

6

Conclusões e Sugestões

6.1

Conclusões

Neste trabalho foram realizadas medidas de atenuação por chuvas em enlaces terrestres convergentes em regiões tropicais que, além de aumentarem significativamente a base de dados existente para este tipo de região, ampliaram a faixa de frequências e comprimento de enlaces nela incluídos.

Foram desenvolvidos novos modelos, globais e consistentes, para a previsão da atenuação por chuvas em enlaces terrestres e via satélite, através da definição de fatores de correção horizontal e vertical para levar em conta a não uniformidade da taxa de precipitação, e do ajuste funções empíricas de parâmetros geométricos dos enlaces e da taxa de precipitação para o cálculo destes fatores. O ajuste foi realizado a partir de dados medidos de atenuação, usando tanto as distribuições de taxa de precipitação medida de forma concorrente, como as distribuições estimadas pela Recomendação UIT-R P.837-4.

Mostrou-se que é possível obter modelos empíricos com um desempenho, medido pelo erro de previsão da Recomendação UIT-R P.311-10, melhor ou superior ao obtido com os melhores modelos encontrado na literatura, mantendo a consistência entre os casos terrestre e via satélite e, sem incluir nas expressões empíricas parâmetros que nada têm a ver ou, mesmo, contrariam a realidade física.

Em particular no caso terrestre, os modelos desenvolvidos apresentam desempenho muito superior ao do modelo atualmente encontrado na Recomendação UIT-R P.530-10 e, equivalente à do modelo recentemente proposto pela China, mas sem o alto grau de artificialidade deste.

No caso satélite, os modelos desenvolvidos apresentam desempenho equivalente aos obtidos com o atual modelo da Recomendação UIT-R P. 618-8 e do modelo chinês para enlaces satélite. Mas não apresentam inconsistência em relação ao caso terrestre nem utilizam a frequência como varável da função

ajustada, como ocorre nestes modelos. O uso da frequência como variável da função de ajuste corresponde, na prática, a alterar a dependência da atenuação com a frequência, o que não tem justificativa uma vez que a atenuação específica é o elemento mais bem fundamentado, do ponto de vista físico, na modelagem.

Verificou-se que, mesmo utilizando modelos ajustados para as bases de dados disponíveis, os erros obtidos usando a taxa de precipitação dada pela Recomendação 837 são 5 a 8 dB superiores, no caso terrestre, e cerca de 10 dB superiores, no caso satélite, aos obtidos com as taxas de precipitação medida.

Os valores r.m.s. mínimos dos erros de previsão obtidos para enlaces terrestres, tanto pelos modelos propostos como pelos outros modelos existentes de desempenho equivalente, são da ordem de 25 dB. Tem sido discutido que erros, nesta faixa de valores, estão associados à variabilidade intrínseca, ano a ano, da ocorrência de chuvas, representando um limite do desempenho que pode ser obtido por modelos empíricos que não levem em conta esta variabilidade.

No caso de enlaces satélite os erros mínimos são um pouco superiores aos obtidos no caso de enlaces terrestres, devido à geometria mais complexa dos enlaces e ao maior número de parâmetros envolvidos.

Os erros de previsão são também um pouco maiores nos extremos da faixa de percentagens de tempo considerada. Isto se deve, provavelmente, à maior incerteza na medição de pequenos valores de atenuação e da taxa de precipitação em percentagens do tempo próximas, e acima de 0,1%, e à menor confiabilidade estatística dos valores medidos, devido ao pequeno número de eventos, quando a percentagem de tempo tende a 0,001%.

Como contribuição adicional do trabalho, foram obtidas distribuições da atenuação diferencial em enlaces convergentes e um novo ajuste dos parâmetros do modelo para sua previsão, ampliando também os limites de aplicação em termos de valores de frequência de operação e comprimentos de enlaces.

6.2

Sugestões para Futuros Trabalhos

Embora os modelos de previsão da atenuação por chuvas desenvolvidos neste trabalho superem um série de limitações apresentadas por modelos existentes, são ainda modelos empíricos que envolvem o ajuste, a partir de dados experimentais, de funções escolhidas de forma arbitrária, ainda que criteriosa. Métodos de previsão baseados em modelos com base inteiramente física são objetivos muito ambiciosos, mas que devem ser sempre perseguidos.

O banco de dados de medidas de atenuação por chuvas em regiões tropicais tem crescido de forma constante, mas ainda é pequeno, se comparado com o banco de dados de regiões temperadas, particularmente no caso de enlaces via satélite. O banco de dados dos enlaces terrestres, independentemente do clima considerado, é também significativamente menor o existente para enlaces enlaces. No caso de enlaces convergentes, além de um banco de dados ainda pequeno, todas as medidas disponíveis foram realizadas em dois locais, de clima tropical, no Brasil. Isto recomenda a continuidade da realização de todos os três tipos de medidas, em particular quando se considera o grande número de aplicações terrestres ponto-multiponto que deverá ocorrer nos próximos anos.

No que diz respeito às distribuições cumulativas de probabilidade da taxa de precipitação, que representam o dado de entrada fundamental para a previsão da atenuação, ainda há muito para evoluir, no que diz respeito à construção de um mapa digital global de apresente boa concordância com os valores pontuais medidos.

Finalmente, a questão da variabilidade anual dos regimes de chuvas precisa ser estudada, e seu efeito incluído em novos modelos de previsão. Isto permitirá realizar o projeto de enlaces de forma mais precisa ou, pelo menos, conhecer a incerteza envolvida nas previsões.