

Fabício José Brito Barros

**Medidas e Análise da Dispersão Temporal
do Canal de Propagação UWB Indoor em
Vários Tipos de Ambientes**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica

Rio de Janeiro
Abril de 2005



Fabício José Brito Barros

**Medidas e Análise da Dispersão Temporal do Canal de
Propagação UWB Indoor em Vários Tipos de Ambientes**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Gláucio Lima Siqueira

Rio de Janeiro

Abril de 2005



Fabício José Brito Barros

Medidas e Análise da Dispersão Temporal do Canal de Propagação UWB Indoor em Vários Tipos de Ambientes

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Dr. Gláucio Lima Siqueira
Orientador
Puc-Rio

Dr. Luiz de Alencar Reis da Silva Mello
Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC- Rio

Dr. Julio Cesar R. Dal Bello
Universidade Federal Fluminense- UFF

Dr. Rodolfo Sabóia Lima de Souza
Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC- Rio

Dr. Eduardo Javier Arancibia Vásques
TIM Rio Norte S/A

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 15 de abril de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Fabício José Brito Barros

Graduou-se em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Pará-UFPA. Especializou-se em Telecomunicações, Eletromagnetismo Aplicado a Propagação de Sinais, medidas e Caracterização de Canais Rádio.

Ficha Catalográfica

Barros, Fabício José Brito

Medidas e Análise da Dispersão Temporal do Canal de Propagação UWB Indoor em Vários Tipos de Ambientes/ Fabício José Brito Barros; orientador: Dr. Gláucio Lima Siqueira. – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005.

123 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Teses. 2. Banda ultra larga. 3. Canal de rádio propagação. 4. Dispersão temporal. 5. Parâmetros de dispersão do canal de rádio. 6. Robustez a desvanecimento de pequena escala. I. Siqueira, Gláucio Lima. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

A Deus condutor de minha vida.

A meus amados pais, Angela e Ronaldo, modelos de vida e amor, responsáveis por minha educação e formação humana.

A minha irmã Rachel, pela amizade e companheirismo.

A minha namorada Adriana, amiga e grande paixão da minha Vida.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gláucio Lima Siqueira, pelo apoio e confiança.

Ao amigo Robson Viera, que participou de toda a campanha de medidas, e comportou-se como um segundo orientador, sempre me dando ideais e sugestões essenciais para realização desta dissertação.

A amiga Tatiana Vieira que junto a Robson Viera, acolheram-me como se fosse um membro de sua família.

Ao amigo Paulo Folha, pela ajuda em todas as dificuldades de minha estada no Rio de Janeiro.

Ao Prof. Bergman pelas explicações concernentes a construção da antena de banda ultra larga.

A Prof. Leni pela excelente disposição e disponibilidade no esclarecimento de dúvidas.

A CAPES pelo apoio financeiro necessário a realização desta dissertação.

Ao colega Eduardo Klein, pela ajuda na aquisição dos dados provenientes do analisador de rede via placa HP-IB.

Aos colegas do CETUC: João, Marco Aurélio, Sidney, Rafael, Sandro, Ramirez, Pedro, Janaína, Fábio e Rogério.

Ao amigo Ronaldo Oliveira pelo apoio e incentivo em minha caminhada no CETUC.

Ao Prof. Carlos Leônidas Sobrinho, pelos excelentes ensinamentos que foram utilizados para a realização desta dissertação.

Aos amigos da época de graduação: Rodrigo Oliveira, Rodrigo Silveira, Alexandre e Bosco.

Aos amigos de sempre: Rodrigo Canavieira e Thiago Rommel.

Resumo

Barros, Fabrício José Brito. **Medidas e Análise da Dispersão Temporal do Canal de Propagação UWB Indoor em Vários Tipos de Ambientes**. Rio de Janeiro, 2005. 123p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho apresenta a análise das características de dispersão temporal do canal de propagação banda ultra larga (UWB) feitas a partir da técnica de sondagem em frequência na banda de 850MHz em sete diferentes ambientes *Indoor*. Nestes ambientes os parâmetros de dispersão temporal dados pelo retardo médio, retardo RMS e banda de coerência são obtidos. Uma análise adicional sobre a perda de propagação e sobre a robustez do sinal UWB a desvanecimento de pequena escala é também realizada.

Palavras-chave

Canal de propagação UWB, Dispersão temporal, Sondagem em frequência

Abstract

Barros, Fabrício José Brito. **Measurement and Analyze of UWB Indoor Channel Temporal Dispersion in Several Environment Types**. Rio de Janeiro, 2005. 122p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work presents an analysis of the ultra wideband (UWB) channel temporal dispersion characteristics evaluated from the frequency sounding technique over a bandwidth of 850MHz at seven different indoor environment. In each environment, the channel temporal dispersions parameters were assessed in terms of mean delay, delay spread and coherence bandwidth. An additional analysis related to path loss and UWB robustness was also evaluated.

Keywords

UWB propagation channel, temporal dispersions, frequency sounding

Sumário

1. Introdução	14
1.1. Objetivos da Dissertação	16
1.2. Composição da Dissertação	16
2 Caracterização de canal	18
2.1. Canais Deterministicamente Variantes no Tempo	19
2.2. Canais aleatoriamente variantes no tempo	21
3 Técnicas de sondagem do Canal Banda Ultra Larga	24
3.1. Técnica no Domínio do Tempo	24
3.2. Técnica no Domínio da Frequência	27
3.2.1. Aplicação da técnica de sondagem em frequência para a banda de 850 Mhz	29
4 Parâmetros de Dispersão do Canal	30
4.1. Banda de coerência	30
4.2. Perfil de potência de retardo	33
4.3. Retardo Médio e Retardo RMS	34
5 Ferramentas de análise	36
5.1. Função Janela para a Transformada de Fourier	36
5.2. Técnica CLEAN para a Detecção de Componentes de Multipercurso	38
6 <i>Setup</i> de Medidas e Procedimentos	44
6.1. <i>Setup</i> de Medidas	44
6.1.1. Antena de Banda Ultra Larga	46
6.1.2. Calibração	49
7 Ambientes de Medidas	50
8 Resultados e investigações	59

8.1. Perda de propagação ao Longo da distância	59
8.2. Características do Canal em Pequena escala	63
8.2.1. Robustez do Sinal de Banda Ultra Larga a Desvanecimento devido ao multipercurso	64
8.2.2. Parâmetros de Dispersão do Canal em pequena escala	67
8.2.2.1. Análise dos Corredores A e B	67
8.2.2.2. Análise do Ambiente Escritório/Laboratório	73
8.2.2.3. Análise do Ambiente Escritório	77
8.2.2.4. Análise do Ambiente Biblioteca	81
8.2.2.5. Análise do Ambiente Industrial	84
8.2.3. Relação entre Banda de Coerência e Retardo RMS	87
9 Conclusão	93
9.1. Perda de propagação ao longo da distância	94
9.2. Robustez do Sinal de Banda Ultra Larga ao desvanecimento devido ao multipercurso	94
9.3. Parâmetros de dispersão do canal em pequena escala	95
9.4. Relação entre Banda de Coerência e Retardo RMS	97
9.5. Continuação do trabalho	98
Referências Bibliográficas	99
Apêndice A	103
A.1-Parâmetros de Dispersão do Canal em pequena escala	103
A.2- Relação entre banda de coerência e retardo RMS	106
Apêndice B	114
B.1-Programa CLEAN para a Detecção de Componentes de Multipercurso	114
B.2-Programa de aquisição e controle de dados	116
Apêndice C	120
C.1– Projeto das antenas UWB	120

Lista de figuras

Figura 1-Modelo de canal	19
Figura 2-Equipamentos utilizados para a sondagem do canal UWB no domínio do tempo.	25
Figura 3- Transmissão de um trem de pulsos com largura de pulso T_{bb} e período de repetição T_{REP} . (a) Sinal transmitido.(b) Respostas impulsiva do canal, $h(\tau, t)$.	26
Figura 4- Equipamentos utilizados para a sondagem do canal UWB no domínio da frequência.	27
Figura 5- Função $R_T(\Omega)$ típica com indicação das banda de coerência definidas para os níveis 0,9 e 0,7.	32
Figura 6- Perfil de potência de retardo.	34
Figura 7- Função Janela de Blackman-Harris de 3 termos com $N=1601$	37
Figura 8- Perfil de potência referencia obtido no estacionamento da PUC.	39
Figura 9- Perfil de potência referencia com indicação das 4 amostras utilizadas na primeira coluna da matriz A .	40
Figura 10- Perfil de potência de retardo com indicação das amostras da terceira linha da matriz A , a partir da segunda coluna.	41
Figura 11- Perfil de potência obtido através da técnica CLEAN	43
Figura 12- <i>Setup</i> de Medidas	45
Figura 13- Configurações alternativa de antena discônica [20].	47
Figura 14-Perda de retorno das antenas construídas.	48
Figura 15-Antena de banda ultra larga construída	48
Figura 16-Planta do centro de estudos em telecomunicações da PUC-Rio (CETUC).	52
Figura 17- Planta do 2º andar do prédio Cardeal Leme	53
Figura 18- Planta do Laboratório/escritório de óptica do CETUC	54
Figura 19- Planta do Escritório A (escritório de Sistema de Comunicações do CETUC).	55
Figura 20-Planta do Escritório B (escritório da Vice-Reitoria da Pontifícia Universidade Católica).	56

Figura 21- Planta da biblioteca do Campus de Engenharia da Universidade Federal Fluminense	57
Figura 22- Planta da oficina de Mecânica do Campus de Engenharia da Universidade Federal Fluminense.	58
Figura 23 -Perda de propagação ao longo da distância para o Corredor B.	61
Figura 24-Perda de propagação ao longo da distancia para o Corredor A. (a) Corredor A ₁ . (b) Corredor A ₂ . (c) Corredor A ₃ .	62
Figura 25- A distribuição cumulativa de $G_{i,j}(B)$ para cada uma das bandas utilizadas	65
Figura 26- Ganho médio de potência em cada posição do Grid para sinais com largura de banda diferentes .(a) banda de 15Mhz.(b) Banda de 915Mhz	66
Figura 27- Parâmetros de dispersão do canal para o Corredor A ₁ .(a) Retardo médio.(b) Retardo RMS.(c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.	69
Figura 28- Parâmetros de dispersão do canal para o Corredor B.(a) Retardo médio.(b) Retardo RMS.(c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.	71
Figura 29-- Função Distribuição cumulativa para os parâmetros de dispersão para o ambiente do tipo Escritório/Laboratório. (a) Retardo médio. (b) Retardo RMS. (c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.	75
Figura 30- Função Distribuição cumulativa para os parâmetros de dispersão para o Escritório B. (a) Retardo médio. (b) Retardo RMS. (c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.	79
Figura 31- Função Distribuição cumulativa para os parâmetros de dispersão para o ambiente Biblioteca. (a) Retardo médio. (b) Retardo RMS. (c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.	82
Figura 32- Função Distribuição cumulativa para os parâmetros de dispersão para o ambiente Biblioteca. (a) Retardo médio. (b) Retardo RMS. (c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.	85
Figura 33- Relação entre Banda de coerência e retardo RMS dada pelas equações (8.4) e (8.5) para o ambiente:Escritório/laboratório.(a), (b) Ponto local	

Tx1. (c), (d) Ponto local Tx2.(e),(f) Ponto local Tx3 .	90
Figura 34- Parâmetros de dispersão do canal para o Corredor A ₂ .(a) Retardo médio.(b) Retardo RMS.(c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.	103
Figura 35- Parâmetros de dispersão do canal para o Corredor A ₃ .(a) Retardo médio.(b) Retardo RMS.(c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.	104
Figura 36- Função Distribuição cumulativa para os parâmetros de dispersão para o ambiente: Escritório. (a) Retardo médio. (b) Retardo RMS. (c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.	105
Figura 37- Relação entre Banda de coerência e retardo RMS dada pelas equações (8.4) e (8.5) para o ambiente:Escritório A.(a), (b) Ponto local Tx ₁ .(c), (d) Ponto local Tx ₂ .(e), (f) Ponto local Tx ₃ . (g), (h) Ponto local Tx ₄ .	106
Figura 38- Relação entre Banda de coerência e retardo RMS dada pelas equações (8.4) e (8.5) para o ambiente:Escritório B.(a),(b) Ponto local Tx ₁ .(c),(d) Ponto local Tx ₂ .(e),(f) Ponto local Tx ₃ . (g), (h) Ponto local Tx ₄ . (i), (j) Ponto local Tx ₅ .	108
Figura 39- Relação entre Banda de coerência e retardo RMS dada pelas equações (8.4) e (8.5) para o ambiente:Biblioteca. (a), (b) Ponto local Tx ₁ . (c), (d) Ponto local Tx ₂ . (e), (f) Ponto local Tx ₃ . (g), (h) Ponto local Tx ₄ . (i), (j) Ponto local Tx ₅ .	110
Figura 40- Relação entre Banda de coerência e retardo RMS dada pelas equações (8.4) e (8.5) para o ambiente:Escritório B.(a), (b) Ponto local Tx ₁ . (c), (d) Ponto local Tx ₂ . (e), (f) Ponto local Tx ₃ . (g), (h) Ponto local Tx ₄ .(i), (j) Ponto local Tx ₅ . (k), (l) Ponto local Tx ₆ .	112
Figura 41- Cone da configuração alternativa de antena discônica.	120
Figura 42- Disco da configuração alternativa de antena discônica.	121
Figura 43- Condutor interno e externo da configuração alternativa de antena discônica.	122

Lista de tabelas

Tabela 1-Analisador vetorial HP8714ET.	44
Tabela 2-Parâmetros do <i>setup</i> de medidas.	46
Tabela 3- Parâmetros do modelo de perda de propagação para os corredores A e B	61
Tabela 4- Estatística de pequena escala para os Corredores A e B.	68
Tabela 5- Estatística de pequena escala para o ambiente do tipo Escritório/Laboratório	74
Tabela 6- Estatística de pequena escala para o Escritório B.	78
Tabela 7- Estatística de pequena escala para o ambiente Biblioteca.	81
Tabela 8- Estatística de pequena escala para o ambiente Industrial.	84
Tabela 9- Valores médios dos parâmetros de dispersão do canal UWB em sete ambientes nas situações de LOS e NLOS.	96
Tabela 10- Valores de α para a banda de coerência 0.9 e 0.7 nas situações de LOS e NLOS.	97
Tabela 11- Estatística de pequena escala para o Escritório A	105