

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

ALEXANDRE TIMOTEO DA COSTA E SILVA

**ANÁLISE DA ATENUAÇÃO POR CHUVA EM REGIÕES TROPICAIS E
EQUATORIAIS APLICADA AO PROBLEMA DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE
COMUNICAÇÕES POR SATÉLITE EM BANDA Ka**

Rio de Janeiro

2002

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

ALEXANDRE TIMOTEO DA COSTA E SILVA

**ANÁLISE DA ATENUAÇÃO POR CHUVA EM REGIÕES TROPICAIS E
EQUATORIAIS APLICADA AO PROBLEMA DO DESEMPENHO DE SISTEMAS
DE COMUNICAÇÕES POR SATÉLITE EM BANDA Ka**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Mauro S. Assis – Notório Saber – IME

Rio de Janeiro

2002

c2002

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro - RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmar ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

Timoteo da Costa e Silva, Alexandre

Análise da atenuação por chuva em regiões tropicais e equatoriais aplicada ao problema do desempenho de sistemas de comunicações por satélite em banda Ka / Alexandre Timoteo da Costa e Silva. - Rio de Janeiro : Instituto Militar de Engenharia, 2002.

77 f. : il., graf., tab. : - cm.

Dissertação (mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, 2002.

1. Análise da atenuação por chuva em enlaces terrestre e Terra-satélite;
2. Análise estatística da taxa de precipitação.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

ALEXANDRE TIMOTEO DA COSTA E SILVA

**ANÁLISE DA ATENUAÇÃO POR CHUVA EM REGIÕES TROPICAIS E
EQUATORIAIS APLICADA AO PROBLEMA DO DESEMPENHO DE
SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES POR SATÉLITE EM BANDA Ka**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Mauro Soares de Assis – Notório Saber – IME

Aprovada em 22 de fevereiro de 2002 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Mauro Soares de Assis – Notório Saber – IME – Presidente

Prof. José Carlos Araújo dos Santos – Ph.D. – IME

Prof. Luiz Alencar Reis da Silva Mello – Ph.D. – PUC/RIO

Cap. Márcio Nascimento Bispo – M.C. – IME

Rio de Janeiro

2002

Ao Instituto Militar de Engenharia, pela excelente oportunidade.

Ao CAPES, pelo apoio financeiro fundamental.

AGRADECIMENTOS

Em especial, aos meus pais Carlos Alberto e Tânia e aos meus irmãos Rodrigo e Frederico, por mais uma vez acreditarem no meu potencial pessoal e profissional e me apoiarem nesta nova empreitada.

Aos meus familiares pelo incentivo que sempre me transmitiram.

Ao meu avô Ten. Cel. de Artilharia Hildebrando Timotheo da Costa que faleceu em setembro de 2001, mas tenho certeza que de onde estiver está muito feliz e contente com a realização deste trabalho.

Ao Gal. de Artilharia Anápio Gomes Filho por quem tenho muito respeito, admiração e amizade.

Aos meus amigos que sempre me transmitem confiança e alegria.

Ao professor Mauro Soares de Assis pela atenção que sempre dispensou a este trabalho e ao seu autor.

“Mais se estima o que com mais trabalho se ganha”.

Aristóteles

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivos.....	12
1.2	Organização do Trabalho.....	13
2	ANÁLISE ESTATÍSTICA DA TAXA DE PRECIPITAÇÃO.....	14
2.1	Modelos Estatísticos da Taxa de Precipitação.....	14
2.2	Bancos de Dados.....	15
2.3	Zonas Climáticas.....	15
2.4	Testes Comparativos.....	18
3	ATENUAÇÃO POR CHUVA EM ENLACES TERRESTRES.....	20
3.1	Testes Comparativos.....	20
3.2	Modelo UIT-R.....	22
3.3	Considerações sobre o Fator de Distância.....	23
4	ATENUAÇÃO POR CHUVA EM ENLACES TERRA-SATÉLITE.....	26
4.1	Modelo UIT-R.....	26
4.2	Comportamento do Modelo UIT-R em Função do Ângulo de Elevação.....	29
4.3	Considerações sobre a Altura Efetiva da Chuva.....	32
5	DESEMPENHO DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES VIA SATÉLITE NA BANDA Ka.....	38
5.1	Equacionamento Matemático.....	38
5.2	Parâmetros do Sistema.....	40
5.3	Análise da Disponibilidade.....	41
6	CONCLUSÕES.....	45
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

8	APÊNDICES	51
8.1	APÊNDICE 1.....	52
8.2	APÊNDICE 2.....	58
8.3	APÊNDICE 3.....	60
8.4	APÊNDICE 4.....	71

RESUMO

Tendo por base os modelos adotados pelo Setor de Radiocomunicações da União Internacional de Telecomunicações (UIT-R), este trabalho discute o problema da atenuação por chuva em regiões tropicais e equatoriais. Neste contexto, são tratadas em seqüência as seguintes questões: a) Distribuição estatística da chuva; b) Atenuação em enlaces terrestres; b) Atenuação em enlaces Terra-satélite. São descritas as características básicas de cada modelo, destacando suas limitações e indicando procedimentos a serem utilizados no aprimoramento de cada um deles. Uma aplicação de interesse prático é feita para o enlace de descida de um sistema de comunicações por satélite operando na banda Ka (20 GHz).

ABSTRACT

Taking as reference the prediction models adopted by the Radiocommunication Sector of the International Telecommunication Union (ITU-R), this work discusses the problem of rain attenuation in tropical and equatorial regions. In this context, the following questions are treated: a) Statistical distribution of rain; b) Rain attenuation in terrestrial paths; c) Rain attenuation in Earth-satellite paths. The basic characteristics of each model are described, pointing out their limitations and giving recommendations for their improvements. A practical example of the effect of rain attenuation in low latitude areas considers the case of a satellite downlink in the Ka band (20 GHz).

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a sociedade vem se transformando continuamente em incrível velocidade. Talvez seja possível dizer que o pilar de sustentação para esta evolução sem precedentes esteja calcado principalmente nas novas tecnologias de informação que, ignorando fronteiras e línguas, integram o planeta fazendo com que todos sejam parte de uma grande aldeia global.

Em meio a este fenômeno chamado globalização, onde a informação é um tesouro imensurável e a detenção de novas tecnologias, meio de dominação de um povo sobre o outro, estão usuários ávidos por acesso a Internet em alta velocidade e sem fio, tele-educação, tele-medicina, serviços baseados em redes ATM, vídeo-telefonía e videoconferência, circuitos de comunicação de dados em alta velocidade, televisão digital, telefonía rural, além de uma gama enorme de outras aplicações que estão em desenvolvimento e que não tardam em chegar ao alcance de usuário de pequeno porte. Enquanto isso, do outro lado, encontram-se engenheiros e cientistas que, em vista da necessidade da expansão dos serviços de comunicações, arquitetam soluções técnica e economicamente viáveis para implantação dessas novas tecnologias. Vale destacar que a oferta de serviços a um baixo custo é de extrema relevância em um mercado altamente competitivo.

Atualmente, em se tratando de comunicações sem fio, uma das grandes barreiras a essa expansão dos serviços é a dimensão finita do espectro de frequência. Aliás, na última década, as comunicações sem fio tornaram-se um dos principais produtos do mercado de telecomunicações devido ao avanço das tecnologias e à ausência de um meio físico para guiar a propagação de energia, facilitando a disseminação de serviços e informações até locais e/ou usuários de difícil acesso. Considerando o congestionamento das faixas de frequência abaixo de 10 GHz, as bandas Ku (11 – 18 GHz) e Ka (20 – 30 GHz) têm sido investigadas, tanto em aplicações terrestres como também via satélite, com a finalidade de prover estes novos serviços.

No caso da banda Ka, a grande vantagem de sua utilização é a disponibilidade de espectro que representa, em termos práticos, a possibilidade de oferta de serviços com taxas elevadas de transmissão, além de fomentar a implantação de um maior número de sistemas concorrentes, o que pode vir a reduzir significativamente o preço dos serviços a serem

prestados. Em se tratando dos sistemas de comunicações via satélite, há uma tendência de crescimento em importância e número, uma vez que em um mundo globalizado, onde não há fronteiras físicas, nada mais interessante que se compartilhar dados e informação com o maior número de usuários possível através de sistemas globais de satélite. Este procedimento, além de vantajoso para os usuários, é também altamente rentável para as empresas operadoras, pois podem atingir um mercado de dimensão considerável.

Apesar deste quadro se apresentar muito promissor para o futuro das comunicações, a propagação de ondas eletromagnéticas em frequências superiores a 10 GHz tem na chuva um importante obstáculo a sua utilização em larga escala. Em especial, nas regiões tropicais e equatoriais do Globo onde ocorrem chuvas com altas taxas de precipitação, este obstáculo é de extrema relevância no que diz respeito ao desempenho de sistemas terrestres e Terra-satélite na faixa de frequências em questão. No caso específico do Brasil, devido a sua localização geográfica, é de se esperar níveis elevados de atenuação e, conseqüentemente, maiores limitações ao desempenho dos sistemas de comunicações que operam em tais frequências. É neste ponto que se encaixa a presente dissertação, a qual visa justamente apontar os problemas inerentes à modelagem física do efeito da chuva sobre sistemas de comunicações terrestres e Terra-satélite que operam em faixas de frequências elevadas e em regiões com altas taxas de precipitação.

1.1 OBJETIVOS

A análise da precipitação pluviométrica e suas conseqüências para sistemas de comunicações sem fio em frequências acima de 10 GHz se constituem em condição fundamental no projeto de enlaces terrestres e Terra-satélite. Neste contexto, o objetivo principal desta dissertação é, tomando por base os modelos adotados pelo Setor de Radiocomunicações da União Internacional de Telecomunicações (UIT-R), investigar o problema da atenuação por chuva em regiões tropicais e equatoriais, procurando interpretar as fontes discrepantes entre os dados experimentais e as previsões teóricas. Um exemplo de dimensionamento de enlace procura destacar, sob o ponto de vista prático, os problemas observados. Em complementação a este objetivo, o trabalho inclui um estudo de distribuição estatística da chuva nas regiões de interesse.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Visando atingir os objetivos fixados, o presente trabalho foi estruturado da seguinte forma. No Capítulo 2 é feito um estudo da distribuição estatística da chuva em regiões com altas taxas de precipitação, tendo por referência os modelos de precipitação existentes e dados de chuva provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Espacial Européia (ESA). Neste capítulo, escolher-se-á a combinação modelo/fonte de dados que melhor se adequie às regiões em questão.

Os capítulos 3 e 4 trabalham diretamente com os modelos de atenuação por chuva do UIT-R para enlaces terrestres e Terra-satélite, respectivamente. Nestes capítulos se tem por objetivo, através da análise dos parâmetros do modelo matemático de atenuação por chuva proposto pelo UIT-R, verificar as origens das discrepâncias entre os resultados obtidos por tais modelos matemáticos e as medidas realizadas em enlaces reais.

Exemplificando as dificuldades associadas ao problema de atenuação por chuva, o Capítulo 5 apresenta a análise do desempenho de um sistema de comunicações por satélite na banda Ka. Este exemplo procura destacar o impacto da atenuação por chuva na disponibilidade do sistema, evidenciando a importância de uma previsão adequada para otimizar o dimensionamento de enlaces na faixa em questão. Finalmente, o Capítulo 6 conclui sobre os pontos de maior relevância tratados nesta dissertação e relaciona questões que poderão ser investigadas em trabalhos futuros.

2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA TAXA DE PRECIPITAÇÃO

O conhecimento da taxa de precipitação ao longo do enlace é de fundamental importância para a previsão da atenuação por chuva e, conseqüentemente, para o projeto de sistemas de comunicações que utilizam frequências acima de 10 GHz. Como existem muitas regiões onde não há disponibilidade de tal conhecimento, tornou-se necessário utilizar modelos estatísticos da taxa de precipitação que sejam aplicáveis em qualquer ponto da Terra. Os modelos estatísticos da taxa de precipitação têm por base a seguinte lógica: quando for possível, é mais apropriado utilizar as taxas de precipitação locais para efeito de cálculo de atenuação; por outro lado, quando não há dados de precipitação para uma dada posição geográfica, é necessário extrapolá-los a partir de dados de outra posição que se encontre na mesma zona climática. Neste capítulo, o objetivo principal é analisar alguns modelos estatísticos de taxa de precipitação e bancos de dados de precipitação existentes e escolher dentre eles o conjunto modelo estatístico/banco de dados que melhor se adapte a regiões de clima tropical e equatorial, onde o foco principal é o Brasil.

2.1 MODELOS ESTATÍSTICOS DA TAXA DE PRECIPITAÇÃO

Foram selecionados para análise: a) Modelo adotado atualmente pelo UIT-R (UIT-R, 2001), o qual foi originalmente proposto por E. Salonen e J. Baptista (BAPTISTA, 1998); b) Modelo Rice-Holmberg (RICE, 1973) – já foi extensivamente utilizado no passado, entretanto, conforme será visto, tende a prever taxas relativamente elevadas para pequenas percentagens de tempo; c) Modelo Martin-Moupfouma (MOUPFOUMA, 1995) – este modelo depende do prévio conhecimento da taxa de precipitação excedida em 0,01% do tempo. Por este motivo, trabalhar-se com “dois” modelos Martin-Moupfouma. Um deles utilizando a taxa de precipitação excedida em 0,01% do tempo de acordo com a previsão do modelo Salonen-Baptista e o outro onde este mesmo parâmetro será proveniente do modelo Rice-Holmberg.

Neste contexto, tem-se então 4 modelos a serem considerados, os quais foram escolhidos por sua simplicidade e por apresentarem resultados satisfatórios em termos de previsão de

taxa de precipitação para regiões de clima temperado. Testes comparativos para regiões de clima tropical e equatorial serão desenvolvidos na seção 2.4.

2.2 BANCO DE DADOS

Neste trabalho serão utilizados o banco de dados da ESA (UIT-R, 2001) e o banco de dados do INMET. O obstáculo à utilização do banco de dados do INMET é que, diferentemente do banco de dados da ESA, este não apresenta dados separados de chuva convectiva e estratiforme que são de fundamental importância para utilização nos modelos estatísticos da taxa de precipitação. Para contornar tal barreira, a solução encontrada foi ponderar a quantidade de chuva total que se encontrava no banco de dados do INMET pelos dados de chuva convectiva e estratiforme do banco de dados da ESA. Esta ponderação foi realizada da maneira simples através de uma regra de três onde se obteve a quantidade de chuva convectiva para o banco de dados do INMET a partir do conhecimento das quantidades de chuva totais provenientes dos bancos de dados da ESA e INMET e da quantidade de chuva convectiva do banco de dados da ESA. Como a quantidade de chuva total é determinada como sendo o somatório das quantidades de chuva convectiva e estratiforme, para se determinar a quantidade de chuva estratiforme referente ao banco de dados do INMET apenas subtraiu-se a quantidade total de chuva da quantidade de chuva convectiva. Portanto, os bancos de dados a serem analisados neste capítulo são o banco de dados da ESA e o banco de dados do INMET, ponderado pelo banco de dados da ESA.

2.3 ZONAS CLIMÁTICAS

O UIT-R divide o Globo em 15 regiões com tipologias climáticas bem definidas. Cada região é designada por uma letra do alfabeto (de A a Q, incluindo K e excluindo as vogais I e O), caracterizando desde climas desérticos (A e B) até climas equatoriais (P e Q) (ASSIS, 1993). Esta classificação, embora nos documentos do UIT-R, não constitui solução ideal, uma vez que a transição de um clima para o outro é feita de forma abrupta e não suavemente como acontece na realidade. Por exemplo, para o Brasil, a aplicação desta classificação leva à FIG. 2.1. Apesar de constituir uma aproximação aceitável sob o ponto de vista macroscópico, não permite levar em conta particularidades das diversas regiões climáticas brasileiras.



FIG. 2.1 – Limites Geográficos das Zonas N e P no Brasil.

A classificação de Köppen, estruturada em função da temperatura, parece ser mais bem adaptada às necessidades do presente trabalho. A aplicação ao Brasil da classificação de Köppen leva, de forma genérica, aos climas mostrados na FIG. 2.2, os quais fornecem as seguintes características (ASSIS, 2001):

Equatorial – este clima cobre a maior parte da região Amazônica e parte do litoral Sul do Nordeste, onde predominam os subtipos Af (equatorial chuvoso) sem estações de seca e Am (tropical de monções) com curtas estações de seca.

Tropical (Aw) – subtipo climático que se caracteriza por um inverno seco e um verão úmido.

Tropical de altitude (Cw) – este subtipo climático se comporta da mesma maneira que o subtipo tropical úmido e seco (Aw), porém, com temperatura média anual mais baixa e taxas de precipitação mais elevadas.

Subtropical (Cf) – subtipo climático entre os subtipos tropical úmido e seco e o temperado.

Semi-árido (BS) – região caracterizada por longas estações de seca, uma vez que a penetração de massas de ar frio é muito limitada devido ao posicionamento geográfico.



FIG. 2.2 – Limites Geográficos das Zonas de Köppen no Brasil

A FIG. 2.3 mostra a disponibilidade de estações do INMET relativamente às regiões climáticas de Köppen. Este número é na realidade maior. Na figura em questão estão representadas as estações que fazem parte do banco de dados utilizado neste trabalho.

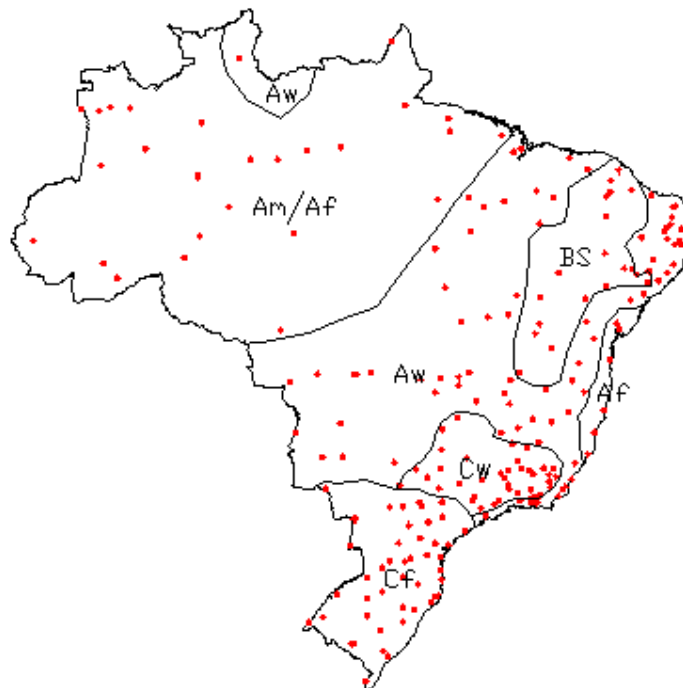


FIG. 2.3 – Estações Meteorológicas do INMET espalhadas pelo Brasil dividido em zonas de Köppen.

Vale ainda ressaltar que, devido a fenômenos naturais, como *La Niña* ou *El Niño*, e a fenômenos resultantes de ações humanas sobre a natureza, como o Efeito Estufa, as características climáticas das regiões do planeta vêm se alterando gradativa e continuamente. Assim, todo tipo de classificação climática deve estar apoiado em estudos recentes para que se tenha uma maior precisão no conhecimento dos parâmetros meteorológicos de cada região, sem incorrer em erros devido à desatualização de dados.

2.4 TESTES COMPARATIVOS

Tendo em vista o posicionamento geográfico das estações do INMET em relação às zonas de Köppen, o banco de dados da ESA e os dados da taxa de precipitação medidos no Brasil (UIT-R, 1999), selecionou-se 6 (seis) localidades para se realizar testes comparativos entre os 4 (quatro) modelos citados anteriormente. Os dados referentes às 6 localidades escolhidas estão mostradas na TAB. 2.1.

A única região que não está representada é a correspondente ao clima Af do litoral da região Sudeste. Para esta região não há disponibilidade de dados da taxa de precipitação para se realizar o teste comparativo.

Os testes foram realizados de acordo com o seguinte procedimento. Primeiramente, para cada estação meteorológica selecionada e descrita na TAB. 2.1, foram determinadas as taxas de precipitação a partir de cada combinação disponível entre banco de dados e modelo estatístico de precipitação. Os resultados detalhados estão descritos nas tabelas constantes do APÊNDICE 1.

TAB. 2.1 – Dados Geográficos das Estações Meteorológicas

Localidades	Latitude (graus)	Longitude (graus)	Altitude (m)	Zona de Köppen
Belém, PA	1° 27' S	48° 29' W	24	Am / Af
Brasília, DF	15° 48' S	47° 50' W	1172	Aw
Fortaleza, CE	3° 46' S	38° 33' W	26	BS
Porto Alegre, RS	30° 02' S	51° 13' W	10	Cf
Rio de Janeiro, RJ	22° 55' S	43° 30' W	30	Aw
São Paulo, SP	23° 33' S	46° 38' W	760	Cw

Com base nos erros relativos apresentados nas tabelas do APÊNDICE 1, pode-se determinar qual conjunto modelo estatístico de precipitação/banco de dados que melhor se adapta as condições climáticas brasileiras. Isto foi feito através da análise estatística simples de valor médio e desvio padrão dos erros relativos encontrados.

TAB. 2.2 – Análise Comparativa dos Conjuntos Modelo Estatístico de Precipitação/Banco de Dados

Banco de Dados de Precipitação		Cidade: Brasília		Cidade: Belém		Cidade: Fortaleza	
		INMET / ESA	ESA	INMET / ESA	ESA	INMET / ESA	ESA
Modelo Salonen - Baptista (SB)	Erro Médio (%)	34,47	6,92	-9,45	-45,68	3,31	7,93
	Desvio Padrão do Erro (%)	18,43	13,81	15,76	31,33	22,17	21,39
Modelo Rice - Holmberg (RH)	Erro Médio (%)	54,97	21,67	-4,07	-40,73	24,66	30,67
	Desvio Padrão do Erro (%)	6,15	29,49	28,65	43,10	48,02	46,97
Modelo Martin - Moupfouma (0,01% de SB)	Erro Médio (%)	70,20	46,08	-5,91	-31,60	28,80	32,69
	Desvio Padrão do Erro (%)	81,82	70,33	23,33	16,95	20,14	20,73
Modelo Martin - Moupfouma (0,01% de RH)	Erro Médio (%)	117,12	94,60	7,86	-19,16	72,55	76,68
	Desvio Padrão do Erro (%)	104,17	93,44	26,74	20,04	26,84	27,47
Banco de Dados de Precipitação		Cidade: Porto Alegre		Cidade: Rio de Janeiro		Cidade: São Paulo	
		INMET / ESA	ESA	INMET / ESA	ESA	INMET / ESA	ESA
Modelo Salonen - Baptista (SB)	Erro Médio (%)	34,51	6,59	8,08	-20,97	-6,75	-15,61
	Desvio Padrão do Erro (%)	15,13	11,39	38,43	42,84	9,14	7,12
Modelo Rice - Holmberg (RH)	Erro Médio (%)	74,21	37,02	9,80	-19,62	13,75	1,67
	Desvio Padrão do Erro (%)	16,51	37,68	56,15	59,29	13,16	19,71
Modelo Martin - Moupfouma (0,01% de SB)	Erro Médio (%)	63,51	32,71	43,46	17,87	19,23	11,00
	Desvio Padrão do Erro (%)	59,30	48,27	25,25	20,84	49,82	46,42
Modelo Martin - Moupfouma (0,01% de RH)	Erro Médio (%)	153,74	121,30	61,46	33,92	66,85	58,50
	Desvio Padrão do Erro (%)	91,59	79,99	28,35	23,60	69,49	66,04

Analisando-se a TAB. 2.2, pode-se constatar que para as estações localizadas em Belém, Fortaleza, Rio de Janeiro e São Paulo, o conjunto Modelo Estatístico de Precipitação/Banco de Dados de melhor desempenho foi o Modelo Salonen-Baptista agregado ao Banco de Dados INMET/ESA; enquanto que para as estações localizadas em Porto Alegre e Brasília, o conjunto mais adequado foi o Modelo Salonen-Baptista agregado ao Banco de Dados ESA. Desta maneira, é fácil verificar que o modelo Salonen-Baptista deve ser escolhido por representar o modelo de precipitação mais eficiente. Quanto ao banco de dados a ser utilizado, a resposta não é óbvia. Entretanto, considerando o número relativamente pequeno de estações disponíveis para esta decisão e que não houve uma diferença marcante entre os dois bancos, optou-se pelo banco de dados da ESA que, por estar digitalizado, facilita a aplicação nos casos de interesse.

3 ATENUAÇÃO POR CHUVA EM ENLACES TERRESTRES

A questão da atenuação provocada pela chuva vem sendo estudada há quatro décadas e, como resultado, diversos modelos de cálculo têm sido desenvolvidos. Em geral, esses modelos trabalham baseados na estrutura espaço-temporal da chuva. A variação temporal da chuva pode ser determinada através de medições realizadas por pluviógrafos. Cabe ressaltar que a precisão nas medições através de pluviógrafos, está diretamente relacionada ao cuidado na observação às normas da Organização Meteorológica Mundial (OMM) para medição de precipitação. Entretanto, a distribuição espacial da chuva, por não ser uniforme, se apresenta com um entrave ao cálculo preciso da atenuação. Sendo assim, vários métodos matemáticos foram arquitetados para interpretar esta não uniformidade. De um modo geral, esses métodos podem ser classificados em dois grupos (ASSIS, 1993): (i) métodos de mesma probabilidade e (ii) métodos de integração. No primeiro grupo, a atenuação e a taxa de precipitação são relacionados a uma mesma percentagem de tempo. Sendo assim, a precisão dos métodos depende diretamente da quantidade e da qualidade dos dados experimentais disponíveis, correspondendo a uma solução intimamente ligada ao clima da região onde foram obtidos tais dados experimentais. Extrapolações de um clima para outro podem reduzir substancialmente a precisão dos métodos. No segundo grupo, é necessário dispor de um modelo que descreva minuciosamente a estrutura espaço-temporal da chuva em uma dada região. Caso esta condição não seja satisfeita, a solução obtida, apesar da base matemática sólida, poderá levar a resultados insatisfatórios. Assim, os métodos que compõem este segundo grupo, por trabalharem com a integração de funções relativamente complexas e não seguirem a tendência mundial de simplificação matemática dos modelos de atenuação por chuva, apresentam menor interesse para as aplicações práticas.

3.1 TESTES COMPARATIVOS

Os modelos considerados de maior relevância foram testados em uma reunião do UIT-R realizada em 1999 (UIT-R, 1999). Os modelos testados foram os seguintes: Australiano (AUS) (UIT-R, 1996), Brasileiro (BRA) (CCIR, 1993), Espanhol (SPA) (CCIR, 1993), Americano (USA) (CCIR, 1993), Japonês (JAP) (CCIR, 1993), UIT-R (UIT) (UIT-R, 1997),

Misme-Fimbel (M-F) (MISME, 1975), EXCELL (EXC) (FEDI, 1986), Leitão-Watson (L-W) (LEITÃO, 1985) e Crane (CRA) (CRANE, 1985). A título de ilustração, a TAB. 3.1 ilustra parte dos resultados obtidos, onde são comparados dados provenientes de 59 enlces, todos situados em clima temperado.

TAB. 3.1 – Erro relativo para 59 enlces

%	AUS	BRA	SPA	USA	JAP	UIT	M-F	EXC	L-W	CRA
0.001	7.96	2.52	9.12	10.82	3.16	5.31	14	36.6	-20.3	40.46
0.002	2.95	1.61	6.26	5.61	1.95	0.03				26.28
0.003	-0.06	0.36	3.15	3.42	1.1	-2.12	4.9	30.7	-19.6	24.55
0.006	-2.19	0.01	0.29	0.76	0.46	-2.9				18.19
0.010	-3.87	-1.25	-3.02	-0.55	-3.2	-3.2	1.5	33	-8.8	11.24
0.020	-6.39	-4.03	-8.51	-1.71	-7.9	-2.39				2.20
0.030	-9.27	-7.53	-13.41	-2.23	-8.82	-0.83	-0.4	39.3	0.2	-1.80
0.060	-19.76	-19.77	-27.27	-7.61	-14.27	-3.32				-10.18
0.100	-24.29	-25.27	-33.32	-11.34	-17.46	-3.8	-11	20.7	0.2	-11.54

a) Erro Médio

%	AUS	BRA	SPA	USA	JAP	UIT	M-F	EXC	L-W	CRA
0.001	41.25	38.25	45.01	34.17	40.55	41.47	37.2	52.1	21.4	156.56
0.002	39.27	38.04	42.03	30.24	37.49	36.61				142.75
0.003	37.64	36.91	39.29	30.11	36.82	35.49	33	50.5	19.9	138.37
0.006	35.49	35.21	35.06	29.44	35.07	33.8				132.93
0.010	35.56	35.42	33.89	30.05	33.83	33.83	32.1	53.2	23.7	128.49
0.020	38.86	38.7	35.52	32.77	33.95	36.19				121.31
0.030	41.18	40.89	36.79	36.15	36.5	40.08	40	66.9	23.7	117.77
0.060	39.43	38.22	33.48	40.02	38.37	43.74				117.08
0.100	39.81	38.35	33.98	40.95	38.37	45.3	41.4	37	33.3	116.79

b) Desvio Padrão

Apesar de o modelo adotado pelo UIT-R na Recomendação P.530-7 (UIT-R, 1997) não ter sido o de melhor desempenho, particularmente, no que diz respeito ao desvio padrão, os membros da reunião optaram por sua permanência. A provável razão desta decisão foi a intenção de se adotar um modelo onde a taxa de precipitação e a atenuação estejam relacionadas na mesma probabilidade, não havendo sentido se fazer uma modificação que teria um caráter temporário. A única alteração feita no período entre 1999 e 2001 manteve a essência do modelo e teve por objetivo melhorar o seu desempenho em aplicações em regiões tropicais e equatoriais. No contexto da presente dissertação, considerando não haver dados adicionais que permitam uma reavaliação dos modelos disponíveis, este trabalho utilizará por referência, em enlces terrestres, o modelo adotado pela UIT-R conforme descrito na Recomendação UIT-R P.530-9 (UIT-R, 2001).

3.2 MODELO UIT-R

Trata-se de um modelo de mesma probabilidade, que tem por referência a atenuação excedida em 0,01% do tempo em um ano médio ($A_{0,01}$), a qual é calculada através de,

$$A_{0,01} = \gamma \cdot r \cdot d \quad (\text{dB}) \quad (3.1)$$

onde:

$$\gamma = k \cdot R_{0,01}^\alpha - \text{Atenuação Específica} \quad (\text{dB/km})$$

$$r = \frac{1}{1 + d/L_0} - \text{Fator de Distância}$$

$$L_0 = 35 \cdot \exp(-0,015 \cdot R_{\max}) \quad (\text{km}) \quad (3.2)$$

onde:

$$R_{\max} = R_{0,01}, \text{ se } R_{0,01} \leq 100 \text{ mm/h}$$

$$R_{\max} = 100 \text{ mm/h}, \text{ se } R_{0,01} > 100 \text{ mm/h}$$

$R_{0,01}$ – Taxa de precipitação excedida em 0,01% do tempo com base em um ano médio.

Para outras percentagens de tempo (p) em regiões localizadas em latitudes maiores que 30°N ou 30°S, a atenuação (A_p) correspondente é dada pela expressão,

$$A_p = 0,12 \cdot A_{0,01} \cdot p^{-(0,546 + 0,043 \log(p))} \quad (\text{dB}) \quad (3.3)$$

Enquanto que para regiões cujas latitudes estejam entre 30°N e 30°S, a atenuação (A_p) é dada por,

$$A_p = 0,07 \cdot A_{0,01} \cdot p^{-(0,855 + 0,139 \log(p))} \quad (\text{dB}) \quad (3.4)$$

Cumprе destacar que, em regiões entre 30°N e 30°S, existem áreas de dimensão considerável com baixas taxas de precipitação como a Arábia Saudita, Omã, partes do Paquistão e da Índia, Líbia, Egito e áreas desérticas na África. Sendo assim, a aplicação da equação (3.4) deve ser criteriosa pois, uma vez que se ajusta bem às regiões com taxas de precipitação elevadas, pode induzir ao erro de cálculo caso seja aplicada indiscriminadamente a qualquer região localizada entre 30°N e 30°S. O melhor critério a ser adotado na aplicação da expressão (3.4) é o de utilizá-la somente para regiões onde a taxa de precipitação excedida em 0,01% do tempo seja realmente elevada, por exemplo, superior a 80 mm/h. Caso contrário, é mais interessante que se aplique a fórmula (3.3).

3.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O FATOR DE DISTÂNCIA

A função do parâmetro r (fator de distância) no modelo UIT-R é ajustar um comprimento efetivo para o enlace onde, teoricamente, a taxa de precipitação pode ser considerada constante. Na prática, o fator de distância é obtido da relação entre a atenuação medida ou estimada (A_p) e a atenuação específica (γ) multiplicada pelo comprimento físico do enlace terrestre (d).

$$r = \frac{A_p}{\gamma \cdot d} \quad (3.5)$$

Deste modo, o comprimento efetivo de enlace (d_e) fica igual ao fator de distância (r) multiplicado pelo comprimento físico (d).

$$d_e = r \cdot d \quad (\text{km}) \quad (3.6)$$

O erro agregado ao fator de distância pode ser observado na TAB. 3.2, onde são comparados os valores de r obtidos experimentalmente com aqueles provenientes do modelo de predição do UIT-R. Nesta tabela, foram utilizadas medidas de enlaces localizados em latitudes entre 30°N e 30°S disponíveis no banco de dados do UIT-R, além de dados adicionais do Brasil e da Índia. Vale destacar que o erro do fator de distância é o mesmo erro relativo à diferença entre a atenuação medida e a prevista pelo modelo UIT-R. Esta conclusão é óbvia, uma vez que os dois parâmetros estão diretamente relacionados, não havendo nenhum outro que possa influenciar o resultado. Embora o erro relativo médio, considerando todas as medidas, seja da ordem de -5%, variações de até 70% são observadas nesta tabela. Isto mostra que na estimativa de um enlace específico, o erro poderá ser considerável. Vale ressaltar que medidas precisas da taxa de precipitação são necessárias para a estimação do fator de distância a partir das medidas de atenuação. Através de (3.5) verifica-se que, como a atenuação específica é calculada utilizando-se esta taxa, conseqüentemente, existirá um erro refletido na avaliação de r .

Resultados similares aos propostos na TAB. 3.2 constam do APÊNDICE 2, onde foram consideradas as medidas disponíveis no banco de dados do UIT-R para enlaces situados em regiões de latitude superior a 30°N ou 30°S (clima temperado). Observa-se nesta tabela que para enlaces muito curtos, o fator de distância pode ser superior a 1. O modelo UIT-R não

contempla esta condição. Em consequência, situações deste tipo têm uma contribuição significativa no erro global de um conjunto de dados (média e desvio padrão).

TAB. 3.2 – Erro relativo entre a atenuação medida e calculada para 0,01% do tempo e entre o fator de distância medido e calculado para enlaces terrestres em regiões tropicais e equatoriais

LOCALIDADE	ENLACE (km)	FREQ (GHz)	POL (Graus)	Atenuação medida (dB)	Atenuação calculada (Rec. UIT-R P.530-9) (dB)	Erro Relativo da Atenuação (%)	Fator de Distância medido	Fator de Distância calculado (Rec. UIT-R P.530-9)	Erro Relativo do Fator de Distância (%)
Brazzaville	33,50	7,00	0,00	20,00	8,79	-56,03	0,43	0,19	-56,05
Calicut	16,70	13,00	90,00	22,28	24,28	8,98	0,37	0,40	8,98
Delhi	8,70	13,00	90,00	26,74	18,04	-32,55	0,83	0,56	-32,55
Ranchi	7,00	13,00	90,00	16,58	17,17	3,56	0,56	0,58	3,57
Ranchi	7,00	13,00	90,00	24,00	15,73	-34,48	0,94	0,61	-34,48
Fortaleza	14,20	11,00	0,00	17,80	21,01	18,04	0,35	0,42	18,03
Porto Alegre	6,90	11,40	90,00	21,00	13,64	-35,05	0,87	0,57	-35,05
Bradesco II	12,79	14,55	90,00	32,90	25,26	-23,21	0,62	0,47	-23,20
Bradesco II	12,79	14,55	90,00	34,90	26,03	-25,41	0,61	0,46	-25,41
Cenesp 15	12,78	14,55	0,00	32,80	30,81	-6,05	0,51	0,47	-6,05
Cenesp 15	12,78	14,55	0,00	36,70	31,80	-13,36	0,53	0,46	-13,35
Cenesp 18	12,78	18,61	90,00	37,40	37,87	1,25	0,47	0,47	1,26
Scania	18,38	14,50	90,00	44,50	29,42	-33,89	0,58	0,39	-33,90
Scania	18,38	14,50	90,00	47,60	30,15	-36,67	0,59	0,37	-36,66
Barueri	21,69	14,53	90,00	36,80	31,32	-14,89	0,41	0,35	-14,89
Paranapiacaba	42,99	14,52	0,00	38,30	46,12	20,41	0,18	0,21	20,41
Rio de Janeiro	8,60	10,90	0,00	10,00	16,98	69,84	0,30	0,52	69,87
Rio de Janeiro	8,60	10,90	0,00	13,20	17,55	32,98	0,37	0,50	32,96
Rio de Janeiro	8,60	10,90	0,00	15,20	18,09	19,03	0,40	0,48	19,03
Rio de Janeiro	8,60	10,90	0,00	20,80	19,96	-4,06	0,50	0,48	-4,05
Rio de Janeiro	8,60	10,90	0,00	12,50	16,63	33,07	0,40	0,53	33,09

O problema do comportamento do parâmetro r em função do clima (taxa de precipitação e dimensão da célula de chuva) e de parâmetros de sistema (frequência, distância de enlace e polarização) está sendo investigado (TIMOTEO DA COSTA, 2002) com base na suposição de uma célula exponencial expressa por,

$$R(x) = R \cdot \exp(-x/\rho) \quad (\text{km}) \quad (3.7)$$

Onde R é a taxa de precipitação vertical excedida em uma dada percentagem de tempo, x é a distância ao longo do trajeto e ρ é a distância correspondente à condição $R(x) = 1/e$. A dificuldade adicional na aplicação de um modelo deste tipo reside no fato de que os resultados dos experimentos evidenciam que as células de chuva podem estender-se a uma distância da

ordem de 20 km (ASSIS, 1992, p. 893). Desta forma, um modelo que leva em conta apenas uma célula, deverá ter o seu desempenho prejudicado quando aplicado em enlaces de comprimento superior a 20 km. Esta questão também está sendo considerada, porém trata-se de uma tarefa ainda mais complexa. Felizmente, a maioria dos enlaces em frequências acima 10 GHz, particularmente aqueles localizados em regiões tropicais e equatoriais, cobre, em geral, distâncias inferiores a 20 km. Neste caso, uma solução através da célula definida pela expressão (3.7) constituirá resultado relevante sob o ponto de vista prático.

4 ATENUAÇÃO POR CHUVA EM ENLACES TERRA-SATÉLITE

A questão da atenuação por chuva em enlaces Terra-satélite está intimamente ligada ao problema dos enlaces terrestres. A razão disto é geométrica pois se pode caracterizar a atenuação em um enlace inclinado (enlace Terra-satélite) por uma composição das estruturas horizontal e vertical da chuva. Portanto, de certa forma, é imediato concluir sobre a necessidade de se obter, primeiro, um modelo de atenuação horizontal (atenuação por chuva em enlace terrestre) suficientemente preciso para que não comprometa os demais cálculos; como segundo item deste processo, é fundamental determinar um modelo de atenuação que seja compatível com a estrutura vertical da chuva. Neste particular, a maioria dos modelos tem por base o conceito de altura efetiva de chuva (h_R), a qual está diretamente associada à isoterma de 0°C , parâmetro este que é facilmente obtido a partir de medidas meteorológicas. Supõe-se que a taxa de precipitação não varia desde a superfície da Terra ao longo da extensão vertical limitada por h_R .

4.1 MODELO UIT-R

Durante longo tempo, a componente horizontal do modelo UIT-R para enlaces Terra-satélite esteve atrelada ao fator de distância utilizado no modelo para enlaces terrestres discutido no capítulo anterior. Desde 1995, entretanto, apesar de terem a mesma base empírica, os modelos passaram a ter uma formulação matemática distinta. Em que pese os resultados aceitáveis obtidos pelo modelo UIT-R atual (UIT-R, 2001), não se pode dizer que se chegou a solução definitiva para o problema da atenuação em enlaces Terra-satélite. Existem pontos ainda a serem aprimorados como a caracterização do comportamento da componente horizontal, o comportamento do modelo em função do ângulo de elevação e a definição da altura da chuva. Mesmo assim, dentro das condições em que tem sido testado, o modelo tem se mostrado razoável para o cálculo da atenuação. Uma vez que este modelo será aqui utilizado para investigar o desempenho de enlace Terra-satélite, procurar-se-á levantar, neste capítulo, suas limitações, de modo que se possa ponderar com relativa precisão as conclusões resultantes deste estudo.

A geometria do enlace Terra-satélite está ilustrada na FIG. 4.1. Com base nesta figura serão descritos os passos para o cálculo da atenuação por chuva de acordo com o modelo UIT-R.

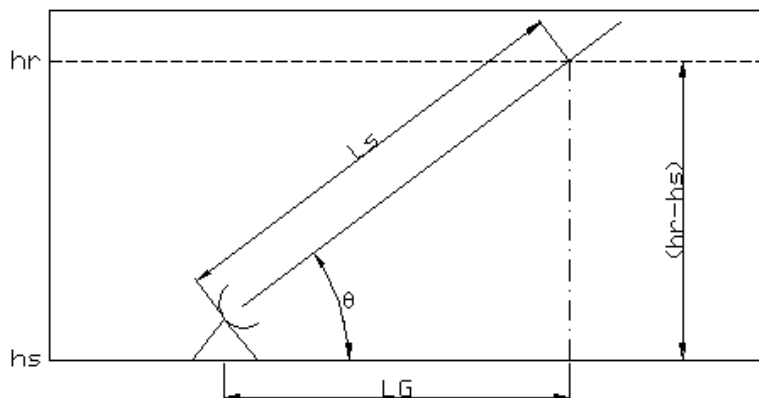


FIG. 4.1 – Enlace Terra-satélite

Determina-se, inicialmente, o comprimento do enlace inclinado (L_S). Para ângulos de elevação da antena terrena maiores ou iguais que 5° , L_S é dado por,

$$L_S = \frac{(h_R - h_S)}{\text{sen } \theta} \quad (\text{km}) \quad (4.1)$$

onde:

h_R : Altura da chuva (km) – obtida de acordo com o procedimento descrito na Recomendação UIT-R P.839-3 (UIT-R, 2001) em função da posição da estação terrena dada por sua longitude e sua latitude (ϕ)

h_S : Altura do centro de fase da antena (km)

θ : Ângulo de elevação da antena terrena (graus)

Enquanto que para ângulos de elevação da antena terrena menores que 5° , L_S tem por expressão,

$$L_S = \frac{2 \cdot (h_R - h_S)}{\left(\text{sen}^2 \theta + \frac{2 \cdot (h_R - h_S)}{R_e} \right)^{1/2} + \text{sen } \theta} \quad (\text{km}) \quad (4.2)$$

onde:

R_e : Raio equivalente da Terra (km) – usualmente 8500 km

A projeção horizontal (L_G) do enlace é obtida a partir de,

$$L_G = L_S \cdot \cos \theta \quad (\text{km}) \quad (4.3)$$

A atenuação específica (γ) é calculada através da equação (4.4) a seguir, utilizando os coeficientes k e α obtidos através da Recomendação UIT-R P.838-1 (UIT-R, 1999).

$$\gamma = k \cdot R_{0,01}^\alpha \quad (\text{dB/km}) \quad (4.4)$$

onde:

$R_{0,01}$: Taxa de precipitação que excede 0,01% de um ano médio (mm/h) obtidas nos mapas digitais referenciados na Recomendação UIT-R P.837-3 (UIT-R, 2001).

Os próximos passos do cálculo dizem respeito às contribuições horizontal e vertical da atenuação que, matematicamente, se caracterizam pelos fatores horizontal e vertical. Assim, primeiramente, deve-se calcular o fator de redução horizontal para 0,01% do tempo de um ano médio ($r_{0,01}$) através da expressão abaixo.

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + 0,78 \cdot \sqrt{\frac{L_G \cdot \gamma}{f}} - 0,38 \cdot (1 - e^{-2 \cdot L_G})} \quad (4.5)$$

onde:

f : Freqüência de operação (GHz)

O fator de ajuste vertical ($v_{0,01}$) para a mesma percentagem de tempo do fator anterior é dado por

$$v_{0,01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \cdot \left(31 \cdot (1 - e^{-(\theta/(1+\chi))}) \cdot \frac{\sqrt{L_R \cdot \gamma}}{f^2} - 0,45 \right)} \quad (4.6)$$

onde:

$$\zeta = \tan^{-1} \left(\frac{h_R - h_S}{L_G \cdot r_{0,01}} \right) \quad (\text{graus}) \quad (4.7)$$

Para $\zeta > \theta$,

$$L_R = \frac{L_G \cdot r_{0,01}}{\cos \theta} \quad (\text{km}) \quad (4.8)$$

Senão,

$$L_R = \frac{(h_R - h_S)}{\text{sen } \theta} \quad (\text{km}) \quad (4.9)$$

Para latitude (ϕ) inferior a 36° , ou seja, $|\phi| < 36^\circ$, tem-se:

$$\chi = 36 - |\phi| \quad (\text{graus}) \quad (4.10)$$

Senão,

$$\chi = 0 \quad (\text{graus}) \quad (4.11)$$

Tem-se então para o comprimento efetivo do enlace Terra-satélite,

$$L_E = L_R \cdot v_{0,01} \quad (\text{km}) \quad (4.12)$$

A atenuação que excede 0,01% do tempo de um ano médio é determinada por,

$$A_{0,01} = \gamma \cdot L_E \quad (\text{dB}) \quad (4.13)$$

Finalizando este roteiro, a atenuação estimada para percentagens de tempo de um ano médio (p) entre 0,001% e 5% é determinada através de uma extrapolação matemática baseada na atenuação calculada para o ponto 0,01% do ano médio e calculada pela equação (4.14).

$$A_p = A_{0,01} \cdot \left(\frac{p}{0,01} \right)^{-(0,655+0,033 \cdot \ln(p) - 0,045 \cdot \ln(A_{0,01}) - \beta \cdot (1-p) \cdot \text{sen } \theta)} \quad (4.14)$$

Onde o parâmetro β atende as seguintes condições:

$$\text{Se } p \geq 1\% \text{ ou } |\phi| \geq 36^\circ, \text{ então } \beta = 0 \quad (4.15)$$

$$\text{Se } p < 1\% \text{ e } |\phi| < 36^\circ \text{ e } \theta \geq 25^\circ, \text{ então } \beta = -0,005 \cdot (|\phi| - 36) \quad (4.16)$$

$$\text{Em outro caso qualquer, } \beta = -0,005 \cdot (|\phi| - 36) + 1,8 - 4,25 \cdot \text{sen}(\theta) \quad (4.17)$$

4.2 COMPORTAMENTO DO MODELO UIT-R EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE ELEVAÇÃO

As figuras 4.2 a 4.5 apresentam curvas de variação da atenuação causada pela chuva em função do ângulo de elevação para as seguintes condições apresentadas na TAB. 4.1.

Observa-se nestas figuras que a atenuação que tem um comportamento decrescente com θ , tende a aumentar para ângulos da ordem ou superiores a 60° . A característica empírica do modelo UIT-R dificulta avaliar de forma simples esta variação. Entretanto, alguns cálculos numéricos indicam que para a condição de $\zeta > \theta$, situação usual quando o fator de redução horizontal ($r_{0,01}$) é menor que 1, os parâmetros $v_{0,01}$ e L_R variam em sentido contrário a

medida que θ cresce. Esta situação faz com que o trajeto efetivo (L_R) apresente um ponto de mínimo. Sendo a atenuação proporcional a L_R , o mesmo comportamento é observado. Embora, intuitivamente, fosse esperado que a atenuação decrescesse monotonicamente com o aumento do ângulo de elevação, a falta de um conhecimento detalhado da dinâmica da célula de chuva não permite considerar, a priori, que o citado comportamento corresponde a uma incoerência física.

TAB. 4.1 - Condições para simulação do modelo UIT-R em função do ângulo de elevação

Percentagem de tempo excedido (p)	1,0%	0,1%
Taxa de precipitação para 0,01 % do tempo ($R_{0,01}$)	80 mm/h	150 mm/h
Latitude da estação terrena (ϕ)	0°	20°S
Longitude da estação terrena	50°W	
Frequência de operação (f)	20 GHz	
Polarização	Horizontal (0°)	

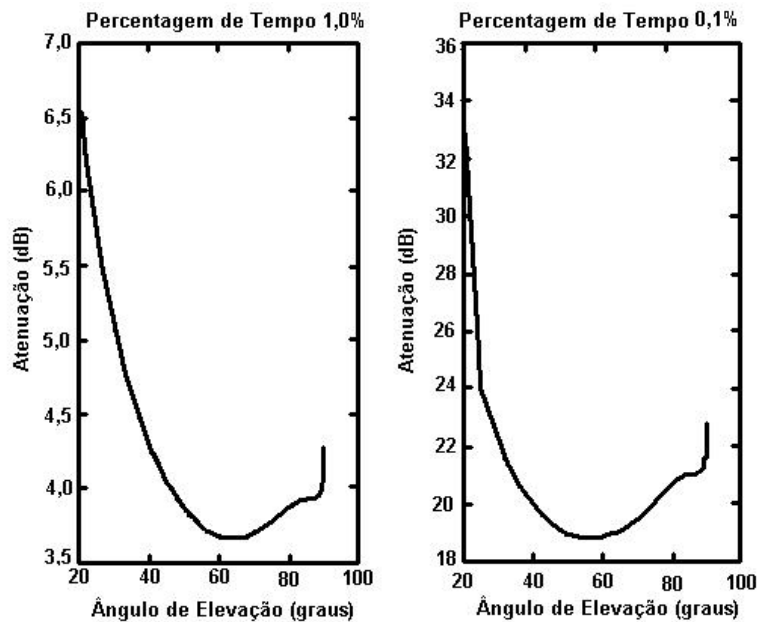


FIG. 4.2 - Gráfico de atenuação para $R_{0,01} = 80$ mm/h e $\phi = 0^\circ$

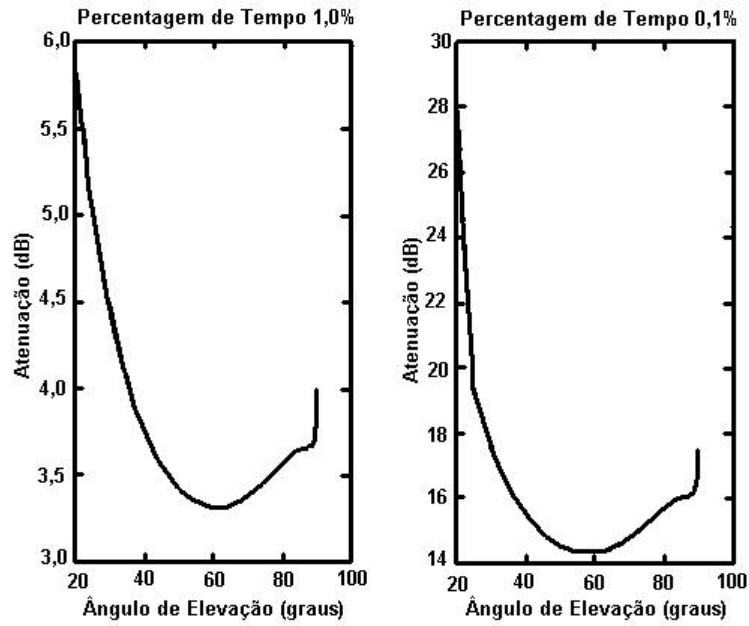


FIG. 4.3 - Gráfico de atenuação para $R_{0,01} = 80 \text{ mm/h}$ e $\phi = 20^\circ$

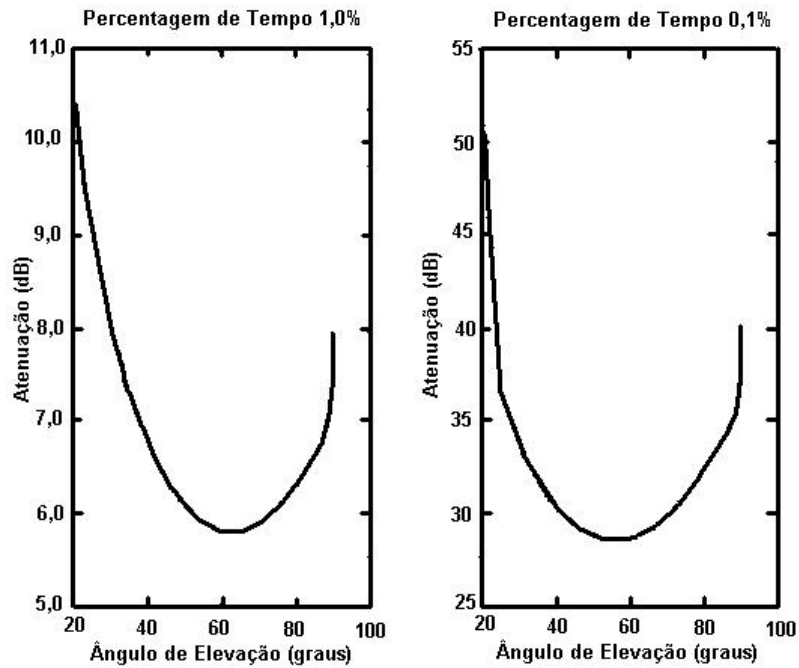


FIG. 4.4 - Gráfico de atenuação para $R_{0,01} = 150 \text{ mm/h}$ e $\phi = 0^\circ$

Este modelo foi exaustivamente testado com o banco de dados da UIT que dispõe de aproximadamente 420 entradas. Entretanto, a maioria absoluta corresponde a ângulos de elevação inferiores a 70° . Apenas 4 localidades (ver TAB. 4.4) em todo o banco de dados

apresentam ângulo de elevação superior a este limite. Provavelmente, este deve ter sido o motivo do comportamento aparentemente incoerente não ter sido observado anteriormente.

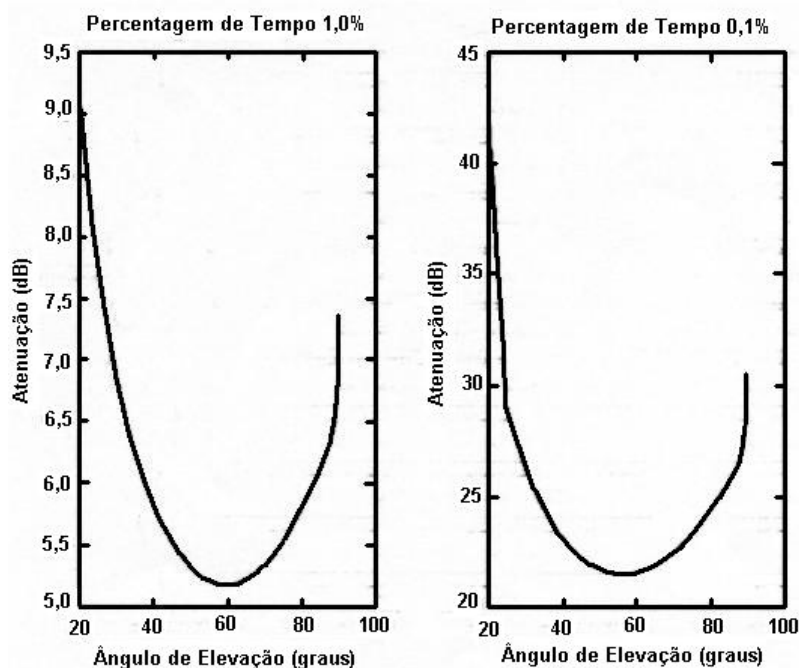


FIG. 4.5 - Gráfico de atenuação para $R_{0,01} = 150 \text{ mm/h}$ e $\phi = 20^\circ\text{S}$

Em vista do exposto, procurando evitar imprecisão nos resultados na análise de disponibilidade desenvolvida no Capítulo 5, o ângulo de elevação será limitado em 70° .

No que se refere à descontinuidade da derivada da curva em torno de $\theta \approx 25^\circ$ para $p=0,1\%$, isto se deve a mudança no parâmetro β da equação (4.17) para a (4.16). Entretanto, este ponto não prejudica os resultados numéricos obtidos, não havendo necessidade de se formular nenhuma consideração a respeito.

4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE ALTURA EFETIVA DA CHUVA

Conforme comentado anteriormente, o conhecimento preciso da estrutura vertical da chuva é de fundamental importância para o cálculo da atenuação em enlaces Terra-satélite. Observações meteorológicas já identificaram que normalmente a intensidade de chuva não varia desde a superfície da Terra até o isoterma de zero graus Celsius (h_0). Com base nesta observação, o isoterma 0°C vem servindo de referência para determinação da altura efetiva da chuva (h_R).

TAB. 4.2 – Algumas Estações Meteorológicas Brasileiras

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	h₀ (m) (medida)	h₀ (m) Rec. 839-3
Belém	01° 23'S	48° 29'W	4812	4538,6
Manaus	03° 08'S	60° 01'W	4807	4466,6
Fernando de Noronha	03° 51'S	32° 25'W	4872	4577,3
Natal	05° 55'S	35° 12'W	4916	4574,4
Cachimbo	09° 20' 13"S	54° 57' 55"W	4933	4484,3
Vilhena	12° 42'S	60° 06'W	4780	4513,5
Brasília	15° 52'S	47° 56'W	4707	4468,6
Ilha de Trindade	20° 30"S	29° 18"W	4449	4284,7
Campo Grande	20° 28'S	54° 40'W	4669	4489,5
Rio de Janeiro	22° 54'S	43° 10'W	4448	4243,1
São Paulo	23° 37'S	46° 39'W	4443	4174,1
Curitiba	25° 31'S	49° 16'W	4337	4196,6
Porto Alegre	30° 00'S	51° 11'W	4011	4236,8

TAB. 4.3 – Variação Mensal da Isotherma de 0^o.C

LOCAL	Belém	Ilhas Trindade	Campo Grande	Rio de Janeiro	Curitiba	
Altura da chuva (m)	Jan	4844	4741	4800	4603	4781
	Fev	4950	4608	4808	4615	4797
	Mar	4935	4697	4827	4589	4638
	Abr	5017	4412	4813	4207	4207
	Mai	5027	4436	4620	4267	4307
	Jun	4917	4635	4599	4172	4017
	Jul	4816	4406	4463	4093	4074
	Ago	4710	4226	4414	4126	3914
	Set	4752	4158	4503	4416	4316
	Out	4758	4173	4588	4312	4194
	Nov	4844	-	4836	4499	4388
	Dez	4843	-	4826	4508	4384

TAB. 4.4 – Altura efetiva da chuva e da isoterma de -2°C

Nome da Estação	País	Altura da Chuva pela Rec. UIT-R P. 839 (km)	Altura da Chuva calculada pela Rec.UIT-R P.618 (km)		Erro Relativo entre Rec. UIT-R P.839 e P.618 (%)	
			0,01%	0,1%	0,01%	0,1%
MANAUS (*)	BR	4,8298	--	5,64	--	16,87
MANAUS	BR	4,8298	--	5,47	--	13,19
MANAUS	BR	4,8298	--	5,50	--	13,83
RIO DE JANEIRO	BR	4,6808	--	4,86	--	3,83
RIO DE JANEIRO	BR	4,6808	4,52	2,57	-3,47	-45,19
RIO DE JANEIRO	BR	4,6808	--	3,74	--	-20,12
RIO DE JANEIRO	BR	4,6808	5,99	3,52	27,91	-24,81
BELEM (*)	BR	4,8991	--	5,97	--	21,90
BELEM	BR	4,8991	--	5,41	--	10,37
BELEM	BR	4,8991	--	5,54	--	13,14
PTA DAS LAGES (*)	BR	4,8277	4,39	4,48	-9,07	-7,14
TRINIDAD	TT	4,8732	3,85	4,65	-21,07	-4,60
IQUITOS	PE	4,8001	--	3,81	--	-20,65
BRASILIA	BR	4,8304	7,47	6,92	54,72	43,27
DOUALA	CM	4,916	--	9,71	--	97,61
DOUALA	CM	4,916	--	7,64	--	55,41
NAIROBI	KE	4,9355	4,65	3,76	-5,76	-23,87
NAIROBI	KE	4,9355	4,19	3,65	-15,16	-25,95
ILE-IFE	NG	4,8882	--	$\geq 10,00$	--	104,57
ILE-IFE	NG	4,8882	--	$\geq 10,00$	--	104,57
DELHI	IN	5,3032	4,06	5,03	-23,36	-5,16
OGASAWARA	JP	4,6941	2,80	3,45	-40,43	-26,41
MINAMIDAITO	JP	4,8564	$\geq 10,00$	$\geq 10,00$	105,91	105,91
TAIPEI	TW	4,6715	--	4,58	--	-1,91
YONAGUNI	JP	4,7711	7,63	$\geq 10,00$	59,97	109,60
SINGAPORE	SG	4,9776	2,13	1,38	-57,22	-72,29
HONG KONG	HK	5,2178	1,81	0,84	-65,35	-83,83
HONG KONG	HK	5,2178	3,17	7,45	-39,19	42,80
UNITECH LAE (*)	PG	5,0821	4,81	3,28	-5,28	-35,46
UNITECH LAE	PG	5,0821	6,63	4,87	30,39	-4,09
DJATILUHUR	ID	5,0427	$\geq 10,00$	$\geq 10,00$	98,31	98,31
DARWIN#1	AU	5,0744	3,40	4,15	-32,97	-18,14
DARWIN#1	AU	5,0744	--	3,66	--	-27,84
DARWIN#1	AU	5,0744	3,68	3,71	-27,49	-26,94
DARWIN#1	AU	5,0744	--	3,01	--	-40,65
INNISFAIL	AU	4,9314	--	3,79	--	-23,08
INNISFAIL	AU	4,9314	--	5,54	--	12,37
PADANG	ID	4,7713	--	$\geq 10,00$	--	109,59
PADANG	ID	4,7713	--	8,54	--	79,05
CIBINONG	ID	4,8512	--	8,38	--	72,84
BRISBANE	AU	3,8442	3,87	1,80	0,66	-53,28
SURABAYA	ID	5,056	--	5,85	--	15,78
SURABAYA	ID	5,056	--	6,36	--	25,72
SURABAYA	ID	5,056	5,71	5,33	12,93	5,38
TOWNSVILLE	AU	4,8336	--	5,12	--	5,88

(*) - Localidades com ângulo de elevação superior a 70°

O próprio modelo de atenuação Terra-satélite atualmente adotado pela UIT-R (UIT-R, 2001) determina que $h_R(\text{km}) = h_0(\text{km}) + 0,36$ (UIT-R, 2001), o que corresponde a altura da isoterma de -2°C , utilizando-se a taxa de variação padrão da temperatura com a altura que é dada por $-5,6^{\circ}\text{C}/\text{km}$.

Na TAB. 4.2, são comparados valores de h_0 retirados do mapa da UIT-R (UIT-R, 2001) com medições realizadas por radiossondas em várias localidades no Brasil. Para as localidades investigadas na TAB. 4.2, observa-se uma razoável concordância entre os valores experimentais, onde o erro relativo máximo é de 10%. Pode-se concluir então que, em termos de variação anual, os mapas digitais do UIT-R apresentam uma precisão bastante aceitável nos climas tropicais e equatoriais. Contudo, como pode ser observado na TAB. 4.3, as variações mensais de h_0 no país são consideráveis. Este comportamento, apesar de importante para sistemas de comunicações via satélite de baixa disponibilidade, não é contemplado pelo mapa digital do UIT-R.

Tomando por base, mais uma vez, o modelo de atenuação do UIT-R para enlaces Terra-satélite, realizou-se uma análise a fim de melhor compreender o efeito da altura efetiva da chuva. O procedimento para análise foi calcular a altura efetiva da chuva a partir do modelo de atenuação do UIT-R para 0,01% e 0,1% do tempo excedido em um ano médio e, então, calcular o erro relativo entre esta altura e a obtida através do mapa digital supracitado.

TAB. 4.5 – Erro Médio e Desvio Padrão da Altura de Chuva

Percentagem de Tempo Excedido: 0,1%	Erro Médio Relativo (%)	13,12
	Erro Médio Relativo Quadrático (%)	51,36
	Desvio Padrão (%)	51,20
Percentagem de Tempo Excedido: 0,01%	Erro Médio Relativo (%)	2,14
	Erro Médio Relativo Quadrático (%)	46,46
	Desvio Padrão (%)	45,39

Cumprе ressaltar que a altura da chuva foi obtida através de seguidas iterações do modelo UIT-R utilizando-se o método da bisseção, onde, de antemão, foi fixada a faixa de variação da altura efetiva da chuva nos trópicos entre 0,5 e 10 km.

TAB. 4.6 – Erro previsto da atenuação em regiões tropicais e equatoriais

Nome da Estação	País	Atenuação por chuva calculada (Rec. UIT-R P. 618) (dB)		Atenuação por chuva medida (dB)		Erro relativo entre atenuação medida e calculada (%)	
		0,01%	0,1%	0,01%	0,1%	0,01%	0,1%
MANAUS	BR	--	7,54	--	8,43	--	-10,50
MANAUS	BR	--	7,14	--	7,81	--	-8,58
MANAUS	BR	--	7,39	--	8,11	--	-8,88
RIO DE JANEIRO	BR	--	4,06	--	4,15	--	-2,20
RIO DE JANEIRO	BR	9,92	3,70	9,73	2,52	1,93	46,82
RIO DE JANEIRO	BR	--	3,96	--	3,46	--	14,49
RIO DE JANEIRO	BR	7,76	2,82	8,93	2,34	-13,09	20,62
BELEM	BR	--	6,93	--	7,80	--	-11,17
BELEM	BR	--	8,83	--	9,34	--	-5,45
BELEM	BR	--	7,92	--	8,51	--	-6,95
PONTA DAS LAGES	BR	13,74	6,67	12,89	6,31	6,60	5,64
TRINIDAD	TT	14,22	6,05	12,60	5,90	12,82	2,62
IQUITOS	PE	--	9,60	--	8,40	--	14,28
BRASILIA	BR	6,97	2,70	9,60	3,64	-27,45	-25,70
DOUALA	CM	--	7,66	--	10,90	--	-29,68
DOUALA	CM	--	6,60	--	8,40	--	-21,40
NAIROBI	KE	8,48	3,77	8,00	2,70	5,94	39,56
NAIROBI	KE	7,39	3,24	6,20	2,20	19,21	47,26
ILE-IFE	NG	--	6,67	--	10,20	--	-34,59
ILE-IFE	NG	--	5,19	--	8,00	--	-35,16
DELHI	IN	11,48	4,12	10,00	4,00	14,76	2,97
OGASAWARA	JP	10,45	3,74	7,80	3,10	33,98	20,62
MINAMIDAITO	JP	10,60	3,88	16,40	6,00	-35,37	-35,38
TAIPEI	TW	--	8,58	--	8,50	--	0,96
YONAGUNI	JP	11,00	4,11	14,10	8,00	-21,98	-48,59
SINGAPORE	SG	18,76	8,49	12,00	3,90	56,36	117,58
HONG KONG	HK	21,15	10,27	12,00	3,30	76,25	211,16
HONG KONG	HK	17,48	6,63	13,60	8,00	28,50	-17,18
UNITECH LAE	PG	16,90	8,00	16,40	6,00	3,08	33,38
UNITECH LAE	PG	16,90	8,00	19,50	7,80	-13,31	2,60
DJATILUHUR	ID	2,80	0,99	4,50	2,80	-37,70	-64,55
DARWIN#1	AU	14,94	6,44	12,30	5,80	21,49	11,09
DARWIN#1	AU	--	11,63	--	9,70	--	19,89
DARWIN#1	AU	13,38	5,71	11,40	4,80	17,41	18,86
DARWIN#1	AU	--	10,33	--	7,60	--	35,88
INNISFAIL	AU	--	7,24	--	6,30	--	14,93
INNISFAIL	AU	--	6,03	--	6,40	--	-5,77
PADANG	ID	--	8,19	--	14,30	--	-42,74
PADANG	ID	--	7,75	--	10,60	--	-26,85
CIBINONG	ID	--	8,78	--	11,60	--	-24,31
BRISBANE	AU	11,76	4,27	11,80	2,60	-0,38	64,20
SURABAYA	ID	--	18,77	--	20,50	--	-8,46
SURABAYA	ID	--	14,16	--	16,10	--	-12,03
SURABAYA	ID	26,95	14,06	28,70	14,50	-6,08	-3,03
TOWNSVILLE	AU	--	4,22	--	4,36	--	-3,19

Desta forma, na TAB. 4.4 onde se encontram dados para regiões localizadas em latitudes entre 30°N e 30°S, poder-se-á verificar que alguns valores não puderam ser calculados devido a ausência dos dados necessários ao método da bisseção e, em outros casos, a altura efetiva da chuva foi suposta igual a 10 km; nestes casos, os cálculos indicam ser h_R maior ou igual a 10 km.

A TAB. 4.5 sumariza os resultados da tabela anterior, destacando o erro médio e o desvio padrão. O desvio padrão elevado da TAB. 4.5 indica a possibilidade de erros consideráveis na estimativa de atenuação em um trajeto específico. Esta inferência pode ser constatada na TAB. 4.6. As discrepâncias observadas na TAB. 4.6 não se restringem a enlaces situados em regiões tropicais e equatoriais. O APÊNDICE 3 mostra tabelas similares, bem mais extensas, contendo uma análise comparativa entre dados provenientes de enlaces localizados em regiões temperadas. Nestas tabelas, variações representativas entre valores medidos e calculados podem ser observadas.

O material desta seção foi objeto de um trabalho aceito no Simpósio da Comissão F da URSI (URSI-F-2002) a ser realizado em Garmisch, Alemanha, em fevereiro de 2002. O artigo completo consta do APÊNDICE 4.

5 DESEMPENHO DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES VIA SATÉLITE EM BANDA Ka

O modelo UIT-R discutido no capítulo anterior será aqui aplicado na análise do desempenho de um sistema por satélite operando na banda Ka em regiões tropicais e equatoriais. O parâmetro objetivo desta análise é a disponibilidade do sistema que traduz a percentagem de tempo em que o sistema está operacional tomando por referência uma base anual. Por outro lado, o sistema é considerado operacional quando a relação portadora-ruído situa-se acima de um patamar mínimo que, no caso da tecnologia digital, corresponde a uma taxa de erro máxima aceitável.

A falta de dados experimentais de atenuação de propagação em áreas de baixa latitude na banda Ka é um empecilho importante para a análise pretendida. Entretanto, o modelo UIT-R tem sido aplicado com sucesso razoável nesta faixa de frequência em clima temperado, não havendo evidências que o mesmo não possa ser utilizado em outros climas, desde que seja atendida a restrição à dependência com o ângulo de elevação discutida no Capítulo 4.

Considerando que os sistemas via satélite na banda Ka, que estão sendo desenvolvidos, visam atender usuários residenciais e comerciais com alta capacidade, a avaliação do desempenho desenvolvida neste capítulo será concentrada no enlace de descida. Supõe-se que no enlace de subida, de responsabilidade do provedor de acesso (GARDIONE, 1999), o dimensionamento enfrente obstáculos técnicos de menor importância. A avaliação de disponibilidade será feita entre os limites de 97 e 99,9% do tempo em uma base anual. O limite inferior foi arbitrariamente definido em 97% uma vez que, em uma base anual, corresponde a 5 horas e 3 minutos por semana fora de operação. Por sua vez, o limite superior foi fixado pelo valor relativamente elevado de atenuação, o qual traria dificuldade ao dimensionamento do sistema caso um valor maior de disponibilidade fosse pretendido.

5.1 EQUACIONAMENTO MATEMÁTICO

Fundamentalmente, a análise terá por base a equação de sistema dada por (ALENCAR, 1995 e 2001),

$$\frac{C}{N} = EIRP - A_0 + \frac{G}{T} - 10 \cdot \log(k \cdot B_{RF}) - A_g - A_n - A_c - L_u - L_a \quad (\text{dB}) \quad (5.1)$$

onde:

EIRP : Potência equivalente isotropicamente irradiada pelo satélite (dBW)

A_0 : Atenuação de espaço livre (dB)

G/T : Figura de mérito da antena receptora (dB/K)

G : Ganho da antena receptora (dB)

T : Temperatura de ruído do sistema de recepção (K)

k : Constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

B_{RF} : Largura da faixa RF do receptor (Hz)

A_g : Absorção por gases atmosféricos (dB)

A_n : Atenuação por nuvens (dB)

A_c : Atenuação por chuva (dB)

L_u : Perda equivalente à contribuição de ruído no enlace de subida (dB)

L_a : Perdas adicionais (guias de onda,apontamento do satélite,etc.) (dB)

A atenuação de espaço livre (A_0) é dada por:

$$A_0 = 92,4 + 20 \log[d(km)] + 20 \log[f(GHz)] \quad (\text{dB}) \quad (5.2)$$

onde:

d : Distância Terra-satélite (km)

f : Frequência de operação do sistema (GHz)

A absorção por gases atmosféricos (A_g), no contexto UIT-R, tem por referência a Recomendação UIT-R P.676-5 (UIT-R, 2001). Entretanto, na frequência de 20 GHz, esta absorção não é elevada, assim, tomar-se-á neste trabalho o valor constante de 0,5 dB que corresponde aproximadamente ao valor encontrado em um enlace via satélite com um ângulo de elevação de 30°. No caso do parâmetro A_n , que corresponde à atenuação causada pelas nuvens na ausência de chuva, terá seu valor fixado também em 0,5 dB (UIT-R, 2000).

A figura de mérito do terminal de recepção (G/T) é dada pela razão entre o ganho da antena do terminal de recepção (refletor parabólico) e a temperatura de ruído do sistema de recepção em condições de chuva ($T_{S/C}$). Sendo esta última obtida a partir da expressão:

$$T_{S/C} = T_R + (1 - 10^{-L_g/10}) \cdot T_0 + T_{A/C} \cdot 10^{-L_g/10} \quad (\text{K}) \quad (5.3)$$

onde:

T_0 : Temperatura média da chuva (K) – usualmente 290 K

L_g : Perda no guia de alimentação da antena receptora (dB)

$T_R = T_0 \cdot (10^{F/10} - 1)$ – Temperatura de ruído no receptor (K)

F : Fator de Ruído no Receptor (dB)

$T_{A/C}$ (K) = $T_0 \cdot (1 - 10^{-A/10}) + 10^{-A/10} \cdot T_A$ - Temperatura de ruído na antena em condições de chuva

T_A : Temperatura de ruído na antena em condições de céu claro (K)

$A = A_g + A_c + A_n$

A_g : Absorção por gases (dB)

A_n : Atenuação por nuvens (dB)

A_c : Atenuação por chuva (dB)

5.2 PARÂMETROS DO SISTEMA

Para aplicação da formulação matemática apresentada na seção 5.1, é necessário fixar os parâmetros do sistema. Embora estes dados ainda sejam hipotéticos, pois os sistemas em banda Ka estão em fase de desenvolvimento, apoiando-se também em informações disponíveis na banda Ku, propõe-se os seguintes parâmetros mostrados na TAB. 5.1.

TAB. 5.1 – Parâmetros do Sistema

Parâmetros do Sistema de Comunicações em Banda Ka	
C/N	14 dB
EIRP	60 dBW
A_0	210 dB
B_{RF}	24 MHz
L_u	0,5 dB
L_a	0,5 dB
F	2 dB
T_A	40 K
L_g	0,2 dB
T_0	290 K
A_g	0,5 dB
A_n	0,5 dB
f (descida)	20 GHz
Polarização	Horizontal (0°)

5.3 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE

A partir das equações (5.1) a (5.3) e levando-se em conta os parâmetros da TAB. 5.1, chega-se à seguinte relação entre atenuação causada pela chuva (A_c) e o fator de mérito da antena de recepção em condição da chuva,

$$G/T_{S/C} = 11,2 + A_c \quad (\text{dB/K}) \quad (5.4)$$

Verifica-se que, para uma dada configuração geométrica de enlace, dependendo do seu ângulo de elevação (θ), da posição da estação terrena considerada em função da sua latitude (ϕ) e da sua longitude, e do clima através da taxa de precipitação ultrapassada em 0,01% do tempo ($R_{0,01}$), pode-se determinar qual o diâmetro do refletor necessário para que se garanta uma dada disponibilidade para o sistema. O procedimento para se atingir este resultado segue a seguinte lógica:

i) Fixa-se o valor da disponibilidade do sistema [$DS(\%)$];

ii) Calcula-se a percentagem admissível de interrupção [$p(\%)$] através de,

$$p(\%) = 100 - DS(\%) \quad (5.5)$$

iii) Fixa-se o valor de $R_{0,01}$, θ , ϕ e da longitude;

iv) Calcula-se $A_{0,01}$ pelo modelo de atenuação Terra-satélite do UIT-R descrito nas equação (4.1) a (4.13);

v) Com base em $A_{0,01}$ e $p(\%)$ pode-se calcular A_c a partir da equação (4.14);

vi) Determina-se $G/T_{S/C}$;

vii) Calcula-se $T_{S/C}$;

viii) O ganho do refletor (G) é dado por,

$$G = \eta \left(\frac{\pi \cdot D}{\lambda} \right)^2 \quad (5.6)$$

ix) Determina-se o diâmetro do refletor (D) por (5.6).

Com este procedimento, para as condições apresentadas na TAB. 5.2, se chegou ao conjunto de curvas mostradas nas figuras 5.1 a 5.4.

Verifica-se por estas curvas que para disponibilidade de 99,9% em condições desfavoráveis ($R_{0,01} = 150$ mm/h), é preciso dispor de uma área que permita a instalação de um refletor com diâmetro da ordem de pelo menos 85 cm ($\theta \approx 30^\circ$). Este valor se reduz a aproximadamente 70 cm no caso de $R_{0,01} = 80$ mm/h. Por outro lado, deve-se também levar em conta que, a medida que o diâmetro aumenta, diminui a largura do feixe de meia potência

(LF) do lobo principal do diagrama de recepção do refletor, dificultando o apontamento da antena em relação ao satélite. A relação entre LF (para $f = 20$ GHz e $\eta = 0,65$) e o diâmetro (D) da antena é dado por (BALANIS, 1997),

$$LF(\text{graus}) = \frac{1,2}{D(m)} \quad (5.7)$$

A FIG. 5.5 ilustra graficamente a situação descrita na equação acima. Conclui-se então que existe, em termos práticos, uma relação de compromisso entre a disponibilidade desejada e o diâmetro do refletor necessário para que a esta seja atingida.

TAB. 5.2 - Condições para simulação

Disponibilidade do sistema (DS)	97%	99%	99,9%
Taxa de precipitação para 0,01% do tempo ($R_{0,01}$)	80 mm/h		150 mm/h
Latitude da estação terrena (ϕ)	0°		20°S
Longitude da estação terrena	50°W		
Ângulo de elevação (θ)	$20^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$		
Fator de iluminação da antena (η)	0,65		

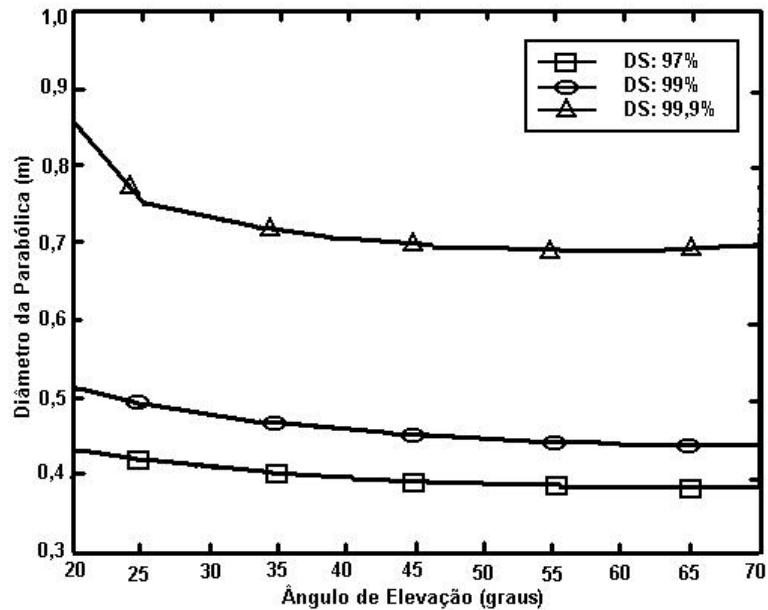


FIG. 5.1 - Gráfico do diâmetro da antena para $R_{0,01} = 80$ mm/h e $\phi = 0^\circ$

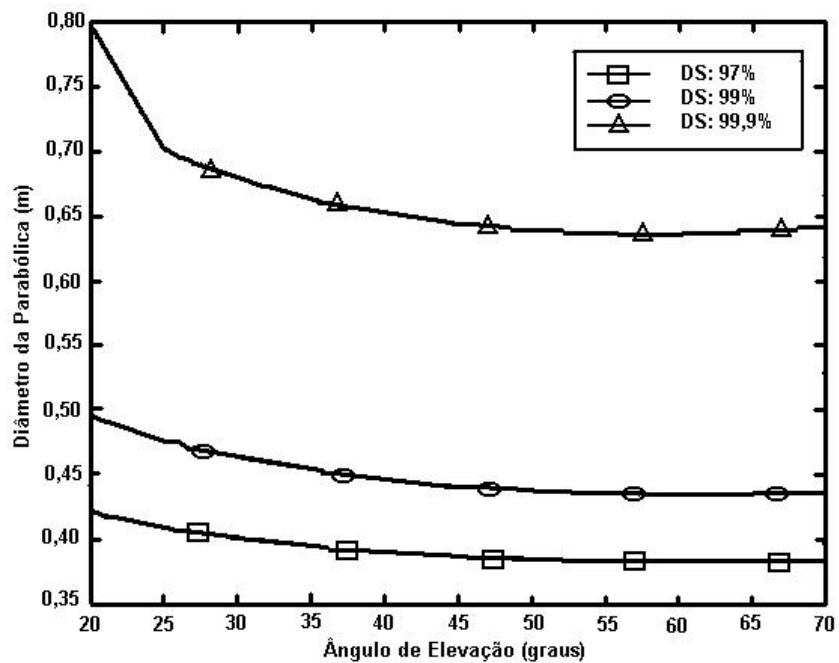


FIG. 5.2 - Gráfico do diâmetro da antena para $R_{0,01} = 80 \text{ mm/h}$ e $\phi = 20^\circ\text{S}$

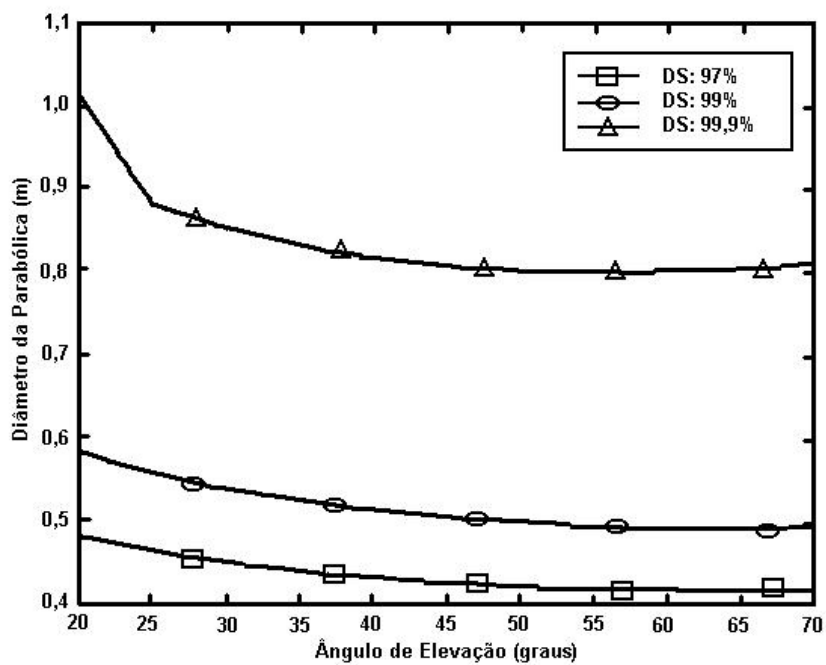


FIG. 5.3 - Gráfico do diâmetro da antena para $R_{0,01} = 150 \text{ mm/h}$ e $\phi = 0^\circ$

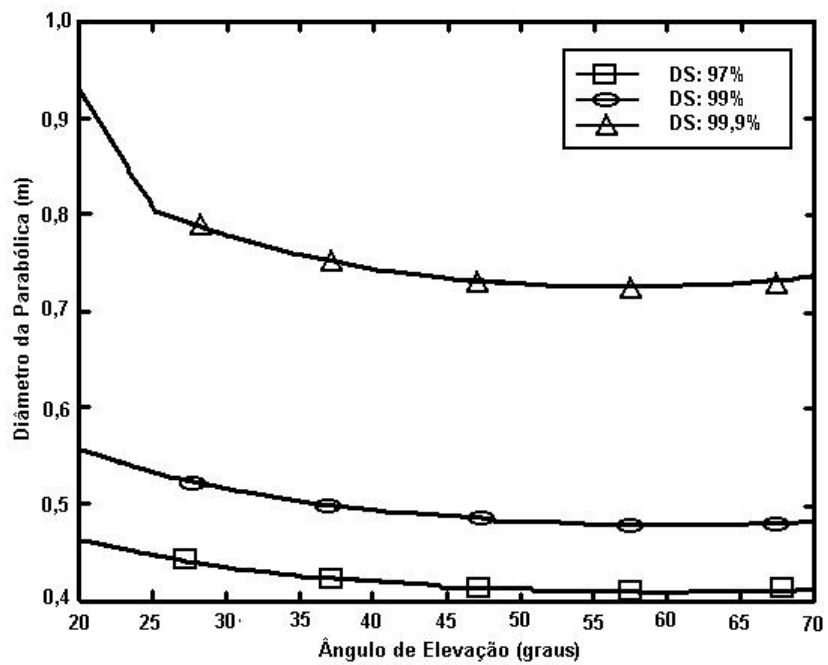


FIG. 5.4 - Gráfico do diâmetro da antena para $R_{0,01} = 150 \text{ mm/h}$ e $\phi = 20^\circ\text{S}$

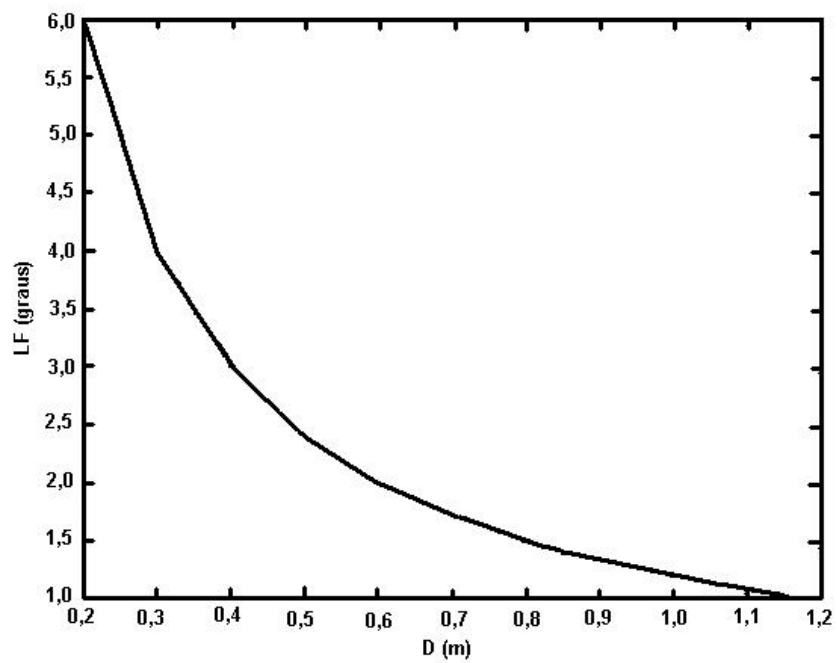


FIG. 5.5 - Curva do diâmetro da parabólica versus a largura do feixe de meia potência

6 CONCLUSÕES

A presente dissertação teve por objetivo investigar o problema da atenuação por chuva em regiões tropicais e equatoriais. Neste contexto, os capítulos 2, 3 e 4 trataram questões básicas, quais sejam, a distribuição estatística da chuva, a atenuação em enlaces terrestres e a atenuação em enlaces Terra-satélite. No Capítulo 5 foi realizado um exemplo de análise de disponibilidade do enlace de descida de um sistema de comunicações por satélite operando na banda Ka.

Relativamente à distribuição estatística da chuva, o modelo Salonen-Baptista mostrou-se adequado para aplicações em regiões tropicais e equatoriais. Entretanto, o banco de dados da ESA utilizado como base da Recomendação UIT-R P.837-3 (UIT-R, 2001) pode ainda ser melhorado. Os resultados obtidos com o banco de dados do INMET comprovam esta afirmativa.

O modelo UIT-R utilizado como referência no Capítulo 3 tem como ponto crítico o fator de distância que ajusta a dimensão da célula de chuva ao cálculo da atenuação. Para melhorar o desempenho do modelo, é necessário concentrar esforços no aprimoramento deste parâmetro. Neste sentido, uma linha de ação razoável seria aprofundar o conhecimento sobre as características da célula de chuva tanto no que diz respeito a sua dimensão quanto ao que se refere a sua dinâmica sob influência dos fatores meteorológicos.

A parte mais problemática da questão da atenuação por chuva ficou por conta do modelo para trajetos inclinados. Além de uma dependência com o comportamento horizontal da célula de chuva, tratada no parágrafo anterior, dois outros problemas ficaram evidenciados:

a) O modelo mostra incoerência física para ângulos de elevação acima de 60~70° na situação considerada neste trabalho ($f = 20$ GHz e níveis elevados da taxa de precipitação). A solução neste caso requer um reajuste criterioso do modelo ou, eventualmente, a substituição por outro que não apresente o citado problema;

b) Embora se disponha atualmente de dados que permitem definir com precisão aceitável a altura da isoterma de 0°C, é parecer deste trabalho que a questão da altura da chuva somente poderá ser resolvida a contento após se ter uma solução adequada para a componente horizontal do modelo. Neste ponto, vale ainda lembrar que seria importante ampliar o banco

de dados no que se refere à variação da isoterma de 0°C ao longo do ano e, assim, possibilitar o desenvolvimento de um modelo que melhor atenda à condição de pior mês.

Ainda que o trabalho não tenha sido conclusivo no que diz respeito às deficiências dos modelos do UIT-R para enlaces terrestre e via satélite, o objetivo principal de mostrar as dificuldades associadas à utilização da banda Ka em regiões tropicais e equatoriais parece ter sido plenamente atingido. A questão relativa ao compromisso que deve ser observado entre a disponibilidade e a dimensão da antena de recepção do enlace de descida foi considerada em toda sua globalidade. Mesmo que haja alguma alteração nos parâmetros do sistema utilizados no exemplo aqui desenvolvido, a lógica do procedimento adotado não deve ser modificada.

Sobre os modelos de cálculo, além dos comentários apresentados anteriormente, vale destacar dois pontos essenciais:

a) O modelo a ser adotado deve ter uma base meteorológica sólida, facilitando a interpretação física em uma análise comparativa entre cálculos teóricos e dados experimentais;

b) A formulação matemática de tal modelo deve ser simples, permitindo que se visualize a influência de cada um de seus parâmetros.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, G., ASSIS, M.S., CALÔBA, L. **Efeitos da chuva sobre o desempenho de terminais VSAT na transmissão de dados por satélite nas bandas Ku e Ka.** XIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Setembro 2001.

ALENCAR, G.A. **Atenuação por chuvas nos trópicos: análise comparativa entre modelos de previsão e dados experimentais.** 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Militar de Engenharia (IME).

ASSIS, M.S. **Atenuação por chuva em regiões tropicais e equatoriais: conceitos básicos, modelos de cálculo e resultados experimentais.** 1993. Tese apresentada ao Centro Tecnológico da Universidade Federal Fluminense como Requisito Parcial para o Concurso de Professor Titular junto ao Departamento de Telecomunicações.

ASSIS, M.S. **Manual de propagação.** Rio de Janeiro: Embratel, 1998.

ASSIS, M.S. **Rain attenuation in terrestrial paths.** Sapporo, Japão: Proceedings of ISAP'92, 1992. p. 893-896.

ASSIS, M.S. **Rainfall characteristics for propagation modelling.** CLIMPARA'01, 2001.

BALANIS, Constantine A. **Antenna theory: analysis and design.** 2. ed. rev. atual. Editora Wiley, 1997.

BAPTISTA, J.P.V.P, SALONEN, E.T. **Review of rainfall rate modelling and mapping.** Proceedings of URSI-F Open Symposium, Ottawa, Canadá: CLIMPARA'98, Junho 1998. p. 35-44.

CCIR (atual UIT-R). Documento 5C/52. **Slant-path attenuation prediction method based on the complete point rainfall rate distribution.** Genebra, Suíça: 1993.

CCIR (atual UIT-R). Documento 5C/56. **Prediction of rain attenuation proposed amendment to Recommendation 618.** Genebra, Suíça: 1993.

CCIR (atual UIT-R). Documento 5C/69. **Proposal of an improved rain attenuation prediction method.** Genebra, Suíça: 1993.

CCIR (atual UIT-R). Documento 5C/81. **Modifications to the microwave rain attenuation calculation method.** Genebra, Suíça: 1993.

CCIR Study Group. **Statistical distribution of precipitation rate in Brazil.** Genebra, Suíça: Conference Preparatory Meeting, 1982.

CRANE, R., DISSANAYAKE, A. **ACTS propagation experiment: attenuation distribution observations and prediction model comparisons.** Proceedings of IEEE, v. 85, n. 6, Junho 1997.

CRANE, R.K. **Comparative evaluation of several rain attenuation methods.** Radio Science, v. 20, Julho-Agosto 1985.

FEDI, F., PARABONI, A. **A new prediction method for attenuation beyond 10 GHz based on a model of raincells characterized by exponential shapes.** Durham, EUA: 4th URSI Commission F Open Symposium, 1986.

FITZPATRICK, E.J. **SPACEWAY: providing affordable and versatile telecommunication solutions.** Pacific Telecommunications Review (PTR), Setembro 1995.

GARDIONE, F., IIDA, T., VALDONI, F., VATALARO F. **Services, technologies, and systems at Ka band and beyond – A survey.** IEEE Journal on Selected Areas in Communications, v. 17, n. 2, p. 133-144, Fevereiro 1999.

KARL, H. **ITU-R Rec. P.530-8 – questions and comments.** Suécia: K&K Engineering, 2000.

LEITÃO, M.J., WATSON, P.A. **Prediction of rain attenuation statistics from point rainfall intensity data.** 1985. Project COST 205.

MISME, P., FIMBEL, J. **Determination théorique et expérimentale de l'affaiblissement par la pluie sur un trajet radioélectrique.** Ann. Télécomm., v. 30, p. 149-158, Maio-Junho 1975.

MOUPFOUMA, F., MARTIN, L. **Modelling of rainfall rate cumulative distribution for the design of satellite and terrestrial communication systems.** International Journal of Satellite Communications (IJSC), v. 13, p. 105-115, 1995.

PAN, Q., BRYANT, G.H., MCMAHON, J., ALLNUTT, J.E., HAIDARA F. **High elevation angle satellite-to-Earth 12 GHz propagation measurements in the tropics.** International Journal of Satellite Communications (IJSC), v. 19, p. 363-384, 2001.

RICE, P.L., HOLMBERG, N.R. **Cumulative time statistics of surface-point rainfall rates.** IEEE Trans. On Comm., v. Com-21, n. 10, p. 1131-1136, Outubro 1973.

TIMOTEO DA COSTA, A., ASSIS, M.S. **The concept of effective path length factor in the prediction of rain attenuation in terrestrial link.** Maastricht, Holanda: XXVIIth General Assembly of the URSI, Agosto 2002.

UIT-R. Documento 3J/87. **Rain rate distributions measured in Brazil.** Junho 2000.

UIT-R. Documento 3M/158. **Test of attenuation models for Earth-space paths.** Genebra, Suíça: UIT, Junho 2000.

UIT-R. Documento 3M/20. **Proposed amendment to Recommendation ITU-R PN.618 - Prediction of rain attenuation.** 1996.

UIT-R. Documento submetido ao Grupo Relator Especial SRG2 do WP 3M da Comissão de Estudos 3 (SG-3) do UIT-R. **Testing of rain attenuation prediction methods for terrestrial paths.** Genebra, Suíça: Fevereiro 1999.

UIT-R. Recomendação UIT-R P.530-7. **Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems.** Genebra, Suíça: UIT, Agosto 1997.

UIT-R. Recomendação UIT-R P.530-9. **Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems.** Genebra, Suíça: UIT, Fevereiro, 2001.

UIT-R. Recomendação UIT-R P.618-7. **Propagation data and predicted methods required for the design of Earth-space telecommunication systems.** Genebra, Suíça: UIT, Fevereiro 2001.

UIT-R. Recomendação UIT-R P.676-5. **Attenuation by atmospheric gases.** Genebra, Suíça: UIT, Fevereiro 2001.

UIT-R. Recomendação UIT-R P.837-3. **Characteristics of precipitation for propagation modelling.** Genebra, Suíça: UIT, Fevereiro 2001.

UIT-R. Recomendação UIT-R P.838-1. **Specific attenuation model for rain for use in prediction methods.** Genebra, Suíça: UIT, Outubro 1999.

UIT-R. Recomendação UIT-R P.839-3. **Rain height model for prediction methods.** Genebra, Suíça: UIT, Fevereiro 2001.

8 APÊNDICES

8.1 APÊNDICE 1

TAB. 8.1.1 – Tabela comparativa de modelos de precipitação - Brasília (DF)

TAB. 8.1.2 – Tabela comparativa de modelos de precipitação - Belém (PA)

TAB. 8.1.3–Tabela comparativa de modelos de precipitação-Fortaleza (CE)

TAB. 8.1.4 –Tabela comparativa de modelos de precipitação – Porto Alegre
(RS)

TAB. 8.1.5 – Tabela comparativa de modelos de precipitação – Rio de Janeiro
(RJ)

TAB. 8.1.6 – Tabela Comparativa de Modelos de Precipitação – São Paulo (SP)

8.2 APÊNDICE 2

TAB. 8.2.1 – Comparação entre valores medidos e calculados de atenuação e fator de distância para 0,01% do tempo em enlaces terrestres em clima temperado

LOCALIDADE	ENLACE (km)	FREQ (GHz)	POL (Graus)	Atenuação medida (dB)	Atenuação calculada (Rec. UIT-R P.530-9) (dB)	Erro Relativo da Atenuação (%)	Fator de Distância medido	Fator de Distância calculado (Rec. UIT-R P.530-9)	Erro Relativo do Fator de Distância (%)
Mendlesham	7,40	19,40	90,00	8,10	8,34	2,96	0,76	0,78	2,96
Mendlesham	7,70	37,40	90,00	25,60	24,90	-2,74	0,80	0,78	-2,73
Mendlesham	16,60	20,10	90,00	16,80	15,53	-7,55	0,67	0,62	-7,55
Mendlesham	2,90	22,10	90,00	5,70	4,77	-16,37	1,08	0,90	-16,36
Mendlesham	4,00	22,30	90,00	9,00	6,44	-28,43	1,22	0,87	-28,44
Mendlesham	7,00	22,10	90,00	12,00	10,11	-15,77	0,94	0,79	-15,76
Mendlesham	2,80	36,60	90,00	10,30	10,23	-0,64	0,91	0,91	-0,65
Mendlesham	7,40	36,10	90,00	22,70	22,93	1,00	0,78	0,78	0,99
Mendlesham	8,80	36,60	90,00	25,80	26,73	3,61	0,73	0,75	3,61
Mendlesham	3,70	37,40	90,00	12,60	13,54	7,44	0,82	0,88	7,44
Mendlesham	22,70	20,70	90,00	18,40	19,78	7,48	0,50	0,54	7,50
Kjeller	21,30	18,00	90,00	15,00	16,81	12,07	0,49	0,55	12,06
Stockholm	15,00	10,80	0,00	8,40	6,44	-23,33	0,81	0,62	-23,33
Stockholm	15,00	17,90	0,00	19,20	18,59	-3,19	0,64	0,62	-3,19
Stockholm	15,00	36,00	0,00	47,00	55,03	17,08	0,53	0,62	17,08
Darmstadt	20,00	12,40	0,00	9,20	9,90	7,58	0,52	0,56	7,59
Darmstadt	20,00	15,00	0,00	14,10	14,48	2,71	0,54	0,56	2,71
Darmstadt	20,00	29,00	0,00	39,00	46,76	19,91	0,46	0,56	19,91
Leidschendam	12,40	35,50	0,00	42,40	42,29	-0,25	0,68	0,68	-0,25
Paris	58,00	11,70	0,00	24,00	19,84	-17,35	0,33	0,27	-17,36
Paris	12,00	13,00	0,00	10,60	12,46	17,51	0,54	0,64	17,52
Paris	12,00	13,00	0,00	11,70	12,46	6,46	0,60	0,64	6,45
Paris	15,40	13,00	0,00	14,60	14,51	-0,64	0,58	0,58	-0,65
Dijon	53,00	13,00	0,00	35,00	28,78	-17,77	0,32	0,27	-17,77

LOCALIDADE	ENLACE (km)	FREQ (GHz)	POL (Graus)	Atenuação medida (dB)	Atenuação calculada (Rec. UIT-R P.530-9) (dB)	Erro Relativo da Atenuação (%)	Fator de Distância medido	Fator de Distância calculado (Rec. UIT-R P.530-9)	Erro Relativo do Fator de Distância (%)
Dijon	23,00	19,30	0,00	44,00	43,27	-1,66	0,46	0,46	-1,64
Fucino	9,50	11,00	90,00	7,60	6,67	-12,18	0,78	0,69	-12,18
Fucino	9,50	17,80	90,00	15,60	16,94	8,56	0,63	0,69	8,57
Fucino	9,50	17,80	0,00	20,00	20,56	2,79	0,67	0,69	2,79
Rome	25,00	11,00	90,00	25,00	18,44	-26,23	0,48	0,36	-26,24
Turin	22,50	11,40	90,00	20,80	16,20	-22,12	0,54	0,42	-22,12
Merrimack Valley	4,30	18,00	90,00	14,50	12,82	-11,59	0,90	0,80	-11,58
Palmetto	5,10	17,70	0,00	23,00	26,20	13,91	0,60	0,69	13,91
Holmdel	6,40	18,50	90,00	27,00	21,82	-19,20	0,85	0,69	-19,20
Tokyo	1,30	11,50	45,00	3,10	3,14	1,25	0,90	0,91	1,25
Tokyo	1,30	34,50	45,00	16,30	16,95	4,01	0,87	0,91	4,00
Tokyo	1,30	81,80	45,00	29,30	28,02	-4,38	0,95	0,91	-4,39
Xixiang-Henan	2,50	12,00	0,00	3,50	3,92	11,91	0,79	0,88	11,91
Xixiang-Henan	2,50	25,30	0,00	7,60	14,73	93,78	0,46	0,88	93,78
Chilbolton	0,50	37,00	90,00	5,70	2,43	-57,31	2,30	0,98	-57,31
Chilbolton	0,50	57,00	90,00	13,80	5,55	-59,81	2,43	0,98	-59,80
Chilbolton	0,50	57,00	90,00	9,60	3,87	-59,71	2,43	0,98	-59,71
Chilbolton	0,50	57,00	90,00	10,80	3,87	-64,19	2,74	0,98	-64,19
Chilbolton	0,50	97,00	90,00	15,90	7,24	-54,46	2,14	0,98	-54,46
Chilbolton	0,50	97,00	90,00	12,20	5,14	-57,87	2,33	0,98	-57,87
Chilbolton	0,50	97,00	90,00	13,40	5,14	-61,64	2,56	0,98	-61,64
Chilbolton	0,50	137,0	90,00	15,20	5,67	-62,71	2,63	0,98	-62,71
Egyetem	0,315	37,85	0,00	8,58	6,12	-28,69	1,36	0,97	-28,69
Egyetem	2,397	39,11	90,00	31,02	33,98	9,54	0,75	0,82	9,54
Uvaly	15,30	14,92	0,00	18,20	13,87	-23,82	0,80	0,61	-23,83
Mostova	43,80	13,14	90,00	15,90	14,19	-10,78	0,41	0,36	-10,79
Pisek	39,40	13,03	90,00	24,10	15,24	-36,77	0,60	0,38	-36,77
Strahov	34,00	13,19	0,00	31,70	18,85	-40,54	0,68	0,40	-40,54
Strahov	34,00	13,10	90,00	22,70	15,70	-30,82	0,58	0,40	-30,81
Piaseczno	15,40	11,50	0,00	13,86	9,98	-28,01	0,82	0,59	-28,00
Piaseczno	15,40	18,60	0,00	32,25	25,92	-19,64	0,74	0,59	-19,63
Dubna 3	12,65	19,30	90,00	23,60	20,56	-12,86	0,73	0,63	-12,86
Dubna 3	12,65	11,50	90,00	10,80	7,74	-28,30	0,89	0,63	-28,29
Chilbolton	0,50	37,00	90,00	5,70	2,43	-57,31	2,30	0,98	-57,31
Chilbolton	0,50	57,00	90,00	11,50	4,41	-61,61	2,55	0,98	-61,61
Chilbolton	0,50	97,00	90,00	13,70	5,78	-57,79	2,32	0,98	-57,79

8.3 APÊNDICE 3

TAB. 8.3.1 – Altura efetiva da chuva e da isoterma de -2°C

Nome da Estação	País	Altura da Chuva pela Rec. UIT-R P. 839 (km)	Altura da Chuva pela Rec. UIT-R P.618 (km)		Erro Relativo entre Rec. UIT-R P.839 e P.618 (%)	
			0,01%	0,1%	0,01%	0,1%
WALTHAM	US	3,6709	3,53	1,62	-3,85	-55,91
WALTHAM	US	3,6709	3,13	1,71	-14,87	-53,32
WALTHAM	US	3,6709	6,93	1,17	88,65	-68,06
WALTHAM	US	3,6709	2,84	3,38	-22,60	-7,91
WALTHAM	US	3,6709	--	1,56	--	-57,49
WALTHAM	US	3,6709	--	4,78	--	30,20
CLARKSBURG	US	3,9723	4,00	4,78	0,75	20,36
CLARKSBURG	US	3,9723	1,41	2,17	-64,58	-45,29
CLARKSBURG	US	3,9723	4,92	3,64	23,89	-8,46
CLARKSBURG	US	3,9723	3,76	2,92	-5,44	-26,56
CLARKSBURG	US	3,9723	2,39	2,61	-39,81	-34,19
CLARKSBURG	US	3,9723	2,41	2,72	-39,27	-31,51
CLARKSBURG	US	3,9723	5,89	3,17	48,29	-20,19
CLARKSBURG	US	3,9723	6,16	3,91	55,12	-1,55
CLARKSBURG	US	3,9723	4,03	4,75	1,37	19,50
CLARKSBURG	US	3,9723	--	2,20	--	-44,51
CLARKSBURG	US	3,9723	--	3,31	--	-16,64
CLARKSBURG	US	3,9723	--	3,47	--	-12,61
GREENBELT	US	3,9787	3,15	1,59	-20,82	-60,03
GREENBELT	US	3,9787	5,75	2,18	44,44	-45,11
GREENBELT	US	3,9787	9,44	1,89	137,33	-52,44
GREENBELT	US	3,9787	5,57	1,67	40,01	-57,92
WALLOPS IS	US	3,8153	--	2,08	--	-45,46
WALLOPS IS	US	3,8153	--	2,96	--	-22,33
WALLOPS IS	US	3,8153	--	4,05	--	6,24
BLACKSBURG#1	US	4,2677	8,88	7,39	107,97	73,13
BLACKSBURG#1	US	4,2677	4,48	$\geq 10,00$	4,97	134,32
BLACKSBURG#1	US	4,2677	6,26	6,95	46,68	62,93
BLACKSBURG#1	US	4,2677	6,89	7,62	61,37	78,62
BLACKSBURG#1	US	4,2677	5,24	5,78	22,69	35,38
BLACKSBURG#1	US	4,2677	5,64	5,91	32,10	38,42
BLACKSBURG#1	US	4,2677	5,60	6,39	31,24	49,68

		Altura da Chuva pela Rec. UIT-R	Altura da Chuva pela Rec. UIT-R P.618 (km)		Erro Relativo entre Rec. UIT-R P.839 e P.618 (%)	
BLACKSBURG#1	US	4,2677	3,70	3,83	-13,41	-10,35
BLACKSBURG#1	US	4,2677	4,41	7,00	3,40	64,10
BLACKSBURG#1	US	4,2677	4,16	3,48	-2,58	-18,51
BLACKSBURG#1	US	4,2677	4,78	4,20	12,03	-1,49
BLACKSBURG#1	US	4,2677	2,89	3,43	-32,29	-19,62
BLACKSBURG#1	US	4,2677	--	3,00	--	-29,61
BLACKSBURG#1	US	4,2677	3,25	4,17	-23,85	-2,33
BLACKSBURG#1	US	4,2677	3,33	3,65	-22,08	-14,52
LEEHEIM	DE	2,8995	3,69	1,96	27,33	-32,24
LEEHEIM	DE	2,8995	4,35	2,00	50,07	-31,02
LEEHEIM	DE	2,8995	5,67	2,40	95,72	-17,33
LEEHEIM	DE	2,8995	2,60	--	-10,29	--
GOMETZ	FR	2,5811	4,79	9,91	85,59	283,91
GOMETZ	FR	2,5811	4,46	8,08	72,65	212,97
GOMETZ	FR	2,5811	5,50	9,16	113,19	254,79
GOMETZ	FR	2,5811	4,03	8,04	56,09	211,31
LARIO	IT	3,491	7,01	4,31	100,92	23,60
LARIO	IT	3,491	4,75	2,65	36,02	-24,23
LARIO	IT	3,491	4,59	3,10	31,53	-11,29
LARIO	IT	3,491	6,82	3,88	95,36	11,12
LARIO	IT	3,491	3,65	5,34	4,49	52,92
LARIO	IT	3,491	7,80	3,60	123,37	3,18
LARIO	IT	3,491	≥10,00	6,46	186,45	84,99
LARIO	IT	3,491	3,48	2,41	-0,41	-30,83
LARIO	IT	3,491	--	2,93	--	-16,06
LARIO	IT	3,491	3,16	3,65	-9,54	4,63
LARIO	IT	3,491	5,39	3,48	54,45	-0,27
SPINO D'ADDA	IT	3,3657	≥10,00	3,92	197,12	16,43
SPINO D'ADDA	IT	3,3657	2,55	--	-24,32	--
SPINO D'ADDA	IT	3,3657	3,74	--	10,99	--
SPINO D'ADDA	IT	3,3657	5,96	3,68	76,96	9,38
SPINO D'ADDA	IT	3,3657	≥10,00	4,32	197,12	28,45
FUCINO	IT	2,9051	4,38	5,79	50,73	99,40
FUCINO	IT	2,9051	3,65	4,52	25,48	55,46
FUCINO	IT	2,9051	2,79	4,30	-3,80	48,10
FUCINO	IT	2,9051	4,84	4,04	66,71	39,09
FUCINO	IT	2,9051	3,71	4,16	27,77	43,03
FUCINO	IT	2,9051	4,98	7,77	71,35	167,34
FUCINO	IT	2,9051	6,16	7,97	111,88	174,29
FUCINO	IT	2,9051	3,61	--	24,09	--
FUCINO	IT	2,9051	3,58	--	23,32	--
FUCINO	IT	2,9051	3,31	--	13,85	--
FUCINO	IT	2,9051	3,84	--	32,17	--
SODANKYLA	FI	2,4481	3,11	4,35	26,91	77,61
SODANKYLA	FI	2,4481	4,49	5,44	83,50	122,06
SODANKYLA	FI	2,4481	4,89	5,09	99,77	107,86
SODANKYLA	FI	2,4481	2,79	3,98	14,13	62,55
SODANKYLA	FI	2,4481	2,66	6,45	8,46	163,48
ALBERTSLUND#3	DK	2,3463	1,61	1,74	-31,42	-25,90
ALBERTSLUND#3	DK	2,3463	5,05	4,37	115,33	86,20

		Altura da Chuva pela Rec. UIT-R	Altura da Chuva pela Rec. UIT-R P.618 (km)		Erro Relativo entre Rec. UIT-R P.839 e P.618 (%)	
ALBERTSLUND#3	DK	2,3463	3,02	3,44	28,92	46,69
ALBERTSLUND#3	DK	2,3463	3,10	3,04	32,04	29,56
EINDHOVEN#1	NL	2,0714	3,09	6,02	49,41	190,45
EINDHOVEN#1	NL	2,0714	5,04	4,36	143,47	110,47
EINDHOVEN#2	NL	2,0714	3,02	3,43	45,59	65,72
EINDHOVEN#2	NL	2,0714	3,09	3,03	49,13	46,32
EINDHOVEN#2	NL	2,0714	7,01	3,88	238,47	87,42
EINDHOVEN#2	NL	2,0714	6,37	3,74	207,73	80,31
EINDHOVEN#3	NL	2,0714	2,21	2,21	6,50	6,55
EINDHOVEN#3	NL	2,0714	1,67	1,84	-19,26	-11,21
EINDHOVEN#3	NL	2,0714	0,95	1,83	-54,06	-11,48
EINDHOVEN#4	NL	2,0714	2,18	2,40	5,42	15,76
EINDHOVEN#4	NL	2,0714	2,30	2,38	10,96	14,71
EINDHOVEN#4	NL	2,0714	2,90	2,26	39,96	9,05
EINDHOVEN#4	NL	2,0714	1,35	1,74	-34,97	-16,09
EINDHOVEN#4	NL	2,0714	1,44	1,89	-30,62	-8,76
EINDHOVEN#4	NL	2,0714	1,94	1,87	-6,31	-9,49
EINDHOVEN#4	NL	2,0714	1,63	1,85	-21,39	-10,55
EINDHOVEN#4	NL	2,0714	1,69	1,95	-18,63	-6,00
EINDHOVEN#4	NL	2,0714	2,20	1,93	6,31	-6,79
ADELAIDE	AU	3,1646	1,73	9,15	-45,20	189,04
ALBERTSLUND#3	DK	2,3463	7,02	3,89	199,20	65,84
ALBERTSLUND#3	DK	2,3463	6,38	3,74	172,06	59,57
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	3,5949	3,27	3,51	-8,90	-2,32
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	3,5949	3,36	3,60	-6,64	0,15
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	3,5949	3,46	2,82	-3,72	-21,53
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	3,5949	1,91	2,30	-46,90	-36,01
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	3,5949	2,00	2,45	-44,39	-31,80
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	3,5949	2,50	2,44	-30,38	-32,22
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	3,5949	2,19	2,41	-39,07	-32,83
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	3,5949	2,25	2,51	-37,48	-30,20
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	3,5949	2,76	2,49	-23,11	-30,66
OBERPFAFFENHOFEN#2	DE	3,5949	2,38	3,40	-33,73	-5,42
ROMA#1	IT	3,0437	2,42	3,36	-20,43	10,32
ROMA#2	IT	3,0437	4,20	4,78	37,83	57,00
BASSONE	IT	3,3368	4,43	3,25	32,91	-2,56
NOLA	IT	2,8555	3,85	2,92	34,87	2,31
AVEIRO#1	PT	2,759	--	6,27	--	127,15
AUSTIN	US	4,4089	6,38	3,98	44,71	-9,83
AUSTIN	US	4,4089	≥10,00	3,60	126,81	-18,41
AUSTIN	US	4,4089	8,92	5,14	102,35	16,61
AUSTIN	US	4,4089	--	4,43	--	0,46
AUSTIN	US	4,4089	5,18	3,44	17,41	-21,99
AUSTIN	US	4,4089	--	3,55	--	-19,43
BLACKSBURG#2	US	4,2677	4,45	3,97	4,20	-6,91
AUSTIN#2	US	4,4108	--	5,59	--	26,64
AUSTIN#2	US	4,4108	--	4,80	--	8,92
AUSTIN#2	US	4,4108	--	4,84	--	9,65
AUSTIN#2	US	4,4108	1,92	4,58	-56,47	3,82
KJELLER	NO	2,466	2,43	2,24	-1,31	-9,27

		Altura da Chuva pela Rec. UIT-R	Altura da Chuva pela Rec. UIT-R P.618 (km)		Erro Relativo entre Rec. UIT-R P.839 e P.618 (%)	
ALBERTSLUND#1	DK	2,3463	1,93	--	-17,64	--
ALBERTSLUND#1	DK	2,3463	2,43	2,33	3,63	-0,61
ALBERTSLUND#1	DK	2,3463	1,53	--	-34,88	--
ALBERTSLUND#1	DK	2,3463	2,05	--	-12,68	--
ALBERTSLUND#1	DK	2,3463	1,76	--	-24,99	--
ALBERTSLUND#1	DK	2,3463	1,41	--	-39,97	--
ALBERTSLUND#1	DK	2,3463	2,48	4,61	5,57	96,28
ALBERTSLUND#1	DK	2,3463	1,55	2,72	-33,74	15,92
ALBERTSLUND#1	DK	2,3463	1,41	3,47	-39,83	47,98
ALBERTSLUND#1	DK	2,3463	2,45	3,49	4,59	48,90
MARTLESHAM#1	GB	2,1737	3,68	4,81	69,43	121,50
MARTLESHAM#1	GB	2,1737	3,41	4,34	56,67	99,80
MARTLESHAM#1	GB	2,1737	3,19	3,36	46,66	54,42
MARTLESHAM#1	GB	2,1737	4,12	--	89,76	--
MARTLESHAM#1	GB	2,1737	4,01	4,22	84,43	94,27
MARTLESHAM#1	GB	2,1737	2,84	4,46	30,74	105,27
MARTLESHAM#1	GB	2,1737	4,27	--	96,62	--
MARTLESHAM#1	GB	2,1737	4,16	4,68	91,26	115,31
MARTLESHAM#1	GB	2,1737	3,24	4,63	49,02	112,99
MARTLESHAM#1	GB	2,1737	3,76	3,92	73,19	80,22
MARTLESHAM#1	GB	2,1737	3,61	3,76	65,88	72,78
MARTLESHAM#1	GB	2,1737	2,43	3,85	11,71	77,33
NEDERHORST	NL	2,2528	2,52	2,88	11,64	27,85
NEDERHORST	NL	2,2528	2,63	3,07	16,65	36,32
NEDERHORST	NL	2,2528	3,53	2,46	56,77	9,38
NEDERHORST	NL	2,2528	1,72	2,43	-23,83	8,02
NEDERHORST	NL	2,2528	3,34	5,31	48,30	135,68
NEDERHORST	NL	2,2528	2,60	2,46	15,51	9,35
SODANKYLA	FI	2,4481	4,24	5,26	73,09	114,75
KIRKKONUMMI	FI	2,0611	2,48	2,43	20,10	17,81
STOCKHOLM	SE	2,1396	2,33	1,29	8,91	-39,76
STOCKHOLM	SE	2,1396	1,68	1,24	-21,55	-41,95
STOCKHOLM	SE	2,1396	2,08	1,16	-2,87	-45,64
LUSTBUEHEL	AT	3,3217	3,55	4,31	6,85	29,88
LUSTBUEHEL	AT	3,3217	3,20	4,89	-3,71	47,29
LUSTBUEHEL	AT	3,3217	3,48	4,23	4,70	27,32
LUSTBUEHEL	AT	3,3217	3,82	3,27	15,03	-1,61
LUSTBUEHEL	AT	3,3217	4,01	4,50	20,70	35,36
BERN	CH	3,248	4,88	5,09	50,24	56,57
BERN	CH	3,248	4,73	3,91	45,68	20,46
BERN	CH	3,248	3,07	5,96	-5,58	83,46
KIRKKONUMMI#2	FI	2,0635	1,30	1,66	-37,16	-19,48
KIRKKONUMMI#2	FI	2,0635	1,42	1,95	-31,37	-5,46
KIRKKONUMMI#2	FI	2,0635	1,32	1,53	-35,87	-25,84
KIRKKONUMMI#2	FI	2,0635	--	2,01	--	-2,76
KIRKKONUMMI#2	FI	2,0635	--	1,58	--	-23,22
SPINO D'ADDA#2	IT	3,3657	3,50	5,75	3,88	70,73
SPINO D'ADDA#2	IT	3,3657	3,15	3,96	-6,55	17,69
DUBNA	SU	2,7489	--	4,11	--	49,47
DUBNA	SU	2,7489	5,42	4,83	97,20	75,80
DUBNA	SU	2,7489	--	7,59	--	175,95

		Altura da Chuva pela Rec. UIT-R	Altura da Chuva pela Rec. UIT-R P.618 (km)		Erro Relativo entre Rec. UIT-R P.839 e P.618 (%)	
DUBNA	SU	2,7489	--	5,05	--	83,76
NEU GOLM	DE	2,7746	3,15	9,65	13,48	247,65
NEU GOLM	DE	2,7746	1,66	4,49	-40,22	61,86
NEU GOLM	DE	2,7746	2,06	2,40	-25,63	-13,44
NEU GOLM	DE	2,7746	8,85	4,79	218,90	72,54
NEU GOLM	DE	2,7746	4,04	6,87	45,56	147,77
NEU GOLM	DE	2,7746	2,78	5,41	0,32	94,97
MIEDZESZYN	PL	2,7686	2,61	2,47	-5,69	-10,68
MIEDZESZYN	PL	2,7686	1,74	1,39	-37,29	-49,93
MIEDZESZYN	PL	2,7686	4,08	2,23	47,54	-19,50
MIEDZESZYN	PL	2,7686	3,28	2,57	18,46	-7,12
GOONHILLY	GB	2,1424	--	6,23	--	190,76
GOONHILLY	GB	2,1424	--	6,43	--	200,18
GOONHILLY	GB	2,1424	2,26	5,97	5,66	178,64
ALBERTSLUND#2	DK	2,3463	2,20	2,49	-6,09	5,98
ALBERTSLUND#2	DK	2,3463	1,56	2,63	-33,37	12,12
ALBERTSLUND#3	DK	2,3463	1,76	2,04	-24,88	-13,27
AVEIRO#2	PT	2,759	3,74	4,79	35,52	73,68
AVEIRO#2	PT	2,759	3,73	4,57	35,04	65,47
AVEIRO#3	PT	2,759	1,23	1,53	-55,32	-44,56
GOMETZ-LA-VILLE#2	FR	2,5845	2,07	2,20	-20,02	-14,90
GOMETZ-LA-VILLE#3	FR	2,5845	2,36	3,04	-8,54	17,49
GOMETZ-LA-VILLE#3	FR	2,5845	7,53	≥10,00	191,27	286,92
GOMETZ-LA-VILLE#4	FR	2,5845	1,62	2,17	-37,51	-15,89
LA-FOLIE-BESSIN#1	FR	2,5885	2,16	2,49	-16,49	-3,75
LA-FOLIE-BESSIN#2	FR	2,5885	2,46	2,40	-5,07	-7,16
LUSTBUEHEL#2	AT	3,3238	3,41	3,29	2,47	-1,17
LUSTBUEHEL#3	AT	3,3238	3,23	3,26	-2,92	-1,89
LUSTBUEHEL#3	AT	3,3238	3,21	3,12	-3,38	-6,15
LUSTBUEHEL#4	AT	3,3238	2,73	3,00	-17,89	-9,80
CLAYTON	AU	3,0457	1,98	1,40	-34,85	-54,15
CLAYTON	AU	3,0457	1,62	1,30	-46,79	-57,30
CLAYTON	AU	3,0457	1,11	1,27	-63,67	-58,44
WAKKANAI	JP	2,2542	2,07	4,88	-8,25	116,57
WAKKANAI	JP	2,2542	1,69	1,82	-25,09	-19,28
SENDAI	JP	3,8998	4,20	3,83	7,70	-1,76
KASHIMA	JP	3,1916	2,92	3,21	-8,66	0,58
KASHIMA	JP	3,1916	3,35	3,69	4,86	15,46
MATSUE	JP	3,2123	9,77	8,65	204,01	169,27
YOKOHAMA	JP	4,1053	2,70	4,46	-34,15	8,57
YOKOSUKA	JP	4,0429	5,49	3,20	35,75	-20,97
OSAKA	JP	4,5265	≥10,00	≥10,00	120,92	120,92
MARUGAME	JP	4,5085	--	2,36	--	-47,58
MARUGAME	JP	4,5085	3,16	3,01	-29,87	-33,18
MARUGAME	JP	4,5085	2,40	5,19	-46,83	15,19
IZUHARA	JP	4,1272	2,49	3,63	-39,74	-11,94
ASHIZURI	JP	4,1937	4,32	8,17	2,96	94,88
KESENUMA	JP	3,4919	3,45	5,01	-1,19	43,48
YAMAGAWA	JP	4,3345	4,43	5,19	2,21	19,78
YAMAGAWA	JP	4,3345	3,06	5,95	-29,45	37,36

		Altura da	Altura da Chuva		Erro Relativo entre	
		Rec. UIT-R	pela Rec. UIT-R	pela Rec. UIT-R	Rec. UIT-R P.839 e	Rec. UIT-R P.618
			(km)	(km)	(%)	(%)
YAMAGUCHI	JP	4,4819	--	4,79	--	6,81
YAMAGUCHI	JP	4,4819	--	2,34	--	-47,69
BEIJING	CN	4,109	≥10,00	5,63	143,37	37,11
BEIJING	CN	4,109	≥10,00	6,82	143,37	65,91
BEIJING	CN	4,109	≥10,00	8,39	143,37	104,18
SYDNEY	AU	3,4675	6,65	7,45	91,85	114,83
MELBOURNE	AU	3,0671	3,27	5,25	6,48	71,25
CANBERRA	AU	3,6407	3,16	6,00	-13,27	64,89

TAB. 8.3.2 – Erro previsto da atenuação em região de clima temperado

Nome da Estação	País	Atenuação por Chuva Calculada pela Rec. P. 618 (dB)		Atenuação por Chuva Medida (dB)		Erro Relativo entre Atenuação Medida e Calculada (%)	
		0,01%	0,1%	0,01%	0,1%	0,01%	0,1%
WALTHAM	US	10,52	3,54	10,30	2,10	2,10	68,46
WALTHAM	US	8,99	2,97	8,20	1,80	9,59	65,24
WALTHAM	US	19,32	6,92	28,00	3,00	-30,99	130,78
WALTHAM	US	21,81	7,91	18,70	7,50	16,64	5,52
WALTHAM	US	--	13,64	--	7,20	--	89,51
WALTHAM	US	--	15,70	--	18,80	--	-16,49
CLARKSBURG	US	10,16	3,40	10,20	3,80	-0,43	-10,42
CLARKSBURG	US	12,86	4,42	6,80	3,00	89,09	47,22
CLARKSBURG	US	7,50	2,44	8,50	2,30	-11,72	5,98
CLARKSBURG	US	9,18	3,05	8,90	2,50	3,18	21,84
CLARKSBURG	US	30,39	11,41	22,20	8,60	36,89	32,69
CLARKSBURG	US	33,79	12,83	25,00	10,00	35,15	28,28
CLARKSBURG	US	19,64	7,05	25,00	6,00	-21,45	17,47
CLARKSBURG	US	20,72	7,48	27,00	7,40	-23,26	1,05
CLARKSBURG	US	23,80	8,71	24,00	9,80	-0,85	-11,10
CLARKSBURG	US	--	23,74	--	15,60	--	52,19
CLARKSBURG	US	--	15,33	--	13,40	--	14,41
CLARKSBURG	US	--	18,93	--	17,20	--	10,06
GREENBELT	US	10,19	3,42	8,90	1,80	14,51	89,85
GREENBELT	US	9,87	3,30	12,10	2,20	-18,45	49,90
GREENBELT	US	8,73	2,88	14,00	1,70	-37,66	69,40
GREENBELT	US	9,87	3,30	11,90	1,80	-17,08	83,21
WALLOPS IS	US	--	19,80	--	13,00	--	52,30
WALLOPS IS	US	--	18,44	--	15,50	--	18,97
WALLOPS IS	US	--	16,98	--	17,70	--	-4,09
BLACKSBURG#1	US	8,42	2,77	13,00	4,00	-35,23	-30,79
BLACKSBURG#1	US	5,79	1,83	6,00	3,70	-3,45	-50,49
BLACKSBURG#1	US	8,10	2,65	10,30	3,70	-21,39	-28,35
BLACKSBURG#1	US	11,81	4,02	16,00	6,00	-26,19	-32,98
BLACKSBURG#1	US	14,03	4,86	16,00	6,00	-12,32	-18,96
BLACKSBURG#1	US	16,02	5,63	19,00	7,00	-15,68	-19,58
BLACKSBURG#1	US	14,24	4,94	16,90	6,50	-15,76	-23,97
BLACKSBURG#1	US	15,64	5,48	14,00	5,00	11,70	9,63

Nome da Estação	País	Atenuação por Chuva Calculada pela Rec. P. 618 (dB)		Atenuação por Chuva Medida (dB)		Erro Relativo entre Atenuação Medida e Calculada (%)	
		0,01%	0,1%	0,01%	0,1%	0,01%	0,1%
BLACKSBURG#1	US	15,60	5,47	16,00	8,00	-2,49	-31,65
BLACKSBURG#1	US	17,12	6,06	16,80	5,10	1,92	18,80
BLACKSBURG#1	US	17,41	6,17	18,90	6,10	-7,86	1,19
BLACKSBURG#1	US	38,01	14,61	27,70	12,10	37,23	20,73
BLACKSBURG#1	US	--	16,93	--	12,50	--	35,40
BLACKSBURG#1	US	29,45	11,02	23,50	10,80	25,30	2,05
BLACKSBURG#1	US	30,32	11,38	24,70	9,90	22,75	14,98
LEEHEIM	DE	7,00	2,36	8,70	2,20	-19,54	7,29
LEEHEIM	DE	8,91	3,08	20,50	2,70	-56,54	14,08
LEEHEIM	DE	7,71	2,62	11,40	2,90	-32,39	-9,48
LEEHEIM	DE	--	3,69	--	3,70	--	-0,33
GOMETZ	FR	21,44	8,13	23,70	6,80	-9,53	19,55
GOMETZ	FR	--	18,22	--	15,50	--	17,58
GOMETZ	FR	13,39	4,62	13,80	4,40	-2,97	4,97
GOMETZ	FR	--	16,19	--	18,90	--	-14,31
LARIO	IT	--	14,13	--	15,10	--	-6,45
LARIO	IT	--	15,86	--	17,00	--	-6,70
LARIO	IT	38,38	19,79	24,20	20,50	58,61	-3,45
LARIO	IT	6,95	2,24	6,90	2,10	0,74	6,67
LARIO	IT	2,73	--	2,30	--	18,83	--
LARIO	IT	3,97	1,21	4,10	1,20	-3,17	0,61
LARIO	IT	4,11	--	3,00	--	36,95	--
LARIO	IT	2,37	--	2,10	--	12,89	--
LARIO	IT	3,10	--	2,40	--	28,98	--
LARIO	IT	3,41	--	2,20	--	55,22	--
LARIO	IT	14,09	4,88	14,53	7,34	-3,06	-33,46
SPINO D'ADDA	IT	11,67	3,97	9,06	4,37	28,82	-9,18
SPINO D'ADDA	IT	8,72	2,88	6,25	3,75	39,48	-23,30
SPINO D'ADDA	IT	11,19	3,79	11,50	4,90	-2,66	-22,65
SPINO D'ADDA	IT	2,50	0,72	3,80	1,40	-34,19	-48,22
SPINO D'ADDA	IT	2,48	0,72	3,60	1,30	-31,17	-44,79
FUCINO	IT	4,12	1,26	5,50	1,80	-25,12	-30,15
FUCINO	IT	1,58	--	2,80	--	-43,43	--
FUCINO	IT	2,54	0,74	4,10	1,30	-38,06	-43,28
FUCINO	IT	3,11	0,92	3,80	1,60	-18,17	-42,38
FUCINO	IT	1,59	--	2,90	--	-45,00	--
FUCINO	IT	2,56	0,74	4,20	1,40	-38,97	-46,79
FUCINO	IT	3,28	0,98	4,30	1,70	-23,80	-42,54
FUCINO	IT	2,67	0,78	4,40	1,40	-39,22	-44,24
FUCINO	IT	4,22	1,29	6,10	2,00	-30,86	-35,47
FUCINO	IT	4,99	1,55	5,40	2,40	-7,59	-35,25
FUCINO	IT	4,37	1,34	4,70	1,60	-6,92	-16,01
SODANKYLA	FI	3,70	1,12	4,10	1,40	-9,80	-20,26
SODANKYLA	FI	4,28	1,31	5,70	1,40	-24,90	-6,28
SODANKYLA	FI	4,32	1,32	3,60	1,40	19,89	-5,43
SODANKYLA	FI	3,62	1,09	4,70	2,00	-22,92	-45,44
SODANKYLA	FI	4,00	1,22	4,40	1,30	-9,08	-6,34
ALBERTSLUND#3	DK	5,14	1,61	6,00	1,20	-14,36	33,75

Nome da Estação	País	Atenuação por Chuva Calculada pela Rec. P. 618 (dB)		Atenuação por Chuva Medida (dB)		Erro Relativo entre Atenuação Medida e Calculada (%)	
		0,01%	0,1%	0,01%	0,1%	0,01%	0,1%
ALBERTSLUND#3	DK	4,05	1,23	5,30	0,90	-23,64	37,02
ALBERTSLUND#3	DK	5,15	1,61	7,80	1,40	-33,97	14,94
ALBERTSLUND#3	DK	5,47	--	5,10	--	7,22	--
EINDHOVEN#1	NL	2,98	0,88	4,70	2,40	-36,56	-63,32
EINDHOVEN#1	NL	3,17	0,94	4,70	2,20	-32,54	-57,18
EINDHOVEN#2	NL	3,14	0,93	5,40	2,40	-41,84	-61,16
EINDHOVEN#2	NL	5,09	1,59	7,00	3,70	-27,35	-57,11
EINDHOVEN#2	NL	7,74	2,52	11,50	2,90	-32,68	-13,00
EINDHOVEN#2	NL	18,19	6,48	22,00	5,30	-17,34	22,17
EINDHOVEN#3	NL	6,77	2,17	8,00	2,00	-15,43	8,72
EINDHOVEN#3	NL	8,25	2,71	12,00	2,90	-31,26	-6,69
EINDHOVEN#3	NL	6,12	1,95	6,30	2,60	-2,81	-25,09
EINDHOVEN#4	NL	8,35	2,74	13,00	2,80	-35,78	-2,07
EINDHOVEN#4	NL	8,74	2,88	16,80	4,20	-48,00	-31,36
EINDHOVEN#4	NL	16,44	5,79	16,40	4,40	0,22	31,62
EINDHOVEN#4	NL	--	7,12	--	6,30	--	13,03
EINDHOVEN#4	NL	14,97	5,22	14,00	5,40	6,90	-3,29
EINDHOVEN#4	NL	20,05	7,21	26,00	7,20	-22,90	0,14
EINDHOVEN#4	NL	7,79	2,54	14,80	2,80	-47,37	-9,27
EINDHOVEN#4	NL	5,97	--	5,00	--	19,42	--
EINDHOVEN#4	NL	4,48	--	4,80	--	-6,67	--
ADELAIDE	AU	9,13	3,03	12,40	3,20	-26,36	-5,40
ALBERTSLUND#3	DK	9,07	3,00	25,00	3,50	-63,72	-14,15
ALBERTSLUND#3	DK	3,51	1,05	4,90	1,90	-28,35	-44,52
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	8,72	2,88	10,60	4,30	-17,75	-33,10
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	3,62	1,09	3,50	1,55	3,48	-29,62
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	3,45	1,04	5,20	1,40	-33,56	-26,03
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	3,84	1,16	4,70	1,60	-18,31	-27,28
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	2,87	0,85	4,60	2,00	-37,53	-57,75
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	3,68	1,11	6,50	2,50	-43,44	-55,63
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	8,97	--	10,80	--	-16,91	--
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	8,59	--	10,30	--	-16,60	--
OBERPFAFFENHOFEN#1	DE	9,47	--	10,60	--	-10,64	--
OBERPFAFFENHOFEN#2	DE	7,44	--	9,50	--	-21,65	--
ROMA#1	IT	3,76	1,14	4,50	1,80	-16,36	-36,77
ROMA#2	IT	3,19	0,95	5,00	1,80	-36,21	-47,32
BASSONE	IT	2,78	0,81	4,70	1,50	-40,94	-45,77
NOLA	IT	5,09	1,59	5,60	2,30	-9,13	-30,97
AVEIRO#1	PT	2,40	0,69	2,60	1,60	-7,67	-56,69
AUSTIN	US	2,90	0,85	4,40	1,60	-34,03	-46,59
AUSTIN	US	4,05	1,23	4,60	1,40	-11,95	-11,84
AUSTIN	US	3,67	1,11	3,90	0,70	-5,86	58,21
AUSTIN	US	5,96	1,89	5,00	1,20	19,12	57,41
AUSTIN	US	3,98	1,21	3,90	0,70	2,01	72,87
AUSTIN	US	8,62	2,84	9,00	3,40	-4,18	-16,41
BLACKSBURG#2	US	8,20	2,69	8,00	3,50	2,50	-23,19
AUSTIN#2	US	7,76	2,53	8,00	3,00	-3,01	-15,69
AUSTIN#2	US	7,76	2,53	8,50	2,50	-8,72	1,17

Nome da Estação	País	Atenuação por Chuva Calculada pela Rec. P. 618 (dB)		Atenuação por Chuva Medida (dB)		Erro Relativo entre Atenuação Medida e Calculada (%)	
		0,01%	0,1%	0,01%	0,1%	0,01%	0,1%
AUSTIN#2	US	9,81	3,28	11,00	4,00	-10,80	-18,07
AUSTIN#2	US	5,38	1,69	7,20	2,40	-25,27	-29,64
KJELLER	NO	6,73	2,16	8,70	2,50	-22,64	-13,53
ALBERTSLUND#1	DK	4,61	1,42	4,40	2,30	4,73	-38,12
ALBERTSLUND#1	DK	25,31	9,32	18,91	8,05	33,82	15,83
ALBERTSLUND#1	DK	23,11	8,44	18,21	8,13	26,93	3,78
ALBERTSLUND#1	DK	43,70	17,04	32,80	13,80	33,24	23,48
ALBERTSLUND#1	DK	--	8,44	--	8,29	--	1,77
ALBERTSLUND#1	DK	--	17,04	--	14,15	--	20,42
ALBERTSLUND#1	DK	8,98	2,97	9,19	4,16	-2,27	-28,55
ALBERTSLUND#1	DK	21,94	7,97	21,04	8,90	4,28	-10,50
ALBERTSLUND#1	DK	--	3,30	--	4,30	--	-23,27
ALBERTSLUND#1	DK	6,49	2,08	10,00	3,10	-35,05	-32,95
MARTLESHAM#1	GB	--	2,51	--	4,90	--	-48,76
MARTLESHAM#1	GB	--	2,80	--	4,20	--	-33,38
MARTLESHAM#1	GB	5,72	1,81	6,20	4,00	-7,68	-54,80
MARTLESHAM#1	GB	8,58	2,83	6,30	3,80	36,24	-25,60
MARTLESHAM#1	GB	6,85	2,20	5,70	2,00	20,20	10,24
MARTLESHAM#1	GB	7,42	2,41	14,00	3,40	-47,00	-29,19
MARTLESHAM#1	GB	4,88	1,52	6,20	2,80	-21,31	-45,87
MARTLESHAM#1	GB	5,69	1,79	5,70	2,80	-0,26	-35,91
MARTLESHAM#1	GB	4,27	1,31	4,10	1,20	4,03	8,90
MARTLESHAM#1	GB	4,57	1,41	3,30	0,80	38,62	76,46
MARTLESHAM#1	GB	6,22	1,98	7,90	1,70	-21,25	16,60
MARTLESHAM#1	GB	4,46	1,37	5,00	1,30	-10,77	5,64
NEDERHORST	NL	--	4,81	--	9,20	--	-47,75
NEDERHORST	NL	--	5,23	--	10,10	--	-48,17
NEDERHORST	NL	15,00	5,23	15,50	9,70	-3,23	-46,03
NEDERHORST	NL	4,97	1,55	6,46	3,22	-23,05	-51,95
NEDERHORST	NL	5,33	1,67	9,27	2,80	-42,48	-40,29
NEDERHORST	NL	12,10	4,13	15,58	5,99	-22,30	-31,02
SODANKYLA	FI	13,15	4,53	17,13	5,98	-23,22	-24,27
KIRKKONUMMI	FI	12,77	4,38	27,54	6,90	-53,63	-36,48
STOCKHOLM	SE	13,92	4,82	28,08	7,34	-50,42	-34,32
STOCKHOLM	SE	23,34	8,53	24,40	8,96	-4,34	-4,82
STOCKHOLM	SE	28,00	10,42	24,16	9,53	15,88	9,38
LUSTBUEHEL	AT	32,49	12,29	18,77	11,23	73,10	9,40
LUSTBUEHEL	AT	4,18	1,28	4,34	1,43	-3,64	-10,58
LUSTBUEHEL	AT	10,65	3,59	11,46	3,99	-7,06	-10,08
LUSTBUEHEL	AT	19,59	7,03	24,85	7,53	-21,18	-6,66
LUSTBUEHEL	AT	6,07	1,93	4,55	1,70	33,47	13,53
BERN	CH	13,94	4,83	10,83	4,51	28,71	7,05
BERN	CH	27,24	10,12	26,06	9,38	4,54	7,84
BERN	CH	5,24	1,64	4,45	1,51	17,74	8,60
KIRKKONUMMI#2	FI	12,62	4,33	10,94	4,13	15,36	4,76
KIRKKONUMMI#2	FI	24,56	9,02	25,64	8,55	-4,20	5,53
KIRKKONUMMI#2	FI	14,08	4,88	13,50	5,10	4,28	-4,29
KIRKKONUMMI#2	FI	12,64	4,34	9,50	4,73	33,10	-8,34

Nome da Estação	País	Atenuação por Chuva Calculada pela Rec. P. 618 (dB)		Atenuação por Chuva Medida (dB)		Erro Relativo entre Atenuação Medida e Calculada (%)	
		0,01%	0,1%	0,01%	0,1%	0,01%	0,1%
KIRKKONUMMI#2	FI	27,56	10,25	22,60	9,20	21,96	11,37
SPINO D'ADDA#2	IT	24,83	9,13	19,00	7,23	30,70	26,30
SPINO D'ADDA#2	IT	5,77	1,82	9,27	2,80	-37,75	-34,85
DUBNA	SU	13,14	4,52	15,58	5,99	-15,64	-24,46
DUBNA	SU	14,26	4,95	17,13	5,98	-16,73	-17,18
DUBNA	SU	13,85	4,80	27,54	6,90	-49,69	-30,50
DUBNA	SU	15,08	5,27	28,08	7,34	-46,28	-28,23
NEU GOLM	DE	18,56	6,62	17,30	6,50	7,31	1,91
NEU GOLM	DE	18,22	6,49	17,30	6,50	5,31	-0,18
NEU GOLM	DE	25,62	9,45	24,85	7,53	3,11	25,53
NEU GOLM	DE	7,73	2,52	4,55	1,70	69,80	48,07
NEU GOLM	DE	17,90	6,36	10,83	4,51	65,31	41,11
NEU GOLM	DE	35,16	13,41	26,06	9,38	34,93	42,92
MIEDZESZYN	PL	6,71	2,16	4,45	1,51	50,88	42,79
MIEDZESZYN	PL	16,28	5,73	10,94	4,13	48,83	38,77
MIEDZESZYN	PL	31,84	12,01	25,64	8,55	24,18	40,51
MIEDZESZYN	PL	17,42	6,18	12,50	5,90	39,39	4,68
GOONHILLY	GB	10,37	3,48	9,10	3,70	13,91	-5,89
GOONHILLY	GB	24,88	9,15	30,00	12,20	-17,05	-24,98
GOONHILLY	GB	22,50	8,19	26,76	8,05	-15,91	1,75
ALBERTSLUND#2	DK	20,91	7,55	25,13	7,68	-16,79	-1,65
ALBERTSLUND#2	DK	--	0,60	--	1,30	--	-53,51
ALBERTSLUND#3	DK	5,93	1,88	7,80	3,10	-23,95	-39,34
AVEIRO#2	PT	6,43	2,06	8,30	3,20	-22,48	-35,72
AVEIRO#2	PT	12,93	4,45	6,00	2,40	115,58	85,24
AVEIRO#3	PT	5,92	1,88	5,07	1,66	16,78	13,05
GOMETZ-LA-VILLE#2	FR	21,55	7,81	20,33	8,75	5,99	-10,77
GOMETZ-LA-VILLE#3	FR	23,41	8,56	43,53	25,02	-46,22	-65,80
GOMETZ-LA-VILLE#3	FR	52,39	20,82	38,08	18,37	37,59	13,32
GOMETZ-LA-VILLE#4	FR	14,45	5,03	12,71	4,88	13,71	2,97
LA-FOLIE-BESSIN#1	FR	29,18	10,91	28,12	10,29	3,78	6,05
LA-FOLIE-BESSIN#2	FR	7,32	2,37	7,45	2,35	-1,79	0,88
LUSTBUEHEL#2	AT	16,56	5,84	16,20	5,75	2,21	1,54
LUSTBUEHEL#3	AT	17,79	6,32	17,35	6,00	2,55	5,35
LUSTBUEHEL#3	AT	32,51	12,29	27,80	11,25	16,95	9,28
LUSTBUEHEL#4	AT	3,13	0,93	2,90	1,70	7,98	-45,34
CLAYTON	AU	10,28	3,45	8,30	2,90	23,80	18,91
CLAYTON	AU	17,16	6,07	18,00	6,00	-4,65	1,24
CLAYTON	AU	6,23	1,99	5,90	2,00	5,66	-0,42
WAKKANAI	JP	15,41	5,41	15,90	6,00	-3,09	-9,85
WAKKANAI	JP	7,27	2,36	13,30	4,30	-45,36	-45,09
SENDAI	JP	20,83	7,57	16,00	8,00	30,20	-5,39
KASHIMA	JP	22,48	8,24	27,00	7,00	-16,74	17,70
KASHIMA	JP	9,26	3,10	15,10	5,60	-38,70	-44,64
MATSUE	JP	--	12,67	--	8,70	--	45,66
YOKOHAMA	JP	14,32	7,27	11,80	5,70	21,34	27,59
YOKOSUKA	JP	8,28	2,75	5,70	3,00	45,21	-8,33
OSAKA	JP	7,05	2,31	4,90	2,10	43,94	9,85

Nome da Estação	País	Atenuação por Chuva Calculada pela Rec. P. 618 (dB)		Atenuação por Chuva Medida (dB)		Erro Relativo entre Atenuação Medida e Calculada (%)	
		0,01%	0,1%	0,01%	0,1%	0,01%	0,1%
MARUGAME	JP	9,94	3,40	10,10	5,00	-1,62	-31,97
MARUGAME	JP	5,94	1,88	5,90	2,40	0,71	-21,50
MARUGAME	JP	7,90	2,67	8,00	3,00	-1,29	-10,84
IZUHARA	JP	21,27	8,01	17,00	9,90	25,12	-19,10
ASHIZURI	JP	--	11,58	--	12,10	--	-4,30
KESENUMA	JP	--	16,58	--	11,50	--	44,20
YAMAGAWA	JP	14,48	5,04	22,80	6,00	-36,48	-16,07
YAMAGAWA	JP	10,35	3,48	16,50	4,70	-37,25	-26,01
YAMAGUCHI	JP	15,27	5,34	24,50	7,80	-37,66	-31,53
YAMAGUCHI	JP	5,65	1,78	4,30	1,00	31,35	78,16
BEIJING	CN	9,77	3,26	6,40	1,70	52,60	91,78
BEIJING	CN	9,83	3,28	5,20	1,80	89,05	82,45
BEIJING	CN	11,06	3,79	15,60	5,90	-29,10	-35,70
SYDNEY	AU	6,73	2,16	7,00	3,10	-3,92	-30,32
MELBOURNE	AU	7,53	2,46	6,90	3,40	9,17	-27,78
CANBERRA	AU	6,03	1,93	4,00	3,90	50,73	-50,63

8.4 APÊNDICE 4

RAIN HEIGHT BEHAVIOUR IN LOW LATITUDE AREAS

Alexandre Timoteo da Costa and Mauro S. Assis

Military Institute of Engineering – IME

Rio de Janeiro - Brazil

1. INTRODUCTION

The knowledge of the vertical structure of precipitation is of fundamental importance for predicting attenuation due to rain in slant paths. Weather radar observations [1] show that, on average, the rain intensity does not vary from the surface of the Earth up to the 0°C isotherm (h_0). Based on this result, h_0 has been used along the years as reference for modelling the rain height (h_R).

This paper intends to discuss two points referring to the 0°C isotherm. First, values of h_0 taken from the ITU-R (Radiocommunication Sector of the International Telecommunication Union) digital maps [2] are compared with radiosonde measurements carried out in different climatic regions of Brazil. The second point refers to an investigation of how the rain height affects the performance of the ITU-R model [3]. In this case, it was analysed the error resulting from the difference between the mean rain height used in the ITU-R model and the effective rain height derived from the experimental data available in the ITU-R data bank.

2. ITU-R SLANT PATH MODEL EVOLUTION

The first approach to the problem of rain height was based on the concept of effective path length [4], which supposes an uniform rain causing the same attenuation as observed in the actual path. Empirical curves as a function of rain intensity and elevation angle were used for estimating the effective path length. In spite of its simplicity, this procedure was proved to be unsatisfactory for widespread use.

The next step in this evolution was the introduction of the concept of effective rain height (h_R). Once this parameter should be derived from the analysis of slant path experimental data, it is necessary to fix the horizontal distribution of rain as, for instance, through the path length factor used in the ITU-R model for terrestrial links [5]. Otherwise, the error associated to this factor is implicitly transferred to the corresponding effective rain height. In the period 1982 - 1999, different expressions for h_R were used [6-12]. Although in the case of temperate climate the variation of h_R along the years has not been so large, in low latitude areas, these modifications corresponded to a wide range of values, ranging from 3.0 to 5.1 km. Since 1999, reference is made to Recommendation ITU-R P.839 (Rain height model for prediction methods). The latest version of this Recommendation [2] presents a numerical map of h_0 from which the mean rain height can be derived (the data file for h_0 may be obtained from the ITU

Radiocommunication Bureau). Presently, the ITU-R model [3] adopts a rain height given by $h_R(\text{km}) = h_o(\text{km}) + 0.36$, corresponding to the isotherm height for -2°C derived from the 0°C isotherm using the standard lapse rate of $-5.6^\circ\text{C}/\text{km}$.

3. CHARACTERISTICS OF THE 0° ISOTHERM IN THE TROPICS

Table 1 compares values of h_o taken from the ITU-R digital maps with radiosonde measurements (yearly average) carried out in several Brazilian sites. It should be noted that this table includes data from a small island (Trindade Island), located far from the continent, which is representative of the 0° isotherm behaviour over the sea. In all these locations a reasonable agreement between experimental data and predicted values is observed, the maximum error being around 10%. However, as it is shown in Table 2, monthly variations may be quite large. This behaviour, despite being important for low availability satellite systems (worst month), cannot be predicted by the ITU-R digital maps.

4. EFFECTIVE RAIN HEIGHT

This section deals with an investigation of how the rain height affects the performance of the ITU-R model. Table 3 compares the rain height corresponding to the -2°C isotherm height with the effective rain height derived from the experimental data corresponding to latitudes between 30°N and 30°S available in the ITU-R data bank. The effective rain height was evaluated for 0.01 and 0.1 % of time (annual basis). Table 4 summarizes these results showing, for all data, the mean relative error and the standard deviation. The high standard deviation in Table 4 indicates the possibility of a large error when predicting rain attenuation in a specific path, as can be verified in Table 5.

TABLE 1

YEARLY AVERAGE OF 0° ISOTHERM HEIGHT IN BRAZIL

LOCATION	LATITUDE	LONGITUDE	$h_o(\text{m})$ (measured)	$h_o(\text{m})$ (Rec. 839-3)
----------	----------	-----------	-------------------------------	---------------------------------

Belém	01°23'S	48°29'W	4868	4538.6
Manaus	03°08'S	60°01'W	4807	4466.6
Fernando de Noronha	03°51'S	32°25'W	4872	4577.3
Natal	05°55'S	35°12'W	4916	4574.4
Cachimbo	09°20'S	54°57'W	4933	4484.3
Vilhena	12°42'S	60°06'W	4780	4513.5
Brasília	15°52'S	47°56'W	4707	4468.6
Trindade Island	20°30'S	29°18'S	4449	4284.7
Campo Grande	20°28'S	54°40'W	4675	4489.5
Rio de Janeiro	22°54'S	43°10'W	4375	4243.1
São Paulo	23°37'S	46°39'W	4443	4174.1
Curitiba	25°31'S	49°16'W	4335	4196.6
Porto Alegre	30°00'S	51°11'W	4011	4236.8

TABLE 2

MONTHLY VARIATION OF 0° ISOTHERM HEIGHT

LOCATION	Height (m)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Belém	4844	4950	4935	5017	5027	4917	4816	4710	4752	4758	4844	4843
Trindade Is.	4741	4608	4697	4412	4436	4635	4406	4226	4158	4173	-	-
Campo Grande	4800	4808	4827	4813	4620	4599	4463	4414	4503	4588	4836	4826
Rio de Janeiro	4603	4615	4589	4207	4267	4172	4093	4126	4416	4312	4499	4508
Curitiba	4781	4797	4638	4207	4307	4017	4074	3914	4316	4194	4388	4384

TABLE 3

EFFECTIVE RAIN HEIGHT AND -2°C ISOTHERM - ALL DATA

LOCATION	COUNTRY	-2°C Isotherm (km)	Effective rain height (km)		Mean relative error (%)	
			0.01%	0.1%	0.01%	0.1%
MANAUS	BR	4.83	-	5.4	-	16.87
MANAUS	BR	4.83	-	5.47	-	13.19
MANAUS	BR	4.83	-	5.50	-	13.83
RIO DE JANEIRO	BR	4.68	-	4.86	-	3.83
RIO DE JANEIRO	BR	4.68	4.52	2.57	-3.47	-45.19
RIO DE JANEIRO	BR	4.68	-	3.74	-	-20.12
RIO DE JANEIRO	BR	4.68	5.99	3.52	27.91	-24.81
BELÉM	BR	4.89	-	5.97	-	21.90
BELÉM	BR	4.89	-	5.41	-	10.37
BELÉM	BR	4.89	-	5.54	-	13.14
PONTA DAS LAGES	BR	4.82	4.39	4.48	-9.07	-7.14
TRINIDAD	TT	4.87	3.85	4.65	-21.07	-4.60
IQUITOS	PE	4.80	-	3.81	-	-20.65
BRASÍLIA	BR	4.83	7.47	6.92	54.72	43.27
DOUALA	CM	4.92	-	9.71	-	97.61
DOUALA	CM	4.92	-	7.64	-	55.41
NAIROBI	KE	4.94	4.65	3.76	-5.76	-23.87
NAIROBI	KE	4.94	4.19	3.65	-15.16	-25.95
ILE-IFE	NG	4.89	-	≥10.00	-	104.57
ILE-IFE	NG	4.89	-	≥10.00	-	104.57
DELHI	IN	5.30	4.06	5.03	-23.36	-5.16
OGASAWARA	JP	4.69	2.80	3.45	-40.43	-26.41
MINAMIDAITO	JP	4.86	≥10.00	≥10.00	105.91	105.91
TAIPEI	TW	4.67	-	4.58	-	-1.91
YONAGUNI	JP	4.77	7.63	≥10.00	59.97	109.60
SINGAPORE	SG	4.98	2.13	1.38	-57.22	-72.29
HONG KONG	HK	5.22	1.81	0.84	-65.35	-83.83
HONG KONG	HK	5.22	3.17	7.45	-39.19	42.80
UNITECH LAE	PG	5.08	4.81	3.28	-5.28	-35.46
UNITECH LAE	PG	5.08	6.63	4.87	30.39	-4.09
DJATILUHUR	ID	5.04	≥10.00	≥10.00	98.31	98.31
DARWIN#1	AU	5.07	3.40	4.15	-32.97	-18.14
DARWIN#1	AU	5.07	-	3.66	-	-27.84
DARWIN#1	AU	5.07	3.68	3.71	-27.49	-26.94
DARWIN#1	AU	5.07	-	3.01	-	-40.65
INNISFAIL	AU	4.93	-	3.79	-	-23.08
INNISFAIL	AU	4.93	-	5.54	-	12.37
PADANG	ID	4.77	-	≥10.00	-	109.59
PADANG	ID	4.77	-	8.54	-	79.05
CIBINONG	ID	4.85	-	8.38	-	72.84
BRISBANE	AU	3.84	3.87	1.80	0.66	-53.28
SURABAYA	ID	5.06	-	5.85	-	15.78
SURABAYA	ID	5.06	-	6.36	-	25.72
SURABAYA	ID	5.06	5.71	5.33	12.93	5.38
TOWNSVILLE	AU	4.83	-	5.12	-	5.88

TABLE 4

EFFECTIVE RAIN HEIGHT AND -2°C ISOTHERM - SUMMARY

Percentage of time	0.01	0.1
Mean relative error (%)	2.1	13.1
Standard deviation (%)	46.5	51.2

5. CONCLUDING REMARKS

Based on a reasonable amount of data, the knowledge of the problem of rain attenuation in low latitude areas has increased in the last years. However, there are still a few points that deserve special attention. Two of these points were considered in this paper.

- a) 0° C isotherm - the mean annual value of h_0 can be predicted with an acceptable accuracy through the ITU-R digital maps. However a better statistical description may be useful when relating this parameter to rain height;
- b) Effective rain height - the rain structure is quite complex. In this context, based on the results shown in Tables 3 and 5, it seems to be advisable to optimize the model for slant paths only after the problem of the horizontal distribution of rain is solved.

6. REFERENCES

1. Goldhirsh, J. and I. Katz, Useful experimental results for Earth-satellite rain attenuation modeling, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, May 1978, AP-27, pp. 413-415
2. ITU-R, Rain height model for prediction methods, Recommendation ITU-R P.839-3, Geneva 2000;
3. ITU-R, Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication system, Recommendation ITU-R P.619-7, Geneva 2000;
4. CCIR (now ITU-R), Propagation data required for space telecommunication systems, Report 564, XIV Plenary Assembly, Geneva, 1974;
5. ITU-R, Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems, Recommendation ITU-R P.530-9, Geneva, 2001;
6. CCIR (now ITU-R), Propagation data and prediction methods required for space telecommunication systems, Report 564-2, XVI Plenary Assembly, Geneva 1982;

7. CCIR (now ITU-R), Propagation data and prediction methods required for space telecommunication systems, Report 564-2 (MOD I), Conclusions of the Interim Meeting of Study Group 5, Geneva 1983;
8. Special Issue on the COST 205 Project on Earth-satellite radio propagation space above 10 GHz, Alta Frequenza, vol. LIV, No. 3, pp. 87-236, May-June 1985
9. CCIR (now ITU-R), Propagation data and prediction methods required for space telecommunication systems, Report 564-3, XVII Plenary Assembly, Geneva 1986;
10. CCIR (now ITU-R), Propagation data and prediction methods required for space telecommunication systems, Report 564-4, XVIII Plenary Assembly, Geneva 1990;
11. CCIR (now ITU-R), Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication system, Recommendation 618-2, Geneva 1992;
12. ITU-R, Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication system, Recommendation 618-5, Geneva 1997;
13. Assis, M.S and M.S. Pontes, Propagation conditions in South and Central America, Preparatory Seminar for 1983 RARC on Broadcasting Satellite Planning, Principles and Methodology, Ottawa, Canada, May, 1981;
14. Souza, R.S.L., Slant path rain attenuation prediction in tropical and equatorial areas (in Portuguese), MSc. Thesis, Catholic University of Rio de Janeiro, August, 1992.

TABLE 5

RAIN ATTENUATION PREDICTION ERROR IN LOW LATITUDE AREAS
(ITU-R DATA BANK)

LOCATION	Country	Predicted(dB)	Measured(dB)	Relative error(%)
----------	---------	---------------	--------------	-------------------

		0.01%	0.1%	0.01%	0.1%	0.01%	0.1%
MANAUS	BR	-	7.54	-	8.43	-	-10.50
MANAUS	BR	-	7.14	-	7.81	-	-8.58
MANAUS	BR	-	7.39	-	8.11	-	-8.88
RIO DE JANEIRO	BR	-	4.06	-	4.15	-	-2.20
RIO DE JANEIRO	BR	9.92	3.70	9.73	2.52	1.93	46.82
RIO DE JANEIRO	BR	-	3.96	-	3.46	-	14.49
RIO DE JANEIRO	BR	7.76	2.82	8.93	2.34	-13.09	20.62
BELÉM	BR	-	6.93	-	7.80	-	-11.17
BELÉM	BR	-	8.83	-	9.34	-	-5.45
BELÉM	BR	-	7.92	-	8.51	-	-6.95
PONTA DAS LAGES	BR	13.74	6.67	12.89	6.31	6.60	5.64
TRINIDAD	TT	14.22	6.05	12.60	5.90	12.82	2.62
IQUITOS	PE	-	9.60	-	8.40	-	14.28
BRASÍLIA	BR	6.97	2.70	9.60	3.64	-27.45	-25.70
DOUALA	CM	-	7.66	-	10.90	-	-29.68
DOUALA	CM	-	6.60	-	8.40	-	-21.40
NAIROBI	KE	8.48	3.77	8.00	2.70	5.94	39.56
NAIROBI	KE	7.39	3.24	6.20	2.20	19.21	47.26
ILE-IFE	NG	-	6.67	-	10.20	-	-34.59
ILE-IFE	NG	-	5.19	-	8.00	-	-35.16
DELHI	IN	11.48	4.12	10.00	4.00	14.76	2.97
OGASAWARA	JP	10.45	3.74	7.80	3.10	33.98	20.62
MINAMIDAITO	JP	10.60	3.88	16.40	6.00	-35.37	-35.38
TAIPEI	TW	-	8.58	-	8.50	-	0.96
YONAGUNI	JP	11.00	4.11	14.10	8.00	-21.98	-48.59
SINGAPORE	SG	18.76	8.49	12.00	3.90	56.36	117.58
HONG KONG	HK	21.15	16.27	12.00	3.30	76.25	211.16
HONG KONG	HK	17.48	6.63	13.60	8.00	28.50	-17.18
UNITECH LAE	PG	16.90	8.00	16.40	6.00	3.08	33.38
UNITECH LAE	PG	16.90	8.00	19.50	7.80	-13.31	2.60
DJATILUHUR	ID	2.80	0.99	4.50	2.80	-37.70	-64.55
DARWIN#1	AU	14.94	6.44	12.30	5.80	21.49	11.09
DARWIN#1	AU	-	11.63	-	9.70	-	19.89
DARWIN#1	AU	13.38	5.71	11.40	4.80	17.41	18.86
DARWIN#1	AU	-	10.33	-	7.60	-	35.88
INNISFAIL	AU	-	7.24	-	6.30	-	14.93
INNISFAIL	AU	-	6.03	-	6.40	-	-5.77
PADANG	ID	-	8.19	-	14.30	-	-42.74
PADANG	ID	-	7.75	-	10.60	-	-26.85
CIBINONG	ID	-	8.78	-	11.60	-	-24.31
BRISBANE	AU	11.76	4.27	11.80	2.60	-0.38	64.20
SURABAYA	ID	-	18.77	-	20.50	-	-8.46
SURABAYA	ID	-	14.16	-	16.10	-	-12.03
SURABAYA	ID	26.95	14.06	28.70	14.50	-6.08	-3.03
TOWNSVILLE	AU	-	4.22	-	4.36	-	-3.19