



Walter Aliaga Aliaga

**Caracterização do Canal de Propagação GPS em
Ambientes Urbanos**

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: Emanuel Paiva de Oliveira Costa

Rio de Janeiro
Novembro de 2010



Walter Aliaga Aliaga

**Caracterização do Canal de Propagação GPS em
Ambientes Urbanos**

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.

Prof. Emanuel Paiva de Oliveira Costa
CETUC-PUC-Rio

Prof. Luiz Alencar Reis da Silva Mello
CETUC-PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia
CETUC-PUC-Rio

Prof. Rodolfo Sabóia Lima de Souza
INMETRO

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

Rio de Janeiro, 19 de agosto de 2010

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

Walter Aliaga Aliaga

Graduou-se no ano de 2006 em Engenharia Eletrônica pela Pontifícia Universidade Católica do Perú (PUCP)

Ficha Catalográfica

Aliaga Aliaga, Walter

Caracterização do canal de propagação GPS em ambientes urbanos / Walter Aliaga Aliaga ; orientador: Emanuel Costa. – 2010.

129 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2010.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Caracterização do canal de propagação. 3. GPS. 4. Ambientes urbanos. 5. Federal Communications Commission. I. Costa, Emanuel. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

À Norma, Carina e Edgar

Agradecimentos

Ao Professor Emanuel Costa pela orientação oferecida durante a realização da Dissertação.

Ao Professor Glaucio Lima Siqueira pela orientação oferecida ao começo do Mestrado.

Aos colegas dos Laboratórios 3 e 4 de Radiopropagação do CETUC

Aos amigos do CETUC: Willyan, Bruno, Carlos, Franklin, Harry, Uwe, Alex, Américo, Marcio, Tiago e Juliana.

Aos amigos da casa: Edmundo, Vanessa, Ana Paula, Max, Ronald e Miriam

Ao CAPES pelo financiamento dos estudos de Mestrado

Ao Brasil.

Resumo

Aliaga, Walter; Costa, Emanuel. **Caracterização do Canal de Propagação GPS em Ambientes Urbanos**. Rio de Janeiro, 2010. 129p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A presente dissertação tem como tema de estudo a caracterização do canal do Global Positioning System (GPS) para ambientes urbanos. O objetivo do presente estudo é determinar a influência de diversos tipos de ambiente urbano no erro de posição horizontal do receptor GPS, com a finalidade de corroborar se, sob estas condições, o sistema oferece um serviço de posição de acordo com os requerimentos da Federal Communications Commission. Apresentam-se nos diferentes capítulos da dissertação os conceitos básicos do GPS, os procedimentos utilizados na campanha de medidas, as características mais importantes dos ambientes nos quais as mesmas se realizaram e os resultados obtidos, assim como suas análises. Além disso, apresentam-se as configurações dos ambientes utilizados nas simulações, os cálculos para determinar a relação entre azimute e elevação para cada um dos tipos de ambiente adotados, os resultados das simulações e as análises das mesmas. Finalmente, apresentam-se as conclusões para os resultados obtidos durante a campanha de medidas e as simulações, assim como indicações para estudos futuros.

Palavras-chave

Caracterização do Canal de Propagação; GPS; Ambientes Urbanos; Federal Communications Commission.

Abstract

Aliaga, Walter; Costa, Emanuel (Advisor). **Characterization of Channel Propagation GPS in Urban Environments**. Rio de Janeiro, 2010. 129p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The present dissertation analyzes the propagation channel of the Global Positioning System (GPS) for urban environments. The objective of the study is to determine the influence of different types of urban environments in the error of the horizontal position provided by the GPS receiver. In particular, it investigates if, under degraded conditions, the system is still able to offer a positioning service in accordance to the requirements of the Federal Communications Commission (FCC). The different chapters of the dissertation present the basic GPS concepts, the adopted procedures to perform measurements, as well as the most relevant characteristics of the environments where measurements took place. In continuation, results are described, followed by their analysis. The configurations of environments used in the simulations are depicted, as well as the computations to determine the relationship between azimuth and elevation for each type of environment. Results of such computations and their corresponding analyses are presented for each simulation case. Finally, conclusions on the results obtained from the measurement campaigns and simulations, as well as suggestions for future studies are presented.

Keywords

Characterization of Channel Propagation; GPS; Urban Environment
Federal Communications Commission.

Sumário

1. Introdução.	15
2. Introdução ao Sistema GPS.	16
2.1. Características do Sistema GPS.	17
2.2. Segmentos do GPS.	17
2.3. GPS: A idéia básica.	19
2.4. Estrutura do sinal GPS.	20
2.5. Pseudodistância e cálculo de posição.	21
2.6. Cálculo da posição do usuário.	24
3. Análise de Resultados Numéricos das Medidas.	27
3.1. Características dos Ambientes das Medidas.	27
3.2. Descrição das medidas e da análise dos dados.	40
3.2.1. Equipamento para realização das medidas.	40
3.2.2. Registro de mensagens protocolo NMEA.	40
3.2.3. Descrição dos conteúdos das mensagens.	41
3.2.4. Posição do receptor GPS em cada medida.	42
3.2.5. Programa desenvolvido para análise em linguagem de programação Matlab.	42
3.3. Resultados das medidas.	44
3.3.1. Distribuições Cumulativas do Erro na Posição Horizontal.	45
3.3.2. Distribuições Cumulativas da Profundidade do Desvanecimento da Potência do Sinal Recebido.	49
3.3.3. Valores Médios e Desvios Padrões no erro na Posição Horizontal e Profundidade do Desvanecimento.	52
3.3.4. Histogramas do Número de Satélites vistos Simultaneamente	52
4. Análises de Resultados Numéricos das Simulações.	55
4.1. Introdução.	55
4.2. Modelos de Simulação.	56

4.3. Ambientes urbanos utilizados na simulação.	59
4.3.1. Características dos tipos de ambientes para simulação.	61
4.3.2. Cálculos realizados para determinar a relação azimute- elevação para cada tipo de ambiente.	61
4.4. Resultados das simulações.	73
4.4.1. Resultado da Simulação do Ambiente 1.	73
a) Probabilidade de estados C e B baseado nos mapas e as posições dos satélites.	73
b) Valores do erro horizontal para diferentes porcentagens de tempo.	78
c) Valores de desvanecimento para diferentes porcentagens de tempo.	84
4.4.2 Resultado da Simulação do Ambiente 2.	91
a) Probabilidade de estados C e B baseado nos mapas e as posições dos satélites.	91
b) Valores do erro horizontal para diferentes porcentagens de tempo.	96
c) Valores de desvanecimento para diferentes porcentagens de tempo.	103
4.4.3. Resultado da Simulação do Ambiente 3.	111
a) Probabilidade de estados C e B baseado nos mapas e as posições dos satélites.	111
b) Valores do erro horizontal para diferentes porcentagens de tempo.	114
c) Valores de desvanecimento para diferentes porcentagens de tempo.	119
5. Conclusões.	125
Bibliografia.	127

Lista de figuras

Figura 2.1- Constelação do sistema GPS	17
Figura 2.2- Segmentos do sistema GPS	18
Figura 2.3- Idéia básica de posicionamento do sistema GPS	20
Figura 2.4- Representação dos vetores posição do usuário e do satélite	22
Figura 2.5- Relações de tempo para a pseudodistância	23
Figura 3.1- Lagoa Rodrigo de Freitas: ambiente das medidas 1 a 5	29
Figura 3.2- FAETEC Ipanema: ambiente da medida 6	29
Figura 3.3- Hotel Praia Ipanema: ambiente da medida 7	30
Figura 3.4- Centro Tecnológico do Exército (CTEX): ambiente da medida 8	30
Figura 3.5- Lagoa Rodrigo de Freitas: local da medida 1 (árvore semiaberta)	31
Figura 3.6- Lagoa Rodrigo de Freitas: outra vista do local da medida 1 (árvore semiaberta)	31
Figura 3.7- Lagoa Rodrigo de Freitas: local da medida 2 (árvore semifechada)	32
Figura 3.8- Lagoa Rodrigo de Freitas: outra vista do local da medida 2 (árvore semifechada)	32
Figura 3.9- Lagoa Rodrigo de Freitas: local da medida 3 (árvore fechada)	33
Figura 3.10- Lagoa Rodrigo de Freitas: outra vista do local da medida 3 (árvore fechada)	33
Figura 3.11- Lagoa Rodrigo de Freitas: local da medida 4 (árvore semifechada)	34
Figura 3.12- Lagoa Rodrigo de Freitas: outra vista do local da medida 4 (árvore semifechada)	34
Figura 3.13- Lagoa Rodrigo de Freitas: local da medida 5 (céu claro)	35

Figura 3.14- Lagoa Rodrigo de Freitas: outra vista do local da medida 5 (céu claro)	35
Figura 3.15-FAETEC Ipanema: local da medida 6 (céu claro)	36
Figura 3.16- FAETEC Ipanema: outra vista do local da medida 6 (árvore céu claro)	36
Figura 3.17- FAETEC Ipanema: outra vista do local da medida 6 (árvore céu claro)	37
Figura 3.18- Hotel Praia Ipanema: local da medida 7 (céu claro)	37
Figura 3.19- Hotel Praia Ipanema: outra vista do local da medida 7 (céu claro)	38
Figura 3.20- CTEx: local da medida 8 (árvore semifechada)	38
Figura 3.21- CTEx: outra vista do local da medida 8 (árvore semifechada)	39
Figura 3.22- CTEx: outra vista do local da medida 8 (árvore semifechada)	39
Figura 3.23- Distribuições cumulativas do erro horizontal para as 8 medidas	45
Figura 3.24- Distribuições cumulativas do desvanecimento para as 8 medidas	49
Figura 3.25- Histogramas correspondentes ao número de satélites vistos simultaneamente para cada medida.	53
Figura 4.1- Distribuições de Probabilidade Rice (C), Loo (S) e Suzuki (B)	58
Figura 4.2- Tipo de ambiente 1	60
Figura 4.3- Tipo de ambiente 2	60
Figura 4.4- Tipo de ambiente 3	60
Figura 4.5- Variáveis utilizadas para o cálculo da relação azimute-elevação de modo geral	62
Figura 4.6- Vista em 2D do azimute da rua e azimute do observador	63
Figura 4.7- Gráfico da relação azimute-elevação para o valores de 90° para o azimute e de 1,0 para o fator w/h da rua 1 do ambiente 1	64
Figura 4.8- Gráfico da relação azimute-elevação para o valores de 90° para o azimute e de 1,0 para o fator w/h da rua 1 do ambiente 2	68

Figura 4.9- Gráfico da relação azimute-elevação para o valores de 90° para o azimute e de 1,0 para o fator w/h da rua 1 do ambiente 3	72
Figura 4.10- Probabilidade do estado “C” baseadas somente nos mapas de estado para o ambiente 1	77
Figura 4.11- Probabilidade do estado “C” considerando tanto os mapas de estado para o ambiente 1 quanto as posições dos satélites.	77
Figura 4.12- Valores do erro horizontal (m) não excedido durante 67 % do tempo para o ambiente 1 em função do azimute da rua 1 (graus) e do fator h/w.	82
Figura 4.13- Valores do erro horizontal (m) não excedido durante 95 % do tempo para o ambiente 1 em função do azimute da rua 1 (graus) e do fator h/w.	82
Figura 4.14- Valores do desvanecimento (dB) não excedido durante 67 % do tempo para o ambiente 1 em função do azimute da rua 1 (graus) e do fator h/w.	88
Figura 4.15- Valores do desvanecimento (dB) não excedido durante 95 % do tempo para o ambiente 1 em função do azimute da rua 1 (graus) e do fator h/w.	88
Figura 4.16- Probabilidade do estado “C” baseadas somente nos mapas de estado para o ambiente 2	95
Figura 4.17- Probabilidade do estado “C” considerando tanto os mapas de estado para o ambiente 2 quanto as posições dos satélites.	95
Figura 4.18- Valores do erro horizontal (m) não excedido durante 67 % do tempo para o ambiente 2 em função do azimute da rua 1 (graus) e do fator h/w.	100
Figura 4.19- Valores do erro horizontal (m) não excedido durante 95 % do tempo para o ambiente 2 em função do azimute da rua 1 (graus) e do fator h/w.	100
Figura 4.20- Valores do desvanecimento (dB) não excedido durante 67 % do tempo para o ambiente 2 em função do azimute da rua 1 (graus) e do fator h/w.	107

Figura 4.21- Valores do desvanecimento (dB) não excedido durante 95 % do tempo para o ambiente 2 em função do azimute da rua 1 (graus) e do fator h/w.	107
Figura 4.22- Probabilidade do estado “C” baseadas somente nos mapas de estado para o ambiente 3	113
Figura 4.23- Probabilidade do estado “C” considerando tanto os mapas de estado para o ambiente 3 quanto as posições dos satélites.	113
Figura 4.24- Valores do erro horizontal (m) não excedido durante 67 % do tempo para o ambiente 3 em função do azimute da rua 1 (graus) e do fator h/w.	116
Figura 4.25- Valores do erro horizontal (m) não excedido durante 95 % do tempo para o ambiente 3 em função do azimute da rua 1 (graus) e do fator h/w.	116
Figura 4.26- Valores do desvanecimento (dB) não excedido durante 67 % do tempo para o ambiente 3 em função do azimute da rua 1 (graus) e do fator h/w.	121
Figura 4.27- Valores do desvanecimento (dB) não excedido durante 95 % do tempo para o ambiente 3 em função do azimute da rua 1 (graus) e do fator h/w.	121

Lista de tabelas

Tabela 3.1-Nomes, localizações e principais características dos ambientes de medições	28
Tabela 3.2- Posição do receptor GPS em cada medida	42
Tabela 3.3- Valores do erro na posição horizontal não excedidos durante 67% e 95% do tempo em cada local de medida	46
Tabela 3.4- Valores de desvanecimento não excedidos durante 67% e 95% do tempo em cada local de medida	50
Tabela 3.5- Valores médios e desvios padrões do erro na posição horizontal e do desvanecimento.	52
Tabela 4.1- Características dos tipos de ambiente.	61
Tabela 4.2- Probabilidades do estado “C” baseadas somente nos mapas de estado para o ambiente 1	74
Tabela 4.3- Probabilidades do estado “C” baseadas nos mapas de estado para o ambiente 1 e nas posições dos satélites.	76
Tabela 4.4- Valores do erro Horizontal (m) não excedido durante 67% do tempo para o ambiente 1	79
Tabela 4.5- Valores do erro Horizontal (m) não excedido durante 95% do tempo para o ambiente 1	81
Tabela 4.6- Valores do desvanecimento (dB) não excedidos durante 67% do tempo para o ambiente 1	85
Tabela 4.7- Valores do desvanecimento (dB) não excedido durante 95% do tempo para o ambiente 1	87
Tabela 4.8- Probabilidades do estado “C” baseadas somente nos mapas de estado para o ambiente 2	92
Tabela 4.9- Probabilidades do estado “C” baseadas nos mapas de estado para o ambiente 2 e nas posições dos satélites.	94
Tabela 4.10- Valores do erro Horizontal (m) não excedido durante 67% do tempo para o ambiente 2	97
Tabela 4.11- Valores do erro Horizontal (m) não excedido durante 95% do tempo para o ambiente 2	99

Tabela 4.12- Valores do desvanecimento (dB) não excedidos durante 67% do tempo para o ambiente 2	104
Tabela 4.13- Valores do desvanecimento (dB) não excedido durante 95% do tempo para o ambiente 2	106
Tabela 4.14- Probabilidades do estado “C” baseadas somente nos mapas de estado para o ambiente 3	111
Tabela 4.15- Probabilidades do estado “C” baseadas nos mapas de estado para o ambiente 3 e nas posições dos satélites.	112
Tabela 4.16- Valores do erro Horizontal (m) não excedido durante 67% do tempo para o ambiente 3	114
Tabela 4.17- Valores do erro Horizontal (m) não excedido durante 95% do tempo para o ambiente 3	115
Tabela 4.18- Valores do desvanecimento (dB) não excedidos durante 67% do tempo para o ambiente 3	119
Tabela 4.19- Valores do desvanecimento (dB) não excedido durante 95% do tempo para o ambiente 3	120