

Considerações sobre o relatório final da SET/ABERT para definição do padrão de televisão digital no Brasil

José G. Chiquito, Dalton S. Arantes e Max H. M. Costa
(chiquito, dalton, max@decom.fee.unicamp.br)

Departamento de Comunicações
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
Universidade Estadual de Campinas – Unicamp
Campinas – SP - Brasil

1. Introdução-----	1
2. Comparação entre os sistemas ATSC, DVB e ISDB-----	5
3. Os Testes de Laboratório e de Campo realizados no Brasil-----	10
4. Evolução Tecnológica-----	17
5. Recepção Móvel-----	19
6. Integração com Serviços de Internet-----	20
7. Os mitos e fantasias sobre TV digital-----	21
8. Conclusões Gerais-----	23
9. Referências-----	25

1. Introdução

Atendendo à solicitação da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) para que a sociedade se manifeste sobre os testes de televisão digital realizados recentemente na cidade de São Paulo, tomamos a iniciativa de elaborar este documento. Com isso, esperamos poder contribuir para a discussão sobre os méritos dos vários padrões de TV digital existentes.

Participamos de um grupo de pesquisa da Unicamp, composto por professores e estudantes de pós-graduação, que tem se dedicado a estudar a problemática da televisão digital desde 1995 [1,2,3,4,5]. Trabalhamos em conjunto com a Fundação CPqD na análise dos padrões de TV digital ATSC, DVB e ISDB. Tivemos a oportunidade de acompanhar a literatura técnica produzida por especialistas internacionais, assim como analisar os procedimentos e resultados dos testes na Austrália, onde se fez uma comparação do desempenho do sistema ATSC e DVB. Nos anos de 1998, 1999 e início de 2000, assessoramos a Fundação CPqD na análise prévia dos procedimentos técnicos que foram utilizados pelo grupo SET/ABERT e Universidade Mackenzie nos testes de TV digital em São Paulo. Após o início dos testes propriamente ditos, pudemos acompanhar e analisar as planilhas de resultados.

Os testes em São Paulo produziram muitos resultados que confirmaram certas características técnicas dos diversos padrões de TV digital existentes. Por outro lado, também frustraram um pouco as expectativas, pois os testes, devido a certas falhas de procedimento e avaliação, não foram conclusivos e criaram uma certa confusão. Várias conclusões dos relatórios técnicos do grupo SET/ABERT não encontram respaldo adequado

nas medidas e, em especial, *a eliminação da modulação 8-VSB como alternativa viável não tem fundamento técnico.*

No início, os testes em São Paulo seguiram os procedimentos pré-estabelecidos, mas, com o passar do tempo, vários procedimentos foram sendo reformulados, e novos testes foram sendo acrescentados. Chegou-se, inclusive, a fazer um ensaio de avaliação da capacidade de recepção móvel, quando se sabia, desde o início, que nem todos os sistemas foram concebidos, ou estavam preparados, para tal aplicação.¹ Esta forma de procedimento compromete a credibilidade dos testes e, em última instância, não contribui para melhorar a credibilidade do país frente à comunidade internacional. Não obstante, devem-se parabenizar todos os profissionais envolvidos nos testes pelo esforço na implantação do laboratório e na realização dos testes. Nosso objetivo, ao redigir este relatório, é contribuir para o enriquecimento dos debates sobre este importante tema.

Os resultados dos testes de campo em São Paulo refletiram, de uma maneira geral, uma combinação complexa dos seguintes fatores:

1. características técnicas dos padrões de TV digital.
2. características de implementação dos receptores utilizados.
3. pequena altura da antena de transmissão.
4. baixa potência de transmissão.
5. baixo ganho e diretividade da antena de recepção e perdas anormais de sinal na conexão antena-receptor.
6. característica topográfica da cidade de São Paulo, com densidade não usual de edifícios, produzindo padrões de “sombra” e “multipercurso” muito prejudiciais à propagação de sinais em UHF.
7. interferência de ruído impulsivo.

Com exceção do primeiro fator, todos os outros dependeram de forma crucial das condições particulares em que os testes foram conduzidos ou do estágio da evolução tecnológica dos receptores. Os fatores 3, 5 e 6 favoreceram a modulação COFDM, tendo em vista o estágio de desenvolvimento tecnológico dos receptores ATSC sob teste. Nos testes de campo em São Paulo, bastaria, por exemplo, que a antena de transmissão fosse mais alta para que os padrões de sombra e multipercurso fossem bem menos críticos, e anulassem qualquer vantagem da modulação COFDM.²

A relativamente baixa potência de sinal irradiado, aliada à baixa altura da antena de transmissão, criaram combinações críticas de sinal fraco, multipercurso e ruído impulsivo em alguns pontos de recepção. Nas conclusões do relatório da SET/ABERT foi dada uma ênfase extraordinária a um conjunto com apenas 27 pontos, de baixo significado estatístico. O próprio critério de seleção desses pontos é tecnicamente contestável. *É preocupante notar que os testes envolvendo a totalidade dos pontos de teste (127 pontos) - e portanto de maior significado estatístico - tenham sido virtualmente desprezados nas conclusões.*

A cidade de São Paulo é um caso importante, mas bastante peculiar, dos cenários em que haverá transmissão de TV digital. A topografia da cidade de São Paulo não é representativa, por exemplo, das cidades do interior do estado. Do ponto de vista de mercado para TV digital, deve-se assinalar que a população no interior

¹ O padrão ATSC foi concebido originalmente para recepção fixa de HDTV, não sendo recomendado para recepção móvel, ao menos no estágio atual de evolução dos receptores. Sabe-se que estão sendo estudadas pelo comitê ATSC extensões da modulação 8-VSB, especialmente dirigidas para receptores móveis e portáteis.

² A modulação COFDM foi concebida para combater explicitamente os efeitos de multipercurso. Os receptores ATSC combatem esses efeitos através de equalizadores da resposta de canal. O desempenho dos receptores ATSC depende da sofisticação da implementação desses equalizadores. Quando o efeito de multipercurso é moderado, os receptores ATSC atingem um nível de desempenho superior ao dos receptores COFDM, porém, quando há multipercurso intenso, os receptores COFDM são superiores. Com a evolução tecnológica, o desempenho dos receptores ATSC deverá ultrapassar o dos receptores COFDM, mesmo para multipercurso intenso.

paulista é o dobro da população da capital, e a importância econômica do interior está crescendo, absoluta e relativamente.

Os testes demonstraram a enorme sensibilidade dos resultados em relação a fatores de difícil controlabilidade (mas independentes dos sistemas de modulação).³ Por um lado, os testes mostraram quão árdua é a tarefa de avaliar adequadamente os modernos, e muito complexos, sistemas de comunicação digital. Por outro, alertaram sobre a importância de extrema cautela ao estabelecer os méritos relativos de cada sistema de modulação.

Os testes também mostraram que foi possível atingir índices de cobertura da ordem de 80%, ou mais, com todos os sistemas sob teste. *Ou seja, um sistema de TV digital em alta definição é hoje tecnicamente viável, usando modulação 8-VSB ou COFDM.* Antenas de transmissão com altura adequada e com níveis de potência compatíveis podem garantir uma cobertura de virtualmente 100%. Entretanto, se o objetivo for receber incondicionalmente sinais de HDTV (High Definition TeleVision), em condições extremas (e sem significado prático), então não haverá solução técnica razoável, pois sempre é possível imaginar cenários suficientemente difíceis que tornem inviável qualquer sistema de comunicação.

Uma questão crucial a ser respondida é: qual o tipo de serviço que se pretende explorar sob a denominação de “TV digital”? Se o serviço for HDTV, com interatividade e outros serviços de valor adicionado, então a melhor alternativa a curto, médio e longo prazos é, a nosso ver, a modulação 8-VSB.⁴ Porém, se o objetivo for usar o espectro de UHF, reservado à televisão, para outros tipos de serviço como transmissão de dados e Internet para receptores fixos e móveis, em prejuízo da qualidade de recepção de TV, então novas tecnologias que estão em desenvolvimento deverão se tornar as alternativas mais viáveis. O uso, para outros propósitos, da parte do espectro de UHF reservado à televisão, é uma questão importante que deve ser discutida de forma transparente com a sociedade, como tem sido praticado pela Anatel.⁵

Em nossa opinião, o Brasil deveria decidir-se resolutamente por HDTV, o que abriria alternativas técnicas e de mercado realmente interessantes. A televisão digital de alta definição é muito mais que uma mera tecnologia de televisão. Na realidade, HDTV pode funcionar como um paradigma tecnológico, com um profundo impacto econômico e cultural na sociedade. Uma imagem de alta definição tem a capacidade de substituir em muitas aplicações a própria realidade.⁶ Os *displays* de alta definição, que são um dos elementos básicos para HDTV, têm aplicação imediata também em escolas, hospitais, computadores, cabines de aviões, instrumentos científicos, visualização científica, sistemas de segurança, equipamentos militares, *video-games*, reprodução e produção artística, etc. Os monitores de HDTV poderão também substituir com vantagem os antigos projetores de *slides*. Esses *displays* estão também viabilizando os modernos *home theaters* que, a julgar pela história da TV e de outras tecnologias de entretenimento, muito em breve estarão acessíveis à população de classe média. É fato conhecido o gosto que o brasileiro tem pelo cinema, o que leva a crer no aumento da demanda pelas tecnologias de entretenimento⁷.

³ Muitas vezes, foi registrada, de um dia para outro, variações de dezenas de dB na intensidade de campo no “mesmo” ponto de medida. Quando alguns dB podem representar a diferença entre receber um sinal digital com perfeição, ou não receber absolutamente nada, esses aspectos experimentais ficam extremamente importantes.

⁴ Até o momento, a Austrália é o único país que declarou que pretende transmitir HDTV em COFDM. Isso cria perspectivas de mercado pouco favoráveis para equipamentos e receptores para este tipo de serviço. Além disso, a Austrália usa uma banda de 7 MHz, incompatível com o padrão brasileiro de 6 MHz.

⁵ Nos EUA, as emissoras de televisão - que reivindicavam um canal adicional de 6 MHz para HDTV - vislumbraram a possibilidade de usar esse canal adicional para transmitir múltiplos programas em definição normal (SDTV). A posição atual do comitê FCC parece não permitir multiprogramação, embora o padrão ATSC tenha a capacidade de implementá-la.

⁶ Uma imagem pode ser classificada como de “alta definição”, quando o olho humano não consegue distinguir entre a imagem e a realidade que essa imagem reflete.

⁷ Folha de São Paulo, caderno B, pg. 8, 25/07/2000.

É interessante observar que na área da fotografia digital, há cinco anos as câmaras possuíam tipicamente uma capacidade de 640x480 *pixels*. O total de 307200 *pixels* é um número muito próximo ao da resolução da TV analógica. Entretanto, os últimos lançamentos de câmaras fotográficas digitais (para amadores!), como Nikon 990 e Olympus C-3030, têm capacidade para 3,3 milhões de *pixels*! O avanço geral nas tecnologias de visualização, principalmente nesta última década, torna então quase ridícula uma televisão digital (SDTV – *Standard Resolution TV*) que imite a televisão analógica de 1950.⁸ A introdução da TV digital na Europa, que optou por SDTV, é uma espécie de “remendo” tecnológico para aumentar a oferta de programas para o público europeu. Na Europa, a televisão digital terrestre está pretendendo ter um papel que normalmente é o da televisão por cabo ou satélite.

Muitas vezes, quando surge no horizonte uma nova tecnologia, usa-se o argumento de que o Brasil é um país pobre, que não precisa da inovação, etc. Entretanto, uma das características mais interessantes da tecnologia e da indústria moderna é que favorecem e incentivam soluções de consumo em massa, isto é, elas são não excludentes, socialmente falando. *O argumento de que HDTV é uma tecnologia de “luxo” e, portanto, inacessível à maioria da população, é falso.* Por esse tipo de argumentação, o Brasil ainda estaria vendo TV em branco e preto, ouvindo disco de vinil, usando monitor CGA de fósforo verde⁹, e dirigindo carros com platinado e carburador!

Até hoje se lamenta a adoção do padrão PAL-M para TV em cores, que foi adotado por apresentar, na época, pretensas vantagens técnicas. Sabe-se que a verdadeira motivação era a reserva de mercado de televisores, o que acabou custando caro ao país, a longo prazo. Isto é um alerta contra o perigo das adaptações “à brasileira”, que criam incompatibilidades com os equipamentos existentes no mercado mundial.¹⁰ A propósito, as emissoras de TV brasileiras utilizam o padrão NTSC em seus estúdios, tornando as produções mais baratas e de melhor qualidade, mas convertem os sinais para o padrão PAL-M na transmissão.

Na comparação dos méritos dos sistemas de TV digital existentes, não deve ser menosprezado o efeito do desenvolvimento tecnológico a médio e longo prazos. Isto é especialmente verdadeiro para a tecnologia dos receptores para modulação 8-VSB, cujo desempenho frente a multipercurso severo (estático e dinâmico) tem sido questionado pelos críticos do sistema ATSC. *Todavia, se forem expurgados os índices de desempenho que dependem basicamente do nível de evolução tecnológica, a modulação 8-VSB mostra-se superior à modulação COFDM, tal como usada nos padrões DVB-T e ISDB-T.*

É interessante notar que, justamente os índices mais afetados pelo nível da tecnologia do momento (por exemplo, capacidade de recepção com multipercurso intenso) estejam sendo apontados pelos defensores da modulação COFDM como os mais importantes e fundamentais! Não obstante, *no caso da TV digital a evolução tecnológica joga a favor da modulação 8-VSB e não da modulação COFDM.* As implementações mais recentes dos receptores para 8-VSB têm demonstrado uma melhoria significativa de desempenho (isto pode ser visto nos testes de laboratório no Brasil), permitindo prever que os receptores 8-VSB deverão atingir, em breve, um desempenho superior ao dos receptores COFDM, mesmo nas condições mais difíceis de canal. Assim, na comparação entre os sistemas 8-VSB e o COFDM, irão prevalecer os índices que dependem das características intrínsecas dos padrões, onde a modulação 8-VSB leva ampla vantagem.

Um dos mitos criados pelos defensores da modulação COFDM é a suposta capacidade de recepção com o uso apenas de antenas internas. Se assim fosse, a empresa OnDigital, que transmite no padrão DVB-2k no Reino Unido, não recomendaria a seus usuários utilizar antena externa, ou no sótão.

⁸ Os monitores de computador apresentam hoje uma resolução de 1,3 milhões de pixels, que é aproximadamente a resolução de HDTV.

⁹ Não custa lembrar que o Brasil possui dezenas de milhões de computadores pessoais, cujos monitores de vídeo possuem hoje uma resolução compatível com HDTV. Nos EUA já estão disponíveis placas para PC, para recepção de HDTV, a um custo atual de US\$250,00 e com previsão de queda para US\$50,00 nos próximos anos!

¹⁰ A preocupação em garantir a compatibilidade com os padrões mundiais evitaria comentários irônicos, como o de Darci Ribeiro: “Se existir somente no Brasil, e não for jabuticaba, então não presta!”

É praticamente impossível garantir recepção adequada à maioria dos usuários de TV digital, *em qualquer dos padrões existentes*, com o uso apenas das prosaicas antenas internas. Muitos tipos de construção funcionam como blindagem eletromagnética, introduzindo perdas de dezenas de dB em relação aos sinais captados por antenas externas. A substituição da antena externa por uma interna pode não se justificar economicamente, já que o custo de um sistema de antena externa é muito menor que o de um sistema de TV digital de alta definição.

Grande parte dos edifícios residenciais no Brasil utiliza antenas coletivas para recepção de sinais de TV analógica. Infelizmente, este cenário não foi contemplado nos testes em São Paulo. Como se sabe, nos testes de campo foi utilizada uma antena montada num mastro telescópico com 10m de altura. Esta altura, também utilizada nos testes nos EUA, é apropriada para avaliação de cobertura em regiões residenciais onde as construções são compostas predominantemente por casas térreas. Entretanto, nas regiões em que predominam os edifícios de apartamentos com mais de 50m, o posicionamento da antena a 10m de altura é desprovido de significado. *Visto retrospectivamente, nos testes de cobertura em São Paulo dever-se-ia também ter posicionado a antena de recepção no topo dos edifícios, pois é nessa posição que as antenas de sistemas coletivos reais operam. A antena de recepção a 10m de altura, artificialmente baixa para muitas regiões de São Paulo, exacerbou os efeitos de “sombra” e de multipercurso e criou um panorama demasiadamente pessimista para a implementação de um sistema de TV digital.* Se os testes tivessem usado antenas em alturas mais realísticas, o desempenho global dos vários receptores testados em São Paulo teria sido muito superior.

2. Comparação entre os sistemas ATSC, DVB e ISDB

2.1 O Sistema ATSC

O sistema ATSC foi desenvolvido nos EUA com o objetivo de transmitir HDTV e dados em um canal de 6 MHz. O sistema de transmissão terrestre tem capacidade de 19,3 Mbit/s, com cobertura territorial que replica ou supera a cobertura do sistema analógico NTSC. O sistema ATSC foi concebido de modo a garantir que as emissoras de TV analógica existentes nos EUA tivessem disponível um canal adicional de TV digital. Isto implicou nos EUA numa oferta de 1600 canais adicionais às emissoras existentes, que devem transmitir no canal digital o mesmo programa do canal analógico (“simulcasting”).

O sistema ATSC foi projetado para tolerar interferência de sinais analógicos NTSC, ruído impulsivo, ruído de fase dos osciladores dos receptores e multipercurso de intensidade moderada. O sistema ATSC é dirigido para recepção fixa, com possível capacidade de recepção portátil.¹¹

Foi dada ênfase especial à eficiência espectral, capacidade de transmissão de dados e possibilidade de implementação simples e barata dos receptores. O padrão ATSC, ao menos na versão atual, é relativamente rígido, não permitindo modos múltiplos, com diferentes combinações de capacidade e robustez. Também não é permitido transmissão “hierárquica” para proteção diferenciada dos dados.¹²

O sistema ATSC usa a modulação digital 8-VSB (Vestigial Side Band com 8 níveis).¹³ Do ponto de vista da teoria da modulação, 8-VSB é equivalente a 64-QAM; a diferença é que 8-VSB utiliza apenas um eixo de modulação, com o objetivo de simplificar os circuitos do receptor.

¹¹ Está em estudo uma possível extensão do padrão para modulação 2-VSB, permitindo recepção móvel.

¹² É possível que sejam incorporadas extensões ao padrão ATSC atual que permitam esses recursos.

¹³ A modulação 8-VSB não deve ser considerada como uma espécie de adaptação da tradicional modulação VSB utilizada na transmissão NTSC. Em primeiro lugar, a modulação 8-VSB é digital, enquanto o sinal NTSC é analógico. Do ponto de vista tecnológico, a modulação 8-VSB traz problemas inusitados de recepção (equalização, recuperação de

A modulação é feita sobre uma única portadora (*Single Carrier*) que transporta toda a informação. Para sincronismo do receptor, são usados certos sinais e padrões de dados adequados. Para a recuperação da portadora, é transmitido um tom piloto de baixa potência, que acresce a potência transmitida ligeiramente (0,3 dB). Para auxiliar o ajuste do equalizador, a cada intervalo de 24,2 ms é transmitida uma seqüência binária de treinamento, com 828 símbolos. A cada intervalo de 77,3 μ s é transmitido um padrão de 4 símbolos, usado para estabelecer o sincronismo de segmento.

O sistema ATSC foi concebido para operar basicamente com um único transmissor de potência suficientemente elevada para cobrir toda a área de interesse. Entretanto, podem ser utilizados, em forma limitada, repetidores e “gap-fillers”¹⁴ operando no mesmo canal do transmissor principal.

As principais diretrizes seguidas na concepção dos sistema ATSC foram:

1. Um sistema ATSC deve replicar a cobertura de um sistema análogo NTSC.
2. O padrão deve ser relativamente rígido para reduzir ambiguidades e permitir uma introdução rápida no mercado.
3. A taxa útil de dados (“payload”) deve ser maximizada.
4. A taxa de dados deve permitir transmissão de HDTV por um canal de 6 MHz.
5. O nível de proteção aos dados transmitidos deve ser adequado para as situações normais de recepção.
6. Para recepção em condições difíceis, o desempenho satisfatório deve ser alcançado com projetos mais elaborados do receptor, em particular com circuitos mais eficientes de equalização da resposta do canal.

Na comparação dos méritos do sistema ATSC, a polêmica mais importante refere-se à capacidade de recepção em condições difíceis de multipercurso, particularmente nos centros de cidades com muitos edifícios altos e sem visada para a antena transmissora. Nessas condições, a resposta do canal de comunicação, que idealmente deve ser plana, fica severamente distorcida, exigindo demasiadamente do filtro “equalizador” do receptor.¹⁵

Os receptores ATSC de primeira geração foram projetados para oferecer um desempenho satisfatório no cenário dos principais mercados americanos de televisão. As críticas dos oponentes à modulação 8-VSB desencadearam nos EUA um grande esforço de vários fabricantes de semicondutores (Zenith, NextWave, Motorola, Broadcom, Panasonic, etc) para alcançar um desempenho adequado dos equalizadores, mesmo em condições extraordinariamente difíceis.

Os equalizadores dos receptores ATSC atuais operam corretamente na maioria das condições típicas de multipercurso. Não obstante, deve-se esperar uma evolução significativa de desempenho nas seguintes situações:

1. multipercurso muito longo (canal com grandes atrasos de “eco”).
2. multipercurso muito intenso (“eco” com amplitude igual, ou quase igual, a do sinal principal).
3. estrutura complexa de multipercurso (múltiplos “ecos” de grande amplitude, colocando problemas inusitados de convergência do algoritmo de adaptação, propagação de erro, *noise enhancement*, etc.).

portadora, demodulação, etc.). O uso da modulação 8-VSB com taxa de quase 20 Mbit/s, em canais de 6 MHz e com grande dispersão, coloca problemas técnicos difíceis e pouco conhecidos. Há muitas evidências de que estes problemas estão sendo superados[10,11,12,13,14,15,28].

¹⁴ “Gap-fillers” são transmissores auxiliares usados para cobrir regiões de “sombra” causada por montanhas, depressões, etc.

¹⁵ A tecnologia dos equalizadores dos receptores ATSC é parecida, em princípio, com a dos *modems* utilizados com linhas telefônicas. Entretanto, um receptor ATSC opera com uma taxa de bits que pode ser 1000 vezes maior que a de um *modem*.

4. multipercurso dinâmico com variação rápida (recepção portátil ou móvel, efeito Doppler, etc.).

Não existe nenhuma limitação fundamental *do padrão* que impeça uma evolução significativa dos equalizadores para o sistema ATSC. A evolução dependerá, basicamente, do nível de investimento das empresas, ou seja, das forças de mercado.¹⁶ Estão anunciados para este ano vários lançamentos de “chips” de equalização de nova geração, com desempenho muito melhorado em relação aos níveis atuais.

2.2 O Sistema DVB-T

O sistema DVB-T foi desenvolvido na Europa, usando a experiência anterior com DAB (*Digital Audio Broadcasting*), com o objetivo de transmitir televisão digital de resolução convencional (SDTV - *Standard Definition TeleVision*). O canal de RF, tipicamente, é de 7 MHz, mas o sistema DVB-T também pode operar em 6 MHz ou 8 MHz, através de um escalonamento na frequência dos osciladores. Apesar de, em princípio, o padrão DVB-T poder ser utilizado com HDTV, a Europa pretende usar SDTV durante pelo menos uma década. A televisão de alta definição será implantada na Europa somente após se completar a transição para a televisão digital e possível liberação do espectro ocupado atualmente pelas emissoras analógicas.

O padrão DVB-T permite um número elevado de combinações de parâmetros de modulação, permitindo escolher um compromisso entre a taxa de bits e o nível de proteção da informação frente às degradações do canal. Os parâmetros de modulação - número de portadoras, tipo de modulação, intervalo de guarda, fator de codificação - podem ser variados de modo a permitir, num canal de 6 MHz, que a taxa de dados possa variar entre 3,74 Mbit/s (modo mais robusto) e 23,75 Mbit/s (modo menos robusto). As taxas baixas são usadas em situações em que a robustez do sinal seja importante (por exemplo, em comunicação móvel), enquanto que as taxas elevadas seriam usadas quando as condições de canal fossem benignas. *Conceitualmente, o sistema DVB-T é uma família de padrões relacionados; na prática, é muito oneroso fazer um receptor que opere com todas as variantes do “padrão” DVB-T.*¹⁷

O traço mais característico do padrão DVB-T é a modulação COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*). É utilizado um grande número de portadoras (“2000” ou “8000”), cada uma modulada em amplitude (ou fase) por uma parte da informação. Os espectros das portadoras moduladas se sobrepõem ligeiramente. Porém, devido às relações de ortogonalidade, não há interferência durante a demodulação. Cada portadora transporta uma taxa de dados relativamente baixa, fazendo com que os “símbolos” tenham longa duração.¹⁸

O alongamento dos símbolos é justamente a principal motivação para o uso da modulação COFDM. Fica viável, por exemplo, introduzir uma *banda de guarda* entre os símbolos, de modo que a dispersão temporal do canal não introduza interferência entre símbolos consecutivos. Basta que a duração dessa banda de guarda seja maior que o intervalo de dispersão do canal.¹⁹ Entretanto, a banda de guarda introduz uma perda de eficiência do sistema, que pode chegar a 20%, aumentando a banda espectral para uma dada taxa de bit, e aumentando a potência média transmitida, se for usada uma réplica parcial do símbolo durante o intervalo de guarda, como prevê o padrão COFDM.

¹⁶ Fazendo um paralelo de desenvolvimento tecnológico, é interessante observar como as necessidades de comunicação entre os computadores impeliram o desenvolvimento dos *modems* para canal telefônico. Nos últimos 25 anos, a taxa dos “modems” aumentou de 300bit/s para os 56kbit/s atuais.

¹⁷ Na Inglaterra, que é o primeiro país a transmitir TV digital no padrão DVB-T, os “set-top boxes” da empresa On-Digital operam apenas com o modo “2k”. O modo “8k”, dirigido para SFN (Single Frequency Network) exigiria circuitos mais complexos para o processamento da FFT (Fast Fourier Transform).

¹⁸ Para certos modos, a duração dos símbolos pode ultrapassar 1 ms. Em comparação, no sistema ATSC a duração dos símbolos é de apenas 93 ns.

¹⁹ A dispersão de canal em cidades é algo em torno de 10 a 20 μ s, o que torna viável, por exemplo, utilizar banda de guarda em COFDM com duração símbolo de 100 μ s ou mais.

Graças à banda de guarda, a dispersão de canal não produz interferência entre símbolos consecutivos, porém, continua a ocorrer interferência de cada símbolo sobre si mesmo. A dispersão de canal é equivalente a fazer com que cada portadora “enxergue” um ganho de canal diferenciado, exigindo uma compensação adequada no receptor (operação denominada de *estimação de canal*). O padrão DVB-T prevê a existência de portadoras de referência (tons pilotos), específicas para estimação de canal. Além de um certo número de portadoras “fixas”, é usado um conjunto de portadoras “móveis” (a frequência muda de símbolo a símbolo). A inserção de tons pilotos introduz perda de aproximadamente 8% na eficiência espectral. Combinando com a perda introduzida pela banda de guarda, pode-se chegar a uma perda de eficiência espectral de mais de 28%. Estas perdas devem ser ponderadas frente à possibilidade de se usar SFN, o que permitiria, em princípio, uma grande eficiência no uso do espectro, porém com um alto custo.

A modulação COFDM com centenas ou milhares de portadoras é tecnologicamente viável devido à FFT em tempo real, que gera todas as portadoras simultaneamente. Conceitualmente, o sinal COFDM é divisível em muitas portadoras moduladas, porém, na forma física, o sinal não aparece dividido. Um transmissor COFDM é basicamente um amplificador linear de potência que recebe na entrada a soma das portadoras moduladas, e entrega à antena uma réplica amplificada desse sinal. A soma de milhares de portadoras torna a estatística do sinal COFDM parecida com a do ruído gaussiano, com picos de potência muito maiores que a potência média. O processamento pelos circuitos de potência, leva, na prática, a degradações devido a não linearidades inevitáveis.²⁰

A característica mais interessante da modulação COFDM é a grande tolerância à dispersão de canal, produzida por multipercurso. Admitindo-se uma certa perda na tolerância a ruído branco, pode-se receber sinais acometidos de eco de 0 dB (eco com a mesma intensidade do sinal desejado), ou de ecos fortes “avançados”.²¹ *A capacidade de operar com eco de 0 dB permite, em princípio, a implementação de redes SFN com modulação COFDM. Na prática, ainda não houve nenhuma implementação “real” de uma rede SFN para TV digital que permitisse comprovar as vantagens deste tipo de solução.*

A dispersão de canal máxima tolerável depende da duração da banda de guarda. Uma banda de guarda maior tolera maior dispersão, mas, às custas de queda da eficiência espectral. O emprego de maior número de portadoras pode melhorar as condições desse compromisso, porém, o menor espaçamento entre portadoras aumenta a sensibilidade ao ruído de fase dos osciladores.

Do ponto de vista da capacidade de canal, o uso da banda de guarda é um ônus que se justifica quando o canal apresenta multipercurso severo. Entretanto, numa transmissão em *broadcasting*, é possível que muitos receptores estejam trabalhando em condições de multipercurso brando, e para esses receptores, a banda de guarda representa um mero desperdício da capacidade do canal.

O ruído impulsivo - produzido pelas centelhas da ignição em motores de automóveis, descargas e transitórios em aparelhos eletrodomésticos, centelhas em chaves elétricas, etc. - é uma perturbação crítica para TV digital.²² O padrão DVB-T não é especialmente robusto frente ao ruído impulsivo, devido ao uso de *interleaving* relativamente curto. Os proponentes do padrão DVB-T consideraram que o ruído impulsivo não

²⁰ Para minimizar as distorções, um transmissor COFDM deve usar um “back-off” maior, por exemplo, que o de um transmissor 8-VSB. É interessante constatar que um sinal COFDM apresenta picos de potência muito maiores que a potência média, mesmo que cada portadora esteja utilizando modulação QPSK (um sinal QPSK tem a potência de pico próxima da potência média). A razão é que a soma das portadoras continua produzindo um sinal com estatística similar à de ruído branco, como prevê o Teorema do Limite Central.

²¹ Em comparação, os receptores ATSC atuais não podem operar com ecos de 0 dB. Contudo, estão anunciados lançamentos de equalizadores para o padrão ATSC que poderiam operar com ecos de 0 dB. A capacidade de operar com canais com multipercurso severo é uma característica intrínseca da modulação COFDM com banda de guarda. Por outro lado, num receptor ATSC esta propriedade depende da qualidade de implementação.

²² O impacto do ruído impulsivo sobre a recepção de TV digital é um fenômeno ainda não bem caracterizado, devido à extraordinária diversidade em que este tipo de perturbação se apresenta na prática.

é significativo na banda de UHF. Todavia, há notícias de reclamações de usuários de TV digital no Reino Unido com relação a ruído impulsivo[6].

2.3 O Sistema ISDB-T

O sistema ISDB-T foi desenvolvido pelo Japão, e sua concepção é claramente inspirada no sistema DVB-T. O sistema ISDB-T também utiliza modulação COFDM, com número de portadoras podendo ser igual a “2k”, “4k” e “8k”. Uma distinção importante do sistema ISDB-T é o uso de “interleaving” que pode ser configurado para intervalo muito mais longo que o do sistema DVB-T, eliminando um dos pontos fracos do padrão europeu, a sensibilidade a ruído impulsivo.

Talvez a característica do padrão ISDB-T que não tem similar no padrão DVB-T, seja a segmentação da banda de transmissão (*Band Segmented Transmission, BST*), que consiste em dividir a banda do canal de RF (de 6, 7 ou 8 MHz) em 13 bandas, permitindo configurar múltiplos segmentos de dados. Cada segmento de dados pode ter seus próprios esquemas de codificação e de modulação (a modulação pode ser DQPSK, 16-QAM ou 64-QAM). Isto permite, por exemplo, implementar esquemas de transmissão hierárquica, com até três “camadas” (*layers*) de serviço. Num canal de 6 MHz (efetivamente, 5,57 MHz), a taxa de transmissão pode variar entre 3,65 e 23,23 Mbit/s.

2.4 Diferenças nas “filosofias” de concepção do padrão ATSC, DVB e ISDB

Os padrões ATSC, DVB e ISDB são muito semelhantes na camada de transporte, porém se diferenciam bastante nas características de modulação. As diferenças nas “filosofias” usadas para escolha do sistema de modulação têm efeito profundo sobre a capacidade dos receptores de operar no mundo real. A “velha” televisão analógica partia do pressuposto que o receptor deveria ser o mais simples possível. Isto implicava em garantir uma alta robustez ao sinal transmitido, de modo que até mesmo os circuitos muito simples dos receptores médios pudessem operar satisfatoriamente. Isto explica, por exemplo, a grande amplitude e a longa duração dos pulsos de sincronismo, o uso de AM com portadora não suprimida, e outras soluções técnicas que introduziam grandes perdas de eficiência, energética e espectral, no processo de transmissão. Uma exceção a essa filosofia foi o uso de VSB, reduzindo consideravelmente a banda de transmissão.

O sistema DVB (e também o ISDB) reproduzem a filosofia de garantir explicitamente a robustez no sinal transmitido. Isto é especialmente verdadeiro no caso do uso da banda de guarda para combater os efeitos de multipercurso. Evidentemente, o uso da banda de guarda tem um impacto negativo sobre a capacidade efetiva do canal, dada em Mbit/s, podendo reduzir em até 25% a capacidade do canal.

A filosofia americana é mais otimista. O nível de proteção da informação, introduzido no sinal transmitido, é mais baixo porque supõe-se que os circuitos do receptor têm condição de combater os efeitos de multipercurso. Na filosofia do sistema ATSC, procura-se maximizar a taxa efetiva de dados, com a incorporação de uma quantidade apenas suficiente de proteção intrínseca ao sinal transmitido. Os recursos mais importantes introduzidos na transmissão são o tom piloto para recuperação da portadora, que aumenta a potência irradiada em 0,3 dB, e um segmento especial para treinamento do equalizador, que reduz a taxa de dados em 0,3%.

Há muitos índices de desempenho que podem ser usados na comparação dos méritos dos padrões, como por exemplo, (1) densidade espectral de potência do sinal transmitido, (2) relação entre potência média e de pico, (3) desempenho do receptor frente a ruído gaussiano em canal de resposta plana, etc. Muitos desses índices vêm das características do sinal transmitido, impostas pelo padrão, sendo alvo de pouca polêmica.²³ Alguns

²³ Os sinais reais irradiados nos vários padrões já estão muito próximos da perfeição, não se esperando melhorias nesta área.

índices de desempenho que dependem do receptor também são aceitos com tranquilidade (como o índice (3) acima), porque entende-se que os receptores já operam próximo do limite teórico, nestes casos.

*O forte debate induzido pelos testes comparativos que têm sido feitos recentemente envolvendo sistemas ATSC e DVB (testes na Austrália e no Brasil), refletem, em muitos casos, apenas o estado tecnológico dos receptores atuais. É interessante observar que as desvantagens que são muitas vezes imputadas ao padrão, são apenas limitações de implementação do receptor.*²⁴

Para finalizar a discussão sobre as filosofias dos padrões de TV digital, talvez a evolução de uma outra tecnologia, a arte de voar, forneça alguns elementos de comparação interessantes. No século XIX, a tecnologia dos balões permitiu, pela primeira vez, que o Homem experimentasse uma autêntica sensação de voar. Nesse período, as tecnologias básicas para construção de aeroplanos, mais pesados que o ar, não estavam disponíveis ou não eram suficientemente maduras. Todavia, com o desenvolvimento do motor a explosão, e o domínio dos princípios da sustentação aerodinâmica e das superfícies de controle, os aviões ficaram logo viáveis e demonstraram ser muito mais rápidos, eficientes e seguros que os balões. Num paralelo tecnológico, os sistemas DVB-T e ISDB-T, baseados na modulação COFDM, seriam equivalentes aos balões: no início são mais fáceis de implementar, atingem um patamar de desempenho razoável sem muito desenvolvimento tecnológico, porém, o desempenho assintótico de longo prazo é relativamente modesto. Os sistemas baseados no padrão ATSC seriam equivalentes aos aviões: as primeiras implementações são mais difíceis e podem ter desempenho limitado em alguns aspectos. Porém, vencidas as dificuldades iniciais (relacionadas com multipercurso severo), o desempenho final é muito mais atraente.

3. Os Testes de Laboratório e de Campo realizados no Brasil

3.1 Introdução

Os testes de laboratório e de campo conduzidos na cidade de São Paulo, pelo grupo SET/ABERT e Universidade Mackenzie, têm oferecido uma excelente oportunidade para avaliar o desempenho dos três padrões de televisão digital. Os testes produziram uma grande quantidade de dados, cuja análise é importante para avaliação destes sistemas. Esta análise deve levar em consideração as condições em que os testes foram realizados.

Em que pese a detalhada avaliação dos testes de laboratório, seus resultados devem ser contemplados como comparações entre realizações práticas dos vários sistemas, limitadas pelas tecnologias disponíveis à época dos testes. A primeira fase de testes de campo foi concluída em janeiro de 2000. Naturalmente, os resultados destes testes não refletem os avanços posteriores nas implementações práticas dos vários sistemas. Esses avanços das tecnologias de receptores dos vários padrões serão discutidos oportunamente no presente relatório.

Os testes de campo mediram não apenas o efeito do ambiente sobre a propagação dos sinais, mas refletiram bastante o desempenho dos receptores. Na análise dos resultados, é importante separar o que é efeito do ambiente e o que é variação de desempenho dos receptores.

É também interessante estabelecer uma correlação entre os testes de laboratório e de campo. Particularmente, deve-se verificar se as causas de degradação de desempenho estudadas em laboratório são representativas das causas "reais" de degradação encontradas em campo.

Os comentários e conclusões deste relatório baseiam-se em relatórios emitidos pelo grupo SET/ABERT e Universidade Mackenzie, quais sejam no Relatório Final - Parte 1 (Fev./2000), no 3º Relatório Parcial (Abril/2000) e no Relatório Final – Parte 2 (Maio/2000).

²⁴ Em vários aspectos cruciais, os equalizadores dos receptores 8-VSB ATSC ainda estão em evolução, enquanto os receptores COFDM praticamente atingiram o limite teórico de desempenho (principalmente na capacidade para operar com canais com multipercurso dinâmico ou estático de grande intensidade e com grandes atrasos).

3.2 Testes de Laboratório

De uma maneira geral, os testes de laboratório corroboraram resultados já conhecidos, mostrando que os receptores ATSC levam vantagem de aproximadamente 4,5 dB quando o canal é plano ou com multipercurso moderado. Os receptores COFDM apresentaram melhor desempenho para quatro modelos de canais, denominados B, C, D e E, que representam condições de forte multipercurso estático. Conforme discutido adiante, esses modelos não parecem representar bem as condições de multipercurso na cidade de São Paulo.

Os testes com cinco receptores ATSC diferentes mostrou que os projetos mais recentes têm maior capacidade de recepção com ecos distantes e mais fortes. Os primeiros receptores ATSC não toleravam ecos com atrasos maiores que 20 μ s, enquanto as últimas versões aceitam atrasos de até 40 μ s. O receptor com *chip* S tolera eco simples com amplitude de 0 dB para alguns valores de atraso. O problema de equalização de canais com multipercurso severo, e operando a altas taxas de bit, é um tema relativamente novo e onde se concentra intensa atividade de pesquisa. Estima-se que estes esforços venham produzir resultados significativos a curto prazo.

Os receptores ATSC apresentaram uma ligeira vantagem em relação aos níveis de proteção de canal adjacente. Esta vantagem reflete a tecnologia atual dos sintonizadores e filtros dos receptores. Por outro lado, a vantagem do sistema ATSC em relação aos níveis de proteção de co-canal, que é intrínseca ao padrão, devem refletir numa maior facilidade de planejamento do sistema.

Em relação à imunidade a ruído impulsivo, o receptor ATSC com o Chip A apresentou resultados superiores aos obtidos com DVB, e inferiores aos do receptor ISDB. O receptor ISDB se utiliza de um entrelaçamento de tempo mais longo para melhorar esta característica, ao custo de um maior atraso de processamento.

A característica mais marcante dos receptores COFDM é o seu desempenho robusto frente a multipercurso forte. Uma exceção foi o receptor DVB-2k, que não conseguiu operar com ecos distantes, isto é, com atraso de mais de $\pm 15 \mu$ s, devido ao uso de uma banda de guarda pequena. Isto talvez explique o fato desse receptor ter falhado em certos pontos do teste de campo, mesmo com sinal muito forte (acima de 70 dB μ V/m).

3.3 Testes de Campo

Os testes de campo são fundamentais para se conhecer o comportamento dos receptores em condições “reais”, com ruído, interferência, multipercurso, etc. Segundo o Relatório Final – Parte 1 (Fev. 2000), no Capítulo IV, Considerações Gerais, foram detectados efeitos de degradação nos pontos de teste, segundo as proporções apresentadas na Tabela 1.

Efeito	Percentual
Multipercurso	100%
Ruído Impulsivo	23%
Doppler	2%
Flutuação	2%
Nível Baixo (30 a 51 dB μ V/m)	15%

Tabela 1: Efeitos observados nas medidas de campo.

Infelizmente, com exceção do efeito de Nível Baixo, não foram documentadas as medidas que indicassem adequadamente a existência dos outros efeitos. Medidas sistemáticas desses efeitos seriam fundamentais, por exemplo, para se estabelecer a relação com os testes de laboratório. A afirmação de que a totalidade dos testes (100%) apresentou efeito de multipercurso deveria vir acompanhada de medidas precisas, tais como a *Energia de Taps*, que pode ser obtida nos receptores Zenith. Nesse caso, poder-se-ia definir que houve multipercurso significativo quando esse parâmetro ultrapassasse um certo limiar. Medidas de espectro também poderiam ser utilizadas para esse fim.

Os testes de campo foram classificados nas seguintes categorias:

1. Recepção com antena externa (*outdoor*):
 - Avaliação geral inicial - 127 pontos.
 - Avaliação de todos os receptores - 33 pontos.
 - Avaliação nos “pontos difíceis” - 6 pontos.
2. Recepção com antena interna (*indoor*) - 39 pontos.
3. Repetidor (*gap filler*) - 46 pontos.

3.4 Recepção com antena externa

Nos testes com antena externa, foi testada a capacidade de recepção em pontos cuja distância até o receptor variava de 3 a 40 Km. Em uma primeira etapa, um conjunto de 153 pontos foram selecionados nas interseções de 17 radiais igualmente espaçadas no setor de radiação da antena transmissora e 9 círculos centrados no transmissor, com raios variando na faixa mencionada. Este conjunto representa uma amostra razoavelmente imparcial, ainda que não represente de modo homogêneo as regiões situadas a diferentes distâncias do transmissor.

Da amostra original foram então descartados 26 pontos onde as intensidades de campo calculadas eram inferiores a 45 dB μ V/m. Os relatórios não informam se os valores calculados de campo elétrico foram confirmados na prática. Dos 26 pontos descartados, 13 se encontram à distância de 40 Km do transmissor, efetivamente reduzindo a extensão da amostra ao raio de 35 km, com exceção de apenas 4 pontos situados a 40 km. As transmissões foram feitas com uma antena de baixa altura e um transmissor de 5 kW, operando com um *back off* de 3 dB. As medidas na amostra restante de 127 pontos foram realizadas com o receptor ATSC da Zenith, de primeira geração, com taxa de FEC 2/3 e carga útil de 19,3 Mbps, e com o receptor DVB-T, Chip N, na configuração FEC 3/4, GI 1/16, modo 2k e carga útil de 19,75 Mbps.

Os dados apresentados mostram que o receptor ATSC não funcionou em 26 pontos, gerando uma proporção de insucesso de 20,5% com um intervalo de 95% de confiança dado por (20,5% - 7,0% , 20,5% + 7,0%)²⁵. Ainda sobre estes 26 pontos de insucesso do receptor ATSC, observa-se que a mediana de suas distâncias ao transmissor é de 20 km., e que 12 destes pontos apresentavam C/N abaixo do limiar de funcionamento do sistema ATSC em canal gaussiano plano (14,5 dB).

O desempenho do receptor DVB-2k pode ser resumido da seguinte forma: O receptor não funcionou em 34 pontos, produzindo uma taxa de insucesso de 26,77% \pm 7,7%, considerando o intervalo de 95% de confiança. A mediana das distâncias ao transmissor também aqui é igual a 20 km, e observa-se que em 16 dos 34 pontos, os valores medidos de C/N se encontram abaixo do limiar de funcionamento do receptor DVB (19 dB).

Os resultados acima nos permitem a seguinte observação: a incidência de tantos pontos com C/N abaixo dos limiares de funcionamento dos sistemas demonstra que a altura utilizada para antena transmissora e o nível de potência do transmissor podem ter sido excessivamente baixos para a melhor realização dos testes.

²⁵ Esses intervalos representam o conjunto de pontos onde, com 95% de confiança, se encontram os verdadeiros valores das proporções consideradas, avaliadas em toda a área de cobertura.

Observa-se, de passagem, que a tabela de resultados do 3º Relatório parcial (março/2000) não lista medidas com DVB-2k nos pontos 130, 131, 132 e 149. Em vez disso são apresentadas medidas com DVB-8k nestes pontos, o que se supõe seja um erro de preenchimento da tabela.

Os dados do relatório de março apresentam ainda medidas com os sistemas DVB-8k e ISDB realizadas em um subconjunto reduzido da amostra de 127 pontos. Com o propósito de obter medidas (quase) simultâneas com os 3 principais sistemas de HDTV em diferentes configurações, a saber ATSC, DVB-2k, DVB-8k, ISDB-4k e ISDB-8k (esta última apenas em alguns casos), foram realizadas medidas em um subconjunto de 27 pontos da amostra original, testando todos os sistemas de interesse. Os resultados destes testes são apresentados no Relatório Final – Parte 2 (maio/2000). *Estes resultados conflitam significativamente com aqueles do conjunto de medidas original em relação às comparações entre ATSC e DVB-2k.*

Estes conflitos de resultados aparentemente se devem a duas razões. Em primeiro lugar, o critério de seleção dos 27 pontos da sub-amostra está longe de ser imparcial. Segundo o relatório de maio, este critério baseou-se na escolha de 38 pontos em que o sistema DVB-2k havia apresentado margem entre 0 e 5 dB ou erros significativos no vídeo. *Ainda segundo o relatório de maio, o critério de seleção deveria eliminar pontos com C/N abaixo de 16 dB. Na verdade, apenas dois dos pontos selecionados apresentavam C/N abaixo do limiar de 19 dB. São os pontos 93 (C/N = 17,4 dB) e o ponto 80 (C/N = 18,7 dB). Todos os outros pontos da sub-amostra selecionada apresentavam C/N acima de 19 dB!* Esta amostra foi ainda reduzida para uma sub-amostra de 27 pontos para os testes simultâneos, *segundo critérios não mencionados.* Esta escolha de pontos elimina a vantagem natural do sistema ATSC em relação ao limiar de funcionamento em canal gaussiano plano. *Em uma amostra despolarizada, possivelmente se encontrarão pontos com C/N na faixa de 14,5 dB a 19 dB, permitindo um possível funcionamento do receptor ATSC, mas não dos receptores DVB-T e ISDB-T. Esta possibilidade está anulada na amostra selecionada.* Além disso, a distribuição de distâncias ao transmissor dos pontos selecionados privilegia os pontos a distâncias menores do transmissor, onde os problemas de múltiplos percursos são mais críticos em relação aos problemas causados pela perda de propagação. A distribuição de distâncias do transmissor aos 27 pontos da sub-amostra escolhida é mostrado na seguinte tabela:

Distância (km)	Número de pontos
3	5
6	4
9	4
12	4
15	4
20	3
25	2
30	1

Tabela 2: Distribuição de distâncias ao transmissor na sub-amostra de 27 pontos.

Pode-se notar que 13 dos 27 pontos se situam a menos de 10 km do transmissor. Há, portanto, uma forte polarização em favor de sistemas que apresentem melhor desempenho na região mais próxima ao transmissor, que neste caso caracteriza um ambiente de múltiplos percursos.

Em segundo lugar, os testes na sub-amostra de 27 pontos foram feitos com o receptor Zenith de primeira geração, já que os novos receptores ATSC não estavam disponíveis para toda a duração dos testes. Por

outro lado, os testes com receptores DVB utilizaram o chip M, de última geração. Este chip apresentou melhores resultados nos testes de laboratório que os receptores com chip N utilizados na primeira série de testes de campo (127 pontos). Deste modo, houve uma sensível melhora no desempenho obtido com o receptor DVB-2k, e uma deterioração do desempenho de ATSC (em virtude da amostra desfavorável).

Se considerarmos os resultados dos testes originais apenas na sub-amostra de 27 pontos, as taxas de insucesso do ATSC e DVB-2k são, respectivamente, $40,7\% \pm 18,5\%$ e $59,3\% \pm 18,5\%$ (Os intervalos são os de 95% de nível de confiança.). No entanto, as novas medidas realizadas nestes 27 pontos levam a estimativas das taxas de insucesso de ATSC e DVB-2k de $44,4\% \pm 18,7\%$ e $29,6\% \pm 17,2\%$, respectivamente, com nível de confiança de 95%. Interessantemente, há 11 pontos em que o sistema DVB-2k não funcionou no primeiro conjunto de medidas, mas funcionou nas novas medidas. Há também 3 pontos em que ocorreu exatamente o contrário, demonstrando a limitada repetibilidade dos resultados. A amostra polarizada e de tamanho reduzido, considerada nesta série de medidas, faz com que seus resultados sejam poucos significativos estatisticamente. *A comparação entre DVB-2k e ATSC deveria usar todas as medidas obtidas na primeira série de testes, na amostra completa de 127 pontos.*

Seria de grande interesse obter índices de desempenho que refletissem a operação em amostras representativas das áreas de cobertura, com pontos uniformemente distribuídos num raio de 40 km, sem o expurgo dos pontos com C/N abaixo do limiar de funcionamento dos sistemas. *A comparação entre os sistemas DVB-8k e ATSC deveria ainda considerar que suas cargas úteis são 18,1 Mbps e 19,3 Mbps, respectivamente. A perda de 6% da taxa útil imposta pelo padrão DVB-8k é significativa e não deve ser desprezada.*

Uma das coisas que chamam a atenção nos testes de campo é a enorme dispersão da amplitude de sinal. A dispersão para uma dada distância, é da ordem de 40 dB, havendo casos em que o sinal recebido à distância mínima de 3 km era mais fraco que o sinal recebido à distância máxima de 40 km!

O parâmetro que apresenta alta correlação com a possibilidade de recepção é a intensidade de campo (Gráfico A5 do 3º Relatório Parcial). Nota-se que há três regiões distintas. Quando a intensidade de campo cai abaixo de aproximadamente 50 dB μ V/m, nenhum receptor consegue operar. Acima de 70 dB μ V/m, praticamente todos os receptores operam corretamente. Entre 50 e 70 dB μ V/m, alguns receptores operam e outros não. *As exceções notáveis são pontos de falha de receptores DVB-2k para intensidade de campo acima de 70 dB. Uma possível explicação é que havia nestes pontos ecos com atrasos que ultrapassavam o intervalo de guarda pequeno do receptor DVB-2k (± 15 ns).*

Pode-se concluir que uma das causas importantes de falha de recepção foi baixo nível de sinal, causada por uma combinação de baixa altura da antena, baixa potência do transmissor, e pontos de recepção situados em regiões de sombra. Se o sinal fosse suficientemente forte, o percentual de recepção poderia subir bastante, e identificar de forma clara as falhas por multipercurso.

Nos testes de campo, foi incluída a informação de que havia visada direta ou não em cada ponto. Foi calculada também a intensidade de campo prevista. Em geral o campo medido foi menor que o campo previsto. Quando não havia visada, a diferença chegava, muitas vezes, a 40 ou 50 dB. Com visada, a diferença, em geral, era menor que 20 dB. Se for ajustada ao Gráfico A4 uma reta com os valores de intensidade de campo prevista, esta reta estará na posição da envoltória superior da nuvem de pontos, demonstrando que as intensidades reais estavam em média 20 a 25 dB abaixo do previsto por um cálculo de propagação que não leve em conta a obstrução dos edifícios.

Ao se traçar a reta média que conecta os pontos do Gráfico A8, correspondentes ao sistema ATSC, observa-se que esta reta cruza a linha de margem C/N igual a zero quando a intensidade de campo é aproximadamente igual a 50 dB μ V/m. Tendo em vista que o valor utilizado em testes nas cidades americanas foi de 41 dB μ V/m, *conclui-se que os receptores operaram com uma relação C/N de 9 dB abaixo da usada nos Estados Unidos. Esta diferença de 9 dB também aparece nas medidas feitas nos chamados “pontos críticos”, mostrando que há um erro sistemático, causado provavelmente pelo arranjo de teste de recepção. É verdade que a “perda” da relação C/N atinge todos os sistemas igualmente, porém, como variações de*

apenas 1 dB podem significar a diferença entre a operação perfeita ou ausência de imagem (efeito *Cliff*), é difícil prever exatamente como os receptores se comportariam se não houvesse essa perda de 9 dB.

3.5 Recepção em pontos difíceis

Foram escolhidos seis pontos em que os receptores ATSC e DVB-2k apresentaram especial dificuldade de recepção. Apesar do baixo significado estatístico, estes testes poderiam ter servido para avaliar a evolução dos *chips* de equalização para o sistema ATSC, caso se confirmasse o tipo de multipercurso que os pontos representavam. Com isso, poder-se-ia melhor avaliar o aumento considerável da capacidade dos equalizadores ATSC de operar com ecos distantes.

3.6 Recepção com antena interna

Nos testes de recepção com antena interna foi usada uma potência de transmissão de 5 kW, ou seja, o dobro da potência usada nos testes com antena externa. Este pequeno aumento de potência (3 dB) é insuficiente para compensar o enfraquecimento do sinal em ambientes internos, principalmente no interior de edifícios com muita massa metálica. Deve ser acrescentado o fato da antena interna ter ganho menor que a antena externa.

Os pontos de teste de recepção com antena interna foram escolhidos segundo o critério de terem permitido recepção confiável com antena externa. Como era de se esperar, o número de pontos em que foi possível recepção foi menor que no teste com antena externa.

Podem ser feitas várias ressalvas à forma como o teste de recepção com antena interna foi conduzido:

1. Baixo significado estatístico da escolha dos pontos. O fato de haver possibilidade de recepção confiável com antena externa (intensidade de campo maior que 70 dB μ V/m) não significa que a intensidade de campo interno seja minimamente adequada (maior que 50 dB μ V/m).
2. Não foi medida a intensidade de campo no ponto da antena interna.
3. No Gráfico B1 (Terceiro Relatório) são mostrados pontos com C/N de limiar abaixo de 15 dB (há pontos com limiar de C/N menor que 12 dB!), ou seja, valores menores que os medidos em laboratório em condição de ausência de multipercurso.

3.7 Estação Reforçadora de Sinal (*Gap Filler*)

Os testes com repetidor de sinais (*gap filler*) demonstraram a viabilidade da solução para regiões não cobertas pelo transmissor principal, devido a características desfavoráveis do relevo. Com o repetidor desligado, o sinal recebido na chamada “área de atuação” apresentava intensidade de campo tipicamente entre 50 e 60 dB μ V/m. Nota-se que a dispersão da intensidade de campo foi bem menor que a encontrada nos testes anteriores com antena externa.

Com o repetidor ligado, a intensidade de campo sobe para valores tipicamente entre 70 e 80 dB μ V/m (dois pontos apresentaram campo entre 60 e 65 dB μ V/m e um ponto, campo de quase 100 dB μ V/m).

Na “área de atuação”, o repetidor conseguiu elevar a capacidade de recepção para 100% para os receptores DVB-8k e ISDB-8k, enquanto o percentual de recepção para o receptor ATSC foi de 85%. O receptor ATSC falhou somente nos pontos 10 e 43, onde as intensidades de campo estavam abaixo de 70 dB μ V/m.

O projeto do repetidor deveria garantir um sinal de 90 dB μ V/m na “área de atuação”. Na prática, o nível ficou em média 15 dB abaixo desse objetivo. Se o nível de sinal real fosse igual ao nível planejado, provavelmente o percentual de recepção seria de 100% para todos os sistemas.

Foram detectadas várias inconsistências nas medidas realizadas. Há inúmeras medidas de intensidade de campo, que deveriam ser iguais, com diferença de vários dB. Seguem abaixo alguns exemplos.

Ponto	Tx	Intensidade de Campo (dB μ V/m)	Sistema
2	Desligado (D)	46,4	ISDB-8k
2	D	51,9	ATSC
5	D	61,1	ATSC
5	D	70,5	ISDB-4k
10	Ligado (L)	61,0	DVB-8k
10	L	64,1	ATSC
18	L	66,7	DVB-8k
18	L	70,9	ISDB-4K

Tabela 3: Exemplos de dispersão nas medidas de intensidade de campo.

3.8 Relação entre os testes de laboratório e de campo

Não foi feita nenhuma tentativa explícita de correlacionar as medidas de laboratório com as medidas de campo. Particularmente, seria interessante saber quão representativos são os modelos de multipercurso utilizados nos testes de laboratório.

O teste com efeito Doppler (multipercurso dinâmico) não demonstrou muito significado na prática, já que apenas 2% dos locais apresentaram este tipo de problema. Não foi fornecida informação de como este percentual foi obtido.

Por coerência experimental, os testes de laboratório de imunidade frente a ruído impulsivo deveriam ser acompanhados de medidas em campo para caracterizar o ruído encontrado nos vários locais. Infelizmente, o ruído no teste de campo não foi caracterizado adequadamente. As medidas de “patamar de ruído” registradas nos relatórios parecem estar refletindo mais o ruído interno dos amplificadores dos receptores que o possível ruído externo.

3.9 Conclusões sobre os testes

Os testes de campo na cidade de São Paulo mostram que a dificuldade maior para receptividade dos sinais de TV digital parece provir de uma combinação de áreas de "sombras" e de multipercursos. Conjectura-se que o aumento de potência irradiada e elevação da antena transmissora poderiam levar o índice de cobertura a valores próximos de 100%, qualquer que seja o tipo de modulação empregado. Testes de campo realizados nos EUA demonstraram que a altura da antena de transmissão é mais importante que a potência [7].

A intensidade de campo apresentou elevada correlação com a capacidade de recepção, justificando a extrapolação dos resultados, principalmente para intensidades maiores que 50 dB μ V/m.

Detectou-se uma perda média de aproximadamente 9 dB na margem de C/N em função da intensidade de campo, evidenciando erros sistemáticos de medida, ou falha no arranjo experimental. Este fato pode ter tido um impacto importante sobre o percentual de cobertura.

As gerações mais recentes de receptores ATSC demonstraram evolução de desempenho nos testes de laboratório, porém não houve oportunidade de um teste mais abrangente do reflexo dessa evolução sobre o desempenho em campo.

Nos testes em São Paulo, as "sombas" decorrentes de obstruções à propagação foram mais importantes que o enfraquecimento com a distância, ao menos para as distâncias testadas (até 40 km). Quando antenas externas residenciais ou coletivas (nos topos dos edifícios) são usadas, é de se esperar que um decaimento mais "natural" com a distância venha a ocorrer. Neste caso, a relação sinal-ruído de limiar para o canal plano é fundamental para o planejamento de cobertura.

Os testes com antena interna não foram muito conclusivos, devido a várias razões: (1) a metodologia da escolha dos pontos não foi ideal, (2) foram medidos poucos pontos (3) não foi medida a intensidade de campo no ponto da antena de recepção, e (4) muitas medidas forneceram relação sinal-ruído de limiar incompreensivelmente baixa (alguns valores do Gráfico B1 estão abaixo de 12 dB!), muito melhores que as medidas de laboratório e valores teóricos para canal gaussiano.

Os testes com "gap filler" demonstraram a viabilidade desta técnica e confirmaram que a intensidade de campo acima de 70 dB μ V/m é o principal requisito para um percentual de cobertura de 100%.

Os testes de campo realizados em 127 pontos com os receptores ATSC e DVB-2k poderiam apresentar resultados mais relevantes se tivessem contado com uma antena transmissora mais elevada e mais potência no transmissor. Ainda assim, estes testes representam a melhor comparação entre os dois sistemas, por tratar-se de uma amostra de tamanho adequado para melhor confinar os intervalos de confiança das estimativas de desempenho, além de apresentar distribuição aproximadamente uniforme sobre a área de cobertura. A iniciativa de realizar medidas simultâneas em uma sub-amostra de 27 pontos, não produziu resultados estatisticamente confiáveis, em virtude dos critérios de seleção dos pontos, do tamanho reduzido da sub-amostra, e da comparação dos melhores receptores de uma tecnologia com os de primeira geração de outra.

4 – Evolução Tecnológica

4.1 Evolução dos receptores 8-VSB

Um dos maiores desafios para a indústria de telecomunicações na atualidade é lidar com a rápida obsolescência dos equipamentos, dos padrões e do software associado. A escolha de um padrão para TV digital, que deve operar por várias décadas no país, não deve ignorar a evolução tecnológica. Por exemplo, o próprio sistema ISDB-T é uma evolução do sistema DVB-T, pois superou os problemas de sensibilidade ao ruído impulsivo do DVB-T e se tornou mais flexível e mais apropriado para recepção móvel. Entretanto, perdeu-se aí a compatibilidade entre os dois sistemas.

A evolução dos padrões pressupõe a compatibilidade reversa. O padrão ATSC já contempla uma flexibilização no sentido de também permitir a recepção portátil e móvel [8]. Nada impede que o padrão ATSC possa igualmente evoluir e incorporar soluções ainda mais significativas que aquelas incorporadas no sistema ISDB-T. Não há nenhum resultado teórico, já estabelecido, que impeça esta evolução. Pelo contrário,

a modulação com portadora única pode apresentar desempenho melhor que a modulação multi-frequencial [9].

É um equívoco afirmar que não está havendo evolução nos receptores 8-VSB. Os próprios testes de laboratório na Universidade Mackenzie mostram claramente uma evolução nos equalizadores do 8-VSB. A dificuldade de operação desses receptores nos canais B, C, D e E, representativos de situações de forte multipercurso, pode ser resolvida com a incorporação de algoritmos adaptativos mais eficientes [10,11,12,13,14,15]. Por outro lado, deve-se observar que nesses canais o próprio sistema DVB-8k teve dificuldade de operar. É importante ressaltar também que os testes de campo em São Paulo não parecem indicar que os canais B, C, D e E têm alguma significância em ambientes reais nessa cidade. Os *taps* dos equalizadores nos receptores ATSC, que deveriam estar disponíveis, poderiam confirmar isto, mas infelizmente eles não foram divulgados.

Com equalizadores operando no domínio do tempo, é possível o desenvolvimento de algoritmos de adaptação com excelente desempenho dinâmico e, possivelmente, com capacidade de equalizar todos os canais A, B, C, D e E utilizados nos testes de laboratório na Universidade Mackenzie[10,11,12,15]. Equalizadores como este viabilizam até o uso de Redes de Frequência Única (SFN) com o padrão ATSC. Para canais com efeito *Doppler* o seu desempenho já é superior ao dos receptores DVB-8k e estão rapidamente se aproximando do DVB-2k [10].

Desenvolvimentos de outros fabricantes também demonstram uma significativa evolução nos equalizadores para o sistema ATSC [16,17]. É de se esperar, portanto, que as próximas gerações dos receptores 8-VSB consigam superar os problemas de multipercurso que os receptores utilizados em São Paulo aparentemente não resolveram.

Em artigo publicado recentemente [18], mostrou-se que uma melhoria no desempenho de até 1.5 dB pode ser conseguida nos receptores 8-VSB, com filtro de rejeição NTSC ativado, quando se utiliza uma métrica apropriada no algoritmo de Viterbi. Além disso, ganhos adicionais podem ser conseguidos com algoritmos de decisão suave na decodificação de Reed-Solomon. Esses ganhos devem ser mais significativos para o sistema ATSC, que utiliza código de Reed-Solomon mais eficiente que o dos sistemas DVB-T e ISDB-T.

O aumento de complexidade nessas evoluções não é um fator preocupante. A complexidade de um receptor 8-VSB de primeira geração é significativamente menor que a dos receptores DVB-8k. Além disso, não se deve ignorar a conhecida "Lei de Moore", que prediz com segurança a rápida evolução tecnológica dos circuitos integrados.

Esses resultados mostram que a evolução dos receptores 8-VSB está seguindo um curso muito mais rápido que a evolução ocorrida com os receptores analógicos NTSC. Considerando que os padrões DVB-T e ISDB-T foram concebidos para simplificar o trabalho dos receptores, através do uso de intervalos de guarda e de tons pilotos, não se deve esperar melhorias significativas no desempenho de seus receptores em razão da evolução tecnológica.

4.2 Outras evoluções tecnológicas

O desenvolvimento das chamadas *Home Networks* (com fio ou sem fio) é outro exemplo de desenvolvimento das telecomunicações que deverá ter um grande impacto no uso da TV digital, bem como no de todos os modernos aparelhos receptores domésticos. Essas redes domésticas permitirão o uso eficiente de aparelhos portáteis ou fixos em ambientes internos, eliminando os graves problemas de atenuação e multipropagação característicos desses ambientes[19,20,21].

O desenvolvimento acelerado de antenas inteligentes (*adaptive array antennas*), controladas adaptativamente por algoritmos espaciais ou espaço-temporais[29], contribuirão significativamente para minimizar os efeitos

de interferências em receptores sem fio, tais como as TV's digitais. Os protótipos de laboratório que hoje já são uma realidade, em breve estarão sendo comercializados para várias aplicações.

Outra tecnologia que deverá revolucionar as telecomunicações, esperada já para o ano 2002, é o uso de balões estratosféricos para retransmissão de sinais, como alternativa aos satélites geoestacionários [22,23]. Com um custo muito mais baixo, estes balões ficarão estacionados na estratosfera, a uma altitude de 22 km sobre as cidades, e poderão substituir muitas redes de comunicações que hoje invadem os centros urbanos. Pode-se estimar que um sistema desses tem a capacidade de operar com potência de transmissão muito baixa, já que há visada direta entre transmissor e receptor com mínimo efeito de sombra e multipercurso. *A recepção móvel nesses sistemas poderá ser viabilizada de forma muito mais eficiente que com as tecnologias hoje existentes, pois as características indesejadas de multipercurso, efeito Doppler e canal dinâmico são bastante minimizadas.*

5. Recepção Móvel

A recepção móvel de sinais de faixa larga é um tema de investigação tecnológica que ainda apresenta sérios desafios [24]. Os resultados anunciados pelos defensores dos sistemas DVB-T e ISDB-T ainda são muito inconclusivos. Dizer que a recepção móvel com esses sistemas pode ser realizada em veículos trafegando a 150 km/h, em campo aberto e pagando uma alta penalidade na carga útil recebida, não traz nenhuma informação precisa para a situação de veículos trafegando em centros urbanos com altos edifícios. Nesses casos, os modelos de canal equivalente são altamente complexos e dinâmicos.

Não parece estar bem caracterizada a cobertura e o grau de serviço da recepção móvel que podem ser alcançados nos sistemas DVB-T e ISDB-T em centros urbanos. Qual seria a *qualidade de serviço* de tais sistemas e como reagiriam os usuários diante das inevitáveis falhas de recepção nesses ambientes hostis de propagação?

É possível que a recepção móvel de TV digital venha a ter uma aplicação maior em veículos trafegando em estradas do que naqueles em centros urbanos. Os modernos ônibus e trens de transporte coletivo provavelmente oferecerão estes serviços aos passageiros em longas viagens intermunicipais. O Japão e os pequenos países da Europa provavelmente conseguirão cobrir boa parte de suas estradas com os seus sinais de TV digital. Mas, e os países continentais como o Brasil, Argentina, Estados Unidos, China, Rússia, Canadá, Índia, etc.? Nestes casos, a relação custo-benefício desses serviços pode ser muito alta. Pelo menos uma solução mais viável para esta aplicação já existe comercialmente [25], e se baseia na recepção de TV por satélite (DirectTV, por exemplo) com o uso de antenas de posicionamento eletrônico e inercial. Um sistema como este pode oferecer cerca de 200 canais de TV de ótima qualidade para ambientes móveis. Não de deve esquecer também os sistemas com balões estratosféricos discutidos na seção anterior.

Embora estes sistemas de recepção por satélite já sejam bastante viáveis para veículos coletivos[25], em breve as antenas inerciais poderão ser substituídas por arranjos de antenas inteligentes, controladas adaptativamente, com baixo custo e melhor aparência estética. Veículos de pequeno porte poderão também se beneficiar desses avanços.

Outra questão polêmica sobre recepção móvel refere-se à modulação mais adequada para este fim. Não parece haver consenso sobre esta questão no meio acadêmico e tecnológico. Por exemplo, o sistema de terceira geração (3G) padronizado pelo ETSI, para acesso celular sem fio e de banda larga, utiliza modulação com espalhamento espectral WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*). A expectativa é que a geração 3G ofereça excelente qualidade de serviço para sinais de multimídia para receptores fixos, portáteis e móveis.

Finalmente, tendo em vista a alta penalidade que se paga na carga útil dos sistemas DVB-T e ISDB-T para viabilizar recepção móvel, cabe perguntar se vale a pena sacrificar a taxa de 19 Mbits/s de difusão de HDTV para milhares de usuários domésticos e outros receptores fixos, em benefício de uma parcela muito menor de usuários móveis. Não seria mais adequada a utilização de técnicas robustas de compressão de vídeo (diferentes de MPEG-2) e de esquemas de modulação especificamente projetados para recepção móvel? Se a demanda por recepção móvel de TV realmente se confirmar nos centros urbanos do Brasil, estas novas técnicas poderão ser viabilizadas com uma melhor relação custo-benefício. Será interessante observar como o comitê ATSC atacará estes problemas nas extensões do padrão atualmente em estudo [8].

Não se deve esquecer que o desenvolvimento de técnicas e redes de comunicações eficientes para serviços integrados, *incluindo a recepção móvel*, ainda apresenta muitos desafios tecnológicos.

6. Integração com Serviços de Internet

A Internet é certamente um dos mais importantes desenvolvimentos tecnológicos de todos os tempos. Seu sucesso pode ser atribuído aos seguintes fatores:

1. Rede de comunicações robusta, relativamente rápida, mundial e de alta conectividade e capilaridade.
2. Computadores pessoais (PC) de alto desempenho e baratos.
3. Monitores de alta resolução.
4. Conteúdo extremamente rico e variado (para todos os gostos!).
5. Baixo custo de acesso (*flat rate*).

A ausência de qualquer um desses cinco atributos, teria certamente impedido a evolução da Internet tal como se encontra hoje. Em particular, os monitores de alta resolução são uma peça fundamental para a agradável visualização dos sinais de multimídia. Para confirmar isto, basta comparar a "navegação" nessa rede com o monitor configurado para 1024x768 pixels (pelo menos) e para 640x480 pixels! Esta última representa, na realidade, uma resolução equivalente à de uma TV de resolução normal (SDTV).

É fácil prever, portanto, que a *convergência da TV com a Internet* só se dará efetivamente se forem utilizados monitores de alta definição, como os de HDTV. Com o advento do *home theater*, com alta qualidade de vídeo e som, pode-se dizer que a *Internet, a TV e o Cinema* irão convergir.

A integração da TV digital com os serviços de Internet está prevista nos três padrões em estudo, cada um a seu modo. Não se deve esquecer, todavia, que estes sistemas de TV digital podem ser apropriados para certos serviços de "datacasting", mas podem ser muito ineficientes para "navegação" individual de usuários com diferentes necessidades e rodando diferentes aplicativos. Dependendo do modo como for feito, o oferecimento desses serviços poderá penalizar significativamente a recepção de sinais de HDTV ou mesmo de SDTV. Além disso, deve-se estimar com precisão qual o *throughput* que uma rede dessas pode oferecer para o usuário.

Atualmente, já estão sendo oferecidos ao consumidor doméstico, diversos serviços de acesso à Internet de banda larga, tais como os *cable modems*, os terminais ADSL, a tecnologia MMDS, etc. Em futuro próximo, serviços de banda ultra-larga sem fio, tais como o LMDS e os sistemas de quarta geração (4G), deverão prover serviços com garantia de qualidade para todos os sinais de multimídia de alta velocidade, tanto para aplicações fixas, quanto portáteis e móveis. Estes sistemas operarão com microcélulas e possivelmente com antenas inteligentes na transmissão e recepção, resultando em grande eficiência espectral e alta relação

benefício/custo.

Um exercício simples pode melhor ilustrar a eficiência de um sistema de TV digital operando a 19 Mbits/s em uma cidade do porte de São Paulo. A eficiência espectral para transmissão de dados a 19 Mbps seria de cerca de $19/6 = 3$ Mbits/seg/MHz (considerando a faixa de 6 MHz) para recepção fixa, caindo para menos de um terço deste valor se a recepção for móvel. Por outro lado, um sistema celular como o de terceira geração (3G), deverá operar com eficiência de ~ 500 Kbits/seg/MHz/célula [26]. Se considerarmos que a cidade de São Paulo comporta da ordem de 1000 microcélulas, com fator de re-uso de frequência igual a um para modulação CDMA, a eficiência do sistema 3G poderá ser *500 vezes maior que a de um sistema de transmissão baseado em TV digital!* Com o uso de antenas inteligentes, este número cresce significativamente. É claro que um sistema celular é mais complexo, mas o recurso escasso aqui é o espectro. Embora um sistema 3G não tenha capacidade de prover transmissão de TV, ele é capaz de transmitir sinais de multimídia apropriados para recepção em veículos, por exemplo.

É interessante também comparar o potencial de *datacasting* da TV digital com o dos *modems* ADSL operando sobre rede IP, a 2 Mbits/s, na cidade de São Paulo. A empresa Telefônica pode oferecer este serviço a centenas de milhares de assinantes em São Paulo, com capacidade para prover um número praticamente ilimitado de canais de TV interativa a 2 Mbits/s, 24 horas por dia. Por outro lado, um canal de TV digital a 20 Mbits/s pode oferecer, por exemplo, 5 canais de TV de 2 Mbits/s e transmissão de dados a 2 Mbits/s para uma quantia irrisória de 5 (cinco!) assinantes de TV digital em toda a cidade de São Paulo.

Deve-se ter o cuidado, portanto, de identificar com clareza quais os serviços (e a respectiva relação custo-benefício) que a TV digital deve oferecer para serviços integrados.

7. Os mitos e fantasias sobre TV digital

Nos debates sobre os sistemas de TV digital existentes, têm aparecido muitas “verdades” que, pela força da repetição, acabaram se transformando em mitos e fantasias. Essas distorções, que obscurecem a verdade sobre a TV digital, poderiam ser ignoradas se não pudessem, por exemplo, influir no processo de escolha de um padrão para um país. O que segue abaixo é uma reflexão sobre alguns desses mitos.

1. A televisão digital de alta definição é uma tecnologia cara e inadequada para o Brasil.

Não existe contradição fundamental entre qualidade e baixo custo. A televisão digital de alta definição pode ser uma tecnologia barata e acessível se houver um mercado suficientemente grande. O que torna uma tecnologia de “luxo” é o mercado restrito, dirigido apenas para elites. As tecnologias básicas para produção de receptores de HDTV, como *displays*, circuitos integrados, etc., já são tecnologias de produção em massa há bastante tempo. A implantação de uma indústria de HDTV no Brasil pode ter um profundo impacto econômico e tecnológico a médio e longo prazos.

2. TV digital com multiprogramação é a melhor solução para o público e emissoras de televisão.

Na Europa, a TV digital está sendo introduzida com o objetivo básico de aumentar a oferta de programas. Devido à carência de canais na Europa, justifica-se oferecer ao público mais opções de programas, ainda que com resolução convencional (SDTV). Para o Brasil é duvidoso que SDTV com multiprogramação seja uma opção interessante.

No Brasil, o problema maior está na falta de programação de boa qualidade, e não na quantidade de programas. Um aumento na oferta dos programas que hoje são oferecidos ao público, não aumentaria o mercado das emissoras, já que este mercado está praticamente saturado. A introdução de multiprogramação

serviria apenas para fragmentar o mercado, numa escala muito maior que a atual. A diluição dos recursos de produção tornaria ainda mais difícil a realização de programas de boa qualidade, e não haveria um crescimento no total de horas que o público despende vendo televisão. A introdução da TV de alta definição, por outro lado, pode mudar este cenário, pois ela deve estimular as emissoras a produzirem programas esportivos, culturais, artísticos e de entretenimento de alto nível, além do oferecimento da desejada interatividade e de outros serviços.

3. Redes de Frequência Única são a solução ideal para aproveitamento do espectro.

O conceito de Rede de Frequência Única (Single Frequency Network - SFN) é tecnicamente interessante, porém a implementação, na prática, é difícil, demorada e extremamente onerosa. Vide o caso da TV digital na Alemanha, cuja introdução está na dependência da construção de uma rede de fibras óticas, para distribuição dos sinais aos nós da rede SFN. O custo dessa rede de fibras óticas deve ser de muitos bilhões de dólares! [27]. No Brasil, uma cobertura adequada pode ser garantida por métodos convencionais, mais simples e mais baratos.

4. Redes de Frequência Única só podem ser implementadas com modulação COFDM.

A implementação de Redes de Frequência Única, SFN, nunca foi considerada nos EUA uma opção; daí, talvez, a idéia errônea de que modulação 8-VSB e SFN são conceitos incompatíveis. Na realidade, esta incompatibilidade não existe; tudo depende das características do receptor para modulação 8-VSB.

A implementação de uma Rede de Frequência Única exige que os receptores possam operar com ecos de 0 dB e atrasos da ordem de 100 μ s, o que pode ser conseguido, por exemplo, com COFDM no modo 8k. Não obstante, as gerações mais recentes de equalizadores para modulação 8-VSB já conseguem operar com ecos de 0 dB e atrasos da ordem de 50 μ s. Assim, prevê-se que em breve os receptores para 8-VSB também deverão atingir a capacidade de operar em redes SFN.

5. Há um mercado potencialmente grande para recepção móvel de TV digital.

Em mais de 50 anos de história da televisão analógica, nunca se materializou uma demanda significativa para recepção móvel. A razão não deve ser buscada em possíveis dificuldades técnicas para recepção móvel.

Evidentemente, há uma clara incompatibilidade entre o ato de dirigir e o de ver televisão.²⁶ A maioria dos automóveis transporta apenas o motorista, de modo que a figura do “passageiro que assiste televisão” não tem significado prático. Além disso, o número médio de horas que uma pessoa despende no transporte é relativamente pequena, comparada, por exemplo, com o tempo que passa em casa.

A evidência histórica demonstra que o quadro de pequeno interesse por recepção móvel não deverá se alterar com a introdução da TV digital, pois na raiz da questão está o próprio modo de vida das pessoas e não problemas de natureza técnica.

6. É possível recepção adequada de TV digital usando apenas antena interna.

Certamente, as antenas internas podem ser utilizadas em muitos casos para recepção de TV digital, porém, é uma falácia afirmar que é possível garantir uma cobertura razoável usando-se apenas antenas internas, independentemente do tipo de modulação. Devido à baixa altura e baixo ganho da antena, atenuação das paredes, etc., o sinal captado por uma antena interna está em média 15 dB abaixo do captado por uma antena

²⁶ Nos países desenvolvidos há uma discussão sobre o impacto dos dispositivos de auxílio à navegação, telefones celulares, etc, sobre a segurança nos automóveis. Nesse sentido, o incentivo ao uso de televisores em automóveis é extremamente preocupante.

externa. Isto é válido para casas de construção normal, com pouca estrutura metálica. Em prédios de apartamento, a atenuação pode ser maior que 60 dB.²⁷ Para garantir a recepção com atenuação de 60 dB, seria necessário aumentar a potência irradiada por um fator de 1.000.000 de vezes!

A esperança de que a tecnologia moderna de TV digital possa dispensar um sistema eficiente de antena revela uma profunda incompreensão da capacidade da tecnologia. (Alguém também deve ter imaginado, 100 anos atrás, que o avanço na tecnologia de construção de automóveis iria dispensar as estradas pavimentadas. Na prática, ocorreu justamente o contrário.²⁸)

Para operar eficientemente, a TV digital, qualquer que seja a modulação utilizada, exigirá sistemas de antena tão bons, ou melhores, que os atuais. Provavelmente, os sistemas atuais de antena coletiva para os edifícios de apartamento já oferecem uma solução adequada para a maioria dos casos.

8. Conclusões Gerais

Neste relatório procurou-se analisar os aspectos relevantes dos testes de laboratório e de campo realizados em São Paulo. No relatório foi enfatizada a necessidade de não se perder de vista a inevitável evolução tecnológica de curto, médio e longo prazos. Ignorar essa evolução pode levar à escolha de um padrão que rapidamente se tornará obsoleto, acarretando grandes prejuízos aos consumidores, emissoras e fabricantes.

Dentre os pontos analisados neste relatório, destacamos a seguir os que nos parecem mais relevantes e pertinentes:

1. A baixa potência do transmissor e a baixa altura da antena transmissora usadas em São Paulo, prejudicaram bastante os testes de campo. Contribuíram negativamente também a configuração do sistema de recepção e o baixo ganho da antena receptora. A escolha desses parâmetros, infelizmente, passou despercebida dos vários pesquisadores que analisaram a metodologia de testes, incluindo os autores deste relatório. Isto não justifica, todavia, a sua desconsideração na análise dos resultados de campo. Deve-se enfatizar que os testes do sistema ATSC em várias cidades americanas usaram parâmetros muito diferentes dos usados em São Paulo[7]. A própria organização DVB utilizou, em suas demonstrações na NAB2000, em Las Vegas[27], uma potência de 300 KW no transmissor! Este valor é muito superior ao usado em São Paulo (2 KW de potência média nos últimos testes realizados).
2. Deve-se proceder com cautela ao se decidir pela instalação de um sofisticado sistema de TV digital com a utilização de prosaicas antenas internas, em substituição a antenas externas de muito maior eficiência e de baixo custo relativo. O uso racional de tecnologias sofisticadas pressupõe um equilíbrio harmonioso entre os seus diversos componentes. Não se deve aceitar, portanto, que uma antena interna seja um "gargalo" no uso da avançada tecnologia de TV digital. As emergentes *Home Networks* proverão a necessária mobilidade no ambiente doméstico.

²⁷ Os testes na cidade de São Paulo evidenciaram claramente a existência de zonas de "sombra", onde o campo recebido estava 50 ou 60 dB abaixo do esperado. É importante ressaltar que o sinal estava sendo medido no exterior. No interior dos edifícios, o efeito de blindagem pode produzir atenuações ainda maiores que 60 dB! Aliás, não existe limite para o enfraquecimento que o sinal pode sofrer no interior de uma construção com estrutura com muita massa metálica.

²⁸ Um automóvel atual típico só pode funcionar adequadamente em estradas pavimentadas de excelente qualidade. A melhoria das estradas permitiu que os automóveis incorporassem melhor aerodinâmica, que as suspensões fossem rebaixadas para melhor estabilidade, que o diâmetro das rodas pudesse ser reduzido, etc. Basta comparar o tamanho da roda de um Ford T com a de um Ford K para sentir a evolução ocorrida nos automóveis e nas estradas, num período de um século. As estradas de qualidade permitem que os automóveis sejam mais econômicos, velozes, seguros, confortáveis, e produzam menor poluição atmosférica.

3. No relatório final da SET/ABERT, deu-se uma importância exagerada a 27 pontos considerados de difícil recepção, a maioria localizada em áreas com multipercursos e sombras. Ora, é justamente nesses pontos que se concentram os edifícios que, em sua maioria, utilizam antenas coletivas para recepção de TV. A utilização de pontos de medida mais adequados e em maior número, juntamente com uma ponderação que leve em conta o uso de antenas externas (coletivas ou individuais), certamente colocaria os receptores ATSC, *mesmo os de primeira geração*, em grande vantagem em relação aos demais.
4. Com os avanços tecnológicos esperados para os receptores 8-VSB, e levando em conta as limitações intrínsecas dos padrões DVB-T e ISDB-T, é de se esperar que, para uma mesma taxa de bits, o sistema 8-VSB apresente um desempenho *uniformemente superior* ao dos sistemas DVB-T e ISDB-T (da ordem de 3 a 4 dB). Esta é uma vantagem significativa que contribui, inclusive, para diminuir a poluição eletromagnética nos centros urbanos. Evita-se, assim também, o uso das dispendiosas Redes de Freqüência Única preconizadas pelos sistemas DVB-T e ISDB-T.
5. Mesmo sem levar em conta os fatores discutidos acima, os receptores ATSC superaram os receptores DVB-2k no conjunto total de 127 pontos, estatisticamente muito mais representativos.
6. A escolha dos 27 pontos considerados de difícil recepção, praticamente *eliminaram os pontos de medida com C/N entre 14,5 e 19 dB*, que são favoráveis ao sistema 8-VSB. Os pontos entre 14,5 e 19 dB são pontos de *difícil recepção para os receptores COFDM*, e deveriam também ser considerados.
7. A maioria dos testes de laboratório foram favoráveis ao sistema ATSC. A evolução esperada nos receptores 8-VSB deve melhorar muito o desempenho desses receptores nos poucos testes em que o COFDM superou o 8-VSB. Já há receptores 8-VSB que superam o desempenho do DVB-8k para canais com efeito *Doppler*, perdendo apenas por uma pequena margem para o DVB-2k. Além disso, vários deles já equalizam ecos de 0 dB.
8. O sistema DVB-T é bastante sensível a ruído impulsivo (industrial, automotivo e de eletrodomésticos) e, no modo 2k, não consegue operar com ecos mais longos que 15 μ Seg. Esta última característica talvez explique o não funcionamento do DVB-2k em 4 pontos dos testes de campo, todos com intensidade de campo acima de 70 dB μ V/m, conforme Gráfico A5 do Terceiro Relatório da SET/ABERT. Em todos os pontos com campos superiores a este valor, todos os receptores ATSC, DVB-8k e ISDB-4k, operaram sem problemas.
9. O sistema ISDB-T superou, em quase todos os testes, os sistemas DVB-2k e DVB-8k, apesar de utilizar um receptor ainda experimental. Além disso, o *DVB-8k operou com taxa de 18,09 Mbits/s*, abaixo portanto das taxas de 19,39 Mbits/s do ATSC e de 19,33 Mbits/s do ISDB-4k. Infelizmente, não é possível fazer uma comparação justa entre o ATSC e o ISDB-T, pois a quantidade de pontos foi estatisticamente insignificante e o critério de escolha dos pontos favoreceu, de antemão, a modulação COFDM.
10. Os telespectadores de HDTV não deveriam ser penalizados em benefício de uma parcela ainda desconhecida (mas provavelmente muito menor) de *usuários de SDTV e outros serviços em receptores móveis*. Não se deve esquecer que existe uma grande demanda para sistemas de TV e de *home theater* de alta qualidade no Brasil, mesmo na classe média.
11. A julgar pelo aparente insucesso dos sistemas que levam a Internet para a televisão convencional, as chamadas WebTV²⁹, não é difícil prever que somente a tecnologia de alta definição (HDTV) é que poderá viabilizar a convergência da TV com o computador. Em uma TV com resolução padrão (SDTV), a má qualidade das letras e das imagens e a distorção das páginas decepcionam o consumidor. Assim, não faz muito sentido introduzir mais um *browser* de Internet utilizando a TV digital com SDTV, mesmo

²⁹ "Internet na tevê: que saudades do computador", Jornal da Tarde, 25/07/2000, www.jt.com.br/editorias/.

porque a Internet II, a TV a Cabo e outras redes de alta velocidade já conseguem oferecer este serviço com melhor qualidade. Somente a HDTV, a 19 Mbps, é que poderia integrar adequadamente a Internet e a Televisão, oferecendo um nível de qualidade suficiente para não frustrar as expectativas dos consumidores acostumados com o nível de resolução dos atuais monitores de computador. É fato conhecido que vai levar ainda um bom tempo para que a Internet ofereça uma velocidade de bits da ordem de 20 Mbps para o usuário comum. Assim, adotando a TV de alta definição as emissoras de TV teriam, por muito tempo, um excelente nicho de mercado a ser explorado.

12. Estamos convictos de que a solução mais atraente para os consumidores, emissoras e fabricantes de TV, é adotar a tecnologia de HDTV para recepção fixa no Brasil e aguardar algum tempo para se definir a demanda para os serviços de recepção móvel. Então se terá uma visão clara sobre a tecnologia e faixas de frequência mais apropriadas para esses serviços.

9. Referências

1. J. G. Chiquito e S. A. Fasolo, “Transmissão de Dados por Multiplexagem em Frequência (OFDM)”, Contrato Unicamp-CPqD, PE-PDSA, RT-018/99, 1997.
2. J. G. Chiquito e S. A. Fasolo, “Os Sistemas de Modulação 8-VSB e COFDM para Televisão Digital”, Contrato Unicamp-CPqD, PE-PDSA, RT-018/99, Setembro 1999.
3. S. A. Fasolo, G. L. V. Vásquez, A. A. T. P. de Moraes, J. G. Chiquito, Y. Iano, M. H. M. Costa e D. S. Arantes, “Camadas de Transmissão e Transporte do Sistema Europeu de Televisão Digital DVB”, Contrato Unicamp-CPqD 040/98, PE-PDSA, RT-02, Dezembro de 1998.
4. J. G. Chiquito, Y. Iano, M. H. M. Costa e D. S. Arantes, “Considerações sobre a Proposta de Ensaio Comparativo no Brasil entre os Padrões de Televisão Digital de Alta Definição ATSC e DVB”, Contrato Unicamp-CPqD 040/98, PE-PDSA, RT-05, Março de 1999.
5. J. G. Chiquito, D. S. Arantes e M. H. M. Costa, “Comentários sobre os Testes em Sistemas de Televisão Digital Realizados pela SET/ABERT/Mackenzie”, Contrato Unicamp-CPqD 040/98, PE-PDSA, RT-27, Maio de 2000.
6. Veja “Comments from OnDigital Viewers on COFDM Reception” em “Reply Comments of Zenith Electronics Corporation”, Apêndice F, MM Docket No. 00-39, Before the Federal Communications Commission, June 16, 2000.
7. G. Sgrignoli, "Preliminary DTV Field Tests Results and their Effects on VSB Receiver Design", Anais do IEEE International Conference on Consumer Electronics - ICCE '99, pg.11, 1999.
8. Veja (www.atsc.org).
9. H. Sari, G. Karam and I. Jeanclaude, “Transmission Techniques for Digital Terrestrial Broadcasting”, IEEE Communications Magazine, February 1995.
10. Comments of NxtWave Communications, Inc., MM Docket No. 00-39, Before the Federal Communications Commission, May 17, 2000.
11. Comments of NxtWave Communications on FCC Office of Engineering and Technology DTV Report (FCC/OET 99-2), November 9, 1999.

12. Reply Comments of Zenith Electronics Corporation, MM Docket No. 00-39, Before the Federal Communications Commission, June 16, 2000.
13. T. J. Endres, R. A. Casas, S. N. Hulalkar and C. H. Stolle, "On Sparse Equalization Using Mean-Square-Error and Constant Modulus Criteria", 2000 Conference on Information Science and Systems, Princeton University, March, 2000.
14. A. Shah, S. Biracree, R. A. Casas, T. J. Endres, S. N. Hulalkar and T. A. Stolle, "Global Convergence of a Single-Axis Constant Modulus Algorithm", NxtWave Communications, 1999.
15. P. Mannion, "VSB/QAM Receiver Cracks the Code to Indoor and Mobile Reception", Tech Insights, 1999.
16. N. Tokunaga, T. Fukuoka, Y. Nakakura, H. Kato and K. Ueda, "Development of VSB Demodulator LSI with High-Performance Waveform Equalizer ", International Conference on Consumer Electronics – ICCE2000, L. A., CA, June 2000.
17. D. J. Kim and S. W. Park, "Timing Offset Independent Equalization Techniques for Robust Indoor Reception of ATSC DTV Receivers", International Conference on Consumer Electronics – ICCE2000, L. A., CA, June 2000.
18. I. Markmann, J. Kim and V. Parthasarathy, "Truncated Metric for NTSN Interference Rejection in the ATSC-HDTV Trellis Decoder", International Conference on Consumer Electronics – ICCE2000, L. A., CA, June 2000.
19. P. Pastorino and G. Lasagna, "Home Networking: A Telecom's Perspective", International Conference on Consumer Electronics – ICCE2000, L. A., CA, June 2000.
20. S. Palm, J. Holloway and E. Frank, "IC for Phone Line Home Networking", International Conference on Consumer Electronics – ICCE2000, L. A., CA, June 2000.
21. J-C. Moon and S-J. Kang, "Multi-Agent Architecture for Intelligent Home Network Service using Tuple Space Model", International Conference on Consumer Electronics – ICCE2000, L. A., CA, June 2000.
22. The Sky Station Stratospheric System, <http://www.skystation.com/>.
23. "Satélite a Gás", Revista Super Interessante, Editora Abril, Julho, 2000.
24. Mobile & Portable Radio Research Group at Virginia Tech, <http://www.mprg.ee.vt.edu/research/>.
25. "Enjoy Satellite TV entertainment wherever you go", <http://www.dmc.net/oss/rv/>.
26. E. Dahlman, P. Beming, J. Knutsson, F. Ovesjö, M. Persson and C. Roobol, "WCDMA – The Radio Interface for Future Mobile Multimedia Communications", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 47, No. 4, November 1998.
27. P. MacAvock, B. Tew, C. Paiget and J. Gledhill, "DVB Comments on the SET-ABERT Final Report", July 6, 2000.
28. ATSC Comments on the SET/ABERT, March 20, 2000.
29. ATSC Comments on the SET/ABERT "3rd Partial Report and Data", May 5, 2000.

30. A. F. Naguib, N. Seshadri and A. R. Calderbank, "Increasing Data Rate over Wireless Channels", IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 17, No. 3, May 2000.