

## Introdução

Os sistemas de televisão aberta estão passando, atualmente, por um 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.

Para a escolha do padrão a ser utilizado no Brasil foram realizadas diversas avaliações das tecnologias ISDB-T (japonesa), DVB-T (européia) e ATSC (norte-americana). Em junho de 2006, o governo brasileiro definiu que o padrão de televisão digital a ser adotado no país teria como base o padrão 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, já está disponível nas maiores cidades brasileiras desde o final de 2008.

Embora seguindo um padrão tecnológico similar ao 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 denominada *middleware* GINGA, de concepção e desenvolvimento inteiramente brasileiros, 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.

No Brasil, as características principais do sistema de TV digital são a recepção doméstica através de antenas internas e a recepção móvel em ambientes urbanos, que requer a utilização de múltiplos transmissores numa mesma frequência para garantir a cobertura de zonas de sombra. Isto torna necessário um

estudo minucioso dos efeitos de propagação na faixa de VHF e UHF nestas condições. Além do uso de modelos propostos na literatura técnica, é de grande importância a realização de experimentos de campo para a coleta de dados de propagação em diferentes tipos de ambiente, que permitam a criação de métodos mais precisos e ferramentas computacionais mais eficientes para os projetos de engenharia e simulações computacionais. Adicionalmente, as condições de propagação no Brasil limitam o uso de modelos desenvolvidos com base em dados coletados em outras regiões, tanto por nossas características climáticas (climas tropical e equatorial) como pelas características arquitetônicas e construtivas das edificações.

## 1.1

### Descrição do Problema

O serviço de televisão aberta por radiodifusão (*broadcasting*) utiliza, além do transmissor principal de cada canal, uma rede de estações retransmissoras para expandir sua área de cobertura. No Brasil, para o serviço de televisão analógica atual adota-se o sistema MFN (*Multi Frequency Network*), onde uma determinada programação é transmitida em diferentes canais por repetidores em localidades próximas mas não cobertas pelo transmissor principal (estação geradora).

O reuso de frequências para este sistema foi estabelecido, originalmente, pelo comitê técnico do FCC (*Federal Commission Communication*) norte-americano. Definiu-se que emissoras transmitindo num mesmo canal de UHF devem manter uma distância mínima para se evitar interferência mútua. Devido às dificuldades de controlar a interferência entre canais adjacentes com filtros simples e de baixo custo, adotou-se a estratégia de utilização alternada de canais para a transmissão numa mesma localidade.

No Brasil, tem-se para a televisão analógica, aproximadamente 434 canais para estações geradoras e cerca de 5223 canais para estações retransmissoras [1]. Assim, os canais utilizados para retransmissão superam em cerca de doze vezes os canais utilizados para geração de programação. Esse sistema não preserva o espectro eletromagnético e aumenta muito o problema de interferência em locais congestionados, ou seja, grandes centros urbanos que requerem muitos canais em uma área restrita.

Considerando o atual processo de implantação do sistema de TV digital brasileiro, onde a cada concessionária autorizada a prestar o serviço de radiodifusão de TV analógica, é atribuído um canal adicional de radiofrequência com largura de banda de 6 MHz a fim de permitir a transição para a tecnologia digital, pode-se esperar uma situação de interferência ainda mais crítica do que a existente. Caso o modelo MFN seja adotado no Brasil para a TV digital, pode-se prever que o novo sistema irá herdar as interferências presentes no sistema analógico e estará preso a todas as limitações do atual plano de frequências.

Além disso, uma característica marcante do sistema digital é que o limiar da potência de recepção, embora mais baixo se comparado ao de recepção analógica, é muito abrupto. Isto significa que em situações onde existe um sinal analógico muito precário, caracterizado por uma imagem “chuviscada”, mas ainda é possível de ser assistida, pode não haver sinal decodificável para o receptor digital. Caso o sinal supere o limiar de forma intermitente a programação não terá condições de ser assistida, pois a falta de continuidade irá gerar os conhecidos efeitos de bloco, congelamento, tela preta e corte de áudio, ao contrário do sinal analógico fraco que, embora gere uma imagem ruim, pode ser assistido devido à sua continuidade de vídeo e áudio. A figura 1.1 ilustra o problema dos limiares de recepção analógica e digital, também conhecido por efeito *cliff* ou efeito *knee*.



Figura 1.1 Comportamento da qualidade de vídeo digital e analógico em função da intensidade de Campo

Devido a este efeito, diferentemente do que ocorre num planejamento analógico, no sistema digital áreas com baixo nível de sinal devem ser tratadas como áreas de sombra (sem sinal). A solução para este problema consiste em utilizar um retransmissor, denominado *gap-filler*, para garantir a cobertura no local, sendo que muitos poderão ser necessários dentro da área de cobertura do

canal principal da estação geradora. O custo da implantação de *gap-fillers* deverá ser levado em consideração na implantação da TV digital, somando-se ao custo da substituição de toda a rede de retransmissão.

Uma alternativa possível no caso de sistemas digitais com modulação OFDM é a utilização de uma rede SFN (*Single Frequency Network*). Este tipo de modulação, quando utilizada com a inserção de um intervalo de guarda sob a forma de prefixo cíclico de duração adequada, permite ao receptor processar corretamente múltiplos sinais de entrada de mesma frequência em um ambiente com desvanecimento por multipercursos. Isso cria a possibilidade de servir uma grande área com transmissores sincronizados, localizados ao longo da área de serviço, usando a mesma faixa de frequência (*simulcasting*). Desde que a resposta impulsional não apresente componentes significativas em instantes que excedam a duração do intervalo de guarda do sistema, a interferência inter-simbólica será desprezível [2]. Assim, a arquitetura de transmissão SFN, ou rede de frequência única, é uma alternativa vantajosa em relação à transmissão MFN (*Multiple Frequency Network*) ocupando muito menos espectro. Alguns países da Europa e Ásia já contam com redes SFN operacionais para expansão de suas redes de TV digitais terrestres [3,4].

Com a introdução da radiodifusão digital utilizando modulação OFDM que é robusta perante o ruído impulsivo [5] e ao multipercurso, as redes SFN deverão substituir as clássicas redes MFN de radiodifusão analógicas. O preço a pagar pelo ganho obtido com a alocação de espectro é a necessidade de um projeto eficiente de topologia de rede no lado do transmissor e um processamento mais sofisticado do sinal no lado do receptor. A transmissão simultânea cria um ambiente de radiodifusão equivalente à propagação de multipercurso com ecos fortes, que precisa ser considerado para evitar interferência inter-simbólica (ISI) e interferência entre portadora (ICI – *Inter-Carrier Interference*).

## 1.2

### Motivação

A análise do desempenho dos serviços de radiodifusão requer medições em campo, mas seu uso exclusivo tem duas desvantagens significativas: em primeiro lugar, as medições tem alto custo tanto em termos financeiros como em

tempo de execução; em segundo lugar, seus resultados caracterizam o desempenho do sistema, em termos da qualidade de recepção, apenas na condição específica em que as medições foram realizadas.

Este trabalho tem como objetivo caracterizar o canal de propagação de banda larga na faixa de TV digital para redes SFN, para garantir a viabilidade de que os sinais de uma estação geradora de programação e toda a sua rede de retransmissão utilizem em um único canal de frequência [6]. A caracterização será feita a partir medições em campo numa SFN real com dois transmissores, instalada no Rio de Janeiro. O desenvolvimento de modelos para o canal a partir destas medições permite executar simulações tanto para o teste do desempenho de receptores em diferentes condições de propagação como desenvolver ferramentas de *software* para o projeto e análise de sistemas.

### 1.3

#### **Organização do Trabalho**

Em sequência a este capítulo introdutório, o capítulo 2 apresenta o modelo utilizado para análise da perda média de propagação no canal, bem como uma descrição resumida dos principais modelos existentes na literatura técnica que serão utilizados na caracterização de banda larga do canal SFN.

No capítulo 3 é feita uma abordagem das variantes possíveis de uma configuração SFN e a geometria adequada para uma análise mais aprofundada destes sistemas para as faixas de frequência de VHF e UHF.

O capítulo 4 apresenta o *setup* utilizado para as medições, com a descrição de todos os equipamentos utilizados para transmissão, recepção, aquisição e análise dos dados.

O capítulo 5 descreve o ambiente de medidas e a metodologia empregada no planejamento e execução dos testes. É feita uma análise da perda média de propagação e a comparação com as previsões fornecidas para os mesmos percursos pela implementação do modelo ITU-R. A seguir, são apresentadas as técnicas de processamento de dados utilizadas, bem como os modelos de canais obtidos e os resultados da caracterização em banda larga do canal.

Por fim, o capítulo 6 relata todos os resultados obtidos, com as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos que podem ser desenvolvidos futuramente.