

1 Introdução

1.1. A TV Digital no Brasil

A televisão é o mais importante meio de difusão de informações e entretenimento no Brasil. De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) a televisão é a segunda utilidade doméstica mais comum nos lares brasileiros com penetração superior a 90%, à frente da geladeira e superada apenas pelo fogão. Em média, cada brasileiro gasta 4 horas e 59 minutos por dia assistindo TV.

Como qualquer sistema de comunicação, a televisão segue a tendência mundial no sentido da digitalização, passando por um rápido processo de substituição de suas plataformas analógicas por plataformas e tecnologias digitais. Esta mudança está provocando forte impacto em todo o mundo e o Brasil não é exceção. Desde 1999 foram realizadas diversas avaliações das tecnologias ISDB-T (japonesa), DVB-T (européia) e ATSC (norte-americana). Uma descrição sucinta das principais características destas tecnologias pode ser encontrada no anexo A deste trabalho.

Em junho de 2006, o governo brasileiro definiu um padrão de televisão digital, a ser adotado no país, baseado no padrão japonês o ISDB-T (*Integrated Service Digital Broadcasting – Terrestrial*). O Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD), cuja implantação foi iniciada em 2 de dezembro de 2007 em São Paulo, deverá estar disponível nas maiores cidades brasileiras até o final de 2008. Embora seguindo um padrão tecnológico baseado no sistema japonês, o SBTVD inclui diversas melhorias e inovações brasileiras. Estas modificações foram desenvolvidas e implementadas para atender a diretrizes estabelecidas pelo Governo Brasileiro, sendo particularmente importante aquela que visa garantir a utilização do Sistema Brasileiro de TV Digital como instrumento de inclusão digital e social. Assim, além de utilizar uma tecnologia de codificação de imagens

que permite aumentar o número de canais transmitidos, o sistema inclui uma plataforma de software embarcado de concepção e desenvolvimento inteiramente brasileiros, denominada *middleware* GINGA, que permite a transmissão de programas interativos bastante sofisticados. A implementação da interatividade no Sistema Brasileiro de TV Digital criará um poderoso instrumento de inclusão, através de aplicações de governo eletrônico e educação à distância, contribuindo para reduzir a divisão digital e as desigualdades sociais no País.

Entre os desafios a serem enfrentados na implantação do SBTVD está à recepção doméstica em ambientes fechados sem antena externa, condição hoje observada em 47% dos lares. Além disto, o SBTVD deverá permitir a recepção móvel, com alta qualidade, em ambientes urbanos densos. Para permitir o desenvolvimento de soluções de engenharia adequadas para a implantação do sistema, é essencial o desenvolvimento de modelos de propagação mais precisos que reflitam estas difíceis condições de recepção. Além da utilização de simulações e de modelos propostos na literatura técnica, a realização de experimentos de campo para a coleta de dados sobre a intensidade do sinal e os perfis de retardo dos sinais recebidos nestas condições é de grande importância para a criação de métodos e ferramentas computacionais mais precisas para o projeto e otimização dos sistemas a serem implantados ao longo dos próximos 10 anos.

Embora diversos modelos possam ser encontrados na literatura técnica para caracterizar o canal de rádio propagação na faixa UHF, na maioria dos casos não são levadas em consideração as condições de recepção existentes no caso brasileiro, nem o esquema de modulação adotado no ISDB-T. Como exceção, destaca-se os trabalhos realizados a partir do ano de 1998 pelo Instituto Presbiteriano Mackenzie, em parceria com a ABERT (Associação Brasileira de Empresas de Rádio e Televisão) e a SET (Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão). Estes trabalhos foram iniciados com estudos dos padrões americano ATSC e europeu DVB. No ano 2000, o padrão japonês ISDB-T foi incluído nas campanhas de testes, com o intuito de se avaliar cada um dos sistemas para uma posterior escolha do padrão de TV Digital a ser adotado no Brasil. Os resultados destas medições serão considerados neste trabalho, juntamente com resultados de outras campanhas de medições realizadas no âmbito desta tese.

1.2.

Caracterização do Canal de Propagação para TV Digital

A propagação em áreas urbanas é afetada por diferentes mecanismos de propagação, tais como reflexão, refração e espalhamento ocasionados principalmente pelo relevo do terreno, pelas edificações e por outros obstáculos presentes no ambiente de propagação, de tal maneira que o sinal atinge o receptor através de vários percursos, tendo como resultado o fenômeno conhecido como desvanecimento por multipercurso. Em transmissões analógicas, o multipercurso causa flutuações na amplitude e a fase do sinal em propagação, resultando em distorção do sinal recebido. No caso da TV analógica, estas distorções se manifestam como redução da qualidade da imagem e aparição de imagens fantasma. Na transmissão digital, o efeito causado pelo multipercurso é a interferência inter-simbólica e conseqüente aumento da taxa de erro de bits no receptor. Dependendo do nível de taxa de erro atingido, o receptor consegue decodificar o sinal recebido e o efeito não é percebido pelo espectador, resultando na alta qualidade de imagem observada em sistemas de TV digital. Entretanto, para níveis elevados de taxa de erro, a decodificação torna-se impossível e o resultado observado é o congelamento da imagem ou total ausência da mesma.

Tanto em condições de recepção externa como de recepção interna, poderão existir espalhadores estáticos ou em movimento em uma região ao redor das antenas transmissora e receptora. Considerando estes efeitos, pode ser concluído que uma das dificuldades na implantação da televisão digital em ambientes urbanos densos é a complexidade e dinâmica do ambiente de propagação. Tanto em áreas urbanizadas como no interior de edificações, a existência de multipercursos resultantes deste ambiente gera um espalhamento espacial e temporal que pode ser profundamente nocivo para a boa recepção.

A propagação de sinais de banda larga em ambientes complexos, tanto de recepção interna como externa, tem sido estudada por um grande número de pesquisadores, que têm coletado dados em diversas frequências e construído modelos para explicar seus resultados experimentais. Um trabalho seminal nesta área é o de Turin [1], que serviu de base para outros importantes trabalhos na área de modelagem de canais de banda larga em ambientes com alta quantidade de multipercursos. O trabalho de Saleh e Valenzuela [2] é baseado na tendência dos

multipercursos em ambientes complexos em formar grupos temporais denominados *clusters*. Outros trabalhos subseqüentes [3],[4], propõem mudanças principalmente nas distribuições de probabilidade dos tempos de chegada e na formulação estatística do problema.

Outro trabalho de destaque nesta área é o de Rappaport et al [5], no qual os autores exploram um modelo de canal baseado na composição de ambientes de propagação, os quais são, por sua vez, geradores de clusters de multipercursos. Extensas análises dos vários modelos de canal banda larga podem ser encontradas ainda em trabalhos de revisão como os de Hashemi [6], Andersen et al. [7] e Ertel et al [8]. O trabalho de Todd et al. [9] apresenta resultados de medidas de propagação em ambientes interiores levando em conta pequenos movimentos da antena receptora e de pessoas ao redor.

Pesquisas envolvendo estudos das estatísticas do ângulo de chegada, podem ser encontradas em Lo and Litva [10] e Litva et al [11]. Resultados de pesquisas envolvendo estatísticas de ângulo de chegada e tempo de chegada são nos trabalhos de Heddergott et al [12] e Zwick et al [13]. Pesquisas mais recentes consideram estatísticas de ângulo de chegada e tempo de chegada [18],[19],[20],[21].

Quanto à atenuação no canal de propagação nas faixas de UHF e VHF, esta é normalmente estimada por intermédio de modelos clássicos como os de Bullington, Epstein-Peterson e Deygout, ou por modelos semi-empíricos, como os propostos pelo Setor de Radiocomunicações da União Internacional de Telecomunicações (UIT-R), descritos nas Recomendações UIT-R P.526-9 e UIT-R P.1546-4. Estes modelos utilizam apenas os obstáculos mais importantes do perfil vertical do terreno e têm a vantagem da simplicidade. Por outro lado, existem modelos computacionalmente intensivos que consideram mais detalhadamente as características do perfil vertical do terreno. Entre estes, encontram-se: modelos de traçado de raios, baseados na ótica geométrica e na Teoria Uniforme da Difração [14],[15]; modelos baseados na solução numérica de equação parabólica pelos métodos de diferenças finitas ou *split-step* [16]; (3) modelos baseados na solução numérica de equações integrais pelo Método dos Momentos, considerando ou não os efeitos do retroespalhamento[17].

1.3. Objetivo e organização da tese

Esta tese tem como objetivo a caracterização experimental do canal de propagação na faixa de UHF para as aplicações em sistemas de TV Digital. Através de campanhas de medições de campo em condições que se aproximam a da operação real destes sistemas, foi levantado um conjunto de dados que permite: a avaliação de métodos de previsão da perda média de propagação em regiões urbanas densas; a determinação do retardo médio e banda de coerência do canal nestas regiões, em condições de recepção externa e interna; a caracterização estatística do espalhamento de retardos do canal; e a simulação do canal em diferentes condições de recepção para obtenção de seu perfil de retardos.

Em seqüência a este capítulo introdutório, o capítulo 2 apresenta uma descrição resumida dos principais modelos semi-empíricos para previsão da perda média de propagação na faixa de UHF.

No capítulo 3 é apresentada uma revisão dos modelos para caracterização do canal de banda larga variante no tempo, incluindo a teoria geral de Bello, o modelo de Saleh e Valenzuela e modelos geométricos estatísticos.

No capítulo 4 são apresentadas as três campanhas de medidas realizadas, incluindo a descrição das regiões e configurações de medição, técnicas de medição e processamento de dados utilizados.

O capítulo 5 inclui, inicialmente, a análise da perda média de propagação nas medições realizadas e a comparação com as previsões fornecidas para os mesmos percursos pela implementação do modelo do ITU-R. A seguir são apresentados os resultados da caracterização em banda larga do canal, incluindo a modelagem estatística do perfil de retardos.

No capítulo 6 são apresentados os resultados de simulações para obtenção do perfil de retardos do canal, inicialmente utilizando os programas SIRCIM e SMRCIM e, a seguir, utilizando um programa desenvolvido com base nos resultados experimentais obtidos e a modelagem estatística desenvolvida nesta tese. Finalmente, o capítulo 7 apresenta as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.