



Alfredo Omar Córdova Manchego

**Efeito da Modelagem Probabilística dos
Ganhos nos Lóbulos Laterais das Antenas das
Estações Terrenas no Cálculo de Interferências
entre Redes de Comunicação por Satélite**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Jose Mauro Pedro Fortes

Rio de Janeiro
Dezembro de 2012



Alfredo Omar Córdova Manchego

**Efeito da Modelagem Probabilística dos
Ganhos nos Lóbulos Laterais das Antenas das
Estações Terrenas no Cálculo de Interferências
entre Redes de Comunicação por Satélite**

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

Prof. Jose Mauro Pedro Fortes

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações – PUC-Rio

Prof. Paulo Roberto Rosa Lopes Nunes

IME

Prof. Raimundo Sampaio Neto

Centro de Estudos em Telecomunicações – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 17 de Dezembro de 2012

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

Alfredo Omar Córdoba Manchego

Graduou-se em Engenharia Eletrônica (Universidade Católica de Santa Maria - Arequipa)

Ficha Catalográfica

Córdoba Manchego, Alfredo Omar

Efeito da Modelagem Probabilística dos Ganhos nos Lóbulos Laterais das Antenas das Estações Terrenas no Cálculo de Interferências entre Redes de Comunicação por Satélite/ Alfredo Omar Córdoba Manchego; orientador: Jose Mauro Pedro Fortes. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2012.

83 f: il. ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Teses. 2. Sistemas via satélite. 3. Interferência. 4. Ganhos de antenas. 5. Modelagem probabilística. I. Fortes, Jose Mauro Pedro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Agradecimentos

Seria impossível tentar descrever, em tão pouco espaço a importância que minha família e especialmente meus pais Arturo e Isabel, tiveram na minha formação pessoal e acadêmica. Seu constante incentivo e demonstração da importância e frutos dos estudos e do trabalho, não só através de palavras, mas principalmente de exemplos, foram fundamentais no longo processo educacional que permitiu-me concluir mais esta etapa de meus estudos. A eles, devo praticamente tudo.

Também serei eternamente grato ao Professor José Mauro Pedro Fortes. Ao longo destes anos de convivência sua dedicação, incentivo e orientação foram fundamentais na minha formação e peça fundamental na elaboração deste trabalho. A todos os professores do CETUC pelos conhecimentos ministrados em cada aula os quais foram fundamentais na minha formação.

Não poderia deixar de agradecer às minhas irmãs Julissa e Kate Malu, pelo incondicional apoio sempre demonstrado. Às minhas sobrinhas: Asiri Estefane e Andrea.

Também gostaria de agradecer aos meus colegas do CETUC pelo apoio e sugestões, em especial a meu colega Alberth Tamo cujo apoio foi especialmente importante no desenvolvimento deste trabalho.

Finalmente, Gostaria de agradecer ao Governo Brasileiro, à Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro (PUC-Rio), e o apoio financeiro provido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Resumo

Córdova Manchego, Alfredo Omar; Fortes, Jose Mauro Pedro. **Efeito da Modelagem Probabilística dos Ganhos nos Lóbulos Laterais das Antenas das Estações Terrenas no Cálculo de Interferências entre Redes de Comunicação por Satélite**. Rio de Janeiro, 2012. 83p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Quando diversos sistemas de comunicação compartilham uma determinada faixa de frequências, cada um dos sistemas envolvidos opera sujeito às interferências geradas pelos demais. Dentro de este panorama, cresce a importância de uma avaliação precisa dos efeitos de interferência. Dada a complexidade do problema, o cálculo de interferências é usualmente feito considerando diversas situações de pior caso. Estas situações de pior caso incluem, por exemplo, a hipótese de que a degradação devida a chuvas está presente apenas no enlace vítima, não afetando os enlaces interferentes, a hipótese de que as estações terrenas envolvidas estão localizadas nos pontos mais desfavoráveis (em termos de interferência) de suas áreas de serviço e a consideração de um diagrama de referência para os diagramas de radiação das antenas. Obviamente, estas hipóteses implicam num cálculo de interferências conservador, nos quais os níveis de interferência obtidos são maiores do que os níveis reais de interferência. No presente trabalho, como alternativa ao uso de uma envoltória, os ganhos nos lóbulos laterais das antenas envolvidas são modelados por variáveis aleatórias. Neste caso, a razão portadora interferência resultante é também uma variável aleatória. Seu comportamento estatístico é avaliado para dois tipos de modelagem dos ganhos nos lóbulos laterais das antenas: como variáveis aleatórias com distribuição exponencial e como variáveis aleatórias com distribuição gama. Os resultados obtidos são comparados àqueles obtidos quando uma envoltória é utilizada na caracterização dos ganhos das antenas.

Palavras-chave

Sistemas via Satélite; Interferência; Ganhos de Antenas; Modelagem Probabilística

Abstract

Córdova Manchego, Alfredo Omar; Fortes, Jose Mauro Pedro. **Effect of the probabilistic modeling of earth station antenna sidelobe gains on the evaluation of interference among satellite communication networks** . Rio de Janeiro, 2012. 83p. MSc. Dissertation — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

When several communication systems share a particular frequency band, each of the systems operates subject to the interference generated by the others. Within this scenario, the importance of an accurate assessment of the effects of interference is increased. Given the complexity of the problem, the evaluation of interference is usually done by considering several worst-case situations. These worst-case situations include, for example, the hypothesis that degradation due to rain affects only the victim link and do not affect the interfering links, the hypothesis that the earth stations involved are located at the most unfavorable (in terms of interference) spots in their service area and the use of reference patterns for the radiation patterns of the antennas. Obviously, these assumptions imply a conservative calculation of interference in which the obtained interference levels are higher than their actual levels. In this work, as an alternative to the use of envelopes, the earth station sidelobe antenna gains are modeled as random variables. In this case, the resulting carrier to interference ratio is also a random variable. The statistical behavior of the carrier to interference ratio is then evaluated for two different modelings of the antenna sidelobe gains: as exponential distributed random variables and as gamma distributed random variables. The results are compared to those obtained when an envelope is used to characterize the antenna radiation patterns.

Keywords

Satellite Systems; Interference; Antenna Gain; Probabilistic Modeling

Sumário

1	Introdução	12
2	Descrição do Problema	15
3	Modelagem matemática	17
3.1	Calculo da Razão Portadora-Interferência	17
3.2	Ganhos das Antenas das Estações Terrenas	23
3.3	Função Densidade de Probabilidade da Razão Interferência-Portadora	26
4	Resultados Numéricos	36
4.1	Cenário I	39
4.2	Cenário II	53
4.3	Cenário III	65
5	Conclusão	77

Lista de figuras

3.1	Geometria utilizada no cálculo de interferência numa rede de comunicações via Satélite	18
3.2	Cálculo de fator Gama γ	21
3.3	Geometria utilizada no calculo de interferência envolvendo multiples redes interferentes.	24
4.1	Enlaces direito e retorno	37
4.2	Feixes do Sistema Vítima (satélite S_V , posição orbital $23^\circ W$).	39
4.3	Localização das estações terrenas do sistema vítima	40
4.4	Localização das estações terrenas do sistema interferente	41
4.5	Enlaces considerados no Cenário I	41
4.6	Interferência no lance de subida	42
4.7	Interferência no lance de descida	42
4.8	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora (caso exponencial, enlace direto).	44
4.9	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora expressa em dB (caso exponencial, enlace direto).	44
4.10	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão interferência-portadora (caso exponencial, enlace direto).	45
4.11	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso exponencial, enlace direto).	45
4.12	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora (caso exponencial, enlace reverso).	46
4.13	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora expressa em dB (caso exponencial, enlace reverso).	46
4.14	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão interferência-portadora (caso exponencial, enlace reverso).	47
4.15	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso exponencial, enlace reverso).	47
4.16	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora (caso gama, enlace direto).	49
4.17	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora expressa em dB (caso gama, enlace direto).	49
4.18	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão interferência-portadora (caso gama, enlace direto).	50
4.19	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso gama, enlace direto).	50
4.20	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora (caso gama, enlace reverso).	51
4.21	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora expressa em dB (caso gama, enlace reverso).	51
4.22	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão interferência-portadora (caso gama, enlace reverso).	52
4.23	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso gama, enlace reverso).	52

4.24	Enlaces considerados no Cenário II	54
4.25	Interferência no lance de descida com 2 sistemas interferentes	54
4.26	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora (caso exponencial, enlace direto).	55
4.27	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora expressa em dB (caso exponencial, enlace direto).	56
4.28	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão interferência-portadora (caso exponencial, enlace direto).	56
4.29	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso exponencial, enlace direto).	57
4.30	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora (caso exponencial, enlace reverso).	58
4.31	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora expressa em dB (caso exponencial, enlace reverso).	58
4.32	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão interferência-portadora (caso exponencial, enlace reverso).	59
4.33	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso exponencial, enlace reverso).	59
4.34	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora (caso gama, enlace direto).	60
4.35	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora expressa em dB (caso gama, enlace direto).	61
4.36	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão interferência-portadora (caso gama, enlace direto).	61
4.37	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso gama, enlace direto).	62
4.38	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora (caso gama, enlace reverso).	63
4.39	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora expressa em dB (caso gama, enlace reverso).	63
4.40	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão interferência-portadora (caso gama, enlace reverso).	64
4.41	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso gama, enlace reverso).	64
4.42	Enlaces considerados no Cenário III	66
4.43	Interferência no lance de descida com 4 sistemas interferentes	66
4.44	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora (caso exponencial, enlace direto).	67
4.45	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora expressa em dB (caso exponencial, enlace direto).	68
4.46	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão interferência-portadora (caso exponencial, enlace direto).	68
4.47	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso exponencial, enlace direto).	69
4.48	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora (caso exponencial, enlace reverso).	70
4.49	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora expressa em dB (caso exponencial, enlace reverso).	70

4.50	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão interferência-portadora (caso exponencial, enlace reverso).	71
4.51	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso exponencial, enlace reverso).	71
4.52	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora (caso gama, enlace direto).	72
4.53	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora expressa em dB (caso gama, enlace direto).	73
4.54	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão interferência-portadora (caso gama, enlace direto).	73
4.55	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso gama, enlace direto).	74
4.56	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora (caso gama, enlace reverso).	75
4.57	Função densidade de probabilidade da razão interferência-portadora expressa em dB (caso gama, enlace reverso).	75
4.58	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão interferência-portadora (caso gama, enlace reverso).	76
4.59	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso gama, enlace reverso).	76
5.1	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso exponencial, enlace direto).	78
5.2	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso exponencial, enlace reverso).	78
5.3	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso gama, enlace direto).	79
5.4	Função distribuição de probabilidade da razão portadora-interferência (caso gama, enlace reverso).	79

Lista de tabelas

4.1	Parâmetros do Enlace Direto	38
4.2	Parâmetros de Enlace Reverso	38