Icaraí, buscou-se verificar qual dessas distribuições teóricas modelavam de forma mais adequada o comportamento do canal no ambiente medido.

Como as distribuições de Rice e m-Nakagami apresentam comportamento similar, foi calculada teoricamente, e apresentada no capítulo 5, a comparação entre os dados medidos e as distribuições de Rice, Gauss e Rayleigh. Ao observar as figuras referentes ao comportamento dessas funções para o desvanecimento rápido, foi possível notar, por meio de análise gráfica, maior adequação para Rayleigh ao longo de toda rota número 6, já para as rotas número 1,3 e 5, esta adequação só foi observada na parte mais distante em relação ao transmissor, ou que possuíam maior quantidade de obstáculos no percurso do sinal. Essas observações foram confirmadas pelo teste Qui-Quadrado, para o qual, nestas rotas, os setores que apresentaram melhor resultado neste teste, para a distribuição de Rice, foram aqueles para o valor de K = 0, coincidindo com os setores para a de Rayleigh. Por meio dessas informações, é possível concluir que esses setores estão recebendo vários multipercursos com colaborações semelhantes no nível do sinal. Para a rota número 4, foi observado maior adequação às estatísticas de Gauss e Rice (com K diferente de 0), que também foi confirmado através do teste Qui-Quadrado, no qual foi possível perceber melhor ajuste para valores de K entre 1 e 5 e que, em alguns setores, praticamente coincidiram com as curvas dados pela distribuição de Gauss. Na rota 2, referente à orla de Icaraí, foi notado um comportamento atípico na variabilidade rápida, visto que mesmo havendo visada direta, os valores de K encontrados na maioria dos setores foram iguais a zero, o que demonstra que não havia um percurso com componente dominante em relação aos demais. Uma possível causa para isso seria a presença de muitos espalhadores próximos ao receptor, tais como: vegetação, construções e a orla.

É importante observar que na rota 6, embora na maioria dos setores não exista raio dominante e os níveis dos sinais geralmente sejam baixos, foi constatado que em determinados setores ocorreu a presença de alguns poucos sinais, em alguns instantes específicos, com valores bem acima do esperado, o que acarreta o prolongamento das extremidades do gráfico para abranger essas potências mais altas, entretanto, os valores esperados para as funções teóricas tendem a zero nessas extremidades. Como esse valor é utilizado no denominador do teste Qui-Quadrado, acarreta um valor de erro muito acima do esperado, que reflete apenas os valores teóricos dados pela FDP e não a diferença entre esses e o medido.

Tendo em vista a análise estatística do desvanecimento lento, primeiro foi encontrada a reta de melhor ajuste para, através dessa, separar o efeito da perda no percurso. Para a perda no percurso, verificou-se nas rotas transversais, principalmente na rota 5, um valor muito alto

para o fator de atenuação em função da distância. Esse fator de queda do sinal, obtido nas rotas numeradas de 1 a 6, nesta ordem: Presidente Backer, Praia de Icaraí, Mariz e Barros, Moreira César, Ary Parreiras e Roberto Silveira, foram, respectivamente: 8; 4,8; 14,4; 2,7; 27,4 e 0,5. Observa-se valores elevados e crescentes em 3 rotas: 1, 3 e 5, ou seja, nas rotas ímpares, que são transversais à distância transmissor-receptor. O que se observou nas figuras 32(a), 34(a) e 36(a), é que os níveis iniciais de sinal, partindo da orla, foram medidos com visibilidade à antena transmissora, por isso eram bem mais elevados que o restante de sinal, ao longo das respectivas ruas, pois para os demais setores as distâncias maiores em relação ao transmissor, ou a maior quantidade de obstáculos no percurso, causaram uma queda mais elevada no sinal recebido. Relativamente à variabilidade lenta do sinal, a PDF lognormal teve um bom ajuste, em todas as seis rotas sondadas, o que foi confirmado pelos valores do teste qui-Quadrado apresentados na tabela 4.

Por fim, foram calculadas, também, as taxas de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento, a partir dos dados medidos, bem como utilizando as fórmulas conhecidas para as distribuições teóricas Rayleigh e Rice apresentadas no capítulo 3. Analisando as figuras 44 a 49, nota-se que para valores que apresentaram distribuição de Rice pelo teste qui-Quadrado, as curvas empíricas se aproximaram da teórica de Rice para estes parâmetros e, no caso contrário, se aproximaram mais da de Rayleigh. Dessa forma, através da comparação gráfica destes parâmetros foi possível verificar boa adequação entre os valores levantados a partir dos dados medidos e os teóricos, confirmando a validade desse teste.

Como sugestões de trabalhos futuros podem ser citados:

Realizar o teste qui-quadrado para os mesmos dados, mas fazendo a comparação entre o número de ocorrências medido e o esperado, para evitar o problema que ocorre quando os valores esperados dados pela PDF são muito pequenos e seria necessário fazer um reagrupamento das divisões.

Realizar novas medições com as mesmas características de equipamentos e posição do transmissor destas, porém usando uma antena transmissora omnidirecional, para comparar os resultados principalmente na orla, onde a grande diretividade pode ter influenciado nos resultados encontrados.

Realizar uma campanha de medições semelhantes a esta na mesma cidade, porém no Bairro do Ingá, que possui características de urbanização e construções bem semelhantes a Icaraí, mas apresenta relevo bem diferente nas regiões próximas.

Excluir as medições iniciais elevadas das rotas ímpares, para se determinar o fator de queda no percurso mais realístico para tais rotas.

# REFERÊNCIAS

**ABDI**, **Ali**, **et al. 2000.** Comparison of the Level Crossing Rate and Average Fade Duration of Rayleigh, Rice, and Nakagami Fading Models with Mobile Channel Data. *Vehicular Technology Conference - IEEE*. 24 - 28 de Setembro de 2000, pp. 1850 - 1857 vol.4.

ABREU, Estela dos Santos e TEIXEIRA, José Carlos Abreu. 2007. Apresentação de trabalhos monográficos de conclusão de curso. 9ª. Niterói : EdUFF, 2007.

**ANDREWS, Jefrey G., GOSH, Arunabha e MUHAMED, Rias. 2007.** Fundamentals of WiMaxWiMax: Understanding Broadband Wireless Networking. New York: Pearson Education, Inc, 2007.

**ANRITSU. 2005.** Custom Measurements and Analysis using Matlab in Signatures. 2005.

**BELLO, Philip A. 1963.** Characterization of Randomly Time-Variant Linear Channels. *Communications Systems, IEEE Transactions on.* dezembro de 1963, pp. 360 – 393.

**BERTONI, Henry L. 2000.** *Radio Propagation for Modern Wireless Systems.* New Jersey: Prentice Hall PTR, 2000.

**BULLINGTON, Kenneth. 1977.** Radio propagation for vehicular communications. *Vehicular Technology,IEEE Transactions on.* novembro de 1977, pp. 295-313.

**CROW, Edwin L. e SHIMIZU, Kunio. 1988.** *Lognormal Distribution: Theory and Applications.* New York: Marcel Dekker, 1988.

**DEVASIRVATHAM, Daniel M.J. 1986.** Time Delay Spread and Signal Level Measurements. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on.* Novembro de 1986, pp. vol. ap-34, NO. 11.

**DIAS, Ugo Silva, et al. 2006 .** On the Nakagami-m Autocorrelation and Power. *Telecommunications Symposium, 2006 International* . 3-6 de Setembro de 2006, pp. 253 - 256.

**ERCEG, Vinko. 2003.** Channel Models for Fixed Wireless Applications. *IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group.* 27 de 06 de 2003.

**ETEMAD, Kamran. 2008.** Overview of mobile WiMAX technology and evolution. *Communications Magazine, IEEE*. October de 2008, pp. 31 - 40.

**FIGUEIREDO, Fabrício Lira.** *Fundamentos da Tecnologia WiMAX*. Campinas : Centro de pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações - CPqD.

**FUNADA, Ryuhei, HARADA, Hiroshi e OTANI, Masao. 2006.** 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*). 11-14 de Setembro de 2006, pp. 1 - 5 .

**GOMES, Renato A. 1999.** *Comportamento do Sinal de Rádio em Ambientes Móveis Microcelulares.* Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: s.n., 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica).

**GONÇALVES, Juliana Valim Oliver. 2009.** *Variabilidade do sinal, banda de coerência e espalhamento temporal em ambiente de rádio propagação móvel em 3,5GHz.* Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : s.n., 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica).

**GREENSTEIN, Larry G., MICHELSON, David G. e VINKO, Erceg. 1999.** Momentmethod estimation of the Ricean K-factor. *IEE Commun. Lett.* junho de 1999, pp. 175-176 vol. 3.

**HAYKIN, Simon e MOHER, Michael. 2008.** *Sistemas modernos de comunicações wirelles.* Porto Alegre : Bookman, 2008.

**HINES, William W., et al. 2006.** *Probabilidade e estatística na engenharia.* 4ª. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

**IEEE 802.16, Working Group on Broadband Wireless Access. 2004**. *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2004. Norma Técnica.

**JAKES, William C. 1974.** *Microwave Mobile Communications.* New York: Wiley, 1974.

**LEE, William C.Y. e YEH, Yi S. 1974.** On the estimations of the second-order statistic o log normal fading in mobile radio environment. *Communications, IEEE Transactions on.* Junho de 1974, pp. 809-973.

**LEE, William C.Y. 1985**. Estimate of Local Average Power of a Mobile Radio . *Vehicular Technology, IEEE Transactions on* . Fevereiro de 1985, pp. 22 - 27 vol. 34.

- —. 1993. Mobile Communications Design Fundamentals 2ª Edição. New York: Wiley, 1993.
- —. 1982. Mobile Communications Engineering. New York: Mc Graw Hill, 1982.

MEYER, Paul L. 1976. Probabilidade Aplicada a Estatística. Rio de Janeiro: LTC, 1976.

**MEZA, Wilyam David Torres. 2008.** *Análise por simulação do padrão CDMA IS-95*. Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense. Niterói : s.n., 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações).

MILANOVIC, Josip, RIMAC-DRLJE, Snjezana e BEJUK, Krunoslav. 2007. Comparison of Propagation Models Accuracy for WiMAX on 3.5 GHz. *Electronics, Circuits*  and Systems, 2007. ICECS 2007. 14th IEEE International Conference on. 2007, pp. 111-114.

**NAKAGAMI, Mikio. 1960.** *The m-Distribution - A General Formula of Intensity Distribution of Rapid Fading.* Elmsford : Pergamon Press, 1960.

**PAHLAVAN, Kaveh e LEVESQUE, Allen H. 2005.** *Wireless information networks – 2nd edition.* New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.

**PAPOULIS, Athanasios. 2001.** *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes.* New York: McGraw-Hill, 2001.

**PARSONS, Jeffrey D. e BAJWA, Amarjit S. 1982.** Small area caracterization of UHF urban and suburban mobile radio propagation. *IEEE Proc.*, vol. 129, Pt. F, N° 2. Abril de 1982.

**PARSONS, John David. 2000.** *The mobile Radio Propagation Channel – 2nd edition.* West Sussex: John Wiley & Sons LTD, 2000.

Path Loss Measurements at 3.5 GHz: A Trial Test WiMAX Based in Rural Environment. IMPERATORE, Pasquale, SALVADORI, Elio e CHLAMTAC, Imrich. 2007. Lake Buena Vista: s.n., 2007, pp. 1 - 8.

**PÄTZOLD, Matthias e LAUE, Frank. 1999.** Level-Crossing Rate and Average Duration of Fades of Deterministic Simulation Models for Rice Fading Channels. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*. Julho de 1999, pp. 1121 - 1129.

**PROAKIS, John G. 2000.** Digital Communications. 4<sup>a</sup>. New York: Mc Graw-Hill, 2000.

RAMOS, Glaucio Lopes. 2001. *Medidas de rádio propagação em 3.5GHz em ambientes urbanos: análise de perda de percurso e variabilidade*. Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : s.n., 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica).

**RAPPAPORT, Theodore S. e SEIDEL, Scott Y. 1990.** 900 MHz multipath propagation measurements for US digital cellular radiotelephone. *IEEE Trans.veh.Technol.* Maio de 1990, pp. 132-139.

**RAPPAPORT, Theodore S. 2000.** *Wireless Communications – Principles & Practice.* New Jersey: Prentic Hall PTR, 2000.

Ron, Carlos Vinicio Rodríguez. 2009. Caracterização do Canal Rádio em Banda Larga na Faixa de 3,5 GHz em Ambiente Urbano. Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : s.n., 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica).

**SEIDEL, Scott Y., et al. 1991.** Sing-Path loss, scattering and multipath delay statistics in four European cities for digital cellular and microcellular radiotelephone. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*. de Novembro de 1991, pp. NO. 4, vol. 40.

- **SIQUEIRA, Glaucio L., et al. 1996.** Comparison between propagation measurements and coverage prediction models for small urban cells. *Microwave and Optoelectronics Conference, 2001. IMOC 2001.Proceedings of the 2001 SBMO/IEEE MTT-S International.* 1996, Vol. 2, pp. 1182 1186 vol.2.
- **SIQUEIRA, Glaucio L., RAMOS, Gliucio L. e VIEIRA, Robson D. 2001**. Propagation measurements of a 3.5 GHz signal: path-loss and variability studies. *Microwave and Optoelectronics Conference, 2001. IMOC 2001.Proceedings of the 2001 SBMO/IEEE MTT-S International.* 2001, pp. 209 212 vol.1.
- **SIQUEIRA, Gláucio Lima e VÁSQUES, Eduardo J.A. 2000.** Local and Global Signal Variability Statistics in a Mobile Urban environment. *Wireless Personal Communication*. Outubro de 2000, pp. 61-78.
- **SIQUEIRA, JOSÉ ROBERTO PAULA. 2009.** *Análise dos modelos de previsão de cobertura na faixa de 3,5 Ghz utilizados nos sistemas wimax.* Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense. Niterói: s.n., 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações).
- **SKLAR, Bernard. 2000.** *Digital Communications: Fundamentals and Applications.* New Jersey: Pretience Hall PTL, 2000.
- —. **1997.** Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems. *IEEE Communications Magazine*. Julho de 1997, pp. 90-100 vol.35.
- STUEBER, Gordon L. 2001. Principles of Mobile Communication. Norwell: Kluwer, 2001.
- **SUZUKI, Hirofumi. 1977.** A statistical Model for Urban Radio Propagation. *Communications, IEEE Transactions on*. julho de 1977, pp. 673 680.
- —. **1977.** A Statistical Model for Urban Radio Propagation. *Communications, IEEE Transactions on* . Julho de 1977, pp. 673 680 .
- **TEO, Koon Hoo, TAO, Zhifeng e ZHANG, Jinyun. 2007.** The mobile Broadband WiMAX standard. *IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE*. setembro de 2007, pp. 144 148.
- **TrackMaker. 2008.** GPS TrackMaker. Guia de referência versão free 13.5. 2008.
- **VÁSQUEZ, Eduardo Javier Arancibia. 1996.** Estudo de Cobertura de Sistemas Móveis Celulares em Regiões Urbanas. Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : s.n., 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica).
- **VIEIRA, Pedro Armando. 2010.** *Análise da resposta em banda estreita de um canal marítimo na faixa de 3,5GHz.* Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense. Niterói: s.n., 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações).
- **WIMAX FORUM.** WiMax's technology for LOS and NLOS environments.

**YACOUB, Michel Daoud. 1993.** *Foundations of Mobile Radio Engineering.* Boca Raton: CRC Press, 1993.

YACOUB, Michel Daoud, BAUTISTA, José Edson Vargas e GUEDES, Leonardo Guerra de Rezende. 1999. On Higher Order Statistics of the Nakagami-m Distribution. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*. Maio de 1999, pp. 790 - 794.

**YE, Li. 2006.** *Orthogonal frequency division multiplexing for wireless communications.* Atlanta: Springer, 2006.

# **Apêndices**

#### A.1 PROGRAMAS DESENVOLVIDOS EM MATLAB

#### Programa para analisar o desvanecimento rápido:

```
clear all;
close all;
clc;
%Variáveis do programa %
%%%245
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=[];
```

```
tensaox=dlmread('NiveisSinalRota.txt',',',0,6);
%dlmwrite('NiveisSinal Baker puro.txt',tensaox);
tensaoy=abs(tensaox);
%dlmwrite('ABS Niveis Sinal Baker.txt', tensaoy);
for m1=1:size(tensaoy,1);
    % m1 representa o setor que será analisada(índice da linha na matriz)
    % m1=60; % Caso queira fazer a análise somente de um setor mudar aqui
    sinaltotals= tensaoy(m1,:);
    R=50; % Impedância em Ohm
    %%Pot W=0.001.*(10.^((ndBm)./10)); % Potência em W
    %V=sqrt(Pot W.*R); % Tensão em volts
    V=sinaltotals;
    ndBm=10*log10(1000*((V.^2)/50)); % Potência em dBm
    media setor= mean(sinaltotals);
    sinal=sinaltotals/media setor; % divide pela media para separar o Desv.
Rápido
    sinal ord=sort(sinal); % Ordena números para melhorar gráfico
    r=sinal ord;
    r=r-min(r); % Coloca o valor inicial em zero
    %% Calculo de PDF pela função ksdensity %
    %% [pdfm, xiout] = ksdensity(r);
    %ajuste do intervalo de amostragem
    %%1=0;
    %%xiouta=[];
    %%pdfma=[];
    %%q2=length(xiout);
    %%for q1=1:q2;
       %%if xiout(q1)>0;
            %%1=1+1;
            %%xiouta(1)=xiout(q1);
            %%pdfma(1)=pdfm(q1);
        %%end
    %%end
    %%figure(4)
    %%%%bar(xiouta,pdfma),zoom on,grid on
    %%plot(xiouta,pdfma,'dm','MarkerSize',5)
    %%zoom on,grid on
    %%hold on;
    %% Calculo de PDF pelo histograma %
    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
   figure(2)
   bar(xout, n pdf, 'w'), zoom on, grid on
   hold on;
   %% Calculo das FDPs teóricas %
   % Distribuição 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
   %figure(m1)
   plot(r,p1,'--g','LineWidth',2);
   hold on;
   % Distribuição de Raileygh
   sigma ray=mean(r)*sqrt(2/pi);
   p2=(r./(sigma ray^2)).*(exp(-((r.^2)./(2*(sigma ray^2))))));
   % Desenha gráfico de Raileygh
   plot(r,p2,'-r','LineWidth',2);
   hold on;
   %% Distribuição de Rice para k fixo%
   kc=2:
   sigma_rice=mean(r)./(((sqrt(pi/2)*exp(-
kc/2)).*(((1+kc).*(besseli(0,kc/2)))+...
    (kc*besseli(1,kc/2))));
   r zero=sqrt(kc*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));
   % Desenha gráfico de Rice para k fixo
   %figure
   Valor k=int2str(kc);
   setor=int2str(m1);
   plot(r,p3,'-.b','LineWidth',2);
   h = legend('PDF Empírica', 'Gauss', 'Rayleigh', ['Rice
k=', Valor k], 2, 'Location', 'NorthEast');
   set(h, 'Interpreter', 'none');
   xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 11,'FontWeight', 'bold')
ylabel('PDF ', 'FontSize', 11,'FontWeight', 'bold')
   titulo=({['Comparação PDF RICE, Gauss e Rayleigh para o Setor
', setor] });
   title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
   hold off;
   %%saveas(figure(1),['figasetor_',setor],'jpg');
   % ------
   %% Distribuição de Rice variando K %
   § ______
   %'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
   k max=50; % fator K de Rice máximo
   p3=[];
   p3_tot=[];
```

```
% 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 tot=[p3 tot;p3];
    end
    % Desenha gráfico de Rice variando K com incremento de 10
    %k inc=100;
    %for k rice=k min:k inc:k max;
    %Ind k rice=k rice+1;
    %k fig=k rice+100;
    %%figure(k fig)
    %%plot(r,p3 tot(Ind k rice,:),'-b');
    %%titulo=({'PDF RICE com k-inc=10'});
    %%title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
    %end
    %% Teste Qui-quadrado para PDF pela função ksdensity %
    % Número de pontos para uso no teste <<<====
    %%bins=0:(length(xiouta)-1);
    % PDF Gaussiana ****************************
    \$p1_ks_qui=(1/(sqrt(2*pi)*sigma)).*exp((-1.*(xiouta-
nu).^2)./(2*sigma^2));
    % Teste Qui-quadrado PDF Gaussiana
    %%[h gauss density,p_gauss_density,st_gauss_density] =
chi2gof (bins, 'ctrs', bins, 'frequency', pdfma, 'expected', p1 ks qui, 'emin', 0, 'n
params',2);
    %%st gauss df density=st gauss density.df;
    %%qui teste gauss density=st gauss density.chi2stat; % Estatistica Q-
quad, O menor valor indica o melhor ajuste
    %%x qui teste gauss density =
chi2inv(p gauss density, st gauss density.df); % O MAIOR valor indica o
melhor ajuste
    % PDF Rayleigh *****************************
    %%p2 ks qui=(xiouta./(sigma ray^2)).*(exp(-
((xiouta.^2)/(2*sigma ray^2))));
    % Teste Qui-quadrado PDF Rayleigh
    %%[h ray,p ray,st ray] =
chi2gof(bins,'ctrs',bins,'frequency',pdfma,'expected',p2 ks qui,'emin',0,'n
params',1);
    %%st ray df=st ray.df;
    %%qui teste ray density=st ray.chi2stat; % O menor valor indica o
melhor ajuste
    %%x qui teste ray density = chi2inv(p ray,st ray.df); % O MAIOR valor
indica o melhor ajuste
```

```
%% Teste Qui-quadrado para PDF pelo histograma %
    % 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',pl qui,'emin',1,'npar
    st gauss df=st gauss.df;
    qui teste gauss=st gauss.chi2stat; % Estatistica Q-quad, O menor valor
indica o melhor ajuste
    x qui teste gauss = chi2inv(p gauss,st gauss.df); % O MAIOR valor
indica o melhor ajuste
    %%qui gauss trecho(m1)=qui teste gauss;
    % 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,'emin',1,'npar
ams',1);
    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
    %%qui ray trecho(m1)=qui teste ray;
    % PDF Rice ********************************
   p3 qui=[];
    p3_qui_tot=[];
    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=[];
   k min=0; % Valor mínimo de k
    k inc=1; % Incremento de k
    k max=50; % fator K de Rice máximo
    % fat reduc=0.001;
    for k rice=k min:k inc:k max %fat reduc*(1/(2*sigma^2)); <<<===</pre>
IMPORTANTE
       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 qui tot=[p3 qui tot;p3 qui];%
    % Teste Qui-quadrado PDF Rice
```

```
[h rice,p rice,st rice] =
chi2gof(bins, ctrs', bins, frequency', n_pdf, expected', p3_qui, emin', 1, emin', 1, emin', 1
ams',2);
   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 mínimo da estatística QUI-QUADRADO
    [Cmin, Imin] = min(qui_teste_rice_tot); %0 menor valor indica o melhor
ajuste
    [Cmax, Imax] = max(x_qui_teste_rice_tot);
    % Alternativamente poderia ser: [Cmax,Imax] =
max(x qui teste rice tot); %O MAIOR valor indica o melhor ajuste
    %----
    %Guardar valores de Rice somente para o fator K com menor valor no QUI-
OUADRADO
    % IMPORTANTE: K=(Imin-1)é o valor K que ocasiona o menor resultado no
QUI-QUADRADO
    p3_fim=p3_tot(Imin,:);
    p3 qui fim=p3 qui tot(Imin,:);
    sigma rice fim=sigma rice tot(Imin);
    k rice fim=k rice tot(Imin);
    r zero fim=r zero tot(Imin);
   h rice fim=h_rice_tot(Imin);
   p rice fim=p_rice_tot(Imin);
    st rice fim=st rice tot(Imin);
    st_rice_df_fim=st_rice_df_tot(Imin);
    qui_teste_rice_fim=qui_teste_rice_tot(Imin);
    x qui teste_rice_fim=x_qui_teste_rice_tot(Imin);
    % qui rice trecho(m1) = qui teste_rice_fim;
    %% Teste Qui-quadrado para PDF pelo histograma usando a definição K
fixo %
    %quiquadrado=somatório(valor observado-valor esperado)^2/valor esperado
    quiquadrado_gauss=0;
    quiquadrado_ray=0;
    quiquadrado_rice_fixo=0;
   n niveis=length(xout);
    I kc=kc+1;
    for i=1:n niveis
    quiquadrado gauss=((n pdf(i)-p1 qui(i))^2/p1 qui(i))+quiquadrado gauss;
    quiquadrado_ray=((n_pdf(i)-p2_qui(i))^2/p2_qui(i))+quiquadrado_ray;
    quiquadrado_rice_fixo=((n_pdf(i)-
p3_qui_tot(I_kc,i))^2/p3_qui_tot(I_kc,i))+quiquadrado_rice_fixo;
    %%quiquadrado_gauss_trecho(m1) =quiquadrado_gauss;
```

```
%%quiquadrado ray trecho(m1)=quiquadrado ray;
   %% Teste Qui-quadrado para PDF Rice pelo histograma, usando a
definição, com K variando %
   %%quiquadrado=somatório(valor observado-valor esperado)^2/valor
esperado
   quiquadrado rice tot=[];
   k min=0; % Valor mínimo de k
   k inc=1; % Incremento de k
   k max=50; % fator K de Rice máximo
   % fat reduc=0.001;
   for k rice=k min:k inc:k max %fat reduc*(1/(2*sigma^2)); <<<===</pre>
IMPORTANTE
   % Teste Qui-quadrado PDF Rice
   quiquadrado rice=0;
   I k rice=k rice+1;
   for i=1:n niveis
   quiquadrado rice=((n pdf(i)-
p3 qui tot(I k rice,i))^2/p3 qui tot(I k rice,i))+quiquadrado rice;
   end
   % Acumula valores
   quiquadrado rice tot=[quiquadrado rice tot;quiquadrado rice];
   end
   % *** Valores finais da análise de Rice pelo ***
   % Valor mínimo da estatística QUI-QUADRADO usando a definição
   § _______
   [Cdmin, Idmin] = min(quiquadrado rice tot); %O menor valor indica o
melhor ajuste
   %Guardar valores de Rice somente para o fator K com menor valor no QUI-
QUADRADO usando a definição
   % IMPORTANTE: K=(Idmin-1)é o valor K que ocasiona o menor resultado no
QUI-QUADRADO
   p3 fimd=p3 tot(Idmin,:);
   p3 qui fimd=p3 qui tot(Idmin,:);
   sigma rice fimd=sigma rice tot(Idmin);
   k rice fimd=k rice tot(Idmin);
   r zero fimd=r_zero_tot(Idmin);
   quiquadrado rice fim=quiquadrado rice tot(Idmin);
   %%quiquadrado rice trecho(m1) = quiquadrado rice fim;
   § _______
   % Desenho dos valores finais da PDF calculada da pequena área
   % -----
   Valor kf=int2str(k rice fim);
   figure(1)
   subplot(3,2,1:2)
   %%plot(xiouta,pdfma,'.k','MarkerSize',5),zoom on,grid on
   bar(xout,n_pdf,'w');zoom on,grid on;
   %%plot(xout, n pdf, '.m')
   hold on;
   plot(r,p1,'--g','LineWidth',2);
   plot(r,p2,'-r','LineWidth',2);
   plot(r,p3 fim,'-.b','LineWidth',2);
   h = legend('PDF Empirica', 'Gauss', 'Rayleigh', ['Rice
k=', Valor_kf], 2, 'Location', 'NorthEast');
```

```
set(h,'Interpreter','none');
   titulo=({['Valores finais calculados para o desvanecimento em pequena
área - Setor ',setor,':'];...
   '(a) Comparação PDF Rice, Gauss e Rayleigh'});
   title(titulo, 'FontSize', 12);
   xlabel('r [normalizado]', 'FontSize',9)
   ylabel('PDF', 'FontSize', 10)
   hold off
   %%%saveas(figure(2),['figbsetor',setor],'jpg');
   %% Cálcula da Taxa de cruzamento de níveis e duração média de fading %
   % Cálculo da taxa de cruzamentos de nível e tempo
   % médio de desvanecimento teóricos por Rayleigh
   sinal RMS=norm(sinal ord)/sqrt(length(sinal ord)); % Valor RMS do sinal
   Ro=sinal ord./sinal RMS;
   Ro db=20*log10(Ro); % Ro em dB
   NR Ray=(sqrt(2*pi).*Ro.*exp(-(Ro.^2)));
   %%%Nc Ray=NR Ray.*(20*10^-3);
   AFD Ray=(((exp(Ro.^2))-1)./(Ro.*sqrt(2*pi)));
   NR Ray=NR Ray./max(NR Ray); % Normaliza para o valor máximo
   AFD Ray=AFD Ray./max(AFD Ray);% Normaliza para o valor máximo
   % Calculo do numero de cruzamentos de nível e tempo
   % médio de desvanecimento teóricos por Rice
   NR Rice=(sqrt((2*pi*(1+k rice fim)))).*Ro.*(exp((-k rice fim-
((1+k rice fim)).*(Ro.^2)))).*(besseli(0,2.*Ro.*(sqrt(k rice fim.*(1+k rice
_fim))));
   %%%Nc Rice=NR Rice.*(20*10^-3);
   AFD rice=(1-
marcumq(sqrt(2.*k rice fim), sqrt(2.*(1+k rice fim).*Ro.^2)))./(NR Rice);
   NR Rice=NR Rice./max(NR Rice); % Normaliza para o valor máximo
   AFD rice=AFD rice./max(AFD rice); % Normaliza para o valor máximo
   % Calculo do numero de cruzamentos de nível e tempo
   % médio de desvanecimento a partir dos dados do sinal medido (empírico)
   sig RMS=norm(sinal ord)/sqrt(length(sinal ord)); % Valor RMS do sinal
   Ro thr=sinal./sig RMS;
   thri=linspace(0.1,(max(Ro thr)),250);
   thr=(thri(1:(length(thri)-1)));
   %%thr=linspace(0.1,sqrt(10),250); % Determina níveis
```

```
%%thr=linspace(min(Ro thr), max(Ro thr), length(Ro thr)); % Determina
níveis em todo o intervalo
   thr norm db=20*log10(thr); % Passa para dB
   % Calcula a taxa de cruzamento e duração média do desvanecimento para
cada limite
   lcf=zeros(size(thr));
   afd=zeros(size(thr));
   temp am=(20*10^-3)/8560;
   for i = 1: length(thr),
   %%i=10;
   % Taxa de cruzamento de nível
   8 -----
   tmp = (Ro thr > thr(i));
   %tmp = (sinal > thr(i));
   tmp = diff(tmp);
   lcf(i) = sum(tmp==1);
   8-----
   tmp_afd = (Ro_thr < thr(i));
   %tmp_afd = (sinal < thr(i));
   afd (i)=((sum(tmp afd==1))/8560)/(lcf( i ));% Prob. / NR
   end
   lcf=lcf./(20*10^-3);% divide pelo periodo de duração
   lcf fm=lcf./(10/0.0880); % divide pelo máximo desvio da frequencia
   afd=afd.*(20*10^-3);% Multiplica pelo periodo de aquisição
   afdx fm=afd*(10/0.0880); % multiplica pelo máximo desvio da frequencia
   lcf=(lcf./max(lcf));% Normaliza para o valor máximo
   lcf fm=(lcf fm./max(lcf fm)); % Normaliza para o valor máximo
   afd=(afd./max(afd)); % Normaliza para o valor máximo
   afdx fm=(afdx fm./max(afdx fm)); % Normaliza para o valor máximo
   % Gráfico do numero de cruzamentos de nível por Rayleigh, Rice e do
Sinal medido
   subplot(3,2,[3 5])
   %%%figure
   semilogy(Ro db,NR Ray, '-r','LineWidth',2)
   axis([-20\ 15\ 10^{-5}\ 10^{0}.5]); % Limita os eixos
   zoom on, grid on
   hold on
   semilogy(Ro db,NR Rice,'-.b','LineWidth',2)
   hold on
   semilogy(thr norm db,lcf fm,'ok','MarkerSize',3)
   ylabel('Nr / fm', 'FontSize', 10)
   xlabel('Rho (dB)','FontSize',9)
   titulo=({'(b) Taxa de Cruzamento de Nível Normalizada'});
   title(titulo, 'FontSize',8);
```

```
legend('Teórica - Rayleigh','Teórica -
Rice','Medida','Location','Best')
   hold off
    %%%saveas(figure(3),['figcsetor_',setor],'jpg');
   % Gráfico do numero do tempo médio de desvanecimento por Rayleigh, Rice
e do Sinal medido
    subplot(3,2,[4 6])
    %%%figure
    semilogy(Ro db, AFD Ray, '-r', 'LineWidth', 2)
    axis([-10 25 10^-5 10^0.5]); % Limita os eixos
    zoom on, grid on
   hold on
    semilogy(Ro_db,AFD rice,'-.b','LineWidth',2)
    semilogy(thr norm db,afdx fm,'ok','MarkerSize',3)
    ylabel('Tr * fm','FontSize',10)
   xlabel('Rho (dB)','FontSize',9)
    titulo=({' (c) Duração Média de Desvanecimento Normalizada'});
    title(titulo, 'FontSize',8);
    legend ('Teórica - Rayleigh', 'Teórica -
Rice','Medida','Location','Best')
    hold off
    saveas(figure(1),['Desv Rapido Setor ',setor],'jpg');
    %%%saveas(figure(4),['figdsetor',setor],'jpg');
    %% Acumula os valores de todos os setores do trecho %
    % 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_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 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];
   888250
end
% Salva arquivo com valores finais de todas as pequenas áreas
% -----
arquivo_saida2=strcat('dados_pdf_teste_qui_Rota.mat');
nome arq=strcat(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 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');
```

### Programa para gerar tabela com resultados do desvanecimento rápido:

```
%
% **************************
clear all; % Apaga todas as variáveis do Espaço de Trabalho
close all; % fecha os graficos
```

```
clc; % Apaga área de comando
% Carrega arquivo com dados de todas as pequenas áreas para sumarização
§ _______
arquivo_entrada=strcat('dados_pdf_teste_qui_Rota.mat');
nome arq=strcat(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');
%-----
rt=6; %numero da Rota
§_____
% 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];
응
% 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));
ind_min_gauss=ind_passou_qui_gauss(ind_min_gauss);
ind max gauss=ind passou qui gauss(ind max 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));
ind_min_ray=ind_passou_qui_ray(ind min ray);
ind max ray=ind passou qui ray(ind max 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 pagaussssaram
[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));
ind min rice=ind passou qui rice(ind min rice);
ind max rice=ind passou qui rice(ind max 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) &...</pre>
compara qui(:,1) <= compara qui(:,3) &...</pre>
compara h(:,1) == 0);
[row menor qui ray, col menor qui ray] =
find(compara qui(:,2) <= compara qui(:,1) &...</pre>
compara qui(:,2)<=compara qui(:,3)&...</pre>
compara h(:,2) == 0);
[row menor qui rice, col menor qui rice] =
find(compara qui(:,3)<=compara qui(:,2) &...</pre>
compara_qui(:,3) <= compara_qui(:,1) &...</pre>
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: \sqrt[8]{1.0} \sqrt{t} | Quantidade total setores no trecho:
%1.0f\n',...
rt,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(['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('Quantidade de vezes que a PDF passou no teste Qui com menor valor')
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(' ')
\mbox{\%} 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('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: %6.2f para QUI: %6.2f\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: %6.2f para QUI: %6.2f\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: %6.2f para menor QUI: %6.2f\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: %6.2f para maior QUI: %6.2f\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([num2str(min(k rice trecho)),' ',...
 % num2str(mean(k rice trecho)),' ',...
% num2str(max(k rice trecho))]);
                                                                                              %6.2f %6.2f %6.2f\n',...
fprintf('
min(k_rice_trecho), mean(k_rice_trecho), max(k_rice_trecho));
% disp(' ')
응응
% 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: Gauss\tRayleigh
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('Menor QUI:
                                                                                                                                     %6.2f %6.2f\t
%6.2f\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('Maior QUI:
%6.2f\t\n',...
max val passou qui gauss, max val passou qui ray, max val passou qui rice);
% disp(' ')
% Encontra posições onde nenhum teste passou
[row nenhum, col nenhum] = find(compara h(:,1)==1 \& compara h(:,2)==1 \& compara h(:,2)==1 \& compara h(:,2)==1 & compara h(:,
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(:,2) == 1 \& compara h(:,2) == 1 & compara
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(:
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('Qualidade de ajuste pelo 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))]);
응용 ------
 %%% Geração da tabela com os valores do teste Qui para cada setor %%%
disp('
')
disp('-----
disp('Valores do teste Qui em cada setor para cada PDF: Gauss Rayleigh
Rice')
disp('---
 -- ' )
```

```
Sequencia=length(qui teste gauss trecho);
Seq=zeros(1,Sequencia+1);
Seq = 1:Sequencia;
Seq2=Seq';
for i = 1:Sequencia
   d=compara h;
   if(d(i,1) == 1)
      qui teste gauss trecho(i)=0/0;
   else
    qui teste gauss trecho(i)=qui teste gauss trecho(i);
   if(d(i, 2) == 1)
      qui_teste_ray_trecho(i)=0/0;
   else
      qui teste ray trecho(i)=qui teste ray trecho(i);
  end
  if(d(i,3) == 1)
      qui teste rice trecho(i)=0/0';
   else
      qui teste rice trecho(i)=qui teste rice trecho(i);
  end
   fprintf(' %d %6.2f %6.2f
                                            %6.2f
%d\n',...
Seq2(i), qui teste gauss trecho(i), qui teste ray trecho(i), qui teste rice tr
echo(i),...
   k rice trecho(i));
end
disp('----')
disp('Obs.: NaN - Indica que a PDF não passou no teste Qui-quadrado para o
setor')
8 -----
%% Desenha gráfico das PDF onde todos passaram no teste
%plot(xout trecho(row todos,:),n pdf trecho(row todos,:),'dr','MarkerSize',
8 -----
%%255
% Desenha PDF onde nenhum passou no teste
```

```
%plot(xout trecho(row nenhum,:),n pdf trecho(row nenhum,:),'dr','MarkerSize
1,8)
% 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','MarkerSi
        _____
응 ----
% Desenha PDF onde RICE passou com menor Qui
figure(1)
subplot(2,1,1)
%plot(xout trecho(ind min rice,:),n pdf trecho(ind min rice,:),'dm','Marker
bar(xout trecho(ind min rice,:), n pdf trecho(ind min rice,:), 'w')
hold on
%grid on
plot(r trecho(ind min rice,:),p3 rice trecho(ind min rice,:),'-
b','LineWidth',2)
plot(r trecho(ind min rice,:),pl trecho(ind min rice,:),'--
g','LineWidth',2)
plot(r trecho(ind min rice,:),p2 trecho(ind min rice,:),'-
.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('PDF', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({'Comparação PDF Rice, Gauss e Rayleigh:';...
['(a) Menor Qui para Rice - Setor: 'num2str(ind_min_rice) ...
' e Fator K=' num2str(k rice trecho(ind min rice))]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
legend('Empirico','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','NorthEast');
hold off
% Desenha PDF onde RICE passou com maior Qui
subplot(2,1,2)
%plot(xout trecho(ind max rice,:),n pdf trecho(ind max rice,:),'dm','Marker
bar(xout trecho(ind max rice,:),n pdf trecho(ind max rice,:),'w')
hold on
%grid on
plot(r trecho(ind max rice,:),p3 rice trecho(ind max rice,:),'-
b','LineWidth',2)
plot(r trecho(ind max rice,:),pl trecho(ind max rice,:),'--
g','LineWidth',2)
plot(r trecho(ind max rice,:),p2 trecho(ind max rice,:),'-
.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('PDF', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({['(b) Maior Qui para Rice - 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','Location','NorthEast');
hold off
saveas(figure(1),['melhor setor Rice ',num2str(ind_min_rice)],'jpg');
% Desenha PDF onde Rayleigh passou com menor Qui
figure(2)
subplot(2,1,1)
%plot(xout trecho(ind min ray,:),n pdf trecho(ind min ray,:),'dm','MarkerSi
ze',5)
```

```
bar(xout trecho(ind min ray,:),n pdf trecho(ind min ray,:),'w')
hold on
grid on
plot(r trecho(ind min ray,:),p3 rice trecho(ind min ray,:),'-
b','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_ray,:),p1_trecho(ind_min_ray,:),'--g','LineWidth',2)
plot(r trecho(ind min ray,:),p2 trecho(ind min ray,:),'-.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('PDF', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({['(c) Menor Qui para Rayleigh - Setor: ' num2str(ind min ray)]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','NorthEast');
hold off
% Desenha PDF onde Rayleigh passou com maior Qui
subplot(2,1,2)
%plot(xout trecho(ind max rice,:),n pdf trecho(ind max rice,:),'dm','Marker
bar(xout trecho(ind max ray,:),n pdf trecho(ind max ray,:),'w')
hold on
grid on
plot(r trecho(ind max ray,:),p3 rice trecho(ind max ray,:),'-
b','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_ray,:),p1_trecho(ind_max_ray,:),'--g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_ray,:),p2_trecho(ind_max_ray,:),'-.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('PDF', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({['(d) Maior Qui para Rayleigh - Setor: ' num2str(ind max ray)]});
title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','NorthEast');
hold off
saveas(figure(2),['melhor setor Ray ',num2str(ind min ray)],'jpg');
% -----
% Desenha PDF onde Rayleigh Gauss passou com menor Qui
figure(3)
subplot(2,1,1)
%plot(xout trecho(ind min gauss,:),n pdf trecho(ind min gauss,:),'dm','Mark
bar(xout trecho(ind min gauss,:),n pdf trecho(ind min gauss,:),'w')
hold on
grid on
plot(r trecho(ind min gauss,:),p3 rice trecho(ind min gauss,:),'-
b','LineWidth',2)
plot(r trecho(ind min gauss,:),pl trecho(ind min gauss,:),'--
g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_gauss,:),p2_trecho(ind_min_gauss,:),'-
.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('PDF', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({['(e) Menor Qui para Gauss - Setor: ' num2str(ind min gauss)]});
title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','NorthEast');
hold off
% Desenha PDF onde Gauss passou com maior Qui
subplot(2,1,2)
```

```
%plot(xout trecho(ind max gauss,:),n pdf trecho(ind max gauss,:),'dm','Mark
erSize',8)
bar(xout trecho(ind max gauss,:),n pdf trecho(ind max gauss,:),'w')
hold on
grid on
plot(r trecho(ind max gauss,:),p3 rice trecho(ind max gauss,:),'-
b','LineWidth',2)
plot(r trecho(ind max gauss,:),pl trecho(ind max gauss,:),'--
g','LineWidth',2)
plot(r trecho(ind max gauss,:),p2 trecho(ind max gauss,:),'-
.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('PDF', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
titulo=({['(f) Maior Qui para Gauss - Setor: ' num2str(ind max gauss)]});
title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','NorthEast');
hold off
saveas(figure(3),['melhor setor Gauss ',num2str(ind min gauss)],'jpg');
% Fim
§ **********************************
```

#### Programa para analisar o desvanecimento lento:

```
%%Cálculo da perda no percurso pela potência recebida
clear all;
close all;
clc;
rt=N; %identifica numero da Rota
%%dist km seg=dlmread('dist r2 Rota km.txt'); % lê as distancias em km do
arquivo em txt
load MediaMovDistRota
%% Procedimento para excluir pontos que são Exceção
fimfor=size(MediaMovFinal,1);
k=1;
for j = 1:1:fimfor
    if MediaMovFinal(j,4) < -91.5</pre>
        MediaMovnova(k,1) = MediaMovFinal(j,1);
        MediaMovnova(k,2) = MediaMovFinal(j,2);
        MediaMovnova(k,3) = MediaMovFinal(j,3);
        MediaMovnova(k, 4) = MediaMovFinal(j, 4);
        MediaMovnova(k,5) = MediaMovFinal(j,5);
        MediaMovnova(k, 6) = MediaMovFinal(j, 6);
        MediaMovnova(k,7)=MediaMovFinal(j,7);
        k=k+1;
    end
%% Processamneto dos dados
dist km seg=MediaMovnova(:,7); % lê a coluna relativa as distancias em km
da matriz MediaMovFinal
%%nivel sinal rx=dlmread('pot dbm Roberto.txt');%lê potencia do sinal de
recepção em dBm do arquivo em txt
```

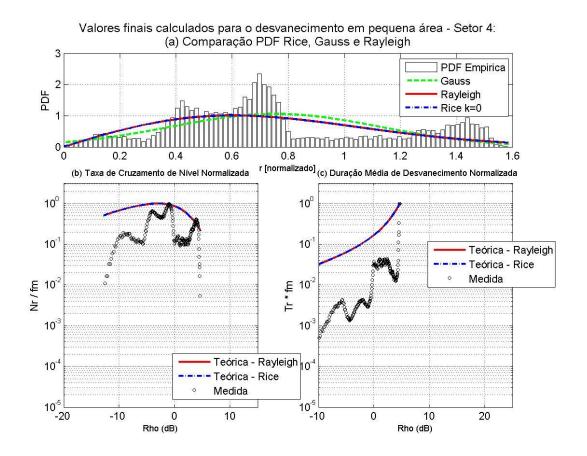
```
nivel sinal rx=MediaMovnova(:,4); %% lê a coluna relativa a potencia do
sinal de recepção em dBm da matriz MediaMovFinal
Prx=nivel sinal rx;
% Distância do segmento em logarítmico
dist km seg log=log10(dist km seg);
§______
% Prx=Prx d 0-10*n*log10(distância/d 0)
% y=a-k*x => forma do polinimio usado
% x=log10(distância/d 0)
% k=10*n
% a=Prx d 0
X=[ones(size(dist km seg log)) -dist km seg log];
X t=X';
X t X=X t*X;
X t Y=X t*Y;
AS=[X t X(1,1) X t X(1,2) X t Y(1); X t X(2,1) X t X(2,2) X t Y(2)];
resul=rref(AS);
Prx d 0 est=resul(1,3);
fator n prx=resul(2,3)/10; % fator de atenuação em função da distância
intfn=round(fator n prx); %aproxima o fator de atenuação para colocar no
titulo
fn=int2str(1);
Prx_est=Prx_d_0_est-10*fator_n_prx.*dist_km_seg_log;
% Desenha a Reta de melhor ajuste
rota=int2str(rt);
figure(1)
%%com valores de Distância do segmento em logarítmico
%plot(dist km seg log,Y,'*b',dist km seg log,Prx est,'-r','LineWidth',1);
응응응
%%com valores de Distância do segmento em kilometros mas em escala
logaritmica:
semilogx(dist km seg,Y,'*b',dist km seg,Prx est,'-r','LineWidth',1);
zoom on, grid on
xlabel('Distância em relação ao Tx [km] ', 'FontSize', 12, 'FontWeight',
'bold')
ylabel('Nivel de sinal [dBm]', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
titulo=({['Reta de melhor ajuste para perda no percurso Rota ',rota,', n =
',fn]});
title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
saveas(figure(1),['RetaMA Alt Rota',rota],'jpg');
%% Cálculo do desvanecimento lento
Desv lento=Prx-Prx est;
num div=fix(sqrt(length(Desv lento)));
%%num div=20;
varia lento=Desv lento; % Variação lente sem ordenar
Desv lento=sort(Desv lento); % Ordena os números para melhorar gráfico
% 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;
% Desenha histograma
figure(2)
bar(xout, n pdf), zoom on, grid on
hold on;
% Cálculo da PDF de Gauss
```

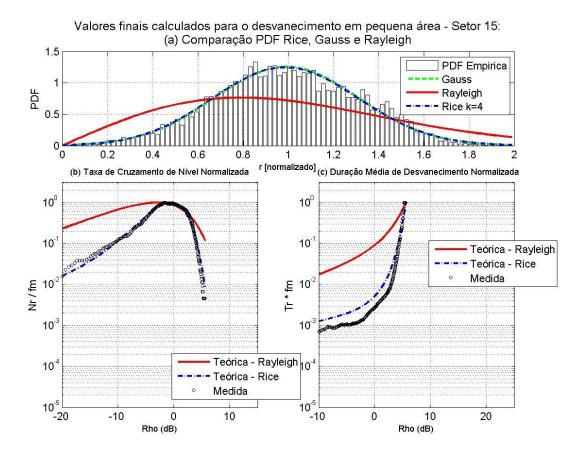
```
media=mean(Desv_lento); % Obs.: media tende a zero
desvio padrao=std(Desv lento);
d p=sqrt(sum(((Desv lento).^2))/length(Desv lento)); % Obs.: É o mesmo
valor de sdt(Desv lento)
p gauss=(1/(desvio padrao*sqrt(2*pi)))...
.*exp((-((Desv lento-media).^2))...
./(2*desvio padrao^2));
% Desenha gráfico de Gauss
plot(Desv_lento,p_gauss,'-g','LineWidth',2);
h = legend('PDF Empirica', 'Gauss', 2, 'Location', 'NorthEast');
set(h,'Interpreter','none');
xlabel('Nivel de sinal [dBm]', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('PDF', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({['Comparação PDF Gauss para a Rota ', rota]});
title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
hold off;
saveas(figure(2),['Desv Lento alt Rota ',rota],'jpg');
%% Teste QUI quadrado
% -----
bins=0:(length(xout)-1); % Número de pontos para uso no teste <<<====
% -----
% PDF Gaussiana *********************************
p_gauss_qui=(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 qui, 'emin', 1, 'nparams', 2);
st gauss df=st gauss.df;
qui_teste_gauss=st_gauss.chi2stat; % Estatistica Q-quad, O menor valor
indica o melhor ajuste
x qui teste gauss = chi2inv(prob gauss,st gauss.df); % O MAIOR valor indica
o melhor ajuste
save('Qui teste gauss alt Rota.mat', 'qui teste gauss');
%qui gauss(rt)=qui teste gauss;
%x qui gauss(rt)=x qui teste gauss;
%% Desenha gráfico da Variação lenta já descontando a perda no percurso
figure(3)
plot(varia lento);
zoom on, grid on;
xlabel('Setores', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('Nível de sinal [dBm]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=(['Variação lenta no domínio do tempo Rota ', rota]);
title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
```

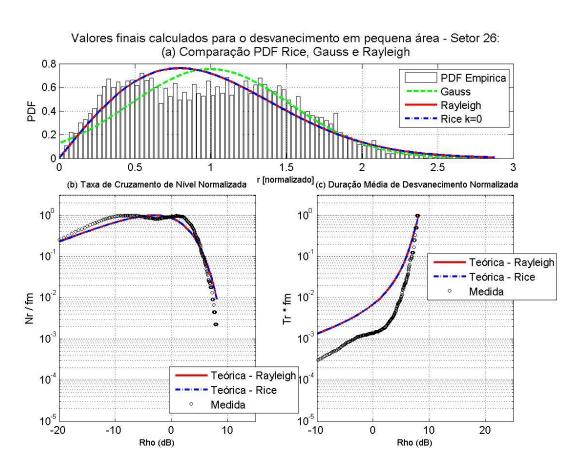
# A.2 GRÁFICOS DO DESVANECIMENTO RÁPIDO

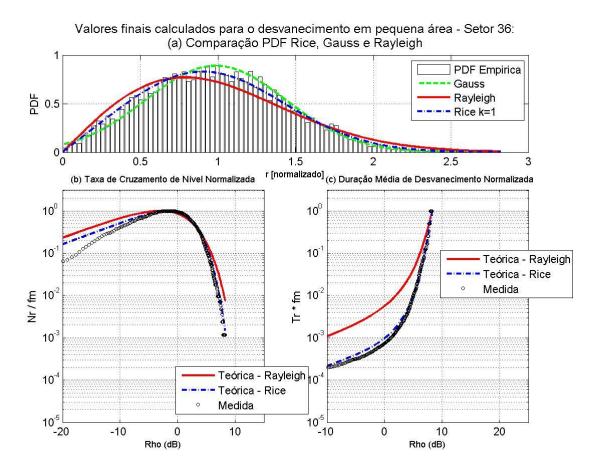
Para que não ficasse muito árdua a leitura do Capítulo 5, sobrecarregada com gráficos e para que se pudesse deixar registrado em maiores detalhes os resultados dos processamentos realizados nesta dissertação, este apêndice reúne os gráficos com o ajuste para a estatística do desvanecimento rápido e com a taxa de cruzamento de nível e a duração média de desvanecimento para os setores mais significativos em cada uma das rotas medidas.

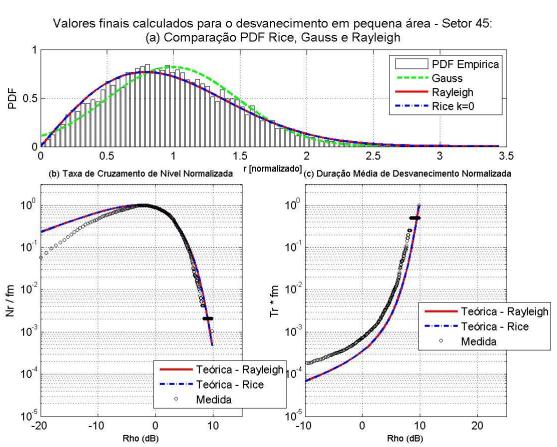
# Rua Presidente Backer (Rota 1):

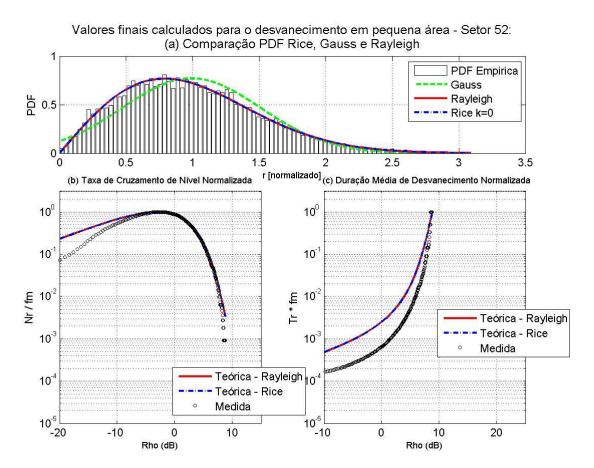


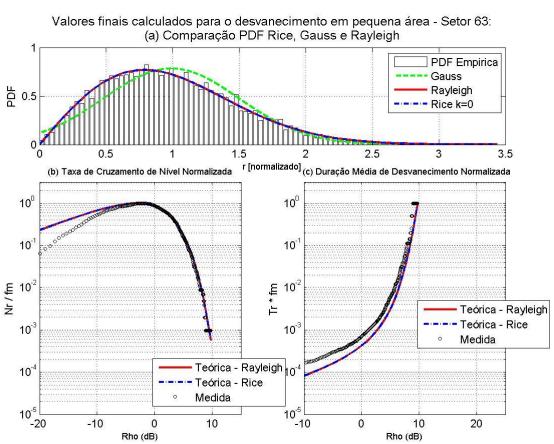


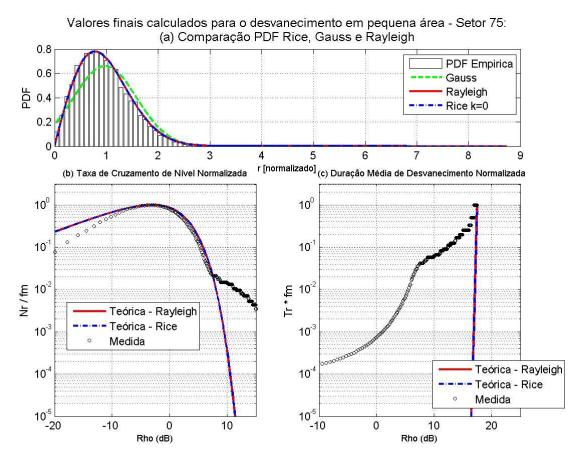


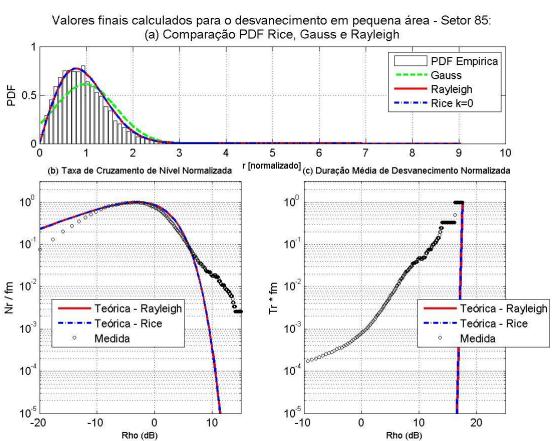












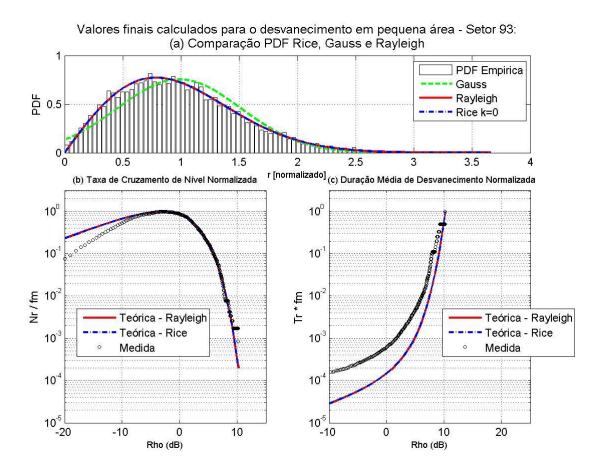
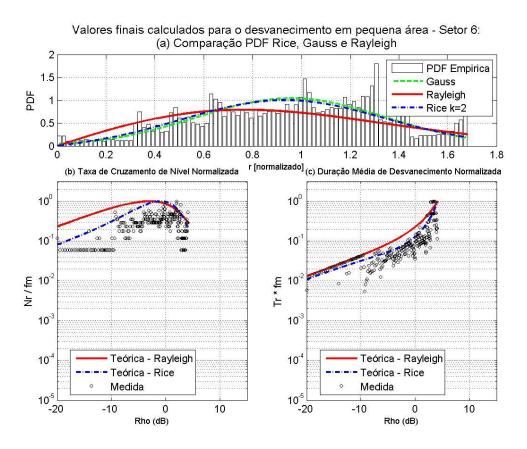
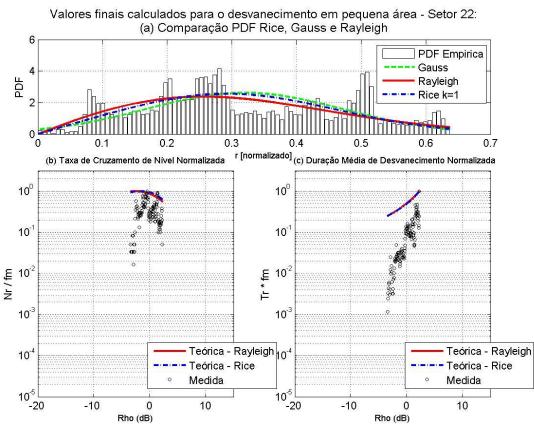
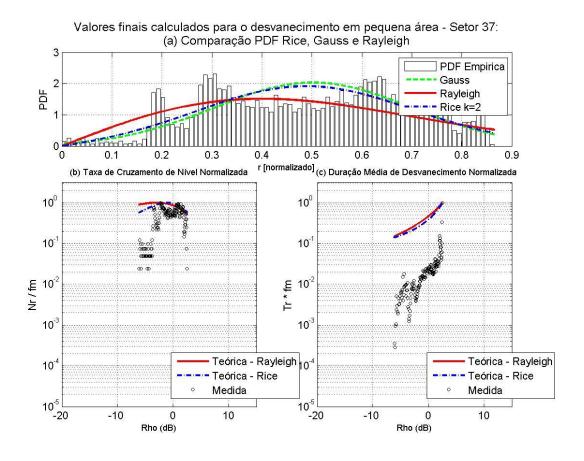


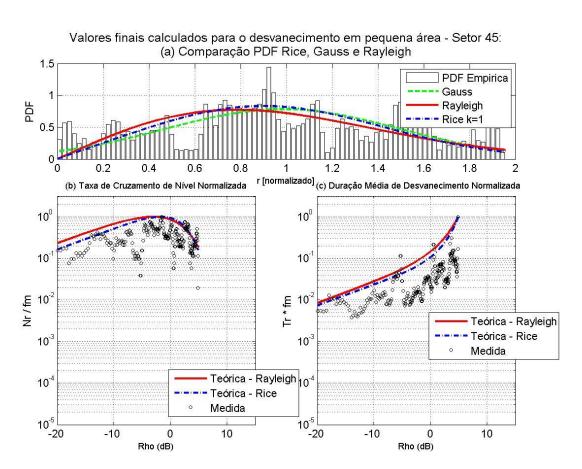
Figura 50: Ajuste estatístico para o desvanecimento rápido, LCR e AFD - Rota 1

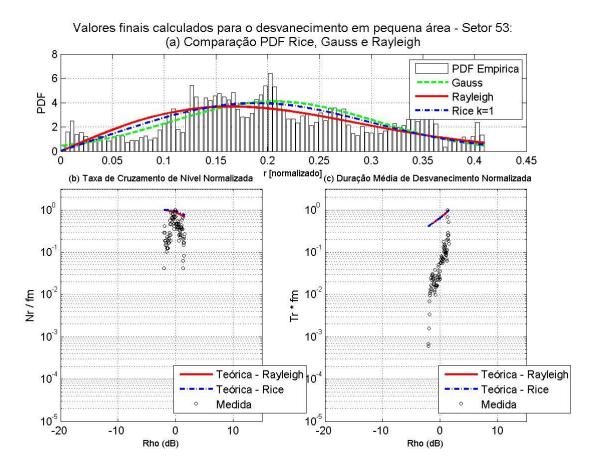
# Praia de Icaraí (Rota 2):

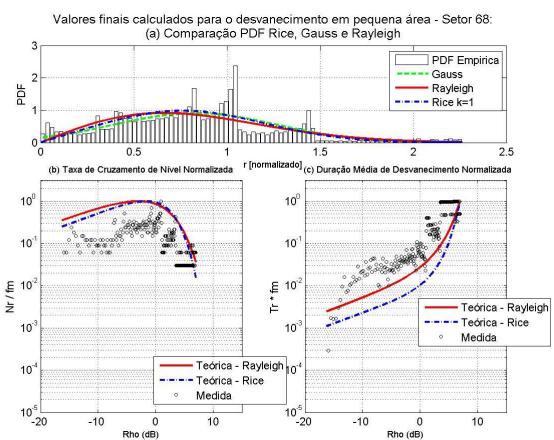


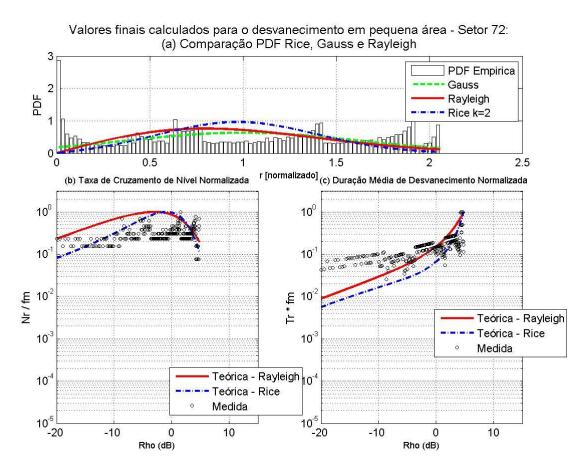


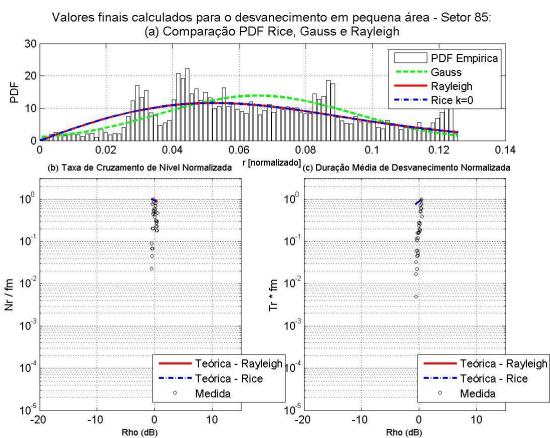


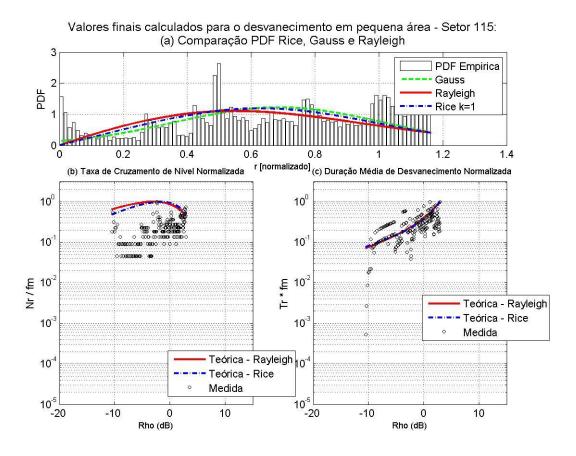












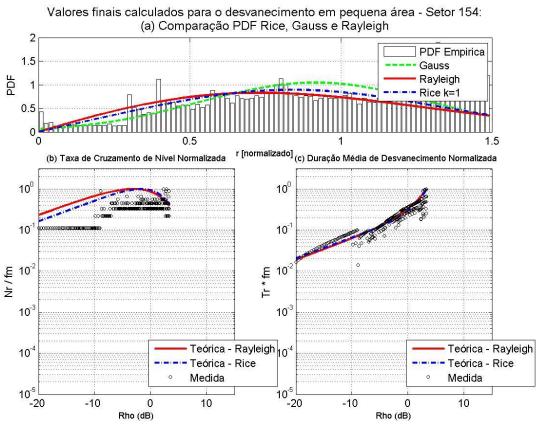
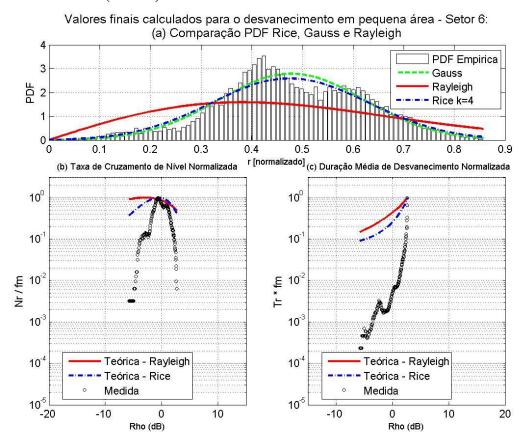
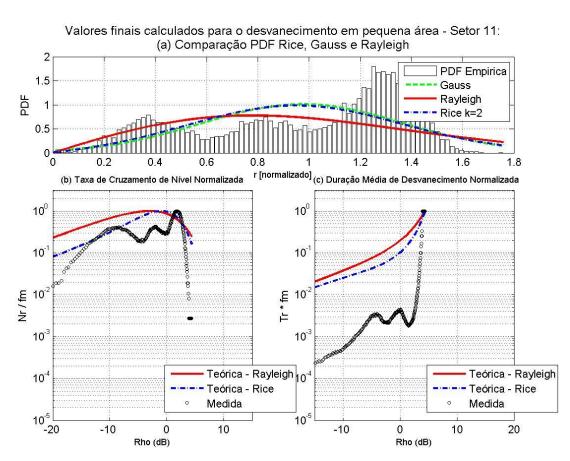
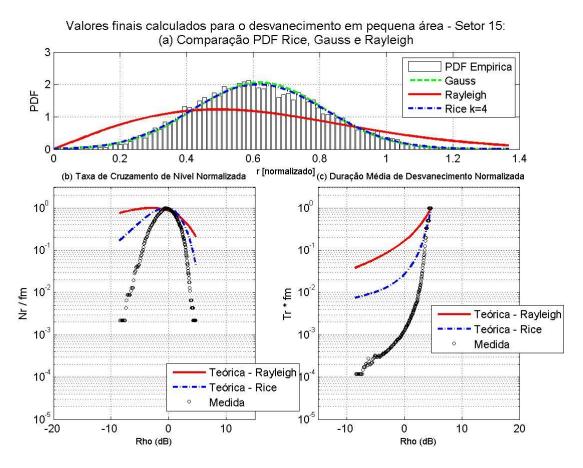


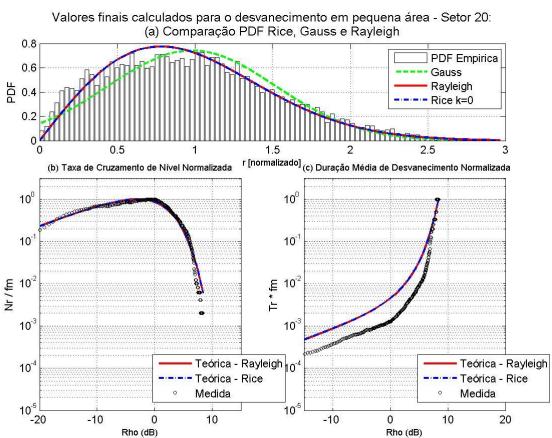
Figura 51: Ajuste estatístico para o desvanecimento rápido, LCR e AFD - Rota 2

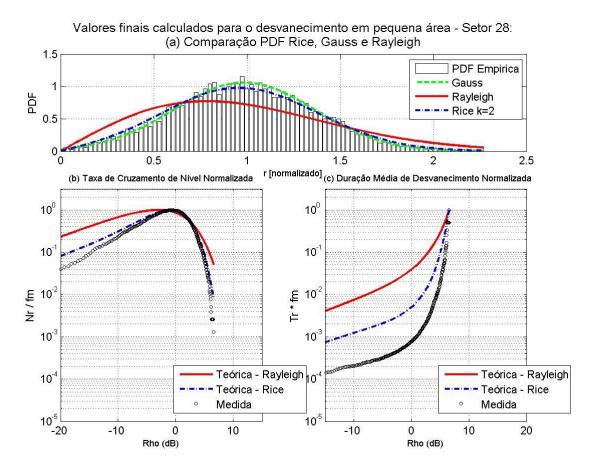
## Rua Mariz e Barros (Rota 3)

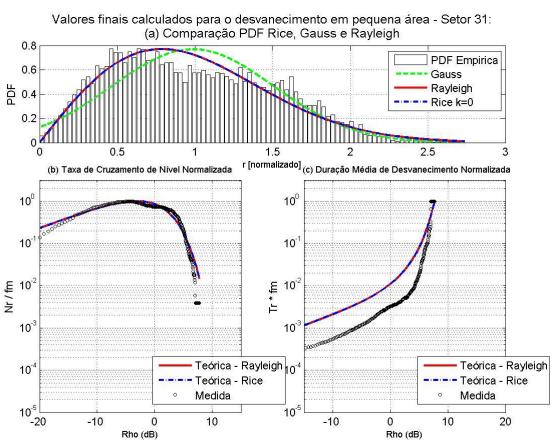


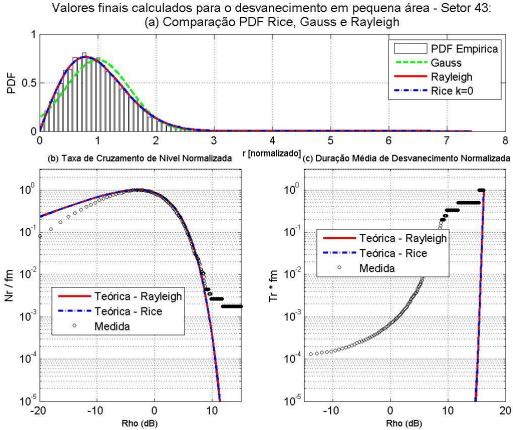


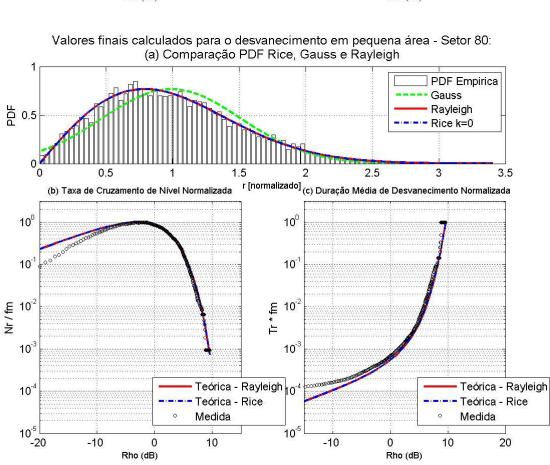












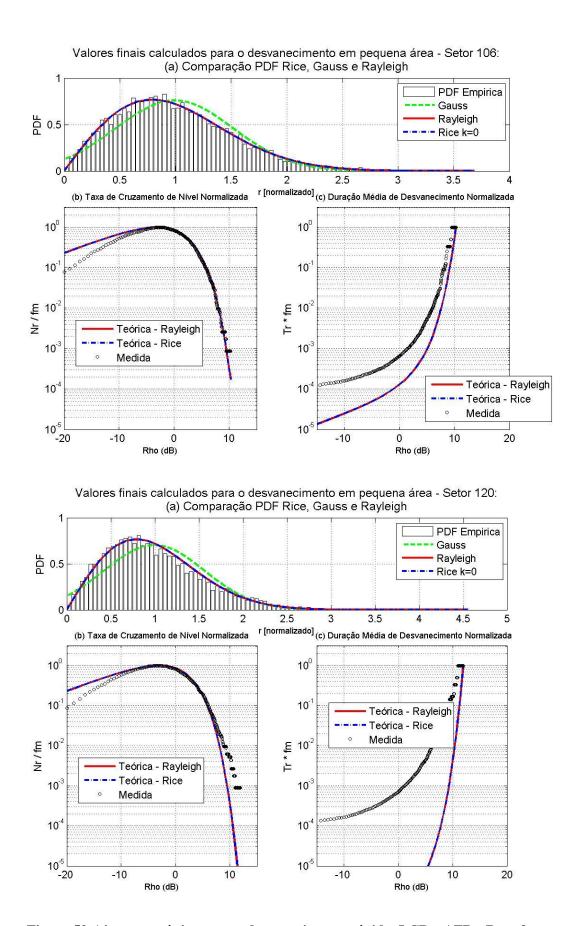
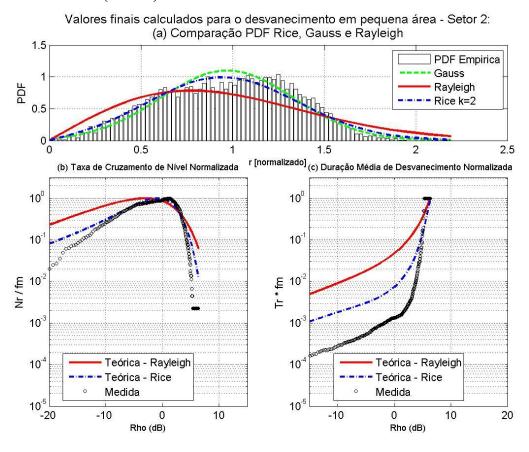
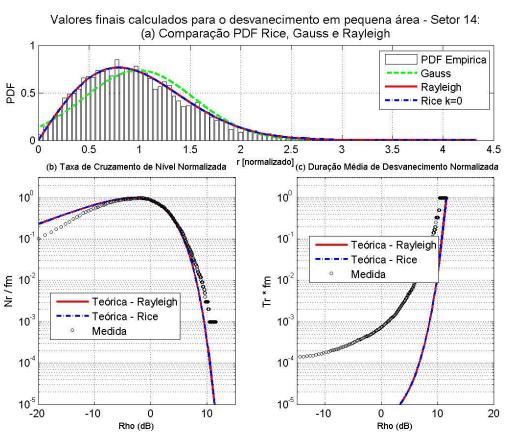
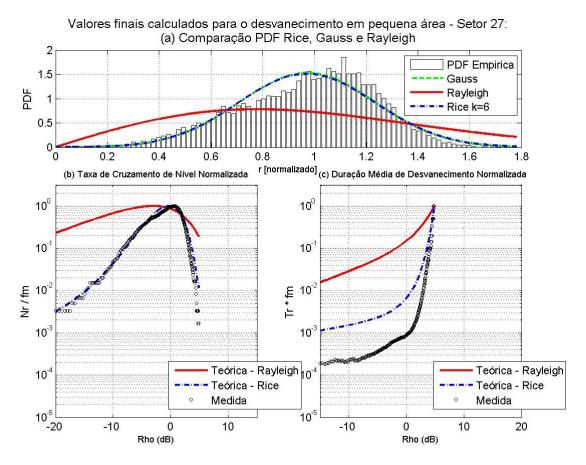


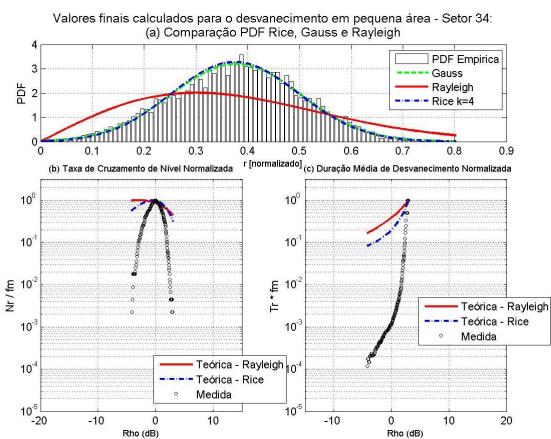
Figura 52: Ajuste estatístico para o desvanecimento rápido, LCR e AFD - Rota 3

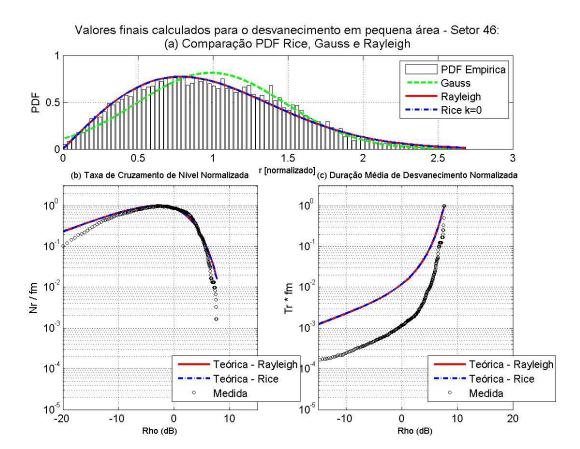
## Rua Moreira César (Rota 4):

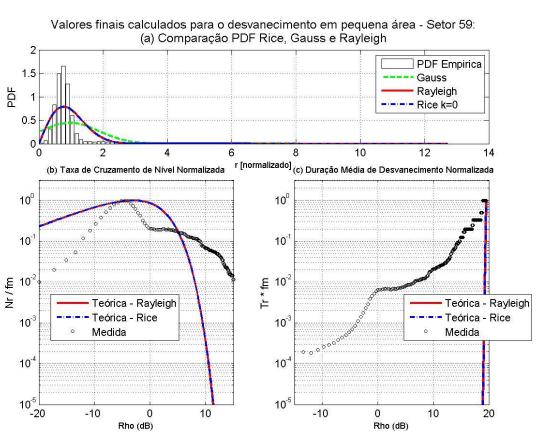


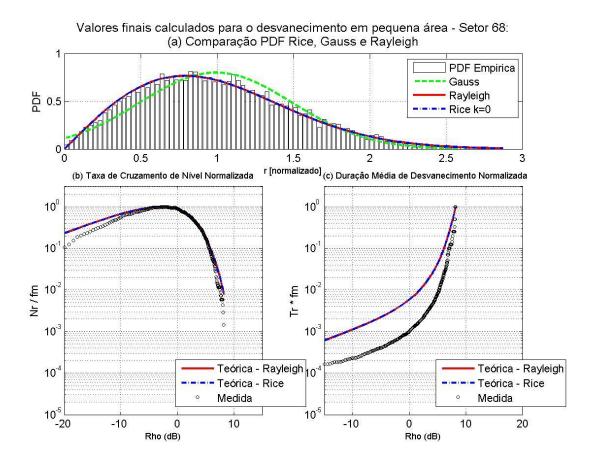


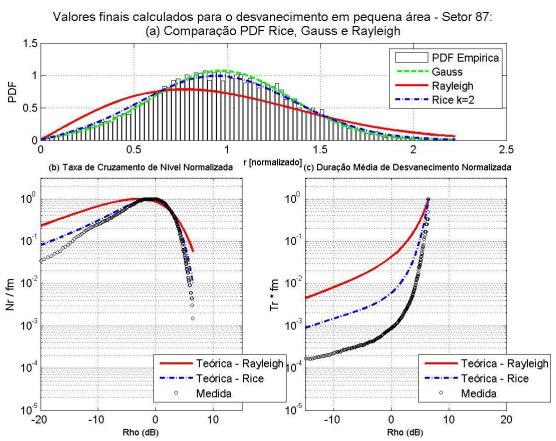












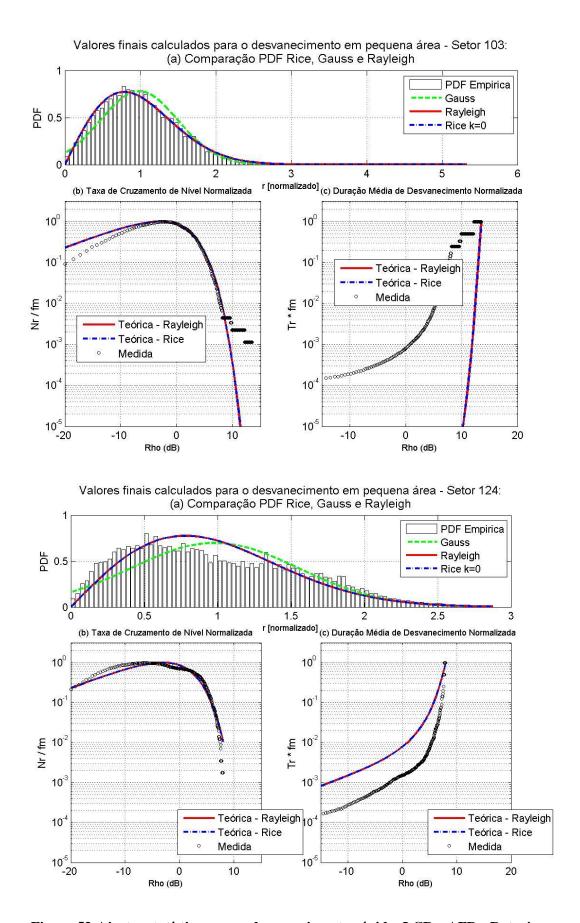
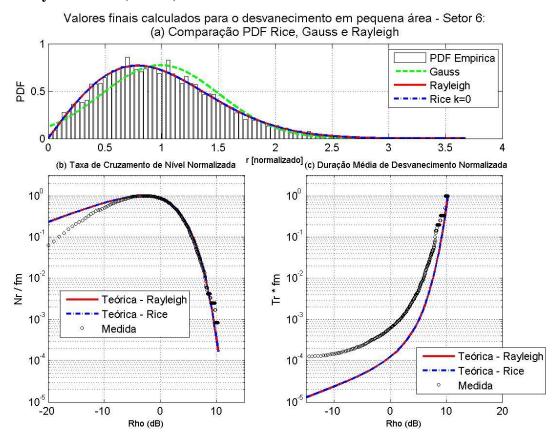
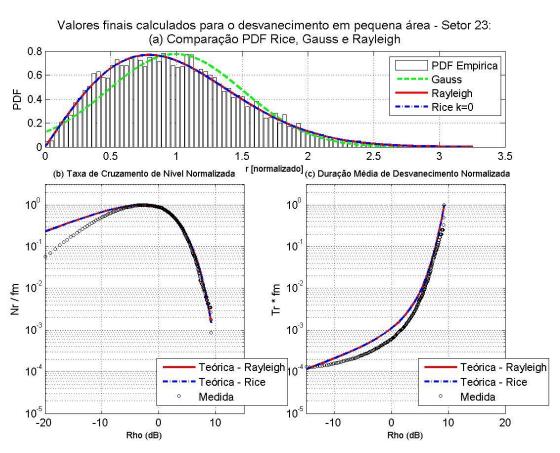
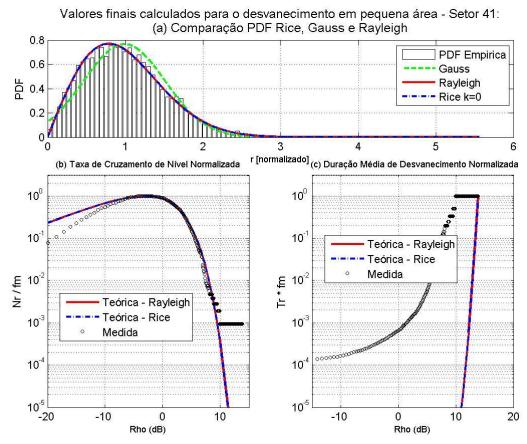


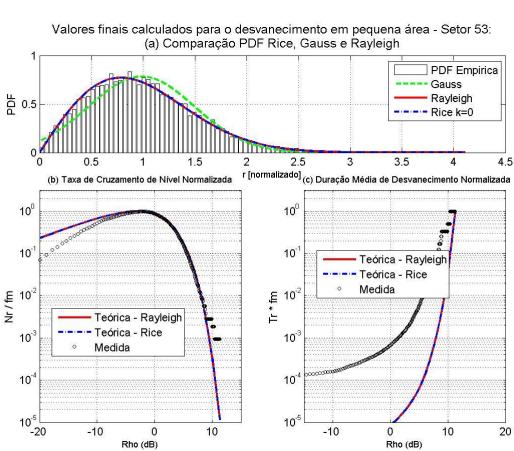
Figura 53: Ajuste estatístico para o desvanecimento rápido, LCR e AFD - Rota 4

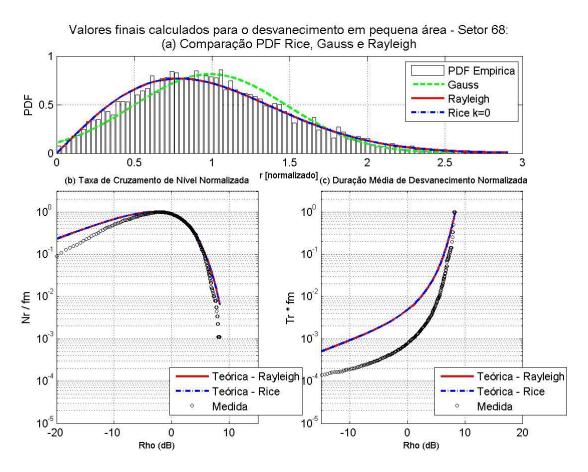
## Avenida Ary Parreiras (Rota 5):

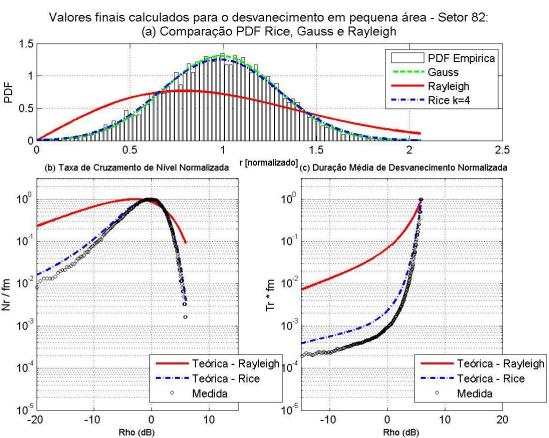


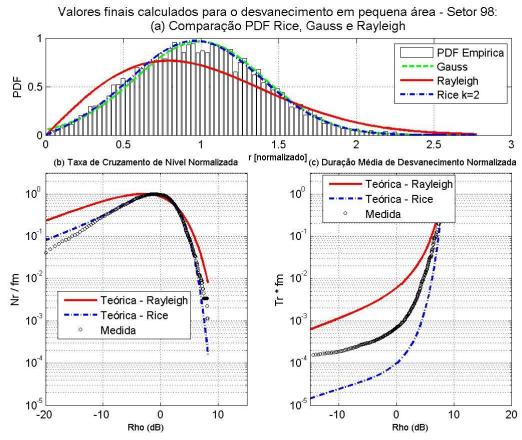


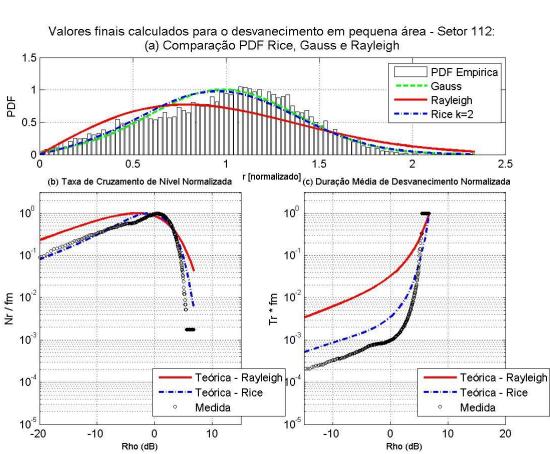


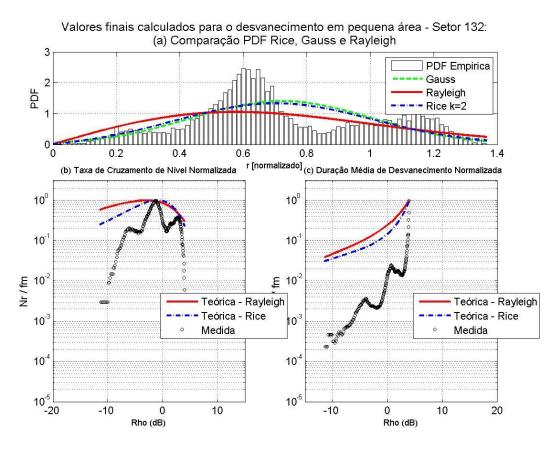












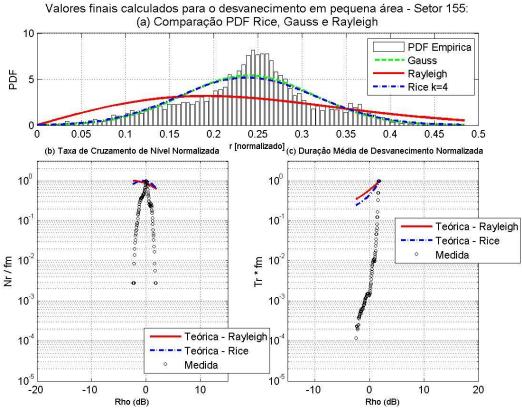
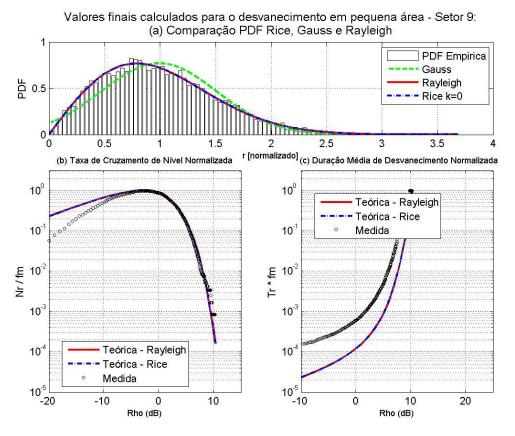
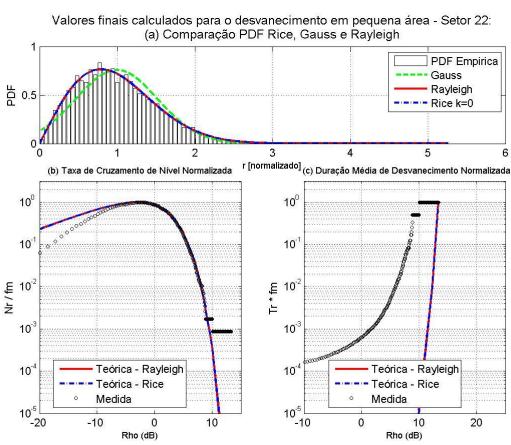
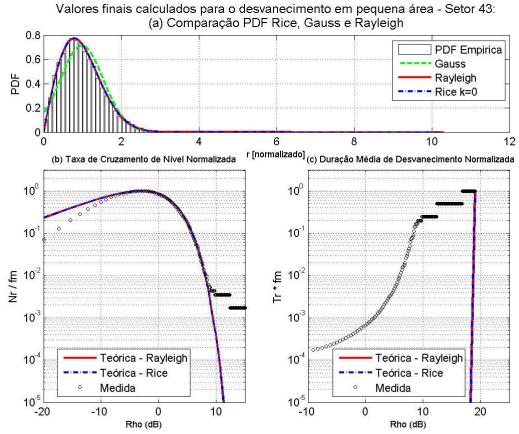


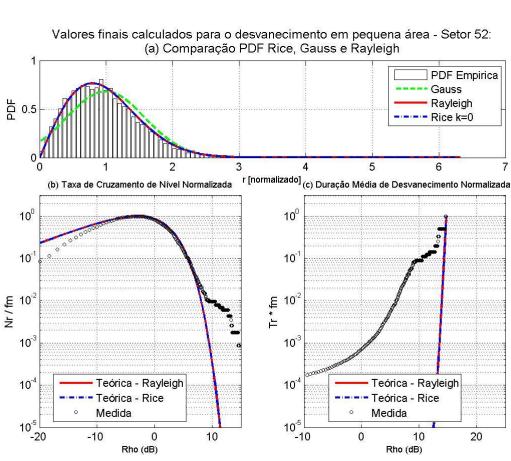
Figura 54: Ajuste estatístico para o desvanecimento rápido, LCR e AFD - Rota 5

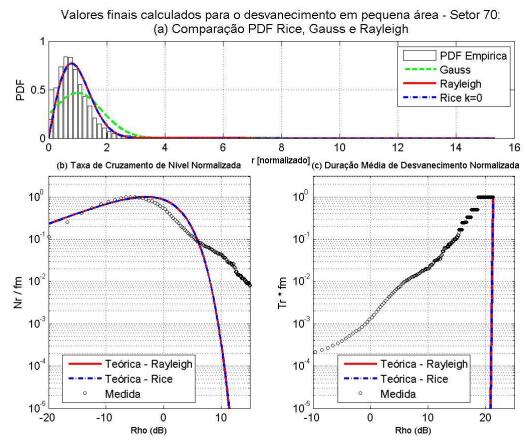
## Avenida Roberto Silveira (Rota 6):

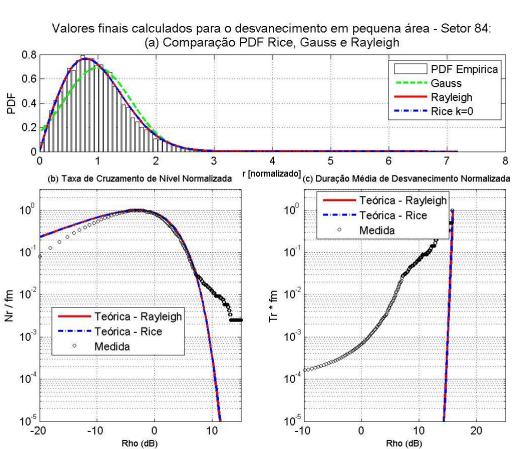


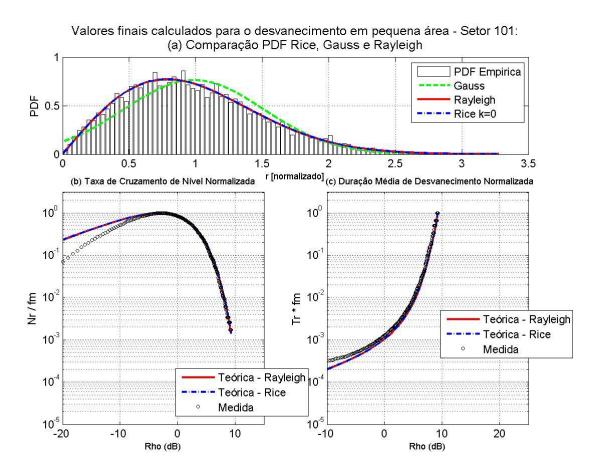


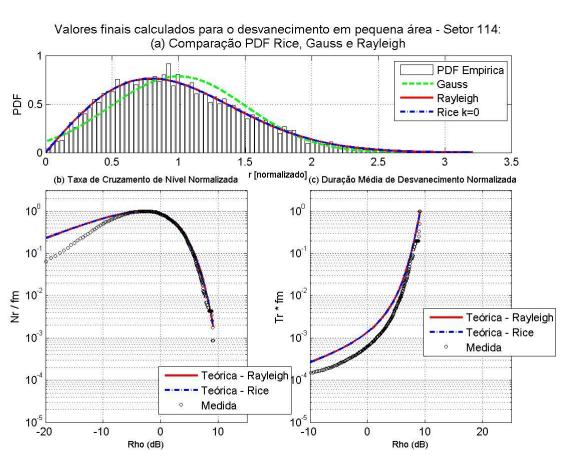












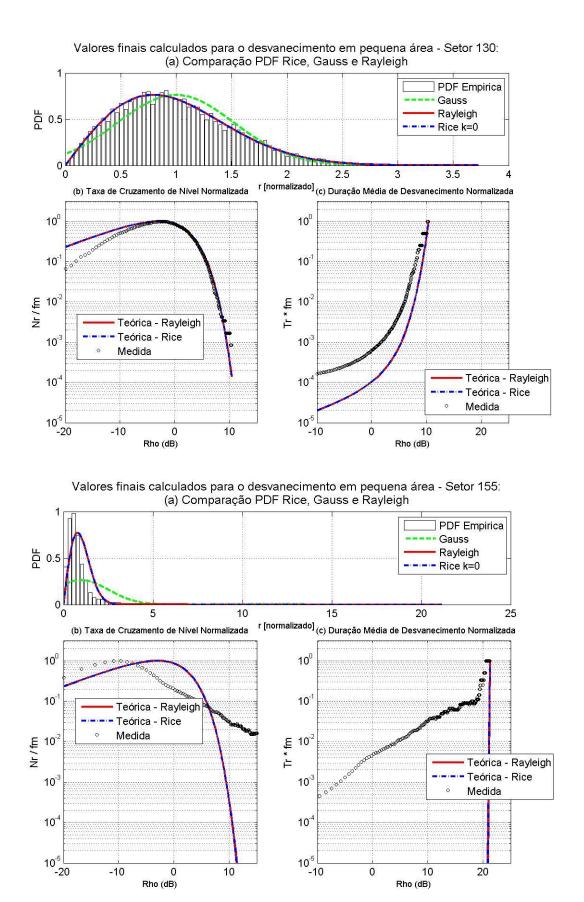


Figura 55: Ajuste estatístico para o desvanecimento rápido, LCR e AFD - Rota 6

# A.3 TABELAS DO DESVANECIMENTO RÁPIDO

Para facilitar a apresentação dos resultados no Capítulo 5 foram apresentados, na tabela 11, apenas para Rota 1 os valores do teste qui-quadrado detalhados para cada distribuição em cada setor. Desta forma, foi deixado para apresentar neste apêndice estas tabelas para as demais rotas com estes resultados dos processamentos realizados nesta dissertação, para que se pudesse deixar registrado.

Estas tabelas apresentam, para cada rota, os valores calculados pelo teste quiquadrado, no caso de ter passado no mesmo no setor especificado, sendo informando também o melhor valor, obtido por este teste, do K para Rice, além da identificação de quando não passa no mesmo.

Tabela 12: Valores do teste qui-quadrado para cada distribuição em cada setor de Rota 2

Valores do teste Qui em cada setor para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice Setor QUI Gauss QUI Ray QUI Rice 1 29.85 43.09 43.09 k(rice) 29.85 43.09 43.09 - 0 33.47 18.58 32.68 3 27.60 23.78 23.78 15.90 21.19 20.49 4 48.76 48.76 5 35.14 0 18.99 13.64 16.74 6 15.45 25.99 25.03 35.18 33.71 Я 30.02 9 21.77 26.63 26.63 0 10 28.02 32.24 28.77 11 18.75 16.83 16.83 10.34 10.88 10.34 12 0 27.17 28.98 12.01 28.98 13 0 14 9.50 12.01 16.95 22.43 22.43 15 16 43.46 52.35 52.35 17 55.73 NaN NaN 18 65.56 NaN NaN 0 38.59 28.46 19 28.46 0 108.57 79.11 89.42 20 108.57 0 21 100.38 90.31 22 54.65 46.39 46.39 NaN NaN NaN 23 NaN 24 NaN NaN 25 84.97 112.21 105.22 26 NaN NaN NaN 0 NaN NaN 27 NaN 0 28 NaN NaN NaN 0 29 NaN NaN NaN 3.0 NaN NaN NaN NaN NaN NaN 3.1 32 NaN NaN NaN 33 NaN NaN NaN NaN 34 NaN NaN 0 NaN NaN NaN 3.5 36 NaN NaN NaN 26.83 28.67 23.74 37 3.8 43.48 47.71 47.71 11.96 39 14.59 12.59 40 53.53 76.95 63.89 41 NaN NaN NaN 42 44.17 36.58 34.28 35.00 43 27.52 33.65 44 45.14 65.12 65.12 27.71 27.71 45 16.69 46 NaN NaN NaN 47 NaN NaN NaN 48 NaN NaN NaN 49 NaN NaN NaN 0 NaN NaN 5.0 0 NaN 51 NaN NaN NaN NaN 52 NaN NaN 66.12 66.12 56.90 53 54 NaN NaN NaN 0 55 NaN NaN NaN 5.6 NaN NaN NaN 0 79.99 57 95.75 87.36 108.25 5.8 49.94 108.25 0 59 59.03 NaN NaN 60 37.67 75.44 75.44 0

61	17.15	22.64	22.64	0
62	59.36	93.05	93.05	0
63	28.97	37.34	37.34	0
64	78.50	84.89	84.89	0
65	41.30	79.66	79.66	0
66	52.02	62.57	52.74	2
67	25.61	26.36	26.36	0
68	19.70	20.51	20.51	0
69	44.90	94.98	94.98	0
70	22.92	30.34	25.15	1
71	25.18	69.59	69.59	0
72				ō
	60.05	NaN	NaN	
73	NaN	NaN	NaN	0
74	NaN	NaN	NaN	0
75	NaN	NaN	NaN	0
76	NaN	NaN	NaN	0
77	NaN	NaN	NaN	0
78	NaN	NaN	NaN	0
79	NaN	NaN	NaN	0
80	NaN	NaN	NaN	0
81	NaN	NaN	NaN	0
82	NaN	NaN	NaN	0
83	NaN	NaN	NaN	0
84	NaN	NaN	NaN	5
8.5	NaN	NaN	NaN	0
8.6	NaN	NaN	NaN	3
87	NaN	NaN	NaN	4
8.8	NaN	NaN	NaN	0
8.9	NaN	NaN	NaN	0
90	NaN	NaN	NaN	1
91	NaN	NaN	NaN	5
92	NaN	NaN	NaN	0
93	NaN	NaN	NaN	0
94	NaN	NaN	NaN	0
95	NaN	NaN	NaN	0
96	NaN	NaN	NaN	0
97	NaN	NaN	NaN	0
9.8	NaN	NaN	NaN	0
99	NaN	NaN	NaN	0
100	NaN	NaN	NaN	0
101	NaN	NaN	NaN	0
102	NaN	NaN	NaN	0
103	NaN	NaN	NaN	0
104	NaN	NaN	NaN	4
105	NaN	NaN	NaN	5
106	NaN	NaN	NaN	3
107	NaN	NaN	NaN	5
108	NaN	NaN	NaN	0
109	NaN	NaN	NaN	0
110	97.28	NaN	NaN	0
111	NaN	NaN	NaN	0
112	NaN	NaN	NaN	0
113	NaN	NaN	NaN	3
114	105.18	NaN	NaN	0
115	56.09	NaN	NaN	0
116	NaN	NaN	NaN	0
117	NaN	NaN	NaN	3
118	NaN	NaN	NaN	0
119	NaN	NaN	NaN	0
120	NaN	NaN	NaN	0
				-

121	NaN	NaN	NaN	0
122	NaN	NaN	NaN	0
123	49.16	NaN	NaN	0
124	82.20	110.54	110.54	0
125	NaN	NaN	NaN	0
126	NaN	NaN	NaN	0
127	NaN	NaN	NaN	0
128	NaN	NaN	NaN	1
129	68.42	110.36	110.36	0
130	NaN	NaN	NaN	0
131	NaN	NaN	NaN	0
132	19.37	28.08	28.08	0
133	19.15	36.05	21.11	3
134	83.17	NaN	NaN	0
135	NaN	NaN	NaN	0
136	NaN	NaN	NaN	0
137	NaN	NaN	NaN	0
138	NaN	NaN	NaN	0
139	NaN	NaN	NaN	0
140	NaN	NaN	NaN	1
141	41.56	58.95	58.95	0
142	NaN	NaN	NaN	4
143	NaN	NaN	NaN	0
144	NaN	NaN	NaN	0
145	NaN	NaN	NaN	0
146	75.17	NaN	NaN	0
147	16.66	22.42	21.57	1
148	111.36	NaN	NaN	0
149	NaN	NaN	NaN	0
150	106.94	NaN	NaN	0
151	50.26	71.09	71.09	0
152	NaN	NaN	NaN	0
153	38.87	100.89	100.89	0
154	20.91	33.34	33.22	1
155	76.98	65.20	65.20	0
156	68.82	NaN	NaN	0
157	95.33	NaN	NaN	0
158	99.00	NaN	NaN	1
159	91.58	NaN	NaN	0
160	47.76	88.14	88.14	0
161	59.63	88.16	79.55	1
162	91.75	110.83	93.44	2
163	61.50	84.57	84.57	0
164	NaN	NaN	NaN	0
165	NaN	NaN	NaN	0
166	NaN	NaN	NaN	0
167	NaN	NaN	NaN	0
168	NaN	NaN	NaN	0
169	NaN	NaN	NaN	0
170	NaN	NaN	NaN	0
171	NaN	NaN	NaN	0

Tabela 13: Valores do teste qui-quadrado para cada distribuição em cada setor de Rota 3

Valores do teste Qui em cada setor para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice Setor QUI Gauss QUI Ray QUI Rice k(rice) 59.74 1 64.02 59.74 0 30.88 56.42 28.88 18.19 17.93 23.21 4 17.04 15.77 15.77 11.91 12.58 5 24.54 40.56 5.61 5.69 6 8.31 3.37 1.43 1.54 2.84 8 2.36 1 3.53 9 3.53 6.19 10 1.03 1.19 0.43 1 30.90 25.07 11 24.83 12 12.44 8.69 8.69 0 0.91 1.00 35.71 6 13 14 8.94 23.54 3.02 4 15 1.05 21.78 0.90 16 6.98 9.14 9.14 0 0.47 4.43 0.47 17 0 9.14 8.61 8.61 0 18 2.00 0.28 0.28 19 20 1.94 1.16 1.16 0 1.32 21 1.52 5.77 2 19.52 22 0.76 0.76 5 14.34 23 2.72 2.69 3 24 1.06 1.04 0.46 1 3.96 25 4.21 3.96 1 20.16 0.58 26 0.54 5 27 1.68 0.67 0.62 1 28 0.52 5.91 0.65 29 0.73 2.29 0.71 1 1.62 30 0 1.62 3.31 2.82 1.47 0 31 1.47 32 3.27 1.00 1.00 0 33 1.96 0.40 0.40 0 3.57 0.70 0.54 34 2 1.03 1.89 0.61 3.5 1 0.38 0.38 36 1.67 37 0.91 1.43 0.51 1 1.85 0.43 0.43 0 3.8 3.52 39 0.54 0.38 2 1.19 40 0.47 0.47 0 41 NaN NaN NaN 0 NaN NaN NaN 42 0 NaN 43 NaN NaN 0 1.73 0.45 0.45 44 45 2.42 0.32 0.32 0 0.79 1.56 0.34 46 1 47 1.32 0.74 0.55 1 0.27 48 3.04 0.27 0 49 2.00 0.43 0.43 0 3.41 0.39 50 0.39 0 3.46 0.38 0.38 51 0 52 2.19 0.31 0.31 0 53 1.95 0.29 0.29 54 37.80 0.44 0.44 0 0.31 55 3.03 0.31 0 30.43 0.36 0.36 0 56 1.41 0.75 57 0.56 1 58 2.10 0.32 0.32 0 2.33 0.35 0.35 59 0

0.36

0.36

0

60

2.62

61	2.96	0.28	0.28	0
62	3.29	0.33	0.33	0
63	31.74	0.31	0.31	0
64	2.43	0.44	0.44	0
65	4.04	0.41	0.41	0
66	3.55	0.33	0.33	0
67	2.45	0.38	0.38	0
68	8.78	0.34	0.34	0
69	2.11	0.50	0.50	0
70	2.45	0.30	0.30	0
71	4.47	0.45	0.45	0
72	2.25	0.24	0.24	0
73	4.18	0.36	0.36	0
74	2.96	0.45	0.45	0
75	2.71	0.30	0.30	0
76	2.52	0.36	0.36	0
77	4.03	0.42	0.42	0
78	28.62	0.48	0.48	0
79	3.29	0.42	0.42	0
80	2.61	0.41	0.41	0
81	5.80	0.37	0.37	0
82	4.05	0.34	0.34	0
83	2.57	0.24	0.24	0
84	3.38	0.30	0.30	0
85	3.01	0.48	0.48	0
86	3.89	0.28	0.28	0
87	4.07	0.35	0.35	ō
88	1.23	0.57	0.45	1
89	2.17	0.27	0.27	0
90	2.51	0.25	0.25	0
91	2.14	0.28	0.28	0
92	1.43	0.36	0.36	0
93	1.76	0.44	0.44	0
94	2.88	0.28	0.28	0
95	1.94	0.30	0.30	0
96	4.30	0.39	0.39	0
97	1.62	0.37	0.37	0
98	1.40	0.42	0.42	0
99	1.87	0.41	0.41	0
100	1.73	0.25	0.25	0
101	2.34	0.43	0.43	0
102	2.19	0.38	0.38	0
103	2.72	0.34	0.34	0
104	2.68	0.42	0.42	0
105	3.08	0.29	0.29	0
106	10.34	0.38	0.38	0
107	3.29	0.33	0.33	0
108	2.42	0.40	0.40	0
109	4.98	0.38	0.38	0
110	2.96	0.32	0.32	0
111	3.86	0.40	0.40	0
112	4.08	0.38	0.38	0
113	4.88	0.37	0.37	ō
114	2.43	0.29	0.29	0
115	2.31	0.28	0.28	0
116	17.65	1.58	1.58	0
117	3.37	0.64	0.64	0
118	56.01	1.70	1.70	0
119	24.68	2.03	2.03	0
120	NaN	12.76	12.76	0
				-

-----

Tabela 14: Valores do teste qui-quadrado para cada distribuição em cada setor de Rota 4

Valores do teste Qui em cada setor para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice

		cada setor para		
		QUI Ray		
1	NaN	NaN	NaN	0
2	1.98	7.67	2.04	2
3	1.03	12.60	1.08	3
4	45.38	4.21	4.21	0
5	2.86	18.74	1.43	4
6	NaN	15.59	15.59	0
7	2.39	1.09	1.09	0
8	NaN	2.01	2.01	0
9	0.70	26.54	0.72	6
10	0.69	5.10	0.65	2
11	71.87	0.52	0.52	0
12	30.26	10.99	10.99	0
13	NaN	NaN	NaN	0
14	NaN	3.07	3.07	0
15	0.65	20.04	0.74	5
16	3.00	13.00	3.51	3
17	NaN	13.12	10.40	1
18	2.27	23.06	1.26	5
19	1.48	35.09	2.56	6
20	0.86	24.56	1.02	5
21	0.57	22.31	0.78	5
22	1.26	9.13	0.74	3
23	NaN	3.89	3.89	0
24	6.51 NaN	0.58	0.58	0
25 26	NaN	11.71	11.71	0
27	4.11	12.97 28.39	1.41 2.82	6
28	2.61 47.63	96.34	14.22	8
29	1.03	53.96	1.75	6
30	0.89	7.89	0.89	3
31	1.87	7.92	1.81	3
32	1.50	26.40	1.67	4
33	5.08	4.40	4.40	ō
34	1.74	31.74	2.53	4
35	NaN	82.56	23.32	6
3.6	1.61	7.02	1.58	2
37	4.18	4.07	3.59	1
3.8	NaN	78.48	78.48	0
39	1.63	0.82	0.82	0
40	3.07	0.37	0.37	0
41	0.83	1.89	0.54	1
42	1.59	0.78	0.78	0
43	1.43	1.75	0.56	1
44	2.32	1.00	1.00	0
4.5	2.61	1.41	1.41	0
4.6	1.40	0.60	0.60	0
47	1.98	0.30	0.30	0
48	1.08	0.83	0.52	1
49	0.84	2.28	0.72	1
50	0.72	7.05	0.65	3
51	0.61	2.73	0.95	1
52	1.47	0.48	0.48	0
53	1.98	6.65	2.24	2
54	1.06	2.23	0.85	1
5.5	NaN	NaN	NaN	0
56	0.68	17.36	0.79	5
57	1.53	7.76	1.37	3
58	2.47	3.63	2.35	1
59	NaN	NaN	NaN	0
60	0.97	1.21	0.37	1

61	4.00	1.08	1.08	0
62	14.19	4.04	1.84	1
63	2.35	0.57	0.57	0
64	2.87	0.53	0.53	0
65	3.22	0.41	0.41	0
66	1.61	0.42	0.42	0
67	2.51	0.39	0.39	0
68	1.47	0.36	0.36	0
69	0.79	1.87	0.57	1
70	18.00	14.12	14.12	0
71	4.52	18.97	4.16	3
72	10.49	15.45	9.13	2
73	1.57	0.70	0.70	0
74	1.79	0.58	0.58	0
75	0.91	1.51	0.43	1
76	1.91	0.39	0.39	0
77	2.60	0.92	0.92	0
78	4.26	0.51	0.51	0
79	1.71	0.52	0.52	0
80	2.35	0.49	0.49	0
81	1.80	0.64	0.64	0
82	1.17	3.26	0.94	2
83	1.87	0.49	0.49	0
84	2.05	0.43	0.43	0
8.5	3.83	2.52	2.52	0
8.6	0.92	26.85	1.37	5
87	0.43	5.73	0.58	2
8.8	0.94	1.33	0.42	1
8.9	2.34	0.41	0.41	0
90	1.70	0.42	0.42	0
91	6.68	0.39	0.39	0
92	2.75	0.39	0.39	0
93	4.21	0.35	0.35	0
94	1.61	0.41	0.41	0
9.5	3.40	0.36	0.36	0
96	2.10	0.32	0.32	0
97	1.69	0.51	0.51	0
9.8	1.65	0.36	0.36	0
99	1.61	0.46	0.46	0
100	1.81	0.42	0.42	0
101	3.83	0.34	0.34	0
102	NaN	39.17	39.17	0
103	NaN	NaN	NaN	0
104	2.33	0.42	0.42	0
105	1.47	0.86	0.44	1
106	NaN	NaN	NaN	0
107	1.55	0.44	0.44	0
108	1.86	0.31	0.31	0
109	2.38	0.77	0.77	0
110 111	0.69 4.22	2.89 0.25	0.76 0.25	0
	1.09			
112 113	2.30	1.01 0.34	0.29 0.34	1
	1.47			0
114	1.71	0.45 0.47	0.45 0.47	
115 116	0.94	1.72	0.47	0
117	4.87	0.41	0.46	0
117	0.61	11.99	0.83	4
	2.79			0
119 120		0.41 0.39	0.41 0.39	0
	1.62 NaM			
121	NaN	1.71	1.71	0
122	0.59	7.41	0.63	3
123	0.69	2.56	0.79	1
124	3.20	2.58	2.58	0
125	1.29 0.70	0.62 3.59	0.62	0
126	0.70	3.57	0.50	2
Obs · Nah	I - Indica mae a D	ODF mão massou no	teste Oui-cus	drado para

Tabela 15: Valores do teste qui-quadrado para cada distribuição em cada setor de Rota 5

\_\_\_\_\_\_ Valores do teste Qui em cada setor para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice \_\_\_\_\_\_ Setor QUI Gauss QUI Ray QUI Rice k(rice) 0 5.00 0.58 0.58 1 0.38 2 2.53 0.38 33.42 33.42 NaN 3 - 0 0.34 2.80 0.34 0 0.56 0.56 5 2.59 0.31 6 10.70 0.31 0 0.58 0.58 0 7 6.19 2.25 8 51.70 2.25 0 0.56 0 9 3.84 0.56 10 2.59 0.32 0.32 11 2.30 0.52 0.52 12 2.19 0.37 0.37 2.60 0.24 0.24 0 13 0.43 0.43 5.40 0 14 0.28 0.28 2.98 - 0 15 0.31 0.31 16 2.91 0 17 2.85 0.35 0.35 0.44 0.44 18 4.74 0 2.46 19 0.33 0.33 0.34 0.34 20 3.11 0 0.46 17.71 0.46 21 -0 0.35 0.35 0 22 2.82 0.33 0 23 3.86 0.33 24 2.23 0.28 0.28 2.37 0.41 0.41 25 26 4.15 0.31 0.31 27 10.45 0.41 0.41 0 0.43 0.43 28 3.03 0 3.20 0.50 0.50 0 29 2.38 0.47 0.47 0 3.0 31 NaN NaN NaN 3.24 0.38 0.38 32 3.53 0.29 0.29 33 0 NaN 1.10 0 3.4 1.10 0.84 0 3.5 NaN 0.84 36 8.00 0.45 0.45 - 0 37 3.31 0.24 0.24 NaN 38 NaN NaN 39 4.82 0.41 0.41 11.24 0.35 0.35 0 40 NaN NaN NaN - 0 41 NaN NaN NaN 42 - 0 2.61 0.22 0.22 43 0.29 2.56 0.29 44 0.24 45 2.69 0.24 0.40 46 12.83 0.40 1.05 1.05 47 NaN 0 48 4.56 0.37 0.37 0 0.37 0 49 1.57 0.37 50 NaN NaN NaN

51	NaN	NaN	NaN	0
52	NaN	NaN	NaN	0
53	NaN	1.22	1.22	0
54	1.54	0.38	0.38	0
5.5	2.37	0.30	0.30	0
56	1.95	0.45	0.45	0
57	0.73	2.82	0.77	2
58	0.91	1.68	0.65	1
59	5.30	1.58	1.58	0
60	4.28	2.93	2.93	0
61	3.00	0.34	0.34	0
62	0.48	7.19	0.70	3
63	0.46	9.83	0.58	3
64	0.65	16.97	0.84	4
65	5.40	0.34	0.34	0
66	1.23	0.97	0.37	1
67	NaN	0.82	0.82	0
68	1.54	0.60	0.60	0
69	1.04	2.24	0.71	1
70	NaN	NaN	NaN	0
71	NaN	NaN	NaN	0
72	3.77	0.37	0.37	0
73	1.95	0.46	0.46	0
74	0.40	19.92	0.44	5
75	0.86	2.23	0.76	1
76	0.57	6.56	0.82	2
77	1.31	0.67	0.65	1
78	2.99	30.14	2.02	4
79	2.65	0.74	0.74	0
80	0.66	3.88	0.60	2
81	0.76	2.03	0.54	1
82				4
	0.47	15.26	0.53	
83	3.15	0.36	0.36	0
8.4	13.85	0.62	0.62	0
8.5	1.53	0.30	0.30	0
8.6	1.51	0.66	0.66	0
87	1.48	0.88	0.88	0
8.8	8.80	1.82	1.82	0
8.9	3.10	0.91	0.91	0
90	3.28	2.67	2.67	0
91	7.82	8.73	8.73	0
92	5.87	0.98	0.98	0
93	1.56	0.77	0.77	0
94	1.59	0.56	0.56	0
9.5	1.35	1.18	0.50	1
9.6	0.73	3.73	0.51	2
97	0.62	6.49	0.71	3
9.8	1.22	3.04	0.89	2
99	0.61	3.20	0.42	2
100	0.55	5.75	0.54	2
101	0.64	3.80	0.39	2
102	1.32	4.43	0.63	2
102	0.62	8.67	0.46	3
104	0.40	7.76	0.56	3
105	0.86	5.25	0.47	2

106	0.60	3.83	0.44	2
107	0.94	1.18	0.41	1
108	0.59	8.06	0.58	3
109	4.60	3.87	3.87	0
110	0.60	5.99	0.84	2
111	3.37	3.39	3.39	0
112	1.92	6.29	2.34	2
113	1.50	0.68	0.51	1
114	4.56	1.15	1.15	0
115	0.93	0.86	0.47	1
116	1.80	1.00	1.00	0
117	0.54	6.71	0.70	3
118	0.75	21.38	0.86	5
119	0.53	19.55	0.56	5
120	1.08	5.18	1.07	2
121	2.82	11.29	2.86	3
122	1.13	9.07	1.02	3
123	0.59	20.00	0.78	4
124	2.98	5.89	2.18	2
125	12.75	16.88	16.88	0
126	24.14	45.32	45.32	0
127	10.53	16.58	10.01	2
128	10.00	6.99	6.99	0
129	9.05	8.72	8.72	0
130	19.65	11.42	11.42	0
131	3.43	18.39	3.78	4
132	20.05	23.92	18.80	2
133	2.58	11.58	2.56	3
134	7.09	22.79	7.15	3
135	11.23	18.08	10.41	2
136	22.50	18.17	18.17	0
137	8.18	6.29	6.29	0
138	70.47	NaN	NaN	0
139	49.97	NaN	NaN	0
140	55.52	NaN	NaN	0
141	NaN	NaN	NaN	0
142	111.96	NaN	NaN	0
143	NaN	NaN	NaN	0
144	NaN	NaN	NaN	0
145	NaN	NaN	NaN	0
146	NaN	NaN	NaN	0
147	NaN	NaN	NaN	1
148	NaN	NaN	98.94	6
149	NaN	NaN	NaN	6
150	NaN	NaN	NaN	3
151	NaN	NaN	NaN	5
152	90.86	NaN	92.29	3
153	NaN	NaN	104.34	5
154	54.96	NaN	53.51	6
155	19.15	96.91	20.00	4
156	NaN	NaN	NaN	4
157	NaN	NaN	NaN	4
158	72.14	NaN	64.23	4
159	NaN	NaN	78.74	4
160	NaN	NaN	72.34	4
161	47.16	44.94	39.57	1
162	44.19	51.93	44.81	1
163	11.47	18.35	18.35	0
164	46.13	62.13	57.80	1
165	50.04	83.85	83.85	0
166	60.24	67.70	67.70	0
167	63.53	72.96	72.96	0

Tabela 16: Valores do teste qui-quadrado para cada distribuição em cada setor de Rota 6

Valores do teste Qui em cada setor para cada PDF: Gauss Rayleigh Rice \_\_\_\_\_\_ QUI Ray QUI Rice k(rice) Setor QUI Gauss 7.15 0.38 1 0.38 - 0 2 3.20 0.28 0.28 - 0 3.33 0.34 0.34 3 2.22 0.35 0.35 4 5 7.16 0.34 0.34 0.28 0.28 2.38 6 0 2.66 0.29 0.29 7 0 8 8.64 0.33 0.33 9 12.79 0.37 0.37 0 10 6.89 0.33 0.33 4.20 0.39 0.39 0 11 0.30 6.29 0.30 0 12 0.39 2.17 13 0.39 0 14 4.06 0.36 0.36 2.81 0.33 15 0.33 0 NaN 0.84 1.6 0.84 0 17 NaN 12.18 12.18 0 18 14.08 0.43 0.43 0 19 NaN NaN NaN 0 20 NaN NaN NaN 0.24 21 3.04 0.24 0 22 NaN NaN NaN -0 0.50 0.50 5.43 23 - 0 24 NaN NaN NaN 0 2.97 25 0.41 0.41 0 13.39 0.32 0.32 26 0 2.71 0.26 0 27 0.26 28 2.93 0.44 0.44 -0 29 2.52 0.25 0.25 3.0 2.18 0.46 0.46 0 0.31 2.02 0.31 0 31 32 5.95 0.28 0.28 0 33 NaN NaN NaN 0 0.34 34 2.32 0.34 0 35 11.98 0.36 0.36 0 NaN 36 1.98 1.98 0 37 8.95 0.50 0.50 0 5.45 3.8 NaN 5.45 39 NaN NaN NaN 0 NaN NaN 40 NaN 0 NaN NaN NaN 0 41 NaN 42 NaN NaN 0 NaN 43 NaN NaN NaN 44 NaN NaN 0 NaN 45 NaN NaN 0 NaN 46 -0 NaN NaN 47 NaN NaN NaN - 0 48 2.22 0.30 0.30 - 0 49 1.66 0.53 0.53 - 0 NaN NaN 0 50 NaN

51	NaN	NaN	NaN	0
52	NaN	NaN	NaN	0
53	NaN	NaN	NaN	0
54	NaN	NaN	NaN	0
5.5	NaN	NaN	NaN	0
56	NaN	NaN	NaN	0
57	NaN	NaN	NaN	0
58	NaN	NaN	NaN	0
59	NaN	NaN	NaN	0
60	NaN	NaN	NaN	0
61	NaN	NaN	NaN	0
62	NaN	NaN	NaN	0
63	NaN	NaN	NaN	0
64	NaN	NaN	NaN	0
65	NaN	NaN	NaN	0
66	NaN	NaN	NaN	0
67	NaN	NaN	NaN	0
68	NaN	NaN	NaN	0
69	NaN	NaN	NaN	0
70	NaN	NaN	NaN	0
71	NaN	NaN	NaN	0
72	NaN	NaN	NaN	0
73	NaN	NaN	NaN	0
74	NaN	NaN	NaN	0
75	NaN	NaN	NaN	0
76	NaN	NaN	NaN	0
77	NaN	NaN	NaN	0
78	NaN	NaN	NaN	0
79	NaN	NaN	NaN	0
80	NaN	NaN	NaN	0
81	NaN	NaN	NaN	0
82	NaN	NaN	NaN	0
83	NaN	NaN	NaN	0
8 4	NaN	NaN	NaN	0
8.5	NaN	NaN	NaN	0
8.6	NaN	NaN	NaN	0
87	NaN	NaN	NaN	0
8.8	NaN	NaN	NaN	0
8.9	68.84	0.50	0.50	0
90	NaN	12.29	12.29	0
91	NaN	NaN	NaN	0
92	NaN	NaN	NaN	0
93	NaN	NaN	NaN	0
94	2.32	0.39	0.39	0
95	2.51	0.29	0.29	0
96	NaN	NaN	NaN	0
97	NaN	NaN	NaN	0
9.8	NaN	NaN	NaN	0
99	NaN	NaN	NaN	0
100	10.06	0.43	0.43	0
101	3.23	0.38	0.38	0
102	2.21	0.34	0.34	0
103	5.02	0.33	0.33	0
104	2.36	0.30	0.30	0
105	9.81	0.32	0.32	0

106	4.24	0.45	0.45	0
107	2.66	0.27	0.27	0
108	1.91	0.42	0.42	0
109	2.12	0.36	0.36	0
110	3.11	0.26	0.26	0
111	2.74	0.24	0.24	0
112	3.46	0.30	0.30	0
113	2.61	0.29	0.29	0
114	2.79	0.33	0.33	0
115	3.02	0.29	0.29	0
116	2.42	0.28	0.28	0
117	3.23	0.38	0.38	0
118	5.10	0.36	0.36	0
119	14.02	0.48	0.48	0
120	NaN	20.16	20.16	0
121	4.31	0.37	0.37	0
122	NaN	NaN	NaN	0
123	2.45	0.24	0.24	0
124	4.87	0.38	0.38	0
125	NaN	3.24	3.24	0
126	NaN	2.34	2.34	0
127	2.20	0.34	0.34	0
128	3.80	0.51	0.51	0
129		0.36		
	4.56		0.36	0
130	15.14	0.37	0.37	0
131	NaN	NaN	NaN	0
132	3.11	0.35	0.35	0
133	36.42	0.71	0.71	0
134	5.47	0.33	0.33	0
135	NaN	1.91	1.91	0
136	2.43	0.31	0.31	0
137	NaN	NaN	NaN	0
138	NaN	NaN	NaN	0
139	3.09	0.39	0.39	0
140	6.70	0.42	0.42	0
141	12.12	0.30	0.30	0
142	3.03	0.36	0.36	0
143	NaN	NaN	NaN	0
144	NaN	NaN	NaN	0
145	NaN	NaN	NaN	0
146	NaN	NaN	NaN	0
147	2.45	0.37	0.37	0
148	NaN	NaN	NaN	0
149	NaN	NaN	NaN	0
150	NaN	NaN	NaN	0
151	NaN	NaN	NaN	0
152	NaN	NaN	NaN	0
153	NaN	NaN	NaN	0
154	NaN	NaN	NaN	0
155	NaN	NaN	NaN	0
156	NaN	NaN	NaN	0
157	NaN	NaN	NaN	0
158	NaN	NaN	NaN	0
159	NaN	NaN	NaN	0
160	NaN	NaN	NaN	0
161	NaN	NaN	NaN	0
162	NaN	3.15	3.15	0