



Alexander Beremiz Hilario Tacuri

**Desempenho de enlaces de satélites em
presença de chuvas e interferências externas:
restrições a serem impostas ao comportamento
estatístico das parcelas individuais de
interferência**

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. José Mauro Pedro Fortes

Rio de Janeiro
Março de 2011



Alexander Beremiz Hilario Tacuri

**Desempenho de enlaces de satélites em
presença de chuvas e interferências externas:
restrições a serem impostas ao comportamento
estatístico das parcelas individuais de
interferência**

Dissertação 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. José Mauro Pedro Fortes

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica — PUC-Rio

Prof. Paulo Roberto Rosa Lopes Nunes

IME

Prof. Weiler Alves Finamore

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 18 de Março de 2011

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

Alexander Beremiz Hilario Tacuri

Graduou-se em Engenharia Eletrônica (Universidad Nacional de San Agustín).

Ficha Catalográfica

Hilario Tacuri, Alexander Beremiz

Desempenho de enlaces de satélites em presença de chuvas e interferências externas: restrições a serem impostas ao comportamento estatístico das parcelas individuais de interferência/ Alexander Beremiz Hilario Tacuri; orientador: José Mauro Pedro Fortes. — Rio de Janeiro : PUC–Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2011.

71 f: il. ; 30 cm

1. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2011.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Tese. 2. Máscara de Interferência. 3. Satélites 4. Comunicações. I. Fortes, José Mauro Pedro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Ao meu pai e à minha mãe, alicerces da minha vida.
À minha Irmã, pelo apoio incondicional.

Agradecimentos

Seria impossível tentar descrever, em tão pouco espaço, a importância que meus pais: Donato e Guillermina, tiveram na minha formação humana e acadêmica. Seu amor, constante incentivo e demonstração da importância e frutos dos estudos e do trabalho árduo, não apenas 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, por que ao longo destes anos de convivência sua dedicação, incentivo e orientação foram fundamentais na minha formação e, conseqüentemente, na elaboração deste trabalho, desde a escolha do tema até a colocação do ponto final.

Não poderia deixar de agradecer à minha irmã pelo exemplo de seriedade, dedicação ao trabalho, sabedoria e principalmente pelo apoio incondicional sempre mostrado, também gostaria de agradecer aos meus colegas e amigos do CETUC que fizeram minha permanência no Brasil maravilhosa.

Finalmente, Gostaria de agradecer o apoio financeiro provido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

Resumo

Hilario Tacuri, Alexander Beremiz; Fortes, José Mauro Pedro. **Desempenho de enlaces de satélites em presença de chuvas e interferências externas: restrições a serem impostas ao comportamento estatístico das parcelas individuais de interferência.** Rio de Janeiro, 2011. 71p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Dois dos principais fatores que afetam o desempenho dos sistemas de comunicação sem fio são a ocorrência de chuvas ao longo do percurso de transmissão e a existência de interferências externas produzido por outros sistemas que compartilham a mesma faixa de frequências. Para garantir um desempenho adequado para o enlace, é usual estabelecer limites para as percentagens de tempo durante as quais o desempenho do sistema pode ficar abaixo de alguns níveis pré-estabelecidos. É importante que, tanto a degradação provocada pela chuva quanto aquela devida às interferências externas sejam tais que os requisitos de desempenho sejam atendidas. A degradação devida a chuvas é usualmente considerada no dimensionamento do enlace, uma vez que os modelos matemáticos para a atenuação por chuvas são amplamente conhecidos. No caso de interferências externas, a degradação por elas causada é limitada através do estabelecimento de restrições ao comportamento estatístico das potências dos sinais interferentes. Estas restrições, objeto de estudo no âmbito da União Internacional de Telecomunicações, devem ser tais que, independentemente das características específicas do sistema interferente considerado, as condições de desempenho requeridas para o enlace sejam satisfeitas. O presente trabalho define um problema de otimização com restrições, cuja solução permite estabelecer as condições a serem impostas ao comportamento estatístico das potências das parcelas individuais de interferência presentes num enlace de modo a garantir o desempenho adequado do enlace.

Palavras-chave

Máscara de Interferência; Satélites; Comunicações.

Abstract

Hilario Tacuri, Alexander Beremiz; Fortes, José Mauro Pedro. **Satellite link performance in the presence of rain and external interferences: constraints to be imposed on the statistical behavior of the single-entry interference** . Rio de Janeiro, 2011. 71p. MSc. Dissertation — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Two of the main factors that affect the performance of satellite communication systems are the occurrence of rain fading in the transmission path and external interferences due to other systems sharing the same frequency band. To guarantee an adequate link performance, it is usual to establish limits to the percentages of time during which the system performance may be below certain predefined levels. It is important that performance degradation due to both rain and external interferences be such that performance requirements are met. Degradation due to rain is usually considered in a communication link design, as mathematical models of rain attenuation are widely known. Degradation due to external interference is limited by the establishing constraints to be imposed on the statistical behaviour of the interfering signal power. These constraints, object of study within the International Telecommunication Union, should be such that, independently of the specific characteristics of the considered interfering system, guarantees that link performance objectives are met. This dissertation defines a constrained optimization problem such that its solution permits to establish the conditions to be imposed to the statistical behaviour of the single-entry interfering signal power so that link performance objectives are met.

Keywords

Interference Masks; Satellites; Communications.

Sumário

1	Introdução	11
2	Descrição do Problema	14
2.1	Condição de ocorrência simultânea de chuva e interferência	16
3	Modelagem Matemática	19
3.1	Relacionamento entre os comportamentos estatísticos das parcelas de interferências e da degradação devida a interferências	19
3.2	Definição das restrições do problema	21
3.3	Definição da função objetivo	39
3.4	Definição do problema de otimização	40
4	Resultados Numéricos	43
5	Conclusões	59
	Referências Bibliográficas	61
A	Polinômios de Legendre	64
B	Procedimento para cálculo da distribuição cumulativa de atenuação por chuvas	65
C	Procedimento para obtenção de $(E_b/N_0)_{CS}$	68
D	Alguns resultados particulares relativos à soma de variáveis aleatórias	70

Lista de figuras

1.1	Interferência em redes de comunicações por satélite.	12
2.1	Distribuição cumulativa de probabilidade da degradação devida a chuvas e interferências externas.	17
3.1	Função densidade de probabilidade das parcelas individuais de interferências externas	22
3.2	Função densidade de probabilidade do fator de degradação devido a interferências externas	25
3.3	Função densidade de probabilidade da degradação devida a interferências externas em dB	26
3.4	Função densidade de probabilidade da soma de duas parcelas individuais de interferência	31
3.5	Função densidade de probabilidade da degradação devida à interferência agregada de duas parcelas de interferência externa em dB	33
4.1	Função densidade de probabilidade das parcelas individuais de interferência externa - condição inicial	44
4.2	Distribuição cumulativa de probabilidade da degradação devida a chuvas	46
4.3	Função densidade de probabilidade da degradação devida a interferências externas para o caso 1	47
4.4	Função densidade de probabilidade da razão i_1/N para o caso 1	48
4.5	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão i_1/N para o caso 1	49
4.6	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão i_1/N em dB para o caso 1	49
4.7	Pontos para definir a Máscara a partir da Distribuição cumulativa de probabilidade da razão i_1/N para o caso 1	50
4.8	Comparação da Máscara obtida neste trabalho e a obtida em [12]	51
4.9	Função densidade de probabilidade da razão i_k/N para o caso 2	54
4.10	Função densidade de probabilidade da razão i/N para o caso 2	54
4.11	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão i_k/N para o caso 2	55
4.12	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão i_k/N em dB para o caso 2	55
4.13	Pontos para definir a Máscara a partir de a Distribuição cumulativa de probabilidade da razão i_k/N para caso 2	56
4.14	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão i/N para o caso 2	57
4.15	Distribuição cumulativa de probabilidade da razão i/N em dB para o caso 2	58
4.16	Comparação entre a máscara de interferência única obtida pela técnica proposta e a obtida pelas aproximações indicadas em [12]	58

Lista de tabelas

4.1	Parâmetros considerados no enlace em 19 GHz	45
4.2	Requisitos de desempenho para o enlace em 19 GHz	45
4.3	Limites para o comportamento estatístico da razão i_1/N para o caso 1	50
4.4	Limites para o comportamento estatístico da razão i_k/N para o caso 2	56