

Planejamento da Expansão do Serviço de Retransmissão de TV Digital no Brasil usando redes SFN

Silvio Renato Messias de Carvalho, Yuzo Iano e Rangel Arthur

Abstract—This work aims to discuss briefly the relevant technical aspects for introduction and expansion of Digital TV retransmission services based on OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). The initial channel allocation, proposed for introduction of Digital TV in Brazil, will carry the spectral overload problems of the current analogical systems. The use of single frequency networks (SFN) appears as an efficient solution for channel allocation. Moreover, the system allows the application of space diversity, generating advantages mainly for mobile reception.

Index Terms— channel planning, OFDM, Digital TV, single frequency network (SFN).

Resumo—Este trabalho tem por finalidade discutir brevemente os aspectos técnicos relevantes para a implantação e expansão do serviço de retransmissão de TV Digital baseada em Modulação OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). O plano de canalização inicial, proposto para introdução da TV Digital no Brasil, herdará os problemas de sobrecarga de espectro dos atuais sistemas analógicos. O uso de redes de frequência única (SFN) aparece como uma solução eficaz para alocação de canais. Além disso, o sistema permite o uso de diversidade espacial, gerando vantagens principalmente para recepção móvel.

Palavras chave—canalização, OFDM, TV Digital, redes de frequência única (SFN).

I. INTRODUÇÃO

O serviço de televisão aberta de radiodifusão (*broadcasting*), utiliza uma rede de estações retransmissoras para expandir a área de cobertura de sua programação. No Brasil, para o serviço de televisão analógica, adota-se o sistema MFN (*Multi Frequency Network*), onde se tem uma determinada programação mudando de canal a cada nova localidade.

O reuso de frequência para tal sistema foi estabelecido pelo comitê técnico do FCC (*Federal Commission Communication*) americano, e definiu-se que emissoras transmitindo num mesmo canal de UHF devem manter uma distância mínima

para se evitar interferência mútua. Devido às dificuldades de se controlar com filtros simples a interferência entre canais adjacentes, adotou-se a estratégia de utilização alternada de canais para a transmissão numa mesma localidade.

Destacando-se a importância da rede de retransmissão pode-se citar que no Brasil tem-se, para a televisão analógica, aproximadamente, 434 canais considerados como estações geradoras e cerca de 5223 canais estações retransmissoras de TV [1].

Assim, os canais utilizados para retransmissão superam em cerca de doze vezes os canais utilizados para geração de programação (Figura 1).

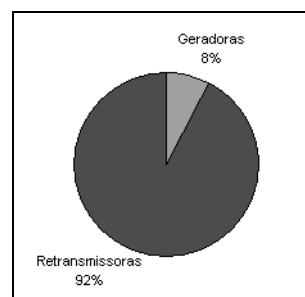


Fig. 1. Distribuição de Canais de Estações Geradoras e Retransmissoras de TV analógica.

Esse sistema não preserva o espectro eletromagnético e aumenta muito o problema de interferência em locais congestionados, ou seja, muitos canais em uma área restrita, sendo os grandes centros urbanos um exemplo.

É importante analisar que, considerando-se o conteúdo e o número de programações diferentes entre si, na totalidade do tempo não se ultrapassa cinquenta geradoras, isso devido ao alto custo de se gerar programação contínua durante todo o tempo.

Assim, os radiodifusores, para diminuir seus custos e viabilizar o negócio de TV aberta, costumam se afiliar a uma rede que gera a maior parte da programação. A retransmissão dessa programação pode ser interrompida, eventualmente, para uma programação denominada local, diferente da programação da rede, em uma pequena parte do tempo. Um exemplo disso é um jornal local que se sobrepõe a um jornal da rede que está sendo exibido no mesmo instante. Não será discutido aqui, contudo, as razões estratégicas e de legislação a respeito.

Manuscrito recebido em 14 de dezembro de 2005; revisado em 15 de fevereiro de 2006.

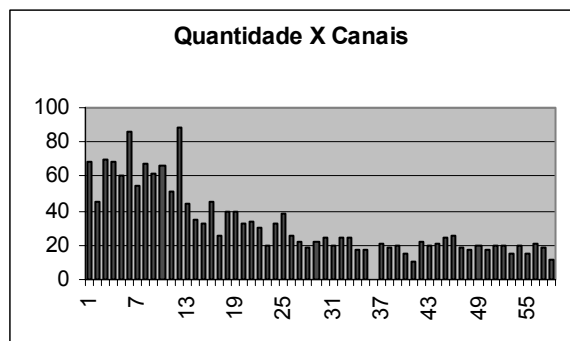
S.R.M. Carvalho (silvio@eptv.com.br), Y. Iano e R. Arthur (yuzo.rangel@decom.fee.unicamp.br) pertencem ao Departamento de Comunicações da FEEC- UNICAMP. Av. Albert Einstein, 400 - Campinas - SP - Brasil - 13083-852.

No Brasil, embora até o momento, início de 2006, não exista TV digital implantada, foi feita e aprovada uma proposta para o Plano de Canalização de TV Digital, usando MFN [1]. Esse plano aprovado pela ANATEL em maio de 2005, independentemente do padrão a ser adotado, contempla os seguintes pontos:

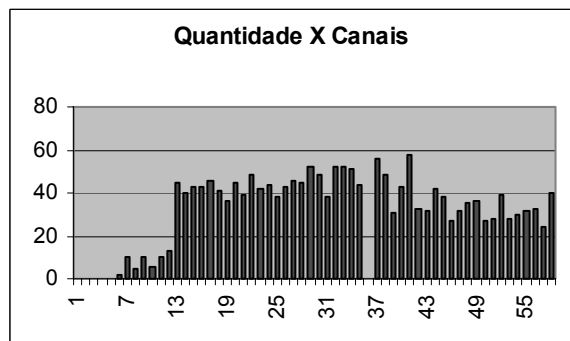
- Garantir a replicação das coberturas das estações geradoras de TV analógicas, sempre que tecnicamente possível.
- Localidades com população superior a 100.000 habitantes atendidas por pelo menos uma estação retransmissora ativa.
- Localidades atendidas atualmente por, pelo menos, uma estação geradora de TV ativa (uma geradora é considerada ativa a partir da abertura de edital).
- Localidades atendidas por estações retransmissoras co-localizadas com outras estações incluídas nos dois casos anteriores.

Quando ocorrer a implantação da TV digital, haverá um período em que ambos os sistemas, analógico e digital estarão em funcionamento e então se pode esperar uma situação de interferência mais crítica do que a existente hoje.

Partindo-se de um conjunto de cerca de 5657 canais analógicos, serão implantados mais 1893 canais digitais aproximadamente, de acordo com o gráfico de distribuição mostrado nas Figuras 2a e 2b [2].



(a)



(b)

Fig. 2. Quantidade de canais utilizados para TV no Brasil. a) Analógico (existente); b) Digital (proposto).

O estudo chegou a conclusão de que para se equiparar à área de cobertura analógica com a área digital pode-se operar

com uma relação de sinal analógico / digital de 13dB. Mesmo assim, as redes de retransmissão das geradoras não estarão inteiramente cobertas com o sinal digital. A área de cobertura proposta deverá ser viabilizada em novos outros canais digitais abrangendo todas aquelas cidades com menos de 100.000 habitantes que não foram contempladas no plano.

A partir desse plano, a viabilização de canais digitais para as demais localidades brasileiras ficaria a cargo de engenheiros projetistas, a partir do interesse das novas concessionárias do serviço de televisão e das autorizadas do serviço de retransmissão. Com isso, a TV Digital deve levar muito tempo para ser implantada nas regiões afastadas dos grandes centros. Esse problema será o enfoque desse trabalho, que será baseado em estações retransmissoras operando em rede de frequência única (SFN - Single Frequency Network).

Na seção 2 serão detalhados os critérios de implantação usando MFN. Na seção 3, é apresentada a nova proposta para complementação do plano inicial de canalização. São comentadas também, nessa parte, as vantagens da implantação da nova proposta para recepção móvel. O trabalho é finalizado com as conclusões relevantes e trabalhos futuros.

II. CENÁRIO DE IMPLANTAÇÃO MFN

A Figura 3 mostra o exemplo de uma área de cobertura de uma estação geradora principal e suas estações retransmissoras em uma rede clássica MFN analógica. Nesse exemplo clássico de rede MFN pode-se observar que são usados para transmitir a mesma programação básica, sete canais diferentes. Isso representa o exemplo clássico de desperdício de frequência que ocorre quando se capta o chamado sinal do ar, aquele sintonizado pelos receptores domésticos, e se retransmite o mesmo sinal em outro canal para se cobrir uma determinada região.

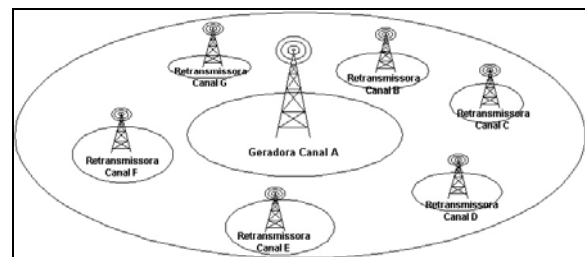


Fig. 3. Exemplo de Área de Cobertura de uma Estação Geradora de TV analógica e suas Estações Retransmissoras.

Sendo o modelo adotado no Brasil aquele do sistema de retransmissão em MFN pode-se prever alguns problemas. O sistema digital irá herdar as interferências presentes no sistema analógico, e estará preso a todas as limitações que o atual plano analógico gerou.

A princípio, serão trocadas as estações transmissoras analógicas das geradoras de TV nos grandes centros urbanos. Com isso, pode surgir o primeiro grande problema.

Uma característica marcante da potência de recepção digital é seu limiar muito abrupto, se comparada à recepção analógica. Uma importante suposição é que, onde existe um sinal analógico precário, onde a recepção é 'chuviscada' mas

que ainda é possível de ser assistida, pode não haver sinal nenhum para o receptor digital. Caso exista algum sinal de recepção intermitente, ele não terá condições de ser assistido. Essa falta de continuidade poderá gerar os conhecidos efeitos de efeito de bloco, congelamento, tela preta e corte de áudio, ao contrário do sinal analógico chuviscado que, embora ruim, pode ser assistido devido à sua continuidade de vídeo e áudio. A Figura 4 ilustra o problema, também conhecido por efeito *cliff*, ou efeito *knee*.

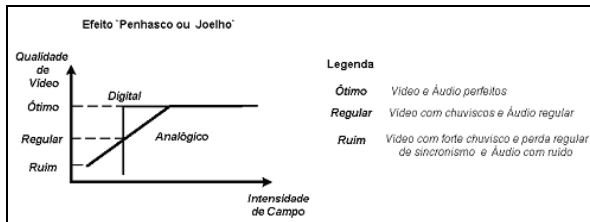


Fig. 4. Comportamento da qualidade de vídeo digital e analógico diante da Intensidade de Campo.

Logo, diferentemente de um planejamento analógico, a área considerada deverá ser tratada como uma área de sombra (sem sinal) para o digital. Para solução desse problema surgirá o chamado ‘Gap-Filler’ no local, sendo que muitos outros poderão surgir dentro da área de cobertura do canal principal da estação geradora.

Esse custo adicional deverá ser levado em consideração na implantação da TV digital, e deverá se somar ao custo da substituição de toda a rede de retransmissão, levando-se em conta a replicação do problema em todas as cidades da rede de retransmissão.

Neste ponto, como será comentado na próxima seção, pode-se observar os benefícios que uma rede SFN traria para a cobertura de uma rede de retransmissão que opera com a mesma programação básica.

Este trabalho defende a tese de que o sinal de uma estação geradora de programação, com toda a sua rede de retransmissão de igual programação, trafegue em um único canal. Define-se essa proposta como uma rede SFN regional.

III. CENÁRIO DE IMPLANTAÇÃO SFN

Uma rede SFN é baseada num conjunto de estações transmissoras que irão trabalhar em uma mesma frequência, atendendo uma região definida de serviço. Com o advento da televisão aberta digital, baseada em modulações OFDM, o uso das redes SFN tornou-se possível e atraente, já que essa modulação é robusta perante o ruído impulsivo [3] e ao multipercurso. Alguns países da Europa e Ásia já contam com redes SFN operacionais para expansão de suas redes de TV digitais terrestres [4,5].

A. Características de uma SFN

Uma rede SFN pode ser modelada através da equação a seguir.

$$s(t) = \sum_{i=1}^n h_i(t) \otimes x(t) + z(t) \quad (1)$$

onde \otimes denota convolução, $x(t)$ é o sinal OFDM transmitido, $h_i(t)$ a resposta ao impulso do canal do transmissor i , e $z(t)$ o Ruído Gaussiano Branco Aditivo (AWGN).

A resposta ao impulso do canal pode ainda ser definida como

$$h_i(t) = \sum_{l=1}^M h_{i,l} \delta(t - \tau_{i,l}) \quad (2)$$

onde os ganhos de cada caminho do sinal, $\{h_{i,l}; l=1, 2, \dots, M\}$, são processos *Rayleigh* independentes e identicamente distribuídos.

A partir das equações (1) e (2), nota-se que a rede proposta em SFN deverá lidar com dois tipos de atrasos: o primeiro devido às reflexões em obstáculos naturais e o segundo tipo devido aos sinais transmitidos por outras estações transmissoras da rede. Esses atrasos podem causar uma interferência intersimbólica, que é geralmente administrada pelo uso do intervalo de guarda e estimação do canal.

Como na maioria dos modelos de sistemas de transmissão via ar, a rede SFN deverá lidar com dois tipos de desvanecimento: o primeiro chamado de desvanecimento rápido e o segundo de desvanecimento lento [6]. Essas degradações do sinal, geralmente, são modeladas em termos de funções determinísticas descrevendo as perdas em função da distância e localização dos receptores.

O desvanecimento lento é modelado em função dos grandes obstáculos naturais do terreno e o desvanecimento rápido é modelado pelo espalhamento do sinal nas vizinhanças do receptor. Outros importantes parâmetros são a diretividade das antenas, a potência efetiva irradiada e as características do terreno. Nesta proposta de rede SFN, para a televisão aberta digital, será usado no exemplo dado um único canal. A Figura 5 mostra que o sinal resultante é uma combinação de três sinais, um de cada transmissor. O sinal proveniente de cada transmissor chega à antena do receptor com uma dispersão temporal, com características dadas pelo canal de transmissão percorrido pelo sinal. Na Figura 5(a), os três sinais chegam com amplitudes semelhantes e o atraso entre eles é nulo, ou muito pequeno - situação conhecida como “eco de 0 dB e atraso nulo”. Uma outra característica nesse ponto é que a relação sinal-ruído é pequena. Na Figura 5(b), tem-se uma condição em que dois sinais chegam à antena receptora com atraso nulo e com potência relativa de 0 dB e, o terceiro, chega atrasado em relação aos outros dois sinais. Como as distâncias entre as estações transmissoras analógicas variam, tipicamente, entre 25 e 70 Km, adotou-se, para esta análise, um raio de cobertura de 60 Km. Adotando-se para o raio de cobertura esse valor, o sinal do transmissor B chega com um atraso total de 60 μ s. No último caso, Figura 5(c), o sinal mais potente é o do transmissor A, seguido por outros dois sinais com atrasos diferentes. Tomando-se o mesmo raio de cobertura de 60 Km, tem-se atrasos de 67 e 105 μ s, referentes às estações transmissoras B e C.

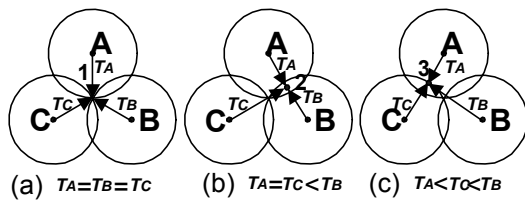


Fig. 5. Localizações importantes para análise em uma SFN

As regiões do mundo, que estão utilizando redes SFN, estão adotando os modos de transmissão 8K [7,8] para que os atrasos de sinais não ultrapassem os intervalos de guarda do sistema. Uma configuração típica de intervalo de guarda 1/8, usando o modo 8K para padrões OFDM, gera uma faixa de aproximadamente 150 μ s. Como o intervalo de guarda é maior do que o maior atraso dos sinais das várias estações transmissoras que chegam ao receptor, o receptor poderá combiná-los construtivamente. As técnicas de estimação de canal deverão ser suficientes para compensar os atrasos descritos e equalizar ecos com essa ordem de dispersão temporal.

O envio do sinal da estação geradora para as estações retransmissoras pode ser realizado através de três formas principais: enlaces de fibras ópticas, enlaces de microondas ou pelo próprio sinal do canal. Devido aos custos proibitivos, os enlaces ópticos não são utilizados para retransmissão de sinais no Brasil. A proposta ideal para uma rede SFN é aquela em que um posto retransmissor da rede recebe o mesmo sinal que será transmitido na mesma frequência. Para isso, é necessário um aprimoramento dos filtros de cancelamento de realimentação (LCF - *Loop Canceller Filter*) [9]. Com esse procedimento, é possível evitar os dispendiosos elos de microondas ponto a ponto que levam para o posto o sinal a ser transmitido como acontece em muitos casos.

A rede SFN também pode operar com *gap-filler* para melhoria de recepção em locais extremamente problemáticos de sombra, assim como é feito hoje no sistema analógico.

B. Características Práticas de Implantação

A princípio, os locais onde seriam instalados os postos de estações retransmissoras em SFN seriam os postos já existentes hoje para o sistema analógico. A infraestrutura deverá ser reutilizada para diminuir os custos de implantação. Logo, um parâmetro importante a ser levado em consideração é a distância entre os postos de estações retransmissoras. Isso afeta diretamente o ganho de diversidade da rede SFN, uma vez que não se tem um número elevado de estações transmissoras na rede. Assim, trabalhando-se com as potências estabelecidas no plano de canalização digital, as áreas de cobertura da rede de retransmissão não se sobreporiam e não se teria um ganho em diversidade de estações transmissoras.

Se um segundo ou terceiro sinal de um transmissor da rede chegar abaixo do nível de relação sinal direto/interferente D/U (dB) de +19 [1], esses sinais não poderão ser considerados interferentes. Nesse caso específico, as estações transmissoras poderiam operar sem sincronismo num primeiro momento.

O aumento do número de estações transmissoras da rede levará a uma maior homogeneidade do sinal dentro da área de

cobertura. Desse modo, uma recepção móvel se dará em melhores condições, evitando-se em parte o chaveamento de canal (*hand off*, ou *hand over*) que seria um outro problema para a recepção móvel de TV em banda larga. Porém, quando o serviço móvel entrar em operação, o sincronismo será fundamental para permitir o uso de diversidade espacial.

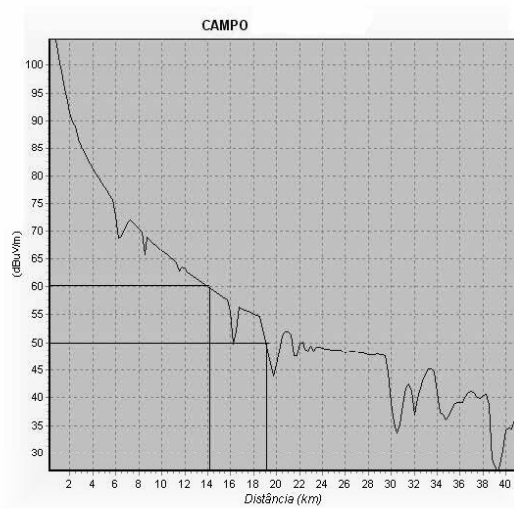
O trabalho de sincronização deve ser dividido em duas partes: sincronismo em frequência e sincronismo em tempo. O sincronismo em frequência é muito dependente do esquema de modulação multiportadora utilizado. Como conhecido, a modulação COFDM usa 2K, 4K ou 8 K portadoras que devem ser transmitidas na mesma faixa de frequência para as estações transmissoras pertencentes à rede SFN. Cada portadora deve ser transmitida em uma frequência igual à $f_k \pm (f/100)$, onde f_k é a posição ideal para a k-ésima portadora e f é o espaçamento entre portadoras ($f=1116$ Hz para o modo 8K).

O sincronismo em tempo é beneficiado pela robustez da modulação COFDM (quando a duração do eco é menor do que o intervalo de guarda). O ideal é fazer com que o mesmo símbolo possa ser transmitido, no mesmo instante, por todas as estações transmissoras. É aceitável uma faixa $Tn \pm 1\mu$ s (onde Tn é o instante de amostragem ideal para o n-ésimo símbolo a ser transmitido) para se ter um desempenho satisfatório do sistema.

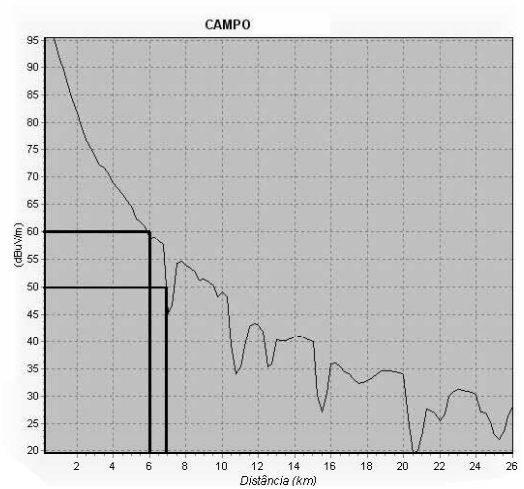
Em [10], o sincronismo de sinais em redes SFN é padronizado para o padrão DVB-T. Quando o pacote MPEG-2 é selecionado para transporte, é possível ajustar os devidos atrasos através do denominado adaptador de rede SFN. O objetivo desse adaptador no transmissor é gerar o chamado *megaframe* MPEG-2 e inserir MIPs (*Megaframe Identification Packets*), o qual impõe um atraso entre o início do *megaframe* e um último pulso de sincronismo recebido por GPS (*Global Positioning Satellite*). Os adaptadores da rede no receptor procuram os pacotes MIPs e introduzem os atrasos adequados antes da demodulação OFDM.

C. Resultados Preliminares

De acordo com [1] determina-se a intensidade de campo mínima (dB μ V/m) para recepção com antena externa assumindo-se uma modulação OFDM 64 QAM FEC $\frac{3}{4}$ de 50dB μ V/m e nas mesmas condições para recepção com antena interna uma intensidade de campo de 60dB μ V/m. Tomando-se como exemplo uma estação geradora em Campinas para o canal 13 de VHF, dois postos transmissores SFN no canal 13 em Santa Bárbara D'Oeste e Piracicaba, sendo a potência efetiva irradiada (ERP) das estações SFN 1kW e da estação geradora 2kW e todas em torres de 80m, tem-se os campos, nas respectivas radiais de distância entre as cidades, mostrados na Figura 6.

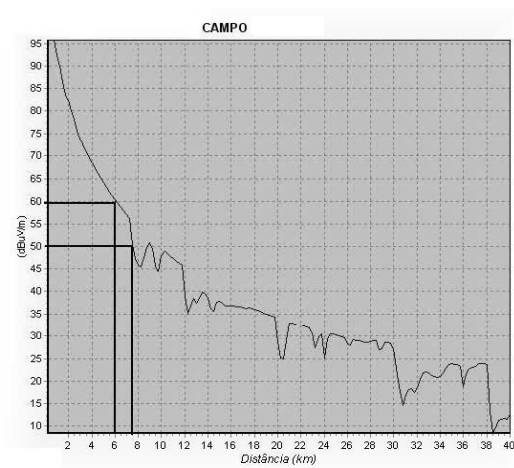


(a) Intensidade de Campo na Radial Campinas - Santa Bárbara D'Oeste.

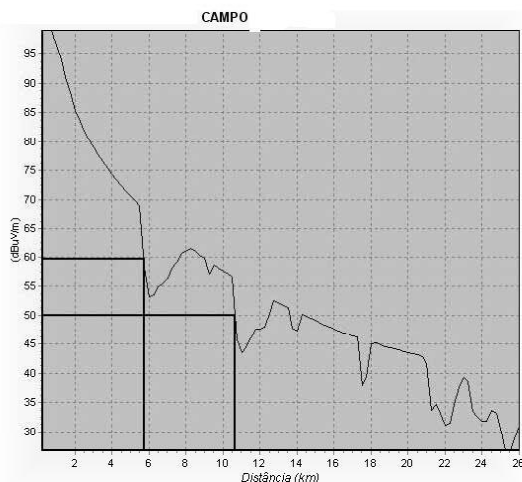


(d) Intensidade de Campo na Radial Piracicaba - S. Bárbara D'Oeste.

Fig. 6. Intensidade de Campo nas Radiais definidas



(b) Intensidade de Campo na Radial Santa Bárbara D'Oeste -Campinas.



(c) Intensidade de Campo na Radial S.Bárbara D'Oeste -Piracicaba

Como esperado a intensidade de campo proposta pelo plano de canalização, que se encontra abaixo dos limites da simulação do exemplo dado, não representa um sinal interferente nas proximidades do próximo transmissor na rede SFN. Assim sendo, no início da implantação com potências baixas para se evitar interferências com o sistema analógico, os transmissores cobririam somente as cidades de interesse e posteriormente, com o aumento de potência e aumento do número de transmissores, seria implantado o serviço móvel levando-se em conta as principais estradas de ligação entre as cidades. Os parâmetros de simulação atendem as condições reais não se levando em consideração contornos protegidos e outros parâmetros utilizados em viabilização de canais para MFN, sendo que o software utilizado, Análise de Interferências Versão Demo 1.00 CPqD adota a norma ITUR 1546-1 para os cálculos.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma proposta para o planejamento do serviço de retransmissão de TV Digital no Brasil. O uso de redes de frequência única regionais irá otimizar a alocação de canais, melhorando a utilização do espectro e reduzindo os custos envolvidos.

A possibilidade do uso de diversidade espacial, característico de uma rede SFN, irá facilitar a recepção móvel, conduzindo a uma maior homogeneidade do sinal dentro da área de cobertura.

O modelo proposto baseia-se em uma complementação do plano básico de canalização de TV digital, e servirá para acelerar o processo de implantação desse serviço no Brasil. Além disso, o modelo independe do padrão (OFDM) a ser adotado.

Como trabalhos futuros, pretende-se propor novos algoritmos para se cancelar o sinal de realimentação das estações transmissoras, a fim de viabilizar o envio de sinais das estações geradoras via ar. Pretende-se também criar novos algoritmos específicos para equalização em sistemas típicos de redes de frequência única regionais.

REFERÊNCIAS

- [1] *Relatório Técnico: "Planejamento de Canais de TV Digital*, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações CPqD", www.anatel.gov.br, setembro de 2003.
- [2] A. Menassian., *"Implantação de TV Digital do Brasil"*, Palestra ANATEL, www.anatel.gov.br, janeiro de 2005.
- [3] F. Yamada, L.T.M Raunheite, F. Sukys, G. Bedcks, C. Dantas, C. Akamine: *"Digital Signal Disturbed by Impulsive Noise in Signal of Digital TV"*, IEEE Broadcasting Magazine, 2004.
- [4] P. Cañizares, J.L.Torres, J.A. Martinez, *"VIDITER: Spanish experience on DTT"*, 20th International Television Symposium, Montreux, Record Cable/Satellite/Terrestrial, pp. 219–224, 1997.
- [5] Yasuo Takahshi, *"Seminar 8: Transmission Network & Hardware (Dibeg)"*, www.dibeg.org, Dezembro de 2005.
- [6] S. A. Fasolo, *"Equalização em Receptores de Televisão Digital de Alta Definição utilizando Modulação 8VSB"*, Tese de Doutorado, FEEC-UNICAMP, 2001.
- [7] DVB Document A012, *"Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television"*, 1996.
- [8] Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T) Document, *"Specification of Channel Coding, Framing Structure and Modulation"*, 1998.
- [9] H. Hamazumi, K. Imamura, N. Iai, K. Shibuya and M. Sasaki, *"A Loop Interference Canceller for the Relay Stations in a Single Frequency Network for Digital Terrestrial Broadcasting"*, NHK Laboratories Note No. 469, Digital Broadcasting Networks Research Division, 1998.
- [10] Draft EN 301 191: Digital Video Broadcasting (DVB); *"DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization"*, European Telecommunications Standards Institute, 1997.



Silvio Renato Messias de Carvalho recebeu o título de Engenheiro Eletricista pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP em 1994. Desde 1986 trabalha com planejamento de sistemas de retransmissão de sinais de TV. Atualmente, desenvolve projetos na área de planejamento de sistemas para TV Digital no Laboratório de Comunicações Visuais do Departamento de Comunicações da FEEC-UNICAMP, onde realiza trabalho de mestrado. Tem interesse nas áreas de projetos para implantação de sistemas de estúdio, transmissão e retransmissão de TV Digital.



Yuzo Iano recebeu os títulos de graduação, Mestrado e Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas, SP, em 1972, 1974 e 1984, respectivamente. Atualmente, é Professor Associado do Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP, sendo coordenador do Laboratório de Comunicações Visuais da mesma Instituição. Foi responsável pelos projetos de Processamento Digital de Sinais (som e imagem), desenvolvidos durante o Convênio CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações)-UNICAMP. Suas áreas de interesse são codificação de áudio e vídeo, compressão de áudio e vídeo digital e transmissão de sinal digital.



Rangel Arthur recebeu o título de graduação de Engenheiro Eletricista pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista (FEIS—UNESP) em 1999. Recebeu o título de Mestre em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP em 2002. Atualmente realiza doutorado pelo Departamento de Comunicações na mesma Instituição. Desde 1999 trabalha com desenvolvimento de sistemas para transmissão e recepção de TV Digital. Tem interesse nas áreas de Processamento Digital de Sinais, e otimização de sistemas baseados em OFDM.