

7 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo principal a caracterização do canal de rádio propagação de banda larga na faixa UHF para sistemas de televisão digital. Foram utilizados resultados de três campanhas de medições, com o intuito de se obter a perda de propagação no percurso e a resposta impulsiva do canal. A primeira campanha de medidas delas foi realizada anteriormente a este trabalho, com o transmissor e o receptor em condições externas na cidade de São Paulo, visando à determinação da perda de propagação e da qualidade do sinal recebido em testes para a definição do padrão brasileiro de TV digital. Nesta campanha foi utilizado como transmissor o sistema irradiante da MTV.

A segunda campanha de medidas foi realizada já no âmbito deste trabalho, em condições semelhantes, também na cidade de São Paulo, mas incluiu a medida de perfis de retardo do canal. O sinal transmitido foi o sinal de radiodifusão do canal da TV cultura de São Paulo, no padrão ISDB-T. Para sondagem do canal, na recepção foi utilizado um analisador Anritsu MS8901A. Perfis de retardo do canal em cada local foram obtidos através dos canais pilotos inseridos no sinal OFDM transmitido. Após a coleta dos perfis de retardo foi utilizada uma técnica de pré-processamento dos perfis com o objetivo de se eliminar as componentes que não sejam ocasionadas por obstáculos localizados num ambiente de propagação (ruído impulsivo). A metodologia utilizada é uma adaptação da técnica CFAR em que é calculado um limiar de ruído para cada perfil e aplicado um algoritmo para a obtenção das componentes válidas.

A terceira campanha foi realizada nas instalações do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial no município de Xerém – RJ. Neste caso o objetivo foi determinar a resposta do canal em condições de transmissão externa e recepção interna. Os equipamentos utilizados e as técnicas de processamento de dados foram às mesmas da segunda campanha.

As principais contribuições do trabalho, além do banco de dados de medidas obtido são:

- a caracterização da perda de propagação no percurso em função da distancia e sua comparação com os valores previstos pela Recomendação ITU-R P.1546-3;
- a obtenção de perfis de retardo do canal e dos valores médio e RMS do retardo em diferentes condições de propagação;
- o modelagem estatístico do canal, através da obtenção de distribuições cumulativas de probabilidade para o número de percursos, os retardos relativos e as amplitudes relativas dos multipercursos;
- a simulação do canal de propagação para obtenção de perfis de retardo do canal e dos valores médio e RMS do retardo em diferentes condições de propagação sem a necessidade da realização de medidas.

Os principais resultados obtidos são resumidos e discutidos nas seções seguintes.

7.1. Perda de Propagação ao longo da Distância

A perda de propagação foi analisada para os dados na campanha de medida com o transmissor e receptor localizados em ambiente externo e diferentes cenários. As medidas foram classificadas em condição de visada e sem visada. Para cada caso o coeficiente de decaimento com a distância foi calculado. As medidas foram ajustadas utilizando a equação

$$PL(d) = PL + 10 * n * \log_{10}(d) \quad (7.1)$$

Os valores obtidos de PL e n para cada condição de recepção são resumido a seguir:

	PL	n
LOS	114	2,85
NLOS	120	4,1

Tabela 7.1 Valores dos parâmetros de ajuste da perda média em condições de LOS e NLOS

Como era de se esperar, uma maior inclinação da curva de ajuste foi obtida para os dados de atenuação sem linha de visada, em que se obteve um valor de aproximadamente 4 para o coeficiente de decaimento em relação à distância. Para os dados de perda em linha de visada este valor tende para 2.8.

Uma segunda análise utilizando o nível médio de sinal recebido em cada ponto foi realizada, comparando-se os valores medidos com os previstos pelo método apresentado na recomendação da ITU-R P.1546-3, que permite obter o valor do campo pontual para em função frequência, distância, percentagem de tempo e perfil do enlace. No caso de pontos em visibilidade obteve-se uma concordância razoável entre os valores medidos e previstos, com erro médio de 3,5 dB, desvio padrão de 13,63 dB e valor RMS de 16,61 dB. Para perfis sem visibilidade os valores obtidos usando a Recomendação subestimam fortemente a atenuação medida na maioria dos casos.

7.2. Modelagem do Canal

7.2.1. Parâmetros de Dispersão do Canal

Os parâmetros de dispersão do canal (retardo médio e retardo RMS) foram calculados para cada uma das medidas realizadas na segunda e terceira campanhas de medidas. Para a segunda campanha de medidas, realizada na cidade de São Paulo com transmissor e receptor localizados em ambiente externo, foram obtidos valores de retardo médio variando entre 0,01 μ s e 3,29 μ s e retardo RMS entre 0,1 μ s e 3,45 μ s em perfis com linha de visada. Para perfis sem linha de visada os valores de retardo médio variaram entre 0,05 μ s e 6,53 μ s, com retardos RMS variando entre 0,57 μ s e 2,27 μ s.

Na literatura não foram encontrados dados de retardo médio ou retardo RMS na faixa de frequência utilizada nesta campanha de medida (533 MHz), porém Turin et al [1] realizaram experiências nas faixas de 488 MHz e 1800 MHz. Segundo os autores não foi observada uma diferença significativa entre os resultados obtidos nestas duas faixas. Para comparação com os valores obtidos nesta campanha, segundo a literatura o valor típico de retardo médio para ambientes urbanos é de 1,3 μ s [40] em condição de visibilidade.

Na terceira campanha de medidas, com antena transmissora externa e receptora interna na faixa de frequência de 809 MHz, foram obtidos valores de retardo médio variando entre 3,83 ns e 49,02 ns e retardo RMS variando entre 83,8 ns e 290,49 ns. Nos mesmos pontos de medida, mas para a faixa de 593 MHz, foram obtidos valores de retardo médio variando entre 1,69 ns e 64,55 ns e retardo RMS variando entre 53,96 ns e 212,97 ns. Na literatura não foram encontrados valores para medidas em condições internas com transmissor externo. Comparando com valores de trabalhos realizados em ambientes internos, foram observados valores de retardo RMS variando entre 10 ns e 50 ns [2] com valor mediano de 25 ns. Outros autores apresentam valor RMS máximo de 70 ns [4], mas também foram observados valores de máximo 200 ns [2] na faixa de 850 MHz.

7.3. Modelagem Estatística do canal

O número de componentes de multipercurso foi definido como um processo Poisson onde os eventos são estatisticamente independentes e identicamente distribuídos. Utilizando as ferramentas computacionais Matlab 7.0 e Statistica 7.0 os dados medidos foram ajustados segundo a distribuição tipo Poisson utilizando como teste de hipótese o teste Kolmogorov-Smirnov. O intervalo de chegada das componentes de multipercurso foi ajustado utilizando a distribuição exponencial. Para a distribuição de amplitudes foram testadas varias distribuições de ajuste como as Nakagami, log-normal, Rice e Weibull.

Dos ajustes realizados foi observado que a distribuição Poisson, forneceu um bom ajuste do número de componentes de multipercurso, tanto para as

medidas em ambiente externo, quanto para as medidas em ambiente interno. Da mesma forma foi observado que o modelo exponencial pode ser utilizado no ajuste do intervalo de chegada das componentes. Para as amplitudes relativas apenas a de Weibull não apresentou resultados aceitáveis. Tendo como objetivo a simulação do canal, optou-se pela distribuição log-normal como distribuição de ajuste dos dados.

7.4. Simulação do canal

Foram realizadas simulações do canal rádio na faixa do canal 33 utilizando programas já disponíveis. Foram calculados os valores de retardo médio e RMS para uma grande quantidade de simulações utilizando distâncias entre 1 km e 2 km entre receptor e transmissor. A simulação apresentou valores RMS de retardo significativamente maiores que os obtidos nas medidas. Ao se analisarem os perfis de retardo medidos, não foram observados componentes significativas com retardos acima de 20 μ s. Por este motivo, optou-se por criar na simulação um ponto de corte neste valor para os perfis gerados. Utilizando este critério de redução dos dados, se observou, uma boa concordância entre os valores de retardo RMS medido e simulado.

7.5. Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestão de trabalhos futuros pode propor a realização de novas campanhas de medições para se obter a perda média e o perfil de retardos em ambientes externo e interno em diferentes cenários, com o intuito de se ampliar a base de dados existente. Medição do canal de banda larga em ambientes interno utilizando outras técnicas de sondagem como as definidas em [42], podem ser realizadas com o intuito de se realizar uma comparação com os resultados obtidos neste trabalho.

Podem ainda ser utilizadas outras metodologias de modelagem, como a proposta por Rappaport e Seidel [34]. Outra sugestão é o estudo do ângulo de

chegada e das componentes de multipercurso, que requer um sistema de medidas mais sofisticado.