

8

Conclusões e sugestões de trabalhos futuros

A sintetização de séries temporais de atenuação por chuva foi estudada neste trabalho através dos modelos EMB, TMB e GC cujos parâmetros são extraídos a partir de dados experimentais de atenuação por chuva coletados em cinco enlaces terrestres localizados em uma região de clima tropical e operando na faixa de 15 GHz.

Os modelos EMB [07] e TMB [11] são baseados na teoria apresentada nos anos 80 por Maseng & Bakken [03], desenvolvida a partir de dados de enlaces comunicação por satélite em regiões de clima temperado. O modelo EMB é um aperfeiçoamento da teoria de Maseng & Bakken e foi validado para enlaces de comunicação por satélite em regiões de clima temperado [51] e regiões de clima tropical, subtropical e equatorial [09]. Neste trabalho ele foi aplicado para enlaces terrestres localizados em uma região tropical.

O modelo TMB foi proposto [11] como parte deste trabalho visando melhorar o desempenho do modelo EMB nos níveis mais altos de atenuação.

Os modelos EMB e TMB consideram que a distribuição de longo prazo de atenuação por chuva segue uma distribuição Lognormal, mas as distribuições de atenuação por chuva dos enlaces terrestres mostram que a distribuição Gamma é mais apropriada que a distribuição Lognormal para a modelagem estatística da atenuação na região tropical onde os enlaces estão localizados. Sendo assim, um novo modelo de sintetização de séries temporais de atenuação por chuva baseado na distribuição Gamma (modelo GC) foi proposto.

Séries temporais foram sintetizadas através dos três modelos e suas estatísticas de atenuação, *fade-slope* e duração de desvanecimentos foram comparadas com as estatísticas dos dados experimentais através de gráficos e procedimentos descritos na recomendação ITU-R P. 311-13 [24]. Os resultados dos modelos foram comparados entre si para cada tipo de estatística.

O modelo TMB teve melhor desempenho que o modelo EMB nos níveis mais altos de atenuação das estatísticas estacionárias o que é relevante para

regiões tropicais onde atenuações mais severas são frequentes. As estatísticas de *fade-slope* das séries sintetizadas também tiveram resultados melhores em relação ao modelo EMB. O modelo GC, entretanto, é o que produz séries temporais mais próximas dos dados experimentais nas estatísticas estacionárias de atenuação e nas estatísticas de *fade-slope*.

Nas estatísticas de duração de desvanecimentos o desempenho dos modelos EMB, TMB e GC é semelhante.

Os resultados das séries temporais sintetizadas para 50 anos não diferem de maneira significativa dos resultados das séries sintetizadas de 10 anos. A diferença relevante entre a sinterização de séries temporais dos dois tamanhos é relativa ao tempo de processamento de cada uma. Foi mostrado que o tempo de processamento da sintetização de séries temporais pelo modelo GC é muito superior ao tempo requerido pelos modelos EMB e TMB.

Os resultados deste trabalho indicam a existência de uma relação entre o valor do parâmetro dinâmico nos três modelos e a distância do enlace. Foram propostas equações para o cálculo do parâmetro dinâmico de enlaces terrestres para os modelos EMB, TMB e GC. Os parâmetros calculados através das equações foram utilizados em sintetizações e proporcionaram resultados análogos, e algumas vezes melhores, que os resultados obtidos com os parâmetros que foram extraídos pelos procedimentos específicos dos modelos. Estes resultados possibilitam estender a utilização dos modelos de sintetização para enlaces terrestres com outros valores de distância sem a necessidade da existência de séries temporais experimentais para a extração do parâmetro dinâmico. Neste caso é necessário conhecer apenas as distribuições de atenuação para que sejam extraídos os parâmetros estacionários dos modelos. Bancos de dados com este tipo de informação são mais comuns do que séries temporais experimentais de longos períodos. Uma sugestão para trabalhos futuros é que as equações sejam aplicadas para enlaces localizados em regiões com climas diferentes do clima da região de São Paulo para que a influência climatológica, caso exista, seja parametrizada e incluída nas equações propostas.

Este trabalho foi realizado com base em dados experimentais de 5 enlaces. Em 4 destes enlaces (Bradesco, Ceneps15, Scania e Barueri) a taxa de amostragem dos dados é de 0,1 Hz. Não é possível avaliar o impacto que esta taxa tem nos resultados uma vez que o único enlace com uma taxa maior (1 Hz) é o

Paranapiacaba. Este enlace, porém, é muito longo (42,99 km), pode incluir mais de uma célula de chuva e é sujeito a valores de atenuação que atingem a margem de operação do enlace muito mais rapidamente que os demais enlaces. A aplicação dos modelos a enlaces mais curtos que este e que tenham dados com uma taxa de amostragem de 1 Hz ou maior é uma sugestão de trabalho futuro. Pelas mesmas razões não é possível avaliar se existe influência da taxa de amostragem na sensibilidade dos modelos às variações dos valores do parâmetro dinâmico. Este tipo de estudo em dados que tenham uma taxa de amostragem mais alta também é recomendado em pesquisas futuras.

O estudo comparativo dos dados experimentais do enlace Paranapiacaba com taxas de amostragem de 0,1 e 1 Hz mostrou que os dados com a taxa menor apresentam estatísticas dinâmicas superestimadas uma vez que têm um percentual maior de ocorrências de um determinado valor de *fade-slope* para um dado nível de atenuação. A diferença diminui para os níveis de atenuação mais altos. No caso das estatísticas de duração de desvanecimentos a superestimação também é observada. Neste caso, entretanto, a superestimação é esperada uma vez que os valores das durações acabam sempre sendo arredondados em direção ao valor superior mais próximo que seja múltiplo do valor do tempo de amostragem. É sugerido que algum trabalho futuro avalie a possibilidade de implementação de um mecanismo para que os modelos compensem esta superestimação sempre que as sintetizações sejam baseadas em dados experimentais com tempos de amostragem superiores a um segundo.

Outra característica dos dados experimentais analisados que é importante de ser mencionada é que eles abrangem períodos de 1 ou 2 anos e apresentam diferenças nas épocas em que foram coletados. A aplicação dos modelos em trabalhos futuros a conjuntos de dados referentes a períodos mais longos e que sejam referentes aos mesmos períodos também é sugestão para trabalho futuro.

Como os cinco enlaces analisados têm frequências de operação na faixa de 15 GHz, não foi possível a avaliar a escalabilidade dos modelos em frequência. A aplicação dos modelos em trabalhos futuros a enlaces terrestres em outras faixas de frequência é sugerida, assim como a aplicação dos modelos a enlaces terrestres localizados em regiões com outros climas.

Finalmente, a aplicação do modelo “Cadeia de Markov de 2 estados com eventos sob demanda” [09] para enlaces terrestres é outra sugestão para trabalhos futuros.