1 INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

A sociedade mundial da informação tem evoluído de forma acelerada, nos últimos anos, devido à convergência dos diferentes sistemas de telecomunicações, radiodifusão, multimídia e ao rápido desenvolvimento das tecnologias da informação e comunicação. A forte integração entre computação e comunicações tem contribuído para o surgimento de novos serviços e novos produtos que estão transformando os setores econômico e comercial. O mundo atual vive uma revolução, saindo da sociedade industrial que caracterizaram o século XX e entrando numa sociedade do conhecimento, neste início de século XXI. Este processo dinâmico anuncia uma mudança radical em todos os domínios da nossa vida: educação, saúde, lazer, comércio, práticas econômicas, atividades culturais, participação política, profissão e outros. A Organização das Nações Unidas (ONU) considera importante que o acesso às comunicações seja garantido como um direito fundamental a qualquer pessoa. Uma pessoa bem informada tem condição de melhorar seu desenvolvimento social, profissional e cultural.

A busca por capacidade espectral para atender à grande demanda associada a esta transformação, tem provocado o desenvolvimento de sistemas de comunicações operando em frequências cada vez mais altas, nas bandas superiores da faixa de microondas e na faixa de ondas milimétricas. O projeto destes sistemas é altamente dependente do conhecimento dos efeitos da precipitação pluvial. A atenuação por chuvas é o fator mais crítico no projeto de sistemas de comunicações sem fio, em banda larga, operando em frequências acima de 10 GHz. Chuvas intensas provocam atenuações muito superiores às margens típicas dos enlaces, causando interrupções que podem durar de poucos a dezenas de minutos. O efeito é particularmente acentuado em regiões de climas tropicais e equatoriais, característicos do Brasil, nos quais o regime de chuvas é extremamente severo, em particular nos meses de verão.

A motivação deste trabalho foi realizar uma análise dinâmica da atenuação por chuvas em regiões tropicais, com o objetivo de gerar insumos para o projetista de sistemas, no desenvolvimento de técnicas de compensação da atenuação por chuvas para melhorar a qualidade do sistema de comunicações tanto em enlaces terrestres como via satélite. O trabalho apresenta um estudo detalhado dos efeitos dinâmicos de propagação nas faixas de micro-ondas e ondas milimétricas, com ênfase nos efeitos de atenuação por chuvas.

Foram definidos, como objetivos principais para este trabalho a análise dinâmica da atenuação por chuvas, com dados de enlaces terrestres e via satélite obtidos em diversas regiões do Brasil e a obtenção de um modelo de predição das características estatísticas da função densidade de probabilidade da taxa de variação da atenuação por chuvas com base em parâmetros geoclimáticos e de sistema como altitude, latitude, longitude, frequência, comprimento de enlace e atenuação excedida. Adicionalmente, foi feito um estudo estatístico da duração de eventos de atenuação em enlaces satélite e do grau de indisponibilidade em enlaces terrestres.

Estudos dinâmicos desta natureza, abrangendo a taxa de variação de atenuação (“fade slope”), a duração de eventos e o grau de indisponibilidade (“outage intensity”), tanto de enlaces terrestres como via satélite, são inéditos na literatura técnica e constituem a principal contribuição original desta tese.

O banco de dados obtido para climas tropicais, com medidas em 25 anos-sítio, servirá para ampliar bastante o banco de dados da ITU-R e representa uma contribuição adicional relevante.

O modelo da taxa de variação da atenuação obtido poderá servir de base para um estudo de longo prazo, a ser desenvolvido posteriormente, na busca de métodos para simulação de eventos de atenuação. Entre os estudos adicionais realizados no decorrer do trabalho, que foram importantes na construção das base de dados experimentais estão análises de sensibilidade estatística para diferentes métodos de pré-processamento de dados de taxa de variação da atenuação tais como escolha dos tipos de filtro e de janelas de filtragem.

1.2. Revisão Bibliográfica

No capítulo 2 referente a análise do problema da atenuação por chuvas, o problema da atenuação por chuvas foi baseado no estudo de Brussard e Watson [1], Olsen et al. [2], recomendação da UIT (União Internacional de Telecomunicações) ITU-R P.318-1, e dos estudos relativos a gota de chuvas de Gunn e Kinzer [4] e Laws e Parsons [5].

O texto referente a climatologia tropical e as características das chuvas foi baseado no estudo de Houze [6, 7], Houze e Schumacher [8], Negri et al. [9,11], Anagnostou et al. [10].

Os estudos relativos a taxa de variação de chuvas de diferentes autores foram referentes aos autores Sweeney e Bostian [14], Van de Kamp [15] e Van de Kamp e Castanet [19].

No capítulo 4 que descreve a análise estatística da taxa de variação da atenuação por chuvas fez-se uma comparação com os artigos de Van de Kamp [15], Amaya [17] e os japoneses Pan et al. [18].

No capítulo 6 que descreve duração de eventos de atenuação e grau de indisponibilidade estudou-se Matriciani [21,22], Héder et al. [24], Paraboni e Riva [25], Bräten et al. [28,30], Lakkla et al. [29] e as recomendações UIT-R WP9A [20], UIT-R P.1623 [26] e ITU-R SG3 [27].

1.3. Organização da Tese

Esta tese está dividida em sete capítulos, descritos a seguir.

O capítulo 2 apresenta uma discussão geral do problema da atenuação por chuvas, incluindo aspectos teóricos, considerações, exemplos de resultados da análise estatística de dados experimentais de medidas de atenuação e taxa de precipitação e modelos encontrados na literatura técnica para caracterizar a dinâmica da atenuação por chuvas.

No capítulo 3 são apresentados os detalhes do sistemas de medidas para os enlaces terrestres e satélite. É apresentada uma descrição das etapas do pré-processamento dos dados das séries temporais da atenuação.

O capítulo 4 abrange a análise estatística da taxa de variação da atenuação por chuvas, constituída da caracterização das densidades empíricas, testes de hipótese para modelamento e análise de correlação, correspondentes a uma etapa preliminar da construção da modelagem realizada no capítulo 5.

O capítulo 6 apresenta a modelagem estatística da distribuição empírica dos tempos de duração de eventos de atenuação para os enlaces satélite, incluindo a estimação dos parâmetros da distribuição. Neste capítulo são apresentados, também, os primeiros resultados de um modelo paramétrico das curvas de grau de indisponibilidade para os enlaces terrestres de São Paulo. Finalmente, o capítulo 7 apresenta as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.