

Américo Ariel Rubin de Celis Vidal

**Efeito de modificações nas áreas de cobertura
das alocações brasileiras do plano do serviço
radiodifusão por satélite da UIT no ambiente
interferente do plano**

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
Agosto de 2012



Américo Ariel Rubin de Celis Vidal

**Efeito de modificações nas áreas de cobertura
das alocações brasileiras do plano do serviço
radiodifusão por satélite da UIT no ambiente
interferente do plano**

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. Pedro Henrique Gouvêa Coelho

UERJ-Rio

Prof. Raimundo Sampaio Neto

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 20 de Agosto de 2012

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

Américo Ariel Rubin de Celis Vidal

Graduou-se em Engenharia Eletrônica pela Universidad Privada de Tacna - Perú.

Ficha Catalográfica

Vidal, Americo Ariel Rubin de Celis

Efeito de modificações nas áreas de cobertura das alocações brasileiras do plano do serviço radiodifusão por satélite da UIT no ambiente interferente do plano/ Américo Ariel Rubin de Celis Vidal; orientador: José Mauro Pedro Fortes. — Rio de Janeiro : PUC–Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2012.

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

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Tese. 2. Interferências. 3. Satélites 4. Comunicações. 5. Portadora. 6. Interferência. 7. Interferência agregada. 8. Razão de proteção. 9. Margem de Proteção. I. Fortes, José 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 Aladino e Rosa, 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, que 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 peça fundamental na elaboração deste trabalho, desde a escolha do tema até a colocação do ponto final. Aos professores Raimundo Sampaio e Weiler Alves por os conhecimentos ministrados em cada aula que foram fundamentais na minha formação.

Não poderia deixar de agradecer à minhas irmãs Graciela e Marcia, meus irmãos Jimmy e Milton pelo incondicional apoio sempre mostrado. À minhas sobrinhas: Linda, Wendy e Stephanie e sobrinhos Wilfredo e Piero.

Também gostaria de agradecer aos meus amigos Ivan e Carlos, meus colegas do CETUC e do Departamento de Engenharia Elétrica pelo apoio, sugestões e críticas no desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio, em especial àqueles do CETUC, pela simpatia e disponibilidade para toda e qualquer ajuda.

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

Vidal, Americo Ariel Rubin de Celis; Fortes, José Mauro Pedro. **Efeito de modificações nas áreas de cobertura das alocações brasileiras do plano do serviço radiodifusão por satélite da UIT no ambiente interferente do plano.** Rio de Janeiro, 2012. 125p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A utilização de satélites, a maioria deles ao longo da órbita de satélites geoestacionários (geostationary satellite orbit - GSO), proporcionou um enorme crescimento nas comunicações de longa distância e na radiodifusão de informação. Sendo a órbita de satélites geoestacionários um recurso limitado, existe motivação para a elaboração de planejamentos a priori desse recurso de modo a garantir, na prática, para todos os países, acesso à GSO. Esses planejamentos envolvem estudos, análises e modelagens das características específicas dos sistemas envolvidos, além do desenvolvimento de técnicas e algoritmos adequados a síntese do planejamento. Técnicas aplicáveis a um determinado planejamento dependem diretamente do tipo de sistema e do tipo de serviço a ser planejado e devem levar em consideração as interferências produzidas e sofridas por cada um dos sistemas planejados. Os níveis de interferência devem ser adequados de modo a permitir a operação conjunta dos diversos sistemas e seu cálculo depende basicamente das características dos sistemas envolvidos e da geometria do problema (posições orbitais dos satélites, posições das estações terrenas, apontamento de antenas, etc.). No âmbito da União Internacional de Telecomunicações (UIT), planejamentos de diversos serviços de comunicações por satélite foram feitos, em nível internacional, por Conferências Mundiais de Comunicações. Dentre estes planejamentos está o Planejamento do Serviço de Radiodifusão por Satélite (SRS) que constitui os Apêndices 30 e 30A do Regulamento de Radiocomunicações da UIT. A modificação dos valores dos parâmetros técnicos dos sistemas do Plano do SRS têm, obviamente, impacto no ambiente interferente do Plano. Motivado por interesses específicos da administração brasileira no SRS, este trabalho apresenta uma análise precisa dos efeitos de modificações nos parâmetros técnicos das alocações do Brasil no Plano do SRS nas interferências geradas e sofridas pelos demais sistemas do Plano.

Palavras-chave

Interferência; Satélites; Comunicações; Portadora; Interferência; Interferência Agregada; Razão de Proteção; Margem de Proteção

Abstract

Vidal, Americo Ariel Rubin de Celis; Fortes, José Mauro Pedro(Advisor). **Effect of Changes in the Coverage Areas of the Brazilian Allocations in the ITU BSS Plan on the Interference Environment of the Plan** . Rio de Janeiro, 2012. 125p. MSc. Dissertation — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The use of satellites, most of them in the geostationary satellite orbit - GSO, allowed for a big development in long distance communications and broadcasting. Since the GSO is limited resource, there is motivation for the development of a priori planning of the use of this resource so that access to the GSO is guaranteed to all countries. These a priori planning involve studies, analyses and modeling of the specific characteristics of the systems being planned, and the development of techniques and algorithms suitable for synthesizing the Plan. Techniques applicable to a given Plan depend directly on the type of service being planned and should consider and shall take into consideration the interferences generated and experienced by the systems in the Plan. The interference levels have to be adequate to allow for the joint operation of all systems in the Plan, and their calculation depends basically on the characteristics of the systems involved and on the problem geometry (orbital positions, earth station locations, antenna pointings, etc.). Within the International Telecommunication Union - ITU, the planning of several satellite services were developed by international radiocommunication conferences. Among them is the Broadcasting Satellite Service (BSS) Plan that is currently in appendices 30 and 30B of the Radio Regulations. Changes in the values of the plan technical parameters obviously have an impact on the interference environment of the Plan. Motivated by specific interests of the Brazilian administration, this work presents a precise analysis of the effect that changes in the technical parameters of the Brazilian allocations in the BSS Plan would have on the interferences generated and experienced by the systems in the Plan.

Keywords

Interference ; Satellite; Communications; Interference, Carrier, aggregate interference; Margin of protection

Sumário

1	Introdução	13
2	Aspectos Técnicos do Plano do Apêndice 30 do RR	16
2.1	Razão Portadora a Ruído	16
2.2	Razão Portadora-Interferência	18
2.3	Canalização	22
2.4	Razão de Proteção (RP)	23
2.5	Margem de Proteção (M) e Margem de Proteção Equivalente Total (OEPM)	24
2.6	Modificação ao Plano	25
2.7	O Plano do Apêndice 30 (em 25 de março de 2011)	27
2.8	Problema a ser Analisado	31
3	Metodologia	33
3.1	Metodologia Proposta	34
4	Resultados Numéricos	37
4.1	Caso I	38
4.2	Caso II	52
4.3	Caso III	73
4.4	Resultados Caso IV	88
4.5	Comentários e conclusões relativas ao Caso I, Caso II, Caso III e Caso IV	92
5	Conclusões	94
	Referências Bibliográficas	95
A	Base de Dados SPS_ALL_IFIC2691	97
A.1	Tabelas modificadas da base de dados SPS_ALL_IFIC2691	97
A.2	Mudanças feitas para o caso de apenas um grupo	99
A.3	Mudanças feitas para o caso de dois grupos	104
A.4	Mudanças feitas para o caso de três grupos	110
A.5	Mudanças feitas para o caso de quatro grupos	115
B	GIMS (Graphical Interference Management System) para o Feixe Formatado Novo B SAT1X	117
B.1	Sistema de Gestão Gráfica de Interferência (GIMS)	117
B.2	Feixe Formatado Proposto B_SAT1X	118
C	Grupos e Sistemas Planejados da Região 2. Apêndice 30 [1]	120
D	Limite de Atenuação por Chuva	121
E	Sistemas afetados com maiores níveis de Interferência, para o Caso I, II, III e IV	122

Lista de figuras

2.1	Geometria associada ao cálculo da razão portadora-ruído.	17
2.2	Geometria associada ao cálculo da razão portadora-interferência de entrada única.	19
2.3	Geometria associada ao cálculo da razão portadora-interferência agregada.	21
2.4	Canais do Plano Região 2	22
2.5	Área de cobertura do Plano do Serviço Fixo por Satélite - Apêndice 30: Regiões 1, 2 e 3	28
2.6	Área de cobertura Serviço Fixo por Satélite - Região 2	28
2.7	Áreas de cobertura dos Sistemas Brasileiros	29
2.8	Áreas de cobertura dos Grupos brasileiros.	30
2.9	Posição Orbital, Área de Serviço e Grupos dos Sistemas Planejados Brasileiros	31
2.10	Feixe Formatado proposto: B SAT1X	32
3.1	Diagrama de blocos da operação do software MSPACEg	34
3.2	Diagrama de blocos proposta na metodologia usada	35
3.3	Pontos de Teste de cobertura da Figura 2.10	36
4.1	Diagrama do Cenário BG2G3G4.	38
4.2	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário BG2G3G4.	39
4.3	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário BG2G3G4	40
4.4	Histograma da variação de Δ_i . Cenário BG2G3G4	41
4.5	Diagrama do Cenário G1BG3G4.	42
4.6	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário G1BG3G4.	42
4.7	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário G1BG3G4	43
4.8	Histograma da variação de Δ_i . Cenário G1BG3G4	44
4.9	Diagrama do Cenário G1G2BG4.	45
4.10	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário G1G2BG4.	45
4.11	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário G1G2BG4	46
4.12	Histograma da variação de Δ_i . Cenário G1G2BG4	47
4.13	Diagrama do Cenário G1G2G3B.	48
4.14	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário G1G2G3B.	48
4.15	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário G1G2G3B	49
4.16	Histograma da variação de Δ_i . Cenário G1G2G3B	50
4.17	Funções de Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i para os cenários BG1G2G3, G1BG3G4, G1G2BG4 e G1G2G3B.	51
4.18	Histogramas da variação de Δ_i . Cenários: BG1G2G3, G1BG3G4, G1G2BG4 e G1G2G3B	51
4.19	Diagrama do Cenário BBG3G4.	53

4.20	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário BBG3G4.	54
4.21	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário BBG3G4	55
4.22	Histograma da variação de Δ_i . Cenário BBG3G4	56
4.23	Diagrama do Cenário BG2BG4.	57
4.24	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário BG2BG4.	57
4.25	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário BG2BG4	58
4.26	Histograma da variação de Δ_i . Cenário BG2BG4	59
4.27	Diagrama do Cenário BG2G3B.	60
4.28	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário BG2G3B.	60
4.29	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário BG2G3B	61
4.30	Histograma da variação de Δ_i . Cenário BG2G3B	62
4.31	Diagrama do Cenário G1BBG4.	63
4.32	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário G1BBG4.	63
4.33	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário G1BBG4	64
4.34	Histograma da variação de Δ_i . Cenário G1BBG4	65
4.35	Diagrama do Cenário G1BG3B.	66
4.36	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário G1BG3B.	66
4.37	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário G1BG3B	67
4.38	Histograma da variação de Δ_i . Cenário G1BG3B	68
4.39	Diagrama do Cenário G1G2BB.	69
4.40	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário G1G2BB.	69
4.41	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário G1G2BB	70
4.42	Histograma da variação de Δ_i . Cenário G1G2BB	71
4.43	Funções de Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i para os cenários BBG3G4, BG2BG4, BG2G3B, G1BBG4, G1BG3B e G1G2BB.	72
4.44	Histogramas da variação de Δ_i . Cenários: BBG3G4, BG2BG4, BG2G3B, G1BBG4, G1BG3B e G1G2BB.	72
4.45	Diagrama do Cenário BBBG4.	74
4.46	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário BBBG4.	75
4.47	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário BBBG4	76
4.48	Histograma da variação de Δ_i . Cenário BBBG4	77
4.49	Diagrama do Cenário BBG3B.	78
4.50	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário BBG3B.	78
4.51	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário BBG3B	79
4.52	Histograma da variação de Δ_i . Cenário BBG3B	80
4.53	Diagrama do Cenário BG2BB.	81
4.54	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário BG2BB.	81
4.55	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário BG2BB	82

4.56	Histograma da variação de Δ_i . Cenário BG2BB	83
4.57	Diagrama do Cenário G1BBB.	84
4.58	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário G1BBB.	84
4.59	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário G1BBB	85
4.60	Histograma da variação de Δ_i . Cenário G1BBB	86
4.61	Funções de Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i para os cenários BBBG4, BBG3B, BG2BB e G1BBB.	87
4.62	Histogramas da variação de Δ_i . Cenários: BBBG4, BBG3B, BG2BB e G1BBB.	87
4.63	Diagrama do Cenário BBBB.	89
4.64	Função Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i . Cenário BBBB.	89
4.65	Distribuição geográfica dos valores Δ'_i . Cenário BBBB	90
4.66	Histograma da variação de Δ_i . Cenário BBBB	91
4.67	Funções de Distribuição de Probabilidade da variação Δ'_i de cada um dos melhores cenários BBBB, BG2BBB, BG2G3B e G1G2G3B, para cada um dos Casos I, II, III e IV .	92
4.68	Histogramas da variação de Δ_i . Melhores Cenários: BBBB, BG2BB, BG2G3B e G1G2G3B.	93
B.1	Fluxograma para Edição e Validação usando o Software GTXEdit	117
D.1	Areas climáticas e de Chuva na Região 2 -ITU. <i>Fonte:Appendix 30 (Rev.WRC-03)</i>	121

Lista de tabelas

2.1	Correspondência entre canal e frequências atribuídas na Região 2	22
2.2	Razão Proteção usado no Plano da Região 2	24
2.3	Grupos e Sistemas Planejados Brasileiros (CR - Circular polarização a direita e CL - Circular polarização a esquerda).	29
2.4	Grupos e Posições Orbitais dos Sistemas Planejados Brasileiros.	30
4.1	Pontos de Teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário BG2G3G4	41
4.2	Pontos de Teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário G1BG3G4	44
4.3	Pontos de Teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário G1G2BG4	47
4.4	Pontos de Teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário G1G2G3B	50
4.5	Valores de $P(\Delta'_i < -0.25)$, para cada cenário do Caso I	52
4.6	Pontos de teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário BBG3G4.	56
4.7	Pontos de teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário BG2BG4.	59
4.8	Pontos de teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário BG2G3B	62
4.9	Pontos de teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário G1BBG4	65
4.10	Pontos de teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário G1BG3B	68
4.11	Pontos de teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário G1G2BB	71
4.12	Valores de $P(\Delta'_i < -0.25)$, para cada cenário do Caso II	73
4.13	Pontos de Teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário BBBG4	77
4.14	Pontos de Teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário BBG3B	80
4.15	Pontos de Teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário BG2BB	83
4.16	Pontos de Teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário G1BBB	86
4.17	Valores de $P(\Delta'_i < -0.25)$, para cada cenário do Caso III	88
4.18	Pontos de Teste correspondentes aos dez maiores valores de Δ'_i . Cenário BBBB	91
4.19	Valores de $P(\Delta'_i < -0.25)$, para cada um dos melhores cenários do Caso I, II, III e IV	93
A.1	Lista parcial de tabelas do Banco de Dados SPS_ALL_IFIC2691.db, onde é permitida a mudança de dados.	98
A.2	CASOS: G1BG3G4, BG2G3G4, G1G2BG4, G1G2G3B	99

A.2	Continuação da Tabela	100
A.2	Continuação da Tabela	101
A.2	Continuação da Tabela	102
A.2	Continuação da Tabela	103
A.3	CASOS: BBG3G4, BG2BG4, BG2G3B, G1BBG4, G1BG3B, G1G2BB	104
A.3	Continuação da Tabela	105
A.3	Continuação da Tabela	106
A.3	Continuação da Tabela	107
A.3	Continuação da Tabela	108
A.3	Continuação da Tabela	109
A.4	CASOS: BBBG4, BBG3B, BG2BB, G1BBB	110
A.4	Continuação da Tabela	111
A.4	Continuação da Tabela	112
A.4	Continuação da Tabela	113
A.4	Continuação da Tabela	114
A.5	CASO: BBBB	115
A.5	Continuação da Tabela	116
B.1	Visão generalizada das características Técnicas do Feixe Formatado B SAT1X, para antenas copolar (CO), cross-polar (COX), áreas de serviço das antenas copolar (SrCO) e cross-polar (SrCOX).	119
C.1	Grupos e Sistemas Planejados da Região 2. Apêndice 30 (Rev.WRC-03)	120
D.1	Intensidade de precipitação (R) por zonas climáticas de chuva (excedida em 0,01% como média anual)	121